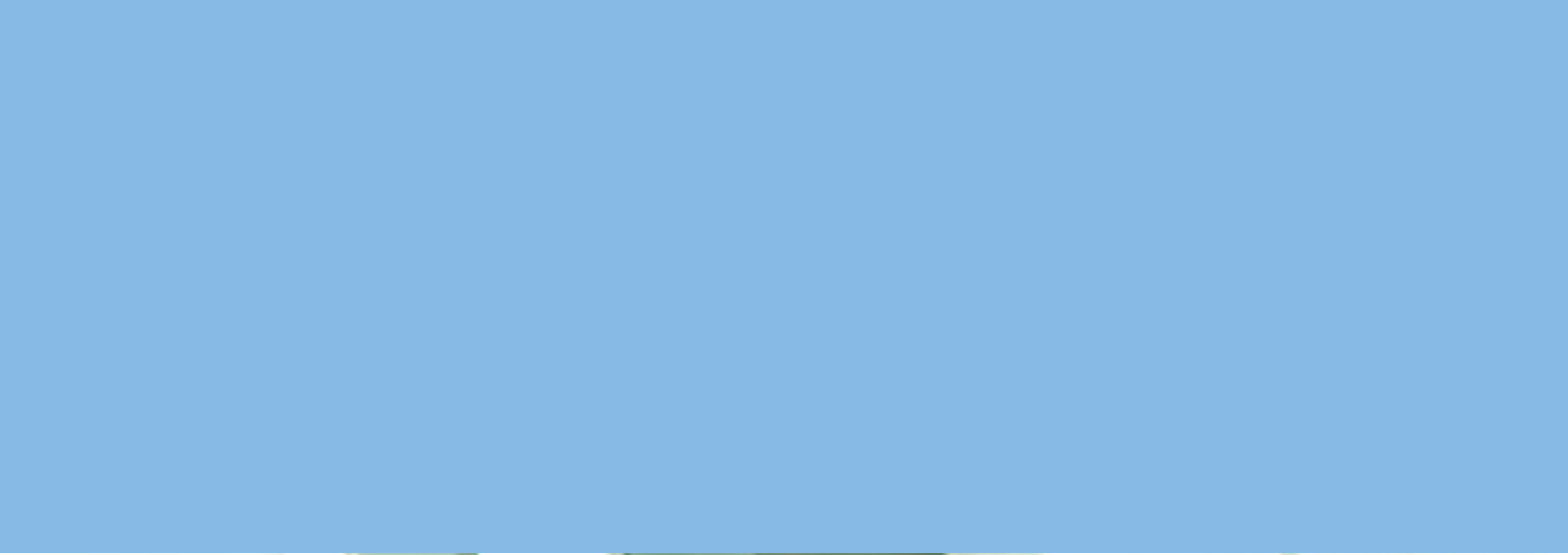




**JAHRESBERICHT
ANNUAL REPORT
2012**

COVER *CO₂-Laserspleißen – kontaminationsfreies und vielseitiges Fügeverfahren mit hoher Reproduzierbarkeit zur Herstellung von Hochleistungskomponenten für Faserlaser. | CO₂ laser splicing – contamination-free and versatile joining with high reproducibility for manufacturing of high power fiber laser components.*

**JAHRESBERICHT
ANNUAL REPORT
2012**



GESPRÄCH MIT PROF. DR. TÜNNERMANN

INTERVIEW WITH PROF. DR. TÜNNERMANN

DAS FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ANGEWANDTE OPTIK UND FEINMECHANIK IOF UND DAS INSTITUT FÜR ANGEWANDTE PHYSIK DER FRIEDRICH-SCHILLER-UNIVERSITÄT FSU-IAP ENTWICKELN INNOVATIVE OPTISCHE SYSTEME FÜR DIE ZUKUNFTSFELDER ENERGIE, UMWELT, INFORMATION, GESUNDHEIT UND SICHERHEIT. IM GESPRÄCH BLICKT INSTITUTSLEITER PROF. DR. ANDREAS TÜNNERMANN AUF DAS JAHR 2012 UND DIE KÜNFTIGEN HERAUSFORDERUNGEN.

THE FRAUNHOFER INSTITUTE FOR APPLIED OPTICS AND PRECISION ENGINEERING IOF AND THE INSTITUTE OF APPLIED PHYSICS OF THE FRIEDRICH-SCHILLER-UNIVERSITY FSU-IAP DEVELOP INNOVATIVE OPTICAL SYSTEMS FOR THE FUTURE FIELDS OF ENERGY, ENVIRONMENT, INFORMATION, HEALTH, AND SAFETY. IN THIS INTERVIEW, INSTITUTE DIRECTOR PROF. ANDREAS TÜNNERMANN LOOKS BACK ON 2012 AND DISCUSSES FUTURE CHALLENGES.

Herr Tünnermann, was waren für Sie die schönen Momente im Jahr 2012?

Ein schöner Moment war für mich das 20-jährige Jubiläum des Fraunhofer IOF. Im Februar hat das Institut mit Gästen aus Politik, Wirtschaft und Forschung 20 Jahre erfolgreiche Forschung an Lösungen mit Licht gefeiert und gleichzeitig den Erweiterungsbau eingeweiht. Wir konnten an diesem Tag auf 20 erfolgreiche Jahre zurückblicken, aber gleichzeitig auch zuversichtlich in die Zukunft schauen, denn wir sind gut aufgestellt, um auch zukünftig die Probleme unserer Kunden kompetent zu lösen.

Schöne Momente waren auch die zahlreichen Preise, mit denen die Arbeit des Fraunhofer IOF ausgezeichnet wurde. Der sichtbarste war ohne Zweifel der Joseph-von-Fraunhofer-Preis, der uns zusammen mit zwei anderen Fraunhofer-Instituten für die Entwicklung von Komponenten und Systemen für die EUV-Lithographie verliehen wurde. Erste Arbeiten zu diesem Thema wurden vor ungefähr 15 Jahren in der Fraunhofer-Gesellschaft begonnen – jetzt stehen diese Technologien kurz vor der Markteinführung. Daran sieht man, dass man manchmal einen langen Atem braucht und an Themen glauben muss. Gefreut haben mich auch die Auszeichnungen unserer jungen Wissenschaftler, wie z.B. die Ehrung der Nachwuchsgruppe Nano-SiS als »German High Tech Champions«, unsere Würdigung als

Prof. Tünnermann, what were the defining events of 2012 for you?

A special moment for me was the 20-year anniversary of the Fraunhofer IOF. In February, the institute celebrated together with guests from politics, business, and research 20 years of successful research on solutions with light and at the same time inaugurated the extension building. We looked back on 20 years of success, but also look to the future with confidence, as our business is excellently positioned to solve the problems of our customers also in future competently.

I was also delighted with the many prizes awarded for the work of the Fraunhofer IOF. The most prominent was without doubt the Joseph von Fraunhofer Prize, awarded to us jointly with two other Fraunhofer institutes for the development of components and systems for EUV lithography. Work on this topic in the Fraunhofer Society first began some 15 years ago – and the technologies are now close to market launch. This clearly shows the importance of perseverance and belief in a topic. I was also pleased by the awards presented to our young scientists, for example the Nano-SiS junior research group who were named "German High Tech Champions", our recognition as a "Selected Location in the Land of Ideas" with compound optics or the presentation of the CiS award to Astrid Bingel for her diploma thesis.

LÖSUNGEN MIT LICHT SOLUTIONS WITH LIGHT

»Ausgewählter Ort im Land der Ideen« mit den Facettenoptiken oder die Auszeichnung von Astrid Bingel mit dem CiS-Preis für ihre Diplomarbeit.

Wie beurteilen Sie die Entwicklung des Instituts im vergangenen Jahr?

Das Fraunhofer IOF hat sich 2012 sehr positiv entwickelt. Wir haben einen außerordentlich hohen Ertrag mit Industrieprojekten erzielt. Das war bemerkenswert, da viele erwartet haben, dass sich die Rahmenbedingungen für unsere Hauptkunden, die deutschen KMU, 2012 deutlich verschlechtern würden. Allen Unkenrufen zum Trotz ist die wirtschaftliche Situation in Deutschland stabil geblieben. Wir haben noch nie so viele Projekte mit Industriepartnern aus Deutschland und Europa wie im vergangenen Jahr durchgeführt. Das zeigt, dass die Unternehmen an ihre Zukunftsfähigkeit glauben. Dieser Trend setzt sich fort, wir haben einen hervorragenden Auftragseingang – und zwar aus allen Branchen.

Welche Forschungsschwerpunkte hat das Fraunhofer IOF 2012 gesetzt?

Ein Schwerpunkt unserer Forschungsarbeiten lag im Zukunftsfeld »Green Photonics«. So wurde z.B. ein optisches Messsystem für die 100-Prozent-Prüfung in der Fertigungslinie mit Taktzeiten von wenigen 10 Millisekunden und einer Datenrate von 30 Mio. Pixel pro Sekunde entwickelt. Ein wichtiger Durchbruch ist uns in der Faserlasertechnik gelungen. Mit einer neuen Technik, dem kohärenten Kombinieren von mehreren parallel geschalteten Verstärkern, konnten wir die Pulsspitzenleistung von Ultrakurzpulslasern deutlich steigern. Die Technik ist auf alle Lasergeometrien übertragbar und kann die Entwicklung von Hochintensitätslasern revolutionieren. Eine mögliche Anwendung ist die Laserteilchenbeschleunigung. Diese Arbeiten erfolgen in Kooperation mit dem Helmholtz-Institut Jena und den Helmholtz-Zentren DESY in Hamburg und GSI in Darmstadt.

Ein wichtiges Thema ist weiterhin die LED-Technik.

How would you rate the development of the institute over the past year?

The Fraunhofer IOF made very positive progress in 2012. We generated an extremely high income with industrial projects. This is all the more remarkable as many people expected the economic conditions for our main customers, German SMEs, to deteriorate greatly in 2012. Despite all predictions to the contrary, the economic situation in Germany has remained stable. Before last year, we had never carried out so many projects with industrial partners in Germany and Europe. This shows that companies believe in their future potential, and is a continuing trend: we have an outstanding level of incoming business – from all sectors.

What were the research priorities at Fraunhofer IOF in 2012?

One focal area of our research was the cutting-edge field of "green photonics". Here, for example, an optical measuring system for 100 percent examination in the production line with cycle times of a few 10 milliseconds and a data rate of 30 m pixels per second was developed. We achieved a key breakthrough in fiber laser technology. Using a new technique, the coherent combination of several amplifiers switched in parallel, we were able to considerably increase the pulse peak power of ultrashort pulsed lasers. The technology can be applied to all laser geometries and may revolutionize the development of high intensity lasers. One possible application is in laser particle acceleration. This work is carried out in association with the Helmholtz Institute Jena and the Helmholtz DESY and GSI centers in Hamburg and Darmstadt.

LED technology remains an important topic, in which issues related to areas from structured illumination to ultra-flat LED-based projectors are increasing in significance. Our extension building is itself an object of research here. It was equipped with LED lighting as part of a pilot project carried out by the Federal

Hier gewinnen Fragestellungen zur strukturierten Beleuchtung bis hin zu ultraflachen LED-basierten Projektoren immer mehr an Bedeutung. Auch unser Erweiterungsbau selbst ist hier Forschungsgegenstand. Er wurde im Rahmen eines Pilotprojekts des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung mit LED-Beleuchtung ausgestattet. Derzeit erfassen wir die Betriebsdaten unter realen Bedingungen, um Referenzdaten für zukünftige Bauvorhaben zu liefern. Ein Clou ist, dass die Beleuchtung den Tageslichtverlauf nachbildet, so steigt z.B. der Blauanteil im Farbspektrum zur Mittagszeit an.

Hat sich die strategische Ausrichtung des Fraunhofer IOF verändert?

Viele unserer heutigen Kunden sind Unternehmen der Optik- und Photonikbranche. Im Jahr 2012 hat sich der Trend fortgesetzt, dass Projekte mit Unternehmen aus anderen Branchen an Bedeutung gewinnen, z.B. in der Automobil-, Fertigungs-, Medizin- und Sicherheitstechnik. Da unsere Kunden zunehmend Gesamtlösungen erwarten, müssen wir unsere Kompetenzen in der Elektronik, Informationstechnik sowie der Aufbau- und Verbindungstechnik erweitern. Daher bauen wir strategische Partnerschaften aus, betreiben aber auch eine aktive Personalentwicklungspolitik.

Auch auf unserem Kerngebiet der Optik und Feinmechanik stehen wir vor neuen Herausforderungen. So wird die Freiformoptik infolge ihrer inhärenten Vorteile im Design optischer Systeme immer wichtiger. Mit Unterstützung der Industrie und in Kooperation mit der Friedrich-Schiller-Universität Jena konnten wir hierzu eine Stiftungsprofessur »Theorie optischer Systeme« einrichten. Von strategischer Bedeutung für den Photonikstandort Jena ist die Einrichtung einer Fasertechnologiegruppe am Fraunhofer IOF, die in Kooperation mit dem Institut für Photonische Technologien das Ziel verfolgt, kundenspezifische Spezialfasern für die deutsche Laserindustrie bereitzustellen. Diese Maßnahme wird in der Startphase bis 2013 vom Bund, dem Freistaat Thüringen und mehreren Unternehmen unterstützt.

Ministry of Transport, Building and Urban Development. At the present time, we are recording the operating data under real-world conditions to obtain reference data for future construction projects. A key feature is the replication of the natural course of daylight in the illumination, e.g. the blue content in the color spectrum increases around noon.

Has there been a change in the Fraunhofer IOF's strategic orientation?

Many of our present customers are companies in the optics and photonics industries. The increased importance of projects with companies from other industries, for example automotive, production, medical and safety engineering, continued in 2012. As our customers are increasingly requiring complete solutions, we must enhance our expertise in electronics, information technology and in assembly and packaging technology. This is why we are not only growing our strategic partnerships but also adopting active personnel development policies.

We also see new challenges in our core area of optics and precision engineering. Free-form optics are becoming increasingly important in the design of optical systems due to their inherent advantages. With support from industry and in association with the Friedrich Schiller University Jena, we established an endowed chair for the "theory of optical systems". Of strategic importance for Jena as a center of photonics was the establishing of a fiber technology group at the Fraunhofer IOF, which in cooperation with the Institute of Photonic Technology aims to supply customized special fibers to the German laser industry. In the initial phase until 2013, this project is being supported by the German government, the Free State of Thuringia and several companies.

THEMEN FÜR 2013

TOPICS FOR 2013

Kommen wir zur Zukunft. Welchen Themen wird sich das Fraunhofer IOF 2013 insbesondere widmen?

In letzter Zeit haben wir verstärkt Themenstellungen aufgenommen, die branchenübergreifende Bedeutung haben. Einen Forschungsschwerpunkt wird die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine bilden. Menschen interagieren mit ihrer Umwelt über unterschiedliche Sinnesorgane wie Augen, Nase, Ohren und Haut. Dabei hat der visuelle Sinn eine besondere Bedeutung, durch Analyse von Mimik, Gestik und Körperhaltung können wir Informationen gewinnen und komplexe Entscheidungsprozesse einleiten. Grundlage ist die Fähigkeit zur Wahrnehmung dynamischer Bewegungsabläufe im Raum gepaart mit kognitiver Intelligenz. Die Interaktion von Maschinen mit der Umwelt und dem Menschen ist demgegenüber bis heute weitestgehend auf die unnatürliche Nutzung von definierten Ein- und Ausgabemedien beschränkt. Allgemein bleiben die Fähigkeiten von Maschinen zur Aufnahme und Interpretation komplexer Szenarien weit hinter jenen des Menschen zurück. Einzelne existierende technische Lösungen der (teil-)autonomen Interaktion von Maschinen mit Umwelt und Mensch sind meist auf spezifische Anwendungen beschränkt. Die technische Informationsaufnahme steht vor einem revolutionären Wandel. 200 Jahre nach der Entwicklung der monoskopischen analogen Fotografie und 20 Jahre nach der Einführung der digitalen Fotografie stehen heute stereoskopische Systeme zur Aufnahme und Wiedergabe räumlicher Bildinformationen zur Verfügung. Neue Aufnahmetechniken wie das plenoptische Prinzip liefern weitere Tiefeninformationen unserer Umwelt. Die 3D-Welt hat bereits Eingang in die digitalen Medien gefunden – Blockbuster wie der Film »Avatar« demonstrieren eindrucksvoll die technischen Möglichkeiten. Diesen revolutionären Wandel möchten wir als IOF mitgestalten.

Was kann das Fraunhofer IOF zu dieser Entwicklung beitragen?

Am Fraunhofer IOF beschäftigen wir uns seit vielen Jahren sehr erfolgreich mit der optischen 3D-Messtechnik.

Let's talk about the future. What are the main topics the Fraunhofer IOF will address in 2013?

In the recent past, we have increasingly been addressing topics with cross-sectoral significance. One research priority will be communication between man and machine. People interact with their environment using different sensory organs such as eye, nose, ears and skin. The visual sense occupies a special role, as by analysing facial expressions, body language and gesture we can obtain information and start complex decision-making processes. The basic requirement is the ability to perceive dynamic motion in space coupled with cognitive intelligence. On the other hand, the interaction of machines with environment and persons has to date been largely limited to the unnatural use of defined input and output media. In general, the abilities of machines to perceive and interpret complex scenarios lag far behind those of humans. Isolated existing technical solutions for the (partially) autonomous interaction of machines with environment and persons are usually restricted to specific applications.

Technical acquisition of information is on the verge of revolutionary change. 200 years after the development of monoscopic analog photography and 20 years following the launch of digital photography, we now have stereoscopic systems for acquiring and reproducing spatial image information. New recording technologies such as the plenoptic principle supply further depth information on our environment. The world of 3D has already become established in the digital media – blockbusters like the film "Avatar" impressively demonstrate the technical possibilities. At the Fraunhofer IOF, we want to play a part in this revolution.

What can the Fraunhofer IOF contribute to this development?

For many years, we have been carrying out highly successful work in optical 3D metrology at the Fraunhofer IOF. We are, however, also working on things like stereoscopic systems or the

Wir arbeiten aber auch an stereoskopischen Systemen oder der plenoptischen Kamera. Um die Herausforderungen im Bereich der Mensch-Maschine-Kommunikation zu meistern, haben wir transdisziplinäre Arbeitsgruppen eingerichtet, mit Experten aus den Neuro- und Kognitionswissenschaften, aus Maschinenbau, Physik und Informatik bis hin zu Arbeitswissenschaft und Arbeitsrecht. Unter dem Slogan »3Dsensation« wird sich diese Allianz im Förderprogramm »Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung bewerben.

Haben Sie weitere Ziele für 2013?

Im Jahr 2013 werden wir eine Vielzahl von Vorhaben mit unseren Kunden und im Rahmen der Eigenforschung vorantreiben. So werden wir an neuen optischen Systemen für Weltraummissionen arbeiten, neue Wellenlängen im extrem-ultravioletten Spektralbereich erschließen und die Auflösung unserer ultraflachen Multi-Apertur-Kamerasysteme erhöhen, um nur ein paar Beispiele zu nennen.

Unsere Arbeit wäre nicht möglich ohne unsere zahlreichen Partner in Wissenschaft und Wirtschaft, denen ich für die gute Zusammenarbeit danke. Mein Dank gilt auch dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, den Thüringer Ministerien für Bildung, Wissenschaft und Kultur sowie für Wirtschaft, Arbeit und Technologie sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft für ihre stetige Unterstützung. Meinen besonderen Respekt, meine Anerkennung und meinen Dank verdienen meine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für ihre hervorragenden Leistungen und ihr Engagement. Ihre Arbeiten bilden die Grundlage für die überaus positive Entwicklung des Instituts in den letzten und hoffentlich auch nächsten 20 Jahren.

Herr Tünnermann, ich danke Ihnen für das Gespräch.

Ilka Flegel

plenoptic camera. In order to meet the challenges of human-machine communication, we have set up interdisciplinary working groups with experts in the neurosciences and cognitive sciences, in the machinery, physics and computer science sectors and in ergonomics and labor law. As a consortium going under the tagline "3Dsensation", this alliance is applying to the "Twenty20 – Partnership for Innovation" funding program established by the German Federal Ministry of Education and Research.

Do you have further goals for 2013?

We will be driving forward a multitude of projects with our customer and in the context of in-house research in 2013. To name just a few examples, we will work on new optical systems for space missions, pave the way for new wavelengths in the extreme ultraviolet spectral range and increase the resolution of our ultra-flat multi-aperture camera systems.

The work we do would not be possible without our numerous partners in science and business, whom I would like to thank for their excellent collaboration. My thanks also go to the Federal Ministry of Education and Research, the Thuringian Ministries of Education, Science and Culture, and Business, Work and Technology, and the German Research Foundation for their unfailing support.

I wish to express my great respect, admiration and thanks to my employees for their outstanding performance and engagement. Their work is the cornerstone of the institute's extremely positive development over the last – and hopefully also the next – 20 years.

Prof. Tünnermann, thank you for this interview.

INHALT

Das Institut im Profil	10
Ausgewählte Ergebnisse 2012	24
Optische Komponenten und Systeme	26
Arrayprojektion auf Freiformflächen	28
Optimierte Hochleistungsgitter mit ALD-Schichten	30
Stör- und Streulichtanalyse optischer Systeme und Sensoren	32
Phasenschiebender Streifenprojektor basierend auf einem maßgeschneiderten Freiformspiegel	34
Diamantbearbeitung und Prüfung von Freiformoptiken	36
Textile Silizium-Solarzellen auf Glasfaserverbundsystemen (TexSiSolar)	38
Herstellung chiraler Nanomaterialien mittels On-Edge-Lithography	40
Diffraktive Elemente auf Basis resonant-dispersiver Metamaterialien	42
Photonisches Graphen	44
IR-Teleskop mit Freiformkomponente	46
Feinmechanische Komponenten und Systeme	48
Präzisionspositioniersystem für Elektronenstrahlenwendungen	50
Entwicklung eines UV-Lasermoduls	52
Design von Leichtgewicht-Metallspiegeln	54
Funktionale Oberflächen und Schichten	56
Adhok – Oberflächenstrukturen zur Adhäsionserhöhung	58
Lebensdauer und Reinigung von Multilayer-LPP-Kollektorspiegeln	60
Rauheit ultra-glatte Oberflächen und Beschichtungen für den EUV-Bereich	62
Aufklärung der Defektunterdrückung in flammbeschichteten Glasoberflächen	64
Nanostrukturierte Grenzflächen und dünne Schichten für die Photovoltaik	66
efficient design – Solarzellen für bauwerkintegrierte Photovoltaik	68
Interferenzschichtsysteme mit Metallinseln für VIS-Applikationen	70
Ultrapräzise Metalloptik mit amorpher Siliziumschicht	72
Photonische Sensoren und Messsysteme	74
Arrayprojektor für die High-Speed 3D-Sensorik	76
Parallelisierte Fertigung mikrooptischer Abbildungsmodule	78
Ultra-dünnes Array-Mikroskop mit integrierter Beleuchtung	80
Messeinsatz für die Spektralphotometrie bei 60° Einfallswinkel	82
Lasertechnik	84
LIDAR-Faserlaser für Weltraumanwendungen und Windanlagen	86
Faserbasierte Kurzpuls laserquellen für die nichtlineare Mikroskopie	88
Antireflexschichten für Hochleistungs-Laseranwendungen	90
Direktes Bonden von Lasermaterialien	92
Fraunhofer-Verbund Light & Surface und Fraunhofer-Gesellschaft	94
Namen, Daten, Ereignisse	100

CONTENT

Profile of the institute	10
Selected results 2012	24
Optical components and systems	26
Array projection on free-form surfaces	28
Optimized high-performance gratings with ALD-coatings	30
Stray light analysis of optical systems and sensors	32
Phase-shifting fringe projector based on a tailored free-form mirror	34
Diamond machining and testing of freeform optics	36
Textile silicon solar cells on fiber glass compound systems (TexSiSolar).....	38
Chiral nanomaterial fabrication by on-edge lithography	40
Diffractive elements based on resonant-dispersive metamaterials	42
Photonic graphene.....	44
IR-telescope with free-form component	46
Precision engineering components and systems	48
Precision positioning system for electron beam applications	50
Development of a UV laser module	52
Design of lightweight metal mirrors	54
Functional surfaces and layers	56
Adhok – Surface structures for adhesion improvement	58
Life cycle and cleaning of multilayer LPP collector mirrors	60
Roughness of ultra-smooth surfaces and coatings for EUV applications	62
Investigation of defect suppression in flame coated glass surfaces	64
Nanostructured interfaces and thin films for photovoltaics	66
efficient design – customized solar cells for buildings and facades	68
Interference coatings with incorporated metal island films for VIS applications	70
Ultra-precise metal optics with amorphous silicon layer	72
Photonic sensors and measuring systems	74
Array projection for high-speed 3D sensing	76
Batch fabrication of micro-optical imaging modules	78
Ultra-thin array microscope with integrated illumination.....	80
Accessory for the spectrophotometry at 60° angle of incidence	82
Laser technology	84
LIDAR laser for space applications and wind-turbines	86
Fiber-based short-pulse laser sources for nonlinear microscopy	88
Antireflection coatings for high power laser optics	90
Direct bonding of laser materials.....	92
Fraunhofer Group for Light & Surface and Fraunhofer-Gesellschaft	94
Names, data, activities	100



DAS INSTITUT IM PROFIL

PROFILE OF THE INSTITUTE

In diesem Jahr konnte das Fraunhofer IOF sein 20-jähriges Institutsjubiläum mit Gästen aus Politik und Wirtschaft, unseren Kunden und natürlich mit allen aktuellen und ehemaligen Mitarbeitern feiern. Das Fraunhofer IOF betreibt mit seinen Partnern weiterhin anwendungsorientierte Forschung auf dem Gebiet der optischen Systemtechnik im direkten Auftrag der Industrie und im Rahmen von öffentlich geförderten Verbundprojekten. Ziel ist die Entwicklung innovativer optischer Systeme zur Kontrolle von Licht, von der Erzeugung bis hin zur Anwendung in den Zukunftsfeldern Energie und Umwelt, Information und Kommunikation, Gesundheit und Medizintechnik sowie Sicherheit und Mobilität. Eine besondere Rolle spielt dabei die nachhaltige Nutzung von Licht - »Green Photonics« im Rahmen des Fraunhofer-Innovationsclusters.

Zum Erreichen dieser Zielstellungen bildet das IOF die gesamte Prozesskette vom Systemdesign bis zur Fertigung von Prototypen optischer, opto-mechanischer und opto-elektronischer Systeme ab. Hierfür nutzen wir unser umfangreiches Kompetenzportfolio, welches auf der nachfolgenden Doppelseite im Einzelnen dargestellt wird. Von strategischer Bedeutung ist hierbei die enge Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität FSU-IAP, insbesondere bei der Erarbeitung des wissenschaftlichen Vorlaufs und der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

Das Fraunhofer IOF ist den fünf Geschäftsfeldern Optische Komponenten und Systeme, Feinmechanische Komponenten und Systeme, Funktionale Oberflächen und Schichten, Photonische Sensoren und Messsysteme sowie Lasertechnik tätig. Durch die enge Verzahnung der Geschäftsfelder und die intensiven Kontakte des Instituts zur Grundlagenforschung können Systemlösungen für die Kunden erarbeitet werden. Die Geschäftsfelder des Fraunhofer IOF sind im Abschnitt der wissenschaftlichen Beiträge einzeln vorgestellt und adressiert.

This year, the Fraunhofer IOF celebrated its 20-year anniversary with guests from the worlds of politics and business, our customers and, of course, current and former employees. The Fraunhofer IOF and its partners continue to carry out applied research in the field of optical system technology on the direct commission of industry and as part of publicly funded joint projects. The objective is to develop innovative optical systems to control light, from its generation to its application in the cutting-edge fields of energy and the environment, information and communication, health and medical technology, safety and mobility. Of related significance, the sustainable use of light – “green photonics” – is a crucial area of work in the Fraunhofer innovation cluster.

To achieve these goals, the Fraunhofer IOF charts the entire process chain, from the system design to the manufacture of prototype optical, optomechanical and optoelectronic systems. We utilize our extensive portfolio of skills, presented in detail on the following double page. In this context, the close cooperation with the Institute of Applied Physics at the Friedrich Schiller University (FSU-IAP) is of particular strategic importance in both covering the scientific lead work and training young scientists.

The Fraunhofer IOF works in the five business fields of optical components and systems, precision engineering components and systems, functional surfaces and layers, photonic sensors and measuring systems and laser technology. The close cooperation among the business fields and the institute's strong links with basic research bodies makes possible the development of system solutions for customers. The business fields at the Fraunhofer IOF are separately presented and described in the section of scientific articles.

KOMPETENZEN COMPETENCES

Design und Simulation

Zentrale Kompetenz und Basis aller Entwicklungen am Fraunhofer IOF sind Optik- und Mechanik-Design sowie die Simulation und Analyse optischer und opto-mechanischer Systeme einschließlich thermischer und thermo-optischer Effekte. Umfangreiche Design- und Modellierungswerkzeuge und aufgabenspezifische Add-ons erlauben die Simulation und Optimierung von Systemen.

Mikro- und Nanostrukturierung

Die Erzeugung und Replikation optischer Mikro- und Nanostrukturen ist Grundlage für moderne komplexe optische Systeme. Die am Institut vorhandene technologische Basis erlaubt die Fertigung und Charakterisierung von High-End mikro- und nanooptischen Elementen höchster Auflösung auf bis zu 12"-Substraten.

Materialien der Optik und Photonik

Die Nanostrukturtechnik ermöglicht die Entwicklung neuer Materialien für Optik und Photonik, wie beispielsweise photonische Kristalle und Metamaterialien. Die Erforschung dieser Materialien erfolgt im Zentrum für Innovationskompetenz »ultra optics®«.

Beschichtung und Oberflächenfunktionalisierung

Funktionale Beschichtungen und Oberflächen sind wesentlicher Bestandteil optischer Systeme. Umfangreiche Kompetenzen bestehen im Design optischer Schichtsysteme, in der Entwicklung von Beschichtungsverfahren für unterschiedliche Anwendungen und in der Charakterisierung von Oberflächen und Schichten.

Ultrapräzisionsbearbeitung

Das Fraunhofer IOF stellt mittels Ultrapräzisionsbearbeitung Metallspiegel, Gitter und kunststoffbasierte Linsen und Linsenarrays her. Eingesetzt werden Diamantwerkzeuge zur Bearbeitung von Metall-, Kristall- und Kunststoffoptiken für die Anwendung im Wellenlängenbereich von 14 µm bis 13,5 nm.

Design and simulation

The core area of expertise and the basis of all development at Fraunhofer IOF is optical and mechanical design and the simulation and analysis of optical and optomechanical systems, including thermal and thermo-optical effects. Wide-ranging design and modelling tools, together with task-specific add-ons, enable the simulation and optimization of systems.

Micro- and nanostructuring

The generation and replication of optical micro- and nanostructures are basis for modern and complex optical systems. The technological equipment available at the institute enables the production and characterization of high-end micro- and nano-optical elements of highest resolution on substrates up to 12".

Optics and photonics materials

Nanostructure technology enables the development of new materials for optics and photonics, such as photonic crystals and metamaterials. The investigation of these materials is carried out at the Center for Innovation Competence "ultra optics®".

Coating and surface functionalization

Functional coatings and surfaces are an essential element of optical systems. We offer extensive expertise in the design of optical layer systems, in the development of coating processes for diverse applications and in the characterization of surfaces and layers.

Diamond-based ultra-precision processing

The Fraunhofer IOF manufactures metal mirrors, gratings and plastic-based lenses and lens arrays using ultra-precision processing. For this purpose diamond tools are used to process metal, crystal and plastic optics for application in the wavelength range from 14 µm to 13.5 nm.

Ultrakurzpuls-Laserbearbeitung

Ultrakurzpuls laser mit Pulsdauern von wenigen Pikosekunden oder Femtosekunden besitzen hohes Einsatzpotenzial zur hochpräzisen Strukturierung verschiedener Materialien. Aufgrund der kurzen Energiedeposition in einem Zeitbereich, der unterhalb der thermischen Relaxationszeit liegt, lässt sich ein Abtrag praktisch ohne mechanische oder thermische Schädigung des Werkstücks erzielen.

Mikromontage und Systemintegration

Das Fraunhofer IOF besitzt umfangreiches Know-how in der Entwicklung von Technologien zur hybriden Integration unterschiedlicher Komponenten mit hoher Präzision für den Aufbau komplexer opto-mechanischer und opto-elektronischer Mikro- und Makrosysteme. Dieses umfasst Montagetechnologien (Positionieren, Justieren), Fügetechnologien (Kleben, Laserlöten, Plasmabonden, Laserspleißen, Justierdrehen) und Integration.

Laserentwicklung und nichtlineare Optik

Für die Entwicklung von Hochleistungs-Faserlasern mit beugungsbegrenzter Strahlqualität bestehen am Fraunhofer IOF Kompetenzen in Faserdesign, Optikdesign und Thermo-optik, in der Aufbau- und Verbindungstechnik für Faserlaser und in der Entwicklung effizienter Fasereinkoppler und Strahlführungssysteme.

Messverfahren und Charakterisierung

Das Fraunhofer IOF entwickelt optische Messverfahren und -systeme nach kundenspezifischen Anforderungen. Schwerpunkte sind die Charakterisierung optischer und nichtoptischer Oberflächen, Schichten, Komponenten und Systeme im Mikro- und Subnanobereich sowie die 3D-Formfassung.

Materials processing using ultrashort laser pulses

Ultrashort pulse lasers with pulse durations of a few picoseconds or femtoseconds show great potential for highly-precise structuring of a wide range of materials. Due to the short energy deposition in the time range below the thermal relaxation time, a material removal can be achieved with practically no mechanical or thermal damage.

Micro-assembly and system integration

The Fraunhofer IOF possesses extensive expertise in the development of technologies for the hybrid integration of diverse components with high precision for the setup of complex opto-mechanical and opto-electronic micro- and macrosystems. This encompasses assembly technologies (positioning, aligning), joining technologies (bonding, laser soldering, plasma bonding, laser splicing, alignment turning) and integration.

Laser development and non-linear optics

For the development of high-power fiber lasers with diffraction-limited beam quality, Fraunhofer IOF possesses expertise in fiber design, optics design and thermo-optics, in assembly and packaging technology for fiber lasers and in the development of efficient fiber couplers and beam guidance systems.

Measurement methods and characterization

The Fraunhofer IOF develops optical measurement methods and systems to customer requirements. Key areas include the characterization of optical and non-optical surfaces, layers, components and systems in the micrometer and sub-nanometer range and in 3D shape acquisition.

ORGANISATION ORGANIZATION

 Director Prof. Dr. Andreas Tünnermann	 Deputy Director Prof. Dr. Norbert Kaiser	 Assistance Adlin Bruns Dipl.-Betriebsw. (FH)	 Assistance Susan Oxfart Dipl.-Betriebsw. (FH)
DEPARTMENT OPTICAL COATINGS	DEPARTMENT OPTICAL SYSTEMS	DEPARTMENT MICROOPTICAL SYSTEMS	DEPARTMENT PRECISION ENGINEERING
 Head of Department Prof. Dr. Norbert Kaiser	 Head of Department Dr. Gunther Notni	 Head of Department Dr. Andreas Bräuer	 Head of Department Dr. Ramona Eberhardt
 VUV to NIR Coatings Dr. Olaf Stenzel	 Characterization of Surfaces and Coatings Dr. Angela Duparré	 Illumination Dr. Peter Schreiber	 Microassembly Dr. Erik Beckert
 Optical Coatings on Plastics Dr. Ulrike Schulz	 3D Measurement Dr. Peter Kühmstedt	 Technology and Integration Dr. Peter Dannberg	 Precision Systems Dr. Stefan Risse
 EUV and X-ray Optics Dr. Torsten Feigl	 Optical System Development Constanze Großmann	 Imaging Dr. Frank Wippermann	 CAD Dr. Thomas Peschel
		 CMN-Optics Dr. Uwe Detlef Zeitner	 Fiber Lasers Dr. Thomas Schreiber

FRIEDRICH SCHILLER UNIVERSITY JENA INSTITUTE OF APPLIED PHYSICS

 Coordination Dr. Frank Schrepel	 Laser Shaping Prof. Dr. Stefan Nolte	 Micro-Structuring Dr. Ernst-Bernhard Kley	 Fiber Lasers Prof. Dr. Jens Limpert
--	---	--	--

RESEARCH CENTERS

<p>ultra optics® Center of Innovation Competence</p> <p>Prof. Dr. Thomas Pertsch</p> 	<p>amos Applikationszentrum Mikrooptische Systeme</p> <p>Dr. Oliver Mauroner</p> 	<p>Transparent Conductive Coatings Junior Research Group</p> <p>Kevin Fücksel</p> 
---	--	--

KURATORIUM ADVISORY COMMITTEE



Strategic Controlling
Elke Heuer
Dipl.-Oec.

INFRASTRUCTURE



**Strategy, Marketing,
Coordination**
Dr. Oliver Mauroner



Administration
Astrid Deppe
Dipl.-Kffr.



Technical Services
Wieland Stöckl
Dipl.-Ing. (FH)



Nano-Optics
Prof. Dr. Thomas Pertsch

**Insect Inspired Imaging
Junior Research
Group**
Andreas Brückner,
Dr. Robert Leitel



VORSITZENDER | CHAIR

- Dr. Michael Mertin | JENOPTIK AG, Jena

MITGLIEDER | MEMBERS

- Dr. Klaus Bartholmé | Friedrich-Schiller-Universität, Jena
- Petra Bogdanski | Mahr-OKM GmbH, Jena
- Dr. Hans Eggers | Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn
- Dipl.-Ing. Robert Fetter | (ab 19.04.12) Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, Erfurt
- Karin Holota | Holota Optics, Bad Tölz
- Kornelia Kanitz | (bis 19.04.12) Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, Erfurt
- Dr. Roland Langfeld | Schott AG, Mainz
- Prof. Dr. Falk Lederer | Friedrich-Schiller-Universität, Physikalisch-Astronomische Fakultät, Jena
- Dr. Mario Ledig | Qioptiq Photonics GmbH & Co KG, Feldkirchen
- Dr. Peter Leibinger | (bis 19.04.12) TRUMPF GmbH + Co. KG, Ditzingen
- Prof. Dr. Roland Sauerbrey | Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Dresden
- Dr. Christian Schmitz | (ab 19.04.12) TRUMPF GmbH + Co. KG, Ditzingen
- Dr. Frank Stietz | Carl Zeiss AG, Oberkochen
- Dr. Berit Wessler | OSRAM GmbH, München
- Dr. Werner Wilke | VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin
- Dr. Dirk Zittlau | Continental Automotive GmbH, Babenhausen

EHRENMITGLIEDER | HONORARY MEMBERS

- Dr. Franz-Ferdinand von Falkenhausen
- Prof. Dr. Wolfgang Karthe

DAS INSTITUT IN ZAHLEN

THE INSTITUTE IN FIGURES

Betriebshaushalt

Der Betriebshaushalt 2012 ist gegenüber dem Vorjahr um über 12% gewachsen, wobei die Aufwendungen für Personal geringer (10,5%) anstiegen als die Sachausgaben (15%). Basis der erfolgreichen Entwicklung ist der hohe Ertragsanteil aus der Auftragsforschung. Der Industrieertrag (+23%) erreichte mit fast 11 Millionen Euro den höchsten Wert seit der Institutsgründung. Die eingeworbenen öffentlichen Mittel reduzierten sich hingegen (- 8,2%).

Investitionen

Die kontinuierliche Investition in Infrastruktur ist notwendige Grundlage für die erfolgreiche Entwicklung innovativer Lösungen für unsere Auftraggeber. 2012 wurden insgesamt 3,5 Millionen Euro in die Erweiterung der technologischen Infrastruktur des Instituts investiert.

Personal

Mit dem Anwachsen des Betriebshaushalts konnten auch 2012 neue Arbeitsplätze geschaffen werden. So wuchs die Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter und Doktoranden gegenüber 2011 um 4,5%, die Zahl der technischen

Operating budget

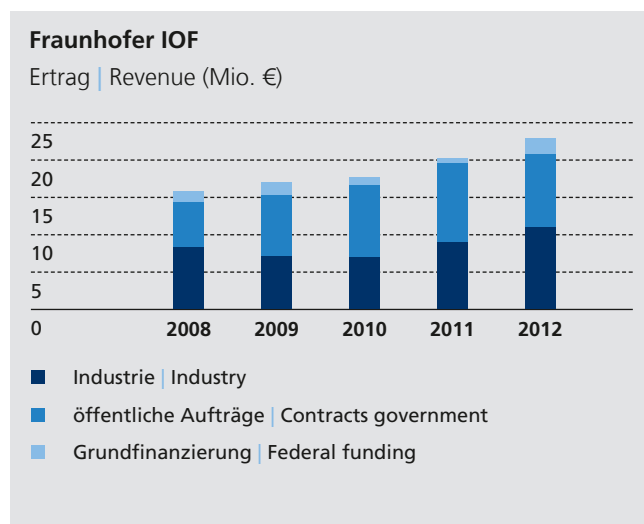
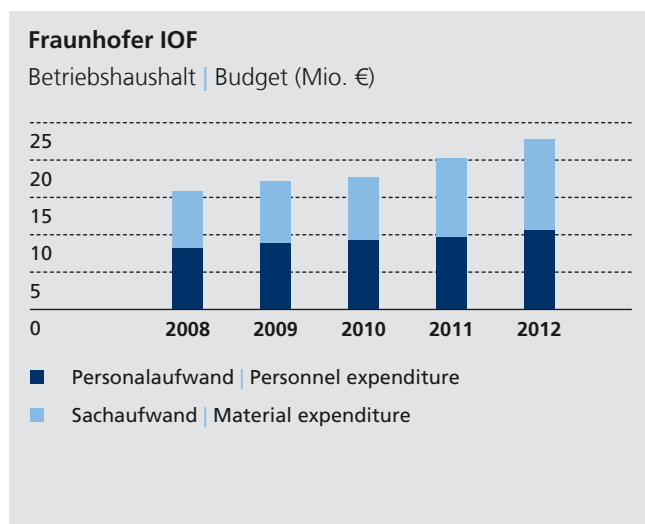
Compared with the previous year the operating budget increased in 2012 by more than 12%, with expenditure for staff rising less (10.5%) than material costs (15%). The basis of this successful development is the high share of revenue from contract research. The industry revenue (+ 23%) reached with nearly 11 million euros the highest value in institute history. The received public funding decreased (- 8.2%).

Investments

The continuous investment in infrastructure is the necessary basis for the successful development of innovative solutions for our customers. A total of 3.5 million euros was invested in expanding the technological infrastructure of the institute in 2012.

Staff

The increase in operating budget enabled the creation of further new jobs in 2012. The number of research assistants and doctoral candidates has risen by 4.5% compared to 2011, the number of technical assistants has grown by 6.5%. The training of young researchers is coordinated



Mitarbeiter wurde um 6,5% erhöht. Die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses erfolgt in enger Zusammenarbeit mit Hochschuleinrichtungen, insbesondere der Friedrich-Schiller-Universität und der Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena.

Das FSU-IAP 2012 in Zahlen

Die Mitarbeiter des FSU-IAP konnten für 2012 Drittmittel in Höhe von 10,4 Millionen Euro einwerben. Auch am FSU-IAP gehört die kontinuierliche Investition in Infrastruktur zur Entwicklungsstrategie, 2012 wurden mehr als 5 Millionen Euro für Investitionen aufgewendet.

Zum Institut gehörten 2012 7 Professoren, 30 wissenschaftliche und 20 technische Mitarbeiter sowie 102 Doktoranden und 52 Studenten und Schülerpraktikanten. Die große Zahl der abgeschlossenen Qualifizierungsarbeiten ist im Anhang aufgelistet.

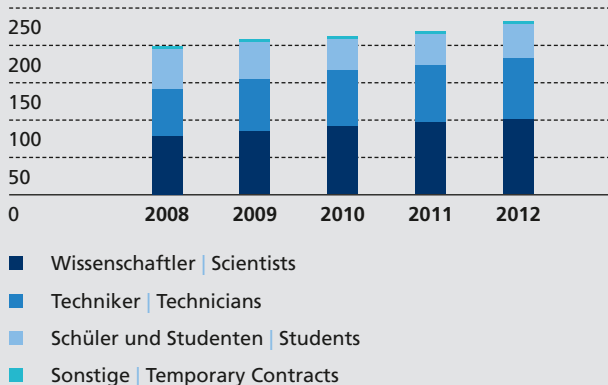
closely with institutions of higher education, in particular the Friedrich Schiller University and the University of Applied Sciences Jena.

The FSU-IAP in figures 2011

Employees at FSU-IAP acquired external funds worth 10.4 million euros in 2012 (see table). Continuous investment in infrastructure is also part of the development strategy at FSU-IAP, approx. Five million euros were spent on investments in 2012. A total staff of 7 professors, 30 research assistants, 20 technical assistants, 102 doctoral candidates and 52 students and student internships were working at FSU-IAP in 2012. The majority of completed theses are listed in the attachment.

Fraunhofer IOF

Mitarbeiter (Vollzeitäquivalente) | Staff (full-time equivalent)



FSU-IAP

Drittmittelleinnahmen IAP 2012 |

Contract research revenue IAP 2012

Fördergeber Contracts with	Zuwendung Funds T€
BMBF	7.407
DFG	930
EU	166
Thüringen Thuringia	896
Stiftungen Foundations	97
Industrie Industry	912



Fraunhofer
IOF

FRAUNHOFER INSTITUT FÜR
ANGEWANDTE OPTIK UND FEINMECHANIK IOF

FRAUNHOFER IOF
20 JAHRE LÖSUNGEN MIT LICHT.

THE MA
WELCHUNG-PHILAN

MINNER

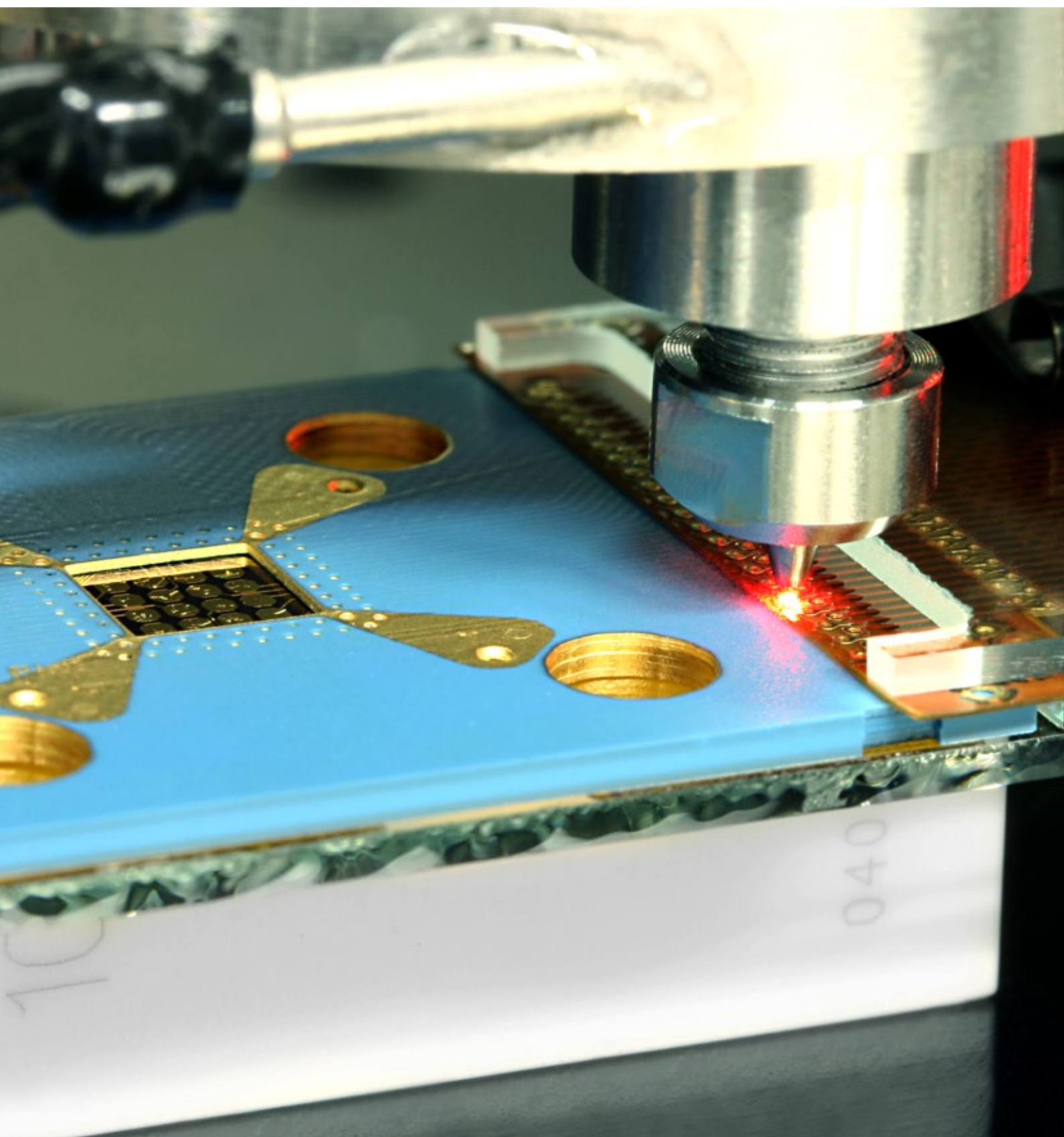
20 JAHRE LÖSUNGEN MIT LICHT. 20 YEARS OF SOLUTIONS WITH LIGHT.

Das Jahr 2012 begann für das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena mit einem Paukenschlag: 20 Jahre erfolgreiche Forschung an Lösungen mit Licht und die Einweihung des neuen Erweiterungsbaus. Anfang Februar präsentierte sich das Institut im Rahmen einer einwöchigen Ausstellung im Einkaufszentrum »Goethe Galerie Jena« der breiten Jenaer Öffentlichkeit.

Zum Festakt am 15. Februar gaben sich zahlreiche Gäste aus Politik, Wirtschaft und Forschung die Ehre, unter anderem Thüringens Ministerpräsidentin Christine Lieberknecht. »Die Erweiterung des Instituts ermöglicht es uns, neue Forschungsthemen im Bereich der grünen optischen Technologien anzugehen«, ist sich Institutsdirektor Professor Andreas Tünnermann sicher. »Ich freue mich sehr, dass wir unser 20jähriges Jubiläum mit der Einweihung des Erweiterungsbaus krönen können.« Das Bauvorhaben kostete rund 17 Mio. Euro, inklusive Erstausrüstung, und wurde durch den Bund, den Freistaat Thüringen und die Europäische Union (EFRE) finanziert. Durch den zwei Jahre dauernden Bau am Beutenberg Campus ist die Nutzfläche des Instituts um 2000 m² gewachsen, sodass nun mehr als 7000 m² Büro- und Laborfläche zur Verfügung stehen, inklusive Reinräume auf 1100 m². In den neuen Laboren werden Lösungen mit Licht unter anderem für die Zukunftsfelder Energie und Umwelt, Information und Produktion entwickelt. Besonderer Wert wurde bei der Erweiterung auf Energieeffizienz gelegt. So wurde die Beleuchtung im Rahmen eines Pilotprojekts des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) in moderner LED-Technik ausgeführt. Ziel ist es, Referenzdaten für den Einsatz der neuen Beleuchtungskörper unter realen Bedingungen zu gewinnen. Sichtbar wird diese Technologie bereits bei einem Blick auf die LED-beleuchtete Fassade. Abgeschlossen wurde das Jubiläum durch eine abendliche Festveranstaltung in der Imaginata Jena, zu der neben Gästen auch alle aktuellen und ehemaligen Mitarbeiter des IOF geladen waren.

2012 got off to an intense start at the Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering IOF in Jena: 20 years of successful research on solutions with light and the inauguration of the new extension building. In early February, the institute showcased its work to the general public in Jena during a week-long exhibition at the "Goethe Galerie" shopping mall in the city.

The ceremony on February 15 was held in the presence of many guests from the worlds of politics, business and research, including Thuringia's Minister-President Christine Lieberknecht. "The extension to the institute will enable us to address new research topics in the field of optical green technologies" said Director of the Institute Andreas Tünnermann with confidence. "I am delighted that we can crown our 20-year anniversary with the inauguration of the extension building." The construction project cost around 17 mio euros, including the basic equipment, and was financed by the German government, the Free State of Thuringia and the European Union (EFRE). After two years of construction work at the Beutenberg campus, the institute's floor space has grown by 2.000 m², increasing the overall office and laboratory space to over 7.000 m² – including 1.100 m² of clean rooms. Solutions with light, many of them addressing cutting-edge fields of energy and the environment, information and production, will be developed in the new laboratories. Particular attention was paid to energy efficiency in the extension building. The lighting system, was designed with modern LED technology developed as part of a pilot project carried out by the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development (BMVBS). The objective is to obtain reference data for the use of innovative light fittings under real-world conditions. The technology can be seen by all in the LED-illuminated façade. The anniversary concluded with a celebratory evening event at the Imaginata Jena, to which guests and both current and former IOF employees were invited.



APPLIKATIONSZENTRUM AMOS

AMOS APPLICATION CENTER

Das Applikationszentrum Mikrooptische Systeme amos verbindet die Kompetenzen und Infrastrukturen des Fraunhofer IOF mit denen des CiS Forschungsinstituts für Mikrosensorik und Photovoltaik in Erfurt. Durch die enge Verknüpfung von Optik und Sensorik werden innovative mikrooptoelektronische Lösungen (MOEMS) generiert. Das Applikationszentrum amos ist 2006 aus einem Kompetenzwettbewerb des BMBF hervorgegangen und wurde bis Ende 2012 gefördert (16SV3596).

Anwenderkonferenz Mikrooptische Systeme

Vom 20. bis 21. November zog das Applikationszentrum amos mit der »Anwenderkonferenz Optische Mikrosysteme« in Erfurt Bilanz über sechs erfolgreiche Jahre. In diesem Zeitraum wurden gemeinsam mit mehr als 30 Unternehmen FuE-Projekte durchgeführt, bei denen es vor allem um die Miniaturisierung von Sensorik und Optik und deren Integration in optoelektronische Systeme ging. Zielsetzung war, gemeinsam neue Produkte und Technologien zu entwickeln. Auf der Anwenderkonferenz wurden Ergebnisse aus den Bereichen Gesundheit und Life Science, Aufbau- und Verbindungstechnik, Messtechnik und Prozessautomation präsentiert. So wurden z. B. maschinenintegrierte Messsysteme zur dreidimensionalen Vermessung von Werkzeugschneidkanten gezeigt und Multi-Beam-Deflektoren vorgestellt, die das Herzstück hochproduktiver Lithographiesysteme sind. Darüber hinaus wurde ein Blick in die Zukunft der optischen Mikrosystemtechnik gewagt. Höhepunkte waren dabei die Eröffnungsvorträge von Vertretern der Robert Bosch Healthcare GmbH und der Sartorius Weighing Technology GmbH.

Weiterführung

Auf der Anwenderkonferenz wurde die Zusammenarbeit zwischen dem Fraunhofer IOF und dem CiS Forschungsinstitut mit der Unterzeichnung eines Kooperationsvertrages fortgeschrieben. Mit dem Kooperationsvertrag wurde die Grundlage für die zukünftige intensive Zusammenarbeit der beiden Institute im Bereich der optischen Mikrosysteme gelegt. Damit erfolgt eine strategische Weiterführung des Applikationszentrums amos.

The Application Center for Micro-Optical Systems (amos) combines the competences and infrastructures of Fraunhofer IOF with those of the CiS Research Institute for Microsensorics and Photovoltaics in Erfurt. The close linking of optics and sensor technology enables the creation of innovative micro-opto-electro-mechanical systems (MOEMS). The amos application center came off as a winner of a competence competition instituted by the Federal Ministry of Education and Research in 2006 and received funding until the end of 2012 (16SV3596).

Micro-optical Systems User Conference

From November 20 to 21, the amos application center took stock of six successful years with the "Optical Microsystems User Conference" in Erfurt. These six years have seen the completion of R&D projects with over 30 companies, primarily involving the miniaturization of sensor technology and optics and their integration in optoelectronic systems. The stated aim was the joint development of new products and technologies. Results from the fields of health and life sciences, assembly and packaging technology, metrology and process automation were presented at the user conference. Innovations shown included machine-integrated measuring systems for the three-dimensional measurement of tool cutting edges and multi-beam deflectors which form the heart of highly productive lithography systems. The conference also ventured a look ahead to the future of optical microsystem technology. Highlights here included the opening talks by representatives from Robert Bosch Healthcare GmbH and Sartorius Weighing Technology GmbH.

Evolution

The partnership of the Fraunhofer IOF and the CiS Research Institute was cemented at the user conference with the signing of a cooperation agreement. This agreement lays the foundation for the close future cooperation of the two institutes in the field of optical microsystems. This will ensure the strategic evolution of the amos application center.

LEFT *SolderJetBumping*

AUSZEICHNUNGEN UND PREISE

AWARDS AND PRIZES

Thüringer Forschungspreis 2011

Der Thüringer Forschungspreis 2011 in der Kategorie Transfer wurde am 17. Februar 2012 an Dr. Ulrike Schulz und Dr. Peter Munzert vom IOF verliehen. Die Wissenschaftler haben ein neuartiges Verfahren zur Entspiegelung von Glas- und Kunststoffoberflächen entwickelt.

CiS Preis 2012

Am 10. Mai 2012 wurde Astrid Bingel vom IOF mit dem CiS Preis ausgezeichnet. Mit diesem Preis würdigte der CiS Verein zur Förderung der Mikrosensorik und Photovoltaik ihre herausragende Diplomarbeit zum Thema »Transparente und leitfähige aluminiumdotierte ZnO-Schichten«.

Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2012

Dr. Klaus Bergmann (Fraunhofer ILT Aachen), Dr. Stefan Braun (Fraunhofer IWS Dresden) und Dr. Torsten Feigl (Fraunhofer IOF Jena) entwickelten mit ihren Teams wesentliche Elemente für die EUV-Lithographie: Strahlungsquellen (ILT), Kollektoroptiken (IOF) sowie Beleuchtungs- und Projektionsspiegel (IWS). Für ihre Leistungen in dieser strategischen Zusammenarbeit erhielten sie am 17. Mai 2012 den Joseph-von-Fraunhofer-Preis.

Ideenwettbewerb Jena-Weimar 2012

Mit ihrem neuartigen Photovoltaik-Konzept »efficient design« belegten Kevin Füchsel vom Fraunhofer IOF Jena und Dr. Reinhold Pabst vom Institut für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena am 5. Juli 2012 den dritten Platz des Ideenwettbewerbs Jena-Weimar 2012. Gewürdigt wurde die einzigartige Verknüpfung von effizienter Photovoltaik mit der Möglichkeit der völlig freien Gestaltung einer Solarfassade in Form, Farbe und Design.

Thuringian Research Award 2011

The 2011 Thuringian Research Award in the Transfer category was presented to Dr. Ulrike Schulz and Dr. Peter Munzert from the IOF on February 17, 2012. The two scientists developed an innovative method for antireflection coatings of glass and plastic surfaces.

CiS Award 2012

Astrid Bingel from the IOF was presented the CiS Award on May 10, 2012. The CiS Association for the Promotion of Microsensor Systems and Photovoltaics gave this award for her outstanding diploma thesis on "Transparent and Conductive Aluminum-doped ZnO Layers".

Joseph von Fraunhofer Prize 2012

With their teams, Dr. Klaus Bergmann (Fraunhofer ILT Aachen), Dr. Stefan Braun (Fraunhofer IWS Dresden) and Dr. Torsten Feigl (Fraunhofer IOF Jena) developed essential components for EUV lithography: beam sources (ILT), collector optics (IOF) and illuminating and projection mirrors (IWS). In honor of their work on this strategic collaboration, they were awarded the Joseph von Fraunhofer Prize on May 17, 2012.

Idea Competition Jena-Weimar 2012

With their innovative photovoltaic concept, "efficient design", Kevin Füchsel from the Fraunhofer IOF Jena and Dr. Reinhold Pabst from the Institute of Applied Physics at the Friedrich Schiller University Jena took third place in the Idea Competition Jena-Weimar 2012. The award recognized their unique combination of efficient photovoltaics and the possibility of completely free design of a solar facade with regard to form, color and design.



365 Orte im Land der Ideen

Das Fraunhofer IOF ist mit seinem Projekt »Optische Systeme mit Facettenaugentechnik« am 12. Juni 2012 im bundesweiten Wettbewerb »365 Orte im Land der Ideen« als »Ausgewählter Ort« ausgezeichnet worden.

German High Tech Champions

Mit ihrer Idee, erneuerbare Energie und außergewöhnliche Designs zu verbinden, wurden Kevin Füchsel vom Fraunhofer IOF Jena und Dr. Reinhold Pabst vom Institut für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena als »German High Tech Champions« in der Kategorie »Green Buildings« am 28. November 2012 ausgezeichnet.

Mitglied des Fachbeirats Optische Technologien

Professor Dr. Andreas Tünnermann, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF und Direktor des Instituts für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena wurde am 18. Dezember 2012 vom Verein Deutscher Ingenieure e.V. zum Mitglied des Fachbeirats Optische Technologien berufen.

365 Places in the Land of Ideas

With the "Compound Eye Optical Systems" project, the Fraunhofer IOF was recognized as a "Selected Location" in the German national competition "365 Places in the Land of Ideas" on June 12, 2012.

German High Tech Champions

With their idea of combining renewable energy and exceptional designs, Kevin Füchsel from the Fraunhofer IOF Jena and Dr. Reinhold Pabst from the Institute of Applied Physics at the Friedrich Schiller University Jena were named the "German High Tech Champions" in the "Green Buildings" category on November 28, 2012.

Member of the Advisory Board for Optical Technologies

Professor Andreas Tünnermann, Director of the Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering IOF and Director of the Institute of Applied Physics at the Friedrich-Schiller-University Jena, was appointed as member of the advisory board for optical technologies by the Association of German Engineers on December 18, 2012.

1 *Fraunhofer Forschungspreis 2012 für wesentliche Komponenten der EUV-Lithographie:*

Dr. Torsten Feigl, Dr. Stefan Braun und Dr. Klaus Bergmann (v.l.n.r.) mit einem Kollektorspiegel. |

Fraunhofer research award 2012 for essential components of the EUV lithography: Dr. Torsten Feigl, Dr. Stefan Braun and Dr. Klaus Bergmann (f.l.t.r.) with a collector mirror..

2 *Das efficient design Team (v.l.n.r. Martin Steglich, Kevin Füchsel, Astrid Bingel und Dr. Reinhold*

Pabst). | The efficient design team (from left to right: Martin Steglich, Kevin Füchsel, Astrid Bingel und Dr. Reinhold Pabst).



AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE 2012

SELECTED RESULTS 2012

Das Fraunhofer IOF betreibt mit seinen Partnern anwendungsorientierte Forschung in der optischen Systemtechnik im direkten Auftrag der Industrie und im Rahmen von öffentlich geförderten Verbundprojekten. Die optische Systemtechnik ermöglicht den Schritt von der speziellen optischen, mechanischen und elektronischen Komponente zu optischen, optomechanischen und opto-elektronischen Modulen und Systemen komplexer Funktionalität. Ziel ist die Kontrolle von Licht von dessen Erzeugung bis hin zur Anwendung.

In enger Verbindung mit dem Institut für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena betreibt das IOF angewandte und Grundlagenforschung, beginnend mit neuen Systemdesignkonzepten über die Entwicklung von Technologien, Fertigungs- und Messverfahren bis hin zum Bau von Prototypen und Pilotserien für Anwendungen im Wellenlängenbereich von Millimeter bis Nanometer.

Ausgewählte Forschungsergebnisse sind auf den folgenden Seiten dargestellt, welche im vergangenen Jahr in internen Projekten oder gemeinsam mit Partnern und Auftraggebern erzielt wurden. Die dargestellten Beispiele zeigen Lösungen für die Geschäftsfelder

- Optische Komponenten und Systeme
- Feinmechanische Komponenten und Systeme
- Funktionale Oberflächen und Schichten
- Photonische Sensoren und Messsysteme
- Lasertechnik.

The Fraunhofer IOF and its partners carry out applied research in the field of optical system technology on the direct commission of industry and as part of publicly funded joint projects. Optical system technology enables progress from the specialty optical, mechanical or electronic component to optical, optomechanical and optoelectronic modules and systems of complex functionality. The objective is to control light from its generation to its application.

In close association cooperation with the Institute of Applied Physics at the Friedrich Schiller University in Jena, the IOF carries out basic and applied research, from new system design concepts via the development of technologies, manufacturing and measurement methods all the way to the construction of prototypes and pilot production runs for applications in the millimeter to nanometer wavelength range.

The following pages present selected results of research obtained in the past year on internal projects or together with our partners and customers. The examples show solutions for the business fields of

- Optical components and systems
- Precision engineering components and systems
- Functional surfaces and layers
- Photonic sensors and measuring systems
- Laser technology

GESCHÄFTSFELD
BUSINESS FIELD



OPTISCHE KOMPONENTEN UND SYSTEME

OPTICAL COMPONENTS AND SYSTEMS

Optische Komponenten und Systeme sind seit Gründung des Fraunhofer IOF zentrale Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte. Leitmärkte sind Produktion, Gesundheit, Kommunikation, Beleuchtung und Energie. Das Institut entwickelt optische, mikro- und nanooptische Komponenten und Systeme für die Informationstechnik, Luft- und Raumfahrt, Automotive, den Maschinenbau, die Sensorik/Messtechnik, Medizintechnik und optische Industrie.

Die Arbeiten auf diesem Gebiet haben die bisherige erfolgreiche Entwicklung des Instituts wesentlich beeinflusst. Das Fraunhofer IOF deckt im Geschäftsfeld Optische Komponenten und Systeme das volle FuE-Leistungsspektrum ab, von Design und Technologiestudien über die Entwicklung kundenspezifischer Bauelemente und Komponenten bis hin zu Systemen.

Als optische Komponenten werden aktuell neben Linsen und Mikrolinsen auch Streuscheiben mit deterministischer Struktur, CGHs als Metamaterialien und durch Atomic Layer Deposition hergestellte Gitter entwickelt. Ebenso werden neue optische Metamaterialien wie z.B. photonisches Graphen untersucht. Als neues Fertigungsverfahren für Metamaterialien kommt die On-Edge-Lithography zum Einsatz.

Die Kompetenzen in der Diamantbearbeitung und Prüfung von Freiformoptiken, sowie der Streulichtanalyse optischer Systeme und Sensoren wurden weiter entwickelt. Herausragende Entwicklungen des letzten Jahres waren Arrayprojektoren für beliebige Projektionsflächen, ein phasenschiebender Streifenprojektor basierend auf einem Freiformspiegel und ein IR-Teleskop mit Freiformkomponente.

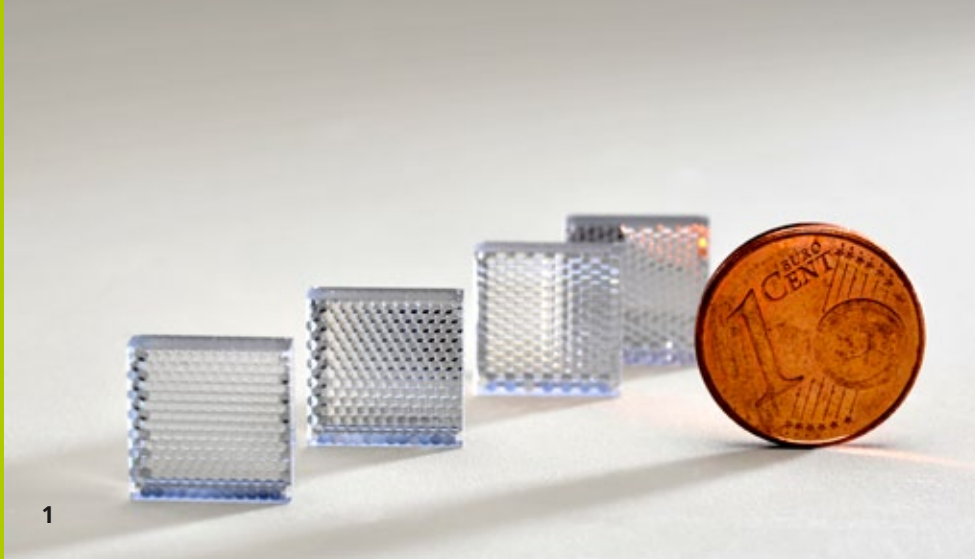
Optical components and systems have been the focal area of research and development since the IOF was founded. Their lead markets are production, health, communication, illumination and energy. The institut creates optical, micro-optical and nano-optical components and systems for the information technology, aerospace, automotive, machinery, sensor technology/metrology, medical technology and optical industries.

Work in this field has up to date played a key role in the successful growth of the institute. The IOF covers the full range of R&D services in its Optical Components and Systems business field, from design and technology studies via the development of customer specific modules and components up to systems.

In addition to lenses and microlenses, optical components currently developed at IOF include diffusion disks with a deterministic structure, CGHs as metamaterials and gratings produced using atomic layer deposition. New optical metamaterials such as photonic graphene are also the subject of investigation. One new production process in use is for example the on-edge lithography for metamaterials.

We are developing our expertise in diamond processing and testing of free-form optics as well as scattered light analysis of optical systems and sensors. Notable optical applications and systems developed in the past year were an array projection on free-form surfaces, a phase shifting fringe projector based on a customized free-form mirror and an IR telescope with a free-form component.

LEFT Visionäre Darstellung eines Smartphones mit Beamer nach dem an Insektenaugen inspirierten Prinzip »facetvision«. | Visionary representation of a smartphone with a video projector based on the working principle inspired by insect eyes "facetvision".



ARRAYPROJEKTION AUF FREIFORMFLÄCHEN

ARRAY PROJECTION ON FREE-FORM SURFACES

Während konventionelle einkanalige Projektoren stets einen Kompromiss aus Helligkeit und Schärfentiefe eines projizierten Bildes erfordern, ermöglichen mikrooptische Arrayprojektoren aufgrund ihres Aufbaus und den daraus resultierenden optischen Eigenschaften eine scharfe Abbildung, selbst auf stark geneigte oder gewölbte Oberflächen ohne den üblicherweise auftretenden Lichtverlust. Dieses charakteristische Merkmal folgt aus der zweidimensionalen Anordnung hunderter Mikroprojektoren, von denen jeder aus einer Beleuchtungslinse, einer absorbierenden Diastruktur und einer korrespondierenden Projektionslinse besteht. Ein maßgeschneidertes Layout des Diaarrays führt zu der exakten Überlagerung aller Einzelbilder auf dem Schirm. Während die kurzen Brennweiten der projizierenden Mikrolinsen eine drastische Baulängeneinsparung gegenüber konventionellen Projektoren ermöglichen, führen die kleinen Öffnungen der projizierenden Mikrolinsen, unterhalb eines Millimeters, zu einer nahezu unbegrenzten Schärfentiefe der Einzelbilder (hyperfokal). Ausgehend von einer Solllichtverteilung im Bildraum wird zunächst durch rückwärtige

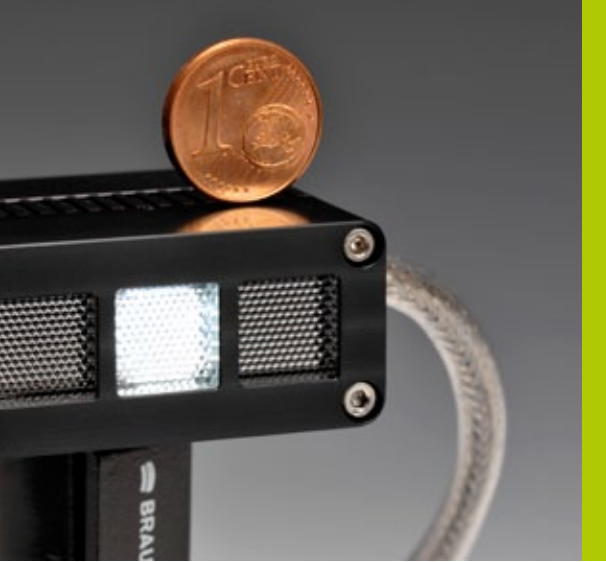
While conventional single channel projectors always require a compromise of brightness and depth of focus, microoptical array projectors, thanks to their unique optical properties, enable sharp images even on free-form surfaces without the customary light loss. This optical feature is caused by a two-dimensional arrangement of microprojectors, each consisting of a condenser lens, an absorbing slide and a projection lens. All partial images superimpose on the screen due to a pre-tailored slide array giving each channel a well-defined viewing direction. While the short focal lengths of the projective microlenses ensure a radical system volume reduction, the small apertures, below one millimeter, lead to an infinite depth of focus of each single projection (hyperfocal).

The required object structures are created by backward raytracing, which leads to a unique correlation between each image point and its corresponding object point array. The reversibility of the calculated optical path along with the hyperfocally working lenslets ensure constructive intensity integration onto

1 *Array-Projektionsoptiken vor einer 1-Cent Münze. Jeder Optikchip enthält 150 Mikroprojektoren bei einer Gesamttiefe von 3 Millimetern. | Array projection optics next to a 1€ cent coin. Every microoptical chip with a system thickness of 3 millimeters contains 150 single microprojectors.*

2 *Demonstrator bestehend aus drei LED Lichtquellen mit zugeordneten Array-Projektionsoptiken. | Demonstrator containing three LED light sources and their assigned array projection optics.*

3 *Projektion eines Testmusters unter 20° Einfallswinkel auf eine geneigte Schirmoberfläche. Eine Manipulation der Fokusslage über das Bild ermöglicht die Erhaltung der Bildschärfe über die gesamte Tiefe. | Array projection under 20° incidence angle onto an inclined planar screen surface. Unique array projector properties enable for focus tailoring that results in full sharpness conservation over the entire distance range.*



3

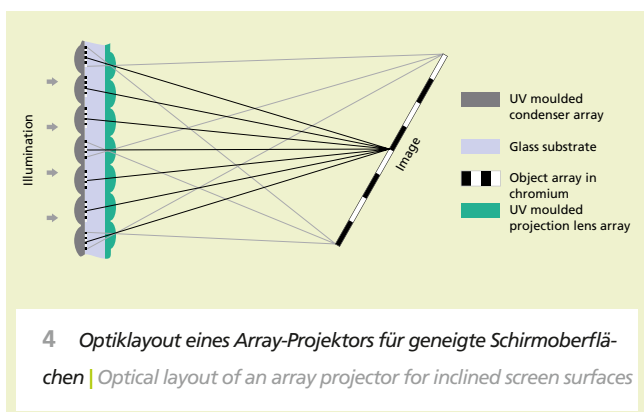
Hauptstrahlverfolgung jedes Bildpunktes eine Vielzahl korrespondierender Objektpunkte innerhalb der Diaebene generiert. Aufgrund der Umkehrbarkeit des Lichtweges und der Hyperfokalität der Einzelprojektionen erfolgt bei der Abbildung der durch diesen Algorithmus erzeugten Diastrukturen eine Integration der Einzelintensitäten im Raum. Dadurch kann die gewünschte Lichtverteilung auch auf Freiformen oder auf stark geneigten Oberflächen generiert werden. Die Manipulation der Fokusslage für jeden Bildpunkt geschieht somit allein durch Anpassung des zweidimensionalen Diaarrays, im Gegensatz zu konventionellen Systemen sind keine mechanisch bewegten Komponenten erforderlich. Ein anschauliches Beispiel liefert die Projektion auf eine stark geneigte Ebene. Ein klassisches einkanaliges System müsste in diesem Fall zur Erhaltung der Bildschärfe die Scheimpflug-Bedingung erfüllen, d. h. eine gegenüber der Projektionsoptik ebenso stark geneigte Objektebene aufweisen. Erst unter Verwendung eines mikrooptischen Arrayprojektors sind geneigte Elemente im Strahlengang nicht länger erforderlich. Dadurch kann sowohl eine drastische Vereinfachung als auch eine Miniaturisierung des Gesamtsystems ohne Lichtverlust erreicht werden. Die Fähigkeit der Fokussmanipulation eröffnet somit völlig neuartige potentielle Anwendungsgebiete im Bereich der maßgeschneiderten strukturierten Beleuchtung und der Messtechnik, bis hin zu digitalen Projektionen mit hohen Anforderungen hinsichtlich Bildqualität bei streifendem Lichteinfall oder auf Freiformflächen.

the targeted image surface. As a consequence, the designated light distribution can be generated on arbitrary free-form as well as strongly inclined surfaces. The focal distance control for each image point is realized by a 2D slide array manipulation alone. Conventional systems would always require mechanically moving elements to achieve equivalent features.

The projection on inclined surfaces provides a concrete example. In order to maintain a sufficient image quality, a conventional single-channel projector would have to meet the Scheimpflug principle, i.e. there has to be a strongly inclined object plane relative to the projection optics. Array projection technology eliminates the requirement for inclined optical elements, thus facilitating tremendous system miniaturization and simplification. This enables novel applications in structured illumination and metrology as well as digital projection with high requirements regarding inclined or free-form screens.

References / Literatur

- /1/ M. Sieler, P. Schreiber, P. Dannberg, A. Bräuer, A. Tünnermann: Ultrathin fixed pattern projectors with inherent homogenization of illumination, Applied Optics 51 (2012).
- /2/ S. Fischer, M. Sieler, P. Schreiber: The array projector breaking Scheimpflug's rule, DGaO Annual Meeting, Eindhoven (2012).

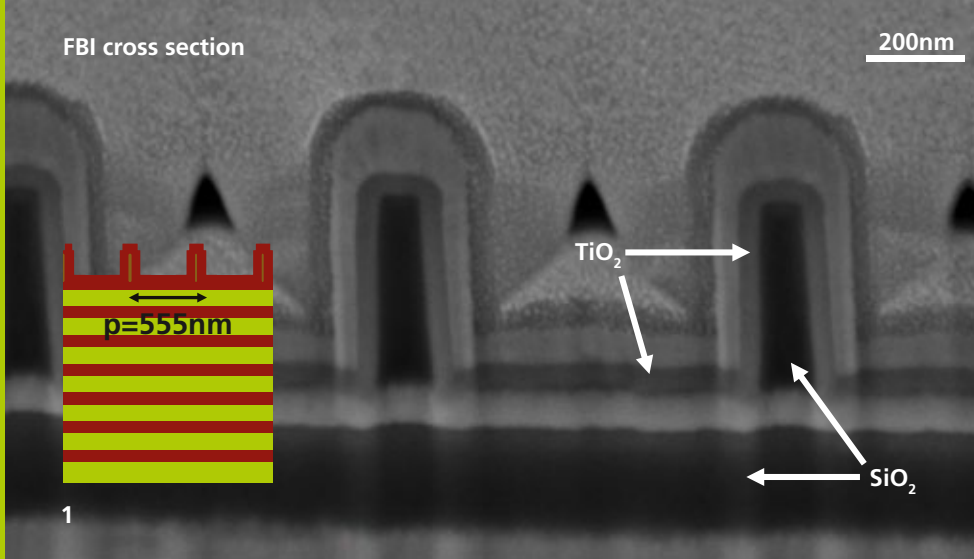


AUTHORS

Marcel Sieler
Peter Schreiber
Stephanie Fischer

CONTACT

Marcel Sieler
Phone +49 3641 807-369
marcel.sieler@iof.fraunhofer.de



OPTIMIERTE HOCHLEISTUNGSGITTER MIT ALD-SCHICHTEN

OPTIMIZED HIGH-PERFORMANCE GRATINGS WITH ALD-COATINGS

Ein Schwerpunkt der Arbeiten des Center for Advanced Micro- and Nano-Optics (CMN) ist die Herstellung von Hochleistungsgittern für spektroskopische und Laseranwendungen /1/. Die zugrundeliegende Technologie basiert auf einer hocheffizienten Elektronenstrahlolithographie und reaktiven Ätzprozessen zur Übertragung der Gitterstrukturen in Kieselglassubstrate. In den letzten 2 Jahren wurden hier neuartige Gitterkonzepte entwickelt, deren Realisierung auf konformen Übersichtungen der SiO_2 -Strukturen mit verschiedenen Materialien beruht. Ein Verfahren, mit dem solche Schichten in hoher Qualität aufgebracht werden können, ist das aus der Halbleiterfertigung bekannte Atomic-Layer-Deposition (ALD) Prozess /2/. Besonders interessant für die Gitterherstellung sind dabei Schichten mit hohem Brechungsindex, wie z.B. Ta_2O_5 , TiO_2 oder Al_2O_3 , da diese große Vorteile bei Parametern wie der erreichbaren Effizienz, Bandbreite und Polarisations sensitivität bieten. Allerdings sind solche Materialien mit den herkömmlichen Ätzverfahren nicht mit der erforderlichen Qualität strukturierbar.

Im CMN wurden nun Herstellungsverfahren für Gitter in hochbrechenden Materialien entwickelt, die auf der Kombination der konventionellen Lithographie mit der ALD-Übersichtung beruhen. Dabei wird zunächst die Grundstruktur des Gitters auf

The development of high-performance gratings for spectroscopic and laser applications is a key area of the work carried out at the Center for Advanced Micro- and Nano-Optics (CMN) /1/. The underlying technology is based on highly efficient electron beam lithography and reactive ion-etching processes for the transfer of the grating structures into fused silica substrates. In the last 2 years, novel grating concepts have been developed based on a conformal overcoating of the SiO_2 -structures with different materials. A method suitable for realizing such special coatings with high accuracy is the atomic layer deposition (ALD) process known from the semiconductor industry /2/. Of special interest for the grating fabrication are layers of highly refractive index material such as Ta_2O_5 , TiO_2 or Al_2O_3 . They can offer huge advantages for parameters like the achievable diffraction efficiency, bandwidth and polarization sensitivity of the gratings. However, such materials can typically not be patterned with the required quality by common etching processes. At the CMN, grating fabrication technologies have been developed which are based on a combination of conventional lithography with ALD coating. To this end, the basic structure of the grating is first realized in a fused-silica substrate or an SiO_2 -layer. This template is then functionalized by an ALD coating in a specific pre-defined manner. This approach opens up a huge variety of

1 Querschnitt eines dielektrischen reflektiven Pulskompressorgitters mit hochbrechender TiO_2 Übersichtung. Für die Präparation des Schnittbildes wurde das Gitterprofil in eine Leitschicht (Pt) eingebettet. | Cross section of a dielectric reflective pulse compression grating comprising a conformal TiO_2 overcoating by ALD. For preparation of the image the grating profile has been embedded into a conductive layer (Pt).

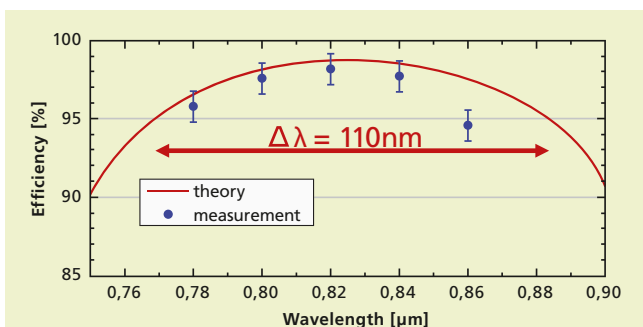
einem Kieselglassubstrat oder einer SiO₂-Schicht erzeugt. Dieses Template wird dann durch die ALD-Schicht gezielt funktionalisiert. Damit eröffnen sich vielfältige, völlig neue Möglichkeiten zur Realisierung von Gittern, deren Herstellbarkeit sonst weit außerhalb unserer lithographischen Möglichkeiten liegt. Abbildung 1 zeigt beispielhaft ein reflektives Pulskompressor-gitter mit einer Periode von 555nm. Die Gitterstege wurden zunächst lithographisch mit einer Breite von 60nm in der obersten SiO₂-Schicht eines dielektrischen, hochreflektierenden Schichtstapels realisiert. Anschließend erfolgte eine ALD-Überschichtung mit 44nm TiO₂. Das Gitter zeigt für eine Zentralwellenlänge von 820nm eine Rekordbandbreite von über 110nm, in der die Effizienz über 95% liegt (Abb. 2). Weitere Anwendungsbeispiele für die Nutzung der ALD-Beschichtung in der Gitterfertigung ist die Realisierung extremer Aspektverhältnisse, wie sie bei Gittern in der Resonanzdomäne erforderlich werden können /3/.

Die Arbeiten zu ALD-überschichteten Gittern werden gefördert im Rahmen der Projekte Phona (FZK: 03IS2101D), ZIK-UltraOptics (FZK: 03Z1HN32) und der Emmy-Noether-Förderung (A. Szeghalmi).

new options for the realization of gratings whose fabrication would otherwise be far beyond our lithographic capabilities. Figure 1 shows an example of a reflective pulse compression grating of 555nm period. The grating bars with a width of 60nm were first fabricated by standard lithography in the uppermost SiO₂ layer of a dielectric high-reflection layer stack. Afterwards, the structure was ALD-coated with 44 nm TiO₂. The final grating shows a record braking bandwidth of 110 nm around a central wavelength of 820 nm in which the diffraction efficiency is above 95% (see Fig. 2). Other application examples for the use of ALD coatings in the field of grating fabrication is the realization of extreme aspect ratios as they might occur for gratings operating in the resonance domain /3/.

References / Literatur

- /1/ U.D. Zeitner et al.: High-performance diffraction gratings made by e-beam lithography, Appl. Physics A, DOI 10.1007/s00339-012-7346-z (2012).
- /2/ M. Kariniemi et al.: Conformality of remote plasma-enhanced atomic layer deposition processes: An experimental study, J. Vac. Sci. Technol. A 30(1) (2012).
- /3/ M. Oliva et al.: Highly efficient broadband blazed grating in resonance domain, in preparation.



2 Beugungseffizienz des in Abb. 1 gezeigten ALD-überschichteten Gitters. | Diffraction efficiency of the ALD-coated grating shown in Fig. 1.

AUTHORS

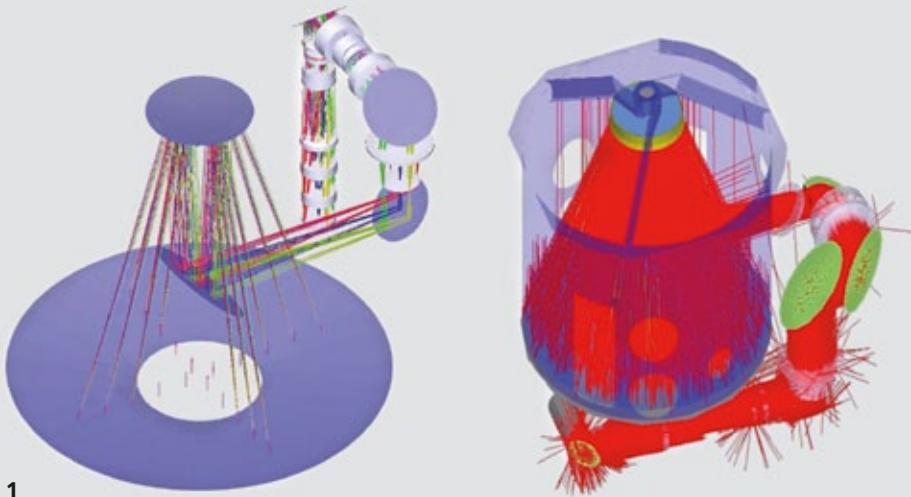
Uwe D. Zeitner¹
Frank Fuchs¹
Maria Oliva¹
Adriana Szeghalmi²
Stefan Ratzsch²

¹Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena

²Fraunhofer IOF

CONTACT

Dr. Uwe D. Zeitner
Phone +49 3641 807-403
uwe.zeitner@iof.fraunhofer.de



1

STÖR- UND STREULICHTANALYSE OPTISCHER SYSTEME UND SENSOREN

STRAY LIGHT ANALYSIS OF OPTICAL SYSTEMS AND SENSORS

In optischen Systemen erreicht neben dem eigentlichen Nutzlicht immer auch ein gewisser Teil unerwünschter Energie den Empfänger. Dieses sogenannte Störlicht überlagert das Nutzsignal und kann somit die Funktion des Systems signifikant beeinträchtigen. Insbesondere bei den Anwendungen, die hohe Abbildungskontraste oder eine hohe Messgenauigkeit erfordern, spielt Störlicht eine große Rolle. Mit den stetig steigenden Anforderungen an die optischen Systeme steigt auch die Zahl der störlichtkritischen Anwendungen beständig.

Störlicht ist unvermeidbar, da jedes optische Element Störlicht erzeugt – z.B. durch Reflexion oder Streuung an den optischen Oberflächen. Hinzu kommt Licht, das an Fassungsstellen gestreut oder durch Beugung an Kanten abgelenkt wird. All dieses Licht kann auf zum Teil unerwarteten Wegen zum Empfänger gelangen und dort die Detektion des Nutzsignals stören.

Im Rahmen der Störlichtanalyse wird ein Computermodell des optischen Systems mit all seinen relevanten Geometriedetails und deren optischen Eigenschaften erstellt (Abb. 1). Mit Hilfe der geometrisch-optischen und der wellenoptischen Simulation der Lichtausbreitung kann ermittelt werden, wie viel Störlicht am Empfänger ankommt und welchen Weg es

In optical systems, not only the useful light but always also a certain amount of unwanted energy reaches the detector. This so-called stray light superimposes the actual signal and may have a significant impact on the functioning of the system. Stray light plays a particularly important role in applications requiring high image contrast or high measurement accuracy. With ever growing demands on optical systems, the number of stray light critical applications is constantly increasing.

Stray light is an inevitable effect as every optical component produces stray light – e.g. by reflection or scattering on the optical surfaces. Light scattering on mechanical parts like lens mounts or diffraction at edges adds to the stray light. All this light can reach the detector through sometimes unexpected paths and interfere with the useful signal.

In a stray light analysis, a computer model of the optical system with all its relevant geometrical details including their optical properties is created (see Fig. 1). By means of ray tracing or a wave-optical simulation of light propagation, the amount of stray light reaching the detector can be determined, as well as the path from the stray light source to the detector. Based on this analysis, measures for reducing the

1 Modellierung eines Cassegrain Teleskops. Links: Optisches Modell. Rechts: Störlichtsimulation des optomechanischen Modells. | Modeling of a Cassegrain telescope. Left: Optical model. Right: Stray light simulation of the opto-mechanical model.

im System genommen hat. Daraus lassen sich Maßnahmen zur Störlichtunterdrückung bereits in der Entwurfsphase des optischen Systems ableiten. Die Genauigkeit der Vorhersagen hängt dabei vor allem von der Genauigkeit der Modellierung der optischen Eigenschaften ab.

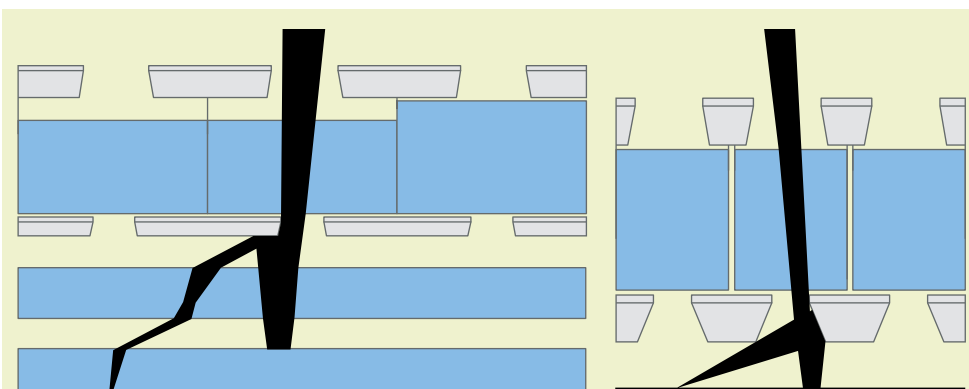
Die einzigartige Verknüpfung der Kompetenzen im Bereich der optischen Schichten, der Oberflächencharakterisierung, der Modellierung und Simulation optischer Systeme sowie der feinmechanischen Konstruktion am Fraunhofer IOF ermöglicht die präzise Abbildung der Systemeigenschaften im Modell. Auf diese Weise kann das Fraunhofer IOF Hilfestellung bei der Optimierung des optomechanischen Aufbaus, der Materialauswahl und der Beschichtungen geben.

So wurde in einem Projekt das Streulicht- und Übersprechverhalten von Multispektralfiltern für Weltraumanwendungen untersucht (Abb. 2). Basierend auf den Ergebnissen wurde die Geometrie und die Beschichtung der Fassungselemente optimiert.

stray light can be identified in the design phase of the system. At the same time, the accuracy of these predictions depends on the precision of the modeling of the optical properties.

At Fraunhofer IOF, the unique combination of expertise in the fields of optical coatings, the characterization of surfaces, the modeling and simulation of optical systems and precision engineering enables precise modeling of the system properties. The Fraunhofer IOF can thus assist in the optimization of the opto-mechanical setup, the choice of materials and coatings.

To give one example, the stray light characteristics and resulting cross talk of multi-spectral optical filters for a space application were investigated (see Fig. 2). Based on the results, the geometry and coating of the filter mount were optimized.



2 Übersprechen zwischen benachbarten Kanälen in verschiedenen Multispektralfiltern. Die Analyse zeigt den Weg des Lichtes und die beteiligten kritischen Elemente. |

Cross talk between adjacent channels of a multi-spectral optical filter. The analysis reveals the stray light path and the critical elements involved.

AUTHORS

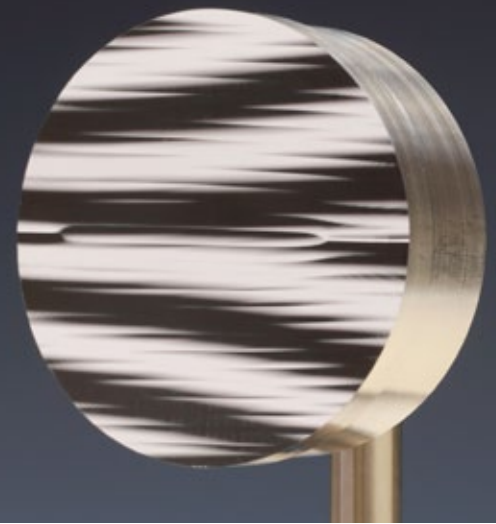
Uwe Lippmann
Gunther Notni

CONTACT

Uwe Lippmann
Phone +49 3641 807-249
uwe.lippmann@iof.fraunhofer.de



2



PHASENSCHIEBENDER STREIFENPROJEKTOR BASIEREND AUF EINEM MASSGESCHNEI- DERTEN FREIFORMSPIEGEL PHASE-SHIFTING FRINGE PROJECTOR BASED ON A TAILORED FREE-FORM MIRROR

Die phasenschiebende Streifenprojektion ist eine sehr effektive Methode der 3D-Formvermessung in verschiedensten Anwendungen von der Industrie bis hin zur Medizintechnik. Konventionelle Streifenprojektionssysteme nutzen einen Digitalprojektor zur Projektion des Streifenmusters in das Messvolumen. Solche Systeme sind auf den sichtbaren Spektralbereich beschränkt, da es im UV- oder IR-Bereich starke technische Einschränkungen gibt, insbesondere aufgrund der eingeschränkten Auswahl geeigneter optischer Materialien, Modulatoren und Lichtquellen. Gerade diese Spektralbereiche sind jedoch bei transluzenten oder transparenten Objekten (wie z. B. Zähnen oder modernen lasergesinterten Bauteilen) von großem Interesse, da das Licht bei einer Vielzahl dieser Materialien nur bei Wellenlängen außerhalb des VIS ausreichend reflektiert und gestreut wird. Im Sichtbaren sind solche Materialien nicht bzw. nur ungenau ohne eine zusätzliche Beschichtung messbar.

Am Fraunhofer IOF wurde ein neuartiger Streifenprojektor basierend auf einem bildgebenden Freiformspiegel entwickelt. Der Freiformspiegel erzeugt dabei direkt, ohne weitere optische Elemente, ein Streifenmuster in der gewünschten Ebene. Da das optische System aus nur einem Spiegel besteht,

Phase-shifting fringe projection is an effective method for 3D shape measurements of various objects in industrial, technical and medical engineering applications. Conventional fringe projection systems utilize a digital projector that images fringes into the measurement volume. The performance of such systems is limited to the visible spectral range, as most projectors experience technical limitations in UV or IR spectral ranges, mainly due to the limited choice of appropriate optical materials, modulators and light sources. Those spectral ranges, however, can be of special interest for translucent or transparent objects (e.g. teeth or modern laser sintered materials), as they often reflect and scatter light sufficiently only at wavelengths outside the VIS. Such materials can only be measured accurately in the visible spectral range using an additional coating.

At Fraunhofer IOF, a novel fringe projector was developed on the basis of a picture-generating beam shaper. The free-form mirror, without any additional optical elements, directly generates a sinusoidal fringe pattern in a defined plane. As the system is based on a single mirror, it is wavelength-independent within a wide spectral range and can therefore be used in UV, VIS and IR spectral ranges.

1 *Freiformbasierter Streifenprojektor. | Free-form-based phase-shifting fringe projector.*

2 *Freiformspiegel zur Erzeugung eines Streifenmusters. | Free-form mirror for generating a fringe pattern.*

ist der Projektor über einen sehr breiten Spektralbereich wellenlängen-unabhängig und kann damit sowohl im UV- als auch im IR-Bereich und im VIS eingesetzt werden.

Abb. 1 zeigt den freiformbasierten Streifenprojektor. Das zentrale Element – der Freiformspiegel (siehe Abb. 2) – wurde mit Hilfe der Software LODTa /1/ am Fraunhofer ITWM designt. Gefertigt wurde das Element aus vernickeltem Aluminium mittels Ultrapräzisionsbearbeitung. Die Phasenschiebung wird durch eine Ortsvariation der Quellpunktlage realisiert.

Die Funktionsfähigkeit des neuartigen Streifenprojektors konnte in verschiedenen Wellenlängenbereichen (VIS und UV) gezeigt werden /2/. Der Projektor eröffnet erstmals die Flexibilität der Vermessung von Objekten in verschiedensten Spektralbereichen – angepasst an die Streueigenschaften des Objektes.

Die vorliegenden Ergebnisse entstanden in Kooperation mit dem Fraunhofer ITWM im Rahmen des FhG-internen Programms WISA 821 004.

Literatur / References

/1/ Kurz, M., Oberschmidt, D., Siedow, N., Fessler, R., Jegorovs, J.: Mit schnellem Algorithmus zur perfekten Freiformoptik, Mikroproduktion 03 (2009), pp. 10–12.

/2/ Zwick, S., Heist, S., Franzl, Y., Steinkopf, R., Kühmstedt, P., Notni, G.: 3D measurement system on the basis of a tailored free-form mirror, Proc. of SPIE 8494 (2012) pp. 8494–15.

Fig. 1 shows the free-form-based fringe projector. The free-form mirror (see Fig. 2) was designed using the LODTa software /1/ developed at Fraunhofer ITWM. The mirror was manufactured from a nicked aluminum workpiece using single-point diamond turning. Phase shifting can be realized by controlling the position of the point light source.

The principle of this novel approach has been demonstrated in different spectral ranges (VIS and UV) /2/. The novel principle offers, for the first time, flexibility in measuring the 3D shape of objects adapted to their scattering properties in different spectral ranges.

The results were achieved in close cooperation with Fraunhofer ITWM as part of the FhG Internal Program WISA 821 004.

AUTHORS

Susanne Zwick

Stefan Heist

Ralf Steinkopf

Peter Kühmstedt

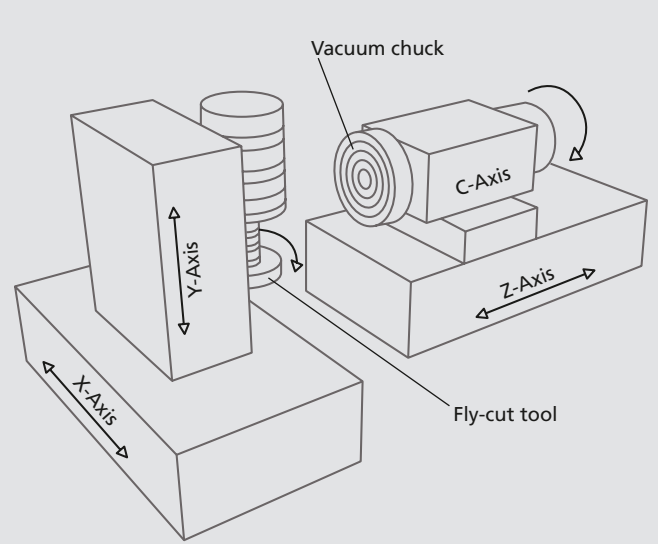
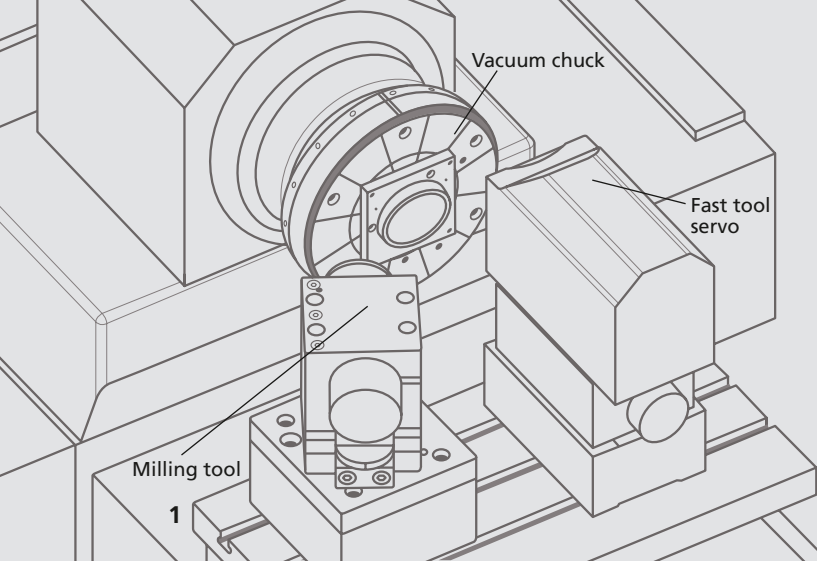
Gunther Notni

CONTACT

Dr. Peter Kühmstedt

Phone +49 3641 807-230

peter.kuehmstedt@iof.fraunhofer.de



DIAMANTBEARBEITUNG UND PRÜFUNG VON FREIFORMOPTIKEN

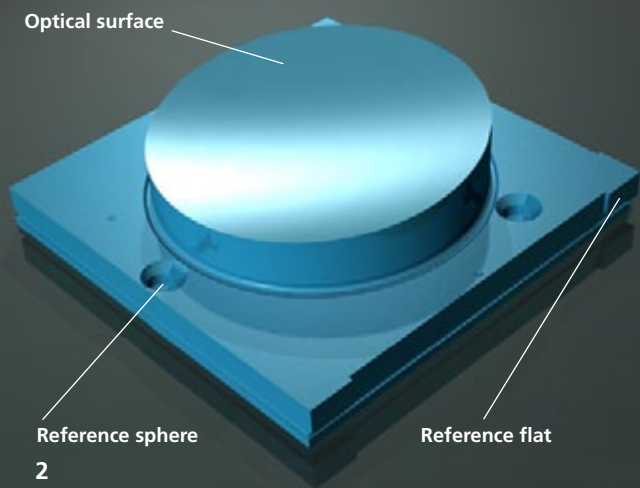
DIAMOND MACHINING AND TESTING OF FREEFORM OPTICS

Optische Designs nutzen zunehmend die Möglichkeiten, die sich aus der Anwendung von Freiformoptiken erschließen. Der Fertigungsprozess von Freiformen ist jedoch nach wie vor eine große Herausforderung. Ursache ist die fehlende Rotationssymmetrie in Freiformelementen /1,2/.

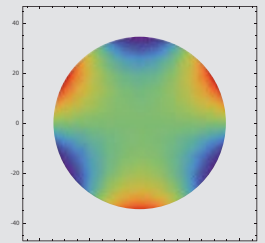
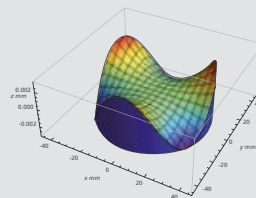
Ultrapräzisionsbearbeitung ist auf Grund der kinematischen Freiheiten der Bearbeitungsmaschinen sowie des Einsatzes von monokristallinen Diamantwerkzeugen mit geometrisch bestimmten Schneiden für die Bearbeitung von Freiformflächen sehr gut geeignet. Die Formabweichung kann in einem deterministischen Prozess in den sub- μm Bereich reduziert werden. Jedoch erfordern Freiformflächen eine enge Tolerierung der optischen Oberfläche zu Referenzelementen im Bauteil. Ultrapräzisionsbearbeitung ermöglicht die Fertigung von Freiformflächen und Referenzelementen in einem Fertigungsprozess. Auf diese Weise wird eine enge Tolerierung erreicht, die für nachfolgende Messungen und die Montage des optischen Systems genutzt wird. Im IOF ist eine Technologie für die Fertigung von optischen Freiformflächen mit sub- μm Genauigkeiten entwickelt worden. Eingesetzt werden Frästechnologien (Fly-cut) und Servo-unterstütztes Drehen (Fast-tool/Slow-tool). Referenzstrukturen werden am Rand der optischen Oberfläche integriert und in der gleichen Aufspannung wie die optischen Oberflächen gefertigt.

Optical designs in various applications profit from the increasing use of free-form elements. However, free-form optics are always a challenge for the manufacturing process. The complexity of the fabrication derives from the missing symmetry in free-form surfaces /1/. Ultra-precision machining is an appropriate method for manufacturing complex optical free-forms. Surface deviations can be reduced in a deterministic process by a test and correction loop to achieve shapes with sub- μm deviations. Free-form elements do not, however, only require optical performance, they also depend on tight tolerances of the surface position with respect to reference structures. Due to the absence of rotation symmetry in free-form elements, all six degrees of freedom have to be constrained /2/. Diamond machining allows the machining of reference structures on the optical part. They can be used for alignment while testing or during the assembly processes. At Fraunhofer IOF, a deterministic approach was developed to manufacture optical free-form surfaces with sub- μm surface deviations by fly-cut machining and servo assisted diamond turning. Reference structures are included at the edge of the element in order to support the following measurement and assembly processes. The reference structures are manufactured within the machining process of the optical surface. This procedure ensures tight tolerances between reference structures and optical surface. The complex optical surface is measured with respect to

1 *Maschinenkonfiguration für Freiform-Bearbeitung: Slowtool Servo Drehen (links); Fly Cut Milling (rechts).* | *Machine setup for free form machining: Slow tool servo turning (left); Fly Cut Milling (right).*
 2 *Freiform-Demonstrator: links: Rendering des Demonstrators; rechts: analytische Beschreibung.* | *Freeform demonstrator, left: rendering of the demonstrator, right: mathematical description.*

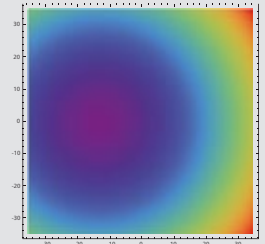
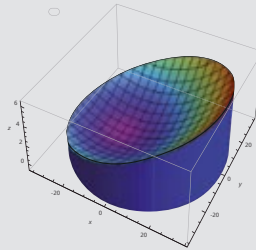


Zernike Polynom:
 $r^3 \sin(3\phi)$
 Norm radius: 35
 sag: $\pm 3 \mu\text{m}$



+

Radius: 170 mm
 Rotation: $4,5^\circ$



Dieses Verfahren erlaubt eine extrem enge Tolerierung zwischen optischen und mechanischen Flächen. Die Messung der Oberflächen erfolgt mit der taktilen Messmaschine UA3P. Dabei werden die Referenzstrukturen genutzt, um das Koordinatensystem von Bauteil und Messmaschine in Übereinstimmung zu bringen und die Fitparameter einzugrenzen. In einem erneuten Fertigungsdurchlauf werden die Residuals für die Korrektur der Oberfläche verwendet. Der Formfehler kann mit Hilfe der Metrologiedaten bis in den sub- μm Bereich reduziert werden /3/.

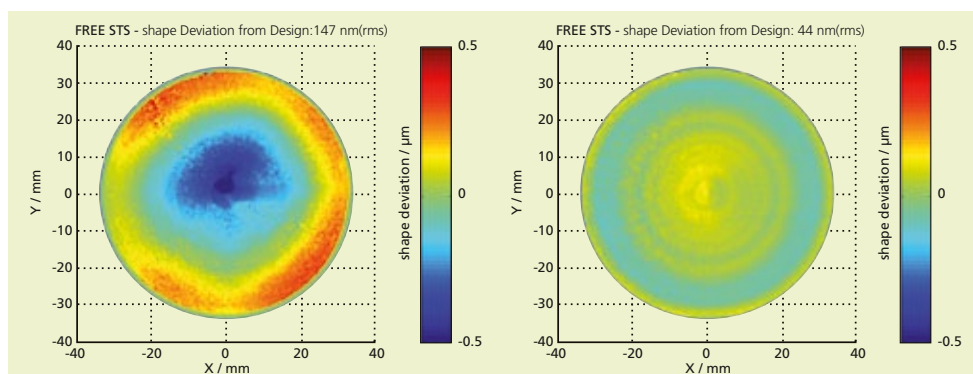
Das Potential dieser Technologie wird durch die Herstellung einer optischen Freiform mit verschiedenen Verfahren der Ultrapräzisionsbearbeitung demonstriert. Im Fly-cut milling wurde eine reproduzierbare Formabweichung von $<500 \text{ nm p.-v.}$ (100 nm rms) erzielt. Die Bearbeitung mit Fast-tool servo turning hat vergleichbare Ergebnisse ergeben. Slow-tool servo turning hat mit 300 nm p.-v. (50 nm rms) die besten Ergebnisse erzielt.

Das Projekt wurde gefördert durch das BMBF (Grant Number 13N10827, »FREE«).

the references with the tactile measurement system UA3P. The reference structures are used to locate the coordinate system of the element and hence to constrain the alignment parameter. After fitting the data, a revised tool-path is used to improve the shape deviation to sub- μm accuracies /3/. The capability of this approach is demonstrated by manufacturing one free-form surface with different diamond machining technologies. The manufacturing of the free-form with fly cut milling results in reproducible shape errors less than 500 nm p.-v. (100 nm rms). A comparison with fast tool servo technology shows similar results, whereas slow tool servo turning allows a reproducible shape correction of less than 300 nm p.-v. (50 nm rms) because of the particularly well-suited surface with slow frequent deviation of the rotation symmetry. The project was funded by the BMBF (Grant Number 13N10827, „FREE“).

References / Literatur

- /1/ Garrard K. et al.: Design tools for freeform optics, SPIE Proceedings, vol. 5874-10, 2005.
- /2/ Forbes, G.W. et al.: Characterizing the shape of freeform optics, published 19 Jan 2012, Vol. 20, No. 3 / OPTICS EXPRESS 2483.
- /3/ Steinkopf, et al.: Data handling and representation of freeform surfaces, SPIE Proceedings, vol, 81699, 2011.



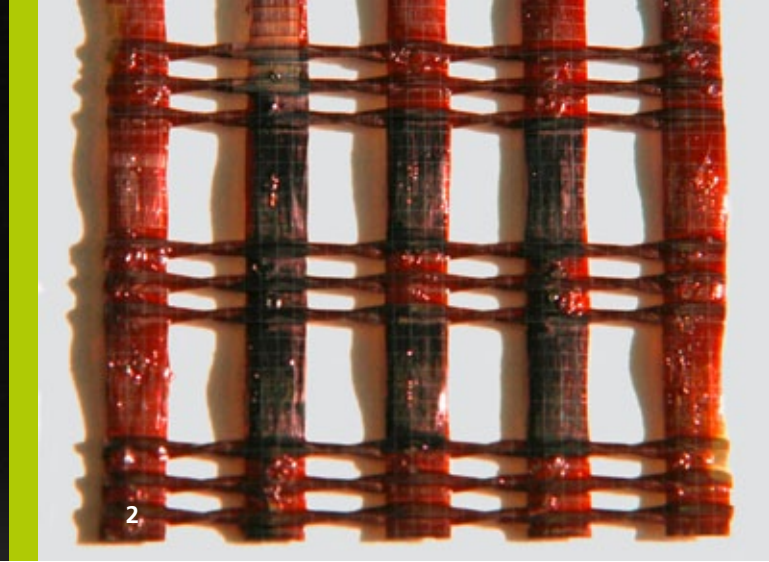
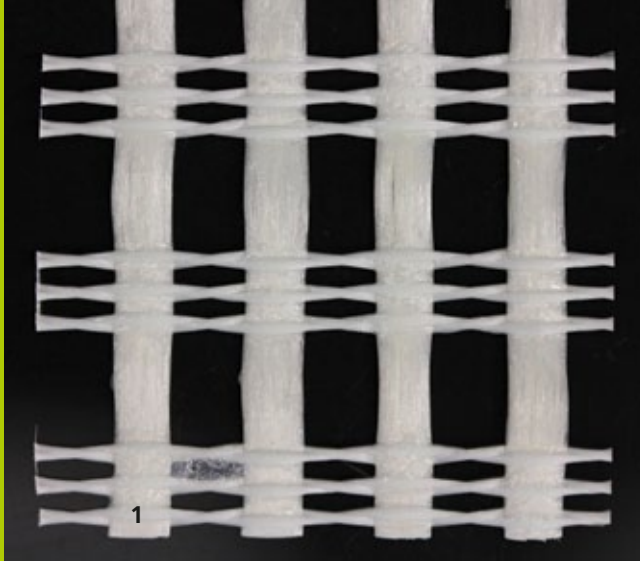
3 Slow tool servo Drehen: links: Ausgangsfehler (980nm p.-v.); rechts: Formfehler nach Korrekturdurchlauf (293 nm p.-v.) | Slow tool servo turning: Left: Initial form error (980nm p.-v.); Right: Shape error after form correction (293 nm p.-v.)

AUTHORS

Ralf Steinkopf
 Sebastian Scheiding
 Andreas Gebhardt
 Stefan Risse

CONTACT

Ralf Steinkopf
 Phone +49 3641 807-336
 ralf.steinkopf@iof.fraunhofer.de



TEXTILE SILIZIUM-SOLARZELLEN AUF GLAS- FASERVERBUNDSYSTEMEN (TEXSISOLAR) TEXTILE SILICON SOLAR CELLS ON FIBER GLASS COMPOUND SYSTEMS (TEXSISOLAR)

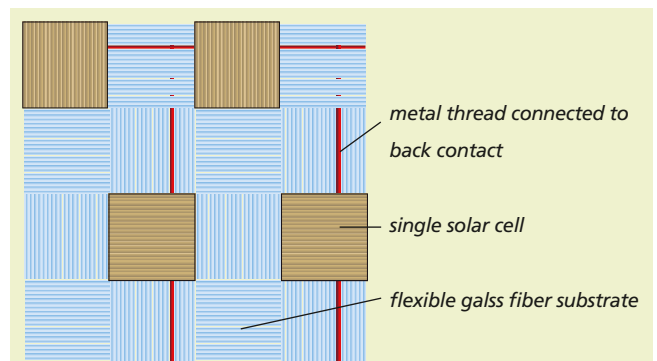
Solarmodule auf Basis textiler Glasfasersubstrate sind im Vergleich zu konventionellen Solarmodulen außerordentlich leicht (wenige 100 g/m² Modulfläche), großflächig und kostengünstig herstellbar, sehr haltbar und in verschiedenen Freiheitsgraden flexibel. Auf Grund dieser herausragenden Eigenschaften sind die Module für den Einsatz in der Automobilindustrie oder für die Integration in Gebäuden sehr interessant. Zudem sind Solarzellen auf Einzelfasern für die Stromversorgung von elektronischen Bauelementen von Interesse; z.B. auch in Verbindung mit Lichtleitenden Eigenschaften der Fasern und indirekt beleuchteten Elementen. Ein besonderer Vorteil des Glasfasersubstrats ist die hohe Temperaturbeständigkeit. Dadurch können als aktives Material hochwertige kristalline Siliziumschichten aufgebracht werden, die einen hohen Wirkungsgrad versprechen.

In dem Kooperationsprojekt »TexSiSolar« soll der Nachweis geführt werden, Silizium-Solarzellen auf Glasfasergeweben aufzubringen, um flexible Leichtgewichtssolarmodule zu entwickeln. Neben dem Fraunhofer IOF sind die Firmen Vitrulan Technical Textiles GmbH, DBW Fiber Neuhaus GmbH und ITP GmbH sowie die Institute IPHT e.V. und FSU-IAP beteiligt.

1 Unbehandeltes Glasfasersubstrat von Vitrulan Technical Textiles GmbH. | *Untreated glass fiber substrate from Vitrulan Technical Textiles GmbH.*

2 Beschichtetes (Fraunhofer IOF, IPHT) und Strukturiertes (IAP) Glasfasersubstrat. | *Coated (Fraunhofer IOF, IPHT) and patterned (IAP) glass fiber substrate.*

Solar modules based on glass fiber substrate are very light-weight (few 100 g/m²) compared to conventional solar modules. Furthermore they are cost-effective and large-scale producible, very stable and can withstand bending in all directions. Because of these properties glass fiber substrate based solar modules are very interesting for applications in automobile industry or for integration into buildings. Moreover solar cells on single glass fibers are of great interest as energy harvesters for electronic components. This can be combined with light guiding properties of the fibers and indirectly illuminated components. A special advantage of glass fiber substrates is their high temperature stability, which makes it possible to deposit silicon with high crystallinity and thereby realize highly efficient solar cells. The goal of the collaborative project "TexSiSolar" is the integration of silicon solar cells on glass fiber substrates to fabricate



3 Schematischer Aufbau eines flächigen Solarzellenverbundes | *Schematic layout of the two-dimensional solar cell network*

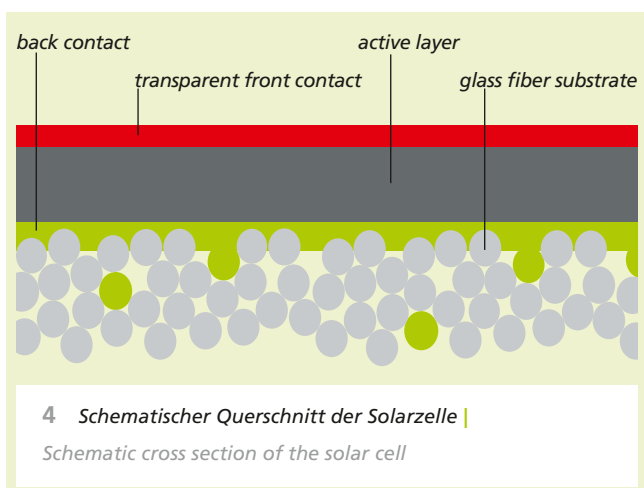
Untersuchungsgegenstand am Fraunhofer IOF ist die Abscheidung der Solarzellelektroden auf Glasfasergewebe. Der Rückkontakt wird mittels digitaler Druckverfahren (Drop-on-demand Inkjet) hergestellt. Es wird eine Metall-Nanopartikelintinte lokal auf die nicht planaren Substrate gedruckt. Anschließend wird die Tinte in einem Niedertemperaturprozessschritt ausgehärtet. In noch flüssiger Form können Unebenheiten innerhalb des Faserverbunds teilweise ausgeglichen bzw. verfüllt werden. Nach der Abscheidung der aktiven Schicht am IPHT e.V. und dem Aufdampfen der transparenten Frontelektrode am Fraunhofer IOF erfolgt die Strukturierung der Einzelzellen am FSU-IAP mittels Laserablation. Mit dem so hergestellten Schichtsystem werden derzeit Wirkungsgrade von etwa 0,22 % erreicht. Zu erwarten ist hier eine Steigerung auf etwa 4%.

Die Arbeiten werden im Verbundprojekt »TexSiSolar« (FKZ: 2011 FE 9037 / 2011 VF 0012) im Rahmen des Förderprogramms »Thüringen – GreenTech« durchgeführt. Die Autoren danken der Thüringer Aufbau Bank (TAB) für ihre finanzielle Unterstützung.

flexible light-weight solar modules. Partners in the project are the companies Vitruan Technical Textiles GmbH, DBW Fiber Neuhaus GmbH, ITP GmbH, and the research institutes IPHT e.V. and FSU-IAP.

Fraunhofer IOF investigates the deposition of the electrode material of the solar cells onto glass fiber substrates. The back contact is applied using digital printing technologies (drop-on-demand inkjet). This allows the precise deposition of different layers also onto non-planar substrates. In this case a metal nanoparticle ink is applied and sintered using low-temperature processes. As the ink is applied from liquid phase, it is possible to partly planarize the non-planar fiber substrate surface. After deposition of the active layer at IPHT e.V. and evaporation of the transparent front electrode at Fraunhofer IOF the patterning is done at the IAP by laser ablation. With solar cells manufactured that way efficiencies of around 0,22 % are achieved. 4% are expected in the future.

The authors would like to thank the Development Bank of Thuringia (TAB) for funding the project "TexSiSolar" (FKZ: 2011 FE 9037 / 2011 VF 0012) within the development program "Thüringen – GreenTech".

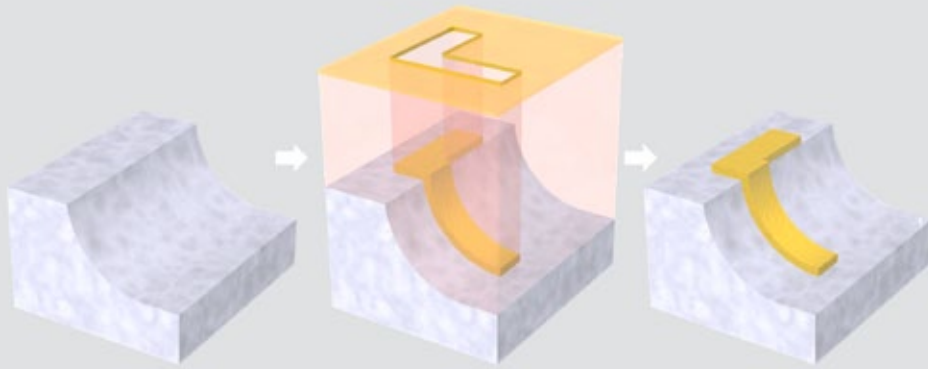


AUTHORS

Falk Kemper
Ramona Eberhardt

CONTACT

Falk Kemper
Phone +49 3641 807-367
falk.kemper@iof.fraunhofer.de



1A

HERSTELLUNG CHIRALER NANOMATERIALIEN MITTELS ON-EDGE-LITHOGRAPHY CHIRAL NANOMATERIAL FABRICATION BY ON-EDGE LITHOGRAPHY

Die gezielte Manipulation von Lichteigenschaften oder gar der Nachweis völlig neuartiger optischer Effekte konnte erfolgreich durch den Einsatz maßgeschneiderter Nanomaterialien in den letzten Jahren gezeigt werden. Trotz beeindruckender Fortschritte im Bereich theoretischer Beschreibung und experimenteller Charakterisierung ist die Realisierung nahezu beliebiger Nanostrukturformen und -geometrien begrenzt. Besonders polarisationsabhängige optische Effekte wie optische Aktivität oder zirkularer Dichroismus bedingen die Herstellung chiral geformter Nanostrukturen, eine enorme Herausforderung mit dem aktuellen Stand der Technik.

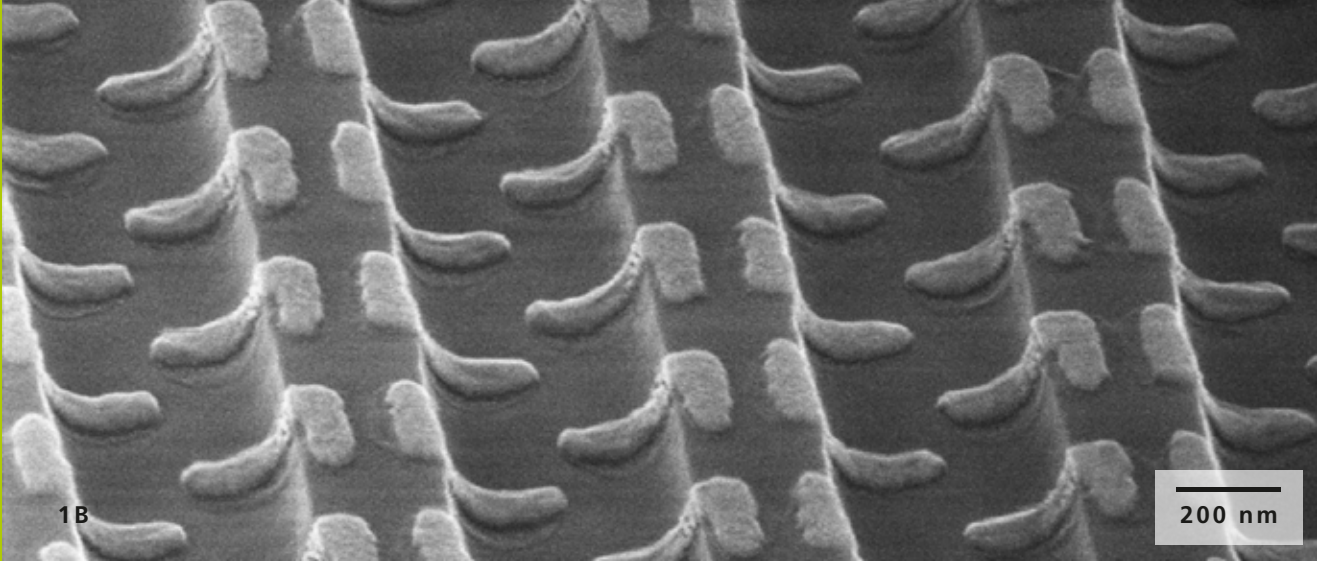
Mittels Elektronenstrahlolithographie ist es gelungen eine neuartige lithographiebasierte und weitaus effektivere Herstellungsmethode für dreidimensionale Nanostrukturen zu entwickeln. Mit Hilfe der Technik konnte ein innovativ designtes chirales Nanomaterial synthetisiert werden ^{1/}. Die Grundidee besteht darin, zweidimensionale Strukturen auf eine vorstrukturierte Oberfläche zu projizieren, sodass diese letztlich in eine dreidimensionale Struktur überführt wird (Abb. 1). Die Methode liefert einen Ansatz für deterministisch, dreidimensionale, hochaufgelöste, effizient herstellbare Nanostrukturen und wurde an einer plasmonisch, chiralen Nanostruktur nachgewiesen. Das Nanomaterial weist in

In the past decade, specifically tailored nanomaterial has impressively demonstrated huge advantages in light manipulation or even new optical effects. Despite notable progress on theoretical and experimental ground, the ability to realize arbitrary nanomaterial functionalities is often hindered due to barriers imposed by technological restrictions. Effects dependent on circular polarization like optical activity or circular dichroism, demand chiral shaped nanostructure designs, a tremendous technological and time-consuming effort in current nanofabrication.

Using an electron beam lithography tool of the highest industrial standard, our work exhibits a new level of three-dimensional nanostructure technology, which has been applied to the synthesis of an innovatively designed chiral nanomaterial ^{1/}. Here, nanostructures are attached to edged pre-structured templates, giving rise to 'on-edge lithography' (Fig. 1). This method provides a new approach to deterministic, three-dimensional, high-resolution, large-scale and highly versatile nanostructures and has been demonstrated on a chiral, plasmonic nanomaterial exhibiting large difference in transmittance dependent on the incident circular polarization type (Fig. 2).

1 (A) Schematisch dargestellte Herstellung eines optisch aktiven, plasmonischen und chiralen Nanomaterial (B) sowie eine Nahaufnahme der gefertigten Struktur (Helium-Ionenmikroskop). |

Sketched fabrication steps to yield in an optically active, plasmonic, and chiral nanomaterial. The final structure is imaged by a helium-ion microscope on the right hand side.



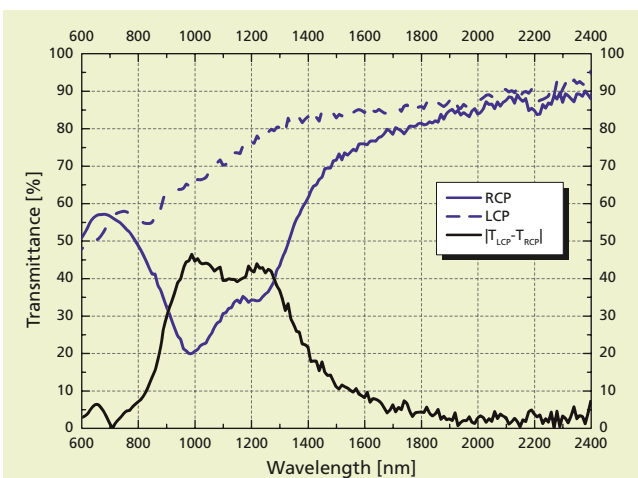
Abhängigkeit der eingestrahlenen zirkularen Polarisation einen großen Unterschied in der Transmission auf (Abb. 2).

Durch Kombination von On-Edge-Lithographie und Nano-Imprint-Lithographie soll einerseits der Herstellungsaufwand weiter minimiert werden, andererseits gelangt man schnell und einfach an ein voluminöses Nanomaterial. Zudem sollen Vorlagen nach dem oben beschriebenen Verfahren hergestellt werden. Diese dienen dann der Beobachtung oberflächenverstärkter Raman Signale, wenn chirale Moleküle mit der nanostrukturierten Oberfläche koppeln.

The method promises great advances in efficient three-dimensional nanostructure fabrication and paves the way for other complex three-dimensional as well as chiral nanostructure shapes. We are going to combine on-edge lithography and nano imprint lithography to further decrease fabrication effort and build up a voluminous chiral nanomaterial in a fast and simple manner. Our further intention is to add chiral molecules on top of these chiral nanostructured templates, resulting in an excellent starting basis for the detection of surface enhanced raman scattering signals.

References / Literatur

/1/ Dietrich, K.; Lehr, D.; Helgert, C.; Tünnermann, A.; Kley, E.-B.: Circular Dichroism from Chiral Nanomaterial Fabricated by On-Edge Lithography, *Advanced Materials* 24, 44, (2012) OP321-OP325.



2 Aufgenommene Transmissionsspektren bei Einstrahlung mit links (LCP) oder rechts (RCP) zirkular polarisiertem Licht. | Difference in transmittance while either left (LCP) or right (RCP) circular polarized light has been illuminated onto the sample.

AUTHORS

Kay Dietrich¹

Dennis Lehr¹

Ernst-Bernhard Kley¹

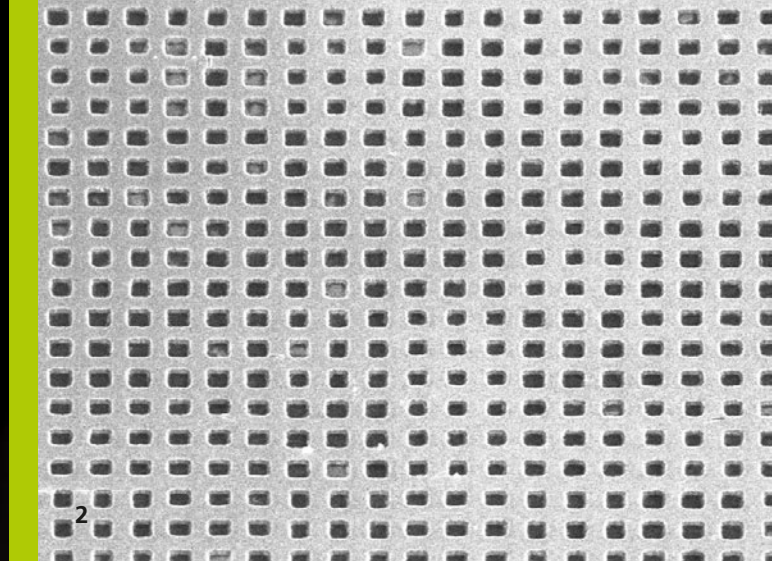
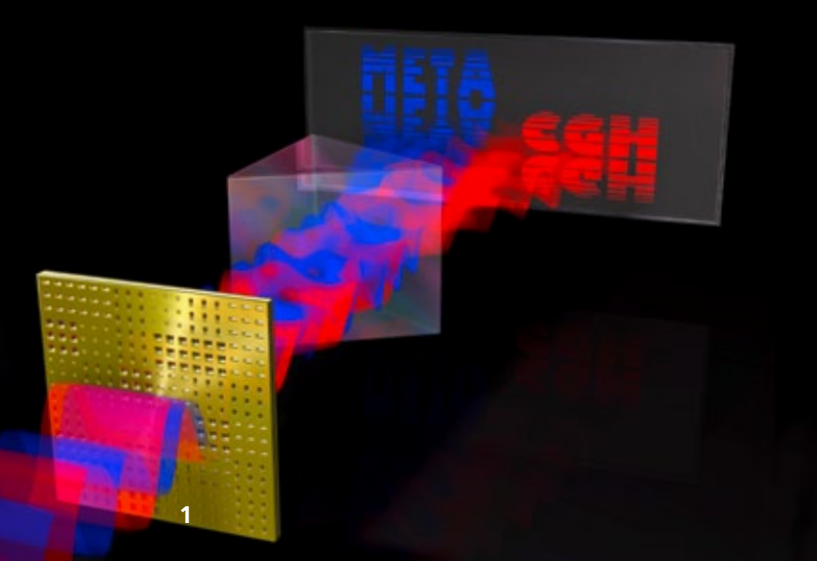
¹Institut für Angewandte Physik, Friedrich-Schiller-Universität Jena

CONTACT

Kay Dietrich

Phone +49 3641 947-834

dietrich.kay@uni-jena.de



DIFFRAKTIVE ELEMENTE AUF BASIS RESONANT-DISPERSIVER METAMATERIALIEN DIFFRACTIVE ELEMENTS BASED ON RESONANT-DISPERSIVE METAMATERIALS

Klassische diffraktive Elemente und computergenerierte Hologramme (CGHs) werden meist aus äußerst dispersionschwachen Materialien gefertigt. Dielektrika mit ihrer hohen Transparenz eignen sich für transmissive Phasenelemente, wohingegen absorbierende Materialien für Amplitudenhologramme Verwendung finden. In beiden Fällen jedoch fehlt es an inhärenter Materialdispersion. Mit Hilfe optischer Metamaterialien lassen sich dagegen ultra-dünne Elemente realisieren, die aufgrund ihres ausgeprägten und steuerbaren Dispersionsverhaltens die wellenlängenabhängige Lichtformung ermöglichen.

Der Schlüssel zur ungewöhnlich hohen Dispersion der Metamaterialien liegt in plasmonischen Resonanzen, die die metallischen Nanostrukturen im optischen Spektralbereich aufweisen. Die Transmissions- und Reflexionseigenschaften in der Nähe der Resonanzen reagieren stark auf kleine Änderungen in der Geometrie der Nanostrukturen. Auf Basis der sogenannten Fishnet-Struktur wurden CGHs entwickelt, die nicht nur beide Eigenschaften, Amplitude und Phase, des durchtretenden Lichts gleichzeitig manipulieren /1/, sondern auch spektrales Multiplexing ermöglichen /2/. Die dafür nötigen Variationen in den Geometrieparametern des Metamaterials von Pixel

Traditional diffractive elements and computer-generated holograms (CGHs) are usually made of materials with extremely low dispersion. With their high transparency, dielectric media are considered most suitable for transmissive phase elements, whereas absorbing media are commonly used for amplitude holograms. In both cases, however, intrinsic material dispersion is absent. By means of optical metamaterials, on the other hand, ultra-thin elements can be realized which allow for wavelength-dependent light shaping. This is achieved by their pronounced and tunable dispersive behavior.

The key to this extraordinarily high dispersion lies in the plasmonic resonances which are supported by the metallic nanostructures in the optical spectral range. The transmission and reflection properties near the resonances are strongly affected by small changes in the geometry of the nanostructures. Based on the so-called fishnet structure, CGHs have been developed which not only control both properties, amplitude and phase, of the transmitted light /1/, but which also enable spectral multiplexing /2/. The required variations in the geometry parameters of the metamaterial from pixel to pixel of the hologram have been restricted to the lateral sizes of the rectangular holes of the fishnet. This provides

1 Aus Metamaterialien konstruiertes computergeneriertes Hologramm (CGH) mit wellenlängenabhängigem Diffraktionsverhalten. | Computer-generated hologram (CGH) constructed from metamaterials showing wavelength-selective diffraction.

2 Rasterelektronenmikroskopieaufnahme eines pixelbasierten Metamaterial-CGH mit Fishnet-Grundgeometrie. | Scanning electron microscopy image of a pixelated metamaterial CGH based on fishnet geometry.

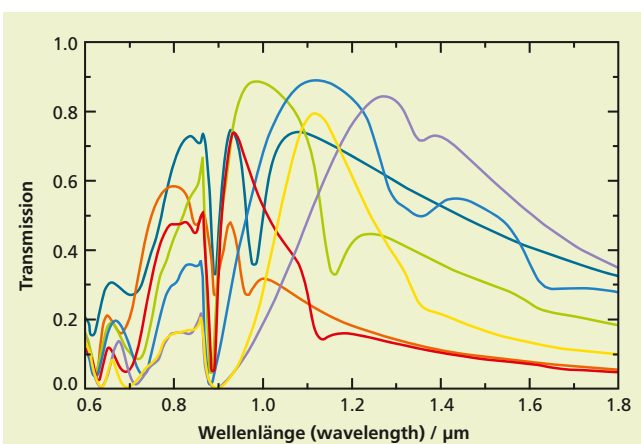
zu Pixel des Hologramms beschränkten sich dabei auf die lateralen Abmessungen der rechteckigen Löcher des Fishnets. Dies gewährleistet eine effiziente Herstellung des nur 90 nm dicken, dreischichtigen Systems mittels Elektronenstrahlolithographie und Lift-off-Verfahren. Es wurde ein CGH gefertigt, welches bei den Nahinfrarotwellenlängen 904 nm und 1385 nm unabhängige Bildprojektionen im Fernfeld erzeugt.

Dies wird durch eine spezielle Codierung bewirkt, die durch Ausnutzung der Dispersion unterschiedliche binäre Transmissionsmuster für die beiden Wellenlängen erzeugt. Das Zusammenspiel von räumlicher Lichtmodulation und spektraler Kontrolle eröffnet interessante Perspektiven für die raumzeitliche Lichtmanipulation.

for an efficient manufacturing procedure of the 90 nm thick three-layer system using electron beam lithography and the lift-off technique. A CGH has been produced which generates independent far-field image projections at the near-infrared wavelengths 904 nm and 1385 nm. This is ensured by a special coding scheme which establishes independent binary transmission patterns at each of the two wavelengths by exploiting the metamaterial's dispersion. The combination of spatial light modulation and spectral control opens up an interesting perspective for spatio-temporal light shaping.

References / Literatur

- /1/ Walther, B.; Helgert, C.; Rockstuhl, C.; Pertsch T.: Diffractive optical elements based on plasmonic metamaterials, Appl. Phys. Lett. 98, 191101 (2011).
/2/ Walther, B.; Helgert, C.; Rockstuhl, C.; Setzpfandt, F.; Eilenberger, F.; Kley, E.-B.; Lederer, F.; Tünnermann, A.; Pertsch, T.: Spatial and Spectral Light Shaping with Metamaterials, Adv. Materials 24, 6300 (2012).



3 Transmissionsspektren des Fishnet-Metamaterials für verschiedene Geometrieparameter (Lochgrößen). | Transmission spectra of the fishnet metamaterial for various geometry parameters (hole sizes).

AUTHORS

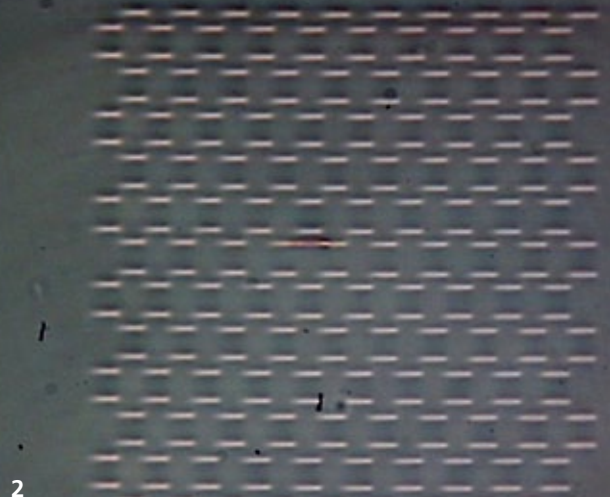
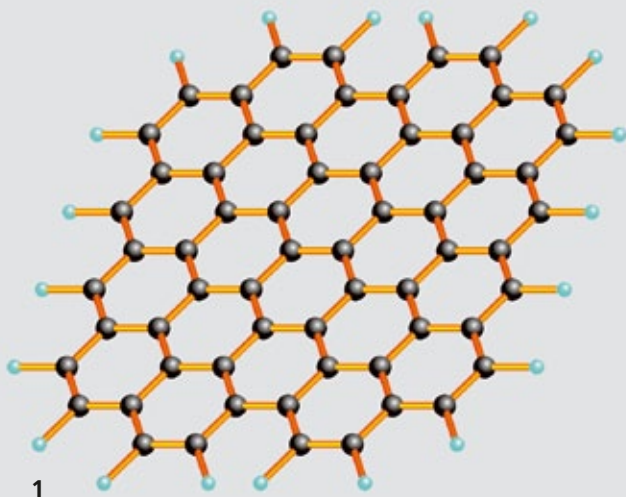
Benny Walther¹
Christian Helgert¹
Carsten Rockstuhl²
Frank Setzpfandt¹
Falk Eilenberger¹
Ernst-Bernhard Kley¹
Falk Lederer²
Thomas Pertsch¹

¹ Institut für Angewandte Physik, Friedrich-Schiller-Universität Jena

² Institut für Festkörpertheorie und -optik, Friedrich-Schiller-Universität Jena

CONTACT

Prof. Dr. Thomas Pertsch
Phone +49 3641 947-840
thomas.pertsch@uni-jena.de



PHOTONISCHES GRAPHEN PHOTONIC GRAPHENE

Photonische Bienenwabengitter – die optische Version des wohlbekannten Graphen /1/ (einer einzelnen Lage von Kohlenstoffatomen, die in Bienenwabenstruktur angeordnet sind) – teilen viele Gemeinsamkeiten mit diesem einzigartigen Material, wie beispielsweise die energetische Bandstruktur oder die Existenz von Oberflächenzuständen. Wenn man die Physik propagierender Teilchen in einem atomaren Potential im Festkörper auf ein analoges optisches System überträgt, profitiert man jedoch von einer räumlichen (anstelle einer zeitlichen) Evolution. Darüber hinaus kann die Wellenfunktion des Testteilchens direkt abgebildet und beobachtet werden. Interessanterweise sind in »photonischem Graphen« eine Reihe zusätzlicher Phänomene beobachtbar, die keine Entsprechung im elektronischen System haben und rein optischer Natur sind, zum Beispiel spezielle Oberflächenzustände der propagierenden Wellenfunktion /2/.

Kürzlich wurde vorgeschlagen, dass in Graphen inhomogene Deformationen »pseudomagnetische Felder« induzieren können, die sich prinzipiell wie reale Felder verhalten /3/. Wir konnten experimentell und theoretisch durch die präzise Strukturierung eines dielektrischen Gitters zeigen, dass es möglich ist, pseudomagnetische Felder bis zu 7000 Tesla bei optischen Frequenzen in photonischen Bienenwabengittern zu induzieren /4/. Dieses Feld erzeugt eine spezielle Bandstruktur, wie sie bisher noch nicht beobachtet werden konnte. Darüber hinaus ist es uns gelungen zu zeigen, dass optische Moden durch entstehende magnetische Bandlücken transversal begrenzt werden können. Deformiertes photonisches Graphen

Honeycomb photonic lattices - the optical version of the well-known graphene /1/ (a monolayer of carbon atoms arranged in a honeycomb geometry) - share many common features with that unique material, such as the band structure of the energy and the existence of edge states. However, when transferring the physics of particles in the atomic potential of a crystalline solid onto an analogous optical setting, justified by the fundamental wave-particle duality, the observer benefits from spatial (rather than temporal) evolution and from almost arbitrary scalability of the length scale of the refractive index contrast. Furthermore, the wave function can be directly imaged and monitored as it evolves. Interestingly, "photonic graphene" displays several additional phenomena that are not manifest in the original electronic system, for example, particular surface states of the propagating wave function /2/.

It has been recently suggested that, in graphene, inhomogeneous strains can induce 'pseudomagnetic fields' that behave very similarly to real fields /3/. In our work, we show experimentally and theoretically that, by properly structuring a dielectric lattice, it is possible to induce a pseudomagnetic field up to 7,000 Tesla at optical frequencies in a photonic honeycomb lattice /4/. The induced field gives rise to a particular band structure which has not been observed previously. Moreover, we demonstrate that the according formation of magnetic gaps results in a transverse confinement of the optical modes. The use of strain allows for the exploration of magnetic effects in a non-resonant way that would be otherwise inaccessible in optics. Employing inhomogeneous

1 Die atomare Struktur von Graphen. | *The atomic structure of graphene.*

2 Ein Mikroskopbild einer Glasprobe mit einem Bienenwabengitter – photonischem Graphen. |

A microscope view on a glass sample with a honeycomb lattice – photonic graphene.

erlaubt uns die Erforschung magnetischer Effekte in nicht-resonanter Weise, was bisher in optischen Systemen nicht durchführbar war. Der Einsatz inhomogener Deformationen zur Erzeugung eines Pseudomagnetismus bietet die Möglichkeit, in aperiodischen photonischen Kristallstrukturen höchste Feldverstärkungen und »Slow-light« Effekte zu erzeugen, die wesentlich über die in periodischen Strukturen hinausgehen. Die Verallgemeinerung dieser Konzepte zu Systemen jenseits der Optik, z.B. Materiewellen in optischen Potentialen, führt zu neuen Phänomenen, die sich grundlegend von denen in rein periodischen Strukturen unterscheiden.

Literatur / References

- /1/ Guinea et al.: Nature Physics 6, 30–33 (2010).
- /2/ Rechtsman et al.: arXiv:1210.5361 (2012).
- /3/ Novoselov et al.: Science 306, 666-669 (2004).
- /4/ Rechtsman, Zeuner et al.: Nature Photonics 7, 153-158 (2013).

strain to induce pseudomagnetism suggests the possibility that aperiodic photonic crystal structures can achieve greater field-enhancement and slow-light effects than periodic structures. Generalizing these concepts to other systems beyond optics, for example with matter waves in optical potentials, offers intriguing new phenomena that are fundamentally different to those in purely periodic structures.

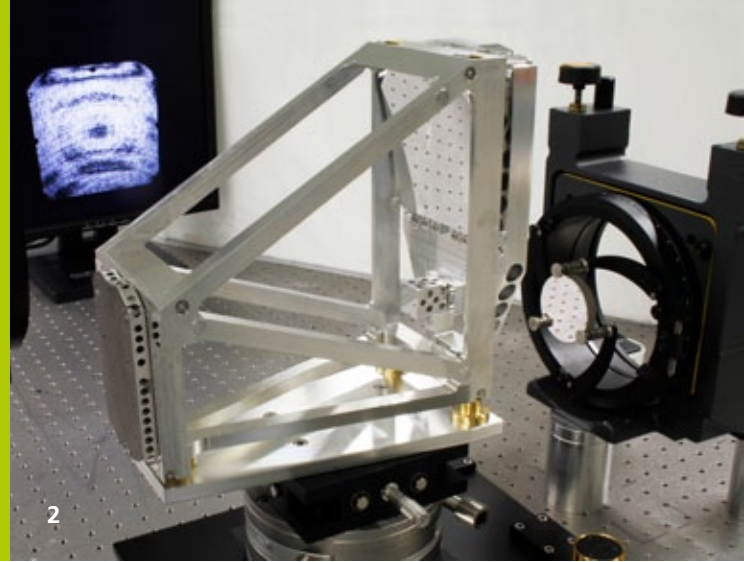
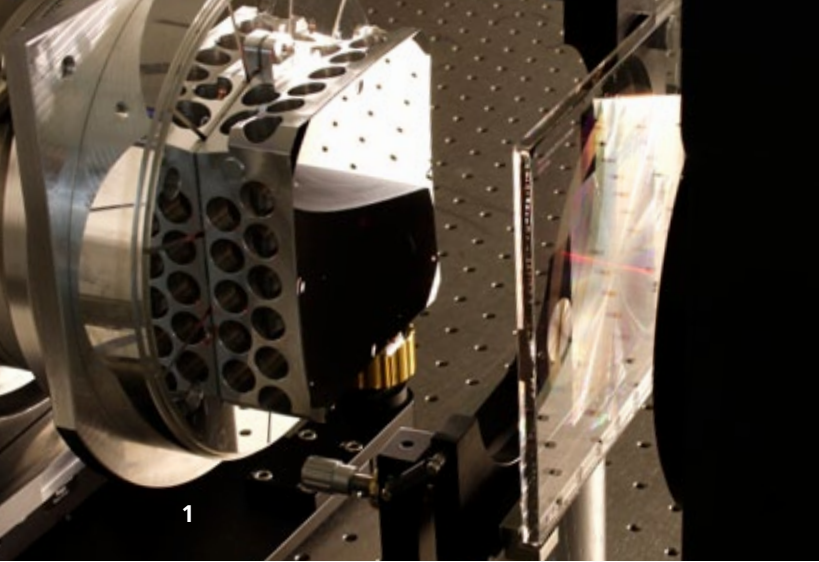
AUTHORS

Alexander Szameit¹
Stefan Nolte¹

¹Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena

CONTACT

Jun.-Prof. Dr. Alexander Szameit
Phone +49 3641 947-985
alexander.szameit@uni-jena.de



IR-TELESKOP MIT FREIFORMKOMPONENTE IR-TELESCOPE WITH FREE-FORM COMPONENT

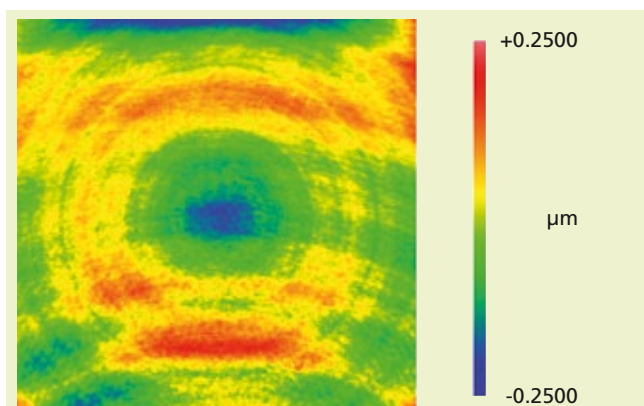
Moderne Teleskope und Spektrometer werden zunehmend mit Spiegeloptiken realisiert, um eine Absorptions- und Dispersionsunabhängigkeit der optischen Abbildung zu erzielen. Technologien zur Fertigung, Charakterisierung und dem präzisen Einbau von asphärischen Flächen sind weit entwickelt. Einen großen Freiraum für das optische Design, die optische Funktion und die Herstellungstechnologie bieten Freiformflächen. Der zusätzliche Freiheitsgrad der Spiegelformen wird genutzt, um die Größe von Systemen zu verkleinern, außergewöhnliche Funktionen wie z. B. anamorphotische Abbildungen zu realisieren oder Fehler während der Fertigung zu minimieren. Die Entwicklung der Technologie zur Herstellung und exakten Integration von Freiformspiegeln in Teleskope ist aktuell ein zentraler Forschungsschwerpunkt. Insbesondere werden Lösungen zur Freiformbearbeitung und Integration von optischen Elementen für Hochleistungs-Spiegelteleskope entwickelt. Die Optikfertigung basiert auf der Freiformbearbeitung eines Metallspiegels mit Diamantwerkzeugen auf Ultra-Präzisionsmaschinen. Neben der Minimierung der Oberflächenformabweichung durch eine dreidimensionale Fehlerkorrektur, liegt der Schwerpunkt der Arbeit auf einer eindeutigen Lagezuordnung des Spiegels im Prüfaufbau gegenüber einem Computer Generierten Hologramm (CGH) und auf der justagefreien Systemmontage. Die Kombination aus Freiformbearbeitung des Spiegels und einem Fräsprozess zur Herstellung von Mess- und Montageflächen in einem Maschinenaufbau ist die Grundlage zur exakten Fehlerbestimmung und Flächenkorrektur des Spiegels

Modern telescopes and spectrometer optics are increasingly based on reflective optics to achieve dispersion-free imaging and independence from absorption. Techniques for the fabrication, characterization and precise optical alignment of rotationally symmetric surfaces, such as spheres and aspheres, are well-developed. Free-form surfaces offer an additional degree of freedom for optical designers, the imaging function and the fabrication technology. These advantages are used to reduce the size and mass of a system, realize exceptional optical functions such as anamorphic imaging or to minimize errors during fabrication. Current research projects aim to enhance the technology for the fabrication and accurate assembly of free-form mirrors in imaging devices. In particular, solutions for free-form machining and the system integration of optical components in high-performance reflecting telescope optics are being developed. The optics manufacturing is based on the ultra-precision machining of metal mirrors with diamond turning tools. Besides the figure improvement based on a three dimensional error map of the mirror, research is focused on the precise position registration of the surface under test to a computer generated hologram (CGH) during the interferometric measurement. A later "snap-together" integration, without the necessity of alignment steps, allows an efficient and reliable system assembly of the optical instrument. The combination of free-form machining of the mirror and micro-milling of reference features and assembly surfaces in one and the same machining system allows the accurate determination of surface position and the figure correction as well as the efficient

- 1 *Freiformspiegel mit exakten Referenzmarken bei der interferometrischen Messung mit dem CGH mit Hilfshologrammen auf demselben Substrat.* | *Free-form mirror with precise reference elements in the interferometric setup comprising a CGH with auxiliary holograms on the same mask blank.*
- 2 *Freiformspiegelteleskop während der interferometrischen Prüfung.* | *Free-form mirror telescope during final interferometric system inspection.*

und zum effizienten Einbau in das Teleskop. Abbildung 1 zeigt den Freiformspiegel im Interferometeraufbau. Der Spiegel wird anhand von vier sphärischen Referenzflächen am Spiegelrand in sechs Freiheitsgraden mikrometergenau zu Hilfshologrammen auf dem CGH ausgerichtet. Durch diesen neuartigen Messansatz ist es möglich, die absolute Formabweichung des Spiegels von der Designgeometrie inklusive Verkippung und sphärischem Anteil zu ermitteln. Der Formfehler des Spiegels mit einer Clear Apertur (CA) von 100 mm x 102 mm ist 31 nm (rms); 250 nm (p-v). Das in kurzer Zeit aufgebaute Teleskop erfüllt die Anforderungen einer beugungsbegrenzten Abbildung nach dem Kriterium von Maréchal bis zu einer Wellenlänge von $\lambda=1 \mu\text{m}$. Die STREHL'sche Definitionshelligkeit bei $\lambda=1 \mu\text{m}$ ist $S=0,8$. Somit ist das Teleskop mit einem Wellenfrontfehler von 70,7 nm (rms); 492 nm (p-v) für den größten Teil des NIR sowie für MWIR und LWIR als Hochleistungsoptik anzusehen.

Das Projekt wurde vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) Raumfahrtmanagement, Erdbeobachtung im Rahmen des Projektes IRS-SERVOTECH, FKZ 50EE1006 gefördert.



3 Wellenfrontfehler des beugungsbegrenzten Teleskops bei einfachem Durchgang in einer CA von 100mm x 100 mm; 70.7 nm (rms), 492 nm (p-v). | Wave Fron Error of the diffraction limited IR-telescope with a Clear Aperture of 100mm x 100 mm in single pass; 70.7 nm (rms), 492 nm (p-v).

integration of the mirror into the telescope. Figure 1 shows the free-form under interferometric test. The mirror is aligned using the interferograms of four spherical reference surfaces outside the clear aperture that interfere with corresponding auxiliary holograms on the CGH. The method allows the alignment of the mirror with respect to the microoptics of the CGH in six degrees of freedom with micrometer accuracy. This innovative measurement approach allows the acquisition of the absolute deviation of the mirror shape from the design geometry, including tilt and optical power. The residual error of the mirror with a clear aperture of 100 mm x 102 mm after the shape correction on the ultra-precision machine is 31 nm (rms), 250 nm (pv). The telescope demonstrator could be assembled in a short time. The imaging performance meets the requirements of a diffraction-limited system according to the criterion of Maréchal up to a wavelength of $\lambda = 1 \mu\text{m}$. The STREHL ratio at that wavelength is 0.8. The telescope with a wave front error of 70.7 nm (rms), 492 nm (p-v) is thus considered to be diffraction limited high-performance optics for most of the NIR and for MWIR and LWIR.

The project was funded by the German Aerospace Center (DLR), Space Administration, Earth Observation on the project IRS ServoTech, FKZ 50EE1006.

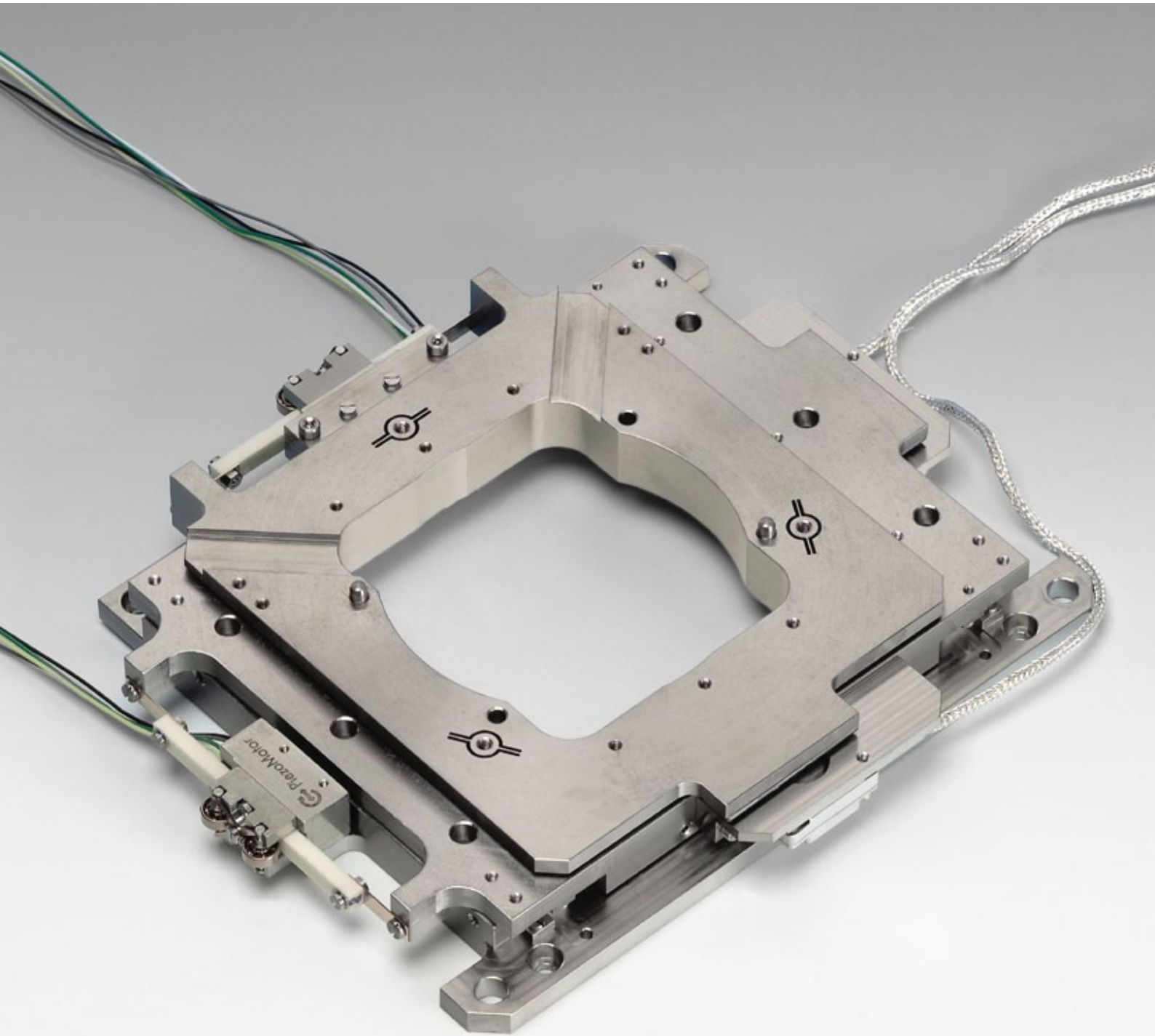
AUTHORS

Sebastian Scheiding
Stefan Risse
Uwe D. Zeitner
Christoph Damm
Andreas Gebhardt

CONTACT

Sebastian Scheiding
Phone +49 3641 807-353
sebastian.scheiding@iof.fraunhofer.de

GESCHÄFTSFELD
BUSINESS FIELD



FEINMECHANISCHE KOMPONENTEN UND SYSTEME / PRECISION ENGINEERING COMPONENTS AND SYSTEMS

Seit Gründung des Fraunhofer IOF ist die Feinmechanik ein Entwicklungsschwerpunkt und adressiert in Kombination mit der Optik eine Alleinstellung innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft. Das Fraunhofer IOF leistet einen Beitrag für die erfolgreiche Fortsetzung der Optik- und Feinmechanik-Tradition des Standorts Jena.

Mit feinmechanischen Komponenten, Baugruppen und Systemen bedient das IOF vornehmlich Kunden aus der Industrie. Das Produktspektrum reicht von komplexen mechanischen Komponenten (z.B. Fassungen) über qualitativ hochwertige Systeme (Spezialtische, Chucks) bis hin zu Präzisionsvorrichtungen und -maschinen einzigartiger, kundenangepasster Funktionalität bzw. auch Entwicklungen von neuen Verfahren basierend auf in-house Vorrichtungen. Das Geschäftsfeld definiert sich als eine Untergruppe der Photonik und ist eng verbunden sowohl mit den optischen Komponenten als auch mit den Verfahren der Herstellung von Komponenten und Systemen.

Hochgenaue Positioniersysteme wie zum Beispiel für die Elektronenstrahlolithographie zeigen die Kompetenz in Märkten mit höchsten Anforderungen an Präzision und Qualität.

Insbesondere der Bereich der Luft- und Raumfahrt erfordert hochstabile und dabei leichte Bauelemente. Dies wird mit Leichtgewicht-Metallspiegeln erreicht, welche vom Design bis zur Fertigung im Fraunhofer IOF realisiert werden.

Aktuelle Entwicklungen der Lasertechnik verlangen zuverlässige Aufbau- und Verbindungstechniken für Systeme, die auch unter extremen Bedingungen funktionieren.

Precision engineering has been a development theme since the Fraunhofer IOF was founded and, together with optics, occupies a dominant position within the Fraunhofer Society. The Fraunhofer IOF contributes to the successful continuing tradition of the Jena site as a center of optics and precision engineering excellence.

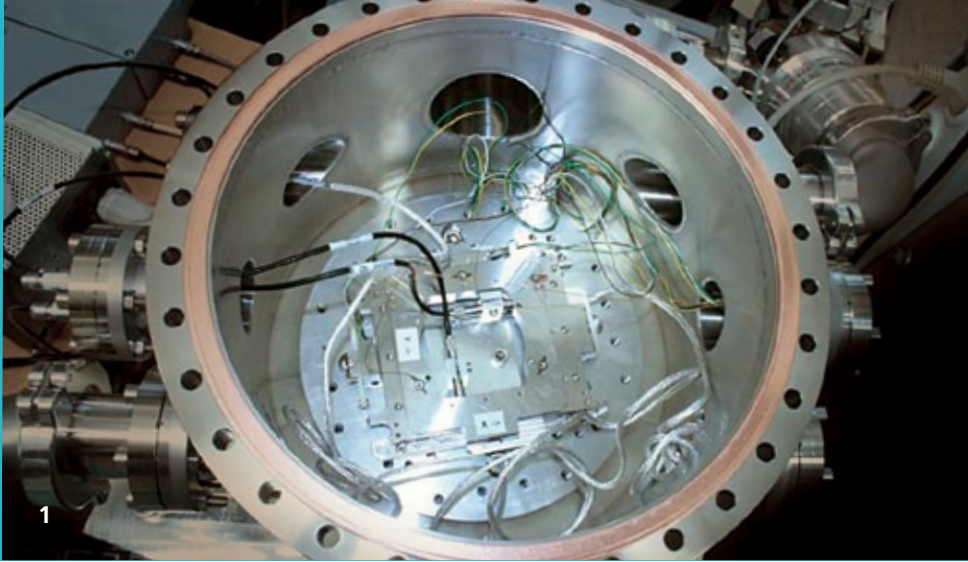
With precision engineering components, assemblies, and systems, the IOF primarily serves customers in industry. The product range covers complex mechanical components (e.g. mounts), high-quality systems (special platforms, chucks) and precision devices and machinery with unique customized functionality as well as the development of new techniques based on in-house equipment. The business field is defined as a subgroup of photonics and is closely linked to optical components and techniques for manufacturing components and systems.

Ultra-precise positioning systems, such as for electron beam lithography, demonstrate our expertise in high-quality and high-precision markets which demand the most stringent requirements.

The aerospace industry particularly requires ultra-stable yet light components. This is achieved with lightweight metal mirrors, implemented by IOF all the way from design to manufacture.

Current laser technology also requires reliable assembly and packaging technologies to ensure that these systems also function under extreme conditions.

LEFT *Präzisionspositioniersystems für Elektronenstrahlanwendungen. | Precision positioning system for electron beam applications.*



PRÄZISIONSPOSITIONIERSYSTEM FÜR ELEKTRONENSTRAHLANWENDUNGEN PRECISION POSITIONING SYSTEM FOR ELECTRON BEAM APPLICATIONS

Beim Einsatz von neuartigen Lithographiesystemen wie der »Multi Shaped Beam Lithography« ist zur Strahlkalibration die präzise Positionierung von Strahlformungselementen im Elektronenstrahl notwendig. Die Reproduzierbarkeit der Strahlformungselemente an unterschiedlichen Positionen, relativ zum Elektronenstrahl, ist im Bereich von weniger als 1 μm spezifiziert. Während des Belichtungsprozesses und der Schreibzeit von 10 Minuten soll die Positionsstabilität 10 nm betragen. Die eingesetzten Materialien müssen vakuumkompatibel (10^{-5} Pa) und magnetfrei ausgeführt sein. Das Positioniersystem darf keine Beeinflussung des Elektronenstrahls verursachen. Der Bewegungsbereich zur Positionierung der Strahlformungselemente beträgt 12 mm in x- und y-Bewegungsrichtung.

Es wurde ein zwei-Achsen Positioniersystem entwickelt, in das Strahlformungselemente mittels eines Halterahmens integriert werden können. Das Positioniersystem verfügt über Piezoantriebe, keramische Führungselemente und Messsysteme (Abb. 2).

Das Positioniersystem wurde unter Normal- und Vakuumatmosphäre charakterisiert. Eine Vakuumkammer wurde zur Realisierung verschiedener Tests entwickelt (Abb. 1). Versuchsbedingungen von 10^{-5} Pa Unterdruck innerhalb der freien Apertur des Positioniersystems wurden durch die Integration

New lithography tools such as Multi Shaped Beam Lithography require the accurate positioning of beam shaping elements with respect to the electron beam. Due to calibration procedures, the beam shaping elements have to be placeable on different functional positions with reproducibility of less than 1 μm . During the lithography procedure, the positions have to be stable on a scale better than 10 nm over a time period of 10 minutes. The requirements on the positioning system are thus long-term stability in the low nm-range, bidirectional reproducibility better than 1 μm , compatibility with high vacuum conditions (10^{-5} Pa) and no magnetic or electrostatic interference with the electron beam caused by positioning system components. The travel range for each axis is defined to be 12 mm.

A two-axis positioning system consisting of a mounting frame to attach the assembly with beam shaping elements, actuators, an optical measuring system and ceramic roller bearings (see Figure 2) was developed to meet the above requirements.

The characterization of the positioning system was performed under standard atmosphere and vacuum conditions. A vacuum test chamber (see Figure 1) was designed and installed for different test runs. A vacuum of 10^{-5} Pa was reached at the inner clear aperture of the positioning system using a turbo molecular pump; at the outer side of the positioning system

1 *Vakuum-Kammer mit integriertem Positioniersystem. |*

Vacuum chamber with integrated positioning system.

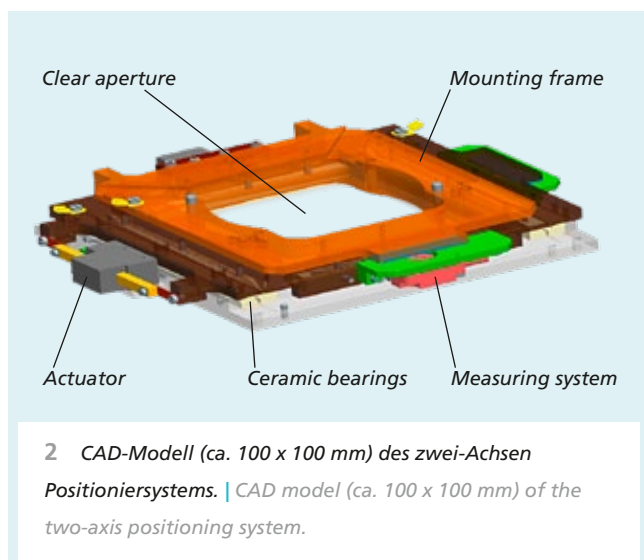
einer Turbo-Molekularpumpe erreicht. Die Messungen der Positionierschrittweite und der Positionierstabilität wurden unter Verwendung der integrierten optischen Messsysteme und zusätzlicher kapazitiver Sensoren durchgeführt. Die Vergleiche der Charakterisierung unter Normal- und Vakuumatmosphäre zeigen gute Korrelation. Die Positionierung von Schritten im Bereich von 3 nm wurde nachgewiesen. Die Positionsstabilität zeigt ein maximales Driftverhalten von weniger als 10 nm während der Messperiode von 10 Minuten. Die bidirektionale Reproduzierbarkeit beträgt 0,1 µm und die Positioniergenauigkeit 1 µm.

Diese Arbeiten wurden durch die Thüringer Aufbaubank im Projekt »PARCEL« (Projektnummer 2010 FE 9026, 2010 VF 0009) im Rahmen des Strukturfonds EFRE (Europäischer Fond zur Regionalen Entwicklung) gefördert.

(main chamber) a vacuum of 10^{-3} Pa was achieved during the positioning and position stability examinations.

The measurements of the positioning step width and the positioning stability were performed using the integrated optical measuring systems and additional capacitive sensors. The comparison of the test results on standard atmosphere and vacuum conditions shows a good correlation of the measured step width. Positioning steps down to 3 nm could be demonstrated. The positioning stability shows an overall drift of less than 10 nm over a measuring period of 10 minutes. Depending on the thermal stability, the thermally induced deviations are higher at standard atmosphere because of the influences of convective heat transfer. The performance data show a positioning accuracy of 1 µm and a bidirectional repeatability of 0.1 µm.

The work was supported by the Thüringer Aufbaubank on the project PARCEL (project number 2010 FE 9026, fund number 2010 VF 0009) within the framework of the European EFRE structural funds (European Regional Development Fund).



AUTHORS

Matthias Mohaupt

Gerd Harnisch

Nils Heidler

Erik Beckert

Paul Zerfas

Hans-Joachim Döring¹

Dietmar Heine¹

Matthias Klein¹

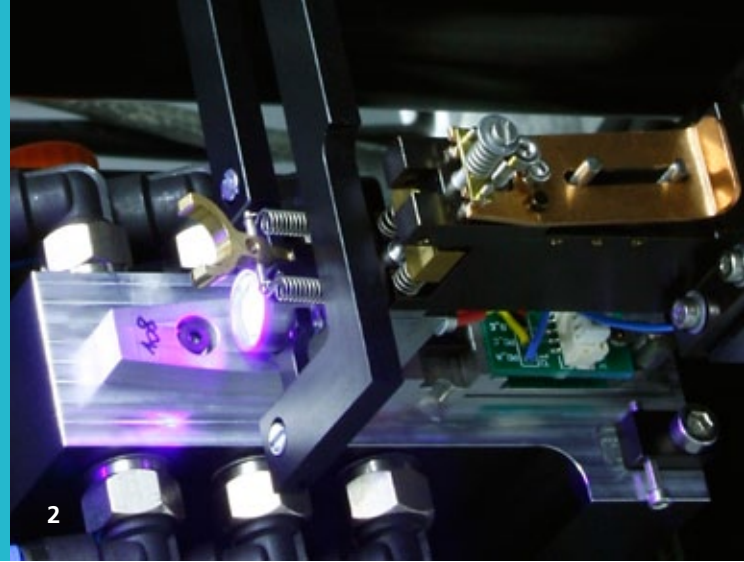
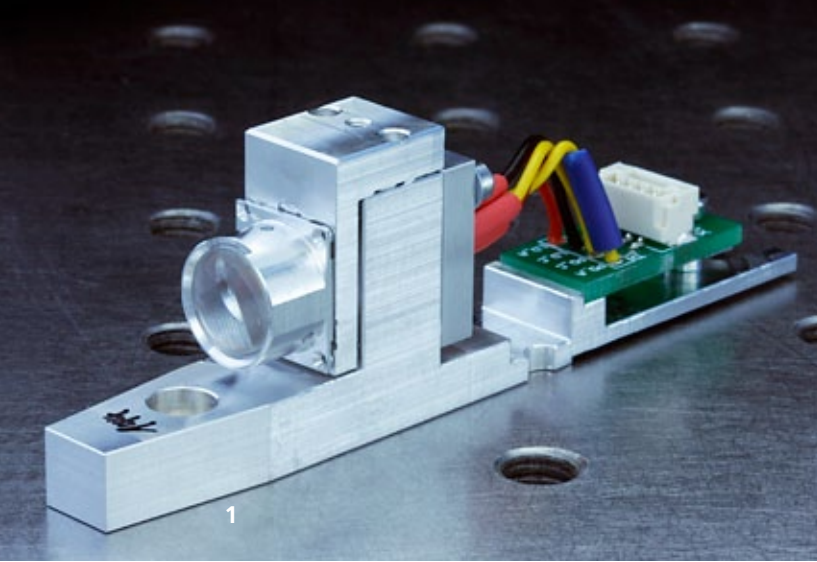
¹Vistec Electron Beam GmbH

CONTACT

Matthias Mohaupt

Phone +49 3641 807-342

matthias.mohaupt@iof.fraunhofer.de



ENTWICKLUNG EINES UV-LASERMODULS DEVELOPMENT OF A UV LASER MODULE

Moderne Fertigungsmaschinen zur Herstellung von Leiterplatten als Schaltungsträger, zum Beispiel für die neuesten Generationen von Mobiltelefonen, arbeiten mit lithographischen Methoden und benötigen entsprechend hochauflösende Belichtungssysteme. Mit der Verfügbarkeit von Laserdioden im UV-Bereich wird folglich auch der kurzwellige Bereich für die Belichtung relevant werden, mit dem sich besonders hohe Strukturauflösungen realisieren lassen. Die derzeit geringe Leistung der Laserdioden im Bereich von maximal 1 W erfordert allerdings eine kaskadierte Anordnung von mehreren Beleuchtungsquellen, um ausreichende Beleuchtungsintensitäten zu erreichen. In Zusammenarbeit mit der Laser Imaging Systems GmbH, einem Jenaer Lieferanten für Equipment zur Leiterplattenfertigung, wurden dafür im Leistungsbereich von 0,2 W bis 1,2 W skalierbare und kaskadierbare, parallel anzuordnende Lasermodule entwickelt, die es erlauben, die Leistung von bis zu 50 einzelnen Modulen gemeinsam in eine Faser zur Strahlführung an den Belichtungsort einzukoppeln.

Schwerpunkt der Entwicklungstätigkeit waren zunächst Design und Erprobung des Moduls. Eine schlanke Bauform war Grundvoraussetzung für die Kaskadierbarkeit im begrenzten Bauvolumen. Die hohen Anforderungen an die Präzision der Montage konnten nur durch ein thermisch angepasstes Design bei gleichzeitig optimiertem Management der entstehenden Verlustleistung und der Anwendung von Konstruktionsprinzipien der Präzisionsmechanik realisiert werden. Gleichzeitig wurden Aspekte der Montageeffizienz berücksichtigt, da eine

Modern manufacturing equipment for the production of printed circuit boards that are used, for example, in the latest generations of mobile phones is based on lithographic technologies and therefore requires high resolution illumination systems. The availability of laser diodes in the UV range enables the use of the short wavelength region for illumination, thus allowing highest structure resolutions. Due to the limited power of the laser diodes of currently ca. 1 W, however, a cascaded arrangement of several illumination sources is essential for sufficient illumination intensities. In collaboration with Laser Imaging Systems GmbH, an equipment supplier for the manufacturing of printed circuit boards, UV modules with a scalable power between 0.2 W and 1.2 W were developed that are capable of a cascaded and parallel arrangement of up to 50 modules, allowing for common fiber coupling to guide the integrated UV power to the illumination area.

The initial main focus in the development was the design and evaluation of the UV module. A slim design allows for the parallel arrangement of several modules in a limited space. The high demands on assembly precision are fulfilled by a thermally adapted design along with optimized management of the dissipated heat and the application of precision design rules. At the same time, aspects of assembly efficiency had to be taken into account for the series production of modules, which is a prerequisite for the cascaded arrangement in illumination systems. Adhesion bonding technologies were thus

1 UV-Modul in Bauweise für eine kaskadierbare Anordnung in Belichtungssystemen. |

UV laser diode module in cascaded design for illumination systems.

2 Montage des UV-Moduls in einer teilautomatisierten Vorrichtung. |

Assembly of an UV laser diode module in a partially automated device.

Serientauglichkeit der Module notwendige Voraussetzung für den kaskadierten Einsatz in Belichtungssystemen ist. Zum Einsatz kamen Klebetechniken, mit denen der eingestellte, präzise Justierzustand schnell fixiert werden kann. Um einer Degradation der Klebestellen vorzubeugen, sind diese effektiv vom Nutz- und Streulicht des UV-Moduls abgeschirmt.

Mit einer nachgewiesenen Zykluszeit <30 min für die Montage wurde die Grundlagen gelegt, um eine Montagevorrichtung aufzubauen, mit der die Laser Imaging Systems GmbH zukünftig in der Lage sein wird, UV-Module in Kleinserie für Leiterplatten-Belichtungssysteme zu produzieren.

used for the fast fixation of the achieved precision alignment state. To avoid degradation of the adhesive joints, these had to be sufficiently shielded from illumination and scattered light of the UV module itself.

In principle, it has been proven that the cycle time of <30 min for assembling a module serves as a basis for the ongoing development of an assembly station that will enable Laser Imaging Systems GmbH to produce UV modules in small series batches.

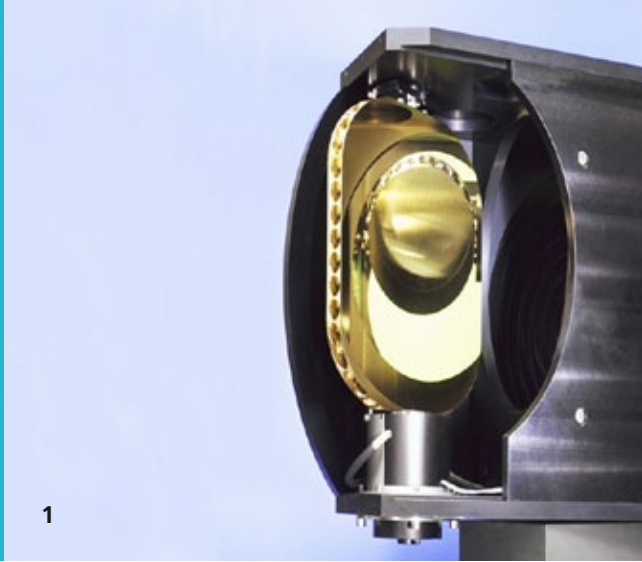
AUTHORS

Erik Beckert
Steffen Rücker¹
Jonas Burkhoff¹
Peter Voigt¹
Christoph Damm
Matthias Mohaupt
Ben Zaage
Nicolas Lange
Steffen Gramens

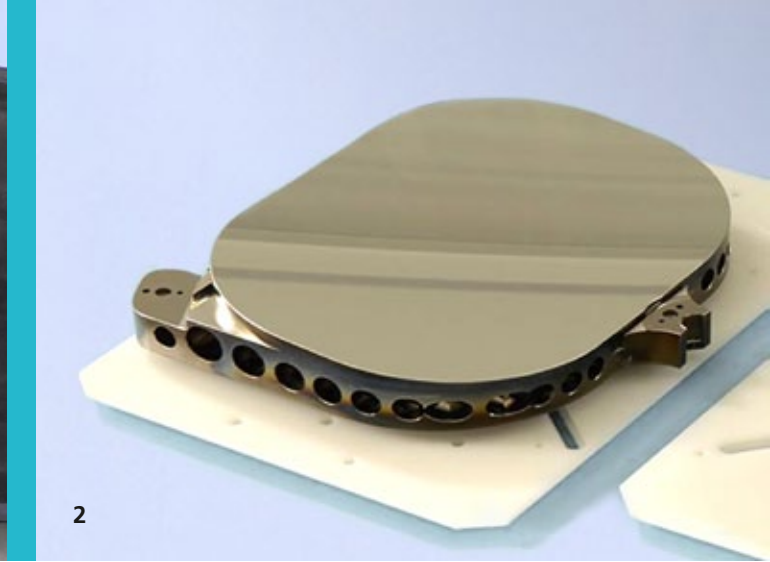
¹ Laser Imaging Systems GmbH & Co. KG

CONTACT

Dr. Erik Beckert
Phone +49 3641 807-338
erik.beckert@iof.fraunhofer.de



1



2

DESIGN VON LEICHTGEWICHT-METALLSPIEGELN

DESIGN OF LIGHTWEIGHT METAL MIRRORS

Metallspiegel werden in unterschiedlichen Abbildungssystemen für den Bereich Luft- und Raumfahrt eingesetzt /1–2/. Neben der guten Fertigbarkeit mittels Einkorn-Diamant-Bearbeitung spielen dafür vor allem deren hohe Festigkeit eine große Rolle sowie die Möglichkeit, durch den Einsatz des gleichen Materials für optische Komponenten und Fassung ein athermales Optiksistem zu realisieren.

Insbesondere für im Weltraum eingesetzte Systeme spielt die Masse eine sehr wesentliche Rolle. Deshalb werden typischerweise entsprechende Spiegel als Leichtgewichtkonstruktion ausgeführt /3/, meistens durch Ausfräsen von der Rückseite her. Trotz verringerter Masse soll aber die Steifigkeit der Spiegel möglichst erhalten bleiben, um Stabilität gegen mechanische Belastungen (z.B. beim Start) zu gewährleisten.

Das lässt sich am besten erreichen, indem durch querlaufende Bohrungen Material in der Nähe der neutralen Faser des Spiegelgrundkörpers entfernt wird, wobei Grund- und Deckplatte unangetastet bleiben /4/. Durch FEM-Berechnungen konnte gezeigt werden, dass bei einer ovalen Platte von $178 \times 146 \times 12 \text{ mm}^3$ mit nach diesem Verfahren um 60% reduzierter Masse die Deformation unter Gravitation nur ein Fünftel des Wertes einer massiven Platte erreicht, während die einer klassisch von der Rückseite ausgefrästen Platte

Metal mirrors are used in various aerospace imaging systems /1–2/. Alongside good manufacturability using single-point diamond processing, their toughness makes them highly suitable for this field, as does the possibility of realizing an athermal optical system using the same material for optical components and mounts.

Particularly for those systems used in space, mass plays a key role. Consequently, these mirrors are typically constructed using lightweight designs /3/, usually by milling pockets into the back surface. Despite a reduced mass, however, the mirrors must retain their rigidity as far as possible to ensure stability against mechanical loads (e.g. during the start). This can best be achieved by removing material near the neutral fiber of the mirror substrate using transverse bores while the base and top plates remain untouched /4/. FEM calculations could demonstrate that, in an oval plate measuring $178 \times 146 \times 12 \text{ mm}^3$ with a mass reduced by 60 % using this method, deformation under gravity reaches only one fifth of the value of a solid plate, while the plate traditionally milled from the back surface shows twice as large deformation as the solid plate /5/. This method has been routinely used for some years at Fraunhofer IOF. As an example, an oscillation frequency of $> 10 \text{ Hz}$ with surface qualities better than 100 nm r.m.s. could be realized for a scanning mirror with

1 *Scannersystem für den Einsatz im Flugzeug. | Scanner system for use in aircraft.*

2 *Asphärischer Leichtgewichtspiegel für ein Erdbeobachtungssystem. | Aspherical lightweight mirror for earth observation system.*

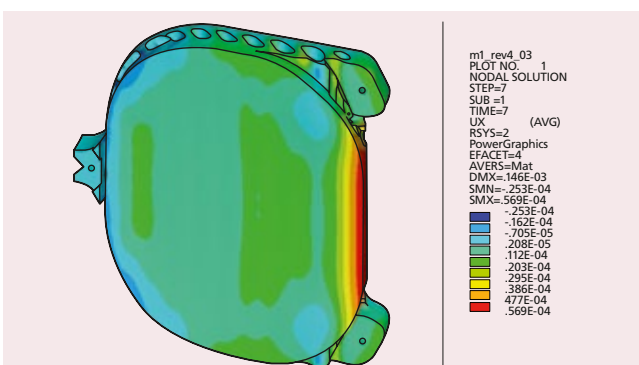
doppelt so groß ist wie die der massiven Platte /5/. Dieses Verfahren wird seit einigen Jahren am Fraunhofer IOF routinemäßig eingesetzt.

Beispielsweise ließ sich für einen Scanspiegel mit einer Fläche von 220x180 mm² für den Einsatz zur Detektion von Wirbelschleppen vom Flugzeug aus /6/ eine Schwingungsfrequenz von > 10 Hz bei Oberflächenqualitäten besser als 100 nm r.m.s. realisieren. Gleichzeitig wurde eine Massereduktion um 57% realisiert.

an area of 220x180 mm² for use in detecting vortex trailing from within an aircraft /6/. At the same time, a mass reduction of 57 % was achieved.

Literatur / References

- /1/ Gebhardt, A. et al.: MERTIS: optics manufacturing and verification, SPIE Proc. Vol. 7808 (2010) 78080Q.
- /2/ Risse, S. et al.: Novel TMA telescope based on ultraprecise metal mirrors, Proc. SPIE 7010, 701016 (2008).
- /3/ Yoder Jr., P. R.: Opto-Mechanical Systems Design, 3rd ed., Boca Raton (CRC Press), 2006.
- /4/ Risse, S.; Damm, C.; Harnisch, G.; Peschel, T.: Leichtbaustrukturelement, EP000001480005.
- /5/ Scheiding, S.; Risse, S.; Peschel, T.; Damm, C.; Müller, S.; Eberhardt, R.: Light Weight Structural Elements with Functional Surfaces, 53rd Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Ilmenau, 2008.
- /6/ Instrumentation systems for on-board wake-vortex and other hazards detection warning and avoidance (I-WAKE), http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=proj.document&PJ_RCN=5905511.



3 CAD-Modell (ca. 100 x 100 mm) des zwei-Achsen Positioniersystems. | CAD model (ca. 100 x 100 mm) of the two-axis positioning system.

AUTHORS

Thomas Peschel
Christoph Damm
Sebastian Scheiding
Stefan Risse

CONTACT

Dr. Thomas Peschel
Phone +49 3641 807-335
thomas.peschel@iof.fraunhofer.de

GESCHÄFTSFELD
BUSINESS FIELD



FUNKTIONALE OBERFLÄCHEN UND SCHICHTEN

FUNCTIONAL SURFACES AND LAYERS

Schwerpunkte des Geschäftsfeldes sind Oberflächen-funktionalisierungen von Optiken für die Lithographie, Medizintechnik, Messtechnik, Automotive, Luft- und Raumfahrt, Information und Kommunikation. Im Einzelnen sind das Optiken für kurze und extrem kurze Wellenlängen, beschichtete und strukturierte Kunststoff-Optiken, Grenzflächen und Schichten für die Energiegewinnung und Weltraumoptiken.

Bei der Funktionalisierung von Oberflächen geht es im Wesentlichen um die Einstellung von spektraler Reflexion, Transmission und Absorption. Für viele Anwendungen ist die Strahlungsfestigkeit der Oberflächen entscheidend. Diese ist unmittelbar mit den mechanischen Eigenschaften wie Haftfestigkeit, Härte, Kratzfestigkeit und Elastizität sowie mit der chemischen Beständigkeit und dem Benetzungsverhalten verbunden. Von Bedeutung sind Eigenschaftskombinationen wie z.B. entspiegelnder Kratzschutz, elektrisch leitfähige Entspiegelung oder selbstreinigende Spiegel.

Das Fraunhofer IOF ist weltweit führend bei der Beschichtung von Hochleistungsoptiken für die EUV-Lithographie sowie deren Charakterisierung.

Die Photovoltaik kann durch gezielte Oberflächen-funktionalisierungen stark an Effizienz gewinnen. Neuartige nanostrukturierte Flächen und dünne Schichten bieten hier ein hohes Potential. Die Behandlung von Kunststoffkomponenten ist eine Kernkompetenz im Geschäftsfeld Funktionale Oberflächen. So konnte zum Beispiel durch Oberflächenstrukturierungen die Adhäsion dieser Komponenten erhöht werden.

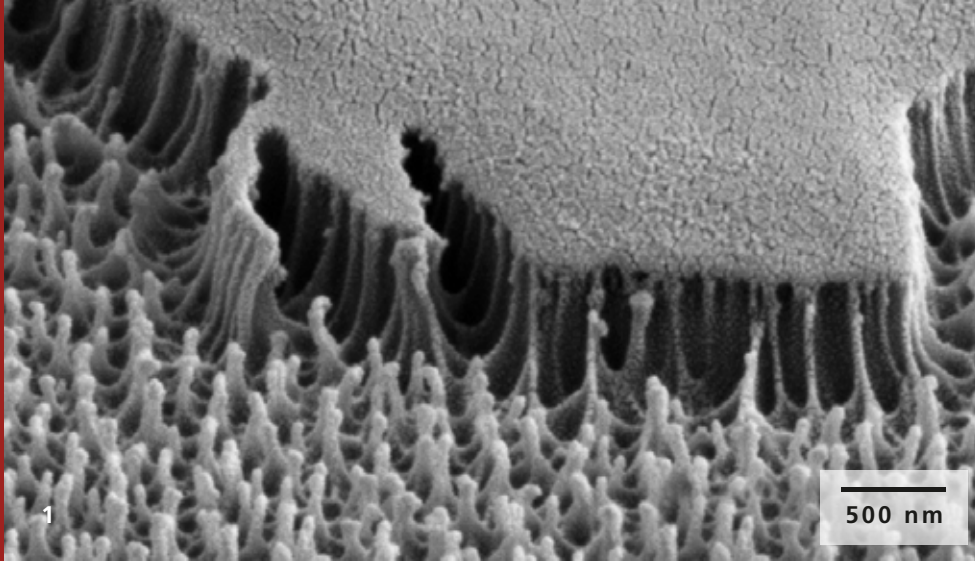
The Functional Surfaces and Layers business field at the IOF focuses on surface functionalization of optics for areas such as the lithography, medical technology, metrology, automotive, aerospace, information and communication industries. Specifically, these are optics for short and extremely short wavelengths, coated and structured plastic optics, interfaces and layers for energy generation and space optics.

In the field of functionalization, the adjustment of spectral reflectance, transmission and absorption is a key area of work. The radiation stability of surfaces is a crucial aspect here, directly related to mechanical properties such as bond strength, hardness, scratch resistance, elasticity, chemical resistance and wetting behavior. Combinations of properties, for example antireflective scratch resistance, electrically conductive antireflection or self-cleaning mirrors are of importance.

The Fraunhofer IOF is worldwide leading in coatings for high-performance optics for the EUV lithography and their characterization.

The efficiency of photovoltaics can be considerably boosted with the help of selective surface functionalization. Innovative nanostructured surfaces and thin layers offer great potential in this area. The treatment of plastic components is a core aspect of our work in functional surfaces. Surface structuring enables an increase in the adhesion of these components.

LEFT Audi Q5 Modell (1:18) mit einer halbseitig entspiegelten Kunststoffwindschutzscheibe und einer Dachverglasung mit Sonnenschutzfunktion. | Audi Q5 Modell (1:18) with partly antireflection coated front windshield and glass roof with coated solar protection.



ADHOK – OBERFLÄCHENSTRUKTUREN ZUR ADHÄSIONSERHÖHUNG

ADHOK – SURFACE STRUCTURES FOR ADHESION IMPROVEMENT

Das Lackieren von Kunststoffbauelementen ist eine gängige Methode die Abriebfestigkeit von Polymeroberflächen zu erhöhen. Ursache einer eventuell auftretenden geringen Haftfestigkeit des Hartlackes ist meist die unterschiedliche Polarität oder Oberflächenchemie von Substrat und Lack /1/. Deshalb müssen Maßnahmen ergriffen werden, die jeweiligen Grenzflächen zu modifizieren um die Haftung zu verbessern. Bei hochtransparenten Polymeren erweist sich dies, aufgrund der Anforderungen an die optischen Eigenschaften, als problematisch. Viele Methoden zur Haftvermittlung, wie das Anätzen mit Chemikalien oder mechanisches Aufrauen, führen zu einer deutlichen Verschlechterung der Transparenz solcher Bauteile. Das Fraunhofer Institut in Jena (IOF) beschäftigt sich seit mehreren Jahren mit der Nanostrukturierung von Kunststoffoberflächen durch Plasmaätzen /2/. Außer zum Zweck der Entspiegelung können derartige Strukturen auch zur Haftvermittlung verwendet werden, wofür allerdings große Struktur Tiefen und hohe Aspektverhältnisse notwendig sind. In einem durch die mittelstandsorientierte Eigenforschung (MEF) der Fraunhofer Gesellschaft geförderten Kooperationsprojekt mit dem Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik in Halle wurden Versuche mit dem Ziel durchgeführt, Nanostrukturen mit möglichst großem Aspektverhältnis und hohen Struktur tiefen auf einer Kunststoffoberfläche zu erzeugen. Diese Nanostrukturen sollten durch Plasmaätzen selbstorganisierend entstehen. Bei den Versuchen zur Strukturierung verschiedener

The laquering of plastic parts is a common method for increasing the abrasion resistance of polymer surfaces. The reason for low adhesion of the hard coating is usually found in different polarity or surface chemistry of the substrate and the coating /1/. Measures must therefore be taken to modify the respective interfaces to improve the adhesion. In the case of highly transparent polymers, this proves to be problematic due to the demands on the optical properties. Many methods for adhesion promotion, such as etching with chemicals or mechanical roughening, lead to a significant deterioration in the transparency of such components. The Fraunhofer Institute in Jena (IOF) has been working on the nano-structuring of polymer surfaces by plasma etching for several years /2/. In addition to antireflection purposes, such a structure can also be used to promote adhesion. However, large structure depths and high aspect ratios are necessary. On a research project funded by the Fraunhofer "small businesses-oriented internal research program" (MEF) in cooperation with the Fraunhofer Institute for Mechanics of Materials in Halle (IWM), experiments were carried out to produce nanostructures with a high aspect ratio and large structure depth on a polymer surface. These nanostructures were to be generated as a self-organizing formation under plasma etching conditions. Experiments for structuring the polymer materials indicated that for the various polymer types very different structural depths occur despite identical plasma etching conditions. If we plot the homogeneous surface

1 Durch Plasmaätzen erzeugte Nanostruktur auf einer PET-Oberfläche. |

Plasma generated nanostructures on a PET surface.

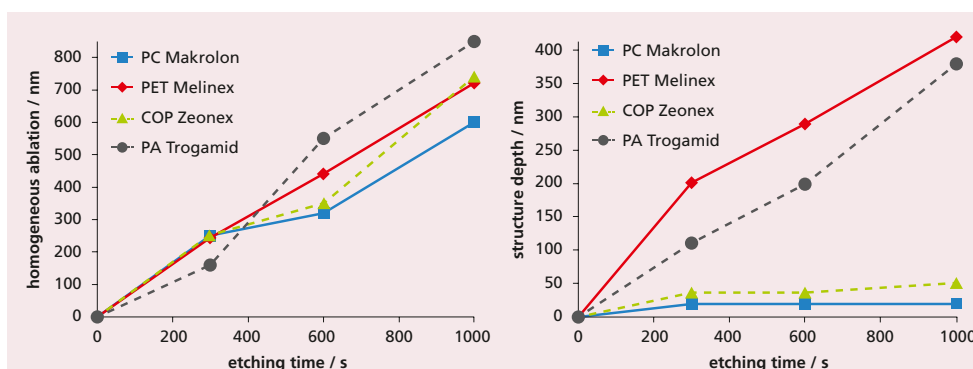
Kunststoffe zeigte sich, dass es trotz identischer Plasmabehandlung in Abhängigkeit vom Polymertyp zu vollkommen unterschiedlichen Strukturiefen kommt. Stellt man den Abtrag beim Plasmaätzen und die erreichte Strukturtiefe in Diagrammen gegenüber der Ätzzeit dar (siehe Abb. 3), fällt auf, dass es auch bei den Kunststoffen die keine tiefen Strukturen bilden, zu einem flächigen Ätzabtrag kommt. Mit Oberflächenstrukturen die eine ausreichende Tiefe aufwiesen konnte die Haftung verschiedener Lacksysteme auf den Kunststoffteilen verbessert werden. Gleichzeitig wurde die Lichttransmission der Bauteile nicht beeinträchtigt. Neben der verbesserten Lackhaftung zeigten die nanostrukturierten Oberflächen ebenso eine verbesserte Zelladhäsion im Vergleich zu Standard-Zellkulturmaterialien. Damit hat der Plasmaätzprozess als eine neue Oberflächenmodifizierungsmethode für Zellkulturprodukte durchaus Potential für biomedizinische Anwendungen.

Diese Ergebnisse entstanden im Rahmen des Projekts »AdHoK« (Oberflächenstrukturen zur Adhäsionserhöhung auf optisch hochwertigen Kunststoffkomponenten); MEF mittelstandsorientierte Eigenforschung der Fraunhofer Gesellschaft.

ablation and the resulting structure depth on diagrams as a function of the etching time (see Fig. 3), it becomes obvious that homogeneous ablation also occurs on polymers not exhibiting a distinctive structure growth. With surface structures exhibiting a sufficient depth, the adhesion of various laquers to the plastic parts could be improved. At the same time, light transmission through the components was not affected. Besides the enhanced adhesion for laquers, the nanostructured surfaces also showed an improved cell-growth performance compared to standard cell culture materials. Plasma etching as a new surface modification method for cell culture products thus has a certain potential for biomedical applications. These results were achieved on the project „AdHoK“ (Surface structures for adhesion improvement on plastic components with optical quality); MEF small businesses-oriented internal research program of the Fraunhofer Society.

References / Literatur

- /1/ K.L. Mittal, A. Pizzi: Adhesion Promotion Techniques, Marcel Dekker Inc., New York, 2002.
/2/ U. Schulz, P. Munzert, R. Leitel, I. Wendling, N. Kaiser, A. Tünnermann: Antireflection of transparent polymers by advanced plasma etching procedures, Optics Express, 15 (2007) 13109-13113.



2 Abtrag (links) und erreichte Strukturtiefe (rechts) beim Plasmaätzen verschiedener Kunststoffe. |
Homogenous ablation (left) and achieved structure depth (right) for the plasma etching of various plastics.

AUTHORS

Peter Munzert
Ulrike Schulz
Sandra Günther¹
Andreas Kiesow¹

¹ Fraunhofer Institut für
Werkstoffmechanik IWM, Halle

CONTACT

Dr. Peter Munzert
Phone +49 3641 807-271
peter.munzert@iof.fraunhofer.de



LEBENSDAUER UND REINIGUNG VON MULTILAYER-LPP-KOLLEKTORSPIEGELN LIFE CYCLE AND CLEANING OF MULTILAYER LPP COLLECTOR MIRRORS

Die nutzbare Leistung von EUV Lichtquellen bei 13,5 nm sowie die Lebenszeit von Quelle und Kollektoroptik stellt gegenwärtig eine der größten Herausforderungen beim Übergang der EUV-Lithographie vom aktuellen Beta-Status zur Volumenproduktion dar. In den vergangenen Jahren hat das Fraunhofer IOF neue Beschichtungen zur Erhöhung der Lebenszeit von Multilayer-Kollektorspiegeln (Abb. 1) sowie kosteneffiziente Technologien für deren Reinigung und Aufarbeitung entwickelt.

Die Lebensdauer eines Kollektorspiegels beträgt gegenwärtig ca. 80 Milliarden Laserpulse (Abb. 2). Dies entspricht mehreren Monaten einer kontinuierlichen Operation der EUV-Quelle. Im Auftrag von Cymer Inc. arbeitet das Fraunhofer IOF derzeit intensiv daran, die Lebensdauer von Kollektorspiegeln zu erhöhen. Ein Ansatz hierbei ist die Verwendung neuer Schutzschichten, die in Kombination mit angepassten Reinigungsstrategien in-situ, also während des Betriebes von EUV-Scannern, genutzt werden können.

Derzeit wird die Kollektor-Lebensdauer hauptsächlich durch die Abscheidung von Zinn und der darauf folgenden Degradation der oberen Schichten des Multilayer-Stapels begrenzt. Reduziert sich die EUV-Reflexion bei 13,5 nm als Folge der genannten Degradationsprozesse, erfolgt ein Austausch des EUV-Kollektors. Die Reinigung sowie Aufarbeitung der Kollektoroberfläche hat das Ziel, die EUV-Reflexion ohne

The usable power of high-power EUV light sources at 13.5 nm and also the lifetime of source and collector optics are currently considered to be the largest challenges encountered during the transition of EUV lithography from the current beta-tool status to high-volume manufacturing. Fraunhofer IOF Jena has developed cost-effective refurbishment technologies of multilayer-based near normal incidence collector mirrors (Fig. 1) for high-power laser-produced plasma sources.

Presently the collector mirror lifetime exceeds 80 billion laser pulses which corresponds to a lifetime of several months during continuous use of the source (Fig. 2). Together with their partners Cymer Inc. is currently carrying out a focused program to improve the collector lifetime. New multilayer coatings together with new in-situ cleaning methods during source operation are key technology development strategies to get closer to the ultimate target of about one year collector lifetime.

Today the collector mirror lifetime is primarily limited by deposition of tin and degradation of the upper layers of the coating causing a reduction of EUV reflectance at 13.5 nm. At the end of their lifetime the collector mirrors need to be replaced with refurbished collectors. Recent refurbishment approaches focus on techniques that recover the initial EUV collector reflectance at 13.5 nm while maintaining all or

1 *Multilayer LPP Kollektorspiegel.* | *Multilayer LPP collector mirror.*

zeitaufwendige und kostspielige Polituren und Neubeschichtungen, also unter Beibehaltung der Erstbeschichtung, wieder vollständig herzustellen. Gegenwärtig werden mit diesem Verfahren 90 % der ursprünglichen EUV-Reflexion zurück gewonnen; für das 1. Quartal 2013 wird der vollständige Erhalt der optischen Eigenschaften nach der Erstbeschichtung angestrebt.

Das Fraunhofer IOF Jena dankt Cymer Inc. für die Finanzierung der Forschungs- und Entwicklungsprojekte.

Literatur / References

/1/ Feigl, Torsten; Perske, Marco; Pauer, Hagen; Fiedler, Tobias; Yulin, Sergiy; Trost, Marcus; Schroeder, Sven; Duparré, Angela; Kaiser, Norbert; Tünnermann, Andreas; Böwering, Norbert; Ershov, Alex; Hoffmann, Kay; La Fontaine, Bruno; Cummings, Kevin D.: Optical performance of LPP multilayer collector mirrors, SPIE Proceedings Vol. 8322 (2012) 832217, ISBN 9780819489784.

most of the initial multilayer coating. The positive impact on collector turn-around-time and cost-of-ownership is significant. Currently 90 % of the initial EUV reflectance can be recovered using a particular refurbishment approach with a clear path to a full EUV collector reflectance recovery.

Fraunhofer IOF Jena gratefully acknowledges financial support by Cymer Inc. for research and development projects.



2 Neue Multilayer-Beschichtungen erhöhen die Kollektorlebensdauer auf über $8 \cdot 10^{10}$ Pulse (links); EUV Reflexion nach 80 Mrd. Pulsen. © Cymer Inc (rechts). | New multilayer coating designs allow extended collector lifetime to $> 8 \cdot 10^{10}$ pulses (left). EUV collector far field image at 80 billion pulses. © Cymer Inc. (right).

AUTHORS

Torsten Feigl
Marco Perske
Hagen Pauer
Tobias Fiedler
Sergiy Yulin
Norbert Kaiser
Norbert Böwering¹
Alex Ershov¹
Kay Hoffmann¹
Bruno La Fontaine¹

¹ Cymer Inc., United States

CONTACT

Dr. Torsten Feigl
Phone +49 3641 807-240
torsten.feigl@iof.fraunhofer.de



RAUHEIT ULTRA-GLATTER OBERFLÄCHEN UND BESCHICHTUNGEN FÜR DEN EUV-BEREICH ROUGHNESS OF ULTRA-SMOOTH SURFACES AND COATINGS FOR EUV APPLICATIONS

Insbesondere Anwendungen für kurze Wellenlängen, wie die EUV-Lithographie bei 13,5 nm, stellen enorme Anforderungen an die Oberflächengüte. So können selbst geringste Oberflächenrauheiten und andere Imperfektionen, aufgrund der starken Wellenlängenabhängigkeit von gestreutem Licht, schnell zu einem limitierenden Faktor für Anwendungen werden, die auf exzellente Abbildungseigenschaften und niedrige Verluste angewiesen sind /1/.

Um hohe Reflexionsgrade im EUV-Spektralbereich zu erzielen, werden meist Vielschichtsysteme genutzt. Hierbei spielen insbesondere die Substratrauheit und die intrinsische Aufrauung durch die Beschichtung eine entscheidende Rolle für die Streulicht- und damit auch für die Reflexionseigenschaften.

Andererseits besitzen Streulichtmessverfahren ein enormes Potenzial für eine schnelle und berührungslose Charakterisierung von Oberflächen und Schichten. Durch am IOF entwickelte Mess- und Auswerteverfahren werden dabei inzwischen Sensitivitäten für Rauheiten von unter 0,1 nm erreicht. Die Verfahren sind dabei vergleichbar und kombinierbar mit konventionellen Verfahren wie Rasterkraftmikroskopie und Weißlichtinterferometrie (Abb. 1), ermöglichen darüber hinaus aber auch eine schnelle Untersuchung über größere Flächen /2/.

Beispielhaft sind in Abb. 2 die Ergebnisse von Streulicht-basierten Rauheitsuntersuchungen einer unstrukturierten EUV-

In particular applications at short wavelengths, such as EUV lithography at 13.5 nm, place tremendous demands on the surface quality. Because of the strong wavelength dependence of scattered light, even low surface roughness and other imperfections can quickly become limiting factors for applications that rely on excellent imaging characteristics and low losses /1/. Multilayer coatings are usually used to achieve high reflectance at 13.5 nm. Hence, replicated substrate roughness and intrinsic thin film roughness play critical roles for the light scattering and thus also for the reflectance properties. On the other hand, light scattering measurements have enormous potential for rapid and non-contact characterization techniques of single surfaces and coatings. New measurement and analysis methods based on this method have been developed at IOF to measure roughness values even below 0.1 nm. The results can be compared and combined with conventional roughness characterization methods such as atomic force microscopy and white light interferometry (Fig. 1). Another advantage of light scattering measurements is that they also allow for the analysis of extended areas /2/. In Fig. 2, exemplary results of a light scattering based roughness characterization of an unstructured EUV-mask from our cooperation partner SEMATECH are shown. The measurements were performed at 405 nm. This allows the method to be used for coated and uncoated reflective surfaces. In order to measure the roughness in the high spatial frequency range, which corresponds to the relevant roughness for the EUV, specially adapted measurement techniques for the

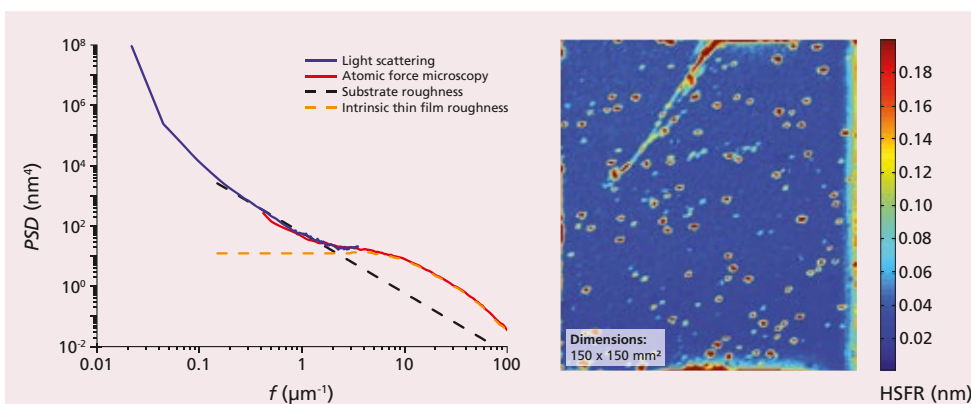
1 Maske für die EUV-Lithographie. | Mask for EUV lithography.

Maske des Kooperationspartners SEMATECH dargestellt. Die Messungen wurden bei 405 nm durchgeführt. Damit kann die Methode sowohl auf beschichtete als auch auf unbeschichtete spiegelnde Oberflächen angewandt werden. Um die Rauheit insbesondere im EUV-relevanten Bereich hoher Ortsfrequenzen messen zu können, wurden neben hochsensitiver Messtechnik auch spezielle Verfahren zur Unterdrückung von Luftstreuung eingesetzt. So wurde durch Ausnutzung von Polarisierungseffekten der Einfluss der Streuung an Umgebungsluftmolekülen um mehr als eine Größenordnung reduziert. Die mittlere gemessene hochfrequente Rauheit (HSFR) wurde zu 0,04 nm bestimmt /3/. Darüber hinaus enthält die Rauheitskarte wichtige Informationen über Defekte und lokale Inhomogenitäten.

suppression of air scattering were used in addition to highly sensitive measurement equipment. By utilizing polarization effects, the scattering from ambient air molecules was reduced by more than one order of magnitude. The average measured high spatial frequency roughness (HSFR) was determined to 0.04 nm /3/. In addition to the detailed roughness data, the map reveals important information about defects and local inhomogeneities.

References / Literatur

- /1/ Schröder, S.; Feigl, T.; Duparré, A.; Tünnermann, A.: EUV reflectance and scattering of Mo/Si multilayers on differently polished substrates, *Opt. Express* 15, 13997-14012 (2007).
- /2/ Trost, M.; Schröder, S.; Feigl, T.; Duparré, A.; Tünnermann, A.: Influence of the substrate finish and thin film roughness on the optical performance of Mo/Si multilayers, *Appl. Opt.* 50, C148-C153 (2011).
- /3/ Trost, M.; Schröder, S.; Lin, C. C.; Duparré, A.; Tünnermann, A.: Roughness characterization of EUV multilayer coatings and ultra-smooth surfaces by light scattering, *Proc. of SPIE* 8501, 85010F (2012).



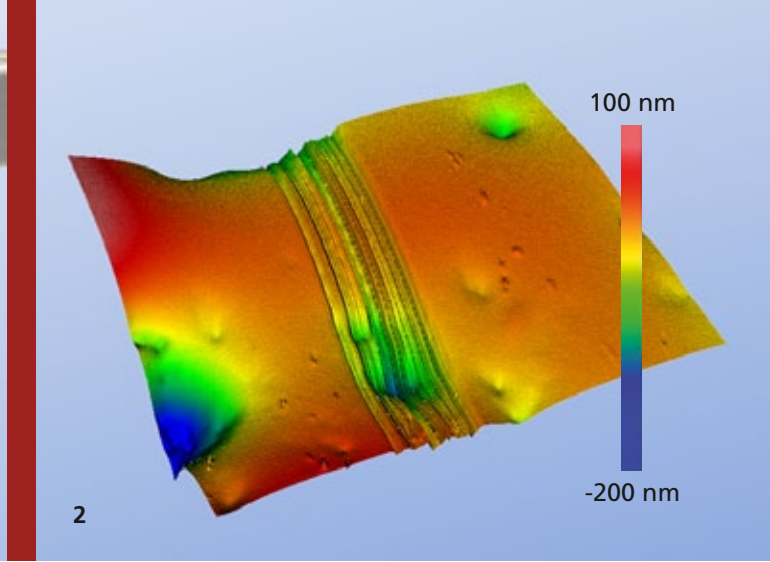
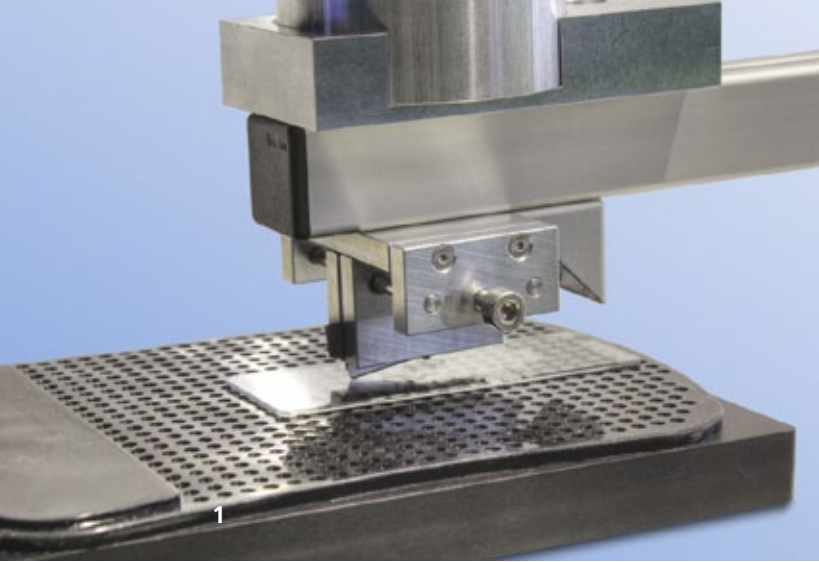
2 Rauheitsspektren aus Streulichtdaten und Rasterkraftmikroskopie. (links); Rauheitskarte der EUV Maske aus Abb.1 gewonnen aus Streulichtmessungen bei 405 nm (rechts). | Power Spectral density functions retrieved from light scattering data and atomic force microscopy (left); Roughness map of the EUV mask from Fig. 1 retrieved from light scattering measurements at 405 nm (right).

AUTHORS

Marcus Trost
Sven Schröder
C. C. Lin¹
Angela Duparré
¹ SEMATECH, USA

CONTACT

Marcus Trost
Phone +49 3641 807-242
marcus.trost@iof.fraunhofer.de



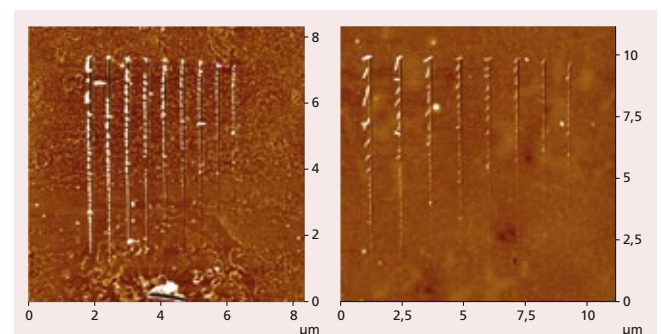
AUFKLÄRUNG DER DEFEKTUNTERDRÜCKUNG IN FLAMMBESCHICHTETEN GLASOBERFLÄCHEN INVESTIGATION OF DEFECT SUPPRESSION IN FLAME COATED GLASS SURFACES

Über den Bereich von Hochleistungsoptiken hinaus ist die Vermeidung bzw. Unterdrückung von Oberflächendefekten von zunehmendem Interesse für die Herstellung von Gebrauchsglas, wie z.B. bei Bauglas, Automobilglas oder Trinkgläsern. Als ein besonders kostengünstiges und in der prinzipiellen Handhabung einfaches Verfahren zum Schutz solcher Oberflächen bietet sich die Flammbeschichtung an. Dafür ist es notwendig, wesentliche Mechanismen zur Defektvermeidung oder -unterdrückung durch die Beschichtung über weite Skalenbereiche zu analysieren und modellmäßig zu beschreiben. Im Rahmen des Verbundprojekts VERDE (BMBF, »KMU-Innovativ«) wurde dazu am Fraunhofer IOF ein neuer kombinativer Ansatz erarbeitet, der verschiedene Verfahren zur Untersuchung der mechanischen, topografischen, strukturellen und optischen Eigenschaften der Glasoberflächen und Beschichtungen experimentell und auswertetechnisch verbindet. Der Ansatz stützt sich sowohl auf kommerzielle Geräte als auch auf am Fraunhofer IOF entwickelte Messtechniken und Auswertverfahren. Dazu zählen u.a. eine Vorrichtung zum gezielten Einbringen von Modellkratzern mit Kräften im mN- bis N-Bereich (Abb. 1 und 2), Methoden zur Erzeugung und Analyse von Nanokratzern

Avoiding and suppressing surface defects is of significant interest not only for high quality optics but also in the production of consumer glass for e.g. architecture, automotive and drinking glass applications. Here, flame coating techniques provide good prospects for cost efficient and easy-to-use processes to protect such surfaces. To exploit this potential, the mechanisms of defect suppression after coating need to be analyzed and appropriately described. Within the framework of the joint project VERE (BMBF, "KMU Innovativ"), a novel combinative approach was established which links different methods to

1 Vorrichtung zum Einbringen von Modellkratzern mit definierten Kräften im mN- bis N-Bereich. | Device for model scratch generation at defined forces in the mN to N range.

2 WLI-Aufnahme (Weißlichtinterferometrie) an Mikrokratzern in Glas (Krafteintrag mittels Vorrichtung aus Abb. 1). | WLI image (white light interferometry) of micro scratches on glass (generated by using the device in Fig. 1).



3 AFM-Aufnahme von Nano-Kratzern in einer 20nm dicken CCVD-Schicht (rechts) und im unbeschichteten Floatglas-Substrat (links) bei unterschiedlichen Kräften der Kratzererzeugung (Krafteintrag: AFM mit Diamantspitze, Messung: AFM mit Si-Spitze). | AFM image of nano scratches in a 20 nm flame coating (right) and in an uncoated float glass substrate (left) at varied scratch generation forces (scratch generation: AFM with diamond tip; measurement: AFM with silicon tip).

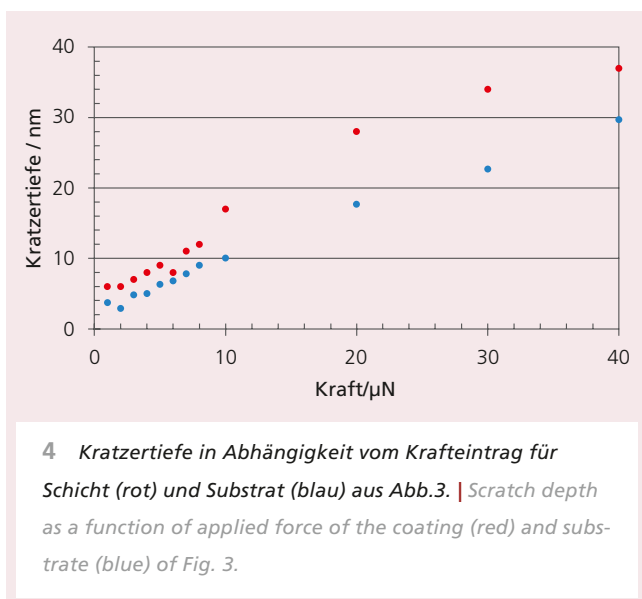
mittels Atomic Force Microscopy (AFM) bei Kräfteinträgen bis hinunter zu wenigen μN sowie die großflächige Defektdetektion durch Streulichtverfahren /1/.

Abb. 3 und 4 zeigen beispielhaft Ergebnisse von Untersuchungen an Beschichtungen des Projektpartners SURA Instruments GmbH. Bei geringen Kräften kann der Defekt durch die Schicht vollständig aufgefangen werden. Auch bei höheren Kräften zeigte sich, dass die Schichten in Abhängigkeit von Schichtdicke und eingebrachter Kraft entweder vollständig oder zumindest partiell vor der Ausbreitung des Kratzers in das Substrat schützen und damit die Lebensdauer, insbesondere die Bruchfestigkeit des Glases signifikant erhöhen können.

Literatur / References

/1/ Schröder, S.; Herffurth, T.; Blaschke, H.; Duparré, A.: Angle resolved scattering: an effective method for characterizing thin film coatings, Applied Optics 50 (2011) C164-171.

investigate mechanical, topographical, structural and optical properties of the glass surfaces and coatings with respect to both measurements and data analysis procedures. The approach is based on commercial instruments as well as measurement and analysis techniques developed at Fraunhofer IOF. These techniques comprise e.g. a device for defined generation of model scratches at forces in the mN to N range, methods to produce and analyze nano scratches using Atomic Force Microscopy (AFM) techniques at forces down to a few μN as well as area covering defect detection methods utilizing light scattering principles /1/. Examples of results obtained with flame coatings deposited by our project partner SURA Instruments GmbH are shown in Figs. 3 and 4. At small forces, defects can be completely absorbed by the coating. Even at higher forces, dependent on the film thickness and applied force, the coatings proved their potential to protect the substrates entirely or at least partially. In this way, the lifetime and in particular fragility of consumer glass can be significantly enhanced.



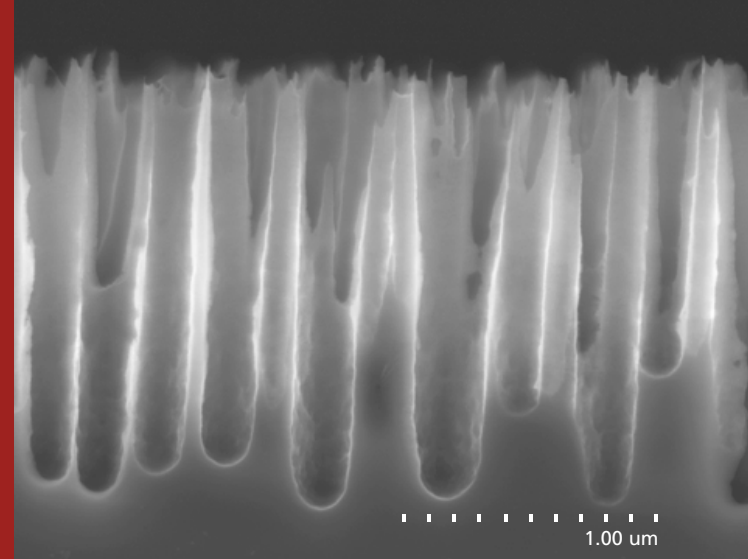
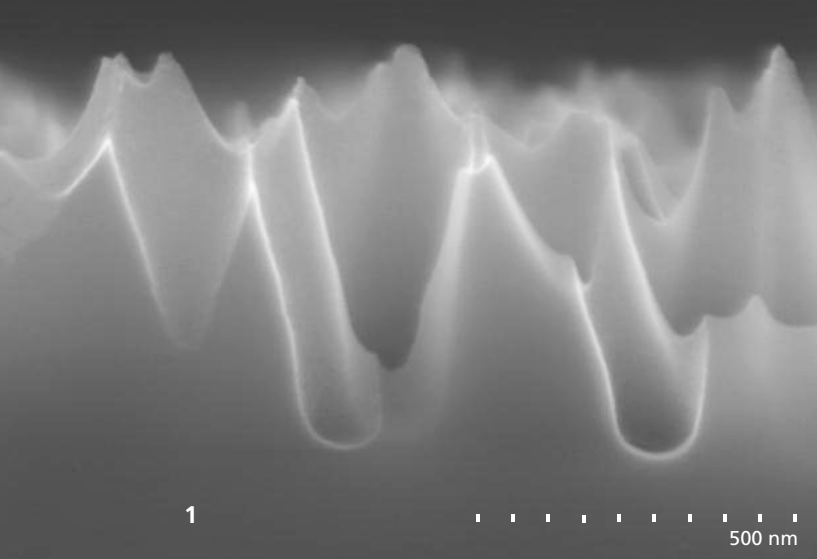
AUTHORS

Christian Wiede
Christian Tiller¹
Angela Duparré

¹ SURA Instruments GmbH, Jena

CONTACT

Christian Wiede
Phone +49 3641 807-323
christian.wiede@iof.fraunhofer.de



NANOSTRUKTURIERTE GRENZFLÄCHEN UND DÜNNE SCHICHTEN FÜR DIE PHOTOVOLTAIK NANOSTRUCTURED INTERFACES AND THIN FILMS FOR PHOTOVOLTAICS

In den kommenden Jahren steht die Solarbranche vor der großen Herausforderung dem wachsenden Konkurrenzdruck durch neue Produkte und Technologien entgegen zu treten. Einen vielversprechenden Ansatz zur Effizienzsteigerung bieten nanostrukturierte Grenzflächen. Zum Beispiel ermöglicht der Einsatz von strukturierten Kunststoffen in Solarmodulen eine breitbandige Entspiegelung bei geringen Herstellungskosten. Ein vom Fraunhofer IOF patentiertes Ätzverfahren /1/ erlaubt es, die Oberflächenstruktur einer Vielzahl von Kunststoffen gezielt zu verändern und die Reflexion der Grenzflächen in einem breitbandigen Spektralbereich zu reduzieren. Bei einer beidseitigen Strukturierung kann die solare Transmission zwischen 350 nm und 1100 nm um 6% gesteigert werden. Dies ermöglicht eine relative Effizienzsteigerung von circa 4% /2/. Einen Schwerpunkt der aktuellen Solarzellenforschung bildet nanostrukturiertes Silizium, sogenanntes Black Silicon. In diesem Fall ermöglicht die Oberflächengeometrie nicht nur eine breitbandige Entspiegelung sondern auch die gezielte Verlängerung des Lichtweges innerhalb des Siliziums, dass sogenannte »Light Trapping«. Mit Hilfe von induktiv gekoppelten Plasmaätzverfahren (ICP-Etching) ist es möglich, eine Vielzahl von Oberflächengeometrien zu realisieren, siehe Abbildung 1. Bringt man auf derartige Grenzflächen einen dünnen Isolator und ein transparent leitfähiges Oxid auf, können sogenannte Semiconductor-Insulator-Semiconductor (SIS) Solarzellen realisieren werden /3/. Abbildung 2 zeigt die Strom-Spannungs-

In coming years, the solar industry will face the major challenge of standing its ground on the growing competitive market with new products and technologies. Nanostructured interfaces offer a promising approach to increase efficiency. For example, the use of structured polymers in solar modules enables wideband antireflection with low production costs. An etching technique /1/ patented by Fraunhofer IOF enables targeted modification of the surface structure of a wide range of polymers and a reduction in the interface reflection in a wideband spectral range. With structuring on both sides, the solar transmission between 350 nm and 1,100 nm can be increased by 6 %. This enables a relative increase in efficiency of around 4 % /2/. One key aspect of current solar cell research concerns nanostructured silicon, known as black silicon. In this case, the surface geometry enables not just wideband antireflection but also the specific extension of the light path within the silicon, called "light trapping". With the help of inductively coupled plasma (ICP) etching, it is possible to realize a multitude of surface geometries, see Fig. 1. Applying a thin insulator and a transparent conductive oxide to these kinds of interface allows the realization of semiconductor-insulator-semiconductor solar cells /3/. Fig. 2 shows the current-voltage characteristic curve of one such system under lighting, in which the generated current was increased by 25 % in comparison with an unstructured system. The nanostructured solar cells currently have an efficiency of some 8 %. By using large-scale sputter processes

1 Nanostrukturierte Siliziumgrenzflächen mit unterschiedlichen Oberflächengeometrien. |

Nanostructured silicon interfaces with various surface geometries.

Kennlinie eines derartigen Systems unter Beleuchtung, wobei der generierte Strom im Vergleich zum unstrukturiertem System um 25% gesteigert wurde. Der Wirkungsgrad der nanostrukturierten Solarzellen liegt derzeit bei rund 8%. Durch den Einsatz von großskaligen Sputterprozessen und niedrigen Substrattemperaturen ermöglicht dieser Ansatz die Realisierung einer kostengünstigen und nachhaltigen Produktion mit hohem Wirkungsgradpotential.

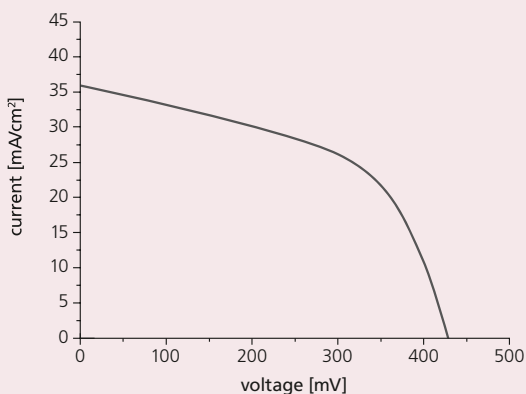
Dank gilt dem BMBF für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeiten im Rahmen der Projekte PHIOBE (FKZ 13N9669) und Nano-SIS (03FO3292).

and low substrate temperatures, this approach enables the realization of inexpensive and sustainable production with high efficiency potential.

We would like to thank the BMBF for financial support of this work within the projects PHIOBE (FKZ 13N9669) and Nano-SIS (03FO3292).

References / Literatur

- /1/ Schulz, U.; Kaiser, N.; Munzert, P.; Scheler, M.: Verfahren zur Herstellung einer Nanostruktur an einer Kunststoffoberfläche, Patent WO 2008/064633 A1, 2008.
- /2/ Blumröder, U.; Füchsel, K.; Schulz, U.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.: Stochastic Nanostructures on polymers for photovoltaic applications, Society of Vacuum Coaters 52nd Annual Technical Conference Proceeding, Santa Clara, CA, 2009, p. 47.
- /3/ Füchsel, K.; Kroll, M.; Käsebier, T.; Otto, M.; Pertsch, T.; Kley, E.-B.; Wehrspohn, R. B.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.: Black Silicon Photovoltaics, SPIE Photonics Europe; Photonics for Solar Energy Systems IV, Proceedings Vol. 8438, 2012.



2 *Strom-Spannungs-Kennlinie einer nanostrukturierten SIS Solarzelle unter Beleuchtung (AM 1.5G Spektrum). | Current-voltage characteristic curve of a nanostructured SIS solar cell under lighting (AM 1.5G spectrum).*

AUTHORS

Kevin Füchsel^{1,2}

Astrid Bingel^{1,2}

Ulrike Blumröder¹

Ulrike Schulz²

Norbert Kaiser²

¹ Institut für Angewandte Physik, Friedrich-Schiller-Universität Jena

² Fraunhofer IOF

CONTACT

Kevin Füchsel

Phone +49 3641 807-273

kevin.füchsel@iof.fraunhofer.de



EFFICIENT DESIGN – SOLARZELLEN FÜR BAUWERKINTEGRIERTE PHOTOVOLTAIK EFFICIENT DESIGN – CUSTOMIZED SOLAR CELLS FOR BUILDINGS AND FACADES

Die gestalterischen Möglichkeiten für gebäudeintegrierte Photovoltaik sind derzeit vor allem durch die Farbgebung von Solarzellen und standardisierte Module limitiert. In den seltensten Fällen finden sich ästhetische Lösungen, welche durch eine kundenspezifische Photovoltaikanlage geprägt sind. Die Idee »efficient design« setzt genau an diesem Punkt an und rückt die Verknüpfung von Architektur, Design und Photovoltaik in den Vordergrund. Ziel ist es, die zu entwickelnden Produkte, maßgeschneiderte Solarzellen und Module, sowohl im Design als auch in ihrer Funktion als stromerzeugendes Element zu optimieren. Die Wirkungsgradverluste, als Folge der Farbgebung, werden durch den physikalischen Effekt der Interferenz auf ein Minimum reduziert.

Für die kostengünstige Realisierung von kundenspezifischen Solarzellen ist es notwendig, skalierbare und äußerst flexible Produktionstechnologien einzusetzen. Ähnliche Anforderungen finden sich zum Beispiel bei der Herstellung von Interferenzschichtsystemen in der Optik. Efficient design baut auf diesem Know-how auf und setzt auf das Semiconductor-Insulator-Semiconductor (SIS) Solarzellenkonzept. Für dessen Realisierung wird zunächst eine dünne dielektrische Schicht auf einen Siliziumwafer aufgebracht. Diese gewährleistet die Passivierung des Siliziumsubstrates und bildet eine Tunnelbarriere für Elektronen. Im Anschluss wird das System mit einem transparenten und leitfähigen Oxid (TCO) überschichtet.

The design possibilities for building-integrated photovoltaics are currently limited primarily by the colors of solar cells and standardized modules. Aesthetically-pleasing solutions in customized photovoltaic systems are found only in the rarest cases. The concept of "efficient design" addresses this issue, forefronting the combination of architecture, design and photovoltaics. The objective is to optimize the developed products and customized solar cells and modules, both in their design and their function as power-generating components. The losses in efficiency caused by coloring are minimized by the physical effect of interference.

Scalable and extremely flexible production technologies must be used in order to realize customized solar cells in a cost-effective way. Similar demands exist, for example, in the manufacture of interference coating systems in optics. Efficient design builds on this expertise and utilizes the semiconductor-insulator-semiconductor (SIS) solar cell concept. In realizing it, a thin dielectric coating is first applied to a silicon wafer. This ensures the passivation of the silicon substrate and forms a tunnel barrier for electrons. The system is then overlaid with a transparent and conductive oxide (TCO). With a judicious choice of material and process parameters, a heterojunction solar cell is created using wafer-based photovoltaics with thin film processes. Both well-known indium tin oxide (ITO) and the less expensive aluminum-doped zinc oxide (AZO) can be used as the TCO.

1 *efficient design SIS-Solarmodul im Fraunhofer Design. |
efficient design SIS solar module in Fraunhofer design.*

Bei geschickter Material- und Prozessparameterwahl entsteht dadurch eine Heterosolarzelle mit der Besonderheit wafer-basierte Photovoltaik mit Dünnschichtprozessen zu realisieren. Als TCO eignen sich sowohl das bekannte Indiumzinnoxid (ITO) als auch das kostengünstigere mit Aluminium dotierte Zinkoxid (AZO). Der maximale Wirkungsgrad derartiger Systeme liegt im Bereich von 20%. Durch den Einsatz von Sputterverfahren mit Prozesstemperaturen unter 300°C wird ein kostengünstiger und nachhaltiger Produktionsprozess bei extrem kurzer Energierückgewinnungszeit gewährleistet, welcher die wichtige Euro pro Watt-Peak Kennzahl maßgeblich begünstigt. Die zusätzliche Integration von optischen Produktionstechnologien, wie z. B. Laser unterstützte Lötprozesse und Inkjet-Druck, erlaubt eine weitere Differenzierung zu bekannten Produktionstechniken und schafft zusätzliche Freiheitsgrade beim Design von PV-Elementen.

Für diese einzigartige Verknüpfung von effizienter Photovoltaik, Architektur und Design wurden Kevin Füchsel und Dr. Reinhold Pabst 2012 als German High Tech Champions im Bereich Green Buildings ausgezeichnet und sind Preisträger beim Ideenwettbewerb Weimar-Jena.

www.efficientdesign.de

The maximum efficiency of such system lies within the 20 % range. Using sputter methods with process temperatures below 300°C ensures a cost-effective and sustainable production process with extremely short energy payback time, which considerably benefits the euro per watt peak ratio. The additional integration of optical production technologies such as laser-assisted soldering processes and inkjet printing enables further differentiation from known production techniques and creates more freedom in the design of PV elements.

For this unique combination of efficient photovoltaics, architecture and design, Kevin Füchsel and Dr. Reinhold Pabst were honored as the German High Tech Champions for Green Buildings in 2012 and are prizewinners of the ideas competition Weimar-Jena.

AUTHORS

Kevin Füchsel^{1,2}

Reinhold Pabst¹

¹ Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena

² Fraunhofer IOF

CONTACT

Kevin Füchsel

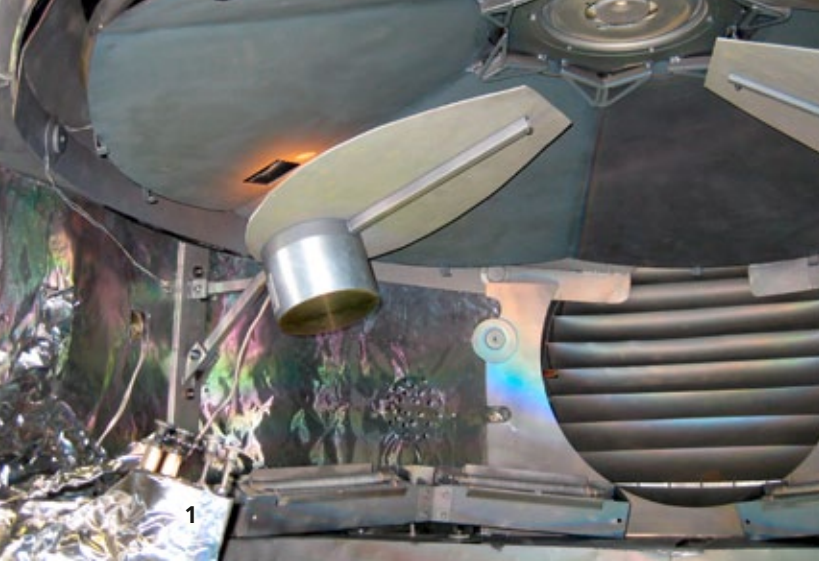
Phone +49 3641 807-273

kevin.fuechsel@iof.fraunhofer.de

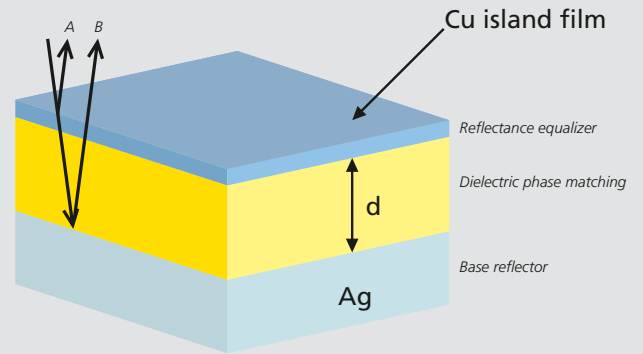


efficient design

UNIQUE SOLAR SOLUTIONS FOR UNIQUE PROJECTS



1



2

INTERFERENZSCHICHTSYSTEME MIT METALLINSELN FÜR VIS-APPLIKATIONEN

INTERFERENCE COATINGS WITH INCORPORATED METAL ISLAND FILMS FOR VIS APPLICATIONS

Metallinselfilme stellen einen Spezialfall nanostrukturierter optischer Schichten dar. Sie zeichnen sich durch flexibel einstellbare Schichteigenschaften aus, und können aufgrund ihrer hohen Brechzahl- und Extinktionsindexwerte zur Reduzierung von Schichtanzahl und Gesamtdicke optischer Interferenzschichtstapel beitragen /1/. Ihr Einsatz als Baustein in Interferenzschichtsystemen ist sinnvoll für Spezifikationen, in denen eine gewisse Lichtabsorption gewünscht ist oder zumindest toleriert werden kann. Das sind zum Beispiel Absorber, Graufilter, asymmetrische Strahlteiler, Farbfilter oder dekorative Schichten /2/.

Das Design derartiger Bauelemente ist mit kommerzieller Dünnschichtdesignsoftware umsetzbar. Die relative Korrespondenz zwischen Designannahmen und der technischen Umsetzung (hier mit ungestütztem Elektronenstrahlverdampfen) ist in Abb. 3 am Beispiel der TEM-Querschnittsaufnahme eines Blaufilters mit eingebauten Kupferinseln dargestellt. Trotz der wenig ideal erscheinenden Realstruktur des hergestellten Filters stimmen gemessene und berechnete Transmissionspektren recht gut überein (Abb. 4).

Gemeinsame FuE-Aktivitäten des Fraunhofer IOF und der Bte Beschichtungstechnik Elsoff sind in diesem Zusammenhang

- 1 *Präparationsanlage.* | Preparation facility.
- 2 *Designidee einer dekorativen Beschichtung mit Goldeindruck.* | Design idea of a decorative coating with gold impression.

Metal island films represent a special case of nanostructured cluster matter. They are quite flexible with respect to their optical properties, and with to their high refractive indices and extinction coefficients are helpful in reducing the total thickness and number of layers in a multilayer stack /1/. Their incorporation into interference coatings makes sense when the specification tolerates or even requires certain absorption. Absorbers, neutral attenuators, asymmetric beamsplitters, color filters or decorative coatings are typical examples /2/. The design of such coatings is possible using commercial thin

IDEA

REAL SAMPLE

Island films

3 *Schematischer Aufbau eines Interferenzfilters aus hochbrechenden (H), niedrigbrechenden (L) und Inselfilmen (links) sowie Umsetzung am Beispiel eines Blaufilters in der elektronenmikroskopischen Aufnahme rechts.* | Schematic structure of an interference filter built up from high index (H), low index (L) and island films (on left) as well as its realization in a blue transmission filter in the electron microscopy image on right.

darauf ausgerichtet, das Verständnis der Struktur-Eigenschafts-Relationen derartiger Schichtsysteme weiter zu verbessern.

Die Autoren danken Ute Kaiser und Johannes Biskupek (Universität Ulm) für die transmissionselektronenmikroskopische Schichtcharakterisierung sowie dem BMWi für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des TAILOR-Projekts (Förderkennzeichen 16IN0665).

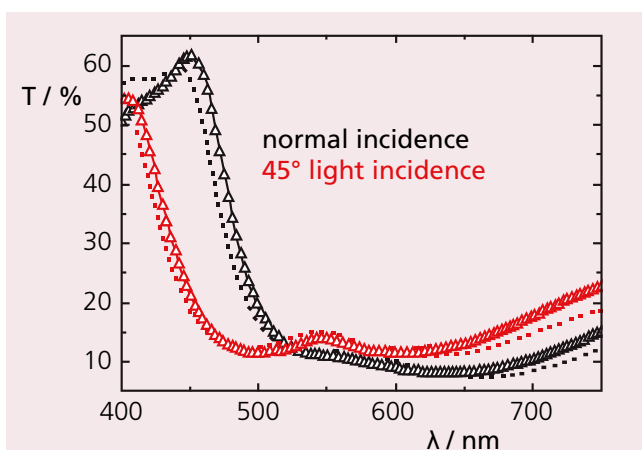
Literatur / References

- /1/ Held, M. et al.: Manufacture and characterization of optical coatings with incorporated copper island films, *Applied Optics* 51, (2012), 4436.
/2/ Stenzel, O.; Macleod, A.: Metal-dielectric composite optical coatings: underlying physics, main models, characterization, design and application aspects, *Advanced Optical Technologies* 1, (2012), S. 463 – 481, DOI: 10.1515/aot-2012-0030.

film calculation software. The relative agreement between supposed structure and reality (here achieved with classical electron beam evaporation) is visualized in Fig. 3, which shows the TEM cross sectional image of a blue transmission filter with incorporated copper island films. Although the real structure of the films seems suboptimal, we state a reasonable agreement between measured and calculated transmission characteristics (Fig. 4).

Future activities at Fraunhofer IOF and Bte Beschichtungstechnik Elsoff will pursue a better understanding of the structure property relationships of such coatings.

The authors are grateful to Ute Kaiser and Johannes Biskupek (University of Ulm) for transmission electron microscopy and the BMWi for financial support within the framework of the TAILOR project (No 16IN0665).



4 Transmissionsspektrum eines Blaufilters mit Kupferinselfilmen: Symbole = Experiment; gestrichelte Linien = theoretische Charakteristik. | Transmission spectrum of a blue transmission filter with incorporated copper islands: symbols = experiment; dashed lines = theory.

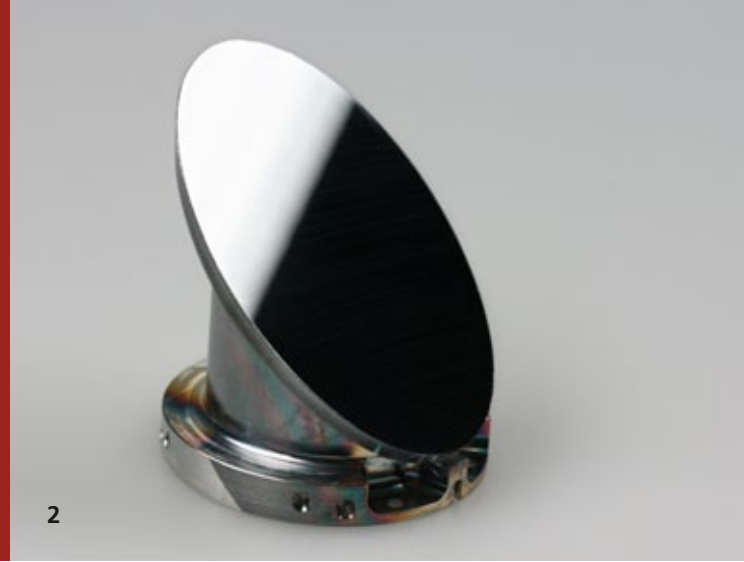
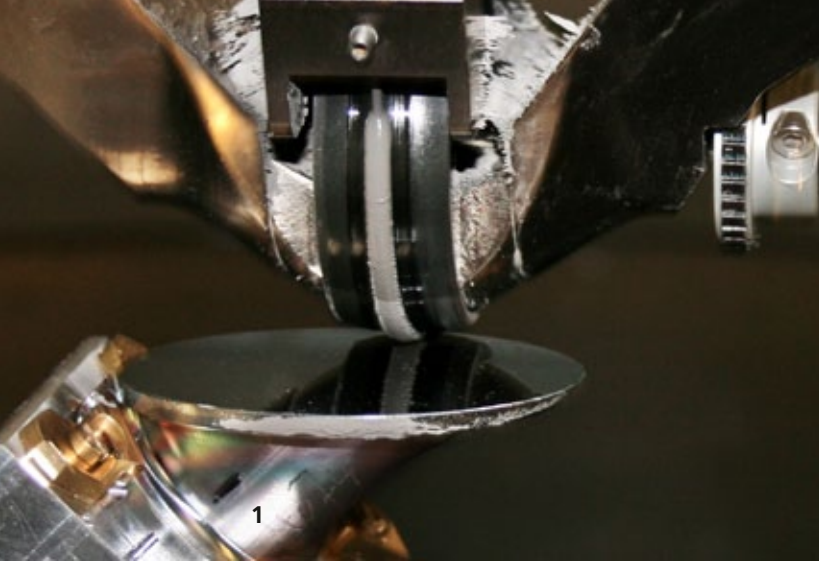
AUTHORS

Olaf Stenzel
Steffen Wilbrandt
Mario Held¹
Norbert Kaiser

¹ Bte Bedampfungstechnik GmbH, Elsoff
sowie Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena

CONTACT

Dr. Olaf Stenzel
Phone +49 3641 807-348
olaf.stenzel@iof.fraunhofer.de



ULTRAPRÄZISE METALLOPTIK MIT AMORPHER SILIZIUMSCHICHT

ULTRA-PRECISE METAL OPTICS WITH AMORPHOUS SILICON LAYER

Mit der Zielstellung amorphe Siliziumschichten durch Magnetronspütern zu entwickeln und diese technologische Schicht durch Bearbeitungsverfahren zu glätten, startete 2010 ein regionales Verbundprojekt der Partner asphericon GmbH, Präzisionsoptik Gera GmbH, Layertec GmbH und Fraunhofer IOF.

Der Verbund verfügt derzeit über die notwendigen Grundlagen zur Herstellung von Röntgen-amorphen Siliziumschichten bis zu einer Dicke von 10 µm. Die Formgebung erfolgt durch ultrapräzise Diamantbearbeitung in den Bulkmaterialien Aluminium 6061 und Aluminium-Silizium 40 für reflektive Anwendungen bzw. in monokristallinem Silizium für refraktive IR-Anwendungen. Die Si-Schicht wird über physikalische Techniken abgeschieden und final durch Polieren mit klassischen abrasiven oder chemisch-mechanischen Polierverfahren bzw. mittels MRF (Magneto-Rheological-Finishing) bearbeitet. Durch die Glättung wurde die Mikrorauheit auf etwa 1 nm rms reduziert /1/. Für den Einsatz im infraroten Spektralbereich wurden gesputterte Goldschichten, für Anwendungen im Visuellen geschützte Silberschichten als Vergütung getestet /2/.

Zum Abschluss wurden Demonstratoren für ausgewählte Anwendungen realisiert. Dabei lag der Schwerpunkt auf

In 2010 a regional joint research project by asphericon GmbH, Präzisionsoptik Gera GmbH, Layertec GmbH and Fraunhofer IOF started with the purpose of developing amorphous silicon layers by magnetron sputtering with subsequent polishing of the technological coatings.

At present, the research association possesses essential basics for preparing X-ray amorphous silicon layers up to a thickness of 10 µm. Ultra-precise diamond processing in the bulk materials aluminum 6061 and aluminum-silicon 40 allows shaping for reflective applications; with respect to transmissive usage, monocrystalline silicon is processed. The silicon coating is deposited by physical techniques and finally smoothed by classical abrasive or chemical-mechanical polishing processes, or using the MRF (Magnetorheological Finishing) technique. Using smoothing methods, the micro roughness was reduced to approximately 1 nm rms /1/. For application in the infrared spectrum, sputtered gold layers were tested, while protected silver coatings /2/ were proved for use in the visible spectral range.

Finally, demonstrators for particular cases were realized focusing on optical devices like mirrors for laser material processing and astronomical instruments, and on a transmissive IR telescope for medical applications.

1 MRF-Bearbeitung eines Al-Spiegels mit amorpher Si-Schicht. | Magnetorheological Finishing (MRF) of an aluminum mirror with amorphous silicon layer.

2 Polierter Pointing Mirror. | Polished pointing mirror.

Spiegelbauelementen für die Lasermaterialbearbeitung und für astronomische Instrumente sowie einem transmittiven IR-Teleskop für medizinische Anwendungen.

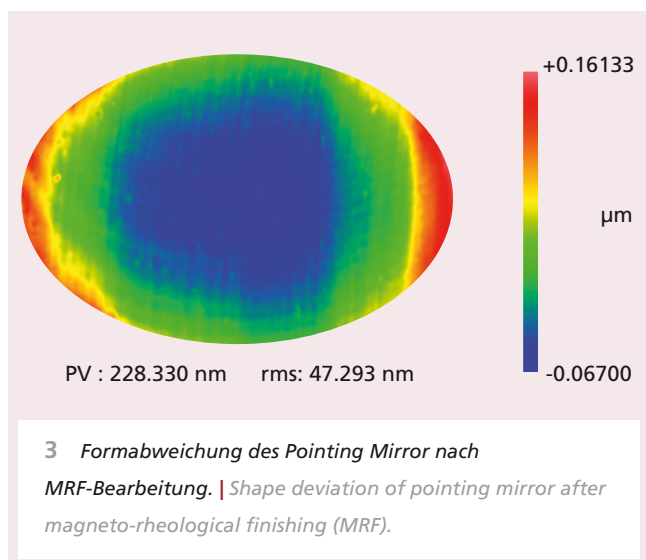
Die Arbeiten wurden vom BMBF im Rahmen des Programms »Wachstums Kern Potenzial – Verbundprojekt Ultrapräzise Silizium-Optik« gefördert (FKZ 03WKP11A-D).

Literatur / References

/1/ Risse, S. et al.: Ultra-precise optical mirrors with thick amorphous silicon layer, Proc. 11th EUSPEN, 337-340, (2011).

/2/ Schürmann, M. et al.: Optical coatings for astronomical applications from EUV to IR, Proc. of SPIE Vol. 8450, 84502K (2012).

The work was supported by the BMBF within the framework of the "Wachstums Kern Potenzial – Verbundprojekt Ultrapräzise Silizium-Optik" program under contract no. FKZ 03WKP11A-D.



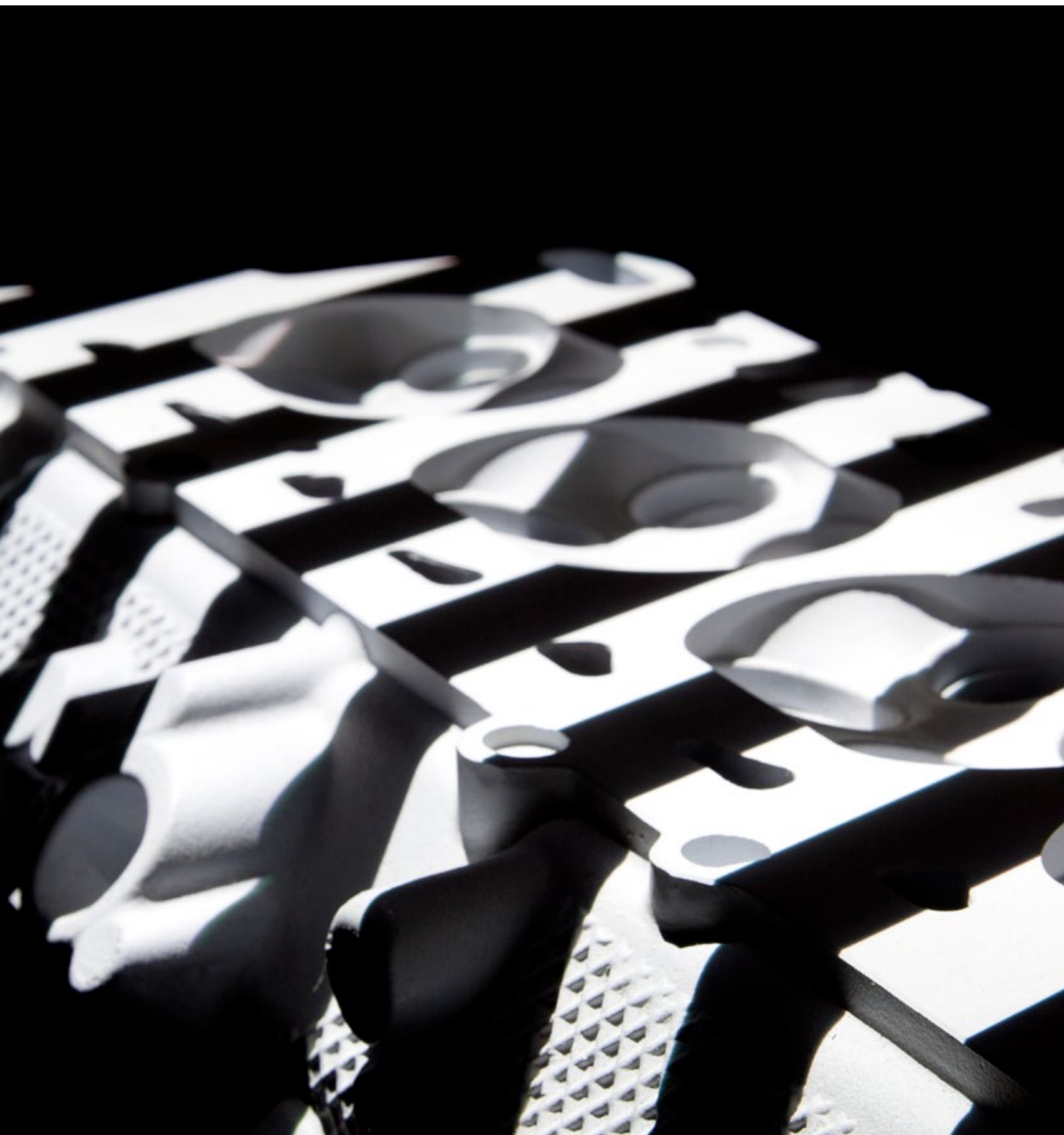
AUTHORS

Stefan Risse
Andreas Gebhardt
Roman Loose
Mark Schürmann
Johannes Jobst
Sven Kiontke¹
Jan Schubach²
Stefan Schippel³
¹ asphericon GmbH
² Präzisionsoptik Gera GmbH
³ Layertec GmbH

CONTACT

Dr. Stefan Risse
Phone +49 3641 807-313
stefan.risse@iof.fraunhofer.de

GESCHÄFTSFELD
BUSINESS FIELD



PHOTONISCHE SENSOREN UND MESS-SYSTEME / PHOTONIC SENSORS AND MEASURING SYSTEMS

In nahezu allen Bereichen der Industrie und des modernen Lebens sind optoelektronische Sensoren und Messtechnik nicht mehr wegzudenken. Die Messtechnik und Sensorik sind »Hidden-Technologies« mit hohem Nutzen für den Anwender, deren Komplexität häufig verborgen bleibt. Licht als berührungsloses Präzisionsinstrument eröffnet der Messtechnik, Sensorik und Analytik eine Vielzahl an Möglichkeiten. Die optische Messtechnik ist seit Gründung des Fraunhofer IOF fester Bestandteil der FuE-Aktivitäten. Heute werden verschiedene optische und optoelektronische Mess- und Sensorsysteme in den Bereichen 3D- und tomographische Messsysteme, Systeme zur Oberflächen- und Schichtcharakterisierung, bildgebende mikrooptische Systeme und Plasmonensensoren für die Biophotonik entwickelt.

Miniaturisierung ist für die Messtechnik und Sensorik ein wichtiges Thema. Aktuell wird zum Beispiel an Wafer-level Kameras für Bilderfassung im Makro- und Mikro-Bereich geforscht. Zunehmend werden Sensoren in Fertigungsprozesse integriert. Als ein Beispiel ist nachfolgend ein Messeinsatz für Beschichtungsprozesse vorgestellt.

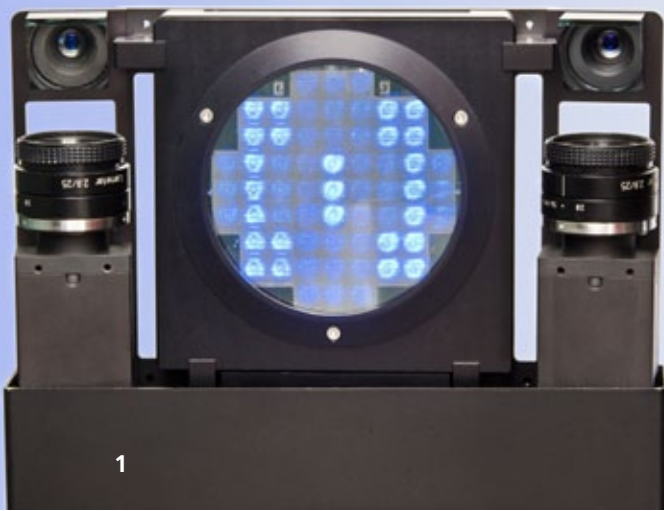
Die Erfassung dreidimensionaler Objekte steht aktuell vor den Herausforderungen, schnelle Messungen – auch bewegter Objekte – durchführen zu können. Dafür eignen sich die am Institut entwickelten Array-Projektoren.

Optoelectronic sensors and measuring systems are integral elements of almost all areas of industry and modern life. Metrology and sensor systems are hidden technologies whose virtues are gratefully taken up by users but whose complexity is frequently underestimated. Light as a contactless precision instrument opens up a wide range of possibilities for metrology, sensor technology and analytics. Optical metrology is a central area of R&D work since foundation of the Fraunhofer IOF. Currently various optical and optoelectronic measuring and sensor systems in the fields of 3D and tomographic measurement systems, systems for surface and coating characterization, micro-optical imaging systems and plasma sensors for biophotonics are developed.

Miniaturization of metrology and sensor technology is a perennial topic. The technology of wafer-level cameras for macro- and micro-image acquisition is a current issue. Sensors integrated in manufacturing processes are increasingly used. In one of the following papers an integrated measuring set-up for coating processes is presented.

The challenge for capturing three dimensional objects is the ability to carry out rapid measurements, also of moving objects. Array projectors developed in-house are being used for these systems for the first time.

LEFT *Streifenprojektion auf einem PKW Motorblock zur 3D-Vermessung. | Fringes projected on a car engine block for 3D measurement.*



1



2

ARRAYPROJEKTOR FÜR DIE HIGH-SPEED 3D-SENORIK

ARRAY PROJECTION FOR HIGH-SPEED 3D SENSING

In den vergangenen Jahren entwickelte sich der Bereich der dreidimensionalen Erfassung makroskopischer Objekte zunehmend in die Richtung Hochgeschwindigkeit. Dabei stehen vor allem Anwendungen im Fokus, bei denen sich die Messobjekte während der Zeit der Aufnahme bewegen oder die Erfassung mit Hilfe mobiler Sensorlösungen durchgeführt wird. Zum Ausschluss der Relativbewegung empfiehlt sich die Verwendung von Hardware aus dem Hochgeschwindigkeitsbereich. Während sich sukzessive neue Kameratechnik mit hohen Bildraten etablieren konnte, stagnierte die für die aktive Projektion von Mustern auf das Messobjekt notwendige Technik im zweistelligen bis unteren dreistelligen Hertzbereich. Die Ursache liegt dabei im Aufbau digitaler Projektionssysteme unter Verwendung digitaler Mikrodisplays (DLP, DMD, LCD, LCoS).

Die am Fraunhofer IOF entwickelte Technik der Arrayprojektion bietet die Grundlage, Musterprojektionen um mindestens eine Größenordnung schneller zu realisieren. Basis hierfür ist das Aufbringen vordefinierter Muster auf einem Glaswafer, welcher durch eine Vielzahl von LEDs beleuchtet wird. Zu einem konkreten Zeitpunkt wird ausschließlich ein Teil der LEDs aktiviert, zu einem weiteren ein anderer Teil. Hierdurch entsteht im Objektraum eine wechselnde Musterprojektion, ähnlich dem Austausch eines Dias. Dieser Wechsel ist aus-

In the past few years, it has become evident that high-speed sensing is an emerging area for three-dimensional measurements. In particular, high-speed sensing is of relevance for measuring objects in motion and recording with mobile sensors. In order to eliminate the motion during a measurement sequence, it is advisable to use high-speed hardware. In recent years, although improved camera systems with high frame rates have gradually become established, the development of techniques for active pattern projection has stagnated. Digital projection systems like DLP, DMD, LCD, and LCoS mostly operate at 60 fps or, with tricks, up to 200 fps. This is due to the plurality of mechanical elements.

In contrast, the technique of array projection developed at the Fraunhofer IOF enables pattern projection with more than a thousand images per second. This technique is based on fixed structures at a crystal wafer illuminated by a multitude of LEDs. The activation and deactivation of different LEDs is tightly regulated to constitute a special pattern projection at each time point of the measurement sequence, similarly to a slide projector. The alternation of different pattern projections is now exclusively dependent on the circuit time of the used LEDs. Projection rates of more than one kilohertz are therefore feasible.

1 Frontansicht eines 3D-Messsystems mit integrierter Arrayprojektion. |

Front view of 3D sensor with integrated array projection.

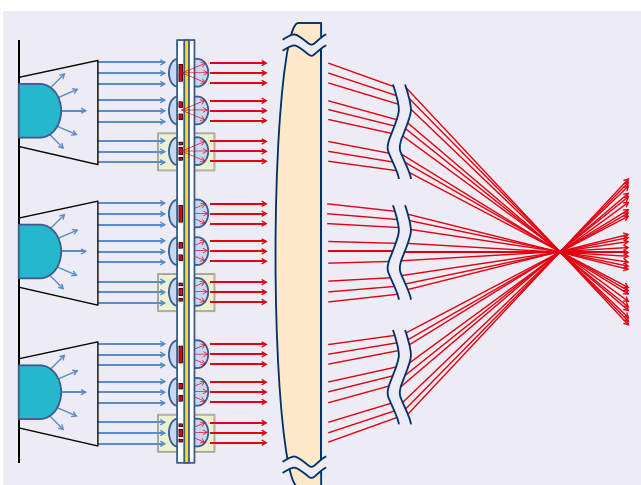
2 Seitenansicht, schmale Bauweise des 3D-Arrayprojektors. |

Side view, thin depth of 3D array projection.

schließlich von den Schaltzeiten der verwendeten LEDs abhängig, womit sich Projektionsraten im Kilohertzbereich realisieren lassen.

Neben der signifikanten Geschwindigkeitserhöhung ergeben sich für die 3D-Sensorik weitere Vorteile: Durch Überlagerung von (gleichen) Mustern erhöht sich die Beleuchtungsstärke des Projektionssystems. Bei aktuell genutzten 61 LED im blauen Spektrum und neun verschiedenen Mustern erzielt das System ca. 1800 lx. Daneben ist insbesondere für mobile 3D-Messsysteme die geringe Tiefenausdehnung des Projektors mit 30 mm von Vorteil. Die flächige Ausdehnung hängt primär von der benötigten Beleuchtungsstärke und der damit notwendigen Anzahl an LED ab.

In addition to the significant speed adjustment, there are further advantages for 3D sensing: overlaying (identical) patterns significantly increases the illumination level of the projection system. Common systems use 61 LEDs in the blue spectrum and nine different patterns for 3D reconstruction. This system enables a brightness of about 1,800 lx for each pattern. In addition, the complete projection system has a thickness of 30 mm and is therefore beneficial for mobile 3D systems in special applications. The footprint is primarily dependent on the illumination level and the number of used LEDs.



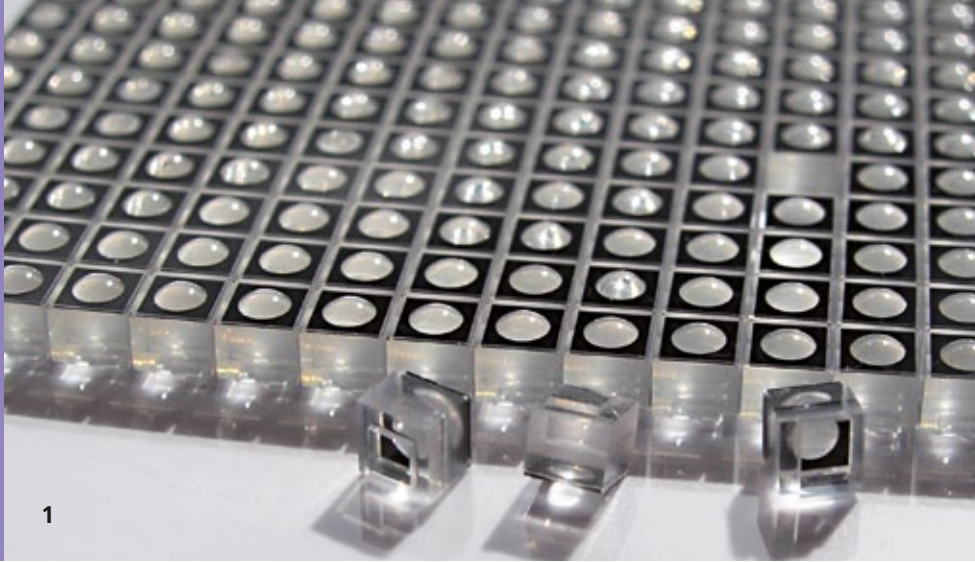
3 Schema von Aufbau und Strahlengängen des Arrayprojektors. | Schema of setup and projection light paths of an array projector.

AUTHORS

Andreas Breitbarth
Peter Kühmstedt
Marcel Sieler
Peter Schreiber
Gunther Notni

CONTACT

Andreas Breitbarth
Phone +49 3641 807-234
andreas.breitbarth@iof.fraunhofer.de

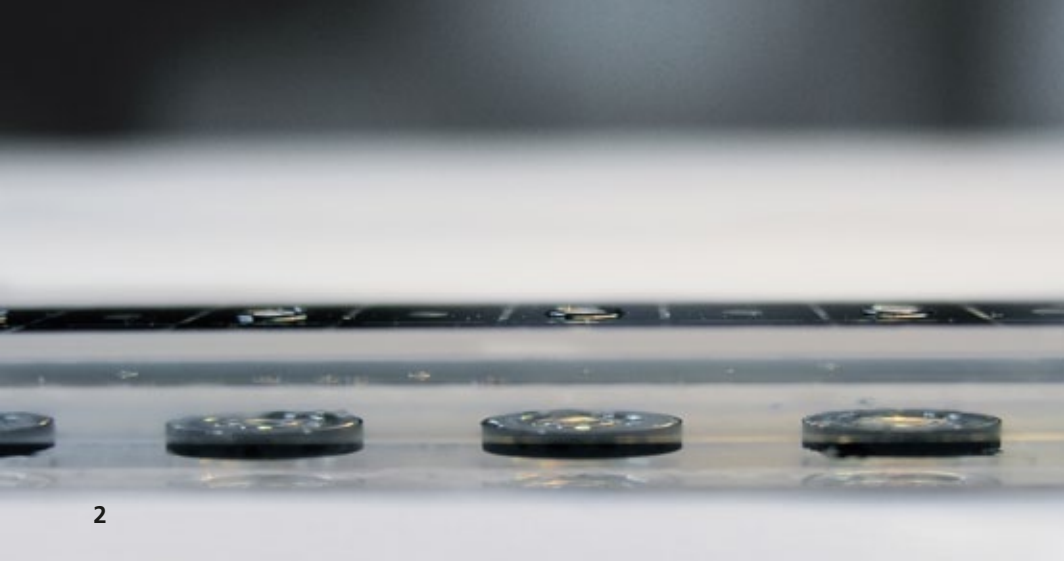


PARALLELISIERTE FERTIGUNG MIKRO- OPTISCHER ABBILDUNGSMODULE BATCH FABRICATION OF MICRO-OPTICAL IMAGING MODULES

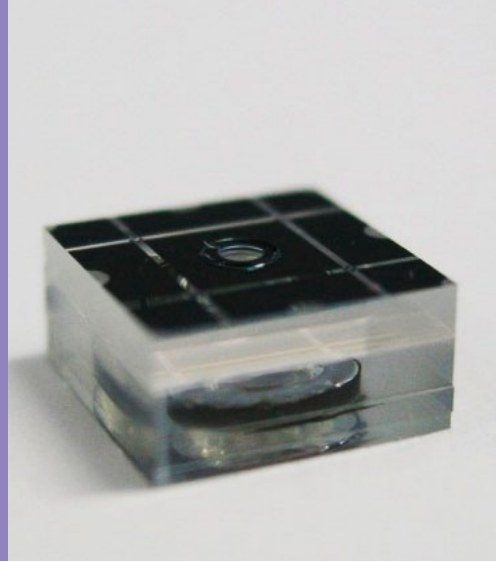
Wie eindrucksvoll von der Mikroelektronik gezeigt, führt die parallelisierte Herstellung von Komponenten zu einer Reduzierung der Herstellungskosten und fortschreitenden Miniaturisierung. Das Konzept des Prozessierens von Wafern wurde auch bei der Herstellung mikrooptischer Komponenten übernommen, wobei Verfahren wie Lithographie und Ätzen sowie hierfür erforderliche Maschinen der Mikroelektronikfertigung entliehen sind. Diese planaren Strukturierungstechniken sind für die Herstellung diffraktiver Strukturen ausreichend, allerdings können die Anforderungen an mikrooptische Sensor- und Abbildungsmodule insbesondere hinsichtlich breitem Wellenlängenspektrum und hoher numerischer Apertur nur durch Verwendung refraktiver Mikrolinsen erzielt werden. Um insbesondere der Forderung nach geringen Herstellungskosten Rechnung zu tragen, basiert die Herstellung der Linsen auf Replikation polymerer Materialien. Im Prozess wird ein Stempel in das zunächst flüssige Polymer gedrückt und unter UV-Bestrahlung ausgehärtet. Grundvoraussetzung für die Replikation ist das Vorhandensein eines Ur-Masters in ausreichender Qualität. Ein etabliertes Verfahren zur Herstellung refraktiver Mikrolinsen basiert auf dem Schmelzen von Fotolack /1/. Hierbei wird eine Fotolackschicht lithographisch strukturiert, wobei nach dem Entwicklungsprozess zylindrische Strukturen aus Fotolack auf dem Wafer

As impressively demonstrated by microelectronics, parallelized fabrication on wafer level can lead to reduced costs and improved miniaturization. The basic concept of processing wafers is also used in the fabrication of micro-optical components, where manufacturing techniques such as lithography and etching and the necessary equipment have been adopted from microelectronics fabrication. These planar structuring techniques are sufficient for the fabrication of diffractive components, but the requirements of micro-optical modules for sensing and imaging, especially regarding broad spectral bandwidth and high numerical aperture, can only be met when using refractive micro-lenses. Additionally, replication of polymer materials is used in order to meet the demand for low fabrication costs. In the process, a stamp is pressed into an initially liquid polymer which hardens under UV illumination. A master structure of sufficient quality containing the profile of the micro-lens array is essential for proper replication results. An established method for the generation of refractive micro-lenses is based on melting photoresist /1/. Here, a layer of photoresist is lithographically structured. Subsequently, the cylinders resulting after the development are melted resulting in spherical structures which can be used as lenses. Previously, this method was limited to lenses with a vertex height of approximately 150 μm . With the use of new photoresists

- 1 *Mittels Chipsägen vereinzelte Mikroobjektive für Sensormodule mit f/1,1 Mikrolinsen mit 250 μm Pfeilhöhe. | Diced objectives of micro-optical sensor modules with f/1.1 lenses and 250 μm vertex height.*
- 2 *Im Wafer-Maßstab gefertigte Mikroobjektive bestehend aus jeweils drei asphärischen Einzellinsen. | Wafer-level-manufactured micro-objectives consisting of a stack of three aspherical lenses.*



2



zurückbleiben, die durch Erwärmung schmelzen und eine Kugelkalotte bilden, die wiederum als Linse genutzt werden kann. War das Verfahren bisher auf die Herstellung von Mikrolinsen mit Pfeilhöhen bis $150\mu\text{m}$ beschränkt, so können nunmehr durch Nutzung neuer Fotolacke und angepasste Prozessführung Pfeilhöhen bis $250\mu\text{m}$ und Substratdurchmesser bis 200mm erreicht werden, die u.a. die Fertigung von Optiken für miniaturisierte Sensormodule mit hoher Lichtempfindlichkeit und mithin kleiner F-Zahl ermöglichen (Abb. 1). Insbesondere für die Realisierung abbildender Mikrooptiken besteht jedoch die Forderung nach asphärischen Mikrolinsen, um eine ausreichende Abbildungsqualität erzielen zu können. Hierzu findet das Step&Repeat-Verfahren Anwendung, wobei Kopien der Einzellinse durch mehrfach nebeneinander ausgeführte Replikationen in UV-härtendes Polymer auf einem gemeinsamen Substrat erstellt werden. Der Stempel der Einzellinse kann mittels Diamantdrehen hergestellt werden und asphärische Profile aufweisen. Durch Stapeln mehrerer Linsen- und Spacerwafer können komplexe Mikroobjektive im Vielfachnutzen generiert werden (Abb. 2).

Literatur / References

- /1/ Dannberg, P.; Mann, G.; Wagner, L.; Bräuer, A.: Polymer UV-molding for microoptical systems and opto-electronic integration, SPIE Proceedings 4179 (2000), 137–145.
- /2/ Wippermann, F.; Reimann, A.; Leibelng, G.: Endurance analysis of optical master stamps for UV-replication, SPIE Proceedings 7926 (2011), ISBN: 9780819484635, DOI: 10.1117/12.873506.

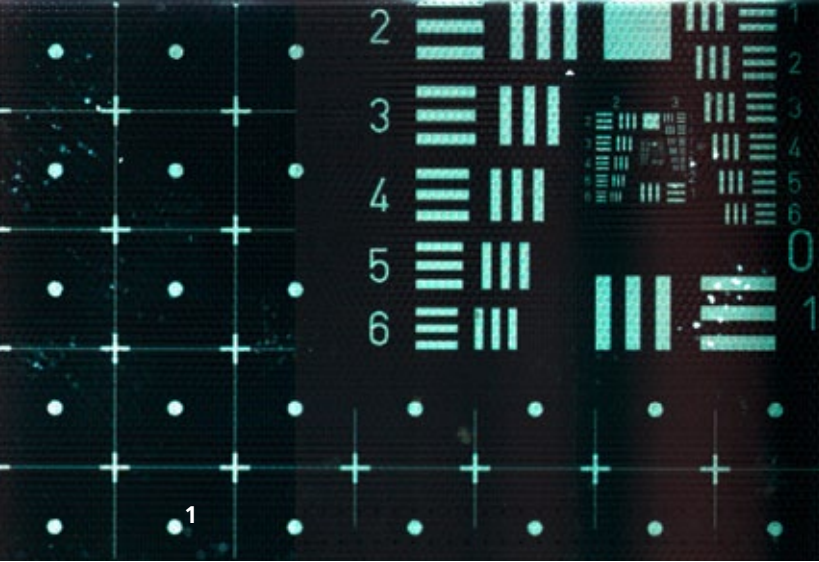
and adapted processes, sag heights of $250\mu\text{m}$ can now be achieved using 8" wafers as substrates. These lenses are especially beneficial for the realization of sensor modules with high sensitivity and, therefore, a low f-number (Fig. 1). In the case of micro-optical imaging modules, lenses with aspherical profiles are required in order to meet the desired level of imaging quality. The step&repeat process is therefore used, relying on the generation of copies of the single lens stamp by laterally sequential replication in UV curing polymers on a common substrate. The single lens stamp can easily be manufactured by diamond turning and can possess an aspherical profile. Complex micro-objectives can be generated in a batch by stacking of different lens and spacer wafers (Fig. 2).

AUTHORS

Frank Wippermann
Andreas Reimann
Antje Oelschläger
Peter Dannberg
Gilbert Leibelng

CONTACT

Dr. Frank Wippermann
Phone +49 3641 807-437
frank.wippermann@iof.fraunhofer.de



ULTRA-DÜNNES ARRAY-MIKROSKOP MIT INTEGRIERTER BELEUCHTUNG

ULTRA-THIN ARRAY MICROSCOPE WITH INTEGRATED ILLUMINATION

Optische Abbildungssysteme in den Anwendungsfeldern der Qualitätskontrolle, Inspektion sowie in der Bio-/ Medizintechnik bedingen eine schnelle Bilderfassung großer Flächen und die Erreichung einer hohen Strukturauflösung. Der Ansatz der parallelisierten Bilderfassung durch Mikrooptiken ermöglicht flexiblere Einsatzbereiche durch die Verbindung dieser Eigenschaften mit einer kompakten Bauweise und kostengünstiger Herstellungstechnologie. Entgegen konventionellen Systemen verfügt das ultra-dünne Array Mikroskope über eine Vielzahl von nebeneinander angeordneten Abbildungskanälen, die jeweils einen Teilbereich des Gesamtobjekts mit einem Abbildungsmaßstab von 1:1 übertragen und aneinander lückenlos anschließende Teilbilder generieren. Das aus drei Komponenten bestehende System ist spiegelsymmetrisch zur Mittelebene, die gleichzeitig die Zwischenbildebene des Objektivs darstellt (Abb. 4), aufgebaut. Folglich sind die erste und dritte Baugruppe identisch, wodurch sich der Herstellungsaufwand deutlich reduziert. Die laterale Ausdehnung der Arrays aus Abbildungsoptiken ist prinzipiell nicht begrenzt, so dass quasi beliebig große Objektflächen mit hoher Ortsauflösung von 5 μm ohne Notwendigkeit

Optical imaging systems which are applied in the fields of quality control, inspection as well as bio- / medical imaging require the rapid image acquisition of large object areas and a high spatial resolution. The approach of parallelized imaging using microoptics opens up more flexible fields of use by the combination of these properties together with a compact size and a low-cost fabrication technology. In contrast to conventional systems, the ultra-thin array microscopes use a large number of neighboring imaging channels in which each channel transmits a part of the overall object field with a magnification of 1 and generates a partial image which is seamlessly stitched with those of adjacent channels. The system consists of three components which are symmetric to the central plane which is also the intermediate image plane (Fig. 4). The first and third elements are thus identical, considerably reducing the fabrication effort. The lateral size of the arrays is not fundamentally limited, so object surfaces of nearly any size can be observed with a high spatial resolution of 5 μm without scanning. For demonstration purposes, the imaging system was designed to fit an image sensor with an active area of

1 *Bildaufnahmen mit Auflichtbeleuchtung: Teststruktur (links), Zehn-Euro Banknote (rechts).* |

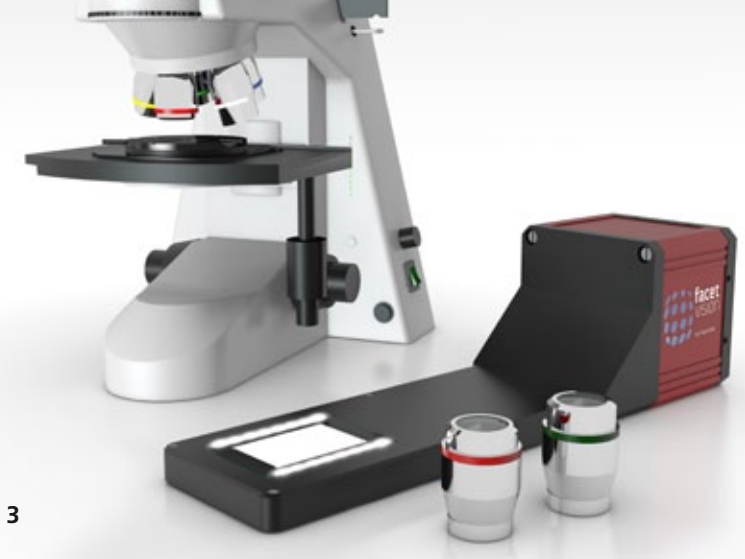
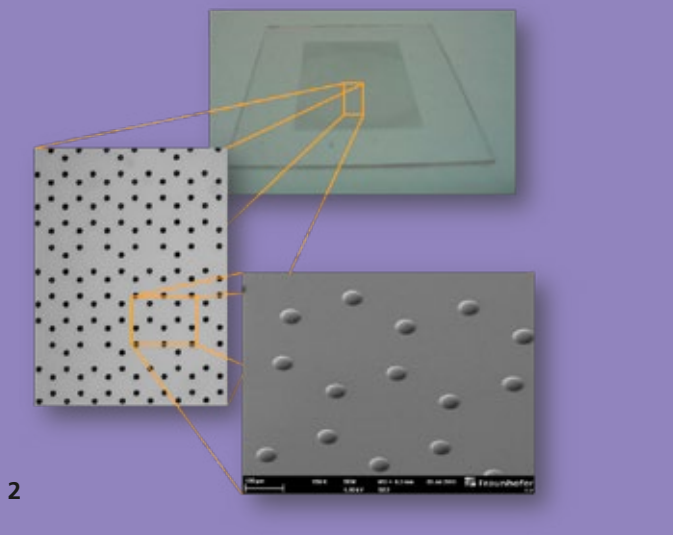
Images acquired with front side illumination: test target (left), print of a ten euro bill (right).

2 *Photos der Mikrostruktur auf der Lichtleiterplatte des Auflichtmoduls.* |

Photos of the microstructure on the light-guiding plate of the illumination module.

3 *Demonstrator des ultra-dünnen Array Mikroskops mit integrierter Beleuchtung. Die im Vordergrund*

befindlichen konventionellen Mikroskopobjektive dienen nur zum Größenvergleich. | *Demonstration system of the ultra-thin array microscope with integrated illumination. The conventional microscope objectives in the front are used for size comparison only.*

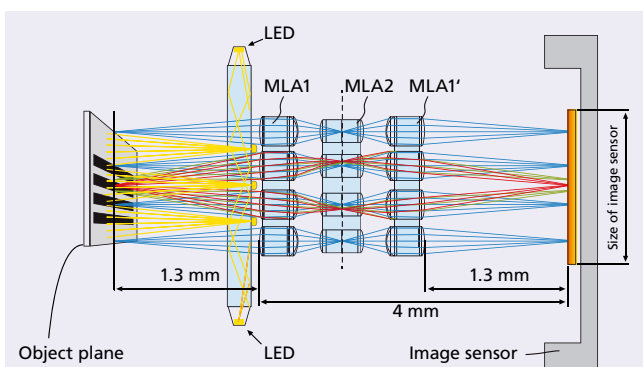


einer scannenden Bildaufnahme betrachtet werden können. Für eine Demonstration erfolgte die Auslegung des Abbildungssystems auf Basis eines Bildsensors mit einer aktiven Fläche von $36 \times 24 \text{ mm}^2$ (Abb. 3). Die bestehende Limitation der Erfassung ausschließlich semi-transparenter Objekte konnte durch die Integration eines extrem dünnen Auflichtmoduls überwunden werden. Hierfür wird eine etwa $300 \mu\text{m}$ dünne Glasplatte objektseitig vor dem ersten Mikrolinsenarray platziert (Abb. 4). Das von den seitlich außerhalb des Sichtfeldes angebrachten LEDs eingekoppelte Licht wird im Inneren dieser Platte geführt und durch die auf der Rückseite befindliche Mikrostruktur in Richtung der Objektfläche ausgekoppelt. Die Mikrostrukturen selbst befinden sich axial über den Zwischenräumen der Mikrolinsen des Abbildungssystems, so dass sie von diesem nicht abgebildet werden. Die Parameter der Mikrostrukturen und deren Füllfaktor wurden optimiert um eine homogene Ausleuchtung der Objektfläche mit möglichst hoher Effizienz zu erhalten /1/. Die Lichtleitplatte wurde durch UV-Abformung von Schmelzlinzen und anschließender Metallbeschichtung erzeugt (Abb. 2). Trotz der zusätzlichen Komponente kann die stark reduzierte optische Baulänge des Array Mikroskops von $5,3 \text{ mm}$ beibehalten werden, wodurch sich nun weitere Anwendungsbereiche für das kompakte System eröffnen (Abb. 1).

$36 \times 24 \text{ mm}^2$ (Fig. 3). The existing limitation in the imaging of semi-transparent objects has been overcome by the integration of an extremely thin illumination module. A glass plate with a thickness of $300 \mu\text{m}$ is therefore mounted in front of the first microlens array on the object side (Fig. 4). The light that originates from LEDs mounted on the side faces is guided in the plate and is coupled out towards the object by a microstructure on the backside of the plate. The microstructures are placed axially above the intermediate space between adjacent microlenses of the imaging optics to prevent being imaged by the latter. The parameters of the microstructure and the fill factor were optimized in order to achieve a homogeneous illumination of the object plane with the highest possible efficiency /1/. The light-guiding plate was fabricated by UV-molding of reflow lenses and a subsequent metallization (Fig. 2). The highly reduced total track length of 5.3 mm can be maintained despite the additional component, opening up additional fields of application for the compact system (Fig. 1).

References / Literatur

/1/ Berlich, R.; Brückner, A.; Leitel, R.; Bräuer, A.: Ultra-compact illumination module for multi-aperture imaging systems, SPIE, MOEMS-MEMS, San Francisco, CA, USA, Jan. 21.–26. 2012, paper no. 8250-21, 2012.



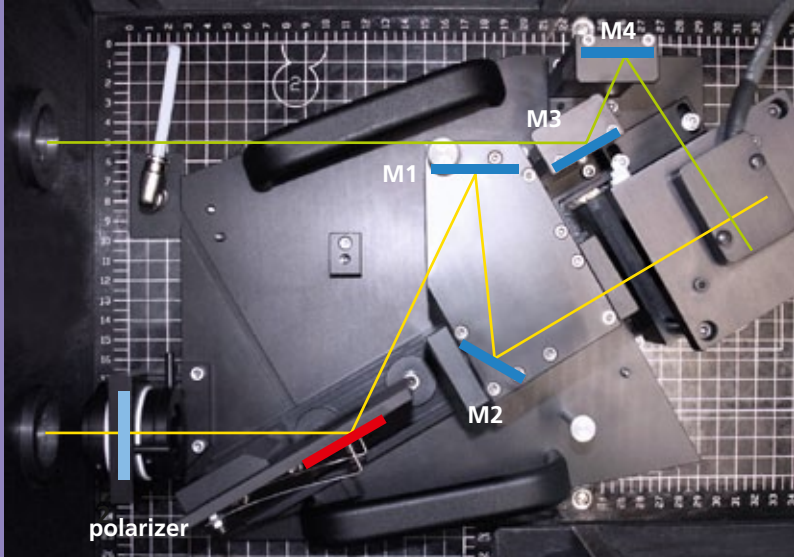
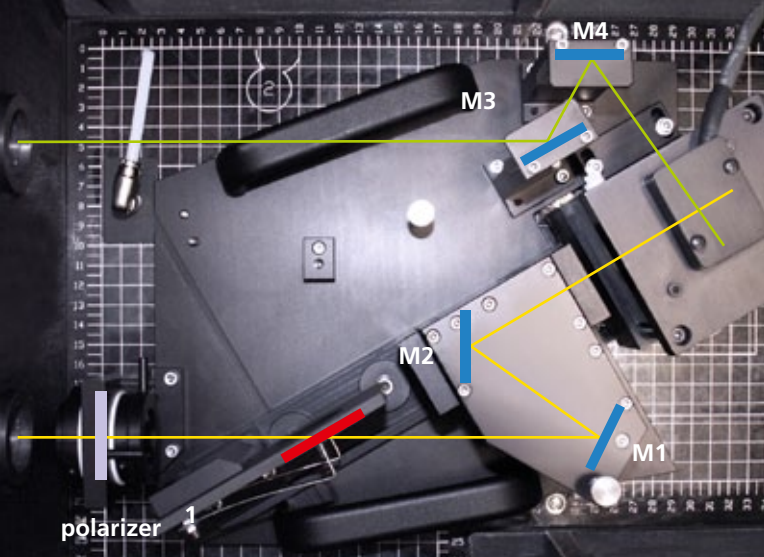
4 Schematische Darstellung des ultra-dünnen Mikroskops inklusive des flachen Beleuchtungsmoduls. | Schematic layout of the ultra-thin microscope including the thin illumination module.

AUTHORS

Andreas Brückner
René Berlich
Robert Leitel
Bernd Höfer
Frank Wippermann
Andreas Bräuer

CONTACT

Dr. Andreas Brückner
Phone +49 3641 807-421
andreas.brueckner@iof.fraunhofer.de



MESSEINSATZ FÜR DIE SPEKTRAL- PHOTOMETRIE BEI 60° EINFALLSWINKEL ACCESSORY FOR THE SPECTROPHOTOMETRY AT 60° ANGLE OF INCIDENCE

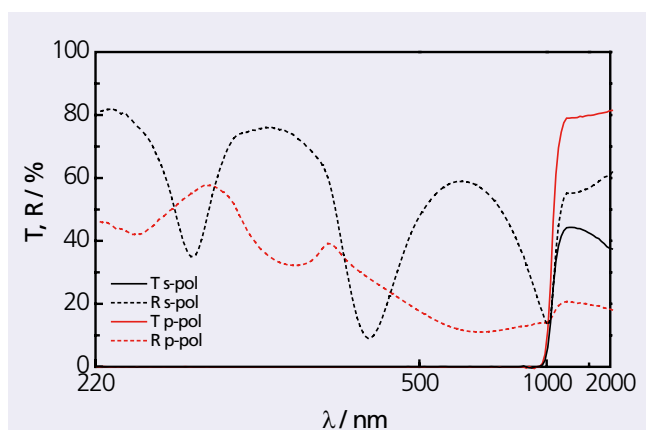
Charakterisierungsaufgaben und Qualitätskontrolle werden in der Dünnschichttechnologie häufig mit Hilfe spektralfotometrischer Messungen vorgenommen. Sofern ein Dünnschichtsystem auf einem transparenten Substrat präpariert wurde, ist für dessen Charakterisierung die Messung des gerichteten Transmissions- und Reflexionsvermögens bei nahezu senkrechtem Lichteinfall eine Standardmethode. Bei Schichten auf einem intransparenten Substrat ist die Bestimmung von optischen Konstanten und Schichtdicke nur aus dem Reflexionspektrum recht unsicher. In dem Fall können durch zusätzliche Reflexionsmessungen genügend Daten für die Charakterisierung erfasst werden. Dies konnten wir für die Kombination von Reflexionsmessungen mit unseren Messeinsätzen für 6° und 45° Einfallswinkel am Beispiel von ITO- und Aluminiumschichten auf Siliziumsubstraten demonstrieren ^{1/1}. Allerdings sind beide Winkel für die Charakterisierung optischer Grenzflächeneigenschaften unter Nutzung von polarisiertem Licht ungünstig, da sich für nahezu senkrechten Lichteinfall das Reflexionsvermögen für s- und p-Polarisation kaum unterscheidet und für 45° die Beziehung $R_s = R_p^2$ (Abeles-Beziehung) gilt. Für 60° Einfallswinkel besteht eine solche Beziehung nicht, und auch für die Qualitätskontrolle ist dieser Winkel interessant. Entsprechend dem VN-Messprinzip (der Name leitet sich von der Form der Strahlausbreitung bis zum Spiegel M2 ab) wird

In thin film technology, spectral photometric measurements are frequently used for characterization and quality control. When the thin film system is deposited on a transparent substrate, measurement of directional transmittance and reflectance at nearly normal incidence of light is widely used for coating characterization. For coatings deposited on an intransparent substrate, the determination of optical constants and layer thickness based only on the reflectance spectra will not be reliable. In this case, additional reflectance measurements can be used to accumulate a sufficient amount of data for characterization. This has been demonstrated by combining reflectance measurements with our accessories for 6° and 45° angle of incidence, e.g. for characterization of ITO and aluminum coatings deposited on silicon ^{1/1}. However, both angles are inappropriate for characterizing the optical properties of interfaces with polarized light, because at nearly normal incidence the reflectance for s- and p-polarized light will differ only marginally and for 45° the relation $R_s = R_p^2$ (Abeles condition) holds. A similar relation does not exist for 60° angle of incidence, and this angle is also interesting for quality control. In the newly developed measurement accessory, the transmitted (Fig. 1 left, V-configuration) or reflected light beam (Fig. 1 right, N-configuration) is guided by the moveable mirrors M1/M2 to the detector, in accordance with

¹ Strahlengang von Probenstrahl (gelb) und Referenzstrahl (grün) im 60°-VN-Einsatz zur Absolutmessung des Transmissions- (links) und Reflexionsvermögens (rechts) einer Probe (rot). |

Optical path of sample beam (yellow) and reference beam (green) in the 60° VN accessory for absolute measurement of transmittance (left) and reflectance (right) of a sample (red).

in dem neu entwickelten Messeinsatz das transmittierte (Abb. 1 links, V-Konfiguration) bzw. reflektierte Licht (Abb. 1 rechts, N-Konfiguration) über die in einen Schwenkarm integrierten Spiegel M1/M2 in den Detektor geführt. Anders als bei den früher realisierten 6° und 45° Varianten wird der Referenzstrahl über die ortsfesten Spiegel M3/M4 in die seitliche Eintrittsöffnung der Integrationskugel geleitet. Dadurch wird ein nahezu identischer Lichtdurchsatz für Proben- und Referenzstrahl und eine reduzierte Weglänge zwischen Probe und Detektor erreicht. In /2/ wurde die Messgenauigkeit an unterschiedlichen Proben nachgewiesen gemessenen. Mit dem 60°-VN-Einsatz gemessene Transmissions- und Reflexionsspektren für s- und p-polarisiertes Licht einer HfO₂-Einzelschicht (Schichtdicke ~225 nm) auf einem Siliziumsubstrat (Dicke 0.14 mm) sind in Abb. 2 dargestellt.



2 Gemessenes Transmissions- (durchgezogene Linie) und Reflexionsspektrum (gestrichelte Linie) für s- (schwarz) und p-polarisiertes Licht (rot) einer HfO₂-Einzelschicht auf einem Siliziumsubstrat bei einem Einfallswinkel von 60°. | Measured transmittance (solid line) and reflectance spectra (dashed line) for s- (black) and p-polarized light (red) of a hafnia single layer deposited on a silicon substrate for 60° angle of incidence.

the VN measurement principle (the name is derived from the shape of the beam propagation to the mirror M2). In contrast to previously developed accessories for 6° and 45°, the reference beam is here guided to a side port of the integration sphere using stationary mirrors M3/M4. This results in a nearly identical throughput of light for the sample and reference beam and in a reduced path length between the sample and detector. Measurement accuracy has been proved with several samples in /2/. The transmittance and reflectance spectra for s- and p-polarized light of a hafnia single layer (thickness ~225 nm) deposited on a silicon substrate (thickness 0.14 mm) measured with the 60°-VN-accessory are shown in Fig. 2.

References / Literatur

- /1/ Stenzel, O.; Wilbrandt, S.; Friedrich, K.; Kaiser, N.: Realistische Modellierung der NIR/VIS/UV-optischen Konstanten dünner optischer Schichten im Rahmen des Oszillatormodells, Vakuum in Forschung und Praxis 21(5) (2009) 15–23.
/2/ Böhme, M.: Experimenteller Aufbau zur Messung des gerichteten absoluten Transmissions- und Reflexionsvermögens im NIR / VIS / UV-Spektralbereich bei einem Einfallswinkel von 60°, Masterarbeit, Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena (2012).

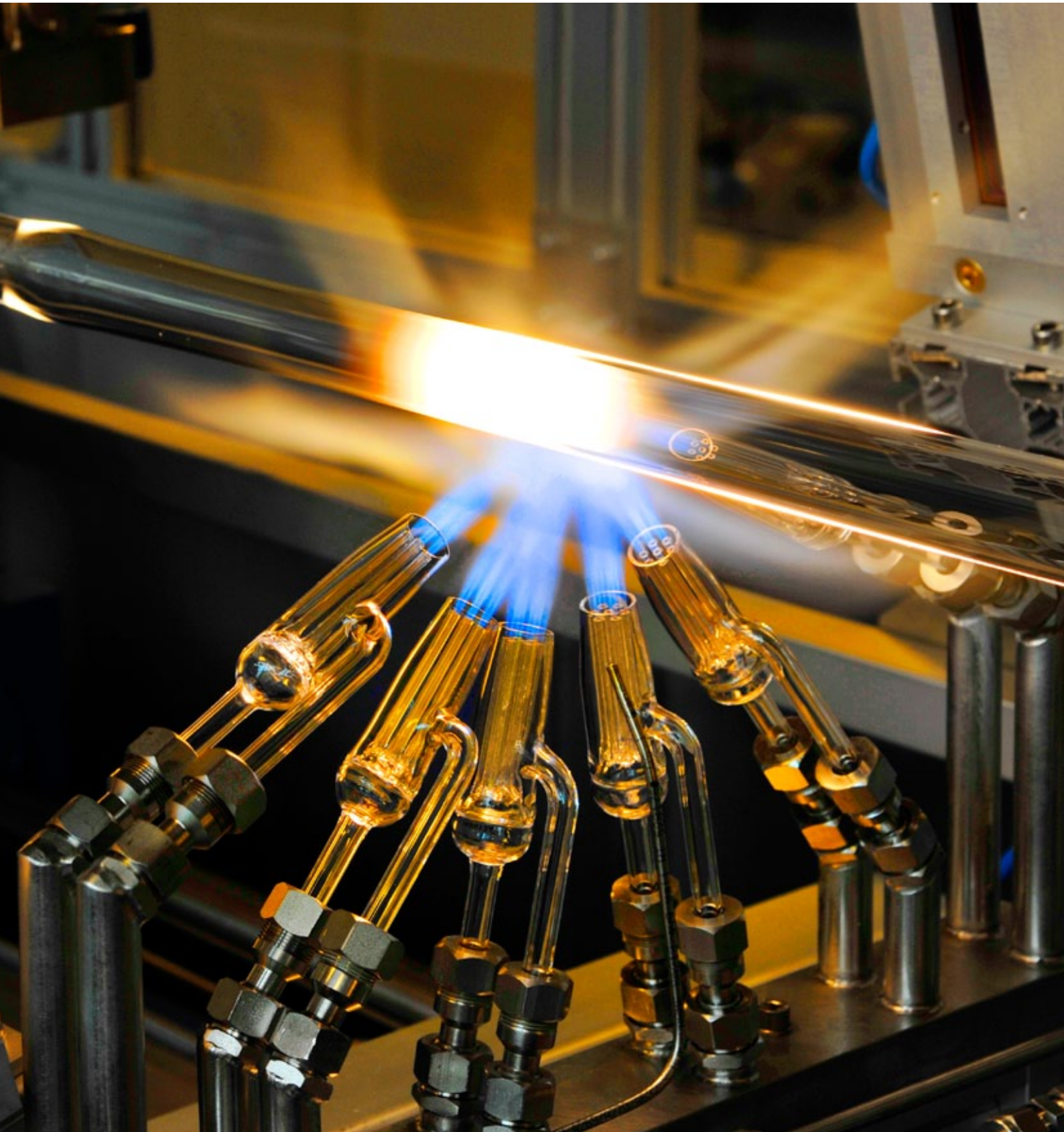
AUTHORS

Steffen Wilbrandt
Olaf Stenzel
Matthias Böhme
Norbert Kaiser

CONTACT

Dr. Steffen Wilbrandt
Phone +49 3641 807-272
steffen.wilbrandt@iof.fraunhofer.de

GESCHÄFTSFELD
BUSINESS FIELD



LASERTECHNIK

LASER TECHNOLOGY

Das Fraunhofer IOF entwickelt in enger Kooperation mit dem Institut für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena innovative Festkörperlasersysteme und betreibt Prozessentwicklung für die Lasermaterialbearbeitung. Schwerpunkte der Forschungstätigkeiten liegen auf dem Gebiet der Faserlaser und der hochbrillanten Diodenlaser. Zudem werden kundenspezifische Lösungen für Strahlformung und Strahlführung angeboten.

Das Leistungsspektrum umfasst die Durchführung von Design- und Machbarkeitsstudien, die Entwicklung von optischen und optoelektronischen Bauelementen wie optischen Fasern und Bauelementen zur raumzeitlichen Kontrolle kohärenter Strahlung bis hin zum prototypischen Aufbau von Lasersystemen und deren Applikation. Höchste Priorität haben derzeit der Aufbau und die Etablierung der kompletten Technologie- und Wertschöpfungskette zur Herstellung von aktiven Fasern und faseroptischen Komponenten einschließlich Glaschemie sowie Komponenten zur Strahlformung und -führung.

Derzeit werden Anwendungen von faserbasierten Kurzpulslasern in der Mikroskopie sowie in LIDAR-Systemen zur Integration in Windkraftanlagen entwickelt. Aus diesen Beispielen wird deutlich, wie breit das Anwendungsfeld von Faserlasern ist. Hochleistungsfaserlaser verlangen Komponenten, die den hohen Intensitäten und den damit verbundenen Belastungen widerstehen. Hier sind spezielle Aufbau- und Verbindungstechniken wie z.B. das direkte Bonden laseraktiver Materialien gefragt.

The Fraunhofer IOF works in close cooperation with the Institute of Applied Physics at the Friedrich Schiller University in Jena to develop innovative solid state laser systems and carries out process development for laser material processing. The research focuses on the area of fiber lasers and ultra-high brightness diode lasers. We also exploit our systems expertise to offer custom solutions for beam shaping and guidance.

Services offered include carrying out design and feasibility studies, developing optical and optoelectronic components such as optical fibers and components for spatio-temporal monitoring of coherent radiation and prototype assembly of laser systems and their application. The top priority at the present time is the development and establishment of a complete technology and value chain for producing active fibers and fiberoptic components (including glass chemistry) as well as components for beam shaping and guidance.

Current developments include applications for fiber-based short pulse lasers in microscopy and in LIDAR systems for integration in wind turbines. These examples clearly indicate the diversity of the application field for fiber lasers today. High performance fiber lasers require components which can withstand high intensities and their associated loads. This demands special assembly and packaging technologies such as direct bonding of laser active materials.

LEFT *Herstellung von Preformen für aktive Laserfasern auf der MCVD-Anlage. | Production of preforms for active laser fibers on the MCVD system.*



LIDAR-FASERLASER FÜR WELTRAUM-ANWENDUNGEN UND WINDANLAGEN

LIDAR LASER FOR SPACE APPLICATIONS AND WIND-TURBINES

LIDAR (englisch: Light detection and ranging) Lasersysteme sind oft als Bestandteil zukünftiger Anwendungen in der aktuellen Forschungslandschaft wiederzufinden. Viele dieser Anwendungen legen nicht nur eine herausragende Leistungsfähigkeit des Lasersystems wie hohe Ausgangsleistung, Energieeffizienz und beugungsbegrenzte Strahlqualität zugrunde, sondern finden zudem noch unter extremen Umweltbedingungen statt. Die daraus abgeleiteten Anforderungen an den Laser machen deutlich, dass sich speziell der Faserlaser als Konzept der Wahl profilieren kann.

Derzeit beschäftigt sich das Fraunhofer IOF mit zwei assoziierten Themen. Zum einen wird ein Erbium-Faserlaser (1,55 μm Wellenlänge) entwickelt, der später für Andockmanöver im Weltraum genutzt werden soll (Auftraggeber: Raumfahrtmanagement des DLR e.V.). Das System liefert 3ns-Pulse mit 4 kW maximaler Spitzenleistung bei einer Pulsfolgefrequenz zwischen 25-150 kHz (Abb. 2). Anhand des Laufzeitunterschiedes zwischen gesendetem und rückgestreutem Signal können damit Objekte in einigen 100 m Entfernung in cm-Genauigkeit erfasst werden. Der realisierte kompakte, robuste und komplett faserintegrierte Aufbau ist notwendig, um sich vor den hohen mechanischen und thermischen Belastungen bei hoher Strahlungsexposition in Vakuumumgebung zu schützen (Abb. 1).

As an essential part of future applications, LIDAR (light detection and ranging) laser systems are often to be found in the current research environment. Many of these applications not only involve a very challenging performance level on the part of the laser itself - like high output power, efficiency and diffraction-limited beam quality - but also operate under extreme ambient conditions. Taking the derived requirements into account, it becomes clear that the fiber laser is a high-profile candidate for the laser concept of choice.

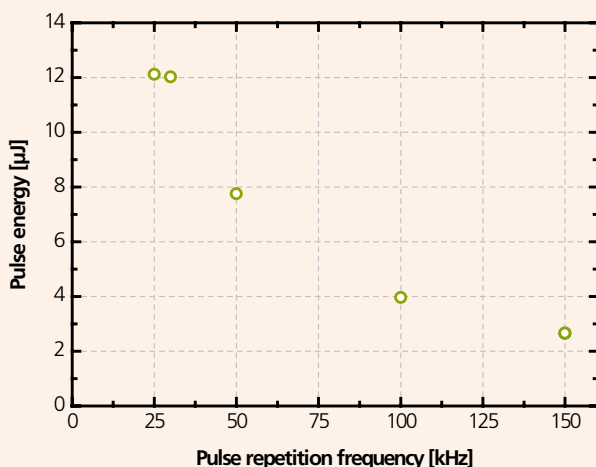
At present, Fraunhofer IOF is involved in two LIDAR-related topics. One of these is the development of an erbium fiber laser (at 1.55 μm wavelength) used for rendezvous and docking maneuvers in space (client: management of the German Aerospace Center). This system provides 3ns-pulses with a maximum peak power of 4 kW at pulse repetition rates between 25 and 150 kHz (Fig. 2). Remote objects at distance >100 m can be sensed with a resolution of a few cm by analyzing the runtime of back-scattered pulses. The compact, robust and highly integrated all-fiber setup realized is necessary to protect the laser from mechanical and thermal loads during exposure to radiation in a vacuum environment (Fig. 1).

1 *Ausschnitt aus dem Faserlasersystem in dem die Fasern sehr dicht angeordnet sind. |*

Section of the fiber laser system where fibers are arranged in dense formation.

Ebenfalls hohen Anspruch auf mechanische und thermische Stabilität wird später einmal ein Doppler-LIDAR Laser erheben müssen, der, unmittelbar platziert in der Gondel einer Windkraftanlage, das Windfeld vor dem Rotor vermessen soll. Da das Doppler-LIDAR Funktionsprinzip auf der Verstärkung einer schmalbandigen Quelle beruht, sind Aspekte hinsichtlich der Unterdrückung von stimulierter Brillouin-Streuung in einem Faserverstärker besonders relevant.

In a second project, a future Doppler wind LIDAR laser will make similar demands on mechanical and thermal robustness, since this system will be placed in the nacelle of a wind turbine. To scale the size of the rotors for the next generation of wind turbines planned for off-shore wind farms, predictive control and thus measurement of the wind field is crucial. Since the Doppler LIDAR operation principle is based on amplification of a single-frequency signal, issues are focused mainly on the suppression of stimulated Brillouin scattering in fiber amplifiers.



2 Ausgangspulsenergie des entwickelten LIDAR Lasers als Funktion der Pulsfolgefrequenz. Bei geringeren Frequenzen können bis zu 12 µJ Pulsenergie extrahiert werden. |

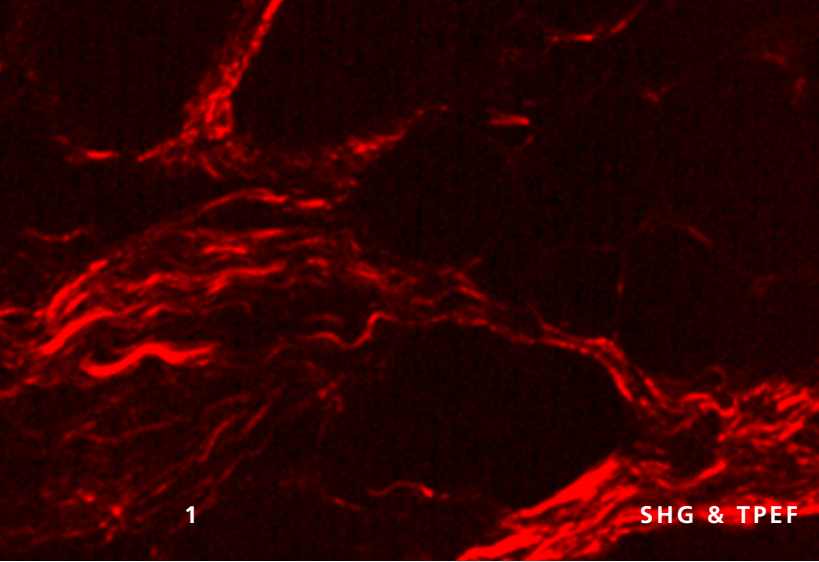
Output performance of the developed LIDAR-laser as a function of pulse repetition frequency. At lower frequencies up to 12 µJ of pulse energy are reached.

AUTHORS

Oliver de Vries
Franz Beier
Thomas Schreiber
Ramona Eberhardt
Paul Gerke Hofmeister
Christoph Bollig
Rainer Reuter
Andreas Tünnermann

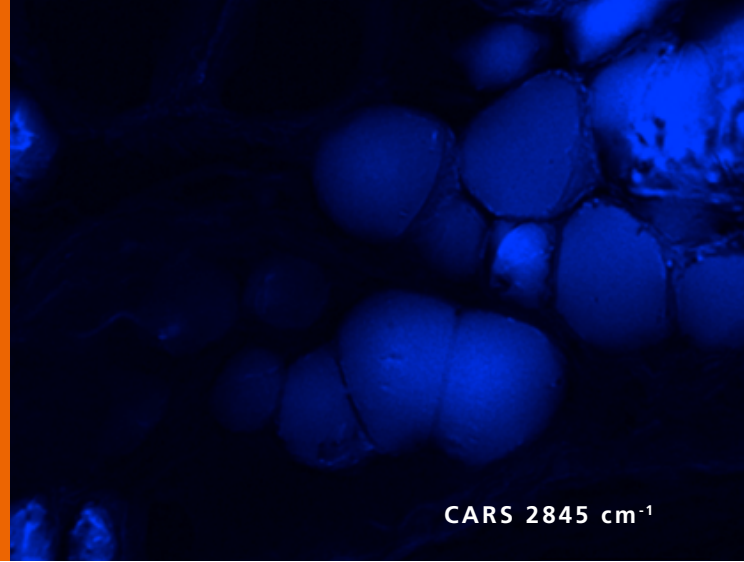
CONTACT

Dr. Oliver de Vries
Phone +49 3641 807-355
oliver.devries@iof.fraunhofer.de



1

SHG & TPEF

CARS 2845 cm⁻¹

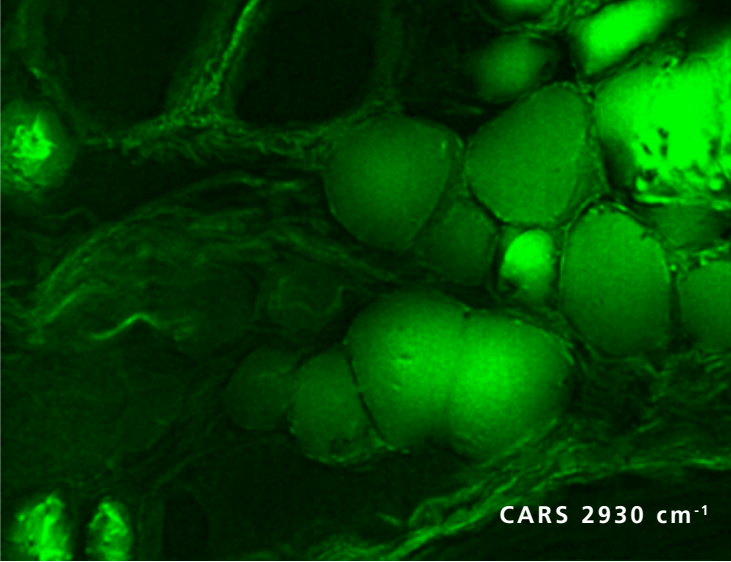
FASERBASIERTE KURZPULSLASERQUELLEN FÜR DIE NICHTLINEARE MIKROSKOPIE FIBER-BASED SHORT-PULSE LASER SOURCES FOR NONLINEAR MICROSCOPY

Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Multi-Photonen-Prozessen für die mikroskopische Bildgebung haben die nicht-lineare Mikroskopie zu einem leistungsstarken Werkzeug für biologische und medizinische Anwendungen werden lassen. Dabei nimmt die kohärente Raman-Mikroskopie (Abk. engl.: CRM) eine besondere Stellung ein, da diese chemisch selektiven Bildkontrast bei der Untersuchung von biologischem Gewebe ermöglicht. Durch Anregung und Sondierung von Molekülresonanzen werden Informationen über die Verteilung chemischer Substanzen in der Probe gewonnen, ohne externe Marker zu verwenden. Die CRM kann somit an lebenden Zellen durchgeführt werden und ermöglicht Echtzeit-In-vivo-Mikroskopie mit Video-Bildwiederholraten. Dank dieser Eigenschaften ist die CRM eine vielversprechende bildgebende Methode für den klinischen Einsatz, z.B. während Hirntumor-Operationen. Die Signalerzeugung bei kohärenter Anti-Stokes Raman-Streuung (Abk. engl. CARS) stellt allerdings hohe Anforderungen an die benötigte Lichtquelle. So werden zwei zueinander synchronisierte kurze Laserpulse unterschiedlicher Wellenlänge benötigt, deren Frequenzunterschied genau auf die zu untersuchende Molekülresonanz einzustellen ist. Die Pulspaare werden gewöhnlich mit modengekoppelten Freistrahl-Lasersystemen in Kombination mit optisch-parametrischen Oszillatoren erzeugt. Aufgrund der hohen Kosten und des Platzbedarfs solch komplexer Lasersysteme sowie des beständigen Justage- und Wartungsaufwandes, ist die weitreichende Nutzung von CARS in Anwendungen

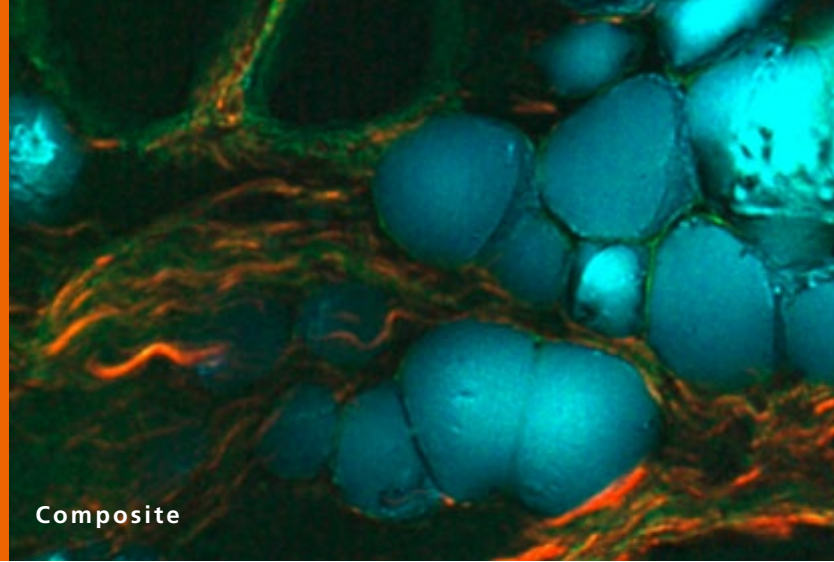
Due to the manifold applications of multi photon processes for microscopic imaging, nonlinear microscopy has become a powerful tool for biological and medical applications. Of the various techniques, coherent anti-Stokes Raman scattering (CARS) microscopy is of particular interest as it allows for chemical selective tissue imaging. By probing vibrational molecule resonances, chemical information is obtained without the use of any labels. Hence, CARS allows for microscopy of living cells and is a promising technique for real-time in-vivo imaging, e.g. during brain cancer surgery. However, CARS signal generation requires two synchronized picosecond pulse trains with their frequency difference matching the resonance frequency of interest. These are commonly generated using short-pulse bulk lasers in combination with a bulk optical parametric oscillator. Such systems are not only expensive and complex but also require constant maintenance and alignment. A wider use of CARS in real-world applications, such as medical imaging in clinical environments, is crucially dependent on the development of compact, turnkey laser sources which are reliable and easy to use.

Within the framework of a BMBF sponsored project (FKZ: 13N10773 "Medicars"), possibilities to transfer the compactness and ruggedness of fiber laser technology to CARS laser sources were investigated. Thanks to a novel approach, the generation of the required pulse trains could be implemented in a completely fiber-integrated manner /1/. The main idea

1 *Multimodale, nichtlineare Mikroskopie von Ablagerungen arteriosklerotischer Plaques in einer Human-aorta.* | *Multimodal nonlinear microscopic image of atherosclerotic plaque deposition at a human artery wall.*



CARS 2930 cm⁻¹



Composite

außerhalb spezialisierter Optiklabore, wie z.B. der Bildgebung in Kliniken, entscheidend von der Entwicklung kompakter, zuverlässiger und einfach zu bedienender Laserquellen abhängig. Im Rahmen eines vom BMBF (FKZ: 13N10773 »Medicars«) geförderten Projektes wurden deshalb Möglichkeiten erforscht, die Kompaktheit und Robustheit der Faserlasertechnologie auf CARS-Laserquellen zu übertragen. Dabei ist es gelungen, die Erzeugung der benötigten Laserpulspaare vollständig in optischen Glasfasern zu implementieren /1/. Genutzt wird der Effekt der Vier-Wellen-Mischung in mikrostrukturierten Glasfasern, um gezielt synchrone Pulse mit definiertem Frequenzabstand zu erzeugen /2/. Da das Licht im gesamten System in optischen Fasern geführt wird, ist der Aufbau nicht nur besonders kompakt, sondern zudem äußerst robust und vollständig justage- und wartungsfrei. Die direkte Faserzuführung zum Mikroskop und die Bereitstellung der fertig räumlich und zeitlich überlagerten Pulse aus einem Faserende reduzieren den experimentellen Aufwand für den Anwender drastisch. Die entwickelten Systeme ebnet den Weg für eine breite Anwendung der CARS-Mikroskopie als wertvolle Ergänzung zu anderen nichtlinearen Mikroskopiemethoden. Mithilfe der entwickelten Faserlaser wurden qualitativ hochwertige Aufnahmen von Schnitten menschlicher Aorta angefertigt, die die Ablagerung arteriosklerotischer Plaques zeigen. Die multimodalen Bilder zeigen je nach Anregung die Verteilung der Lipide (CARS bei 2845 cm⁻¹) {blau}, der Proteine (CARS bei 2930 cm⁻¹) {grün} sowie der Strukturproteine Kollagen und Elastin (SHG and TPEF) {rot} /3/.

of this approach is the exploitation of optical-parametric amplification by four-wave-mixing in photonic crystal fibers for creation of the required wavelength set /2/. Hence, the generated pulses for CARS are emitted from a single fiber end, intrinsically overlapping both in space and time. This approach allows for ultra-compact all-spliced fiber setups with direct fiber delivery to the microscope. Moreover, the single-beam output drastically simplifies the alignment requirements for the user. The developed laser systems thus open the door to wider use of CARS microscopy in real-world applications. Using the developed fiber lasers, high-quality multimodal imaging of a human aorta section exhibiting arteriosclerotic plaque deposition was performed using second harmonic generation (SHG) and two-photon excited fluorescence (TPEF) in combination with CARS in the CH-stretching band. Depending on the excitation, the images show the distribution of lipids (CARS at 2,845 cm⁻¹) {blue}, proteins (CARS at 2,930 cm⁻¹) {green} and the structural proteins collagen and elastin (SHG and TPEF) {red} /3/.

References / Literatur

- /1/ Baumgartl, M. et al.: Opt. Express 20 (2012) 21010-21018.
- /2/ Baumgartl, M. et al.: Opt. Express 20 (2012) 4484-4493.
- /3/ Chemnitz, M. et al.: Opt. Express 20 (2012) 26583-26595.

AUTHORS

- Martin Baumgartl¹
- Tobias Meyer²
- Mario Chemnitz¹
- Benjamin Dietzek²
- Jens Limpert^{1,3}

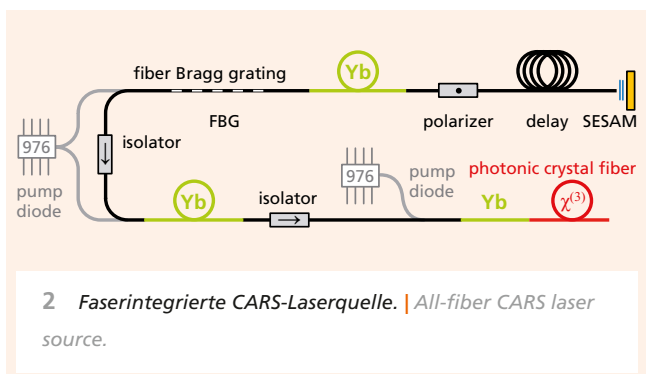
¹Institute of Applied Physics, Friedrich-Schiller-Universität Jena

²Institut für Photonische Technologien (IPHT) e.V., Jena

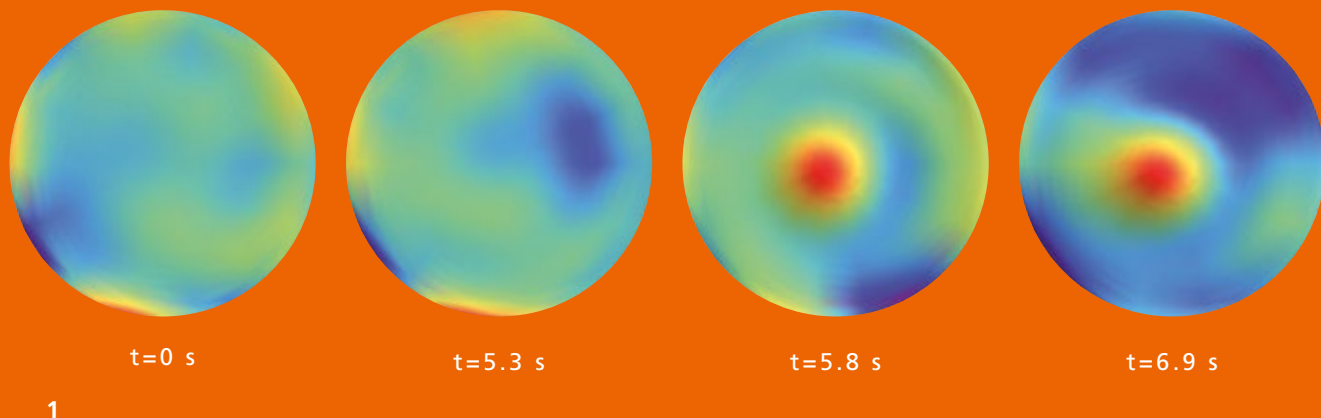
³Fraunhofer IOF

CONTACT

Jun.-Prof. Dr. Jens Limpert
 Phone +49 3641 9-47811
 jens.limpert@uni-jena.de



2 Faserintegrierte CARS-Laserquelle. | All-fiber CARS laser source.



1

ANTIREFLEXSCHICHTEN FÜR HOCHLEISTUNGS-LASERANWENDUNGEN ANTIREFLECTION COATINGS FOR HIGH POWER LASER OPTICS

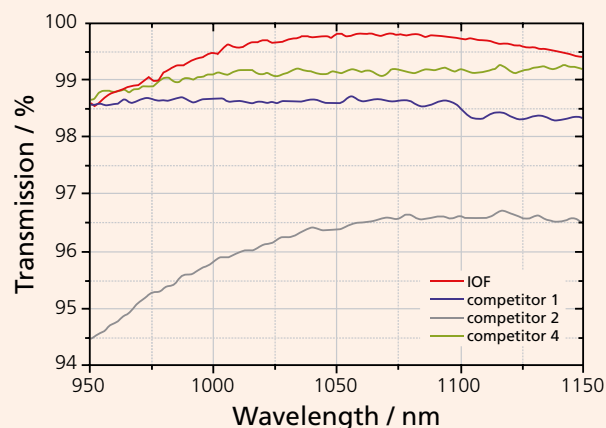
Der Bedarf nach hochqualitativen Optiken wächst mit der stetigen Weiterentwicklung von Hochleistungslasern, welche höhere Leistungen und bessere Strahlqualitäten liefern. Neben der Oberflächenqualität und der optischen Zerstörschwelle ist die thermisch induzierte Linsenwirkung kritisch für Anwendungen, die darauf angewiesen sind die Strahlqualität selbst bei den höchsten Durchschnittsleistungen beizubehalten.

Es ist deshalb wichtig, Antireflexbeschichtungen (AR) mit minimaler Absorption zu erforschen und ihre experimentelle Leistungsfähigkeit zu charakterisieren.

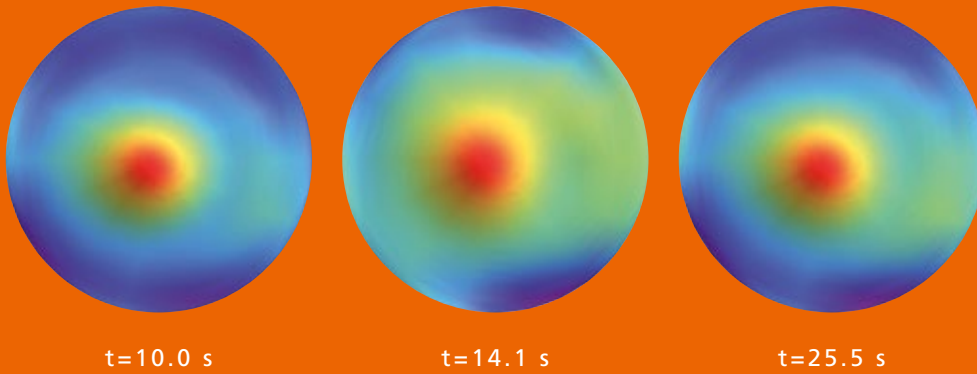
Design und Herstellung von AR-Schichten ist ein Forschungsschwerpunkt des Fraunhofer IOF. Basierend auf Erfahrungen mit Wellenleiterschichten wurden aussichtsreiche Materialkombinationen und Abscheideparameter für eine absorptionsarme AR-Beschichtung für die Wellenlänge 1070 nm untersucht. Die optimierte Beschichtung aus Siliziumdioxid und Tantalpentoxid wurde mittels Plasma-Ionengestütztem Aufdampfen (PIAD) auf Suprasil abgeschieden. Abbildung 2 zeigt die erreichte Transmission einer am Fraunhofer IOF beschichteten Probe im Vergleich zu kommerziell erhältlichen Beschichtungen. Neben der hohen Transmission wurde ein sehr niedriger Absorptionswert von 2 ppm mittels LID gemessen.

1 Wellenfrontdeformation berechnet aus den Zernike-Daten des Wellenfrontsensors zu verschiedenen Zeiten. | Wave front deformation calculated from the zernike-coefficients of the wave front sensor at different times.

With ongoing progress in the output power and beam quality of solid state lasers, the demand for high quality optics is increasing. Beside the surface quality and optical damage, the response to high average power levels and its consequence in thermal lensing is critical to applications dependent on retaining good beam quality at the highest power levels. It is therefore essential to investigate strategies to minimize absorption in antireflection (AR) coatings and be able to characterize their performance experimentally. Fraunhofer IOF Jena specializes in designing and manufacturing AR coatings. Based on experience with low-absorbing waveguide layers, promising materials and deposition parameters were chosen for a low-

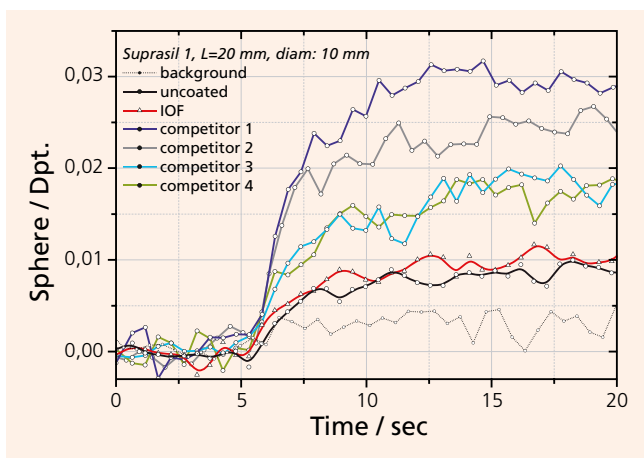


2 Transmissionsspektrum der AR-Beschichtung für 1070 nm aufgebracht auf Suprasil. | Transmission spectra of AR-coatings for 1070 nm deposited on fused silica.



Neben der Vermessung der Schichtabsorption wurde experimentell die thermisch induzierte Linse mit Hilfe eines Wellenfrontsensors vermessen. Hierzu wurden die Proben mit einem Hochleistungslaser durchstrahlt und in anderer Richtung mit einem Untersuchungslaser analysiert (1 mm mit 1 kW@1070 nm vs. 5 mm@980 nm). Die Proben aus Suprasil (10 mm Durchmesser, 20 mm Länge) wurde einseitig mit einer AR Schicht von verschiedenen Herstellern versehen. Das Ergebnis der zeitaufgelösten Wellenfrontmessung ist in der Abbildung 3 dargestellt. Zur vereinfachten Darstellung ist die sphärische Deformation aus dem Zernike Fit als Stärke der Deformation dargestellt (Abbildung 1). Die Ergebnisse sind in Übereinstimmung mit den thermischen Messungen und zeigen ein vorteilhaftes Verhalten der am Fraunhofer IOF entwickelten Schichten. Weitere Designiterationen, die Ermittlung der Zerstörschwelle sowie Messungen der thermischen Linse bei höheren Leistungen sind Gegenstand aktueller Forschungen.

loss AR coating at 1070 nm. The coating, consisting of silica and a minimized amount of tantalum, was deposited on fused silica by plasma-ion assisted deposition (PIAD) at room temperature. Figure 2 shows the transmission spectrum of the coated sample in comparison to commercially available products. A very low absorption value of 2 ppm was determined by laser induced deflection (LID). Beside the characterization of the absorption, a pump-probe experiment (1 mm pump beam of 1 kW@1070 nm vs. 5 mm@980 nm probe beam) measuring the thermal lens of a sample by a wavefront sensor was carried out. The Suprasil samples (10 mm diameter, 20 mm length) are single-side coated by different AR layers provided by different companies. The result of the temporally resolved wavefront measurement is shown in Fig. 3. For simplicity, the spherical deformation of the Zernike fit is used to represent the deformation (Fig. 1). The results are in agreement with the thermal measurements and show the advantages of the IOF coating strategy. Further investigation on layer design, pulsed damage thresholds and thermal lens measurements at higher powers are currently being performed.



3 Zeitlich aufgelöster Aufbau der thermischen Linse für verschiedene Beschichtung nach dem Einschalten des 1 kW-Lasers bei 5 s. | Temporally resolved build-up of the thermal lens for different coatings after switch-on of the 1 kW laser at 5 sec.

AUTHORS

Thomas Schreiber
Michael Appelfelder
Peter Munzert
Ulrike Schulz

CONTACT

Dr. Thomas Schreiber
Phone +49 3641 807-352
thomas.schreiber@iof.fraunhofer.de

1



DIREKTES BONDEN VON LASER-MATERIALIEN

DIRECT BONDING OF LASER MATERIALS

Die wachsende Ausgangsleistung moderner Lasersysteme führt zu immer höheren Belastungen der optischen Komponenten und steigenden thermo-optischen Verlusten im Strahlengang. Herkömmliche Kühlstrategien, bei denen Wärme mit Kühlfingern vom Rand der optischen Komponenten abgeleitet wird, sind bei hohen Leistungsdichten nicht mehr ausreichend. Das Fraunhofer IOF hat zur Ableitung der Wärme aus optischen Kristallen ein innovatives Konzept entwickelt, bei dem die Wärme über die gesamte Querschnittsfläche abgeführt wird. Der Kristall wird hierzu auf seiner Eintritts- und / oder Austrittsfläche mit einem transparenten Material sehr hoher thermischer Leitfähigkeit verbunden, welches die Wärme schnell abführt und das Entstehen einer thermischen Linse vermeidet. Neben der Materialauswahl ist die Art der Kontaktierung entscheidend. Durch ein spezielles Fügeverfahren, das sogenannte direkte Bonden, kann eine zwischenschichtfreie, steife Verbindung der beiden Materialien erreicht werden /1/. Da der Wärmeübergang bei optischen Materialien über Phononen erfolgt, trägt dies entscheidend zur Absenkung der Betriebstemperatur des optischen Kristalls bei.

In einem Faraday-Isolator für Hochleistungslaser wird das Prinzip erstmals anwendungsnah erprobt. Für die Anwendungswellenlänge von 1080 nm sind Terbium-Gallium-Granat (TGG) als Isolatormaterial und Saphir als transparenter Wärmeleiter besonders gut geeignet. Das Fügeverfahren erfordert Oberflächen niedriger Oberflächenrauheit (< 1 nm rms) und hoher

The increasing output power of modern laser systems leads to increasing load of the optical components and thermo-optical losses within the beam path. Conventional cooling strategies, where heat is dissipated over the edge with a cooling finger, are not sufficient for high power densities.

The Fraunhofer IOF developed an innovative cooling concept for optical crystals where the heat is extracted over the whole cross-sectional surface to avoid thermal lensing. To this end, the crystalline material is contacted with a heat-conducting, transparent material on the entrance and/or exit side, which quickly dissipates the heat. Apart from the materials choice, the joining technology is of critical importance. By using the plasma activated direct bonding technology, a stiff interlayer-free connection between the materials is formed /1/. This improves the heat transfer, which is performed by phonons in optical materials, and reduces the working temperature of the crystal significantly.

The concept was proved in an application for a Faraday isolator for high power lasers. Terbium gallium garnet (TGG) as the isolating material and sapphire as the transparent heat conductor are most suitable for the intended wavelength of 1080 nm. The joining technology requires surfaces with low roughness (below 1 nm root mean square) and high flatness ($\lambda/4$ peak to valley). Before joining both parts, the surfaces to be bonded are cleaned chemically and activated in a low

1 Plasmaaktiviert gebondeter Stapel aus TGG (Durchmesser = 10 mm) und Saphir (Durchmesser = 12 mm). | Plasma-activated bonded stack consisting of TGG (diameter = 10 mm) and sapphire (diameter = 12 mm).

Ebenheit ($> \lambda/4$ PV). Die zu kontaktierenden Oberflächen werden zunächst intensiv chemisch gereinigt, ehe sie in einem Niederdruckplasma aktiviert und in Kontakt gebracht werden. Der Verbund wird anschließend im Vakuum unter axialem Druck bei moderaten Temperaturen wärmebehandelt. Dabei bildet sich eine dauerhafte Verbindung zwischen den Bondpartnern aus.

Der aktuelle Aufbau des Faraday-Isolators umfasst 11 gebondete Paare, jeweils bestehend aus TGG und Saphir, und ist schematisch in Abb. 2 dargestellt. Bei ersten Versuchen mit einem grundmodigen Laser der Ausgangsleistung 260 W (CW) konnte bei einem Einzelpaar eine Verringerung der thermischen Linse um ein 20-faches gegenüber einer einzelnen TGG-Scheibe nachgewiesen werden.

Diese Arbeit wurde durch die EU im Rahmen des Projekts LIFT (NMP2-LA-2009-228587) gefördert.

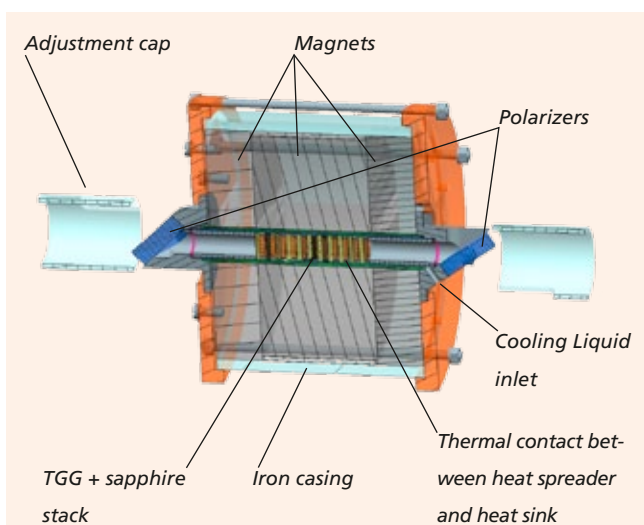
pressure plasma process. The compound is then heat treated at moderate temperatures under axial load in vacuum in order to form a durable bond.

The setup of the Faraday isolator consists of 11 bonded pairs of TGG and sapphire and is schematically displayed in Fig. 2. First tests on one bonded pair, using a fundamental mode laser with a CW output power of 260 W, showed a 20-fold reduction of thermal lensing compared to a single TGG disk.

This work is supported by the European Union within the framework of the "LIFT" project under grant agreement no. NMP2-LA-2009-228587

References / Literatur

/1/ Gösele, U.: Semiconductor wafer bonding, Annual Review of Materials Science 28 (1998), 215–241.



2 Prinzipieller Aufbau des Faraday-Isolators (Saphir = gelbe Scheiben, TGG = orange Scheiben). | Draft of the high power Faraday isolator (sapphire = yellow disks; TGG = orange disks).

AUTHORS

Carolin Rothhardt
Miroslaw Rekas
Gerhard Kalkowski

CONTACT

Carolin Rothhardt
Phone +49 3641 807-304
carolin.rothhardt@iof.fraunhofer.de



FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES

FRAUNHOFER GROUP LIGHT & SURFACES

Kompetenz durch Vernetzung

Sechs Fraunhofer-Institute kooperieren im Verbund Light & Surfaces. Aufeinander abgestimmte Kompetenzen gewährleisten eine schnelle und flexible Anpassung der Forschungsarbeiten an die Erfordernisse in den verschiedensten Anwendungsfeldern zur Lösung aktueller und zukünftiger Herausforderungen, insbesondere in den Bereichen Energie, Umwelt, Produktion, Information und Sicherheit. Koordinierte, auf die aktuellen Bedürfnisse des Marktes ausgerichtete Strategien führen zu Synergieeffekten zum Nutzen der Kunden.

Kernkompetenzen des Verbunds

- Beschichtung & Oberflächenfunktionalisierung
- Laserbasierte Fertigungsverfahren
- Laserentwicklung
- Materialien der Optik & Photonik
- Mikromontage & Systemintegration
- Mikro- & Nanotechnologien
- Kohlenstofftechnologie
- Messverfahren & Charakterisierung
- Ultrapräzisionsbearbeitung
- Werkstofftechnologien
- Plasma- & Elektronenstrahlquellen

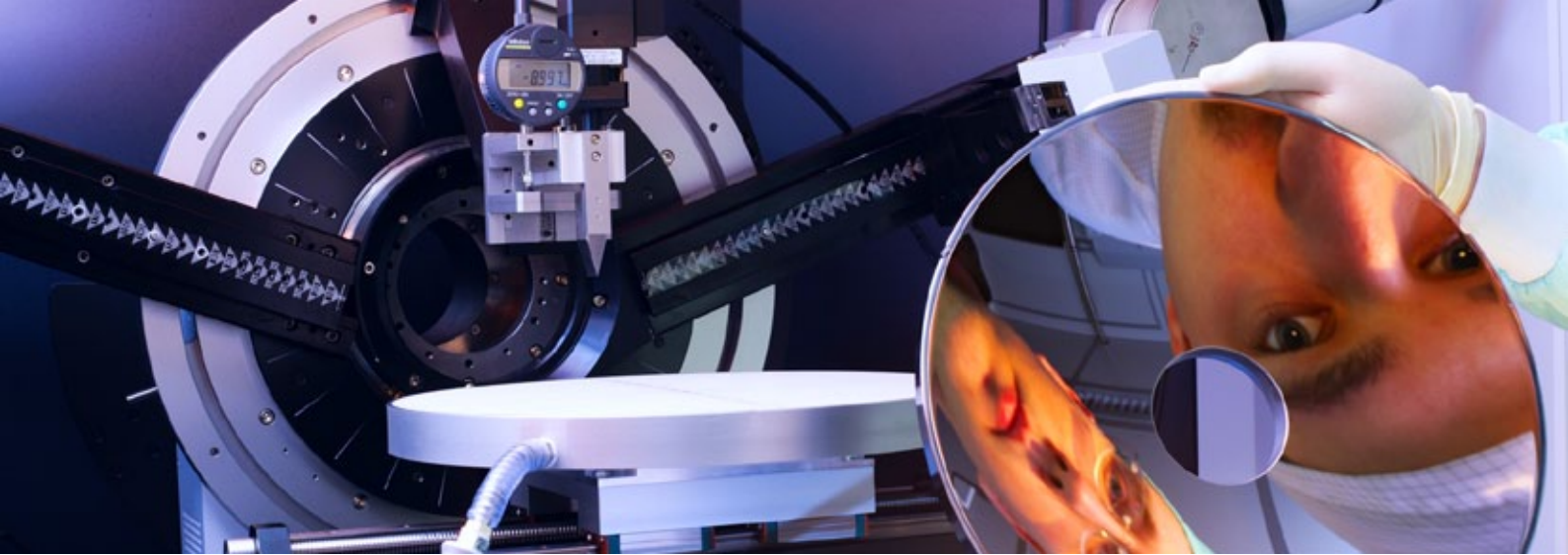
Competence by networking

Six Fraunhofer institutes cooperate in the Fraunhofer Group Light & Surfaces. Co-ordinated competences allow quick and flexible alignment of research work on the requirements of different fields of application to answer actual and future challenges, especially in the fields of energy, environment, production, information and security. This market-oriented approach ensures an even wider range of services and creates synergetic effects for the benefit of our customers.

Core competences of the group

- Surface and coating functionalization
- Laser-based manufacturing processes
- Laser development
- Materials in optics and photonics
- Microassembly and system integration
- Micro and nano technology
- Carbon technology
- Measurement methods and characterization
- Ultra precision engineering
- Material technology
- Plasma and electron beam sources

www.light-and-surfaces.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl und Plasmatechnik FEP

Die Kernkompetenzen des Fraunhofer FEP sind die Elektronenstrahltechnologie, die plasmaaktivierte Hochratebedampfung und die Hochrate-PECVD. Die Arbeitsgebiete umfassen die Vakuumbeschichtung sowie die Oberflächenbearbeitung und -behandlung mit Elektronen und Plasmen. Neben der Entwicklung von Schichtsystemen, Produkten und Technologien ist ein wichtiger Schwerpunkt die Aufskalierung der Technologien für die Beschichtung und Behandlung großer Flächen mit hoher Produktivität.

www.fep.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS steht für Innovationen in den Geschäftsfeldern Fügen, Trennen sowie Oberflächentechnik und Beschichtung. Die Besonderheit des Fraunhofer IWS liegt in der Kombination eines umfangreichen werkstofftechnischen Know-hows mit weitreichenden Erfahrungen in der Entwicklung von Technologien und Systemtechnik. Zahlreiche Lösungen im Bereich der Lasermaterialbearbeitung und Schichttechnik finden jedes Jahr Eingang in die industrielle Fertigung.

www.iws.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Electron Beam and Plasma Technology FEP

Electron beam technology, sputtering technology, plasma activated high-rate deposition and high-rate PECVD are the core areas of expertise of Fraunhofer FEP. The business units include vacuum coating, surface modification and treatment with electrons and plasmas. Besides developing layer systems, products and technologies, another main area of work is the scale-up of technologies for coating and treatment of large areas at high productivity.

www.fep.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology IWS

The Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology is known for its innovations in the business areas joining and cutting as well as in the surface and coating technology. Our special feature is the expertise of our scientists in combining the profound know-how in materials engineering with the extensive experience in developing system technologies. Every year, numerous solution systems have been developed and have found their way into industrial applications.

www.iws.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

Das Fraunhofer IOF entwickelt zur Bewältigung drängender Zukunftsfragen in den Bereichen Energie und Umwelt, Information und Sicherheit sowie Gesundheit und Medizintechnik Lösungen mit Licht. Die Kompetenzen umfassen die gesamte Prozesskette vom Optik- und Mechanik-Design über die Entwicklung von Fertigungsprozessen für optische und mechanische Komponenten sowie Verfahren zur Systemintegration bis hin zur Fertigung von Prototypen. Schwerpunkte liegen auf den Gebieten multifunktionale optische Schichtsysteme, Mikro- und Nanooptik, Festkörperlichtquellen, optische Messsysteme und opto-mechanische Präzisionssysteme.

www.iof.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

Fraunhofer IPM entwickelt und realisiert optische Sensor- und Abbildungssysteme. Bei den vorwiegend laserbasierten Systemen sind Optik, Mechanik, Elektronik und Software ideal aufeinander abgestimmt. Die Lösungen sind besonders robust ausgelegt und jeweils individuell auf die Bedingungen am Einsatzort zugeschnitten. Insbesondere in den Gebieten Messtechnik, Oberflächenanalytik, optische Materialien, 3D-Scanner, digitale Holographie, schnelle Kameras für die Inline-Messtechnik und die Terahertz-Technologie verfügt das Institut über fundiertes Know-How.

www.ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering IOF

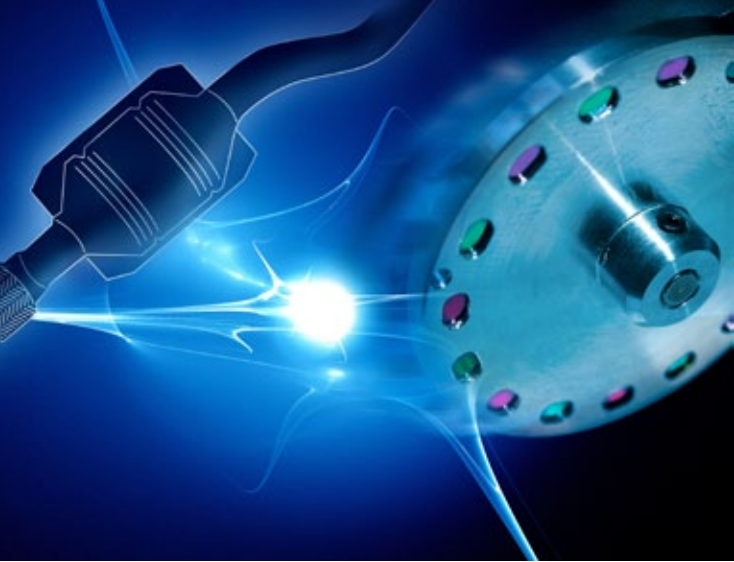
The Fraunhofer IOF develops solutions with light to cope foremost challenges for the future in the areas energy and environment, information and security, as well as health care and medical technology. The competences comprise the entire process chain starting with optics and mechanics design via the development of manufacturing processes for optical and mechanical components and processes of system integration up to the manufacturing of prototypes. Focus of research is put on multifunctional optical coatings, micro- and nano-optics, solid state light sources, optical measurement systems, and opto-mechanical precision systems.

www.iof.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques IPM

Fraunhofer IPM develops and builds optical sensor and imaging systems. These mostly laser-based systems combine optical, mechanical, electrical and software components to create reliable and complete solutions of robust design that are individually tailored to suit the conditions at the site of their application. Particular strengths are in the fields measurement systems, surface analytics, optical materials, 3D scanners, digital holography, fast cameras for inline metrology, and terahertz technology.

www.ipm.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Das Fraunhofer-Institut für die Lasertechnik ILT ist ein weltweit gefragter FuE Partner in der Vorlaufs- und Vertragsforschung auf dem Gebiet seiner Geschäftsfelder Laser und Optik, Lasermesstechnik, Medizintechnik und Biophotonik sowie Lasermaterialbearbeitung. Hierzu zählen u. a. das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Löten sowie die Oberflächenbearbeitung, die Mikrofertigung und das Rapid Manufacturing. Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Prozessüberwachung und -regelung, Modellierung sowie der gesamten Systemtechnik.

www.ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Schicht und Oberflächentechnik IST

Das Fraunhofer IST bündelt als industrienahes FuE-Dienstleistungszentrum Kompetenzen auf den Gebieten Schichtherstellung, Schichtenanwendung, Schichtcharakterisierung und Oberflächenanalyse. Wissenschaftler, Techniker und Ingenieure arbeiten daran, Oberflächen der verschiedensten Grundmaterialien neue oder verbesserte Funktionen zu verleihen, um auf diesem Wege innovative, marktgerechte Produkte zu schaffen. Das Institut ist in folgenden Geschäftsfeldern tätig: Maschinen- und Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt, Werkzeuge, Energie, Glas und Fassade, Optik, Information und Kommunikation sowie Mensch und Umwelt.

www.ist.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT

The Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT is worldwide one of the most important development and contract research institutes of its specific fields. Our technology areas cover the following topics: laser and optics, medical technology and biophotonics, laser measurement technology, and laser materials processing. This includes laser cutting, caving, drilling, welding, and soldering as well as surface treatment, micro processing and rapid manufacturing. Furthermore, the Fraunhofer ILT is engaged in laser plant technology, process control, modeling as well as in the entire system technology.

www.ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Surface Engineering and Thin Films IST

As an industry oriented R&D service center, the Fraunhofer IST is pooling competencies in the areas film deposition, coating application, film characterization, and surface analysis. Scientists, engineers, and technicians are busily working to provide various types of surfaces with new or improved functions and, as a result, help create innovative marketable products. The institute's business segments are: mechanical and automotive engineering, aerospace, tools, energy, glass and facade, optics, information and communication, life science and ecology.

www.ist.fraunhofer.de

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

THE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 66 Institute und selbstständige Forschungseinrichtungen. Rund 22 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,9 Milliarden Euro. Davon fallen 1,6 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Niederlassungen sorgen für Kontakte zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner

Research of practical utility lies at the heart of all activities pursued by the Fraunhofer-Gesellschaft. Founded in 1949, the research organization undertakes applied research that drives economic development and serves the wider benefit of society. Its services are solicited by customers and contractual partners in industry, the service sector and public administration.

At present, the Fraunhofer-Gesellschaft maintains 66 institutes and independent research units. The majority of the more than 22,000 staff are qualified scientists and engineers, who work with an annual research budget of 1.9 billion euros. Of this sum, more than 1.6 billion euros is generated through contract research. More than 70 percent of the Fraunhofer-Gesellschaft's contract research revenue is derived from contracts with industry and from publicly financed research projects. Almost 30 percent is contributed by the German federal and state governments in the form of base funding, enabling the institutes to work ahead on solutions to problems that will not become acutely relevant to industry and society until five or ten years from now.

Affiliated international research centers and representative offices provide contact with the regions of greatest importance to present and future scientific progress and economic development.

With its clearly defined mission of application-oriented research and its focus on key technologies of relevance to the future, the Fraunhofer-Gesellschaft plays a prominent role in the German and European innovation process. Applied research has a knock-on effect that extends beyond the direct benefits perceived by the customer: Through their research and development work, the Fraunhofer Institutes help to reinforce the competitive strength of the economy in their local region, and throughout Germany and Europe. They do

Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses. Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

www.fraunhofer.de

so by promoting innovation, strengthening the technological base, improving the acceptance of new technologies, and helping to train the urgently needed future generation of scientists and engineers.

As an employer, the Fraunhofer-Gesellschaft offers its staff the opportunity to develop the professional and personal skills that will allow them to take up positions of responsibility within their institute, at universities, in industry and in society. Students who choose to work on projects at the Fraunhofer Institutes have excellent prospects of starting and developing a career in industry by virtue of the practical training and experience they have acquired.

The Fraunhofer-Gesellschaft is a recognized non-profit organization that takes its name from Joseph von Fraunhofer (1787–1826), the illustrious Munich researcher, inventor and entrepreneur.



NAMEN, DATEN, EREIGNISSE

NAMES, DATA, ACTIVITIES

Besondere Gäste | Special Guests

Ministerpräsidentin Christine Lieberknecht

Freistaat Thüringen, Germany

Stellv. Ministerpräsident Christoph Matschie

Freistaat Thüringen, Germany

Henri von Nassau

Großherzog von Luxemburg

Staatssekretär Rainer Bomba

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung,
Germany

Dr. Olaf Böttcher

Bundesbeauftragter für Energie, Bundesumweltamt, Germany

Oberbürgermeister Dr. Albrecht Schröter

Stadt Jena, Germany

Yoo-Chin Nam, Mayor

Gumi City, China

Prof. Dr. Chris Dainty

University of Ireland, Ireland

LEFT *Staatsbesuch seiner königlichen Hoheit Henri von Nassau, Großherzog von Luxemburg, am IOF (v.l.n.r.: Dr. Gunther Notni, Thüringens Ministerpräsidentin Christine Lieberknecht, Thüringens Kultusminister Christoph Matschie, Jenas Oberbürgermeister Dr. Albrecht Schröter, Henri von Nassau und Prof. Dr. Andreas Tünnermann).* | *State visit of his Royal Highness Henri, Grand Duke of Luxembourg, at the IOF (from left to right Dr. Gunther Notni, Thuringian Prime Minister Christine Lieberknecht, Thuringian Minister for Education Christoph Matschie, Jena's Lord Mayor Dr. Albrecht Schröter, Henri von Nassau, Prof. Dr. Andreas Tünnermann).*

Prof. Dr. Yuri Eremin

Moscow State University, Moscow, Russia

Dr. Richard Hou

JDSU, Milpitas, USA

Prof. Dr. Allen Yi

Ohio State University, USA

Prof. Dr. Martin Richardson

CREOL, University of Central Florida, USA

Prof. Dr. Kathleen Richardson

Clemson University, USA

Prof. Dr. Tadatomo Suga

University of Tokyo, Japan

Prof. Dr. Fatkhulla Kh. Abdullaev

Institute of Theoretical Physics, UNESP, Brazil

Prof. Dr. Colin Sheppard

National University of Singapore, Singapore

Prof. Dr. Andrei V. Lavrinenko

Technical University of Denmark, Denmark

Prof. Dr. Nikolaos Efremidis, Tenured Assistant Professor

University of Crete, Greece

Prof. Dr. Martijn de Sterke

University of Sydney, Australia

Dr. Anne Sentenac, Directeur de Recherche au CNRS

Institute Fresnel (Marseille), France

Prof. Dr. Ortwin Hess

Imperial College London, United Kingdom

Prof. Dr. Costantino De Angelis

University of Brescia, Italy

Prof. Sergei Tretyakov

School of Electrical Engineering, Aalto University, Finland

Prof. Markus Raschke

University of Colorado at Boulder, USA

Prof. Aleksei Zheltikov

M.V. Lomonosov Moscow State University | Texas A&M University, Russia & USA

Prof. Matthias Schnürer

Max-Born-Institute, Germany

Internationale Kooperationen | International Co-operations

Brazil

University of Porto Alegre, Institute for Physics,
Prof. Flavio Horowitz

France

Université Jean Monnet, Saint-Etienne, Prof. Olivier Parriaux

Indonesia

Institute for Technology Bandung, Prof. Aleksander Iskander

Israel

Technion, Haifa, Prof. Abraham Marmor

Italy

University "La Sapienza", Rom, Prof. Francesco Michelotti

Japan

Tohoku University, Sendai, Prof. Toshikuno Kaino

Mexico

Instituto Politecnico Nacional/Centro de Investigacion e Innovacion Tecnologica, Dr. Jose Alfredo Alvarez-Chavez

Switzerland

École Polytechnique Fédérale de Lausanne,
Prof. Dario Floreano
IMT University Neuchâtel, Prof. Hans-Peter Herzig

USA

CREOL, Orlando (Florida), Prof. James Harvey
Ohio State University, Prof. Allen Yi
Clemson University/School of Materials Science and Engineering, Prof. Dr. Kathleen Richardson

Messebeteiligungen 2012 | Fairs Participations 2012

Photonics West

21.-26.1.2012, San Francisco, USA

Hannover Messe

23.-27.4.2012, Hannover, Germany

Control

08.-10.5.2012, Stuttgart, Germany

OPTATEC

22.-25.5.2012, Frankfurt/Main, Germany

GPEC

11.-13.9.2012, Leipzig, Germany

ILA-Berlin Air Show

11.-16.9.2012, Berlin, Germany

VISION

6.-8.11.2012, Stuttgart, Germany

Aus- und Weiterbildung | Education and further training

Die umfangreichen Aktivitäten des Fraunhofer IOF auf dem Gebiet der Aus- und Weiterbildung erstrecken sich von der Ausbildung von Physiklaboranten und Industriemechanikern über die Betreuung von Praktikanten, von Bachelor-, Master- und Diplomarbeiten sowie von Doktoranden, das Halten von Vorlesungen, die Durchführung von Seminaren und Praktika an den Jenaer Hochschulen bis zur Organisation von Workshops und internationalen Konferenzen.

Comprehensive activities of Fraunhofer IOF in the field of education and further training range from professional training of laboratory technicians and industrial mechanics over the supervision of interns, graduates and postgraduates, giving lectures and seminars at the Jena universities up to the organization of workshops and international scientific conferences.

Vorlesungen I Lectures

Dr.-Ing. Erik Beckert

Optikmontage

Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena

Prof. Dr. Norbert Kaiser

Beschichtungstechnik

Nanooptik

Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena

Prof. Dr. Andreas Tünnermann, Dr. Olaf Stenzel

Thin Film Optics

Friedrich-Schiller-Universität Jena

Prof. Dr. Andreas Tünnermann, Prof. Dr. Stefan Nolte

Atom- und Molekülphysik

Friedrich-Schiller-Universität Jena

Prof. Dr. Andreas Tünnermann, Dr. Frank Schrepel

Optische Spektroskopie

Friedrich-Schiller-Universität Jena

Prof. Dr. Andreas Tünnermann, Prof. Dr. Falk Lederer

Angewandte Photonik

Seminar für Doktoranden der FSU Jena

Dr. habil. Uwe Detlef Zeitner

Micro- and Nano-Technology

Introduction to Optical Modelling

Friedrich-Schiller-Universität Jena

Conferences – Workshops – Events

OTTI-Fachforum »Optische Technologien vom Design zum Produkt«

15.-16.2.2012, Regensburg

Optence-Veranstaltung »Grundlagen der Optikbeschichtung«

7.-8.5.2012, Frankfurt/Main

8. ThGOT Thementage Grenz- und Oberflächentechnik und 3. Optik-Kolloquium »Dünne Schichten in der Optik«

4.-6.9.2012, Leipzig

Summer School on Short-Wavelength & Spectroscopy Sources

10.-11.9.2012, Bern (CH)

OptoNet-Workshop "Ultra Precision Manufacturing of Aspheres and Freeforms"

26.-27.9.2012, Jena

Frontiers of Optical Coatings "The International Conference in Optical Thin Film and Coating Technology"

15.-18.10.2012, Hangzhou, China

Innovative Technologien für die industrielle Qualitätssicherung mit Bildverarbeitung

17.-18.10.2012, Fraunhofer IOF Jena

EFDS-Seminar »Struktur und Eigenschaften dielektrischer Schichten für die Optik«

7.11. 2012, Fraunhofer IOF, Jena

International Symposium on Microoptical Imaging and Projection

27.-29.11. 2012, Jena

Optische 3-D-Messtechnik für die Qualitätssicherung in der Produktion

27.-29.11. 2012, Fraunhofer IOF Jena

Bachelorarbeiten I Bachelor Theses

Anne Acker

Evaluierung gedruckter Benetzungsschichten für das Löten optischer Komponenten mittels Solderjet Bumping

Fachhochschule Schmalkalden, 03/12

Markus Gossel

Aufbau und Charakterisierung einer gasgeführten, mechanischen Vakuumdurchführung mit berührungslosem Dichtsystem

Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 10/12

Fabian Heisler

Mikrostrukturierung mit UltrakurzpulsLasern

Friedrich-Schiller-Universität Jena, 05/12

Tobias Hermeyer

Modellierung und Charakterisierung von Parallaxe und Vignettierung an Multiapertursystemen

Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 10/12

Sandra Huber

Herstellung und Evaluierung siebgedruckter deformierbarer Spiegel

Hochschule Aalen, 05/12

NAMEN, DATEN, EREIGNISSE | NAMES, DATA, ACTIVITIES

Eric Müller
Charakterisierung eines Multiapertur-Projektionssystems für die 3D-Vermessung mittels aktiver Streifenlichtprojektion
Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 09/12

Anne Platzdasch
Justierfräsen - Konzeption von Lösungsvarianten für das Justierfräsen von Prismenbaugruppen
Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 08/12

Mathias Rabsahl
Entwicklung und Vergleich von Verfahren zur automatisierten Montagekontrolle komplexer tomografisch vermessener Systeme
Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 09/12

Jens Schnelle
Untersuchungen zum laserbasierten Entfernen von Schutzschichten auf Glasfasern
Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 10/12

Willi Viehweg
Herstellung und Charakterisierung von adiabatischen Tapern zur Modenfilterung
Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 10/12

Robert Weiß
Aufbau und Charakterisierung eines Messsystems zur Bestimmung der Abstrahlcharakteristik von THz-Quellen
Technische Universität Ilmenau, 03/12

Diplomarbeiten | Diploma Theses

Franz Beier
Aufbau und Charakterisierung eines Erbium-Faserverstärkers zur Verstärkung von NIR-Nanosekunden-Pulsen für LIDAR-Anwendungen
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 04/12

Matthias Beier
Entwicklung eines Mess- und Justierprozesses zum Justierdrehen asphärischer Linsen
Technische Universität Dresden, 05/12

Mario Chemnitz
Optisch-Parametrische Pikosekunden Faserlaserquelle für die Kohärente Anti-Stokes-Raman-Spektroskopie
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 02/12

Erik Forwerk
Untersuchung des Einflusses der Oberflächenstruktur auf das Benetzungsverhalten technischer Oberflächen
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 02/12

Martin Heusinger
Untersuchung elektronenstrahlolithographisch hergestellter effektiver Medien unter Berücksichtigung der Physik der Nanolithographie
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 02/12

Philipp Schleicher
Zerlegungsstrategien zur Erzeugung von Belichtungsdaten für Computergenerierte Hologramme bei Variable Shaped Beam Lithography
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 08/12

Christian Vetter
Femtosecond-Laser Induced Nanogratings in Fused Silica
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 03/12

Masterarbeiten | Master Theses

Kemal Ahmed
Investigation of Thermal influences on Electro-Optical Characteristics of Broad Area Semiconductor Lasers
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 04/12

René Berlich
Ultra-compact microscope for fluorescence imaging
Friedrich-Schiller-Universität Jena/ Abbe-School of Photonics, 03/12

Matthias Böhme
Experimenteller Aufbau zur Messung des gerichteten absoluten Transmissions- und Reflexionsvermögens im NIR/VIS/UV-Spektralbereich bei einem Einfallswinkel von 60°
Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 10/12

Alexander Brown
Imaging Cross-Correlator FROG
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 06/12

Erik Feier
Aufbau und Charakterisierung eines monolithischen, Yb-dotierten Faserlasers mit einer Ausgangsleistung von 500 W
Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 11/12

Christian Franke

Untersuchung der Reproduzierbarkeit der optischen Eigenschaften von SiO₂ und Nb₂O₅-Einzelschichten

Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 05/12

Stephanie Fischer

Abbildung auf geneigte Bildebenen mit einem Array-Projektor

Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 07/12

Ute Gawronski

Konzeptionierung eines Streifenprojektionssensors unter Verwendung eines bidirektionalen OLED-Mikrodisplays

Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 07/12

Matthias Goy

Herstellung und Charakterisierung eines unimorph deformierbaren Spiegels für Tieftemperaturen

Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 06/12

Ellen Kämpfer

Projekt-Controlling des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF Jena – Verspätete Projektfertigstellungen, ihre Ursachen und Lösungsmöglichkeiten

Westfälische Wilhelms-Universität Münster, 04/12

Felix Kraze

Entwicklung und Erprobung von Sondertechnologien für die Montage von künstlichen Facettenaugen

Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 06/12

Christin Langguth

Modellierung und Realisierung einer plenoptischen Kamera

Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 09/12

Roman Loose

Untersuchungen zur Eignung des magnetorheologischen Korrekturpolierverfahrens an Substraten aus Silizium, Nickel-Phosphor und Stahl

Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 02/12

Martin Müller

Entwicklung, Realisierung und Einsatzverifikation eines 128-kanaligen Lock-In Verstärkers für die bildgebende Terahertzspektroskopie

Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 02/12

Sabrina Jasmin Wolleb

Charakterisierung des Spannungsverhaltens von organisch/anorganischen Nanolaminaten und Hybridschichten

Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, 05/12

Dissertationen | Dissertations

Dr. rer. nat. Tino Eidam

Ultrashort-Pulse Fiber Amplifiers for High Peak and Average Powers

Friedrich-Schiller-Universität Jena, 06/12

Dr.-Ing. Claudia Reinlein

Thermo-mechanical design, realization and testing of screen-printed deformable mirrors

Technische Universität Ilmenau, 02/12

Schutzrechte | Intellectual Property

Patentanmeldungen 2012 | Patent Applications 2012

Bräuer-Burchardt, C.; Notni, G.; Kühmstedt, P.

Verfahren und Vorrichtung zum berührungslosen Erfassen einer dreidimensionalen Kontur

DE 10 2012 013 079.1

Bräuer-Burchardt, C.; Gebhardt, A.; Kühmstedt, P.; Zwick, S.; Beier, M.

Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Position und Justage eines asphärischen Körpers

DE 10 2012 023 377.9

Breitbarth, A. (IAP); Kühmstedt, P.; Notni, G.

Verfahren und System zum berührungslosen Erfassen einer dreidimensionalen Oberfläche eines Objektes

DE 10 2012 022 952.6

Brückner, A.; Berlich, R.; Bräuer, A.

Optikanordnung und Verfahren zur optischen Abtastung einer Objektebene mit einem Mehrkanalabbildungssystem

DE 10 2012 200 903.5

Fuchs, F.; Zeitner, U.D.; Kley, E.-B.

Beugungsgitter und Verfahren zu dessen Herstellung

DE 10 2012 101 555.4

- Füchsel, K.; Pulsack, J.; Schröder, S.
Schichtsystem für eine transparente Elektrode und Verfahren zu dessen Herstellung
DE 10 2012 105 457.6
- Kalkowski, G.; Peschel, T.; Risse, S.
Elektrostatisches Halteelement
DE 10 2012 002 646.3
- Kamm, A.; Damm, C.; Litzemberger, M. (JenaValve)
Catheter delivery system for introducing an expandable heart valve prosthesis and medical device for the treatment of an heart valve defect
EP 12 168 367.6
- Kamm, A.; Damm, C.; Litzemberger, M. (JenaValve)
Catheter delivery system for introducing an expandable heart valve prosthesis and medical device for the treatment of an heart valve defect
US 61/647,741
- Limpert, J.; Tünnermann, A.; Jáuregui, C. (IAP); Eidam, T. (IAP); Jansen, F. (IAP); Stutzki, F. (IAP); Otto, H.-J. (IAP)
Mitigation of Mode Instabilities in High-average power waveguide laser systems
EP 12 002 588.7
- Limpert, J.; Tünnermann, A.; Eidam, T. (IAP); Hädrich, S. (IAP); Seise, E. (IAP); Rothhardt, J. (GSI); Klenke, A. (GSI)
Methode zur Pulserhöhung von Burst-Pulsen
DE 10 2012 001 511.9
- Limpert, J.; Tünnermann, A.; Eidam, T. (IAP); Hädrich, S. (IAP); Seise, E. (IAP); Rothhardt, J. (GSI); Klenke, A. (GSI)
Vorrichtung zur Erzeugung von Lichtimpulsen
DE 10 2012 002 958.6
- Munkelt, C.; Schmidt, I.; Kühmstedt, P.; Notni, G.
Verfahren zum Zusammensetzen von Teilaufnahmen einer Oberfläche eines Objektes zu einer Gesamtaufnahme des Objektes und System zum Erstellen einer Gesamtaufnahme eines Objektes
DE 10 2012 023 623.9
- Notni, G.; Kühmstedt, P.; Schreiber, P.; Sieler, M.; Breitbarth, A. (IAP)
Projektionssystem mit statischen Mustererzeugungselementen und mehreren optischen Kanälen zur optischen 3D-Vermessung
DE 10 2012 206 472.9
- Schreiber, P.; Sieler, M.; Kraus, M.
Projektionsdisplay und Verfahren zum Projizieren eines Gesamtbildes
DE 10 2012 205 164.3
- Schröder, S.; Trost, M. (IAP); Herffurth, T. (IAP)
Verfahren zur hochempfindlichen Streulichtmessung
DE 10 2012 106 322.2
- Schulz, U.; Munzert, P.; Fahland, M. (FEP); Schönberger, W. (FEP)
Kunststoffsubstrat mit einer porösen Schicht und Verfahren zur Herstellung der porösen Schicht
DE 10 2012 100 288.6
- Schulz, U.; Munzert, P.; Kiesow, A. (IWM-H); Günther, S. (IWM-H)
Verfahren zur Herstellung eines Kunststoffsubstrats mit einer Lackschicht und Kunststoffsubstrat mit einer Lackschicht
DE 10 2012 100 294.0
- Sieler, M.; Schreiber, P.
Projektionsdisplay mit Mehrkanaloptik mit nicht kreisförmiger Gesamtapertur
DE 10 2012 207 621.2
- Steglich, M. (IAP); Zilk, M. (IAP); Füchsel, K.; Tünnermann, A.; Kley, E.-B.
Strahlungsdetektierendes Halbleiterbauelement
DE 10 2012 109 243.5
- Trost, M. (IAP); Schröder, S.; Hauptvogel, M.; Notni, G.; Duparré, A.; Feigl, T.
Vorrichtung und Verfahren zur winkelaufgelösten Streulichtmessung
DE 10 2012 005 417.3
- Tünnermann, A.; Limpert, J.; Eidam, T. (IAP); Breitkopf, S. (IAP); Pupeza, J. (MPQ); Klenke, A. (GSI Darmstadt)
Methode zur Lichtauskopplung aus optischen Resonatoren mit Hilfe von schnellen, mechanischen Schaltern
DE 10 2012 019 733.0
- Wippermann, F.; Oberdörster, A.; Brückner, A.; Neubauer, H. (IIS); Schweiger, T. (IIS)
Abbildungsvorrichtung und Verfahren für eine Abbildungsvorrichtung
DE 10 2012 218 834.7

Wippermann, F.; Oberdörster, A.; Brückner, A.; Neubauer, H. (IIS); Schweiger, T. (IIS)
Abbildungsvorrichtung und Verfahren für eine Abbildungsvorrichtung
DE 10 2012 218 835.5

Yulin, S.; Nesterenko, V.; Kaiser, N.
Multilayer- Spiegel für den EUV-Spektralbereich
DE 10 2012 105 369.3

Zeitner, U.D.; Fuchs, F.
Reflexionsbeugungsgitter und Verfahren zu dessen Herstellung
DE 10 2012 103 443.5

Zeitner, U.D.; Harzendorf, T.; Stürzebecher, L.; Vogler, U. (Suss MicroOptics); Völkel, R. (Suss MicroOptics)
Verfahren und Vorrichtung zur Abstandsmessung mit einer diffraktiven Struktur
DE 10 2012 103 008.1

Zeitner, U.D.; Harzendorf, T.; Stürzebecher, L.; Vogler, U. (Suss MicroOptics); Völkel, R. (Suss MicroOptics)
Verfahren und Sensoreinheit zur Abstandsmessung in einer lithografischen Vorrichtung und lithographische Vorrichtung
DE 10 2012 103 007.3

Patenterteilungen 2012 | Patent Assignations 2012

Brahm, A.; Notni, G.; Riehemann, S.; Schmidt, D. (IFAM); Wöstmann, F. J. (IFAM)
System zur Analyse von Werkstücken
DE 10 2010 018 626 B4

Brückner, A.; Buss, W.; Egloff, T.; Schreiber, P.
Optischer Sensor und Verfahren zur optischen Abstands- und/oder Farbmessung
DE 10 2005 043 627 B4

Duparré, J.; Schreiber, P.; Dannberg, P.; Bräuer, A.; Bitzer, M. (Fresnel Optics)
Camera module and array based thereon
US 8,106,979 B2

Duparré, J.; Schreiber, P.; Bräuer, A.
Bilderfassungssystem zur Rundumsicht
DE 10 2006 019 124 B4

Feigl, T.; Yulin, S.; Kaiser, N.; Benoit, N.
Thermisch stabiler Multilayer-Spiegel für den EUV- Spektralbereich
EP 1 828 818 B1

Feigl, T.; Yulin, S.; Kaiser, N.; Benoit, N.
Thermally stable multilayer mirror for the EUV spectral region
KR 10 - 1176682 B1

Feigl, T.; Yulin, S.; Kaiser, N.; Benoit, N.
Thermally stable multilayer mirror for the EUV spectral region
JP 4 904 287 B2

Feigl, T.; Yulin, S.; Kaiser, N.; Benoit, N.
Thermally stable multilayer mirror for the EUV spectral region
JP 5 054 707 B2

Füchsel, K.; Hoyer, P.; Nolte, S.; Matthäus, G. (IAP)
Vorrichtung zur Charakterisierung von Materialparametern an Halbleitergrenzflächen mittels THz-Strahlung
DE 10 2010 056 098 B3

Füchsel, K.; Tünnermann, A.; Kley, E.-B.
Photosensitive semiconductor component
US 8,217,483 B2

Notni, G.; Kühmstedt, P.; Palme, M.; Riehemann, S.; Bräuer-Burchardt, C.
Device and method for the contactless detection of a three-dimensional contour
US 8,243,286 B2

Kalkowski, G.; Stenzel, O.; Stöckl, W.
Electrostatic chuck with anti-reflective coating, measuring method and use of said chuck
US 8,081,317 B2

Kalkowski, G.; Risse, S.; Peschel, T.; Damm, C.
Flexibly deformable holding element for substrates
US 8,274,640 B2

Limpert, J.; Tünnermann, A.; Schimpf, D. (IAP); Röser, F. (IAP); Seise, E. (IAP)
Vorrichtung und Verfahren zum Verstärken von Lichtimpulsen
DE 10 2008 063 368 B4

Limpert, J.; Tünnermann, A.

pulse light source

US 8,238,386 B2

Notni, G.; Kühmstedt, P.; Palme, M.; Riehemann, S.; Bräuer-Burchardt, C.

Device and method for the contactless detection of a three-dimensional contour

CN 101 558 283 B

Schenk, C.; Risse, S.; Harnisch, G.; Peschel, T.; Bauer, R.

Aerostatisch geführtes Tischsystem für die Vakuumanwendung

DE 10 2008 058 306 B4

Schulz, U.; Munzert, P.; Kaiser, N.

Reflection-reducing interference layer system and method for producing it

US 8,192,639 B2

Schulz, U.; Munzert, P.; Scheler, M.; Kaiser, N.

Method for producing a nanostructure on a plastic surface

CN 101 588 912 B

Schulz, U.; Munzert, P.; Kaiser, N.

Reflexionsminderndes Interferenzschichtsystem und Verfahren zu dessen Herstellung

EP 2 274 641 B1

Stenzel, O.; Wilbrandt, S.; Kaiser, N.

Verfahren zur Messung der optischen Eigenschaften einer bewegten Probe in einer Beschichtungsanlage

DE 10 2009 012 756 B4

Zeitner, U.D.; Schets, S. (eZono); Sobrino, E.V. (eZono)

Ultrasonic probe and method for the optical detection of ultrasonic waves

US 8,240,211 B2

Gebrauchsmuster 2012 | Utility Model 2012

Solarzelle und Solarmodul mit mehreren Solarzellen

DE 20 2012 102 494 U1

Mobiles Datenverarbeitungs- und/ oder Kommunikationsgerät mit mindestens einer Solarzelle

DE 20 2012 103 077 U1

Vorrichtung zur nichtlinearen Steuerung eines Plasmaprozesses

DE 20 2012 102 880 U1

Polarisierendes Element

DE 20 2010 017 572 U1

Wissenschaftliche Publikationen | Scientific Publications

Bücher | Books

Bräuer-Burchardt, Christian; Möller, Max; Munkelt, Christoph; Heinze, Matthias; Kühmstedt Peter; Notni, Gunther
Determining Exact Point Correspondences in 3D Measurement Systems Using Fringe Projection – Concepts, Algorithms and Accuracy Determination

Md. Zahurul Haq (Ed.), Applied Measurement Systems, InTech, Rijeka, Croatia 2012, p. 211-228, ISBN 978-953-51-0103-1

Breitenborn, Holger

Die sehende Nadelspitze

Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.), TECHNOlogisch! Technologien erfolgreich in den Markt bringen, LOG_X Verlag, Ludwigsburg 2012, S. 149-154, ISBN 978-3-932298-44-8

Breitenborn, Holger; Mauroner, Oliver

Miniaturisierte Endoskopkamera

Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.), Fokus Technologiemarkt. Technologiepotenziale identifizieren – Marktchancen realisieren, Carl Hanser Verlag, München 2012, S. 327-347, ISBN 978-3-446-43323-6

März, Reinhard; Wächter, Christoph

Integrated Optics

Träger, Frank (Ed.), Handbook of Lasers and Optics, Springer-Verlag, Dordrecht 2012, p. 1209-1253, ISBN 978-3-642194085

Riehemann, Stefan; Mauroner, Oliver; Weber, Brigitte; Tünnermann, Andreas

In der Jenaer Optik-Landschaft etabliert – 20 Jahre Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik

Jenaer Jahrbuch zur Technik- und Industriegeschichte Band 15, Verlag Vopelius, Jena 2012, S. 349-372, ISBN 978-3-939718-69-7

Schreiber, Thomas; Eberhardt, Ramona; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

High-Power Fiber Lasers and Amplifiers: Fundamentals and Enabling Technologies to Enter the Upper Limits

Okhotnikov, Oleg G. (Ed.), Fiber Lasers, Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2012, p. 7-61, ISBN 978-3527411146

Zeitschriften | Journals

Bartl, Dominik; Michalowski, Andreas; Hafner, Margit; Letsch, Andreas; Nolte, Stefan; Tünnermann, Andreas

Time-resolved study of back side ablated molybdenum thin films by ultrashort laser pulses

Applied Physics A: Materials Science & Processing (2012)
DOI: 10.1007/s00339-012-7118-9,
ISSN 0947-8396

Baumgartl, Martin; Chemnitz, Mario; Jauregui, Cesar; Meyer, Tobias; Dietzek, Benjamin; Popp, Jürgen; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

All-fiber laser source for CARS microscopy based on fiber optical parametric frequency conversion

Optics Express 20 (2012) 4 p. 4484-4493,
ISSN 1094-4087

Baumgartl, Martin; Gottschall, Thomas; Abreu-Afonso, Javier; Díez, Antonio; Meyer, Tobias; Dietzek, Benjamin; Rothhardt, Manfred; Popp, Jürgen; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

Alignment-free, all-spliced fiber laser source for CARS microscopy based on four-wave-mixing

Optics Express 20 (2012) 19 p. 21010-21018,
ISSN 1094-4087

Baumgartl, Martin; Lecaplain, Caroline; Hideur, Ammar; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

66 W average power from a microjoule-class sub-100 fs fiber oscillator

Optics Letters 37 (2012) 10 p. 1640-1642, ISSN 0146-9592

Baumgartl, Martin; Ortaç, B.; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

Impact of dispersion on pulse dynamics in chirped-pulse fiber lasers

Applied Physics B: Lasers and Optics 107 (2012) 2 p. 263-274,
ISSN 0946-2171

Beier, Matthias; Gebhardt, Andreas; Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas

Lens centering of aspheres for high-quality optics

Advanced Optical Technologies 1 (2012) 6 p. 441-446,
ISSN 2192-8576

Braig, Christoph; Fritzsche, Ludwig; Käsebier, Thomas; Kley, Ernst-Bernhard; Laubis, Christian; Liu, Ying; Scholze, Frank; Tünnermann, Andreas

An EUV beamsplitter based on conical grazing incidence diffraction

Optics Express 20 (2012) 2 p. 1825-1838, ISSN 1094-4087

Breitkopf, Sven; Klenke, Arno; Gottschall, Thomas; Otto, Hans-Jürgen; Jauregui, Cesar; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

58 mJ burst comprising ultra-short pulses with homogeneous energy level from an Yb-doped fiber amplifier

Optics Letters 37 (2012) 24 p. 5169-5171, ISSN 0146-9592

Burmeister, Frank; Steenhusen, Sönke; Houbertz, Ruth; Zeitner, Uwe Detlef; Nolte, Stefan; Tünnermann, Andreas

Materials and technologies for fabrication of three-dimensional microstructures with sub-100 nm feature sizes by two-photon polymerization

Journal of Laser Applications 24 (2012) 4 042014, ISSN 1042-346X

Burmeister, Frank; Zeitner, Uwe Detlef; Nolte, Stefan; Tünnermann, Andreas

High numerical aperture hybrid optics for two-photon polymerization

Optics Express 20 (2012) 7 p. 7994-8005, ISSN 1094-4087

Chemnitz, Mario; Baumgartl, Martin; Meyer, Tobias; Jauregui, Cesar; Dietzek, Benjamin; Popp, Jürgen; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

Widely tuneable fiber optical parametric amplifier for coherent anti-Stokes Raman scattering microscopy

Optics Express 20 (2012) 24 p. 26583-26595, ISSN 1094-4087

Danz, Norbert; Flämmich, Michael; Setz, Daniel S.; Krummacher, Benjamin C.; Michaelis, Dirk; Dobbertin, Thomas

Detection of sub-10 nm emission profile features in organic light-emitting diodes using destructive interference

Optics Letters 37 (2012) 19 p. 4134-4136, ISSN 0146-9592

Danz, Norbert; Sinibaldi, Alberto; Michelotti, Francesco; Descrovi, Emiliano; Munzert, Peter; Schulz, Ulrike; Sonntag, Frank

Improving the sensitivity of optical biosensors by means of Bloch surface waves

Biomedizinische Technik 57 (2012) p. 584-587, ISSN 0013-5585

Danz, Norbert; Wächter, Christoph; Michaelis, Dirk; Dannberg, Peter; Flämmich, Michael

Micro optical pattern shaping for tailored light emission from organic LEDs

Optics Express 20 (2012) 12 p. 12682-12691, ISSN 1094-4087

Demmler, Stefan; Rothhardt, Jan; Hädrich, Steffen; Bromage, Jake; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

Control of nonlinear spectral phase induced by ultra-broadband optical parametric amplification

Optics Letters 37 (2012) 19 p. 3933-3935, ISSN 0146-9592

Dick, Lars; Risse, Stefan; Tünnerman, Andreas

Injection molded high precision freeform optics for high volume applications

Advanced Optical Technologies 1 (2012) 1 p. 39–50, ISSN 2192-8576

Dietrich, Kay; Lehr, Dennis; Helgert, Christian; Tünnermann, Andreas; Kley, Ernst-Bernhard

Circular dichroism from chiral nanomaterial fabricated by on-edge lithography

Advanced Materials 24 (2012) 44 p. OP321–OP325, ISSN 1521-4095

Döring, Sven; Szilagyi, John; Richter, Sören; Zimmermann, Felix; Richardson, Martin; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan

Evolution of hole shape and size during short and ultrashort pulse laser deep drilling

Optics Express 20 (2012) 24 p. 27147-27154, ISSN 1094-4087

Dreisow, Felix; Keil, Robert; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Longhi, Stefano; Szameit, Alexander

Klein tunneling of light in waveguide superlattices

Europhysics Letters 97 (2012) 1 10008, ISSN 0295-5075

Dreisow, Felix; Longhi, Stefano; Nolte, Stefan; Tünnermann, Andreas; Szameit, Alexander

Vacuum instability and pair production in an optical setting

Physical Review Letters 109 (2012) 11 110401, ISSN 0031-9007

Dunkel, Jens; Wippermann, Frank; Brückner, Andreas; Bräuer, Andreas; Tünnermann, Andreas

Laser lithographic approach to micro-optical freeform elements with extremely large sag heights

Optics Express 20 (2012) 4 p. 4763-4775, ISSN 1094-4087

Duparré, Angela; Coriand, Luisa

Abrollen, abperlen, spreiten

Optik & Photonik 7 (2012) 1 S. 37-41, ISSN 1863-1460

Filatova, Elena O.; Kozhevnikov, Igor V.; Sokolov, Andrey A.; Ubyivovk, Evgeniy V.; Yulin, Sergiy; Gorgoi, Mihaela; Schäfers, Franz

Soft x-ray reflectometry, hard x-ray photoelectron spectroscopy and transmission electron microscopy investigations of the internal structure of TiO₂/(Ti)/SiO₂/Si stacks

Science and technology of advanced materials 13 (2012) 1 015001, ISSN 1468-6996

Frank, Dieter W.; Kaiser, Norbert

Green Photonics auf der OPTATEC 2012

Vakuum in Forschung und Praxis 24 (2012) 3 S. 3, ISSN 0947-076X

Gopal, Amrutha; May, Torsten; Herzer, Sven; Reinhard, A.; Minardi, Stefano; Schubert, Manfred; Dillner, Ulrich; Pradarutti, Boris; Polz, Jens; Gaumnitz, T.; Kaluza, Malte; Jäckel, Oliver; Riehemann, Stefan; Ziegler, Wolfgang; Gemuend, Hans-Peter; Meyer, Hans-Georg; Paulus, Gerhard G.

Observation of energetic terahertz pulses from relativistic solid density plasmas

New Journal of Physics 14 (2012) 8 083012, ISSN 1367-2630

Gottschall, Thomas; Baumgartl, Martin; Sagnier, Aude; Rothhardt, Jan; Jauregui, Cesar; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

Fiber-based source for multiplex-CARS microscopy based on degenerate four-wave mixing

Optics Express 20 (2012) 11 p. 12004-12013, ISSN 1094-4087

Gräfe, Markus; Solntsev, Alexander S.; Keil, Robert; Sukhorukov, Andrey A.; Heinrich, Matthias; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Szameit, Alexander; Kivshar, Yuri S.

Biphoton generation in quadratic waveguide arrays: A classical optical simulation

Scientific Reports 2 (2012) Article number 562, ISSN 2045-2322

Grange, Rachel; Brönstrup, Gerald; Kiometzis, Michael; Sergeev, Anton; Richter, Jessica; Leiterer, Christian; Fritzsche, Wolfgang; Gutsche, Christoph; Lysov, Andrey; Prost, Werner; Tegude, Franz-Josef; Pertsch, Thomas; Tünnermann, Andreas; Christiansen, Silke

Far-field imaging for direct visualization of light interferences in GaAs nanowires

Nano Letters 12 (2012) 10 p. 5412–5417, ISSN 1530-6984

Großmann, Constanze; Gawronski, Ute; Breitbarth, Martin; Notni, Gunther; Tünnermann, Andreas

Simulation and system design of a 3-D metrology optical system based on a bi-directional OLED microdisplay

Advances in Materials Science and Engineering (2012) 417376, ISSN 1687-8434

- Haarlammer, Nicoletta; de Vries, Oliver; Liem, Andreas; Kliner, Andrea; Peschel, Thomas; Schreiber, Thomas; Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas
Build up and decay of mode instability in a high power fiber amplifier
 Optics Express 20 (2012) 12 p. 13274-13283, ISSN 1094-4087
- Hädrich, Steffen; Rothhardt, Jan; Krebs, Manuel; Demmler, Stefan; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
Improving carrier-envelope phase stability in optical parametric chirped-pulse amplifiers by control of timing jitter
 Optics Letters 37 (2012) 23 p. 4910-4912, ISSN 0146-9592
- Harvey, James; Schröder, Sven; Choi, Narak; Duparré, Angela
Total integrated scatter from surfaces with arbitrary roughness, correlation widths and incident angles
 Optical Engineering 51 (2012) 1 013402, ISSN 0091-3286
- Heidler, Nils; Schenk, Christoph; Harnisch, Gerd; Risse, Stefan; Schubert, Gerhard; Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas
Contact-free exhaust system for vacuum compatible gas bearing guides
 Precision Engineering 36 (2012) 1 p. 37-43, ISSN 0141-6359
- Heinrich, Matthias; Eilenberger, Falk; Keil, Robert; Dreisow, Felix; Suran, Eric; Louradour, Frédéric; Tünnermann, Andreas; Pertsch, Thomas; Nolte, Stefan; Szameit, Alexander
Optical limiting and spectral stabilization in segmented photonic lattices
 Optics Express 20 (2012) 24 p. 27299-27310, ISSN 1094-4087
- Heinrich, Matthias; Keil, Robert; Lahini, Yoav; Naether, Uta; Dreisow, Felix; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Szameit, Alexander
Disorder-enhanced nonlinear delocalization in segmented waveguide arrays
 New Journal of Physics 14 (2012) 073026, ISSN 1367-2630
- Held, Mario; Stenzel, Olaf; Wilbrandt, Steffen; Kaiser, Norbert; Tünnermann, Andreas
Manufacture and characterization of optical coatings with incorporated copper island films
 Applied Optics 51 (2012) 19 p. 4436-4447, ISSN 0003-6935
- Held, Mario; Wilbrandt, Steffen; Stenzel, Olaf; Kaiser, Norbert; Tünnermann, Andreas
Practical optimization of a coating deposition process by application of hybrid monitoring strategies in an industrial production environment
 Advanced Optical Technologies (2012)
 DOI: 10.1515/aot-2012-0062, ISSN 2192-8576
- Janicki, Vesna; Sancho-Parramon, Jordi; Yulin, Sergiy; Flemming, Marcel; Chuvilin, Andrey
Optical and structural properties of Nb₂O₅-SiO₂ mixtures in thin films
 Surface & coatings technology 206 (2012) 17 p. 3650-3657, ISSN 0257-8972
- Jansen, Florian; Stutzki, Fabian; Jauregui, Cesar; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
High-power very large mode-area thulium-doped fiber laser
 Optics Letters 37 (2012) 21 p. 4546-4548, ISSN 0146-9592
- Jansen, Florian; Stutzki, Fabian; Otto, Hans-Jürgen; Eidam, Tino; Liem, Andreas; Jauregui, Cesar; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
Thermally induced waveguide changes in active fibers
 Optics Express 20 (2012) 4 p. 3997-4008, ISSN 1094-4087
- Jauregui, Cesar; Eidam, Tino; Otto, Hans-Jürgen; Stutzki, Fabian; Jansen, Florian; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
Physical origin of mode instabilities in high-power fiber laser systems
 Optics Express 20 (2012) 12 p. 12912-12925, ISSN 1094-4087
- Jauregui, Cesar; Eidam, Tino; Otto, Hans-Jürgen; Stutzki, Fabian; Jansen, Florian; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
Temperature-induced index gratings and their impact on mode instabilities in high-power fiber laser systems
 Optics Express 20 (2012) 1 p. 440-451, ISSN 1094-4087
- Jauregui, Cesar; Steinmetz, Alexander; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
High-power efficient generation of visible and mid-infrared radiation exploiting four-wave-mixing in optical fibers
 Optics Express 20 (2012) 22 p. 24957-24965, ISSN 1094-4087
- Jocher, Christoph; Eidam, Tino; Hädrich, Steffen; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
Sub 25 fs pulses from solid-core nonlinear compression stage at 250 W of average power
 Optics Letters 37 (2012) 21 p. 4407-4409, ISSN 0146-9592
- Jourlin, Yves; Tonchev, Svetlen; Parriaux, Olivier; Sauvage-Vincent, Jean; Harzendorf, Torsten; Zeitner, Uwe Detlef
Waveguide grating radial polarizer for the photolithography of circularly symmetrical optical elements
 IEEE Photonics Journal 4 (2012) 5 p.1728-1736, ISSN 1943-0655

- Kaiser, Norbert
V2011 Workshop »Beschichtungen für den optischen Gerätebau«
 Vakuum in Forschung und Praxis 24 (2012) 1 p. 32-37, ISSN 0947-076X
- Kalkowski, Gerhard; Rothhardt, Carolin; Jobst, Paul-Johannes; Schürmann, Mark; Eberhardt, Ramona
Glass direct bonding for optical applications
 ECS Transactions 50 (2012) 7 p. 399-405, ISSN 1938-6737
- Kalkowski, Gerhard; Zeitner, Uwe Detlef; Benkenstein, Tino; Fuchs, Hans-Jörg; Rothhardt, Carolin; Eberhardt, Ramona
Direct wafer bonding for encapsulation of fused silica optical gratings
 Microelectronic Engineering 97 (2012) p. 177-180, ISSN 0167-9317
- Keil, Robert; Lahini, Yoav; Shechtman, Yoav; Heinrich, Matthias; Pugatch, Rami; Dreisow, Felix; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Szameit, Alexander
Perfect imaging through a disordered waveguide lattice
 Optics Letters 37 (2012) 5 p. 809-811, ISSN 0146-9592
- Klein, Angela E.; Janunts, Norik; Tünnermann, Andreas; Pertsch, Thomas
Investigation of mechanical interactions between the tips of two scanning near-field optical microscopes
 Applied Physics B: Lasers and Optics 108 (2012) 4 p. 737-741, ISSN 0946-2171
- Klein, Angela E.; Minovich, Alexander; Steinert, Michael; Janunts, Norik; Tünnermann, Andreas; Neshev, Dragomir N.; Kivshar, Yuri S.; Pertsch, Thomas
Controlling plasmonic hot spots by interfering Airy beams
 Optics Letters 37 (2012) 16 p. 3402-3404, ISSN 0146-9592
- Köhler, Stefan; Benz, Christian; Becker, Holger; Beckert, Erik; Beushausen, Volker; Belder, Detlev
Micro free-flow electrophoresis with injection molded chips
 RSC Advances 2 (2012) 2 p.520-525, ISSN 2046-2069
- Legall, Herbert; Blobel, G.; Stiel, Holger; Sandner, Wolfgang; Seim, Christian; Takman, Per; Martz, Dale; Selin, Marten; Vogt, Ulrich; Hertz, Hans; Esser, Dominik; Sipma, H.; Luttmann, Jörg; Höfer, M.; Hoffmann, H.D.; Yulin, Sergiy; Feigl, Torsten; Rehbein, Stefan; Guttmann, Peter; Schneider, Gerd; Wiesemann, Urs; Wirtz, M.; Dietsch, Wolfgang
Compact x-ray microscope for the water window based on a high brightness laser plasma source
 Optics Express 20 (2012) 16 p. 18362-18369, ISSN 1094-4087
- Lehneis, Reinhold; Steinmetz, Alexander; Jauregui, Cesar; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
Dispersion-free pulse duration reduction of passively Q-switched microchip lasers
 Optics Letters 37 (2012) 21 p. 4401-4403, ISSN 0146-9592
- Lehr, Dennis; Dietrich, Kay; Helgert, Christian; Käsebier, Thomas; Fuchs, Hans-Jörg; Tünnermann, Andreas; Kley, Ernst-Bernhard
Plasmonic properties of aluminum nanorings generated by double patterning
 Optics Letters 37 (2012) 2 p. 157-159, ISSN 0146-9592
- Limpert, Jens; Stutzki, Fabian; Jansen, Florian; Otto, Hans-Jürgen; Eidam, Tino; Jauregui, Cesar; Tünnermann, Andreas
Yb-doped large-pitch fibres: effective single-mode operation based on higher-order mode delocalization
 Light: Science & Applications 1 (2012) e8
 DOI:10.1038/lssa.2012.8, ISSN 2047-7538
- Müller, Matthias; Barkusky, Frank; Feigl, Torsten; Mann, Klaus
EUV damage threshold measurements of Mo/Si multilayer mirrors
 Applied Physics A: Materials Science & Processing 108 (2012) 2 p. 263-267, ISSN 0947-8396
- Munzert, Peter; Präfke, Christiane; Schulz, Ulrike; Kaiser, Norbert
Adhesion of vacuum deposited optical coatings on PMMA and polycarbonate
 Journal of Adhesion Science and Technology 26 (2012) 18-19 p. 2269-2276, ISSN 0169-4243
- Naether, Uta; Kartashov, Yaroslav; Vysloukh, Victor; Nolte, Stefan; Tünnermann, Andreas; Torner, Lluís; Szameit, Alexander
Observation of the gradual transition from one-dimensional to two-dimensional Anderson localization
 Optics Letters 37 (2012) 4 p. 593-595, ISSN 0146-9592
- Naether, Uta; Meyer, Julia; Stützer, Simon; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Molina, Mario; Szameit, Alexander
Anderson localization in a periodic photonic lattice with a disordered boundary
 Optics Letters 37 (2012) 4 p. 485-487, ISSN 0146-9592
- Naether, Uta; Rojas-Rojas, Santiago; Martinez, Alejandro J.; Stützer, Simon; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Molina, Mario I.; Vicencio, Rodrigo A.; Szameit, Alexander
Expansion of a wave-packet in lattices with disorder and nonlinearity
 E-paper of the Cornell University Library, arXiv.org (2012), arXiv:1205.5457

Notni, Gunther; Arib-Mundt, Stephany

Die Kolibri-Revolution

median - Das Info-Magazin für Mitteldeutschland 1 (2012) 1
S. 17

Oliva, Maria; Michaelis, Dirk; Dannberg, Peter; Józwiak, Michał;
Liżewski, Kamil; Kujawińska, Małgorzata; Zeitner, Uwe Detlef
**Twyman–Green-type integrated laser interferometer
array for parallel MEMS testing**

Journal of Micromechanics and Microengineering 22 (2012) 1
015018, ISSN 0960-1317

Otto, Hans-Jürgen; Stutzki, Fabian; Jansen, Florian; Eidam,
Tino; Jauregui, Cesar; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
**Temporal dynamics of mode instabilities in high-power
fiber lasers and amplifiers**

Optics Express 20 (2012) 14 p. 15710-15722, ISSN 1094-4087

Otto, Martin; Kroll, Matthias; Käsebier, Thomas; Salzer, Roland;
Tünnermann, Andreas; Wehrspohn, Ralf B.

**Extremely low surface recombination velocities in black
silicon passivated by atomic layer deposition**

Applied Physics Letters 100 (2012) 19 191603, ISSN 0003-6951

Pabst, Oliver; Schiffer, Michael; Obermeier, Ernst; Tekin, Tolga;
Lang, Klaus Dieter; Ngo, Ha-Duong

**Measurement of Young's modulus and residual stress of
thin SiC layers for MEMS high temperature applications**

Microsystem Technologies 18 (2012) 7-8 p. 945-953,
ISSN 0946-7076

Pacholski, Claudia; Morhard, Christoph; Spatz, Joachim; Lehr,
Dennis; Schulze, Marcel; Kley, Ernst-Bernhard; Tünnermann,
Andreas; Helgert, Michael; Sundermann, Michael; Brunner, Robert
**Antireflective subwavelength structures on microlens
arrays - comparison of various manufacturing techniques**

Applied Optics 51 (2012) 1 p. 8-14, ISSN 0003-6935

Peter, Monika; Kammel, Robert; Ackermann, Roland; Bühren,
Stephanie; Schramm, Stefan; Seifert, Bernd-Ulrich;
Frey, Katharina; Kunert, Kathleen

**Analysis of optical side effects of fs-laser therapy in human
presbyopic lens simulated with modified contact lenses**

Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology
250 (2012) 12 p. 1813-1825, ISSN 1435-702X

Präfke, Christiane; Schulz, Ulrike; Kaiser, Norbert

Organische UV-Schutzschichten für die Polycarbonatverglasung

Vakuum in Forschung und Praxis 24 (2012) 1 p. 22-23,
ISSN 0947-076X

Präfke, Christiane; Schulz, Ulrike; Kaiser, Norbert

**Preparation and characterization of organic layers for
UV protection of polycarbonate**

Thin Solid Films 520 (2012) 12 p. 4180-4183,
ISSN 0040-6090

Rechtsman, Mikael C.; Zeuner, Julia M.; Tünnermann, Andreas;
Nolte, Stefan; Segev, Mordechai; Szameit, Alexander
**Strain-induced pseudomagnetic field and Landau levels
in photonic structures**

E-paper of the Cornell University Library, arXiv.org (2012)
arXiv:1207.3596

Reinhold, Jörg; Schulze, Marcel; Kley, Ernst-Bernhard;
Tünnermann, Andreas

High dispersive and monolithic 100% efficiency grisms

E-paper of the Cornell University Library, arXiv.org (2012),
arXiv:1211.5260

Reinhold, Jörg; Shcherbakov, M.R.; Chipouline, Arkadi; Panov,
V.I.; Helgert, Christian; Paul, T.; Rockstuhl, Carsten; Lederer,
Falk; Kley, Ernst-Bernhard; Tünnermann, Andreas;
Fedyanin, A.A.; Pertsch, Thomas

**Contribution of the magnetic resonance to the third
harmonic generation from a fishnet metamaterial**

Physical Review B 86 (2012) 11 115401,
ISSN 1098-0121

Rekas, Miroslaw; Schmidt, Oliver; Zimer, Hagen; Schreiber,
Thomas; Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas

**Over 200 W average power tunable Raman amplifier
based on fused silica step index fiber**

Applied Physics B: Lasers and Optics 107 (2012) 3 p. 711-716,
ISSN 0946-2171

Rekas, Miroslaw; Vries, Oliver; Zimer, Hagen; Neuschaefer-
Rube, Sven; Schreiber, Thomas; Eberhardt, Ramona; Tünner-
mann, Andreas

**High power transmission properties of all-solid photonic
bandgap fibre and its application to Raman amplification**

Electronics Letters 48 (2012) 18 p. 1142-1144,
ISSN 0013-5194

Rheinschmitt, Liane; Burkhardt, Thomas; Nagel, Jörg A.;
Beckert, Erik; Gengenbach, Ulrich; Bretthauer, Georg

**Investigation of the use of Solderjet Bumping for joining
the thinwalled glass package of a complex mechatronic
lens implant**

Biomedizinische Technik 57 (2012) Suppl. 1 p. 863-866,
ISSN 0013-5585

Richter, Jessica; Steinbrück, Andrea; Pertsch, Thomas;
Tünnermann, Andreas; Grange, Rachel

Plasmonic core-shell nanowires for enhanced second-harmonic generation

Plasmonics (2012) DOI: 10.1007/s11468-012-9429-2,
ISSN 1557-1963

Richter, Sören; Heinrich, Matthias; Döring, Sven;
Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Peschel, Ulf

Nanogratings in fused silica: Formation, control, and applications

Journal of Laser Applications 24 (2012) 4 042008,
ISSN 1042-346X

Richter, Sören; Jia, Fei; Heinrich, Matthias; Döring, Sven;
Peschel, Ulf; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan

The role of self-trapped excitons and defects in the formation of nanogratings in fused silica

Optics Letters 37 (2012) 4 p. 482-484,
ISSN 0146-9592

Richter, Sören; Nolte, Stefan; Tünnermann, Andreas
Ultrashort pulse laser welding - a new approach for high-stability bonding of different glasses

Physics Procedia 37 (2012) p. 556–562, ISSN 1875-3892

Richter, Sören; Plech, Anton; Steinert, Michael; Heinrich, Matthias; Döring, Sven; Zimmermann, Felix; Peschel, Ulf; Kley, Ernst Bernhard; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan
On the fundamental structure of femtosecond laser-induced nanogratings

Laser & Photonics Reviews 6 (2012) 6 p. 787-792,
ISSN 1863-8899

Risse, Stefan; Damm, Christoph; Hornaff, Marcel; Kamm, Andreas; Mohaupt, Matthias; Eberhardt, Ramona; Schmidt, Ingo; Ramm, Roland; Kühmstedt, Peter; Notni, Gunther; Döring, Hans-Joachim; Elster, Thomas; Kirschstein, Ulf Carsten; Schenk, Christoph
Precision assembly of a miniaturized wire deflector for electron-beam lithography

Microelectronic Engineering 97 (2012) p. 100-104,
ISSN 0167-9317

Rothhardt, Jan; Demmler, Stefan; Hädrich, Steffen; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

Octave-spanning OPCPA system delivering CEP-stable few-cycle pulses and 22 W of average power at 1 MHz repetition rate

Optics Express 20 (2012) 10 p. 10870-10878,
ISSN 1094-4087

Rothhardt, Jan; Heidt, Alexander; Hädrich, Steffen; Demmler, Stefan; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
High stability soliton frequency-shifting mechanisms for laser synchronization applications

Journal of the Optical Society of America B 29 (2012) 6 p. 1257-1262, ISSN 0740-3224

Rupp, Daniela; Adolph, Marcus; Gorkhover, Tais; Schorb, Sebastian; Wolter, David; Hartmann, Robert; Kimmel, Nils; Reich, Christian; Feigl, Torsten; de Castro, Antonio Rubens Britto; Treusch, Rolf; Strüder, Lothar; Möller, Thomas; Bostedt, Christoph
Identification of twinned gas phase clusters by single shot scattering with intense soft x-ray pulses

New Journal of Physics 14 (2012) 5 055016,
ISSN 1367-2630

Schmidt, Carsten; Liebsch, Mattes; Klein, Angela; Janunts, Norik; Chipouline, Arkadi; Käsebier, Thomas; Etrich, Christoph; Lederer, Falk; Kley, Ernst-Bernhard; Tünnermann, Andreas; Pertsch, Thomas
Near-field mapping of optical eigenstates in coupled disk microresonators

Physical Review A 85 (2012) 3 033827,
ISSN 1050-2947

Schmidt, Tobias D.; Setz, Daniel S.; Flämmich, Michael; Scholz, Bert J.; Jaeger, Arndt; Diez, Carola; Michaelis, Dirk; Danz, Norbert; Brütting, Wolfgang

Degradation induced decrease of the radiative quantum efficiency in organic light-emitting diodes

Applied Physics Letters 101 (2012) 10 103301,
ISSN 0003-6951

Schmieder, Florian; Schmieder, Stefan; Eger, Rene; Friedrich, Sandra; Werner, Anett; Danz, Norbert; Marx, Uwe; Sonntag, Frank
Automated universal chip platform for fluorescence based cellular assays

Biomedizinische Technik 57 (2012) Suppl. 1 p. 340-343,
ISSN 0013-5585

Schöberl, Michael; Brückner, Andreas; Foessel, Siegfried; Kaup, André

Photometric limits for digital camera systems

Journal of Electronic Imaging 21 (2012) 2 020501,
ISSN 1017-9909

Schulze, Marcel; Damm, Michael; Helgert, Michael; Kley, Ernst-Bernhard; Nolte, Stefan; Tünnermann, Andreas
Durability of stochastic antireflective structures – analyses on damage thresholds and adsorbate elimination
Optics Express 20 (2012) 16 p. 18348-18355, ISSN 1094-4087

Schürmann, Mark; Jobst, Paul-Johannes; Kaiser, Norbert;
Luck, Frank-Ulrich; Beier, Bernd; Thaut, Michael
Strukturierbare reflexionsgeminderte Chromschichten
Vakuum in Forschung und Praxis 24 (2012) 4 S. 32,
ISSN 0947-076X

Sieler, Marcel; Schreiber, Peter; Dannberg, Peter;
Bräuer, Andreas; Tünnermann, Andreas
**Ultraslim fixed pattern projectors with inherent
homogenization of illumination**
Applied Optics 51 (2012) 1 p. 64-74,
ISSN 0003-6935

Sinibaldi, Alberto; Danz, Norbert; Descrovi, Emiliano; Munzert,
Peter; Schulz, Ulrike; Sonntag, Frank; Dominici, Lorenzo;
Michelotti, Francesco
**Direct comparison of the performance of Bloch surface
wave and surface plasmon polariton sensors**
Sensors and Actuators B: Chemical 174 (2012) p. 292-298,
ISSN 0925-4005

Sinibaldi, Alberto; Descrovi, Emiliano; Giorgis, Fabrizio;
Dominici, Lorenzo; Ballarini, Mirko; Mandracci, Pietro;
Danz, Norbert; Michelotti, Francesco
**Hydrogenated amorphous silicon nitride photonic
crystals for improved-performance surface
electromagnetic wave biosensors**
Biomedical Optics Express 3 (2012) 10 p. 2405-2410,
ISSN 2156-7085

Steglich, Martin; Bingel, Astrid; Jia, Guobin; Falk, Fritz
**Atomic layer deposited ZnO:Al for nanostructured
silicon heterojunction solar cells**
Solar Energy Materials & Solar Cells 103 (2012) p. 62–68,
ISSN 0927-0248

Steiner, Stefan; Kroker, Stefanie; Käsebier, Thomas;
Kley, Ernst-Bernhard; Tünnermann, Andreas
**Angular bandpass filters based on dielectric
resonant waveguide gratings**
Optics Express 20 (2012) 20 p. 22555-22562,
ISSN 1094-4087

Steinmetz, Alexander; Jansen, Florian; Stutzki, Fabian;
Lehneis, Reinhold; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
**Sub-5ps, multi-megawatt peak-power pulses from
a fiber-amplified and optically compressed passively
Q-switched microchip laser**
Optics Letters 37 (2012) 13 p. 2550-2552,
ISSN 0146-9592

Stenzel, Olaf; Macleod, Angus
**Metal-dielectric composite optical coatings:
underlying physics, main models, characterization,
design and application aspects**
Advanced Optical Technologies 1 (2012) 6 p. 463-481,
ISSN 2192-8584

Stenzel, Olaf; Schulz, Ulrike; Kaiser, Norbert
**Tailoring optical and non-optical properties of
interference coating materials through the explicit
use of small-scale optical inhomogeneities**
Advances Optical Technologies 1 (2012) 1 p. 79-89,
ISSN 2192-8584

Stützer, Simon; Kartashov, Yaroslav; Vysloukh, Victor;
Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Lewenstein, Maciej;
Torner, Lluís; Szameit, Alexander
Anderson cross-localization
Optics Letters 37 (2012) 10 p. 1715-1717, ISSN 0146-9592

Stutzki, Fabian; Jansen, Florian; Liem, Andreas; Jauregui,
Cesar; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
**26 mJ, 130 W Q-switched fiber-laser system with
near-diffraction-limited beam quality**
Optics Letters 37 (2012) 6 p. 1073-1075, ISSN 0146-9592

Thomas, Jens U.; Jovanovic, Nemanja; Krämer, Ria G.;
Marshall, Graham D.; Withford, Michael J.;
Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Steel, Michael J.
**Cladding mode coupling in highly localized fiber Bragg
gratings II: complete vectorial analysis**
Optics Express 20 (2012) 19 p. 21434-21449, ISSN 1094-4087

Thomas, Jens; Voigtl, Christian; Becker, Ria; Richter, Daniel;
Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan
**Femtosecond pulse written fiber gratings: a new avenue
to integrated fiber technology**
Laser & Photonics Reviews 6 (2012) 6 p. 709–723,
ISSN 1863-8899

Tünnermann, Andreas
The engine of growth for the entire industry
Laser Technik Journal 9 (2012) 1 p. 1, ISSN 1613-7728

Walther, Benny; Helgert, Christian; Rockstuhl, Carsten; Setz-
pfandt, Frank; Eilenberger, Falk; Kley, Ernst-Bernhard; Lederer,
Falk; Tünnermann, Andreas; Pertsch, Thomas
Spatial and Spectral Light Shaping with Metamaterials
Advanced Materials 24 (2012) 47 p. 6300-6304,
ISSN 1521-4095

Weber, Thomas; Käsebier, Thomas; Helgert, Michael;
Kley, Ernst-Bernhard; Tünnermann, Andreas
**Tungsten wire grid polarizer for applications in the
DUV spectral range**
Applied Optics 51 (2012) 16 p. 3224-3227, ISSN 0003-6935

Weber, Thomas; Käsebier, Thomas; Szeghalmi, Adriana;
Knez, Mato; Kley, Ernst-Bernhard; Tünnermann, Andreas
**High aspect ratio deep UV wire grid polarizer fabricated
by double patterning**
Microelectronic Engineering, 98 (2012) Special issue MNE
2011 – Part II p. 433-435, ISSN 0167-9317

Wilbrandt, Steffen; Stenzel, Olaf; Heiße, Hanno;
Kaiser, Norbert
Aluminiumbasierte Reflektoren für das DUV und VUV
Vakuum in Forschung und Praxis 24 (2012) 4 S. 34,
ISSN 0947-076X

Wünscher, Sebastian; Stumpf, Steffi; Teichler, Anke;
Pabst, Oliver; Perelaer, Jolke; Beckert, Erik; Schubert, Ulrich S.
**Localized atmospheric plasma sintering of inkjet printed
silver nanoparticles**
Journal of Materials Chemistry 22 (2012) 47 p. 24569-24576,
ISSN 0959-9428

Zeitner, Uwe Detlef; Oliva, Maria; Fuchs, Frank; Michaelis, Dirk;
Benkenstein, Tino; Harzendorf, Torsten; Kley, Ernst-Bernhard
**High performance diffraction gratings made by
e-beam lithography**
Applied Physics A 109 (2012) 4 p. 789-796, ISSN 0947-8396

Zeuner, Julia M.; Efremidis, Nikolaos K.; Keil, Robert;
Dreisow, Felix; Christodoulides, Demetrios N.;
Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Szameit, Alexander
**Optical analogues for massless dirac particles and conical
diffraction in one dimension**
Physical Review Letters 109 (2012) 2 023602, ISSN 0031-9007

Zeuner, Julia M.; Rechtsman, Mikael C.; Keil, Robert; Dreisow,
Felix; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Szameit, Alexander
Negative coupling between defects in waveguide arrays
Optics Letters 37 (2012) 4 p. 533-535, ISSN 0146-9592

Zwick, Susanne; Feßler, Robert; Jegorov, Jevgenij;
Notni, Gunther
**Resolution limitations for tailored picture-generating
freeform surfaces**
Optics Express 20 (2012) 4 p. 3642-3653, ISSN 1094-4087

Eingeladene Vorträge und Publikationen I Invited Lectures and Publications

Brückner, Andreas
**Insekten-inspirierte Mikrooptik: Wie aus Facettenaugen
flache Kameras und Mikroskope werden**
VDI Wissensforum »Kunststoffe in Optischen Systemen«,
7.-8.11.2012, Baden-Baden, Deutschland
Proceedings VDI Wissensforum (2012) S. 1-23,
ISBN 978-3-942980-85-2

Brückner, Andreas; Wippermann, Frank; Leitel, Robert;
Dannberg, Peter; Höfer, Bernd; Bräuer, Andreas
Flachbauende Multiaperturabbildungsoptiken
27. Optik-Kolloquium ITO Stuttgart, 22.2.2012,
Stuttgart, Deutschland

Burkhardt, Thomas; Hornaff, Marcel; Acker, Anne; Peschel,
Thomas; Beckert, Erik; Suphan, Karl-Heinz; Mesel, Karsten;
Jirak, Stephan; Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas
**Die-attach technologies for ultraviolet LED multi-chip
module based on ceramic substrate**
Journal of Microelectronics and Electronic Packaging 9 (2012)
3 p. 113-119, ISSN 1551-4897

Danz, Norbert; Flämmich, Michael; Michaelis, Dirk;
Schmidt, Tobias; Brütting, Wolfgang
**Accessing OLED emitter properties by radiation
pattern analysis**
International Conference on Simulation of Organic Electronics
and Photovoltaics (SimOEP12), 10.-14.6.2012, Oliva, Spain
Nanoenergy Symposia Vol. 10: Proceedings SimOEP12 p. 50,
ISBN 978-84-940189-1-6

Duparré, Angela
**Assessment criteria for (super)hydrophobic surfaces with
stochastic roughness**
8th International Symposium on Contact Angle, Wettability
and Adhesion, 13.-15.6.2012, Québec, Canada

Feigl, Torsten
Multilayer optics for EUV lithography
CXRO X-Ray Optics Seminar, Lawrence Berkeley National
Laboratory, 11.9.2012, Berkeley, USA

Feigl, Torsten
EUV and soft X-ray multilayer optics
SLAC Photon Science Seminar, Stanford University,
12.9.2012, Menlo Park, USA

Feigl, Torsten

Extreme ultraviolet lithography

Spectaris Forum Semicon Europe,
10.10.2012, Dresden, Germany

Füchsel, Kevin

Nanostrukturierte Grenzflächen und dünne Schichten für die Photovoltaik

8. ThGOT, Thementage Grenz- und Oberflächentechnik/3.
Optik-Kolloquium Dünne Schichten in der Optik,
4.-6.9.2012, Leipzig, Deutschland

Füchsel, Kevin; Kroll, Matthias; Käsebier, Thomas;

Otto, Martin; Pertsch, Thomas; Kley, Ernst-Bernhard;

Wehrspohn, Ralf B.; Kaiser, Norbert; Tünnermann, Andreas

Black silicon photovoltaics

SPIE Proceedings Vol. 8438 (2012) 84380M,
ISBN 9780819491305

Kaiser, Norbert

Die Bedeutung dünner Schichten für die Optischen Technologien

OTTI Seminar Optische Technologien – vom Design zum Produkt, 16.2.2012, Regensburg, Deutschland

Kaiser, Norbert

Design optischer Schichtsysteme

OTTI Seminar Schichten auf Glas,
7.3.2012, Regensburg, Deutschland

Kaiser, Norbert

Fortschritte in den optischen Dünnschichttechnologien

DPG – Frühjahrstagung der Fachverbände Plasmaphysik und Kurzzeitphysik, Symposium Plasma und optische Technologien (SYPT), 15.3.2011, Stuttgart, Deutschland

Kaiser, Norbert

Mo/Si multilayers for EUV lithography

1st VACOM Conference,
15.6.2012, Jena-Großlobichau, Germany

Kaiser, Norbert

Plasma and optical thin film technologies

13th International Conference on Plasma Surface Engineering,
10.9.2012, Garmisch-Partenkirchen, Germany

Kaiser, Norbert

Trends und Herausforderungen der Optikbeschichtung

2. Wetzlarer Herbsttagung Moderne Optikfertigung,
19.9.2012, Wetzlar, Deutschland

Kaiser, Norbert

Physics and technology of optical thin film deposition

The Sixth Seminar for Optical Thin Film Technology and Application, 11.-13.10.2012, Suzhou, China

Kaiser, Norbert

Plasma and optical thin film technologies

Frontiers of Optical Coatings (FOC 2012),
15.-18.10.2012, Hangzhou, China

Kaiser, Norbert

Plasma und Optische Technologien – ein neuer Forschungsansatz für dielektrische Schichten

EFDS-Seminar „Struktur und Eigenschaften dielektrischer Schichten für die Optik“, 7.11.2012, Jena, Deutschland

Minardi, Stefano; Eilenberger, Falk; Kartashov, Yaroslav;

Szameit, Alexander; Röpke, Ulrich; Kobelke, Jens;

Schuster, Kay; Bartelt, Hartmut; Nolte, Stefan; Torner, Lluís;

Lederer, Falk; Tünnermann, Andreas; Pertsch, Thomas

Three-dimensional light bullets

SPIE Proceedings Vol. 8240 (2012) 82400P,
ISBN 9780819488831

Notni, Gunther

Mikro- und Makroform / 3D-Messtechnik – vom stationären zum dynamischen Messen

VDI-Tagung „Optische Messung von Funktionsflächen in der Praxis“, 21.-22.11.2012, Nürtingen, Deutschland

Notni, Gunther; Kühmstedt, Peter; Ramm, Roland; Schmidt, Ingo

Computertomographische Untersuchung von kunststoff- und faserverstärkten Leichtbaukomponenten

9. Jenaer Technologietag JeTT 2012 »Innovativer Leichtbau – Moderne Materialien, Verarbeitung und Anwendung«, 12.11.2012, Jena, Deutschland

Notni, Gunther; Zwick, Susanne

Vermessung präzisionsbearbeiteter Oberflächen –

Von der Makrogeometrie bis zur Oberflächenrauheit

IFSW Kolloquium, Universität Stuttgart, Institut für Strahlwerkzeuge, 27.6.2012, Stuttgart, Deutschland

Perske, Marco; Pauer, Hagen; Fiedler, Tobias; Yulin, Sergiy;

Nesterenko, Viatcheslav; Schürmann, Mark; Feigl, Torsten;

Kaiser, Norbert

New high reflective multilayer designs for the EUV and soft X-ray range

2012 International Workshop on EUV and Soft X-Ray Sources,
8.-11.10.2012, Dublin, Ireland

Schreiber, Thomas

Faserlasersimulation mit Hilfe der nichtlinearen Schrödinger-Gleichung und Ratengleichungen

IOQ/LHZ Summer School, 10.-14.9.2012, Akademie Waldschlößchen, Reinhausen, Deutschland

Schreiber, Thomas; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

High power fiber laser systems: fundamentals and enabling technologies to enter the upper limits

Workshop "Trends in Fiber Optics", Institute of Photonic Technology IPHT, 23.2.2012, Jena, Germany

Schröder, Sven; Trost, Marcus; Duparré, Angela

Spectral scattering characteristics of interference coatings from the EUV to the IR

Frontiers of Optical Coatings (FOC 2012), 15.-18.10.2012, Hangzhou, China

Schröder, Sven; Trost, Marcus; Herffurth, Tobias;

Finck, Alexander von; Duparré, Angela

Sophisticated light scattering techniques from the VUV to the IR regions

SPIE Proceedings Vol. 8495 (2012) 84950V, ISBN 9780819492128

Stenzel, Olaf; Schulz, Ulrike; Kaiser, Norbert

Tailoring optical and non-optical properties of interference coating materials through the explicit use of small-scale optical inhomogeneities

Advances Optical Technologies 1 (2012) 1-2 p. 79-89, ISSN 2192-8584

Stenzel, Olaf; Wilbrandt, Steffen; Held, Mario; Kaiser, Norbert

Einflussnahme auf optische und nichtoptische Eigenschaften von Interferenzschichten durch bewusstes Ausnutzen von Inhomogenitäten auf der Nanometerskala

EFDS-Seminar »Struktur und Eigenschaften dielektrischer Schichten für die Optik«, 7.11.2012, Jena, Deutschland

Tünnermann, Andreas

Mikro- und Nanooptik

Kolloquium am Institut für Materialwissenschaft und Werkstofftechnologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena, 4.1.2012, Jena, Deutschland

Tünnermann, Andreas

Prospects and challenges in high power fiber lasers

Kolloquium am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, 12.1.2012, Aachen, Germany

Tünnermann, Andreas

Advances in high power fiber laser systems

SPIE Photonics Europe 2012, 16.-19.4.2012, Brussels, Belgium

Tünnermann, Andreas

Optische Technologien als Wegbereiter in Schlüsseltechnologien für weitere Wachstumsfelder

3. Weimarer Wirtschaftsforum, 4.-5.9.2012, Weimar, Deutschland

Tünnermann, Andreas

Advances in high power fiber lasers

3rd IMPRS Annual Meeting, 17.-20.9.2012, Schnaittach-Osternohe, Germany

Tünnermann, Andreas

Photonics: optical solution for a sustainable future

European Commission „Photonics Unit“, 22.10.2012, Brussels, Belgium

Tünnermann, Andreas

Advances in high power fiber laser systems

Laser Welding Workshop, 1.11.2012, Munkebo, Denmark

Tünnermann, Andreas

Green Photonics – nachhaltige Lösungen mit Licht

Ehrenkolloquium Prof. Sauerbrey, Helmholtz-Institut Dresden-Rossendorf, 22.11.2012, Dresden, Deutschland

Tünnermann, Andreas

Ultrakurzpulsentwicklungen für neue Bearbeitungsverfahren und -anwendungen

8. Jenaer Lasertagung, 22.-23.11.2012, Jena, Deutschland

Tünnermann, Andreas; Bräuer, Andreas; Brückner, Andreas; Wippermann, Frank

Multi-aperture optics inspired by facet eye of insects – small lenses go big

90 Jahre Optisches Museum, Symposium »Historische optische Instrumente und die Sammlung des Optischen Museums Jena«, 13.10.2012, Jena, Germany

Tünnermann, Andreas; Limpert, Jens; Schreiber, Thomas

Recent developments in lasers for use in accelerators

IPAC 2012, 20.-25.5.2012, New Orleans, Louisiana, USA

Yulin, Sergiy

Multilayer reflective optics

Summer School on Short-Wavelength Imaging & Spectroscopy Sources, 10.-11.9.2012, Bern, Switzerland

Yulin, Sergiy; Feigl, Torsten; Nesterenko, Viatcheslav; Schürmann, Mark; Perske, Marco; Pauer, Hagen; Fiedler, Tobias; Kaiser, Norbert

EUV multilayer coatings: potentials and limits

2012 International Workshop on EUV Lithography, 4.-8.6.2012, Maui, Hawaii

Zwick, Susanne; Heist, Stefan; Franzl, Yannick, Steinkopf, Ralf; Kühmstedt, Peter; Notni, Gunther

3D measurement system on the basis of a tailored free-form mirror

SPIE Optics + Photonics, 12.-16.8.2012, San Diego, CA, USA
SPIE Proceedings Vol. 8494 (2012) 84940F,
ISBN 9780819492111

Vorträge, Poster, Konferenzen I
Lectures, Posters, Conferences

Apel, Stefan; Suphan, Karl-Heinz; Hornaff, Marcel; Burkhardt, Thomas; Seeger, Stefan

AVT-Konzepte für zuverlässige Leistungs-LED-Module

Deutsche IMAPS-Konferenz 2012,
11.-12.10.2012, München, Deutschland

Baumgartl, Martin; Lecaplain, Caroline; Hideur, Ammar; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

65 W of average power and 6-MW peak power generation from a mode-locked fiber oscillator

SPIE Proceedings Vol. 8237 (2012) 82370H,
ISBN 9780819488800

Baumgartl, Martin; Chemnitz, Mario; Jauregui, Cesar; Gottschall, Thomas; Meyer, Tobias; Dietzek, Benjamin; Popp, Jürgen; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

Fiber optical parametric frequency conversion: Alignment and maintenance free all-fiber laser concept for CARS microscopy

Proceedings CLEO: Science and Innovations (CLEO: S and I), OSA Technical Digest (2012) CF1B.4

Baumgartl, Martin; Chemnitz, Mario; Jauregui, Cesar; Meyer, Tobias; Dietzek, Benjamin; Popp, Jürgen; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

Alignment and maintenance free all-fiber laser source for CARS microscopy based on frequency conversion by four-wave-mixing

SPIE Proceedings Vol. 8247 (2012) 82470F,
ISBN 9780819488909

Baumgartl, Martin; Lecaplain, Caroline; Hideur, Ammar; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

Fiber oscillator producing 91fs pulses with 0.8 μ J at 60W of average power

Proceedings Lasers, Sources, and Related Photonic Devices, OSA Technical Digest (2012) AT1A.2,
ISBN 978-1-55752-933-6

Becker, Ria G.; Voigtländer, Christian; Thomas, Jens; Richter, Daniel; Singh, Anshuman; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan

Tailored fiber Bragg gratings inscribed with a phase mask and a deformed wave front by ultrashort pulses

SPIE Proceedings Vol. 8237 (2012) 82372H,
ISBN 9780819488800

Beckert, Erik

UP-Bearbeitung mikrooptischer Arraystrukturen für Faserkoppler

Anwenderkonferenz Optische Mikrosysteme, 20.-21.11.2012, Erfurt, Deutschland

Beckert, Erik; Pabst, Oliver; Perelaer, Jolke; Schubert, Ulrich S.; Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas

Inkjet printing for applications in microfluidic lab-on-chip systems

NIP/Digital Fabrication Conference, 9.-13.9.2012, Quebec City, Canada

Berlich, René; Brückner, Andreas; Leitel, Robert; Bräuer, Andreas

Ultra-compact illumination module for multi-aperture imaging systems

SPIE Photonics West 2012, 21.-26.1.2012, San Francisco, CA, USA

Bingel, Astrid; Fuchsel, Kevin; Kaiser, Norbert; Tünnermann, Andreas

Pulsed DC magnetron sputtering of transparent conductive oxide layers

Frontiers of Optical Coatings (FOC 2012), 15.-18.10.2012, Hangzhou, China

Böhme, Steffen; Fabian, Simone; Schreiber, Thomas; Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas

End cap splicing of photonic crystal fibers with outstanding quality for high-power applications

SPIE Proceedings Vol. 8244 (2012) 824406,
ISBN 9780819488879

Bourgin, Yannick; Stürzebecher, Lorenz; Käsebier, Thomas;
Fuchs, Frank; Harzendorf, Torsten; Zeitner, Uwe D.

Sub-Micrometer period diffraction grating generated by i-line mask-aligner lithography

EOS Annual meeting EOSAM 2012,
25.-28.9.2012, Aberdeen, Scotland, UK

Brahm, Anika; Müller, Martin; Wichmann, Felix;
Buß, Wolfgang; Gerth, Carsten; Riehemann, Stefan;
Notni, Gunther; Tünnermann, Andreas

Development of a multichannel lock-in amplifier for terahertz time-domain systems

International Forum on Terahertz Spectroscopy and Imaging,
6.-7.3.2012, Kaiserslautern, Germany

Brahm, Anika; Müller, Martin; Wichmann, Felix;
Buß, Wolfgang; Gerth, Carsten; Riehemann, Stefan;
Notni, Gunther; Tünnermann, Andreas

Development of a multichannel lock-in amplifier for terahertz time-domain systems

IRMMW-THZ 2012, 37th International Conference on Infrared,
Terahertz and Millimeter Waves,
23.-28.9.2012, Wollongong, Australia

Braig, Christoph; Burwitz, Vadim; Käsebier, Thomas;
Kley, Ernst-Bernhard; Predehl, Peter; Tünnermann, Andreas

Resolution limits of transmission optics for x-ray astronomy

SPIE Proceedings Vol. 8443 (2012) 844341,
ISBN 9780819491442

Bramati, Arianna; Weichelt, Tina; Stürzebecher, Lorenz;
Meliorisz, Balint; Vogler, Uwe; Voelkel, Reinhard

AMALITH: Advanced mask aligner lithography

113. Jahrestagung DGaO,
29.5.-2.6.2012, Eindhoven, Netherlands
Proceedings DGaO (2012) A001,
ISSN 1614-8436

Bräuer-Burchardt, Christian; Kühmstedt, Peter; Notni, Gunther

Ultra-precise hybrid lens distortion correction

ICIVC 2012 – International Conference on Image and Vision
Computing, 14.-16.11.2012, Venice, Italy

Bräuer-Burchardt, Christian; Kühmstedt, Peter; Notni, Gunther

Combination of sinusoidal and single binary pattern projection for fast 3D surface reconstruction

DAGM-OAGM 2012,
28.-31.8.2012, Graz, Austria

Bräuer-Burchardt, Christian; Zwick, Susanne; Notni, Gunther;
Beier, Matthias; Gebhardt, Andreas

A simulation model for the development of an aspheric lens adjustment system

SPIE Optical Systems Design, 26.-29.11.2012, Barcelona, Spain
SPIE Proceedings Vol. 8550 (2012) 855008,
ISBN 9780819493019

Breitbarth, Andreas

Hochdynamische 3-D-Verfahren

Fraunhofer-Allianz VISION Seminar mit Praktikum „Optische
3-D-Messtechnik für die Qualitätssicherung in der Produk-
tion“, 5.-6.12.2012, Jena, Deutschland

Breitbarth, Andreas; Kühmstedt, Peter; Notni, Gunther;
Denzler, Joachim

Motion compensation for three-dimensional measurements of macroscopic objects using fringe projection

113. Jahrestagung DGaO, 29.5.-2.6.2012,
Eindhoven, Netherlands
Proceedings DGaO (2012) A11, ISSN 1614-8436

Breitbarth, Martin; Notni, Gunther; Hage, Holger

Prüfen von Freiformflächen: Übersicht und Ergebnisse aus dem BMBF-Projekt „Mesofrei“

VDI Wissensforum »Kunststoffe in Optischen Systemen«,
7.-8.11.2012, Baden-Baden, Deutschland

Bruchmann, Claudia; Appelfelder, Michael; Beckert, Erik;
Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas

Thermo-mechanical properties of a deformable mirror with screen printed actuator

SPIE Proceedings Vol. 8253 (2012) 82530D,
ISBN 9780819488961

Brückner, Andreas; Oberdörster, Alexander; Leitel, Robert;
Dannberg, Peter; Wippermann, Frank; Bräuer, Andreas

Electronic Cluster Eye: A multi aperture approach to wafer-level camera lenses

International Symposium on Microoptical Imaging and
Projection, 27.-29.11.2012, Jena, Germany

Burkhardt, Thomas; Beckert, Erik; Hornaff, Marcel;
Thiele, Julia; Burkhardt, Diana; Galan, Miguel;

Gilaberte, Marta; Ferrando, Sergi; Montes, David; Ribes, Pol;
Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas

Solder joining of a miniaturized laser on a multi-material smart platform

Smart Systems Integration, 21.-22.3.2012, Zurich, Switzerland
Proceedings SSI (2012) paper 60, ISBN 978-3-8007-3423-8

Burkhardt, Thomas; Hornaff, Marcel; Acker, Anne; Peschel, Thomas; Becker, Erik; Suphan, Karl-Heinz; Mensel, Karsten; Jirak, Stephan; Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas
Ultraviolet LED multi-chip module based on ceramic substrate

IMAPS/ACerS 8th International CICMT Conference and Exhibition, 16.-19.4.2012, Erfurt, Germany
Proceedings IMAPS/ACerS (2012) p. 238-245

Burkhardt, Thomas; Hornaff, Marcel; Beckert, Erik
Hermetic Sealing of Intracorporeal and Biomedical Devices by Solderjet Bumping

COMPAMED High-Tech Forum by IVAM, 14.-16.11.2012, Düsseldorf, Germany

Burmeister, Frank; Zeitner, Uwe D.; Nolte, Stefan; Tünnermann, Andreas

Hybrid optics for three-dimensional microstructuring of polymers via direct laser writing

SPIE Proceedings Vol. 8249 (2012) 824910, ISBN 9780819488923

Carius, Reinhard; Michaelis, Dirk; Moulin, Emmanuel; Paetzold, Ursula; Wächter, Christoph

Modelling of nanoparticle arrays in Si solar cells

19th International Workshop on Optical Waveguide Theory and Numerical Modelling (OWTNNM) 2012, 20.-21.4.2012, Barcelona, Spain

Coriand, Luisa; Duparré, Angela; Tünnermann, Andreas
Investigation of hydrophilic optical coatings with anti-fog behavior

8th International Symposium on Contact Angle, Wettability and Adhesion, 13.-15.6.2012, Québec, Canada

Danz, Norbert; Sinibaldi, Alberto; Michelotti, Francesco; Descrovi, Emiliano; Munzert, Peter; Schulz, Ulrike; Sonntag, Frank

Steigerung der Empfindlichkeit markierungsfreier optischer Sensoren mittels Bloch-Oberflächenwellen

16. Heiligenstädter Kolloquium »Technische Systeme für die Lebenswissenschaften«, 24.-26.9.2012, Heiligenstadt, Deutschland
Proceedings S. 23-30, ISBN 978-3-00-039458-4

Danz, Norbert; Sinibaldi, Alberto; Michelotti, Francesco; Descrovi, Emiliano; Munzert, Peter; Schulz, Ulrike; Sonntag, Frank

Improving the sensitivity of optical biosensors by means of Bloch surface waves

46. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik (DGBMT), 16.-19.9.2012, Jena, Germany

Demmler, Stefan; Hädrich, Steffen; Rothhardt, Jan; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

Octave spanning amplification in single color pumped OPCPA system at megahertz repetition rate

Proceedings Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS), OSA Technical Digest (2012) QM4E.8

Demmler, Stefan; Rothhardt, Jan; Hädrich, Steffen; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

Octave spanning optical parametric amplification of CEP stable sub-two cycle pulses at high average power

Proceedings Lasers, Sources, and Related Photonic Devices, OSA Technical Digest (2012) AT2A.4, ISBN 978-1-55752-933-6

Döring, Sven; Richter, Sören; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan
Influence of pulse duration on the hole formation during short and ultrashort pulse laser deep drilling

SPIE Proceedings Vol. 8247 (2012) 824717, ISBN 9780819488909

Dreisow, Felix; Longhi, Stefano; Nolte, Stefan; Tünnermann, Andreas; Szameit, Alexander

Dynamical pair production in optical waveguide arrays

Proceedings Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS), OSA Technical Digest (2012) QTh1E.5

Dunkel, Jens; Wippermann, Frank; Bräuer, Andreas

Fabrication of microstructures with continuous surface profiles and very large sag heights by laser lithography

SPIE Proceedings Vol. 8248 (2012) 824807, ISBN 9780819488916

Duparré, Angela

Streulichtverfahren zur Rauheitsbewertung von Oberflächen

Fraunhofer-Allianz VISION Technologietag 2012 „Innovative Technologien für die industrielle Qualitätssicherung mit Bildverarbeitung“, 17.-18.10.2012, Jena, Deutschland

Duparré, Angela; Trost, Markus

Funktionsrelevante Rauheitsanalyse durch kombinatorische Verfahren

VDI-Tagung „Optische Messung von Funktionsflächen in der Praxis“, 21.-22.11.2012, Nürtingen, Deutschland

Eberhardt, Ramona; Kalkowski, Gerhard; Tünnermann, Andreas; Beckert, Erik; Böhme, Steffen

New joining technologies for high stable and smart optical systems

Proceedings Optical Fabrication and Testing (OFT), OSA Technical Digest (2012) OTu3D.1

Eilenberger, Falk; Minardi, Stefano; Szameit, Alexander;
Röpke, Ulrich; Kobelke, Jens; Schuster, Kay; Bartelt, Hartmut;
Nolte, Stefan; Tünnermann, Andreas; Pertsch, Thomas

Nonlinear spectral symmetry breaking of light bullets in waveguide arrays

Proceedings Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS), OSA Technical Digest (2012) QF1G.6

Feigl, Torsten; Perske, Marco; Pauer, Hagen; Fiedler, Tobias;
Yulin, Sergiy; Kaiser, Norbert; Tünnermann, Andreas; Böwering, Norbert; Ershov, Alex; Hoffmann, Kay; La Fontaine, Bruno

Enhanced lifetime and optical performance of the NXE:3100 LPP collector mirrors

2012 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography, 2.10.2012, Brussels, Belgium

Feigl, Torsten; Perske, Marco; Pauer, Hagen; Fiedler, Tobias;
Yulin, Sergiy; Trost, Marcus; Schroeder, Sven; Duparré, Angela;
Kaiser, Norbert; Tünnermann, Andreas; Böwering, Norbert;
Ershov, Alex; Hoffmann, Kay; La Fontaine, Bruno;
Cummings, Kevin D.

Optical performance of LPP multilayer collector mirrors

SPIE Proceedings Vol. 8322 (2012) 832217,
ISBN 9780819489784

Finck, Alexander von; Hauptvogel, Matthias; Duparré, Angela
Optical performance and symmetry assessment of diamond cuts using the ALBATROSS-TT system

113. Jahrestagung DGaO,
29.5.-2.6.2012, Eindhoven, Netherlands

Fischer, Stephanie; Sieler, Marcel; Schreiber, Peter; Dannberg, Peter
The array projector: Breaking Scheimpflug's rule

113. Jahrestagung DGaO,
29.5.-2.6.2012, Eindhoven, Netherlands

Flügge, Jens; Beckert, Erik; Jennett, Nigel; Maxwell, Tony;
Petit, Daniel; Rudtsch, Steffen; Salgado, J.; Schalles, Marc;
Schödel, René; Voigt, Dirk; Voigt, Michael

The EMRP Project „Thermal design and dimensional drift“

Proceedings 12th euspen International Conference and Exhibition, 4.-8.6.2012, Stockholm, Sweden (2012) p. 80-83,
ISBN 978-0-9566790-0-0

Franke, Christian; Schürmann, Mark; Wilbrandt, Steffen; Kaiser, Norbert
Simulation der Abscheidung von dielektrischen Schichtsystemen auf große optische Bauteile

8. ThGOT, Thementage Grenz- und Oberflächentechnik/3.
Optik-Kolloquium Dünne Schichten in der Optik, 4.-6.9.2012,
Leipzig, Deutschland
Proceedings 8. ThGOT (2012) S. 402-403, ISBN 978-3-00-038451-6

Fuchs, Frank; Michaelis, Dirk; Zeitner, Uwe D.;
Kley, Ernst-Bernhard

Avoiding Resonance in Dielectric Reflection Gratings

8th EOS Topical Meeting on Diffractive Optics 2012,
27.2.-1.3.2012, Delft, Netherlands

Fuchs, Werner; Kühmstedt, Peter

Entwicklung und Einsatz eines Schneidkantensensors

Anwenderkonferenz Optische Mikrosysteme,
20.-21.11.2012, Erfurt, Deutschland

Füchsel, Kevin; Bingel, Astrid; Blumröder, Ulrike; Schulz, Ulrike;
Kaiser, Norbert

Nanostrukturierte Grenzflächen und dünne Schichten für die Photovoltaik

Proceedings 8. ThGOT, Thementage Grenz- und Oberflächentechnik/3. Optik-Kolloquium Dünne Schichten in der Optik, 4.-6.9.2012, Leipzig, Deutschland (2012) S. 325-330,
ISBN 978-3-00-038451-6

Gebhardt, Andreas; Damm, Christoph; Kinast, Jan; Rohloff, Ralf-Rainer; Lenzen, Rainer; Rochau, Boyke

Ultraprecision manufacturing and alignment of the GRAVITY K-Mirror for the very large telescope interferometer

12th euspen International Conference and Exhibition,
4.-8.6.2012, Stockholm, Sweden
Proceedings (2012) p. 116-120, ISBN 978-0-9566790-0-0

Gerth, Carsten; Brahm, Anika; Zwick, Susanne; Notni, Gunther
Investigation of textile spectral properties for the THz video camera

IRMMW-THZ 2012, 37th International Conference on Infrared, Terahertz and Millimeter Waves,
23.-28.9.2012, Wollongong, Australia

Gräfe, Markus; Solntsev, Alexander S.; Keil, Robert;
Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Szameit, Alexander;
Sukhorukov, Andrey A.; Kivshar, Yuri S.

Classical optical simulation of bi-photon generation in quadratic waveguide arrays

Proceedings Nonlinear Photonics (NP),
OSA Technical Digest (2012) NW2D.2

Grange, Rachel; Brönstrup, Gerald; Sergejev, Anton; Richter, Jessica; Pertsch, Thomas; Tünnermann, Andreas; Christiansen, Silke; Leiterer, Christian; Fritzsche, Wolfgang; Gutsche, Christoph; Lysov, Andrey; Prost, Werner; Tegude, Franz-Josef
Imaging of waveguiding and scattering interferences in individual GaAs nanowires via second-harmonic generation
SPIE Proceedings Vol. 8424 (2012) 84241J,
ISBN 9780819491169

Großmann, Constanze; Gawronski, Ute; Breitbarth, Martin; Baumgarten, Judith; Notni, Gunther; Tünnermann, Andreas
3D metrology system based on a bidirectional OLED microdisplay
SID Display Week 2012 International Symposium, Seminar and Exhibition, 3.-8.6.2012, Boston, MA, USA

Großmann, Constanze; Gawronski, Ute; Breitbarth, Martin; Notni, Gunther; Tünnermann, Andreas
3-D metrology system based on a bi-directional OLED microdisplay
SPIE Photonics Europe 2012,
16.-19.4.2012, Brussels, Belgium
SPIE Proceedings Vol. 8429 (2012) 842903,
ISBN 9780819491213

Großmann, Constanze; Gawronski, Ute; Riehemann, Stefan; Notni, Gunther; Tünnermann, Andreas
First step to the development of an optical system based on a bi-directional OLED microdisplay: Specified display characterization
SID-ME Spring Meeting 2012,
7.-8.5.2012, Stockholm, Schweden

Großmann, Constanze; Gawronski, Ute; Perske, Franziska; Notni, Gunther; Tünnermann, Andreas
Optical system design based on bi-directional sensor devices
SPIE Optics + Photonics, 12.-16.8.2012, San Diego, CA, USA
SPIE Proceedings Vol. 8487 (2012) 848706,
ISBN 9780819492043

Gutzeit, Nam; Müller, Jens; Bruchmann, Claudia; Gebhardt, Sylvia
Manufacturing and characterization of a deformable LTCC membrane with integrated temperature sensors, strain gauges and heating structures
IMAPS/ACerS 8th International CICMT Conference and Exhibition, 16.-19.4.2012, Erfurt, Germany
Proceedings IMAPS/ACerS (2012) p. 512-519

Hädrich, Steffen; Krebs, Manuel; Demmler, Stefan; Rothhardt, Jan; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
Megahertz high harmonic generation at the μW level with fiber CPA systems
Proceedings Research in Optical Sciences (HILAS), OSA Technical Digest (2012) HM3C.1

Hädrich, Steffen; Rothhardt, Jan; Carstens, Henning; Demmler, Stefan; Gottschall, Thomas; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
High peak and average power generation by cascaded nonlinear compression of fiber CPA system
SPIE Proceedings Vol. 8237 (2012) 82371O,
ISBN 9780819488800

Hädrich, Steffen; Rothhardt, Jan; Carstens, Henning; Demmler, Stefan; Herrick, Nicholas; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
100 W nonlinear compression in hollow core fibers at 1 MHz repetition rate
Proceedings Lasers, Sources, and Related Photonic Devices, OSA Technical Digest (2012) AT1A.6, ISBN 978-1-55752-933-6

Harzendorf, Torsten; Stürzebecher, Lorenz; Zeitner, Uwe Detlef
Novel gap alignment sensor for high-resolution proximity lithography
SPIE Photonics Europe 2012, 16.-19.4.2012, Brussels, Belgium
SPIE Proceedings Vol. 8428 (2012) 842815,
ISBN 9780819491206

Heidler, Nils; Gossel, Marcus; Risse, Stefan; Eberhardt, Ramona; Schenk, Christoph
Mechanical vacuum feedthrough using gas lubricated guiding elements
27th Annual Meeting of the American Society for Precision Engineering (ASPE), 21.-26.10.2012, San Diego, CA, USA
Proceedings ASPE (2012) p. 386-289, ISBN 978-1-887706-61-2

Heinrich, Matthias; Lahini, Yoav; Keil, Robert; Naether, Uta; Dreisow, Felix; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Szameit, Alexander
Disorder-enhanced nonlinear delocalization in segmented photonic lattices
Proceedings Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS), OSA Technical Digest (2012) QM1E.7

Herffurth, Tobias; Schröder, Sven; Duparré, Angela
Defect assessment of optical surfaces using the light scatter sensor HOROS
113. Jahrestagung DGaO,
29.5.-2.6.2012, Eindhoven, Netherlands

Herfurth, Tobias; Schröder, Sven; Trost, Marcus;
Duparré, Angela

Light scattering to detect imperfections relevant for laser-induced damage

Laser Damage Symposium XLIV: Annual Symposium on Optical Materials for High Power Lasers, 23.-26.9.2012, Boulder, Colorado, USA
SPIE Proceedings Vol. 8530 (2012) 85301B, ISBN 9780819492708

Holzberger, Simon; Pupeza, Ioachim; Esser, Dominik; Weitenberg, Johannes; Carstens, Henning; Eidam, Tino; Russbüldt, Peter; Limpert, Jens; Udem, Thomas; Tünnermann, Andreas; Hänsch, Theodor; Krausz, Ferenc; Fill, Ernst

Sub-25 nm high-harmonic generation with a 78-MHz repetition rate enhancement cavity

Proceedings Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS), OSA Technical Digest (2012) QTh5B.7

Holzberger, Simon; Pupeza, Ioachim; Kaster, Jan; Eidam, Tino; Bernhardt, Birgitta; Vernaleken, Andreas; Pronin, Oleg; Pervak, Volodymyr; Holzwarth, Ronald; Udem, Thomas; Limpert, Jens; Apolonskiy, Alexander; Fill, Ernst E.; Hänsch, Theodor W.; Tünnermann, Andreas; Krausz, Ferenc

Power scaling limitations for cavity-assisted high-harmonic generation

Proceedings Lasers, Sources, and Related Photonic Devices, OSA Technical Digest (2012) AM4A.12, ISBN 978-1-55752-933-6

Jacobitz, Tassilo; Kroker, Stefanie; Käsebier, Thomas; Kley, Ernst-Bernhard; Tünnermann, Andreas

Tuning the reflectivity of high contrast gratings based on silicon and silica by means of wet etching with hydrofluoric acid

SPIE Proceedings Vol. 8270 (2012) 82700U, ISBN 9780819489135

Jansen, Florian; Stutzki, Fabian; Liem, Andreas; Jauregui, Cesar; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

High power Q-switched fiber laser system delivering 22mJ pulse energy with excellent beam quality

Proceedings Lasers, Sources, and Related Photonic Devices, OSA Technical Digest (2012) AT1A.4, ISBN 978-1-55752-933-6

Jansen, Florian; Stutzki, Fabian; Liem, Andreas; Jauregui, Cesar; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

26-mJ pulse energy Q-switched large-pitch fiber laser system with excellent beam quality

SPIE Proceedings Vol. 8237 (2012) 82371S, ISBN 9780819488800

Jansen, Florian; Stutzki, Fabian; Otto, Hans-Jürgen; Eidam, Tino; Liem, Andreas; Jauregui, Cesar; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

Thermal waveguide changes in high power fiber lasers

Proceedings Fiber Lasers and Applications (FILAS), OSA Technical Digest (2012) FTh3A.3

Jarczynski, M.; Mitra, T.; Ivanenko, M.; Aschke, L.; Wächter, C.; Fuchs, U.; Linke, T.; Kiontke, S.

Monolithic optical components for splitting of high-power beams

SPIE Optical Design and Systems Engineering, 12.-16.8.2012, San Diego, CA, USA
SPIE Proceedings Vol. 8490 (2012) 84900Q, ISBN 9780819492074

Jauregui, Cesar; Eidam, Tino; Otto, Hans-Jürgen; Stutzki, Fabian; Jansen, Florian; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

Thermally induced index gratings in few-mode high-power fiber laser systems

Proceedings Lasers, Sources, and Related Photonic Devices, OSA Technical Digest (2012) AT4A.10, ISBN 978-1-55752-933-6

Jauregui, Cesar; Eidam, Tino; Otto, Hans-Jürgen; Stutzki, Fabian; Jansen, Florian; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

On the thermal origin of mode instabilities in high power fiber lasers

SPIE Proceedings Vol. 8237 (2012) 82370D, ISBN 9780819488800

Jauregui, Cesar; Steinmetz, Alexander; Nodop, Dirk; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

All-Fiber Parametric Generation of Sub-100ps Pulses at 650nm with 9Watt Average Power

Proceedings Lasers, Sources, and Related Photonic Devices, OSA Technical Digest (2012) AT1A.7, ISBN 978-1-55752-933-6

Jobst, Paul Johannes; Schürmann, Mark; Gebhardt, Andreas; Risse, Stefan; Kaiser, Norbert

Polierbare Siliziumschichten zur Herstellung ultra-präziser optischer Komponenten

8. ThGOT, Thementage Grenz- und Oberflächentechnik/3. Optik-Kolloquium Dünne Schichten in der Optik, 4.-6.9.2012, Leipzig, Deutschland

Proceedings 8. ThGOT (2012) S. 419-420, ISBN 978-3-00-038451-6

Jocher, Christoph; Jauregui, Cesar; Voigtländer, Christian; Stutzki, Fabian; Nolte, Stefan; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas

Fiber based generation of azimuthally polarized light

SPIE Proceedings Vol. 8237 (2012) 82373Q, ISBN 9780819488800

Jocher, Christoph; Jauregui, Cesar; Voigtländer, Christian; Stutzki, Fabian; Nolte, Stefan; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
Fiber based modal filter for radially and azimuthally polarized beams
Proceedings Fiber Lasers and Applications (FILAS), OSA Technical Digest (2012) FW5C.3

Kalkowski, Gerhard; Peschel, Thomas; Hassall, Geoffrey; Risse, Stefan
Investigations into an electrostatic chuck design for 450 mm Si wafer
SPIE Advanced Lithography, 12.-16.2.2012, San Jose, CA, USA
SPIE Proceedings Vol. 8324 (2012) 83242Z, ISBN 9780819489807

Keil, Robert; Lahini, Yoav; Shechtman, Yoav; Heinrich, Matthias; Pugatch, Rami; Dreisow, Felix; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Szameit, Alexander
Self-imaging through a disordered waveguide lattice
Proceedings Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS), OSA Technical Digest (2012) QF1H.1

Kinast, Jan; Gebhardt, Andreas; Schönherr, Veit; Eberhardt, Ramona
Analyse des thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Chemisch Nickel für Tieftemperaturanwendungen
2. Workshop Oberflächentechnik, 6.-7.9.2012, Ilmenau, Deutschland
Proceedings (2012) S. 42-46, ISBN 978-3-938843-72-7

Klenke, Arno; Seise, Enrico; Bretkopf, Sven; Demmler, Stefan; Rothhardt, Jan; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
3mJ coherently combined two channel femtosecond fiber CPA laser system
Proceedings Lasers, Sources, and Related Photonic Devices, OSA Technical Digest (2012) AM3A.3, ISBN 978-1-55752-933-6

Klenke, Arno; Seise, Enrico; Bretkopf, Sven; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
Analytical and experimental analysis of the stability of coherently combined femtosecond laser systems
Proceedings Lasers, Sources, and Related Photonic Devices, OSA Technical Digest (2012) AM4A.2, ISBN 978-1-55752-933-6

Klenke, Arno; Seise, Enrico; Demmler, Stefan; Rothhardt, Jan; Bretkopf, Sven; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
Coherently combined CPA fiber laser system delivering 3mJ femtosecond pulses
SPIE Proceedings Vol. 8237 (2012) 823708, ISBN 9780819488800

Klenke, Arno; Seise, Enrico; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
Analytical analysis of coherent combining of ultrashort laser pulses
SPIE Proceedings Vol. 8237 (2012) 82373R, ISBN 9780819488800

Kley, Ernst-Bernhard; Schmidt, Holger; Zeitner, Uwe; Banasch, Michael; Schnabel, Bernd
Enhanced E-beam pattern writing for nano-optics based on character projection
SPIE Proceedings Vol. 8352 (2012) 83520M, ISBN 978-081949030-8

Krebs, Manuel; Hädrich, Steffen; Demmler, Stefan; Rothhardt, Jan; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
High repetition rate few-cycle OPCPA for generation of isolated attosecond pulses
Proceedings Research in Optical Sciences (HILAS), OSA Technical Digest (2012) HT3C.1

Kroker, Stefanie; Käsebier, Thomas; Weber, Thomas; Steiner, Stefan; Fuchs, Frank; Kley, Ernst-Bernhard; Tünnermann, Andreas
Diffraction optical elements based on subwavelength high-contrast gratings
SPIE Proceedings Vol. 8270 (2012) 82700P, ISBN 9780819489135

Kroll, Matthias; Otto, Martin; Käsebier, Thomas; Fuchs, Kevin; Wehrspohn, Ralf; Kley, Ernst-Bernhard; Tünnermann, Andreas; Pertsch, Thomas
Black silicon for solar cell applications
SPIE Proceedings Vol. 8438 (2012) 843817, ISBN 9780819491305

Kühmstedt, Peter
Robuste Multi-View-3-D-Messsysteme in Rapid Prototyping- und Qualitätssicherungs-Prozessketten
Fraunhofer-Allianz VISION Seminar mit Praktikum »Optische 3-D-Messtechnik für die Qualitätssicherung in der Produktion«, 5.-6.12.2012, Jena, Deutschland

Kühmstedt, Peter; Notni, Gunther
Ultraschnelle Vermessung von Lotpasten
CoOPTICS Jahrestagung 2012 – Status und Ergebnisse, 17.10.2012, Jena, Deutschland

Kühmstedt, Peter; Ramm, Roland; Heinze, Matthias; Schmidt, Ingo; Notni, Gunther
3D-Schneidkantenvermessung von Präzisionswerkzeugen
113. Jahrestagung DGaO, 29.5.-2.6.2012, Eindhoven, Netherlands

Lange, Nicolas; Wippermann, Frank; Beckert, Erik;
Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas
High stroke polymer based electrostatic actuators
Actuator 2012, International Conference and Exhibition on New Actuators and Drive Systems, 18.-20.6.2012, Bremen, Germany
Proceedings Actuator 2012, p. 709-712, ISBN 978-3-933339-20-1

Lange, Nicolas; Wippermann, Frank; Beckert, Erik;
Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas
Successful fabrication of polymer based low voltage electrostatic actuators
MME 2012, 23rd Micromechanics and Microsystems Europe Workshop, 9.-12.9.2012, Ilmenau, Germany
Proceedings MME 2012, C 02, ISBN 978-3-938843-71-0

Legall, Herbert; Stiel, Holger; Blobel, H. G.; Seim, Christian;
Baumann, J.; Yulin, Sergiy; Esser, Dominik; Hofer, M.; Wiesemann, Urs; Wirtz, M.; Schneider, Gerd; Rehbein, Stefan; Hertz, Hans
A compact laboratory full field soft x-ray transmission microscope for the water window
11th International Conference on X-ray Microscopy, 5.-10.8.2012, Shanghai, China

Limpert, Jens; Rothhardt, Jan; Hädrich, Steffen;
Demmler, Stefan; Krebs, Manuel; Tünnermann, Andreas
Fiber laser pumped MHz high repetition rate few-cycle OPCPA system
Proceedings Frontiers in Optics (FIO),
OSA Technical Digest (2012) FTu5B.1

Lippmann, Uwe; Notni, Gunther; Merschdorf, Matthias
Stray light analysis of multi-spectral optical filters
International Light Simulation Symposium (ILISIS) 2012, 7.-8.3.2012, Nürnberg, Germany
Proceedings ILISIS 2012, p. 199-215, ISBN 978-3941417847

Ludewigt, Klaus; Riesbeck, Thomas; Schünemann, B.;
Graf, A.; Jung, Markus; Schreiber, Thomas;
Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas
Overview of the laser activities at Rheinmetall Waffe Munition
SPIE Proceedings Vol. 8547 (2012) 854704,
ISBN 9780819492883

Lutzke, Peter; Kühmstedt, Peter; Notni, Gunther
Effiziente Simulation von optischen 3D Messungen an transluzenten Messobjekten
11. Oldenburger 3D-Tage, 1.-2.2.2012, Oldenburg, Deutschland
Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2012, S. 146-153,
ISBN 978-3-87907-515-7

Lutzke, Peter; Kühmstedt, Peter; Notni, Gunther
Fast error simulation of optical 3D measurements at translucent objects
SPIE Optics + Photonics, 12.-16.8.2012, San Diego, CA, USA
SPIE Proceedings Vol. 8493 (2012) 84930U,
ISBN 9780819492104

Lutzke, Peter; Kühmstedt, Peter; Notni, Gunther
Simulation des Messfehlers und Bestimmung von Modellparametern bei der optischen 3D-Vermessung
113. Jahrestagung DGaO,
29.5.-2.6.2012, Eindhoven, Netherlands

Minovich, Aliaksandr; Klein, Angela E.; Steinert, Michael;
Janunts, Norik; Tünnermann, Andreas; Bleckmann, Felix;
Linden, Stefan; Pertsch, Thomas; Neshev, Dragomir; Kivshar, Yuri
Non-diffracting airy surface plasmons: Generation, manipulation, and interference
Proceedings Frontiers in Optics (FIO),
OSA Technical Digest (2012) FW2F.4

Mohaupt, Matthias; Beckert, Erik; Burkhardt, Thomas;
Hornaff, Marcel; Damm, Christoph; Eberhardt, Ramona;
Tünnermann, Andreas; Döring, Hans-Joachim; Reimer, Klaus
Precisely assembled multi deflection arrays – key components for multi shaped beam lithography
Svetan Ratchev (Ed.), Precision Assembly Technologies and Systems, Proceedings 6th IFIP WG 5.5 International Precision Assembly Seminar, IPAS 2012, 12-15.2.2012, Chamonix, France (2012) p. 42-50,
ISBN 978-3-642-28162-4

Mundus, Markus; Thomas, Jens U.; Voigtländer, Christian;
Becker, Ria G.; Jauregui, Cesar; Tünnermann, Andreas;
Nolte, Stefan
CGH-based real-time analysis of fiber Bragg gratings in few mode LMA fibers
SPIE Proceedings Vol. 8237 (2012) 823712,
ISBN 9780819488800

Munzert, Peter; Präfke, Christiane; Schulz, Ulrike;
Kaiser, Norbert
Nanostrukturen zur Verbesserung der Lackhaftung auf Kunststoffoberflächen
8. ThGOT, Thementage Grenz- und Oberflächentechnik/3.
Optik-Kolloquium Dünne Schichten in der Optik,
4.-6.9.2012, Leipzig, Deutschland
Proceedings 8. ThGOT, (2012) S. 355-359,
ISBN 978-3-00-038451-6

Munzert, Peter; Präfke, Christiane; Schulz, Ulrike; Kaiser, Norbert
Formation of plasma-generated nanostructures on polymer surfaces for various polymer types
13th International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE 2012), 10.-14.9.2012, Garmisch-Partenkirchen, Germany

Naether, Uta; Rojas-Rojas, Santiago; Stützer, Simon; Heinrich, Matthias; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Vicencio, Rodrigo A.; Szameit, Alexander
Delocalization enhancement induced by weak disorder and nonlinearity
Proceedings Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS), OSA Technical Digest (2012) QM1E.4

Notni, Gunther
Entwicklung zur Terahertz-Tomographie am Fraunhofer IOF
IPHT Kolloquium, 13.6.2012, Jena, Deutschland

Notni, Gunther
Messen mit CT in der optischen Industrie
Fraunhofer-Allianz VISION Seminar, Industrielle Röntgentechnik als zerstörungsfreies Prüfverfahren für die Qualitätssicherung in der Produktion, 28.-29.3.2012, Fürth, Deutschland

Notni, Gunther
Hochdynamische optische 3-D-Messtechniken
Fraunhofer-Allianz VISION Technologietag 2012
»Innovative Technologien für die industrielle Qualitätssicherung mit Bildverarbeitung«,
17.-18.10.2012, Jena, Deutschland

Notni, Gunther
Überblick über Verfahren der optischen 3-D-Messtechnik
Fraunhofer-Allianz VISION Technologietag 2012
»Innovative Technologien für die industrielle Qualitätssicherung mit Bildverarbeitung«,
17.-18.10.2012, Jena, Deutschland

Notni, Gunther; Brahm, Anika; Bauer, Maris; Hoyer, Theo; Quast, Holger; Löffler, Torsten; Riehemann, Stefan; Tünnermann, Andreas
3D computed terahertz tomography
International Forum on Terahertz Spectroscopy and Imaging,
6.-7.3.2012, Kaiserslautern, Germany

Notni, Gunther; Kühmstedt, Peter
Mesofrei – Multiscale freeform measurement
OptoNet Workshop „Ultra Precision Manufacturing of Aspheres and Freeforms“, 26.-27.9.2012, Jena, Germany

Oberdörster, Alexander; Brückner, Andreas; Bräuer, Andreas; Lensch, Hendrik
Refocusing with thin micro-optical cameras
IEEE International Conference on Computational Photography 2012 (ICCP), 27.-29.4.2012, Seattle, USA

Oberdörster, Alexander; Brückner, Andreas; Wippermann, Frank; Bräuer, Andreas; Lensch, Hendrik
Digital focusing and refocusing with thin multi-aperture cameras
SPIE Electronic Imaging 2012,
22.-26.1.2012, Burlingame, CA, USA
SPIE Proceedings Vol. 8299 (2012) 829907, ISBN 9780819489463

Oliva, Maria; Michaelis, Dirk; Fuchs, Frank; Zeitner, Uwe D.
Effective-medium enhanced three-level grating in resonance domain
8th EOS Topical Meeting on Diffractive Optics 2012,
27.2.-1.3.2012, Delft, Netherlands

Otto, Hans-Jürgen; Jauregui, Cesar; Eidam, Tino; Stutzki, Fabian; Jansen, Florian; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
Dynamics and origin of mode instabilities in high power fiber laser amplifiers
Proceedings CLEO: Science and Innovations (CLEO: S and I), OSA Technical Digest (2012) CF2N.7

Otto, Hans-Jürgen; Stutzki, Fabian; Jansen, Florian; Eidam, Tino; Jauregui, Cesar; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
Experimental Study of Mode Instabilities in High Power Fiber Amplifiers
Proceedings Lasers, Sources, and Related Photonic Devices, OSA Technical Digest (2012) AM4A.5, ISBN 978-1-55752-933-6

Pabst, Oliver; Beckert, Erik; Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas
Inkjet printing of functional structures for lab-on-chip systems
Smart Systems Integration, 21.-22.3.2012, Zurich, Switzerland
Proceedings SSI (2012) paper 33, ISBN 978-3-8007-3423-8

Pabst, Oliver; Perelaer, Jolke; Beckert, Erik; Schubert, Ulrich S.; Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas
Static and dynamic behavior of all inkjet-printed piezoelectric polymer actuators for use in microfluidic systems
Actuator 2012, International Conference and Exhibition on New Actuators and Drive Systems,
18.-20.6.2012, Bremen, Germany
Proceedings Actuator 2012, p. 414-417,
ISBN 978-3-933339-20-1

Peschel, Thomas; Kalkowski, Gerhard; Eberhardt, Ramona
Influence of thermal load on 450mm Si-wafer IPD during lithographic patterning

SPIE Advanced Lithography,
12.-16.2.2012, San Jose, CA, USA
SPIE Proceedings Vol. 8323 (2012) 83230J,
ISBN 9780819489791

Peters, Christa; Böhme, Steffen
Skalierbare Faserschmelzkoppler

Anwenderkonferenz Optische Mikrosysteme,
20.-21.11.2012, Erfurt, Deutschland

Präfke, Christiane; Schulz, Ulrike; Kaiser, Norbert;
Tünnermann, Andreas
UV/VIS and FTIR spectroscopic investigations of organic-inorganic hybrid layers for UV protection

9th International Conference on Coatings on Glass and Plastics (ICCG 9), 24.-28.6.2012, Breda, Netherlands
Proceedings ICCG 9 (2012) p. 257-261,
ISBN 978-905986-404-7

Pulsack, Julian; Füchsel, Kevin; Kaiser, Norbert
Herstellung und Charakterisierung nanostrukturierter ITO-Elektroden

8. ThGOT, Thementage Grenz- und Oberflächentechnik/3.
Optik-Kolloquium Dünne Schichten in der Optik,
4.-6.9.2012, Leipzig, Deutschland
Proceedings 8. ThGOT (2012) S. 411-412,
ISBN 978-3-00-038451-6

Reinlein, Claudia; Türke, Sascha; Gutzeit, Nam; Müller, Jens;
Peschel, Thomas; Burkhardt, Thomas; Beckert, Erik;
Tünnermann, Andreas

Effect of internal silver conductor on heat spreading capability of LTCC membrane

IMAPS/ACerS 8th International CICMT Conference and Exhibition, 16.-19.4.2012, Erfurt, Germany
Proceedings IMAPS/ACerS (2012) p. 353-358

Rekas, Miroslaw; Haarlammert, Nicoletta; Kliner, Andrea;
Schreiber, Thomas; Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas
Limitations of narrow-bandwidth amplification at different seed wavelengths in Ytterbium-doped fibers

Proceedings Lasers, Sources, and Related Photonic Devices,
OSA Technical Digest (2012) AT4A.25,
ISBN 978-1-55752-933-6

Richter, Daniel; Voigtländer, Christian; Thomas, Jens U.;
Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan
Discrete non-planar reflections of a fs laser pulse written volume Bragg grating (VBG)

Proceedings Bragg Gratings, Photosensitivity, and Poling in Glass Waveguides (BGPP), OSA Technical Digest (2012) BM2D.3

Richter, Sören; Döring, Sven; Zimmermann, Felix; Lesclieux, Ludovic; Eberhardt, Ramona; Nolte, Stefan; Tünnermann, Andreas
Welding of transparent materials with ultrashort laser pulses

SPIE Proceedings Vol. 8244 (2012) 824402, ISBN 9780819488879

Richter, Sören; Jia, Fei; Heinrich, Matthias; Döring, Sven; Nolte, Stefan; Tünnermann, Andreas
Enhanced formation of nanogratings inside fused silica due to the generation of self-trapped excitons induced by femtosecond laser pulses

SPIE Proceedings Vol. 8247 (2012) 82470N,
ISBN 9780819488909

Risse, Stefan
Ultrapräzise Metallspiegel mit exzellenter Form und Rauheit
410. JENAer Carl-Zeiss-Optikkolloquium,
21.2.2012, Jena, Deutschland

Risse, Stefan; Scheiding, Sebastian; Eberhardt, Ramona
Diamond machining of aspherical and freeform mirrors
113. Jahrestagung DGaO,
29.5.-2.6.2012, Eindhoven, Netherlands

Rothhardt, Carolin; Rekas, Miroslaw; Kalkowski, Gerhard; Eberhardt, Ramona; Tünnermann, Andreas
New approach to fabrication of a Faraday isolator for high power laser applications
SPIE Proceedings Vol. 8237 (2012) 82373Z, ISBN 9780819488800

Rothhardt, Jan; Demmler, Stefan; Heidt, Alexander M.; Hartung, Alexander; Bartelt, Hartmut; Rohwer, Erich G.; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
High-quality 3.6-fs pulses by compression of an octave-spanning supercontinuum
SPIE Proceedings Vol. 8240 (2012) 82400Z, ISBN 9780819488831

Rothhardt, Jan; Hädrich, Steffen; Krebs, Manuel; Carstens, Henning; Demmler, Stefan; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
Microwatt average power high harmonic generation with high repetition rate ultrafast fiber lasers
Proceedings Lasers, Sources, and Related Photonic Devices,
OSA Technical Digest (2012) AT4A.9, ISBN 978-1-55752-933-6

Schmieder, Florian; Eger, Rene; Schmieder, Stefan; Ruhnow, M.; Friedrich, Sandra; Danz, Norbert; Marx, Uwe; Sonntag, Frank
Universelle automatisierte Chipplattform zur Vermessung zellbasierter Assays

Proceedings 16. Heiligenstädter Kolloquium „Technische Systeme für die Lebenswissenschaften“, 24.-26.9.2012, Heiligenstadt, Deutschland (2012) S. 197-204, ISBN 978-3-00-039458-4

Schmidt, Tobias D.; Flämmich, Michael; Scholz, Bert J.; Michaelis, Dirk; Mayr, Christian; Danz, Norbert; Brütting, Wolfgang
Non-isotropic emitter orientation and its implications for efficiency analysis of organic light-emitting diodes
SPIE Proceedings Vol. 8435 (2012) 843513, ISBN 9780819491275

Schröder, Sven
Charakterisierung von Mikro- und Nanostrukturen
Fraunhofer-Allianz VISION Seminar mit Praktikum „Inspektion und Charakterisierung von Oberflächen mit Bildverarbeitung“, 21.-22.11.2012, Karlsruhe, Deutschland

Schröder, Sven; Finck, Alexander von; Herffurth, Tobias; Duparré, Angela
Quality assessment of precision optical surfaces through light scattering techniques
OSA Optical Fabrication and Testing (OFT), 24.-28.6.2012, Monterey, USA
Proceedings Optical Fabrication and Testing (OFT), OSA Technical Digest (2012) JTu5A.10

Schröder, Sven; Trost, Marcus; Coriand, Luisa; Duparré, Angela
Light scattering-based measurement of relevant surface roughness
OSA Optical Fabrication and Testing (OFT), 24.-28.6.2012, Monterey, USA
Proceedings Optical Fabrication and Testing (OFT), OSA Technical Digest (2012) OTu1D.2

Schröder, Sven; Trost, Marcus; Herffurth, Tobias; Duparré, Angela; Wang, Jue; Schreiber, Horst
Optical scattering – from simple models to complex applications
113. Jahrestagung DGaO, 29.5.-2.6.2012, Eindhoven, Netherlands

Schulz, Ulrike; Munzert, Peter; Kaiser, Norbert
Antireflective nanostructures for low-index substrates
9th International Conference on Coatings on Glass and Plastics (ICCG 9), 24.-28.6.2012, Breda, Netherlands
Proceedings ICCG 9 (2012) p. 267-269, ISBN 978-905986-404-7

Schulz, Ulrike; Munzert, Peter; Präfke, Christiane; Kaiser, Norbert
Wide-angle broadband AR coating by combining interference layers with a plasma-etched gradient layer
13th International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE 2012), 10.-14.9.2012, Garmisch-Partenkirchen, Germany

Schulz, Ulrike; Munzert, Peter; Präfke, Christiane; Kaiser, Norbert
Plasma-IAD of optical coatings on thermoplastics
Frontiers of Optical Coatings (FOC 2012), 15.-18.10.2012, Hangzhou, China

Schulz, Ulrike; Munzert, Peter; Präfke, Christiane; Rickelt, Friedrich; Kaiser, Norbert
Entspiegelung von Glas durch Kombination von Interferenzschichten mit plasma-geätzten Nanostrukturen
8. ThGOT, Thementage Grenz- und Oberflächentechnik/3. Optik-Kolloquium Dünne Schichten in der Optik, 4.-6.9.2012, Leipzig, Deutschland
Proceedings 8. ThGOT (2012) S. 406-408, ISBN 978-3-00-038451-6

Schürmann, Mark; Jobst, Paul Johannes; Yulin, Sergiy; Feigl, Torsten; Heiße, Hanno; Wilbrandt, Steffen; Stenzel, Olaf; Gebhardt, Andreas; Risse, Stefan; Kaiser, Norbert
Optical reflector coatings for astronomical applications from EUV to IR
SPIE Proceedings Vol. 8450 (2012) 84502K, ISBN 9780819491510

Schürmann, Mark; Jobst, Paul Johannes; Yulin, Sergiy; Feigl, Torsten; Heiße, Hanno; Wilbrandt, Steffen; Stenzel, Olaf; Kaiser, Norbert
Optical coatings from VUV to IR
SPIE Astronomical Telescopes and Instrumentation 2012, 1.-6.7.2012, Amsterdam, Netherlands

Steiner, Stefan; Kroker, Stefanie; Käsebier, Thomas; Fuchs, Frank; Kley, Ernst-Bernhard; Tünnermann, Andreas
Novel direction selective filter elements based on high-contrast gratings
SPIE Proceedings Vol. 8270 (2012) 827007, ISBN 9780819489135

Steinkopf, Ralf; Scheiding, Sebastian; Gebhardt, Andreas; Risse, Stefan
Fly-cutting and testing of freeform optics with sub- μm shape deviations
SPIE Optical Engineering + Applications, 12.-16.8.2012, San Diego, California, USA
Proceedings Vol. 8486 (2012) 84860K, ISBN 9780819492036

Steinmetz, Alexander; Jansen, Florian; Stutzki, Fabian; Lehneis, Reinhold; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
Sub-5ps high energy pulses from a fiber-amplified and compressed passively Q-switched microchip laser
SPIE Proceedings Lasers, Sources, and Related Photonic Devices, OSA Technical Digest (2012) AM4A.6, ISBN 978-1-55752-933-6

Steglich, Martin; Käsebier, Thomas; Höger, Ingmar; Kley, Ernst-Bernhard; Tünnermann, Andreas
Black Silicon nanostructures on silicon thin films prepared by reactive ion etching
Frontiers of Optical Coatings (FOC 2012), 15.-18.10.2012, Hangzhou, China

Steglich, Martin; Schreppe, Frank; Fuchs, Kevin; Kley, Ernst-Bernhard
Extrinsic Black Silicon photodiodes – Present research status and simulation
5th International Symposium on Optronics in Defence and Security (OPTRO 2012), 8.-10.2.2012, Paris, France
Proceedings OPTRO 2012, S04_11

Stover, John; Schröder, Sven; Duparré, Angela; Germer Thomas A.
Upper roughness limitations on the TIS/RMS relationship
SPIE Optics + Photonics, 12.-16.8.2012, San Diego, CA, USA
SPIE Proceedings Vol. 8495 (2012) 849503, ISBN 9780819492128

Stover, John; Schröder, Sven; Finck, Alexander von; Duparré, Angela
Estimating hemispherical scatter from incident plane measurements of isotropic samples
SPIE Optics + Photonics, 12.-16.8.2012, San Diego, CA, USA
SPIE Proceedings Vol. 8495 (2012) 84950F, ISBN 9780819492128

Stürzebecher, Lorenz; Harzendorf, Torsten; Fuchs, Frank; Zeitner, Uwe D.
Wafer scale fabrication of submicron chessboard gratings using phase masks in proximity lithography
SPIE Photonics West 2012, 21.-26.1.2012, San Francisco, CA, USA
SPIE Proceedings Vol. 8249 (2012) 82490R, ISBN 9780819488923

Stützer, Simon; Kartashov, Yaroslav; Vysloukh, Victor; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Lewenstein, Maciej; Torner, Lluís; Szameit, Alexander
Anderson cross-localization in photonic lattices
Proceedings CLEO: Science and Innovations (CLEO: S and I), OSA Technical Digest (2012) CTh4D.2

Stützer, Simon; Kottos, Tsampikos; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Christodoulides, Demetrios N.; Szameit, Alexander
Observation of super-ballistic transport in hybrid ordered/disordered photonic lattices
Proceedings Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS), OSA Technical Digest (2012) QF1H.6

Stutzki, Fabian; Jansen, Fabian; Liem, Andreas; Jauregui, Cesar; Limpert, Jens; Tünnermann, Andreas
High power Q-switched fiber laser system emitting 26 mJ pulses with near diffraction-limited beam quality
Proceedings Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS), OSA Technical Digest (2012) JTh4I.5

Szameit, Alexander; Rechtsman, Mikael C.; Dreisow, Felix; Zeuner, Julia M.; Gräfe, Markus; Tünnermann, Andreas; Segev, Mordechai; Nolte, Stefan
Relativistic physics in optical waveguide arrays: Simulating the dirac equation
Proceedings Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS), OSA Technical Digest (2012) QM1E.3

Szameit, Alexander; Stützer, Simon; Kottos, Tsampikos; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Christodoulides, Demetrios
Superballistic transport and anomalous diffusion in inhomogeneous lattices
Proceedings Frontiers in Optics (FiO), OSA Technical Digest (2012) FTh2G.1

Thomas, Jens U.; Mundus, Markus; Voigtländer, Christian; Becker, Ria G.; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan
Orientation dependence of higher order mode reflections in femtosecond pulse written fiber Bragg gratings
Proceedings Bragg Gratings, Photosensitivity, and Poling in Glass Waveguides (BGPP), OSA Technical Digest (2012) BM2D.4

Trost, Marcus; Schröder, Sven; Lin C.C.; Duparré, Angela; Tünnermann, Andreas
Roughness characterization of EUV multilayer coatings and ultra-smooth surfaces by light scattering
SPIE Optics + Photonics, 12.-16.8.2012, San Diego, CA, USA
SPIE Proceedings Vol. 8501 (2012) 85010F, ISBN 9780819492180

Tünnermann, Andreas; Eidam, Tino; Limpert, Jens
Advanced solid-state lasers are merging with accelerators
Proceedings of IPAC 2012, 20.-25.5.2012, New Orleans, Louisiana, USA (2012) p. 4157-4159, ISBN 978-3-95450-115-1

Voigtländer, Christian; Williams, Robert J.; Withford, Michael; Thomas, Jens U.; Nolte, Stefan; Tünnermann, Andreas
Femtosecond induced fiber mode filter
Proceedings CLEO: Science and Innovations (CLEO: S and I), OSA Technical Digest (2012) CTh4G.1

Völkel, Reinhard; Vogler, Uwe; Bramati, Arianna; Weichelt, Tina; Stürzebecher, Lorenz; Zeitner, Uwe D.; Motzek, Kristian; Erdmann, Andreas; Hornung, Michael; Zoberbier, Ralph
Advanced mask aligner lithography (AMALITH)
SPIE Optical Microlithography XXV, 13.-16.2.2012, San Jose, CA, USA
SPIE Proceedings Vol. 8326 (2012) 83261Y, ISBN 9780819489821

Wächter, Christoph; Michaelis, Dirk
Effects of Metallic Nanoparticle Arrays in Si Solar Cell Structures
Matheon-Workshop 2012, 5th Annual Meeting Photonic Devices, 23.-24.2.2012, Berlin, Germany

Wächter, Christoph; Michaelis, Dirk; Danz, Norbert
Approaches for tailoring organic LED emission patterns by microoptic arrays
OSA Topical Meeting Solid State and Organic Lighting (SOLED), 11.-14.11.2012, Eindhoven, Netherlands

Weber, Thomas; Käsebier, Thomas; Kroker, Stefanie; Kley, Ernst-Bernhard; Tünnermann, Andreas
High frequency binary amorphous silicon grating working as wire grid polarizer for UV applications
SPIE Proceedings Vol. 8270 (2012) 82700F, ISBN 9780819489135

Weichelt, Tina; Vogler, Uwe; Stürzebecher, Lorenz; Völkel, Reinhard; Zeitner, Uwe D.
Resolution Enhancement for Advanced Mask Aligner Lithography using phase-shifting photomasks
EOS Annual meeting EOSAM 2012, 25.-28.9.2012, Aberdeen, Scotland, UK

Wilbrandt, Steffen; Stenzel, Olaf; Heiße, Hanno; Kaiser, Norbert
Dielektrisch verstärkte Aluminiumspiegel für VUV-Anwendungen
8. ThGOT, Thementage Grenz- und Oberflächentechnik/3. Optik-Kolloquium Dünne Schichten in der Optik, 4.-6.9.2012, Leipzig, Deutschland
Proceedings 8. ThGOT (2012) S. 365-369, ISBN 978-3-00-038451-6

Zeitner, Uwe D.; Fuchs, Frank; Kley, Ernst-Bernhard
High performance dielectric diffraction gratings for space applications
SPIE Conference Astronomical Telescopes and Instrumentation, 1.-6.7.2012, Amsterdam, Netherlands
SPIE Proceedings Vol. 8450 (2012) 84502Z, ISBN 9780819491510

Zeitner, Uwe D.; Oliva, Maria; Fuchs, Frank; Michaelis, Dirk; Benkenstein, Tino; Harzendorf, Torsten; Kley, Ernst-Bernhard
High performance diffraction gratings made by e-beam lithography
META 2012 – 3rd International conference on metamaterials, photonic crystals and plasmonics, 19.-22.4.2012, Paris, France

Zeitner, Uwe D.; Scheiding, Sebastian; Eckstein, Hans-Christoph; Fuchs, Frank; Risse, Stefan
High performance asphere test CGHs with advanced alignment features
EOS Annual meeting EOSAM 2012, 25.-28.9.2012, Aberdeen, Scotland, UK

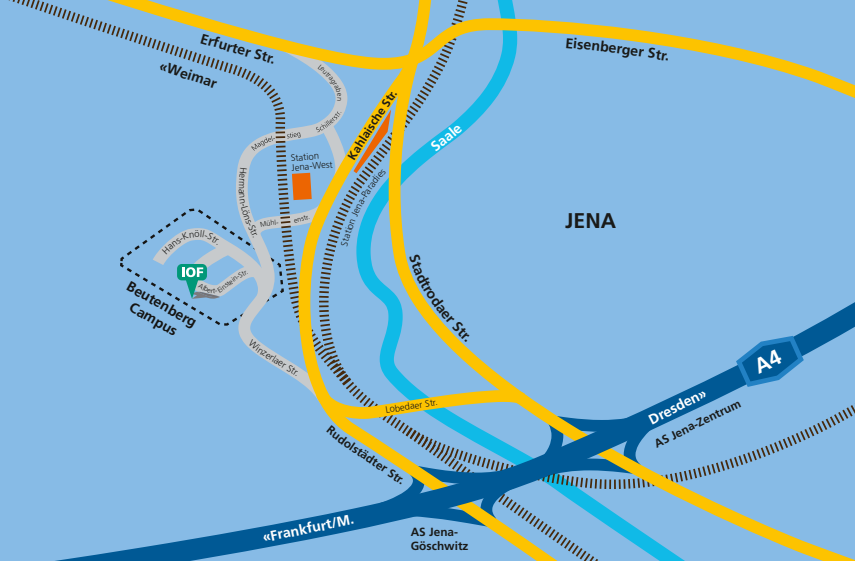
Zeitner, Uwe D.; Stürzebecher, Lorenz; Harzendorf, Torsten; Fuchs, Frank; Michaelis, Dirk
Submicrometer pattern generation by diffractive mask-aligner lithography
SPIE Photonics West 2012, 21.-26.1.2012, San Francisco, CA, USA
SPIE Proceedings Vol. 8249 (2012) 82490Q, ISBN 9780819488923

Zeuner, Julia M.; Efremidis, Nikolaos K.; Keil, Robert; Dreisow, Felix; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Szameit, Alexander
One-dimensional massless dirac-particles in waveguide arrays with alternating coupling
Proceedings Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS), OSA Technical Digest (2012) QW1E.3

Zeuner, Julia M.; Rechtsman, Mikael; Keil, Robert; Dreisow, Felix; Tünnermann, Andreas; Nolte, Stefan; Szameit, Alexander
Negative coupling between two defect waveguides embedded in an array
Proceedings Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS), OSA Technical Digest (2012) QM1E.5

Zwick, Susanne; Knoth, Roberto; Steinkopf, Ralf; Notni, Gunther
Tolerancing free form elements considering manufacturing characteristics
SPIE Optical Systems Design, 26.-29.11.2012, Barcelona, Spain
SPIE Proceedings Vol. 8550 (2012) 855006, ISBN 9780819493019

DER WEG ZU UNS HOW TO REACH US



Bahn/Busverbindung

Wenn Sie am Bahnhof Jena Paradies ankommen (aus Richtung Berlin/Leipzig oder München), laufen sie bitte ca. 5 min Richtung Innenstadt. An der Haltestelle »Teichgraben« nehmen Sie einen Bus der Linien 10, 11, 12 oder 13. Steigen Sie an der Haltestelle »Beutenberg Campus« aus. Folgen Sie der Ausschilderung »Fraunhofer IOF« (ca. 3 min Fußweg).

Ab dem Bahnhof Jena West (aus Richtung Frankfurt/Erfurt oder Gera) gehen Sie zur Haltestelle »Westbahnhofstraße« (ca. 2 min Fußweg, verlassen Sie den Bahnhof, gehen Sie links, parallel zur Bahnstrecke bergab Richtung Westbahnhofstraße, überqueren sie diese und gehen sie unter der Bahnbrücke hindurch zur Bushaltestelle). Dort nutzen sie eine Busverbindungen Stadtauswärts (10, 11, 12, 13) bis zur Haltestelle »Beutenberg Campus«.

Auto

Fahren Sie auf der Autobahn A4 bis Abfahrt Jena-Göschwitz. Biegen sie auf die Rudolstädter Strasse stadteinwärts, nach ca. 4,3 km links abbiegen in Richtung Winzerla. Folgen Sie der Ausschilderung »Fachhochschule – Beutenberg Campus«. Benutzen Sie die Einfahrt Beutenberg Campus Nord und folgen Sie dann der Ausschilderung »Fraunhofer IOF«.

Flugzeug

Ab Flughafen Leipzig/Halle auf der Autobahn A9 nach Süden bis zum Hermsdorfer Kreuz und dann auf die A4 Richtung Frankfurt wechseln; diese dann bei Jena-Göschwitz verlassen, weiter siehe Auto. Oder ab Flughafen Erfurt auf der Autobahn A4 Richtung Dresden bis Abfahrt Jena-Göschwitz.

By train

If you arrive at the railway station Jena Paradies (from Berlin/Leipzig or Munich) approx. 5 min footpaths in the direction of city center. At the bus stop "Teichgraben" take a coach of the lines 10,11, 12, or 13. Step off at the stop Beutenberg Campus" and follow the signs "Fraunhofer IOF" (approx. 3 min footpaths).

From the railway station Jena West (from Frankfurt/Erfurt or Gera) approx. 2 min footpath to the bus stop "Westbahnhofstrasse" (when you leave the railway station, go to the left and follow the Westbahnhofstraße parallel to the tracks, cross at their end the main street, pass under the railroad bridge to the bus stop), take the bus connections to the stop "Beutenberg Campus".

By car

Leave the A4 motorway at the exit Jena-Göschwitz, follow the Rudolstädter Strasse into town, after about 4.3 km turn off left toward Winzerla and follow the signs "Fachhochschule - Beutenberg Campus". On the left side you will see the Fraunhofer IOF. Use the property entrance „Beutenberg Campus Nord" to the left and follow the signs to "Fraunhofer IOF".

By airplane

Starting from airport Leipzig/ Halle on the A9 motorway to the south (direction Munich) up to the Hermsdorfer Kreuz. Here you have to change the motorway, follow the A4 motorway westward (direction Frankfurt) and leave it at the exit Jena-Göschwitz., further see car. Or starting from airport Erfurt on the A4 motorway direction Dresden to exit Jena-Göschwitz

IMPRESSUM IMPRINT

Herausgeber | Editor

Fraunhofer-Institut für
Angewandte Optik und Feinmechanik IOF
Albert-Einstein-Straße 7
07745 Jena
Telefon +49 3641 807-0
info@iof.fraunhofer.de
www.iof.fraunhofer.de

Institutsleiter | Director

Prof. Dr. Andreas Tünnermann
Telefon +49 3641 807-201
andreas.tuennermann@iof.fraunhofer.de

Redaktion | Editorial staff

Dr. Oliver Mauroner
Dr. Stefan Riehemann
Dipl.-Ing. Sylvia Bathke

Redaktionsschluss | Editorial deadline

01.03.2013

Gestaltung | Graphic design

Walter Oppel

Druck | Print

Förster & Borries GmbH & Co. KG
Industrierandstraße 23
08060 Zwickau
www.foebo.de

Bildnachweis | Photo Acknowledgements

Seite | page 18: © Fraunhofer IOF / Andreas Liem
Seite | page 23: © Fraunhofer / Dirk Mahler
Seite | page 100: © Jens Meyer