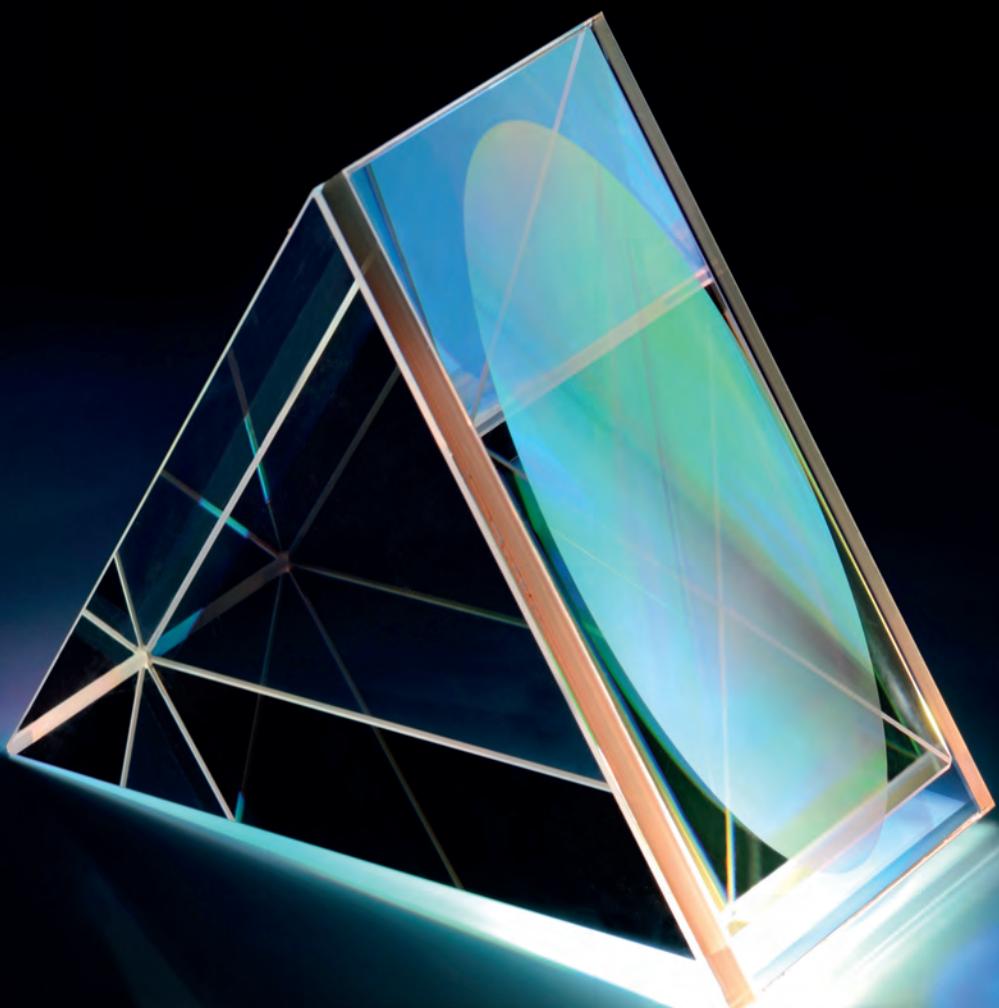




Fraunhofer
LIGHT & SURFACES

WWW.LIGHT-AND-SURFACES.FRAUNHOFER.DE

**FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES
PHOTONIC PRODUCTION**





1

LIGHT – LASERTECHNOLOGIE ALS VIELFÄLTIGER INNOVATIONSMOTOR

Im Fraunhofer-Verbund »Light & Surfaces« kooperieren sechs Fraunhofer-Institute auf den Gebieten Laser-, Optik-, Mess- und Beschichtungstechnik. Die Institute vereinen aufeinander abgestimmte Kompetenzen in den Bereichen Fertigungsverfahren, Strahlquellen, Messtechnik, Medizin und Life Science, Optische Systeme und Optikfertigung, EUV-Technologie, Prozess- und Systemsimulation, Werkstofftechnik, Mikro- und Nanotechnologie, Dünnschicht- sowie Plasma- und Elektronenstrahltechnik.

Light – Lasertechnologie als vielfältiger Innovationsmotor	3
Die Verbund-Institute	4
Kernkompetenzen	
• Laserfertigungsverfahren	6
• Strahlquellen	8
• Messtechnik	10
• Medizin und Life Science	12
• Optische Systeme und Optikfertigung	14
• EUV-Technologie	16
• Prozess- und Systemsimulation	18

Kompetenz durch Vernetzung

Basierend auf grundlegenden Arbeiten in verschiedenen Anwendungsfeldern, gewährleistet der Verbund eine schnelle und flexible Realisierung kundenspezifischer Systemlösungen im Bereich Schichttechnik und Photonik. Koordinierte, auf die aktuellen Bedürfnisse des Markts ausgerichtete Strategien, führen zu Synergieeffekten für den Kunden. In Kooperation mit den jeweils ortsansässigen Universitäten, bieten die Institute das gesamte Spektrum der studentischen Ausbildung bis hin zur Promotion. Auf diese Weise sind die Fraunhofer-Institute nicht nur Innovationspartner für technologische Entwicklungen, sondern dienen auch kontinuierlich als Quelle des wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Kernkompetenzen des Verbunds

Die aufeinander abgestimmten Kompetenzen der sechs Verbundpartner gewährleisten eine schnelle und flexible Anpassung der Forschungsarbeiten an die unterschiedlichen Anforderungen aus den Bereichen:

- Laserfertigungsverfahren
- Strahlquellen
- Messtechnik
- Medizin und Life Science

- Werkstofftechnik
- Optische Systeme und Optikfertigung
- Mikro- und Nanotechnologie
- Dünnschichttechnik
- Plasmatechnik
- Elektronenstrahltechnik
- EUV-Technologie
- Prozess- und Systemsimulation

Die Anwendungsfelder

Mit dem umfangreichen Know-how der Institute können maßgeschneiderte, laser- und prozessspezifische Lösungen realisiert werden, die Werkstoffe, Produktdesign, Konstruktion, Produktionsmittel und Qualitätssicherung umfassen. Dabei werden vielfältige Branchen adressiert:

- Automotive
- Biotechnologie und Life Science
- Elektronik und Sensorik
- Energie und Umwelt
- Luft- und Raumfahrt
- Maschinen- und Anlagenbau, Werkzeugbau
- Optik

1 Strukturierungsprozess von Glas durch direkte Laserablation mit ultrakurzgepulster Laserstrahlung.

DIE INSTITUTE

Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP

Das Fraunhofer FEP arbeitet an innovativen Lösungen im Bereich der Vakumbeschichtung, der Oberflächenbearbeitung und -behandlung mit Elektronen und Plasmen sowie an Technologien für flexible, organische Elektronik. Grundlage dieser Arbeiten sind die Kernkompetenzen Elektronenstrahltechnologie, Sputtern, plasmaaktivierte Hochratebedampfung und Hochrate-PECVD sowie Technologien für organische Elektronik und IC-/Systemdesign. Unsere Technologien und Prozesse finden Anwendung im Maschinenbau, im Transportwesen, in der Biomedizintechnik, in der Architektur und für den Kulturguterhalt, in der Verpackungsindustrie, im Bereich Umwelt und Energie, der Optik, Sensorik und Elektronik sowie in der Landwirtschaft.

www.fep.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Mit über 400 Mitarbeitern ist das Fraunhofer ILT ein gefragter FuE-Partner der Industrie für die Entwicklung innovativer Laserstrahlquellen, Laserverfahren und Lasersysteme. Unsere Technologiefelder umfassen 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 die Generative Fertigung. Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Prozessüberwachung und -regelung, Modellierung sowie der gesamten Systemtechnik.

www.ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

Das Fraunhofer IOF entwickelt innovative optische Systeme zur Kontrolle von Licht – von der Erzeugung und Manipulation bis hin zu dessen Anwendung. Unser Leistungsangebot umfasst die gesamte photonische Prozesskette vom opto-mechanischen und opto-elektronischen Systemdesign bis zur Herstellung von kundenspezifischen Lösungen und Prototypen. Das Institut ist in den fünf Geschäftsfeldern »Optische Komponenten und Systeme«, »Feinmechanische Komponenten und Systeme«, »Funktionale Oberflächen und Schichten«, »Photonische Sensoren und Messsysteme« sowie »Lasertechnik« aktiv.

www.iof.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

Das Fraunhofer IPM entwickelt maßgeschneiderte Messtechniken, Systeme und Materialien für die Industrie. Dadurch ermöglichen wir unseren Kunden, den Energie- und Ressourceneinsatz zu minimieren und gleichzeitig Qualität und Zuverlässigkeit zu maximieren. Fraunhofer IPM macht Prozesse ökologischer und gleichzeitig ökonomischer. Langjährige Erfahrungen mit optischen Technologien und funktionalen Materialien bilden die Basis für Hightechlösungen in der Produktionskontrolle, der Objekt- und Form erfassung, der Gas- und Prozesstechnologie sowie im Bereich der thermischen Energiewandler.

www.ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST

Das Fraunhofer IST bietet als innovativer FuE-Partner Lösungen in der Oberflächentechnik, die gemeinsam mit Kunden aus Industrie und Forschung erarbeitet werden. Das »Produkt« ist die Oberfläche, die durch Modifizierung, Strukturierung und/oder Beschichtung für Anwendungen primär in den folgenden Geschäftsfeldern optimiert wird: Maschinenbau, Werkzeuge und Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt, Energie und Elektronik, Optik, Life Science und Umwelt. Die Kompetenzen des Fraunhofer IST in der Schichtherstellung und Schichtanwendung werden unterstützt durch eine entsprechende Schicht- und Oberflächenanalytik sowie durch die Simulation der vakuumbasierten Beschichtungsprozesse.

www.ist.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

Das Fraunhofer IWS steht für Innovationen in den Geschäftsfeldern Laserabtragen und -trennen, Mikrotechnik, Fügen, thermische Oberflächentechnik, Generieren und Drucken und chemische Oberflächen- und Reaktionstechnik. 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

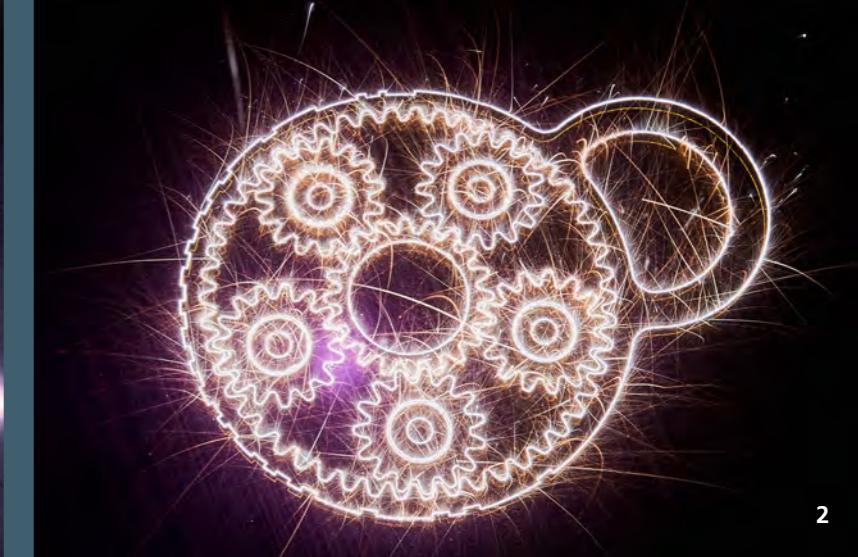
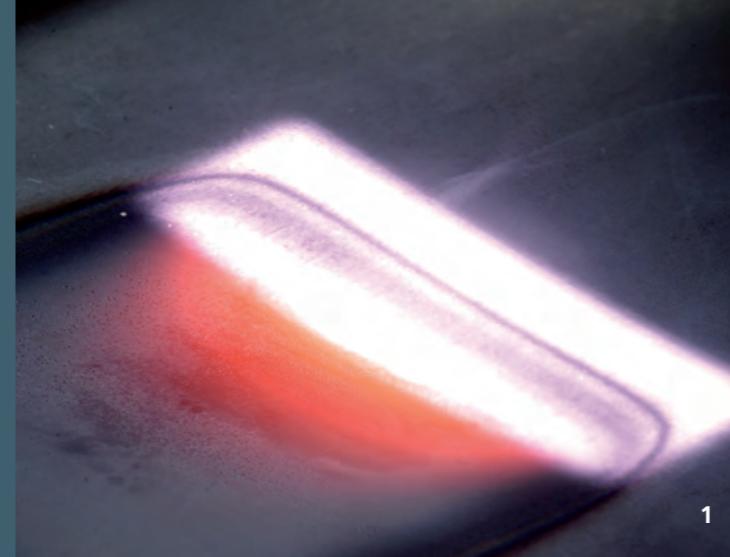
Kontakt – Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces

Prof. Reinhart Poprawe (Vorsitzender)
Steinbachstraße 15, 52074 Aachen
reinhart.poprawe@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner (Geschäftsführer)
Steinbachstraße 15, 52074 Aachen
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

www.light-and-surfaces.fraunhofer.de

LASERFERTIGUNGSVERFAHREN



Fügetechnische Verfahren wie das Laserschweißen, -löten und -bonden werden z. B. für die Automobilindustrie, die Elektro- oder Medizintechnik genutzt. Die Leistungen der Verbundinstitute reichen von Machbarkeitsstudien über Prozessvalidierungen bis hin zur Integration der Verfahren in die industrielle Fertigung, wobei material-, prozess- und systemtechnische Herausforderungen berücksichtigt werden. Im biomedizinischen Bereich werden laserbasierte Verfahren zum Drucken von lebenden Zellen zur Herstellung von biologischen und biohybriden Implantaten angewendet.

Anwendungen

- Laserfügen
- Laserabtragen
- Generative Fertigung
- Laserfunktionalisierung

LASERFÜGEN

Die Institute Fraunhofer ILT, Fraunhofer IOF und Fraunhofer IWS entwickeln maßgeschneiderte Prozesse, Werkzeuge und Systeme für laserbasierte Fügeverfahren im makro- und mikroskopischen Bereich, die hohe Fügegeschwindigkeiten, optimierte Verbindungsgeometrie, minimierten Wärmeeinfluss und Verzug zulassen. Umfassende Werkstoffkenntnisse über

Metalle, (faserverstärkte) Kunststoffe, Glas und Silizium ermöglichen darüber hinaus spezielle Legierungszusammensetzungen in der Schweißnaht, um Risse und Volumenfehler zu vermeiden. Verschleißfeste Schichten auf beliebigen Grundkörpern sowie Reparaturlösungen auf abgetragenen Bereichen eines schmelzbaren Bauteils können durch das Laserauftragschweißen erzeugt werden. Das Laserstrahlöten ermöglicht das berührungslose Schmelzen von Loten für Elektronik und Fertigungstechnik mit exakter Verteilung der Energiezufuhr auf Lot und Fügepartner, sodass sich die Schmelze auf die gewünschte Kontaktfläche beschränkt. Das schmelzfreie Laserstrahlbonden eignet sich besonders für das Verkapseln von Mikrosystemen und thermisch empfindlichen Komponenten, sodass z. B. amorphe und kristalline hochbeanspruchte Optiken gefügt werden.

LASERABTRAGEN

An den Verbundinstituten Fraunhofer ILT, Fraunhofer IOF und Fraunhofer IWS werden Prozesse, Technologien und Systeme für das Laserabtragen entwickelt. Neben einer breiten Vielfalt an Materialien, wie Metallen, Keramiken, Kunststoffen und Gläsern, werden verschiedene Verfahrenstechniken adressiert. Dabei ermöglichen Hochleistungs-Ultrakurzpulsgeräte im Piko- und Femtosekundenbereich immer höhere Qualitäten in der Fertigungstechnik. Laserschneideverfahren wie das Hochgeschwindigkeitsschneiden, das Dickblechschneiden, das Remote-Laserschneiden sowie Verfahrensentwicklungen auf dem Gebiet des Laserschmelzschnittens, werden am Fraunhofer ILT und Fraunhofer IWS entwickelt und vorangetrieben. Beim Laserbohren stehen Techniken wie das Einzelpuls-, Perkussions- oder Wendelbohren zur Verfügung.

GENERATIVE FERTIGUNG

An den Verbundinstituten werden Prozesstechniken und Maschinenkonzepte der additiven bzw. generativen Fertigung entwickelt. Pulverbettverfahren wie das Laserstrahlschmelzen (Selective Laser Melting – SLM) sind bevorzugte Verfahren, wenn es um die Bauteilfertigung mit der höchsten Geometriefreiheit geht. Dabei reicht das Werkstoffspektrum von Stählen über Nickel- und Kobalt-Legierungen, Ti-Leichtbauwerkstoffen, bis hin zu Hartmetallen und Keramiken. Beim Elektronenstrahlschmelzen (Electron Beam Melting – EBM) wird statt eines Laserstrahls, ein Elektronenstrahl verwendet, um das keramische oder metallische Pulverbett zu bearbeiten. Pulverförmige Zusatzwerkstoffe werden hingegen beim Laser-Pulver-Auftragschweißen (LPA) verwendet. Beim selektiven Dünnschichtdrucken steht am Fraunhofer IWS die Entwicklung von pasten- und tintenbasierten Verfahren im Mittelpunkt, die einen 3D-Multimaterialdruck und Polymerkompositstrukturen ermöglichen. Daneben werden neue polymerbasierte, generative Verfahren wie die Stereolithographie, die Multi-Photonen-Lithographie oder das Digital Light Processing verfolgt, die sich besonders zum Drucken von polymeren Mikrostrukturen wie für aktorisch wirksame Materialien eignen. Neben den rein schmelztechnischen Verfahren kommen auch Sinterverfahren zum Einsatz.

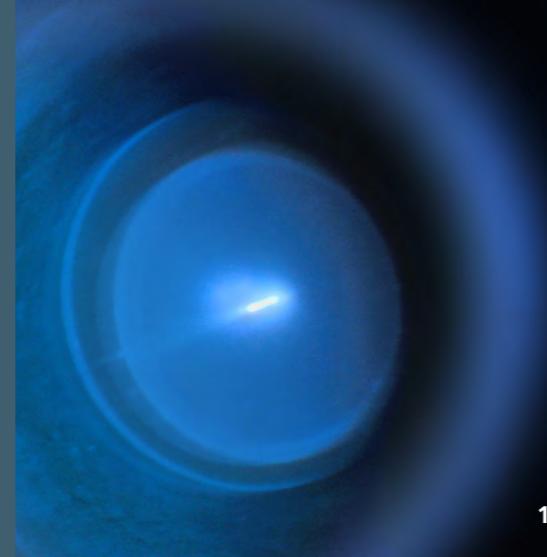
LASERFUNKTIONALISIEREN

Mit der laserbasierten Funktionalisierung lassen sich spezifische Eigenschaften von Werkstoffen gezielt einstellen und intrinsische Eigenschaften verändern, wobei eine Funktionalisierung nur dort erzeugt wird, wo die Bestrahlung auch stattfindet. Neben thermischen Verfahren (Laserhärten, -beschichten) werden auch nicht-thermische Verfahren (Plasmaspritzen, Photofunktionalisieren) unter Einsatz von UV-, Dioden-, Festkörper- und CO₂-Lasern an den Instituten genutzt. Laser-Härteverfahren, wie das Laserstrahlhärten, -wärmbehandlung, -strahllöten und laserunterstütztes Walzplattieren werden am Fraunhofer IWS angeboten. Zur Nachbehandlung hochfester Stähle werden lokale Wärmebehandlungsverfahren am Fraunhofer ILT untersucht und Laserverfahren zur Mikro- und Makrofunktionalisierung eingesetzt. Das Fraunhofer IST setzt Verfahren der Laser-Funktionalisierung zur Nachbereitung von Oberflächen ein, die bspw. durch Kalt-Plasmaspritzen erzeugt werden. Hierbei erfolgt das Beschichten mit einem Plasmajet, in den verschiedene Lösungen, Dispersionen oder (Sub-) Mikropulver eingespeist werden. Durch die spezielle Plasmaerzeugung können auch thermolabile Substrate und Naturstoffe beschichtet werden.

1 Lokale Wärmebehandlung von hochfesten Stahlplatten.

2 Mit SLM gefertigtes Planetengetriebe.

STRAHLQUELLEN



1



2



3

In den verschiedenen Verbundinstituten werden Laserstrahl-, Elektronenstrahl-, Plasma-, Röntgen- und EUV-Quellen entwickelt und für spezielle Kundenanforderungen gebaut, die bspw. für flugzeug- und satellitengestützte Umweltmesstechnik genutzt werden. Neben diesen Entwicklungen befassen sich die Institute mit innovativen Laserstrahlquellen und hochwertigen, optischen Komponenten und Systemen für die Lasermaterialbearbeitung. Das Spektrum der Laserstrahlquellen reicht von Diodenlasern bis zu Faser- und Festkörperlasern, von Hochleistungs-CW-Lasern bis zu Ultrakurzpulslasern und von Single-Frequency-Systemen bis hin zu breitbandig abstimmbaren Lasern.

Anwendungen

- Laserstrahlquellen
- Elektronenstrahlquellen
- Plasmaquellen
- Röntgenquellen

LASERSTRAHLQUELLEN

Die Laserverfachexperten der Verbundinstitute entwickeln optische Komponenten und Systeme für räumlich-, zeitlich- und spektral-maßgeschneiderte Strahlquellen. Ihre Expertise umfasst Festkörperlaser, Verstärker und Hochleistungsfaserlasersysteme. Bei den Festkörperlasern stehen sowohl Oszillatoren als auch Verstärkersysteme mit herausragenden Leistungsdaten im Zentrum des Interesses. Ob Laserhersteller oder Anwender, die Kunden erhalten nicht nur maßgeschneiderte Prototypen für ihren individuellen Bedarf, sondern auch Beratung zur Optimierung bestehender Systeme. Insbesondere im Bereich der Kurzpuls laser und der Breitbandverstärker können zahlreiche Patente und Rekordwerte als Referenz vorgewiesen werden. Dabei konzentriert sich das Fraunhofer ILT im Wesentlichen auf slab- und scheibenlaserbasierte Verstärker, die bis in den Multi-kW-Bereich skaliert werden können. Das Fraunhofer IOF entwickelt Hochleistungsfaserlasersysteme, die von Monofrequenz-Strahlquellen bis zu Ultrakurzpulsystemen reichen und beugungsbegrenzte Ausgangsstrahlen bis in den kW-Bereich liefern. Darüber hinaus bieten die Institute technologische Lösungen zur Strahlformung und -führung, Frequenzkonversion, dem Packaging optischer Hochleistungskomponenten und dem Design optischer Komponenten, z. B. Freiformoptiken.

ELEKTRONEN-STRAHLQUELLEN

Elektronenstrahlquellen werden für eine Vielzahl von Prozessen in der Materialbearbeitung eingesetzt. Zu den bekanntesten Anwendungen zählen das Schweißen, Härteln, PVD-Beschichten, die Sterilisation von Oberflächen sowie die Modifikation von Kunststoffen. Das Fraunhofer FEP entwickelt hierfür Technologien und Prozesse, die die Aufskalierung von Prozessen und Technologien für Industrieanlagen sowie den Retro-fit bestehender Anlagen ermöglichen. Paketlösungen werden dabei auf die jeweiligen Kundenanforderungen abgestimmt, die eine Strahlsteuerung, Arc-Schutz-Beschaltung, Leistungs-, Strahllage- und Ablenkgeneratoren sowie Elektronenstrahlquellen beinhalten können.

PLASMAQUELLEN

Plasmen sind ein vielseitiges Werkzeug in der Beschichtungstechnik, der Oberflächenaktivierung, der Reinigung und der funktionalen Strukturierung. An den Instituten des Fraunhofer Verbunds Light & Surfaces werden neben den Anwendungen zur Plasmatechnik auch die notwendigen, systemtechnischen Komponenten entwickelt. Das Fraunhofer IST entwickelt und untersucht hierbei neue und spezialisierte Plasmaquellen für die industrielle Anwendung, vor allem zur Oberflächenaktivierung, Oberflächenbeschichtung, Oberflächenfeinstreinigung, zur Aufbringung funktioneller Gruppen, biologisch-medizinischen Entkeimung und zur Plasmadiffusion.

Physikalische Basis sind Niederdruck-Glimmentladungen und dielektrisch behinderte Entladungen bei Atmosphärendruck. Für Anwendungen der Beschichtungstechnik stellt die Plasmatechnik eine wichtige Komponente dar, da hierüber vor allem die Qualität der Beschichtung bei hoher Produktivität gesteuert werden kann. Immer höhere Beschichtungsraten können durch eine Erhöhung der Teilchenenergie im Zuge der Plasmaaktivierung bei Bedämpfung erreicht werden. Hierfür werden leistungsstarke Quellen für dichte Plasmen benötigt, die sowohl einer hohen Beschichtungsrate als auch einer Großflächenbeschichtung angepasst sind. Derartige Prozesse wurden von Fraunhofer FEP durch die Kombination der Hochratebedämpfung mit verschiedenen, geführten Bogenentladungen entwickelt (SAD- und HAD-Prozess).

RÖNTGENQUELLEN

Am Fraunhofer ILT werden Röntgenquellen entwickelt, die z. B. für die Lithographie oder für die Messtechnik für die Produktion von Chips eingesetzt werden. Dabei ermöglicht die Erzeugung von extremer Ultraviolettradiation und weicher Röntgenstrahlung in Spektralbereichen zwischen 1 nm und 50 nm aus dichten, heißen Plasmen eine kompakte Bauweise von leistungsstarken Strahlungsquellen. Hierzu werden am Fraunhofer ILT sowohl laserinduzierte Plasmen (LPP) als auch Entladungsplasmen untersucht und verwendet.

1 Entladungsbasiertes Plasma.

2 Elektronenstrahlquelle.

3 Tiefengängige und konturgenaue

Oberflächenfunktionalisierung mittels

DBD-Gleitentladungsquelle »Disk-Jet«.

MESSTECHNIK



Die Verbundinstitute konzipieren und realisieren optische Messsysteme, z. B. für Bauteil- oder Geschwindigkeitsmessungen, über eine Messskala von Nano- bis Kilometern. Für die Erfassung der Geometrie und Lage von Objekten werden 3D-Messsysteme entwickelt, die auf speziellen Laserscannern sowie maßgeschneiderten Beleuchtungs- und Kamerasyystemen basieren. Für die Prozess- und Materialanalytik werden überwiegend spektroskopische Messverfahren und Messsysteme entwickelt, mit denen entweder durch lasererzeugte Plasmen oder durch Absorptions- und Emissionsspektroskopie charakteristische, spektrale Linien bzw. Bereiche für die zu analysierenden Werkstoffe und Verfahren aufgenommen werden. Individuelle Software- und Hardwarelösungen erlauben die zugeschnittene Bereitstellung der Messtechnik.

Anwendungen

- 3D-Messtechnik
- Interferometrische und holographische Messtechnik
- Spektroskopieverfahren
- Bildverarbeitung und Prozessmesstechnik

3D-MESSTECHNIK

Geometrische Größen von technischen Objekten und Produkten, wie Abstände, Profile oder Formen, können mithilfe der Lasertechnologien berührungslos in Position und Maßhaltigkeiten bestimmt und überprüft werden. Hierbei kommen Triangulationsverfahren, wie das Laserlichtschnittverfahren oder auch das absolutmessende, interferometrische Verfahren zum Einsatz, die sich besonders für Inline-Prüfungen geometrischer Größen eignen, die sich relativ zur Messstrahlung bewegen oder eine Berührung mit dem Messmittel ausschließen. So kann direkt in der Fertigungslinie oder prozessbegleitend gemessen werden. Neben der Entwicklung neuer Messprinzipien werden spezielle Beleuchtungsanordnungen bis hin zur Realisierung kompletter, kundenspezifischer Messsysteme, z. B. für die Kriminalistik, untersucht.

INTERFEROMETRISCHE UND HOLOGRAPHISCHE MESSTECHNIK

Die interferometrische und holographische Messtechnik erlaubt eine ultrapräzise Vermessung von Geometrien mit Genauigkeiten im Sub-Mikrometerbereich. Eine am Fraunhofer ILT entwickelte, absolutmessende, interferometrische Sensorik misst Abstände zu technischen Objekten in einem Messbereich von 8 mm (bei typischen Arbeitsabständen von 50 - 200 mm), mit einer Genauigkeit von < 200 nm und kann Rauheitskenngroßen im Submikrometerbereich bestimmen.

1 Prüfung von Form- und Lagetoleranzen an einer Nockenwelle.

2 Hochgeschwindigkeits-3D-Sensor.

3 Inline-Prozessmesstechnik CPC.

Für die holographische Messtechnik werden am Fraunhofer IOF speziell mittels Computer generierte Hologramme (CGH) verwendet, die die hochpräzise Vermessung optischer Freiformen ermöglichen. Das Fraunhofer IPM verfolgt eine digital-holographische 3D-Messtechnik, die eine schnelle (Sub-Sekunden) und gleichzeitig hochpräzise Messung (μm -Bereich) von 3D-Geometrien ermöglicht.

SPEKTROSKOPIEVERFAHREN

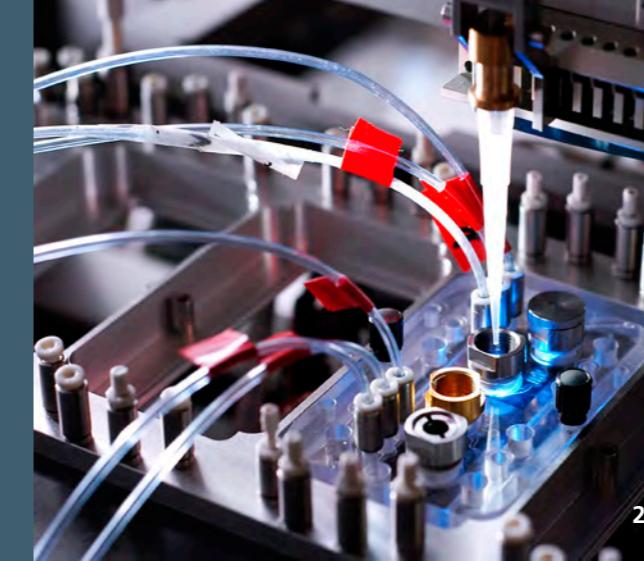
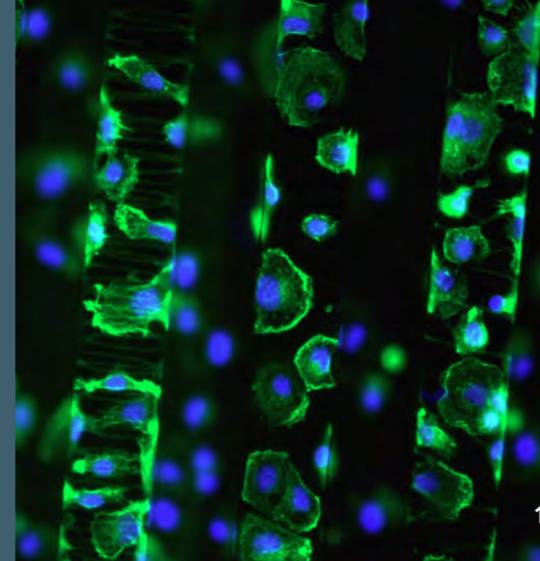
Mit laserspektroskopischen Verfahren lassen sich chemische Analysen von Materialien in allen Aggregatzuständen durchführen. Reflexions-, Transmissions- und Absorptionsmessungen sowie Fluoreszenz- und Ramanspektroskopie ermöglichen die Charakterisierung von Merkmalen und Zusammensetzungen von Molekülen und Werkstoffen. Die am Fraunhofer ILT schwerpunktmäßig entwickelte Laser-Emissionsspektrometrie (LIBS) ermöglicht Multi-Elementanalysen, ergänzt um Molekül- oder Kristallstruktur-Informationen, die durch die Integration von Laserablations-Verfahren beschichtete und verunreinigte Materialien auf ihre Kern-Zusammensetzung untersucht. Ähnlich hierzu verwendet das Fraunhofer IPM die IR-Spektroskopie in der Gas- und Partikelmesstechnik, um z. B. Messungen von Kohlenwasserstoffen im PKW-Abgas durchzuführen. Das vom Fraunhofer IST entwickelte modulare Monitoringsystem MOCCA+, mit dem Beschichtungsanlagen zur Herstellung

(präzisions-)optischer Systeme überwacht und vollautomatisch gesteuert werden können, nutzt eine in-situ Messung der Transmission und Reflexion in einem Spektralbereich von Ultraviolet (UV) bis nahes Infrarot (NIR). Die Anwendung der Laserdiodenspektroskopie am Fraunhofer IWS ermöglicht die Bestimmung der Wasserdampfpermeationsrate von flexiblen Ultrabarrieresystemen bis in den Bereich von $1E+6$ Gramm pro Quadratmeter und Tag. Ebenso wird das Hyperspectral-Imaging (HSI) verwendet, eine spektroskopische Bildgebung im NIR, sichtbaren Bereich (VIS) und ultravioletten Bereich, um eine zeit- bzw. ortsaufgelöste Messung aller spektraler Merkmale zu ermöglichen. So kann eine umfassende und vollständige Analyse des Produkts oder des Prozesses erfolgen.

BILDVERARBEITUNG UND PROZESSMESSTECHNIK

Die Bildverarbeitung bietet durch die verfügbaren Hochgeschwindigkeitskameras eine Vielzahl von schnellen Analysemöglichkeiten für die Bauteilprüfung und Prozessmesstechnik. In der Laserbearbeitung lassen sich diese bildgebenden Systeme in den Strahlengang von Laserbearbeitungsanlagen integrieren und mit hardware-basierter Bildverarbeitung und kognitiven Verfahren robuste, eineindeutige Prozessüberwachungs- und Regelungsergebnisse erzielen. So kann für viele Fertigungsaufgaben eine Steigerung der Produktivität erzielt werden. Insbesondere für schnelle, schmelzdynamische Vorgänge beim Schweißen, Beschichten, Schneiden und Abtragen entwickeln das Fraunhofer ILT und das Fraunhofer IWS hochintegrierte Systeme für die Prozessmesstechnik.

MEDIZIN UND LIFE SCIENCE



Photonische Verfahren finden sich in einer Vielzahl medizinischer und biotechnologischer Anwendungen.

Anfangen von direkten, medizinischen Therapien, bei denen Laserstrahlung und Licht für chirurgische Prozesse und für biostimulatorische Anregungsverfahren verwendet werden, finden sich optische Verfahren vor allem in der Diagnostik. Die Verbundinstitute entwickeln hier neue Verfahren und medizinisch-therapeutische Systeme, die häufig zusammen mit den Instituten des Fraunhofer-Verbunds Life Science zur Anwendung gebracht werden. Ebenso werden diagnostische und analytische Verfahren, wie die Plasma-, Raman- und Fluoreszenzspektroskopie entwickelt, mit denen Strukturdaten von Proteinen, Bindungszuständen und optischen Markern detektiert und für medizinische und biotechnologische Verfahren verwendet werden können.

Anwendungen

- Lasermedizin
- Laserdiagnostik
- Biotechnologie und Bioanalytik
- Biofabrikation

LASERMEDIZIN

Die Lasermedizin ist unter den medizinisch-photonischen Anwendungen die vielleicht bekannteste Anwendung, da Themen wie LASIK, photo-dynamische Therapien oder Falten- und Tattooentfernung in der breiten Öffentlichkeit bekannt sind. Insbesondere Ultrakurzpulsaser sind ideale Werkzeuge, um mit minimaler, thermischer Schädigung Gewebe zu schneiden, um z. B. Knochenresektionen vorzunehmen oder Tumore zu entfernen. Das Fraunhofer ILT entwickelt dafür verschiedene technologische Ansätze und Systeme, die in der Chirurgie und in der minimal-invasiven Therapie angewendet werden. Laser- und plasmatechnische Verfahren, werden zur Herstellung von medizintechnischen Produkten, wie patientenspezifische Implantate oder mikroperforierte Ballonkatheter, die eine fein dosierte Medikamentengabe ermöglichen, verwendet. Durch Laserverfahren erzeugte biofunktionale Beschichtungen steigern zudem die Biokompatibilität der Produkte. Die Behandlung mit niederenergetischen Elektronen hat sich dabei als ein effektives Werkzeug zur Keimminderung und Sterilisation von Verpackungen, Implantaten und medizinischen Geräten sowie zur Inaktivierung von flüssigen Erregersuspensionen erwiesen.

LASERDIAGNOSTIK

Mithilfe von laser- und photodiagnostischer Verfahren lassen sich durch Fluoreszenzdiagnostik oder Ramanspektroskopie bestimmte Moleküle und deren Zusammensetzung sowie mittels geeigneter Marker bestimmte Zelltypen detektieren.

Durch Ramanspektroskopie können z. B. sehr informative Spektren einzelner Zellen aufgenommen und charakterisiert werden, anhand derer differenzierte Stammzellen unterschieden, Zellzyklen aufgelöst, Aktivierungen verfolgt und Stresszustände bestimmt werden. Gleichzeitig kann ein Ramanspektrometer genutzt werden, um extrazelluläre Medien zu analysieren. Neben einer direkten Lasersensorik in biologischen und medizinischen Applikationen werden Lab-on-a-Chip-Systeme für die Vor-Ort-Analyse eingesetzt, die eine schnelle Diagnostik und eine gezielte Auswahl von Medikamenten ermöglichen. Eine Schlüsselkompetenz liegt dabei auf der hochempfindlichen Echtzeitauslesung auf Basis der Evaneszenzfeldtechnik.

BIOTECHNOLOGIE UND BIOANALYTIK

Die Kombination von mikrofluidischen Systemen mit optischen Technologien an den Verbundinstituten ermöglicht neuartige, miniaturisierte Analyse- und Diagnostiksysteme, die für medizinisch-diagnostische, biotechnologische oder analytische Fragestellungen angewendet werden. Die Entwicklung von miniaturisierten, an applikationsspezifische Anforderungen angepasste Sonden und Optiken führt zu neuartigen Messverfahren, mit denen in chemischen oder biotechnologischen Prozessen, spektroskopische Informationen sogar inline, erfasst werden können und daher eine Echtzeit-Prozessbeobachtung ermöglichen. Mit speziellen am Fraunhofer IWS entwickelten Lab-on-a-Chip-Systemen lassen sich sowohl medizinische Applikationen (Organ-on-a-Chip) als auch biosystemtechnische Fragestellungen abdecken.

BIOFABRIKATION

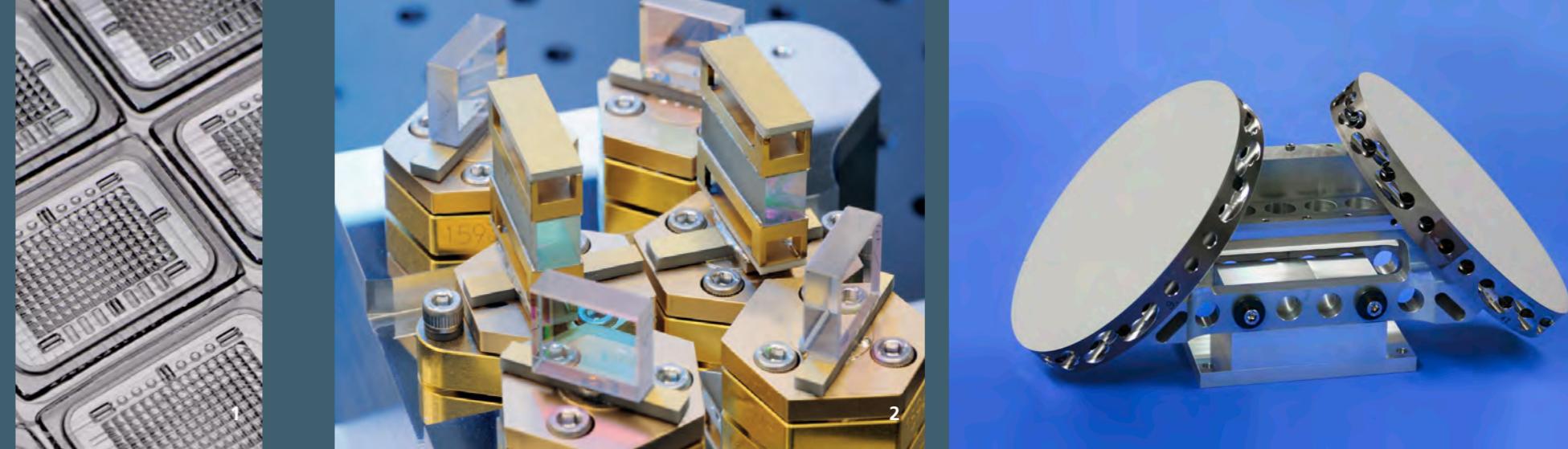
Der stark wachsende Bereich der Biofabrikation erfordert die Erforschung neuer Konzepte und Werkzeuge für biomedizinische Anwendungen, z. B. Diagnostiksysteme oder pharmazeutische und kosmetische Gewebe- und Organtestmodelle. Verfahren wie der 3D-Druck von biokompatiblen Materialien zur Herstellung von Stützstrukturen für künstliche Blutgefäße und Organe sowie das direkte Drucken von lebenden Zellen stehen so im Fokus der Verbundaktivitäten. Ansätze zum schnellen Drucken biokompatibler Polymere, die Entwicklung neuer Harzformulierungen ohne toxische Bestandteile sowie Prozesstechniken zum flexiblen Drucken von funktionalen Zellkonstrukten werden am Fraunhofer ILT verfolgt. Die Erforschung von lasergestützten Verfahren zum Selektieren und Verdrucken von Zellen ermöglicht den Aufbau spezifischer Zell-Mikro-Umgebungen für die zellbiologische Forschung und die Verbesserung von Gewebemodellen bis hin zum Drucken künstlicher Organe und Organbestandteile. Ebenso werden an den Verbundinstituten unterschiedliche Verfahren zur Funktionalisierung von Strukturen und Scaffolds entwickelt.

1 Zellen auf TPP-generierten Proteinstrukturen.

1 Automatisierte Pipettenbefüllung eines Multi-Organchips.

3 Plasmabeschichteter Beutel.

OPTISCHE SYSTEME UND OPTIKFERTIGUNG



An den Verbundinstituten werden optische Systeme für eine Vielzahl von Anwendungen in der Laser-, Mess- und Beleuchtungstechnik sowie der Materialanalytik entwickelt. Kundenspezifische Optiksysteme von Prototypen bis hin zum fertigen Produkt werden erforscht und gefertigt. Die Optikentwicklungen umfassen dabei die Gesamtsystemtechnik sowie einzelne Fertigungsschritte wie z. B. die Herstellung von Linsen und Spiegeln für Weltraumanwendungen oder die Herstellung von Strahlform- und Umlenkspiegel für die EUV-Lithographie.

Anwendungen

- Optikdesign
- Optikfertigung
- Optische Systeme
- Optikmontage

OPTIKDESIGN

Die Aktivitäten der Verbundinstitute umfassen die gesamte Kette des optischen Designs von aktiven, strahlenemittierenden Systemen, über Komponenten zur Strahlübertragung und -formung bis hin zur Systemintegration. Am Fraunhofer IOF und Fraunhofer ILT werden z. B. diffraktive und refraktive optische Elemente, Bauelemente der integrierten Optik sowie Freiformoptiken und Systeme, die mikrooptische und herkömmlich optische Komponenten kombinieren, entwickelt.

Dies umfasst sowohl das optische als auch opto-mechanische und -elektronische Systemdesign. Das Fraunhofer IOF konzentriert sich zudem auf das Mechanik- und Optikdesign großformatiger Optiken und hochintegrierter Systeme, u. a. für Optikelemente mit geringer Masse und hoher Stabilität in Weltraumanwendungen. Fraunhofer IST und Fraunhofer IPM entwickeln und designen optische Systeme für Anwendungen in Messtechnik und Spektroskopie.

OPTIKFERTIGUNG

Zur Fertigung von Optiken und optischen Komponenten stehen den Instituten verschiedene Verfahren zur Formgebung und Beschichtungstechnik zur Verfügung. Am Fraunhofer IOF werden mittels Ultrapräzisionsbearbeitung Metallspiegel, Gitter, kunststoffbasierte Linsen und Linsenarrays hergestellt, die durch magnetorheologisches Polieren (MRF) für komplexe Oberflächen (Asphären, optische Freiformflächen oder Arrays) mit ultrapräziser Genauigkeit bearbeitet werden. Lithographische Techniken erlauben zudem die simultane Herstellung einer großen Zahl von Elementen mit höchster lateraler Genauigkeit, die eine wichtige Voraussetzung für die Mikrooptik-Integration im Wafermaßstab sind. Für die Beschichtung von Optiken hat das Fraunhofer IST mit der Entwicklung der Beschichtungsplattform EOSS® neue Möglichkeiten für die Abscheidung anspruchsvoller, optischer Beschichtungen geschaffen, sodass extrem defektarme Beschichtungen und komplizierte Schichtdesigns mit einer Vielzahl von Schichten bei extremer Präzision und Uniformität der Beschichtungen realisiert werden können. Am Fraunhofer FEP werden Prozesse und Technologien entwickelt, um elektrische, optische, akustische oder magnetisch wirksame Schichten und Schichtsysteme mit Vakuumverfahren präzise und homogen auf große Flächen aufzubringen.

OPTISCHE SYSTEME

Kundenspezifische Optiksysteme, z. B. für die Messtechnik, Laserbearbeitung oder Luft- und Raumfahrt, werden von den Verbundinstituten gefertigt. Am Fraunhofer IOF werden hochpräzise Spiegelsysteme für verschiedene Weltraumanwendungen und Wellenlängenbereiche entwickelt, die sowohl auf Metall-, als auch Glasbasis beruhen. Auf dem Gebiet der Luft- und Raumfahrt erforscht das Fraunhofer IOF das Design, die Fertigung und die Montage moderner Teleskop- und Spektrometeroptiken mit on-axis- und off-axis-Asphären, Freiformflächen und strukturierten Oberflächen. Speziell für Optiksysteme für Hochleistungslaser bietet das Fraunhofer ILT von der Montage bis zur Charakterisierung ein breites Dienstleistungsspektrum an, wobei Multistrahlsysteme, schnelle Strahlablenksysteme und hochpräzise Bohr-, Schneid- und Schweißoptiken für die Lasermaterialbearbeitung im Fokus liegen. Das Fraunhofer IST entwickelt und produziert speziell beschichtete, optische Systeme. Das Spektrum reicht dabei von großflächigen, hochreflektierenden Spiegeln von bis zu 60 x 80 cm² bis hin zu mikrostrukturierten Pixelfiltern für den Einsatz in der 3D-Messtechnik.

OPTIKMONTAGE

Das Fraunhofer ILT und das Fraunhofer IOF besitzen umfangreiches Know-how in der Entwicklung von Technologien zur hybriden Integration unterschiedlicher Komponenten mit hoher Präzision für den Aufbau komplexer, optischer, opto-mechanischer und -elektronischer Systeme. Dabei werden Bauteile unterschiedlicher Dimension von kleinen Einzelelementen über Diodenlaserbarren, Laserspiegel, Laserkristalle, nicht-lineare Kristalle bis hin zu größeren, passiven Optikanordnungen, die aus mehreren Linsen bestehen, abgedeckt. Komponenten werden dabei passiv oder über mechanische wie piezobasierte, hochpräzise Manipulatoren aktiv ausgerichtet, wobei Genauigkeiten von besser 1 µm wie 1 µrad erreicht werden können. Die Aufschmelzung des Lotes erfolgt räumlich und zeitlich stark begrenzt über entsprechende strom- oder strahlungsbasierte Heizverfahren.

- 1 Mikrooptische Elemente.
- 2 Optisch parametrischer Oszillator in robuster Aufbauweise.
- 3 Hochpräzise Spiegelsysteme für Weltraumanwendungen.

EUV-TECHNOLOGIE

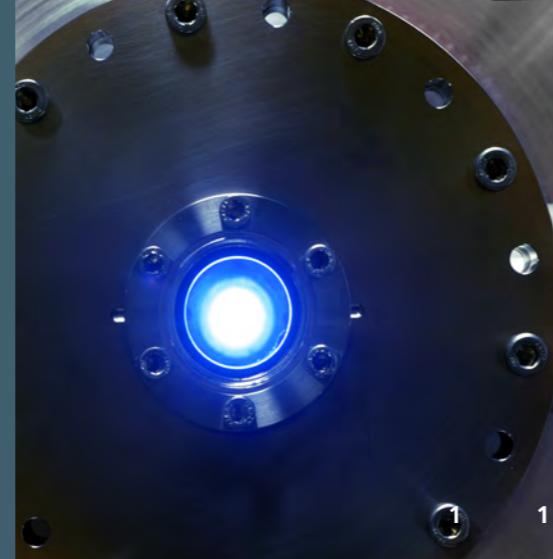
Die Lasertechnik mit Wellenlängenbereichen vom UV- bis in den IR-Bereich von 10 µm stellt den Schwerpunkt der strahlentechnischen Aktivitäten des Fraunhofer-Verbunds Light & Surfaces dar, zunehmend jedoch mit Wellenlängenbereichen außerhalb dieses klassischen Spektrums. Dabei sind vor allem die EUV- und Röntgenstrahlungsbereiche zu nennen, die aufgrund ihrer kurzen Wellenlängen von 1 - 50 nm besondere Eigenschaften aufweisen und neue Applikationen ermöglichen wie z.B. in der Lithographie oder für die hochaufgelöste Analytik in der Medizin. Die Verbundinstitute entwickeln hierfür Strahlquellen aus laser- und entladungserzeugten heißen Plasmen sowie über multiple Frequenzkonversion in Gasen und speziellen Resonatoren.

Anwendungen

- EUV- und Röntgenquellen
- EUV-Optiken
- EUV-Messtechnik und -Verfahren

EUV- UND RÖNTGENQUELLEN

Die Erzeugung von extremer Ultraviolettradiation und weicher Röntgenstrahlung im Spektralbereich zwischen 1 nm und 50 nm aus dichten, heißen Plasmen ermöglichen eine kompakte Bauweise von leistungsstarken Strahlungsquellen. Für Anwendungen, die insbesondere eine hohe Brillanz der Quelle erfordern, werden laserinduzierte Plasmen gegenüber Entladungsplasmen bevorzugt. Entladungsplasmen zeichnen sich demgegenüber jedoch durch eine hohe Effizienz der Umwandlung elektrischer Energie in EUV-Licht und einer einfachen Bauweise aus, sodass sie eine kostengünstige Alternative zu laserinduzierten Plasmen darstellen. Beide Plasmenarten werden am Fraunhofer ILT untersucht und verwendet. Neben der Entwicklung von Plasmen beschäftigt sich das Fraunhofer ILT mit der Entwicklung von Röntgen- und EUV-Strahlquellen, die heute z. B. im Umfeld der Lithographie und der Messtechnik eingesetzt werden. Hier werden die Strahlenquellen schwerpunktmäßig zur Diagnostik und zur Charakterisierung von optischen Systemen für Lebensdaueruntersuchungen von Vielschichtspiegel oder für Defektinspektionen verwendet.



1



2



3

EUV-OPTIKEN

Für die Strahlführung und -formung von EUV- und Röntgenstrahlung existieren keine transparenten Werkstoffe. Darüber hinaus zeigen alle Werkstoffe bei diesen Wellenlängen eine hohe Absorption. Daher müssen für die Strahlführung und Strahlformung von EUV- und Röntgenstrahlung spezielle Multilayerspiegel verwendet werden, die höchsten Anforderungen im Monolagenbereich bei der Beschichtung genügen müssen. Am Fraunhofer IOF werden hochreflektierende Multilayerspiegel für Anwendungen im EUV und weichen Röntgenbereich design, entwickelt und optimiert. Voraussetzungen hierfür sind ein grundlegendes Verständnis von Schichtwachstumsprozessen, die Nutzung neuer Design-ansätze zur Minimierung von Rauheit und Interdiffusion an den Schichtgrenzflächen sowie die Weiterentwicklung verschiedener Beschichtungstechnologien. Derzeit können EUV-Spiegel bis zu einem Durchmesser von 660 mm und einer Reflexion von fast 70 Prozent gefertigt werden.

Am Fraunhofer IWS werden zur Abscheidung von Nanometer-Einzelschichten und -Multischichten für EUV- und Röntgen-Optiken Verfahren der Magnetron- und Ionenstrahl-Sputtern-Deposition sowie der Puls-Laser-Deposition eingesetzt. Die Schichtsysteme genügen höchsten Ansprüchen hinsichtlich Schichtdickengenauigkeit, Rauheit, chemischer Reinheit, lateraler Homogenität und Reproduzierbarkeit. Die Integration von plasmabasierten Strahlungsquellen in optischen Systemen erfordert Maßnahmen zum Schutz von optischen Elementen gegen das Debris der Quelle (schnelle Ionen, Elektrodenmaterial) und der Strahlführung im Vakuum. Die Arbeiten am Fraunhofer ILT zielen dabei auf die Anpassung von Debris-Mitigationsystemen unter Berücksichtigung der Plasmaeigenschaften als auch auf die optimale Auslegung von Kollektoroptiken ab.

EUV-MESSTECHNIK UND -VERFAHREN

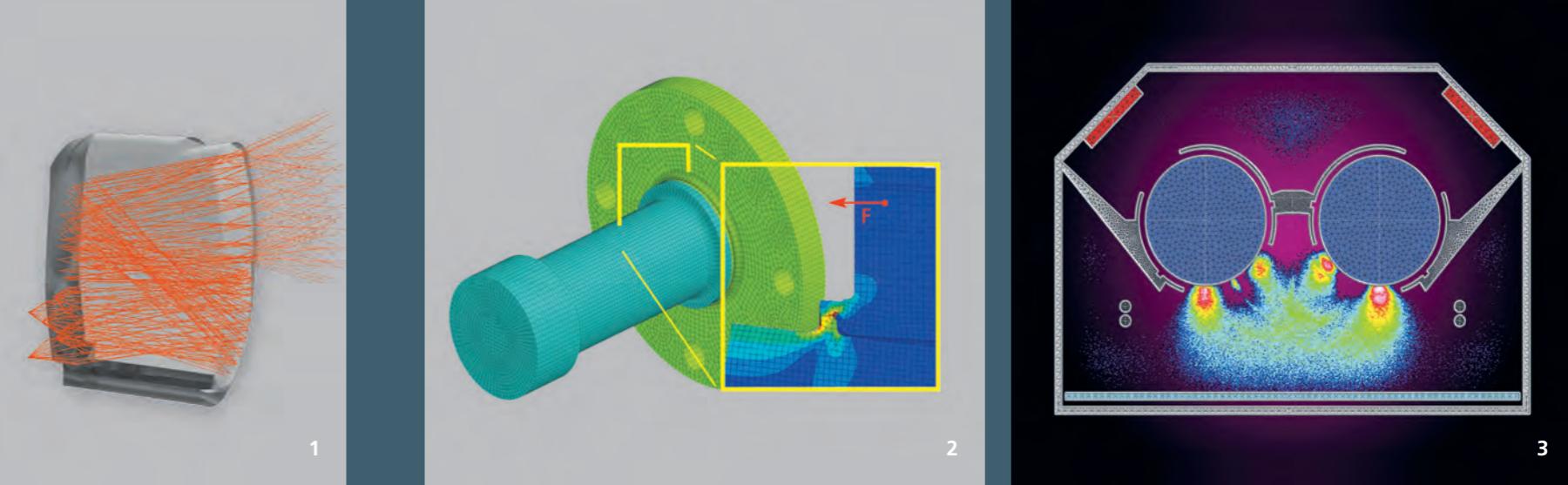
Aufgrund der kurzen Lichtwellenlänge zieht die Entwicklung der Halbleiterlithographie hin zum EUV-Spektralbereich enorme Anforderungen an die Qualität von Oberflächen und Schichten nach sich. Am Fraunhofer IOF werden hierfür Verfahren entwickelt, die die großflächige und sensitive Charakterisierung von EUV-Spiegelsubstraten vor der Beschichtung ermöglichen. Hierzu zählt auch die wellenlängenspezifischen Charakterisierung der Reflexions- und Streulichteigenschaften von EUV-Schichtsystemen bei 13,5 nm. Zusammen mit den vorhandenen Modellierungstechniken und der EUV-Systemtechniken des Fraunhofer ILT ergibt sich so eine geschlossene Charakterisierungskette für EUV-Komponenten.

1 Charakterisierung von EUV-Schichten.

2 Kollektorspiegel für die Extrem-Ultraviolet-Lithographie.

3 Inspektion von beschichteten Astrospiegeln.

PROZESS- UND SYSTEMSIMULATION



Umfängliche Simulationen und tiefgehende Analysen mit hoher Zeit- und Ortsauflösung schaffen ein Verständnis für die Bearbeitungsprozesse und helfen, Prozessketten durch die Auslegung neuer Verfahren zu verkürzen. Ein breit gefächertes Portfolio unterschiedlicher Simulationsprogramme und eine hohe Kompetenz im Optikdesign ermöglichen, dass optische Systeme mit einem Höchstmaß an Integrationsdichte und minimaler Anzahl optischer Komponenten ausgelegt werden. Einfache Raytracing-Aufgaben, komplexe, wellenoptischen Berechnungen, Materialsimulationen sowie Schicht- und Legierungsentwicklungen gehören zu den Aufgaben der Verbundinstitute. Für die Modellierung des Gas- oder Teilchentransports im Niederdruckbereich kommen unterschiedliche Methoden wie die »Direct Simulation Monte Carlo«-Technologie (DSMC) oder die »Particle-in-Cell Monte-Carlo«-Technologie (PIC-MC) zum Einsatz.

Anwendungen

- Lasersimulation
- Optiksimulation
- Prozesssimulation
- Prozesskettenoptimierung und Bauteilauslegung

LASERSIMULATION

Bei der Entwicklung neuartiger Lasersysteme ist die Analyse optischer Parameter, wie der mittleren Leistung, der Absorption oder der Pulsformfrequenz, wichtig. Am Fraunhofer IOF und Fraunhofer ILT werden Lasersysteme bezüglich Modulationsinstabilitäten, z. B. bei der Strahlqualität, grundlegend analysiert und detaillierte Analysen zu neuartigen Faser-, Pump- und Laserdesigns für weitere Leistungsskalierungen von Hochleistungsfaserlasersystemen entwickelt. Für die Simulation stehen an den Instituten diverse Werkzeuge zur Berechnung zur Verfügung, die die Bereiche der Wellenoptik, der geometrischen Optik, der Hydro- und Strukturmechanik und der Datenauswertung abdecken. Für weitergehende Analysen existieren eine Reihe numerischer Modelle und Tools, mit denen die komplexen Bedingungen in vielfältigen Strahlquellenkonstellationen beschrieben und modelliert werden können. Die am Fraunhofer ILT entwickelten, wellenoptischen Simulationstools OPT und Designsoftwares für Freiformoptiken unterstützen zudem die Optimierung der Laser- und Strahlquellsysteme.

OPTIKSIMULATION

Die Kombination von Mechanik- und Optikdesign zählt zu den zentralen Kompetenzen des Fraunhofer IOF, welche u. a. das Thermodesign optischer Systeme, mit dem Ziel, diese empfindlich gegen Temperatureinflüsse aus der Umgebung oder gegen thermische Linsen in Hochleistungsanwendungen zu machen, umfasst. Im Rahmen von optischen und mechanischen Simulationen und Analysen von Komponenten

und Systemen werden verschiedene Funktionen und Prozesse, vom Makro- über den Mikro- bis hin zum Nanobereich, wie z. B. OLED-Simulationen oder Wellenleiterdesigns, behandelt. Speziell am Fraunhofer ILT für Beleuchtungsanwendungen und komplexe Fragestellungen der Strahlformung entwickelte Freiformdesign-Softwaretools ermöglichen die Berechnung optischer Freiformflächen und die Fertigung virtueller Prototypen.

PROZESSSIMULATION

Das Fraunhofer IST bietet Materialsimulationen für Legierungs- und Schichtentwicklungen, für Auslegungen von Wärme- und Diffusionsbehandlungen von Legierungen sowie zur Auflösung von Karbiden während der Austenitisierung an. Zur Beschreibung neuartiger Modulaufbauten und zur Optimierung der Systemintegration von thermoelektrischen Werkstoffen hat das Fraunhofer IPM eine eigene Software entwickelt. Mithilfe von Simulationen von Lasermaterialbearbeitungsverfahren werden am Fraunhofer IWS und Fraunhofer ILT werkstofftechnische Einflussgrößen und funktionale Abhängigkeiten zwischen Regel-, Einfluss-, Stör- und Zielgrößen bei der Laserbearbeitung untersucht, die Rückschlüsse auf erzielbare Prozesswirkungsgrade ermöglichen. Die Simulation für maßhaltige Bauteile aus Metallpulver sowie von Kunststoff-Metall-Verbindungen in Automotivekomponenten erfordert die Kenntnis von realitätsnahen Werkstoffmodellen, sodass detaillierter, grundlagennahe Werkstoffmodelle parametrisiert und spezielle Simulationen der thermomechanischen Vorgänge beim Erstarren entwickelt werden.

PROZESSKETTEN-OPTIMIERUNG UND BAUTEILAUSLEGGUNG

Die Beherrschung mehrerer, individuell gewichteter Anforderungen (Kosten, Ressourcen, Qualität, Produktivität) zum Design einer Prozesskette erfordert den Einsatz virtueller Werkzeuge, wie z. B. Metamodelle. Die Freiheit bei Design und maßgeschneiderter Funktionalität von realen Produkten in der additiven Fertigung erfordert eine Bauteilauslegung im Hinblick auf vor- und nachgelagerte Schritte der Prozesskette. Die Entwicklung von ganzheitlichen und durchgängigen Designwerkzeugen und Datenketten bzw. -standards bereitet den Weg zu einer smarten Auslegung von Prozessketten und Bauteilfunktionen, die jedoch neue konstruktive Ansätze erfordern. Die an den Verbundinstituten entwickelten Verfahren der Laserbearbeitungstechnologien ermöglichen eine prozessgerechte und belastungsangepasste Bauteilgestaltung, die eine erfolgreiche Umsetzung der Entwicklungen erlaubt. Ähnliche Prozesskettengestaltungen umfassen die optischen Verfahrenskomponenten. Das mechanische und optische Design am Fraunhofer IOF resultiert final in den Anforderungen und Auslegungen der Bauteile oder Systeme.

1 Optikdesign einer Nachtsichtkamera.

2 Modell einer laserstrahlgeschweißten Welle-Nabe-Verbindung mit Spannungsverteilung unter Betriebslast.

3 Prozesssimulation.

Kontakt

Prof. Reinhart Poprawe (Vorsitzender)
Steinbachstraße 15, 52074 Aachen
reinhart.poprawe@ilt.fraunhofer.de

Dr. Arnold Gillner (Geschäftsführer)
Steinbachstraße 15, 52074 Aachen
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

www.light-and-surfaces.fraunhofer.de

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 72 Institute und Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. Mehr als 25 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erzielen das jährliche Forschungsvolumen von 2,3 Milliarden Euro. Davon fallen knapp 2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

www.fraunhofer.de