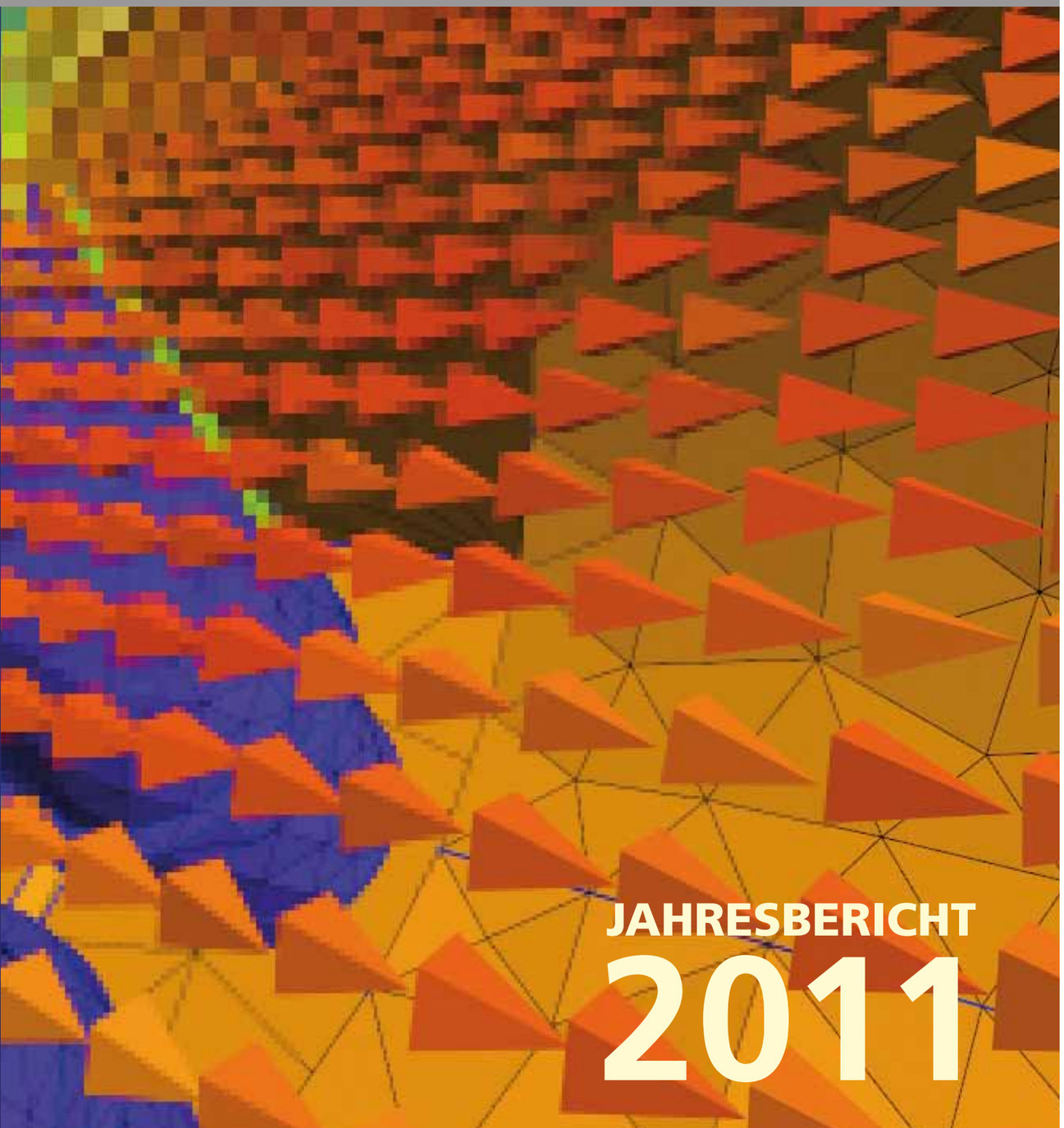
Fraunhofer
IST

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SCHICHT- UND OBERFLÄCHENTECHNIK IST



JAHRESBERICHT 2011

JAHRESBERICHT
2011

1

VORWORT

Sehr geehrte Damen und Herren,

in unserem Jahresbericht 2011 haben wir Ihnen wieder neueste Forschungsergebnisse, interessante Informationen und aktuelle Entwicklungen aus dem Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST zusammengestellt.

Mit vielen Highlights und spannenden Projekten war 2011 für unser Institut wieder ein sehr erfolgreiches Jahr. Auf den folgenden Seiten erfahren Sie mehr.

An dieser Stelle möchten wir nicht versäumen, Ihr Augenmerk auf diejenigen zu lenken, deren Leistung und Engagement, Vertrauen und Unterstützung Grundlage für den Erfolg unseres Instituts ist: allen voran die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Fraunhofer IST, unsere Partner aus Forschung und Entwicklung, unsere Auftraggeber aus der Industrie, unsere Förderer, Kollegen und Freunde.

Ihnen allen danken wir ganz herzlich.

Prof. Dr. Günter Bräuer

Prof. (TUT) Wolfgang Diehl

1 *Links: Institutsleiter Prof. Dr. Günter Bräuer. Rechts: stellvertretender Institutsleiter Prof. (TUT) Wolfgang Diehl.*

INHALT

Vorwort 3

Highlights 2011 6

Preise 2011 8

Kuratorium 11

Ausgezeichnete Zusammenarbeit 13

Das Institut im Profil 14

Das Institut in Zahlen 16

Ihre Ansprechpartner 19

Organisationsstruktur 2011 20

Forschungs- und Dienstleistungsangebot 22
- Analytik und Qualitätssicherung 24
- Laborausstattung und Großgeräte 25
- Nachhaltige Lösungen mit Schicht- und Oberflächentechnik 26

Maschinenbau und Fahrzeugtechnik 29
- TriboMan – Reduzierung von Reibung und Verschleiss in Verbrennungsmotoren 30
- Piezoresistive Dünnschichtsensorik in direktem Wälzkontakt von Lagern 32
- Entwicklung von Dünnschichtsensorik zur exakten Temperaturdetektion 34
- Piezoresistive Dünnschichtsensorik für intelligente Kugelgewindetriebe 36

Luft- und Raumfahrt 39
- Wärmedämmschichten für Turbinenschaufeln 40
- Prozesssimulation für optische Hochpräzisionsfilter 42

Werkzeuge 45
- Tribologie von hochfesten Titanlegierungen bei 500 – 900 °C 46
- Nano-strukturierte Hartstoff-Schichten für Werkzeuge und Hochtemperaturanwendungen 48
- Elektronenstrahlhärtung und Hartstoffbeschichtung für hochbelastete Werkzeuge und Bauteile 50

Energie, Glas, Fassade 53
- Heißdraht-CVD-Siliziumschichten für die Photovoltaik 54
- Simulation von Verdampfungsprozessen 56

Optik, Information, Kommunikation 59
- P-leitende transparente Schichten für transparente Elektronik 60
- Reaktives Sputtern von Mischoxiden für optische Schichten 62
- Innovatives System zur Herstellung von Präzisionsoptiken – EOSS 64
- MOCCA+® – Prozessautomatisierung und optisches Monitoring 66
- Verbesserte Schichthaftung auf PTFE mittels Plasmabehandlung 68
- Elektrische Isolationsschichten auf Basis von AL_2O_3 70

Mensch und Umwelt 73
- Silberreinigung mittels Atmosphärendruck-Plasma 74
- Fluidischer Separator für Zweiphasengemische 76
- Vom Labor in die Produktion: Veredlung technischer Textilien durch Atmosphärendruck-Plasma 78

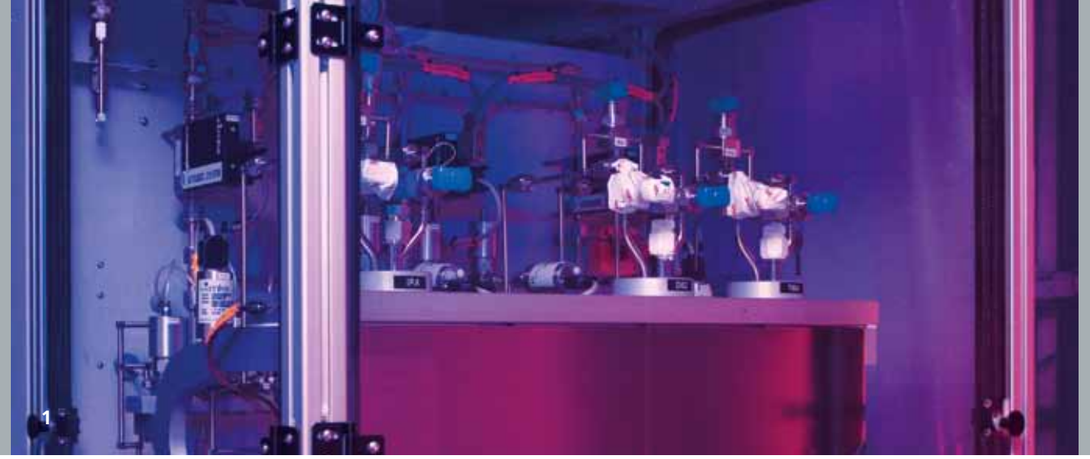
Leistungen und Kompetenzen 81
- Neue automatisierte Auswertung für den Rockwell-Test 82
- Präzise Schichtdickenbestimmung bei Multilayern mit SIMS und XRR 84
- MPP-Abscheidung von C-DLC-Schichten für tribologische Anwendungen 86

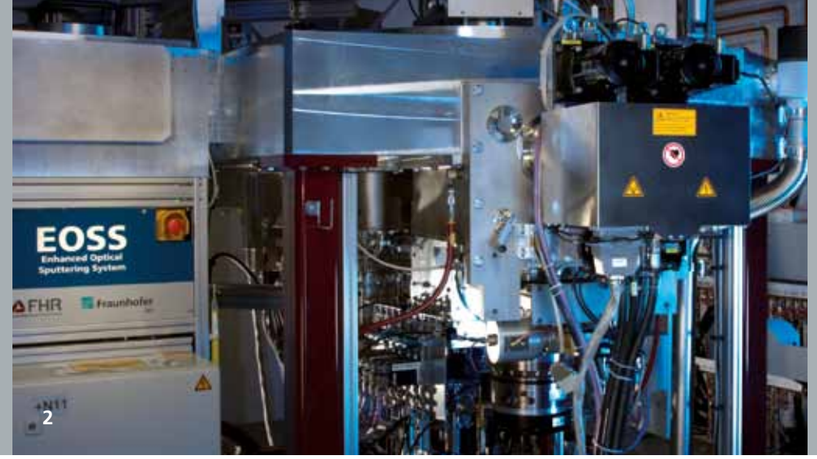
Namen, Daten, Ereignisse 2011 89
- Messen und Konferenzen 90
- Workshops 92
- 2nd International Conference on HIPIMS 94
- Ereignisse 96

Das Fraunhofer IST in Netzwerken 99
- Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick 101
- Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces 102
- Fraunhofer macht Schule – Nachwuchsförderung am IST 104
- Neues Ausbildungsportal – physiklaboranten.de 106
- Das Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik e.V. – INPLAS 108
- Mitgliedschaften 110
- Mitarbeit in Gremien 112
- Internationale Gäste 113

Publikationen 114
- Vorträge, Poster 119
- Dissertationen 124
- Diplomarbeiten / Masterarbeiten 124
- Bachelorarbeiten 125
- Schutzrechtanmeldungen 125

Anhang 126
- Bildverzeichnis 126
- Impressum 128





1 *ALD Atomic Layer Deposition: Eine Investition des Jahres 2011.*
2 *Mit dem EOSS – Enhanced Optical Sputtering System können modernste Hochpräzisionsschichten hergestellt werden.*

HIGHLIGHTS 2011

»Braunschweig als Zentrum medizinischer Forschung. Wer hätte vor zwanzig Jahren das vermutet?« Soweit das Fazit aus einem Forschungsreport, der in der Braunschweiger Zeitung am 17. Januar 2012 erschien. Der Artikel würdigt die erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen dem Städtischen Klinikum Braunschweig, dem Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung und dem Fraunhofer IST als Musterbeispiel interdisziplinärer Forschung. Das gemeinsam entwickelte »Labor in Beuteln« erleichtert durch Modifikation innerer Oberflächen mit atmosphärischen Plasmen das Wachstum von Stammzellen. Unser Institut wurde dafür am 8. Dezember mit dem Label »Ausgezeichneter Ort im Land der Ideen 2011« ausgezeichnet.

Für ein neues Modul, mit dem unter anderem das Beschichten von Spezialgläsern – wie etwa Sonnenschutzfenstern – wesentlich zeit- und energieeffizienter wird, wurde das Fraunhofer IST auf der Hannover Messe 2011 am 4. April mit dem Ferchau-Innovationspreis ausgezeichnet. Das Besondere daran: Die höhere Effizienz von reaktiven Zerstäubungsprozessen und die Verringerung ihrer Komplexität ermöglicht eine neuartige Verfahrensvariante.

Energiewende und Nachhaltigkeit sind wichtige gesellschaftspolitische Themen unserer Zeit. Mit der Entwicklung dünner Schichten für Energiekonversion und Energieeinsparung sowie der Effizienzsteigerung entsprechender Beschichtungsprozesse arbeitet das IST seit seiner Gründung auf diesem Gebiet. Schichten, die Verschleiß und Reibung reduzieren, sind für uns ein Dauerthema.

Im Herbst 2011 konnte schließlich die erste Silizium-Dünnschicht-Solarzelle realisiert werden, die ausschließlich auf den am IST vorhandenen Technologien basiert. Kürzere Produktionszeiten und verbesserte Materialausnutzung sind dabei die wesentlichen Ziele.

Die Themen Ausbildung und Nachwuchsförderung stehen neben den technisch-wissenschaftlichen Innovationen am Fraunhofer IST zunehmend im Fokus. Im Rahmen eines vom Braunschweigischen Hochschulbund geförderten Programms wurden drei Gymnasiastinnen Praktika ermöglicht. Im Herbst ging die gemeinsame Ausbildungsplattform www.physiklaboranten.de von Fraunhofer, PTB und TU Braunschweig online. Der »Zukunftstag für Mädchen und Jungen«, mit dem wir dazu beitragen, Schülerinnen und Schüler frühzeitig für die Wissenschaft zu begeistern, gehört inzwischen zur festen Einrichtung.

Zu neuen Ufern geht es seit 2011 auch mit wichtigen Anlageninvestitionen. Mit einer Maschine zur »Atomic Layer Deposition ALD« erweiterten wir die Palette unserer Beschichtungstechnologien um ein Verfahren mit hohem Zukunftspotenzial. Seit Mitte 2011 steht mit der EOSS-Anlage (Enhanced Optical Sputter System) eines der weltweit innovativsten Konzepte für Beschichtungen in der Präzisionsoptik zur Verfügung. Der konsequente Ausbau der Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Zerstäubung mit hochionisierten Plasmen (HIPIMS) wird unterstützt durch die Investition einer entsprechenden Kurztaktanlage, wobei eine enge Zusammenarbeit mit dem Anlagenhersteller vereinbart wurde.

Wie immer möchten wir Ihnen auf den folgenden Seiten ausgewählte Ergebnisse aus einem erfolgreichen Arbeitsjahr des Fraunhofer IST präsentieren. Wir verdanken diesen Erfolg vor allem unseren Auftraggebern aus der Industrie und unseren Zuwendungsgebern ebenso wie unseren hervorragenden Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Mit anspruchsvollen technisch-wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Zielen wird unser Institut auch in 2012 weiter auf Erfolgskurs bleiben.

1

2

PREISE 2011

Fraunhofer IST erhält Ferchau-Innovationspreis
Für seinen Beitrag zur effizienteren Produktion von Sonnenschutzschichten wurde Dr. Bernd Szyszka vom Fraunhofer IST mit dem ersten Platz des Ferchau-Innovationspreises geehrt. Er hat zusammen mit seinem Team ein Modul entwickelt, welches das Beschichten von Spezialgläsern – etwa Sonnenschutzfenstern – wesentlich zeit- und energieeffizienter macht.

Draußen brennt die Sonne. Schnell staut sich die Hitze hinter Fensterscheiben und in den Innenräumen wird es unerträglich warm. Sonnenschutzbeschichtungen auf den Fenstern schaffen Abhilfe: Mehrere Schichten aus verschiedenen Materialien, unter anderem Titanoxid, sorgen dafür, dass das Glas die Hitze nicht durchlässt. Hergestellt werden solche Beschichtungen mit Sputteranlagen: Man schießt Edelgas-Ionen auf ein Target, beispielsweise Titan. Darin lösen sie zunächst eine Stoßkaskade aus – wie beim Billard stoßen sie dabei einige Atome an, die wiederum auf andere Atome prallen. Der Stoß wird tief in das Target hineingetragen. Einige Atome lösen sich aus dem Material und setzen sich unter anderem auf dem zu beschichtenden Substrat ab, etwa der Fensterscheibe. Atom für Atom entsteht so eine flächendeckende Schicht. Dr. Bernd Szyszka, Abteilungsleiter am Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST in Braunschweig, konnte gemeinsam mit seinem Team die Effizienz solcher Anlagen erheblich steigern – und erhält dafür den Ferchau-Preis. »Wir können bei gleicher Leistung 35 Prozent mehr Material herstellen«, fasst Szyszka zusammen. »Die Beschichtungsanlagen werden kostengünstiger und kompakter.« Ein weiterer Vorteil: Die erzeugten Schichten haben bessere Eigenschaften, so sind sie beispielsweise homogener. Die Oberflächenrauhigkeiten können um bis zu 60 Prozent gegenüber dem Standard reduziert werden. Die Basis für diese Verbesserungen liegt in einer neuartigen Sputtertechnologie, dem cylindrical co-sputtern – C^2. Szyszka und sein Team schießen nicht nur die üblichen Edelgasatome auf das Titan-Target, sondern zusätzlich Wismut-Atome. »Die Wismut-Atome legen sich auf die Titanoberfläche. Prallen die Edelgasatome darauf, werden die Wismut-Atome langsam in das Titan eingebaut«, erklärt Szyszka. Zieht man wieder den Vergleich zum Billard, wäre es, als lege man ein paar größere Kugeln hinzu. Trifft nun ein Edelgasatom auf die Oberfläche, »bremsen« die größeren Wismut-Atome den Stoß ein wenig ab, die Stoßkaskade dringt nicht so tief in das Titan ein, es geht weniger Energie verloren.

Einen Prototypen der Sputteranlage hat Szyszka bereits realisiert, die Titantargets darin sind 75 Zentimeter lang. Innerhalb von zwei Jahren möchte der Wissenschaftler die Anlage so weiterentwickeln, dass sie Targets von 3,80 Meter Länge fasst. Solche Targetlängen sind bei der Herstellung von Sonnenschutz-Fenstern üblich.

Ausgewählter Ort der Ideen 2011
Mit dem Kultivierungssystem für die Stammzellenforschung »Plasma im Stammzellen-Beutel« ist das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST im bundesweit ausgetragenen Innovationswettbewerb »365 Orte im Land der Ideen« als ausgewälter Ort der Ideen 2011 ausgezeichnet worden.

Ob im Kampf gegen Leukämie, zum Knochenaufbau oder zur Behandlung bisher irreparabler Schädigungen des Körpers – Stammzellen spielen in der Forschung eine wichtige Rolle. Allerdings war bislang die Kultivierung recht aufwändig und vor allem kostspielig. Das Team um Dr. Michael Thomas am Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST in Braunschweig hat dafür ein plasmatechnisches Verfahren bei Atmosphärendruck entwickelt. Die Innenseite der Behälter wird dabei mit einem Plasma so verändert, dass Stammzellen daran haften bleiben und besonders gut wachsen und gedeihen können. »Wir befüllen die Beutel mit einem spezifischen Gasgemisch und legen eine elektrische Spannung an«, erklärt die wissenschaftliche Mitarbeiterin Dr. Kristina Lachmann. »So entsteht im Inneren für kurze Zeit ein Plasma, ein leuchtendes, ionisiertes Gas, das die Kunststoffoberfläche chemisch verändert.« Bei diesem Prozess bleibt der Beutel steril, da Plasmen auch eine desinfizierende Wirkung besitzen. »Dieses Labor im Beutel ist sicher vor Keimen, kälteresistent und dazu noch kostengünstig.«, betont Gruppenleiter Dr. Michael Thomas. Mit der Auszeichnung als »Ausgewählter Ort 2011« ist das Fraunhofer IST einer von 365 Preisträgern, die jedes Jahr von der Standortinitiative »Deutschland – Land der Ideen« gemeinsam mit der Deutschen Bank unter der Schirmherrschaft des Bundespräsidenten prämiert werden.

Nachwuchsförderpreis der DGO 2011
Mit dem Nachwuchsförderpreis 2011 der Deutschen Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V. – DGO wurde Enno Klaaßen für seine Arbeit zum Bachelor of Engineering ausgezeichnet. Die Abschlussarbeit mit dem Thema »Elektrochemische Ozonherstellung an Diamantelektroden« zeigt auf, welche Möglichkeiten die chemiefreie Prozesstechnik im Bereich der elektrolytischen Ozonerzeugung liefert. Es wurde besonders hervorgehoben, dass es Enno Klaaßen gelungen sei, optimale Zellgeometrien und Arbeitsbedingungen zu entwickeln, unter denen Ozon mit einem hohen Wirkungsgrad in einer durch eine Kationenaustauschermembran geteilten Doppelzelle erzeugt werden kann. Die Entwicklung von kleinen und handlichen Ozongeneratoren, die nach dem Prinzip der anodischen Wasserelektrolyse arbeiten, ist für die lokale Wasseraufbereitung und die Desinfektion in der Medizin- und Lebensmitteltechnik von Bedeutung. Außerdem berichtete Enno Klaaßen in seinem Vortrag über neue Ergebnisse im Bereich des »Electrochemical Advanced Oxidation Process - EAOP®«. Mit diesem Verfahren können schlecht abbaubare Verunreinigungen, wie z.B. Herbizide oder Medikamentenrückstände, mittels eines *in-situ*-Verfahrens an Diamantelektroden effektiv aus wässrigen Lösungen entfernt werden.

1 *Der 1. Ferchau-Preis wurde vom Niedersächischen Ministerpräsidenten David McAllister übergeben.*
2 *Enno Klaaßen (Mitte) bei der Verleihung des DGO-Nachwuchsförderpreises 2011.*

Dr. P. Lichtenauer

Prof. Dr. H. Oechsner

Dr. F. Böger

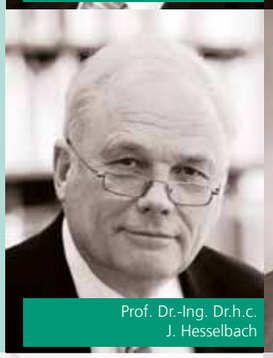
Dipl.-Ing. E. Dietrich

RD A. Kletschke

Dr. U. Engel

Prof. Dr. H. Ferkel

Dr. R. Grün


Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c.
J. Hesselbach

Prof. Dr. A. Möbius

Dr. M. Müller

Dr.-Ing. A. Pawlakowitsch

MinRat Dr. H. Schroeder

Dr.-Ing. W. Steinbach

Dr.-Ing. M. Steinhorst

Dr. Ernst-Rudolf Weidlich

Dr. G. J. van der Kolk

KURATORIUM

Vorsitz
Dr. P. Lichtenauer
Plasmawerk Hamburg GmbH

Stellvertretender Vorsitz
Prof. Dr. H. Oechsner
IFOS - Institut für Oberflächen- und Schichtanalytik GmbH an der TU Kaiserslautern

Dr. Frank Böger
EFDS Europäische Forschungsgemeinschaft »Dünne Schichten« e.V.

Dipl.-Ing. E. Dietrich
Frankfurt

Dr. U. Engel
Hagnau

Prof. Dr. H. Ferkel
Volkswagen AG

Dr. R. Grün
PlaTeG GmbH

Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c.
J. Hesselbach
Präsident der Technischen Universität Braunschweig

Dr. H. Hilgers
Mainz

RD A. Kletschke
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Prof. Dr. A. Möbius
Cookson Electronics Enthone GmbH

Dr. M. Müller
Robert Bosch GmbH

Dr.-Ing. A. Pawlakowitsch
Singulus Technologies AG

MinRat Dr. H. Schroeder
Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur

Dr.-Ing. W. Steinbach
EagleBurgmann Germany GmbH & Co. KG

Dr.-Ing. M. Steinhorst
DOC - Dortmunder OberflächenCentrum GmbH

Dr. Ernst-Rudolf Weidlich
GRT GmbH&Co KG

Dr. G. J. van der Kolk
IonBond Netherlands BV

AUSGEZEICHNETE ZUSAMMENARBEIT

Die Stammzellforschung ist ein wichtiges und zukunftsweisendes medizinisches Forschungsfeld. Am Klinikum Braunschweig und dem Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung HZI wird seit Jahren daran geforscht, die Anwendung therapeutischer Zellen für die Bekämpfung von Krankheiten zu etablieren. Hier spielt das Fraunhofer IST als komplementärer Forschungspartner eine wichtige Rolle, da durch die innovativen funktionellen Plasmaverfahren uns Biologen und Medizinern ganz neue Lösungsansätze aufgezeigt wurden, die neue zelltherapeutische Anwendungen in greifbare Nähe bringen.

Eine Herausforderung bei der Stammzellforschung ist der Umgang mit den Zellen. Dazu werden heutzutage meist Petrischalen, Mikrotiterplatten oder Zellkulturflaschen unter GMP-Bedingungen verwendet. Diese »offenen« Systeme bergen jedoch ein hohes Kontaminationsrisiko in sich.

Die Verwendung von »geschlossenen« Kunststoffbeuteln ist in der medizinischen Praxis bereits in Form von Blut- oder Infusionsbeuteln sehr verbreitet. Weniger bekannt ist die Anwendung von Beutelsystemen zur Kultivierung von Zellen, denn therapeutische Zellen, die ein hohes Potenzial für die Bekämpfung schwerer Krankheiten, wie Hautkrebs besitzen, zeigen häufig ein adhärentes Wachstum auf Oberflächen. Bisher war diese Form des Zellwachstums im Kunststoffbeutel nicht möglich, da gängige Kunststoffe keine attraktive Oberfläche darstellen. Ziel des gemeinsamen Verbundprojekts »InnoSurf«, das vom BMWi über das InnoNet-Programm gefördert wurde, war es also, ein geschlossenes, keimfreies System zu entwickeln, in dem Stammzellen kontaminationsfrei gezüchtet werden können.

Das Fraunhofer IST hat mit der Entwicklung eines einfachen Verfahrens, mit dem es möglich ist, einen geschlossenen Kunststoffbeutel von Innen so zu verändern, dass auf der Oberfläche Zellen adhärent wachsen, maßgeblich zum großen Erfolg des Projektes beigetragen. Diese beschichteten Beutelsysteme wurden am HZI und am Klinikum Braunschweig erfolgreich getestet.

An dieser Stelle möchte ich darüber hinaus die außergewöhnlich gute und unkomplizierte Zusammenarbeit der Projektpartner betonen. In dem Projekt haben neben dem Klinikum Braunschweig und dem Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST, das Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung, die TU Braunschweig, die Universität Tübingen und Partner aus der Industrie gemeinsam geforscht. Ein großer Vorteil – fast alle beteiligten Forschungseinrichtungen kamen aus Braunschweig, das hieß: kurze Wege und eine Stärkung der Forschungsregion Braunschweig.

Dr. med. H. Garritsen
Klinikum Braunschweig

DAS INSTITUT IM PROFIL

Das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST bündelt als industrienahes FuE-Dienstleistungszentrum Kompetenzen auf den Gebieten Schichtherstellung, Schichtanwendung, Schichtcharakterisierung und Oberflächenanalyse. Zahlreiche 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. Zurzeit ist das Institut in diesen Geschäftsfeldern tätig:

- Maschinenbau und Fahrzeugtechnik
- Luft- und Raumfahrt
- Werkzeuge
- Energie, Glas und Fassade
- Optik, Information und Kommunikation
- Mensch und Umwelt

Zur Bearbeitung dieser Geschäftsfelder nutzt das Fraunhofer-Institut seine Kompetenzen in den folgenden Bereichen:

- Reibungsminderung und Verschleißschutz
- Superharte Schichten
- Niederdruckverfahren
- Simulation
- Atmosphärendruckverfahren
- Elektrische und optische Schichten
- Mikro- und Nanotechnologie
- Analytik und Prüftechnik

Entsprechend dem Querschnittscharakter von Schicht- und Oberflächentechnologien kooperiert das Institut mit einer großen Zahl von Lohnbeschichtern, Anlagenbauern und Schichtanwendern aus den unterschiedlichsten Branchen. Die wichtigsten sind Maschinenbau, Verkehrstechnik, Fertigungstechnik, Elektronik, Optik, Informations-, Energie-, Medizintechnik und Biotechnologie.

112 feste Mitarbeiter bearbeiten auf einer Büro- und Laborfläche von mehr als 4000 m² vielfältige Forschungsaufträge, wobei das Leistungsangebot des Fraunhofer IST durch die Kompetenzen anderer Institute des Fraunhofer-Verbunds »Light & Surfaces« ergänzt wird. Viele Projekte werden mit öffentlichen Mitteln des Landes Niedersachsen, des Bundes, der Europäischen Union und anderer Institutionen gefördert.

Wichtige Ziele des Fraunhofer IST:

- Schnelle Umsetzung innovativer Lösungen aus anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung in die industrielle Praxis,
- Etablierung neuer zukunftsweisender Technologien am Markt und
- Transfer dieser innovativen Technologien zu kleinen und mittleren Unternehmen.

DAS INSTITUT IN ZAHLEN

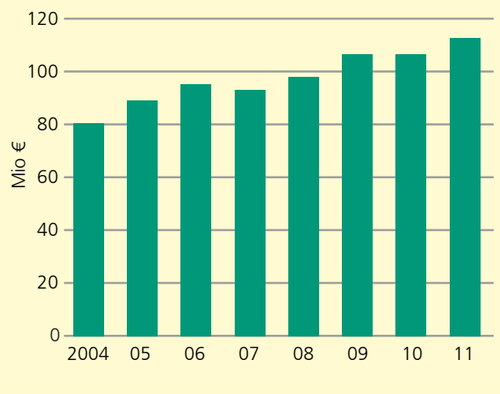
Mitarbeiterentwicklung
Im Berichtszeitraum beschäftigte das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik 112 Mitarbeiter. Der Anteil an wissenschaftlichem Personal, Doktoranden und Ingenieuren betrug 50 Prozent. Technisches und kaufmännisches Personal sowie eine Vielzahl von Diplomanden und studentischen Hilfskräften unterstützten die Forschungsarbeit. Das Angebot zur Ausbildung in den Berufszweigen Galvanik, Physik und Fachinformatik wurde von 5 Mitarbeitern wahrgenommen.

Betriebshaushalt
Der Betriebsaufwand von insgesamt 12,3 Mio € erhöhte sich um fast 2 Prozent gegenüber dem Vorjahr. Der Personalaufwand von 7,1 Mio € hat dabei einen konstanten Anteil von fast 60 Prozent am Betriebshaushalt und wuchs um 2,7 Prozent gegenüber dem Vorjahr. 40 Prozent des Betriebshaushaltes entfallen mit 5,2 Mio € auf Sachkosten, eine Steigerung von einem Prozentpunkt im Vergleich zum Vorjahr.

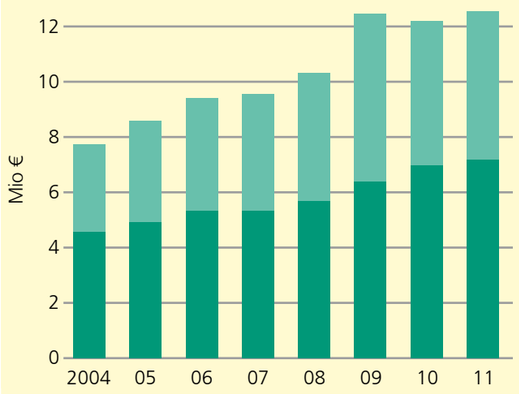
Ertragsstruktur
Das Niveau eines starken WirtschaftsRho konnte auch in diesem Jahr gehalten werden. Es beträgt 41,5 Prozent bei einem Wirtschaftsertrag von gut 5 Mio €. Bei den öffentlichen Erträgen konnte eine Steigerung zum Vorjahr erzielt werden, so dass die Erträge hier fast 3,6 Mio € betragen. Der Gesamtertrag von 8,6 Mio € knüpft an das Ergebnis des Vorjahres an.

Investitionshaushalt
Im Jahr 2011 wurden insgesamt Investitionen von fast 2,8 Mio € getätigt. Die Verdopplung der Investitionen im Vergleich zum Vorjahr wurde durch Projekt- und Sonderinvestitionen in Höhe von 1,7 Mio €, Normalinvestitionen in Höhe von 600 T€ und strategische Investitionen in Höhe von 500 T€ ermöglicht.

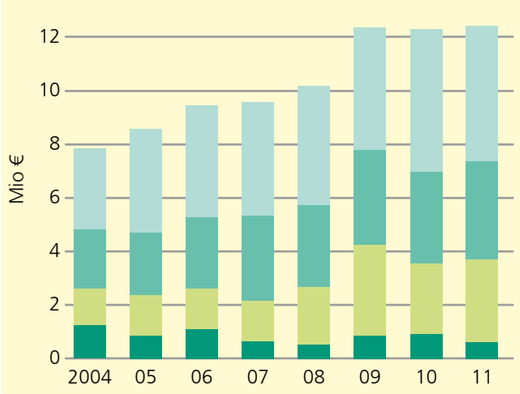
Anzahl der Mitarbeiter.



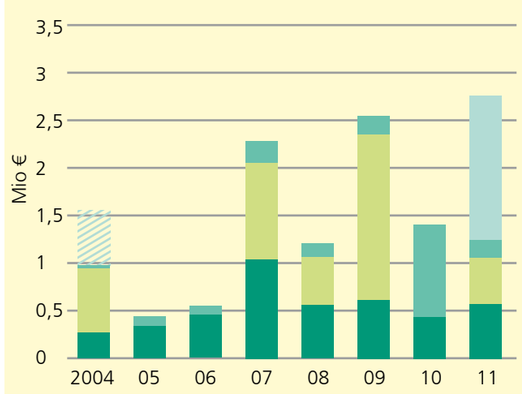
Personal- und Sachkosten.



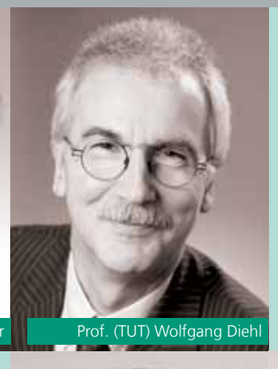
Ertragsstruktur.



Investitionen.



Prof. Dr. Günter Bräuer


Prof. (TUT) Wolfgang Diehl

Dipl.-Kaufm. Michael Kaczmarek

Dr. Simone Kondruweit

Dr. Klaus Bewilogua

Dr. Jochen Brand

Prof. Dr. Claus-Peter Klages

Dr. Lothar Schäfer

Dr. Bernd Szyszka

Dr. Michael Vergöhl

Dr. Kirsten Schiffmann

Dr. Ralf Bandorf

Dr. Saskia Biehl

Dr. Andreas Dietz

Dr. Thomas Jung

Dr. Andreas Pflug

Dr. Michael Thomas

IHRE ANSPRECHPARTNER

Das 1990 gegründete Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST ist Ihr Ansprechpartner für alle Fragen zur Dünnschichttechnologie. In der Organisation gibt es neben der Geschäftsleitung und dem Marketing sieben Abteilungen:

- Transferzentrum Tribologie
- Neue tribologische Beschichtungen
- Diamanttechnologie
- Optische und elektrische Schichten
  - Optische Funktionsschichten
  - Sensorische Funktionsschichten
  - Mikro- und Sensortechnologie
- Großflächenbeschichtung
  - Magnetron-Sputtern
  - Hohlkathodenverfahren
  - Simulation
- Atmosphärendruckverfahren
  - Galvanotechnologie
  - Atmosphärendruck-Plasmaverfahren
- Analytik und Qualitätssicherung

ORGANIGRAMM 2011

INSTITUTSLEITUNG

Prof. Dr. Günter Bräuer
Telefon +49 531 2155-500
guenter.braeuer@ist.fraunhofer.de

STELLVERTRETENDER INSTITUTSLEITER

Prof. (TUT) Wolfgang Diehl
Telefon +49 531 2155-515
wolfgang.diehl@ist.fraunhofer.de

VERWALTUNG

Dipl.-Kaufmann Michael Kaczmarek
Telefon +49 531 2155-220 | michael.kaczmarek@wki.fraunhofer.de

MARKETING UND KOMMUNIKATION

Dr. Simone Kondruweit
Telefon +49 531 2155-535 | simone.kondruweit@ist.fraunhofer.de

TRANSFERZENTRUM TRIBOLOGIE Dr.-Ing. Jochen Brand

Telefon +49 531 2155-600 | jochen.brand@ist.fraunhofer.de

Prototypen- und Kleinserienfertigung | Anlagenkonzeptionierung | Plasmadiffusion | Reinigungstechnologie

DORTMUNDER OBERFLÄCHENCENTRUM DOC

Dipl.-Ing. Hanno Paschke
Telefon +49 231 844 5453 | hanno.paschke@ist.fraunhofer.de

NEUE TRIBOLOGISCHE BESCHICHTUNGEN Dr. Klaus Bewilogua

Telefon +49 531 2155-642 | klaus.bewilogua@ist.fraunhofer.de

Kohlenstoffbasierte Schichten (DLC) | Harte und superharte Schichten | Definierte Benetzung | Werkzeugbeschichtungen (Umformen, Schneiden, Zerspanen) | PVD- und PACVD-Prozesse

DIAMANTTECHNOLOGIE Dr. Lothar Schäfer

Telefon +49 531 2155-520 | lothar.schaefer@ist.fraunhofer.de

Werkzeuge und Bauteile | Diamantelektroden für elektrochemische Anwendungen | Diamantbeschichtete Keramiken DiaCer® | Heißdraht-CVD-Prozesse | Großflächige Heißdraht-CVD-Systeme | Heißdraht-CVD von siliziumbasierten Schichten für die Photovoltaik und die Mikroelektronik

OPTISCHE UND ELEKTRISCHE SCHICHTEN Dr. Michael Vergöhl

Telefon +49 531 2155-640 | michael.vergoehl@ist.fraunhofer.de

OPTISCHE FUNKTIONSSCHICHTEN

Dr. Michael Vergöhl
Telefon +49 531 2155-640 | michael.vergoehl@ist.fraunhofer.de

Optische Schichtsysteme | Prozessentwicklung | Materialentwicklung

SENSORISCHE FUNKTIONSSCHICHTEN

Dr. Ralf Bandorf
Telefon +49 531 2155-602 | ralf.bandorf@ist.fraunhofer.de

Sensorische Multifunktionsschichten | Hochionisierte Pulsprozesse (HIPIMS) | Mikrotribologie | Elektrische Funktionsschichten

MIKRO- UND SENSORTECHNOLOGIE

Dr.-Ing. Saskia Biehl
Telefon +49 531 2155-604 | saskia.biehl@ist.fraunhofer.de

Dünnschichtsensorik | Mikrostrukturierung 2-D und 3-D | Adaptronische Schichtsysteme

GROSSFLÄCHENBESCHICHTUNG Dr. Bernd Szyszka

Telefon +49 531 2155-641 | bernd.szyszka@ist.fraunhofer.de

MAGNETRON-SPUTTERN

Dr. Bernd Szyszka
Telefon +49 531 2155-641 | bernd.szyszka@ist.fraunhofer.de
Großflächenelektronik | Prozesstechnologie | Anlagen- und Prozessentwicklung |Transparente und leitfähige Schichtsysteme | Neue Halbleiter für Photovoltaik und Mikroelektronik | Atomlagenabscheidung ALD

HOHLKATHODENVERFAHREN

Dr. Thomas Jung
Telefon +49 531 2155-616 | thomas.jung@ist.fraunhofer.de

Plasmaquellen | Hochratenverfahren | Oxid- und C-Schichten | Erosionsschutzschichten

SIMULATION

Dr. Andreas Pflug
Telefon +49 531 2155-629 | andreas.pflug@ist.fraunhofer.de

Anlagen- und Prozessentwicklung | Simulation von Anlagen, Prozessen und Schichteigenschaften | Virtuelle Prozessanalyse

ATMOSPHÄRENDRUCKVERFAHREN Prof. Dr. Claus-Peter Klages

Telefon +49 531 2155-510 | claus-peter.klages@ist.fraunhofer.de

ATMOSPHÄRENDRUCK-PLASMAVERFAHREN

Dr. Michael Thomas
Telefon +49 531 2155-525 | michael.thomas@ist.fraunhofer.de

Biofunktionale Oberflächen | Mikroplasmen | Niedrig-Temperatur-Bonden | Oberflächenfunktionalisierung und -beschichtung

GALVANOTECHNOLOGIE

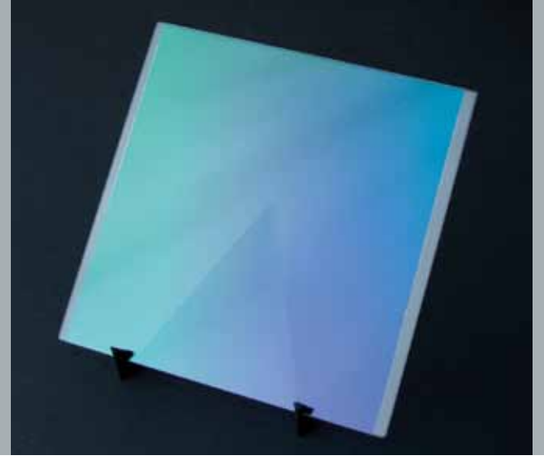
Dr. Andreas Dietz
Telefon +49 531 2155-646 | andreas.dietz@ist.fraunhofer.de

Komposite | Leichtmetallbeschichtung | Verfahrensentwicklung | Kunststoffmetallisierung

ANALYTIK UND QUALITÄTSSICHERUNG Dr. Kirsten Schiffmann

Telefon +49 531 2155-577 | kirsten.schiffmann@ist.fraunhofer.de

Chemische Mikro- und Oberflächenanalyse | Mikroskopie und Kristallstruktur | Prüftechnik | Kundenspezifische Prüfverfahren | Auftragsuntersuchungen



FORSCHUNGS- UND DIENSTLEISTUNGSANGEBOT

VORBEHANDLUNG

Wir reinigen Oberflächen

Erfolgreiche Beschichtungen setzen eine richtige Vorbehandlung der Oberfläche voraus. Wir bieten daher:

- Effiziente Oberflächenvorbehandlung auf wässriger Basis inklusive Trocknung
- Spezielle Glasreinigung
- Plasmavorbehandlung und Plasmareinigung
- Plasmaaktivierung und Plasmafunktionalisierung
- Nasschemische Ätzvorbehandlung
- Partikelstrahlen

BESCHICHTUNG

Wir entwickeln Prozesse und Schichtsysteme

Dünne Schichten sind das Kerngeschäft des Fraunhofer IST. Zur Schichtherstellung verfügt das Institut über ein breites Spektrum an Technologien: Von der Plasmabeschichtung im Vakuum und bei Atmosphärendruck über Heißdraht-CVD-Verfahren bis hin zur Galvanik. Unser Leistungsangebot umfasst:

- Schichtentwicklung
- Prozesstechnik (einschließlich Prozessdiagnostik, -modellierung und -regelung)
- Simulation von Schichtsystemen und Prozessen
- Entwicklung von Anlagenkomponenten und Verfahren

PRÜFUNG UND CHARAKTERISIERUNG

Wir sichern Qualität

Eine schnelle und zuverlässige Analytik und Qualitätssicherung ist die Voraussetzung für eine erfolgreiche Schichtentwicklung. Wir bieten unseren Kunden:

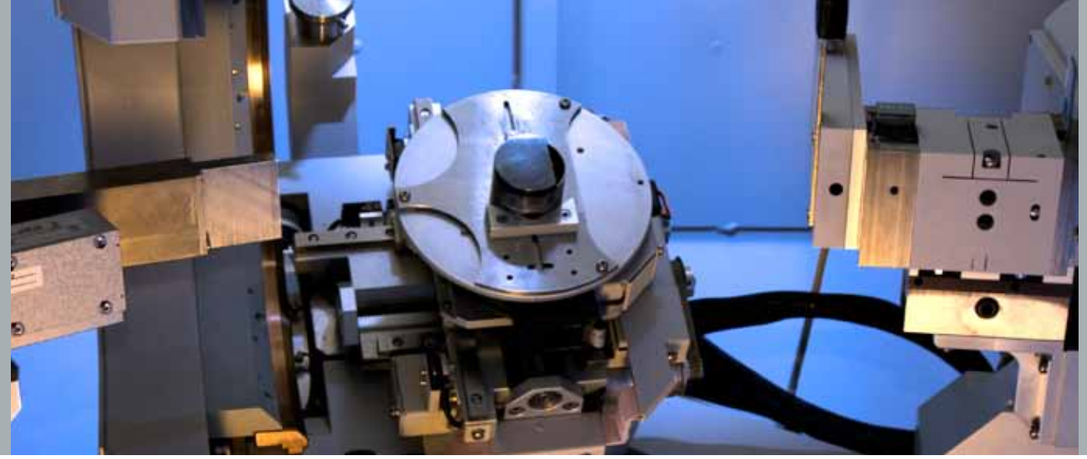
- Mechanische, chemische, mikromorphologische und strukturelle Charakterisierung
- Prüfverfahren und produktspezifische Qualitätskontrollen, z. B. Verschleißmessung an beliebigen Bauteilen
- Prüfung der Schichthaftung
- Optische und elektrische Charakterisierung
- Schnelle und vertrauliche Schadensanalyse
- Prüfung der Korrosionsbeständigkeit

ANWENDUNG

Wir übertragen Forschungsergebnisse in die Praxis

Für einen effizienten Transfer von Technologien in die Praxis bieten wir ein breites Spektrum an Know-how:

- Wirtschaftlichkeitsberechnungen, Entwicklung wirtschaftlicher Produktionsszenarien
- Prototypenentwicklung, Kleinserienfertigung, Beschichtung von Musterbauteilen
- Anlagenkonzepte und Fertigungsintegration
- Beratung und Schulungen
- Produktionsbegleitende Forschung und Entwicklung



ANALYTIK UND QUALITÄTSSICHERUNG

- Hochauflösendes Rasterelektronenmikroskop mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDX)
- Elektronenstrahl-Mikrosonde (WDX)
- Sekundärionen-Massenspektrometer (SIMS)
- Röntgen-Diffraktometer zur Strukturanalyse und für Reflektometrie-Messungen (XRD, XRR)
- Röntgen-Photoelektronen-Spektroskopie (XPS)
- Glimmentladungsspektroskopie (GDOES)
- Rastertunnel- und Rasterkraftmikroskop (STM,AFM)
- Mikro- und Nanoindentor zur Härteprüfung
- Optische und taktile Profilometrie
- Automatisierte, zerstörungsfreie Schichtdickenmessung
- Prüfeinrichtungen für Reibung, Verschleiß und Schichthaftung
- Prüfeinrichtung für Korrosionsmessung
- UV-/VIS-/NIR-Spektrometer und Ellipsometer
- Messeinrichtungen für Oberflächenenergie
- Einrichtungen für Korrosions- und Klimatests nach DIN EN
- Messeinrichtungen für elektrische und magnetische Schichteigenschaften
- Testsysteme für die elektrochemische Abwasserbehandlung
- Messgeräte und Verfahren zur Charakterisierung der photokatalytischen Aktivität
- Messplatz für die Charakterisierung von Solarzellen

LABORAUSSTATTUNG UND GROSSGERÄTE

- Produktionsanlagen für a-C:H:Me, a-C:H, Hartstoff-Schichten (bis 3 m^3 Volumen)
- Beschichtungsanlagen auf der Basis der Magnetron- und RF-Dioden-Zerstäubung
- Sputteranlagen für optische Präzisionsschichten
- In-line-Beschichtungsanlage für großflächige optische Funktionsschichten (bis 60 × 100 cm^2)
- Industrielle Beschichtungsanlagen mit HIPIMS-Technologie
- PVD-Beschichtungsanlage (Elektronenstrahl und thermisch)
- Plasmadiffusionsanlagen
- Anlagen für Hohlkathodenverfahren
- Atomlagenabscheidung (ALD); Beschichtungsanlage für thermische und Plasma-ALD
- Heißdraht-CVD-Anlagen für die Abscheidung von kristallinen Diamantschichten auf Flächen bis 50 x 100 cm^2
- Heißdraht-CVD-Anlagen für die Abscheidung von Silizium-basierten Schichten (Chargenverfahren und Durchlaufverfahren bis 50 × 60 cm^2)
- Anlagen für die Abscheidung mittels plasmaaktivierter CVD (PACVD)
- Atmosphärendruck-Plasmaanlagen zur großflächigen Funktionalisierung und Beschichtung (bis 40 cm Breite)
- Mikroplasmaanlagen zur selektiven Funktionalisierung von Oberflächen (bis ∅ = 20 cm)
- Bond-Aligner mit integriertem Plasmatool zur Vorbehandlung von Wafern im Reinraum
- Rolle-zu-Rolle-Anlage zur ortsselektiven Oberflächenfunktionalisierung
- Anlage zur Innenbeschichtung von Beuteln oder Flaschen
- Laser für 2-D und 3-D-Mikrostrukturierung
- Zwei Mask Aligner für photolithographische Strukturierung
- Mikrostrukturierungslabor (40 m^2 Reinraum)
- Technikumsanlage für galvanotechnische Prozesse
- 15-stufige Reinigungsanlage auf wässriger Basis
- Reinraum Technikum (25 m^2)
- Reinraum Sensorik (35 m^2)

NACHHALTIGE LÖSUNGEN MIT SCHICHT- UND OBERFLÄCHENTECHNIK

Nachhaltigkeit ist das aktuell vielleicht bedeutendste gesellschaftliche Leitbild unserer Zeit. Sowohl in der Europäischen Union als auch in der Bundesrepublik Deutschland stehen nachhaltige Entwicklungsprozesse an erster Stelle auf der Agenda. Das Fraunhofer IST entwickelt schon seit einigen Jahren im Bereich der Schicht- und Oberflächentechnik Lösungen für nachhaltige Produkte und eine nachhaltige industrielle Produktion.

Viele Forschungsthemen des Fraunhofer IST orientieren sich an dringlichen Zukunftsthemen und gesellschaftlichen Trends, wie u. a. der Energiewende, Alternativen für seltene Materialien und knappe Rohstoffe oder Mobilität im 21. Jahrhundert. Einige Beispiele aus unserer Forschung für nachhaltige industrielle Produkte und Prozesse:

Alternative Materialien

- Seit Mitte der 1990er Jahre wird am Fraunhofer IST intensiv daran geforscht, Indium-Zinn-Oxide (ITO) durch alternative Materialien etwa auf der Basis von ZnO und SnO_2 zu ersetzen.
- Dünne Schichten für LEDs auf Basis von Oxiden anstelle von GaN kommen ohne Farbkonversion durch Lumineszenz von seltenen Erden aus.
- Am Fraunhofer IST werden Materialalternativen für hochbrechende Tantaloxidschichten entwickelt, die in der Hochpräzisionsoptik eingesetzt werden.

Materialeffizienz

- Dünne Schichten aus Nanopartikeln erhöhen die aktive Fläche, z. B. bei Katalysatoren und sparen damit Material.
- Mit einem additiven galvanischen Metallisierungsprozess werden Metalle wie z. B. Kupfer gezielt lokal aufgebracht.
- Durch die Kombination verschiedener Materialien können Werkstoffe mit neuen Eigenschaften realisiert werden.

Produktionseffizienz

- Optimierte Hartstoff- und nano-strukturierte Schichtsysteme für Umform-, Schneid- oder Zerspanwerkzeuge erhöhen die Standzeit und ermöglichen eine wirtschaftlichere Fertigung.
- Schneller zum Ziel: Simulation ermöglicht immer kürzere Entwicklungszeiten, z. B. können durch die modellbasierte Auslegung und Implementierung von Bauteilbeschichtungen hocheffiziente Produktionsketten realisiert werden.
- Module mit sensorischen Dünnschichtsystemen werden in Tiefziehanlagen und Antriebsmaschinen integriert, um eine effiziente Umformung und Bearbeitung von Bauteilen zu gewährleisten.

Energieeffizienz

- Weniger Energieverbrauch durch Erosionsschutz von Flugtriebwerken: Sehr harte Multilagenschichten aus Keramik und Metall verhindern einen zu hohen Kraftstoffverbrauch und sinkende Wirkungsgrade.
- Breiteres und verbessertes Einsatzspektrum für Leichtbaukomponenten durch verschleißfeste, reibungsmindernde Beschichtungen, die auch vor Korrosion schützen.

Saubere Umwelt

- Mit den am Fraunhofer IST entwickelten Diamantelektroden kann Wasser elektrochemisch aufbereitet werden – angepasst an die Infrastruktur vor Ort und ohne Chemikalien.
- Photokatalytische Schichten ermöglichen selbst-desinfizierende Oberflächen und den Abbau von Schadstoffen aus der Luft ohne Desinfektionsmittel.
- Durch das Bonden von Werkstoffen kann auf Klebstoffe und Lösungsmittel verzichtet werden.

Mobilität in der Zukunft

- Reibungsarme und extrem verschleißfeste Beschichtungen reduzieren den Treibstoffverbrauch des KFZ-Motors und verlängern Wartungsintervalle sowie die Lebensdauer.
- Dünnschichtsensorik in tribologisch beanspruchten Gebieten erhöht die Zuverlässigkeit und Sicherheit in vielen Anwendungsfeldern, wie z. B. Elektromobilität, Windkraftanlagen.

Soweit nur einige unserer Beispiele – dünnste Hochleistungsschichten sind darüber hinaus die Basis für eine Vielzahl weiterer zukunftsgerechter Produkte und High-tech-Anwendungen, insbesondere, wenn es darum geht Material- und Energie einzusparen.

MASCHINENBAU UND FAHRZEUGTECHNIK

Im Geschäftsfeld »Maschinenbau und Fahrzeugtechnik« werden Schichtsysteme und Oberflächentechniken zur Reibungsminderung, zum Verschleiß- und Korrosionsschutz entwickelt und anwendungsorientiert optimiert. Neben der Schichtanpassung an spezielle Applikationen sowie der Entwicklung neuartiger Schichtsysteme steht die Entwicklung und Umsetzung produkt- und produktionsangepasster Beschichtungsprozesse im Vordergrund. Beispiele sind:

- Applikationsangepasste Kohlenstoffschicht-Systeme (DLC) für Komponenten des Verbrennungsmotors
- Kombinationsschichtsysteme für Leichtbauanwendungen
- Neue Hartstoffschichten für den Maschinenbau
- Sensorschichten für Bauteile
- Neue Duplex-Systeme für hochbeanspruchte Bauteile

Zu den Kunden dieses Geschäftsfeldes zählen neben Schichtherstellern vor allem Schichtanwender aus allen Bereichen des Maschinenbaus und der Automobilindustrie.

KONTAKT

Dr.-Ing. Jochen Brand
Telefon +49 531 2155-600
jochen.brand@ist.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Carola Brand
Telefon +49 531 2155-574
carola.brand@ist.fraunhofer.de

1 *Funktionelle Beschichtung auf Motorteilen.*

TRIBOMAN – REDUZIERUNG VON REIBUNG UND VERSCHLEISS IN VERBRENNUNGSMOTOREN

Die Kraftstoffeinsparung und die Reduzierung der Emission des Treibhausgases CO_2, das in großem Maße durch Verbrennungsmotoren ausgestoßen wird, sind die großen Herausforderungen der Automobilindustrie. Steigende Mobilität und gleichzeitige Schonung fossiler Brennstoffe sind nur durch neue Motorengenerationen zu erreichen.

Im institutsübergreifenden Fraunhofer-Forschungsprojekt »TriboMan« werden Legierungen, Verfahren und Prozesse zur Herstellung von Motorenkomponenten entwickelt. Ziel ist es, Reibung und Verschleiß durch die fertigungsintegrierte Vorwegnahme des Einlaufprozesses und die gezielte Bildung tribologisch wirksamer Schichtsysteme schon während des Herstellungsprozesses dauerhaft zu reduzieren. Innerhalb des Projekts beschäftigt sich das Fraunhofer IST mit der Entwicklung, Anpassung und Optimierung der verschleißfesten, harten und reibungsmindernden Schichtsysteme.

Die Beschichtung

Um den Öl- und Treibstoffverbrauch deutlich zu verringern sowie die Lebensdauer und Belastbarkeit der Motorkomponenten maßgeblich zu steigern, werden am IST harte und verschleißfeste Schichtsysteme für Tassenstößel, Nockenwellen, Kolbenbolzen oder Kolbenringe mit günstigem Einlaufverhalten und optimaler Schmierstoffinteraktion entwickelt. Aktuell liegt der Forschungsschwerpunkt auf chromhaltigen Kohlenstoffschichtsystemen (a-C:H:Cr), denn sie zeigen sehr gute Eigenschaften für den Einsatz in Verbrennungsmotoren:

- Extreme chemische Resistenz
- Hohe Temperaturresistenz, Härte, Verschleißfestigkeit
- Niedrige Reibwerte

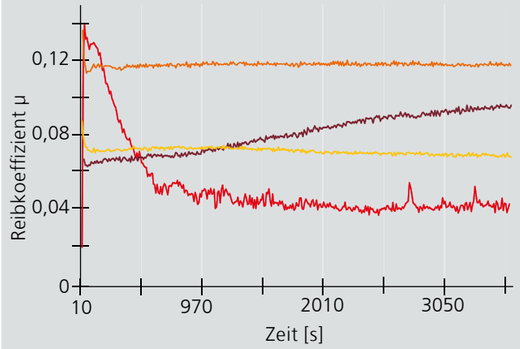
Die Schicht

Durch die Erhöhung des Chromanteils konnte die Härte der a-C:H:Cr-Schicht deutlich gesteigert werden. Im Vergleich zum a-C:H (DLC) wurde der Kontaktwinkel als Maß für die Ölbenetzungsfähigkeit nahezu halbiert, so dass die Benetzungsfähigkeit nun deutlich über der von unbeschichtetem Stahl liegt, obwohl das verwendete Öl »Castrol Edge 5W30« auf den blanken Stahl abgestimmt ist. Im Rollenprüfstand zur Reibwertuntersuchung zeigen die Schichtsysteme mit 50%-Chromanteil das beste Einlaufverhalten – der Reibwert pendelt sich auf einen sehr niedrigen Reibwert von 0,05 ein. Verglichen mit dem unbeschichteten Stahl bedeutet dies eine Halbierung des Reibkoeffizienten.

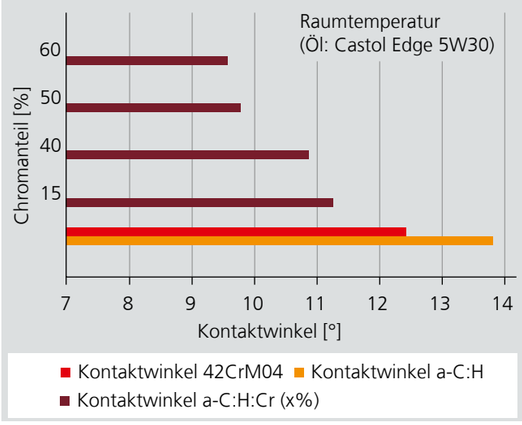
Zusammenfassung

Durch den erhöhten Chromanteil konnte ein Schichtsystem entwickelt werden, das sich durch seine hohe Härte, den niedrigen Reibwert und das optimale Einlaufverhalten als Verschleißschutzschicht in Verbrennungsmotoren empfiehlt. Zurzeit werden chromhaltige Schichtsysteme in 100-Stunden-Dauerversuchen im Rollenprüfstand, im Pin-On-Disk-Test und im Kolbenring-Zylinder-Prüfstand untersucht. Nach den Untersuchungen im Kolben-Ring-Zylinder-Prüfstand wird das System im realen Motor getestet.

Verbesserung des Reibkoeffizienten im Versuch Rolle gegen Flachprobe (Öl: 90°C, Pressung 150 MPa, v=2m/s).



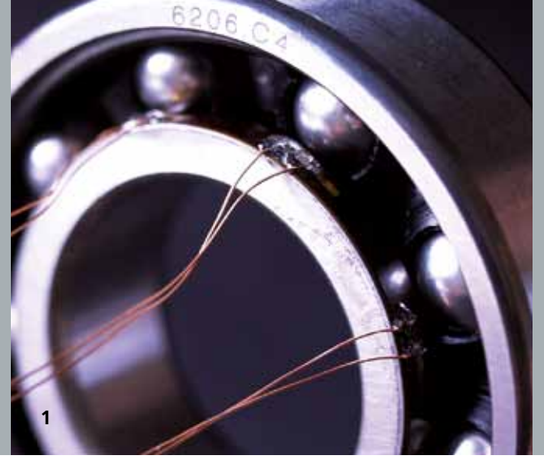
Verbesserung des Ölbenetzungsverhaltens durch Erhöhung des Chromanteils im a-C:H:Cr.



KONTAKT

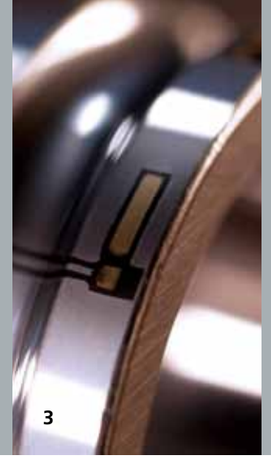
Dr.-Ing. Jochen Brand
Telefon +49 531 2155-600
jochen.brand@ist.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Marko Petrik
Telefon +49 531 2155-509
marko.petrik@ist.fraunhofer.de



1

2



3

PIEZORESISTIVE DÜNNSCHICHTSENSORIK IN DIREKTEM WÄLZKONTAKT VON LAGERN

Moderne Plasmatechniken ermöglichen die Herstellung von multifunktionalen Oberflächen, die tribologisch optimiert sind und gleichzeitig über sensorische Fähigkeiten verfügen. In Zusammmenarbeit mit dem Lagerhersteller Schaeffler Technologies AG & Co. KG wurden Lager mit Dünnschichtsensorik ähnlich einer »Haut für Maschinen« realisiert, mit denen Online-Messungen möglich sind.

Die Detektion von Lastverteilungen in der Laufbahn von Lagern ist eine der größten Herausforderungen im Bereich Sensorik, da die Wälzkörper dort Hertz´sche Pressungen ausüben, die im GPa liegen können. Am Fraunhofer IST wird seit vielen Jahren an einem Schichtsystem geforscht, das unter extrem hoher Belastung ortsaufgelöst die Kraft, die jeder einzelne Wälzkörper ausübt, detektiert.

Sensorische Dünnschichtsysteme

Die sensorische Kohlenstoffwasserstoffschicht Diaforce® ist unter Normalkrafteinwirkung piezoresistiv und zeigt sehr gute tribologische Eigenschaften. Diese High-Tech-Schicht wird direkt auf den Lagerring im PACVD Prozess beschichtet. Auf diese Sensorschicht (d = 6 µm) werden dann Chrom-Elektroden (d = 200 nm) im Lift-off-Prozess abgeschieden. Sie bestimmen den lokalen Messfleck, der später von der Lagerkugel überrollt werden wird. Auf diese Weise können die einzelnen Kugelkontakte gemessen, und die Lastverteilung im Lager detektiert werden. Die Elektroden werden im Kontaktbereich mit Gold beschichtet (Bild 2 und 3), so dass Messdrähte angelötet werden können. Zum Abschluss wird eine elektrische Isolations- und Verschleißschutzschicht SiCON® (d = 3 – 4 µm) abgeschieden. Das vollständig aufgebaute Sensorlager mit Dünnschichtsystem auf dem Innenlagerring ist in Bild 1 dargestellt.

Statische Charakterisierung des Dünnschichtsystems

In einem am Fraunhofer IST entwickelten Prüfstand wurden die Kraftsensoren statisch getestet, wobei sich eine lineare Widerstandsabhängigkeit von der Belastung an jeder Sensorstruktur ergab. Das Ergebnis: Mit zunehmender Belastung wird eine lineare Widerstandsabnahme von 20 – 40 Ohm/N gemessen, abhängig von der Sensorstrukturgröße. Dieses Verhalten ist reversibel, so dass bei Entlastung der Ausgangswiderstand wieder erreicht wird (obere Grafik).

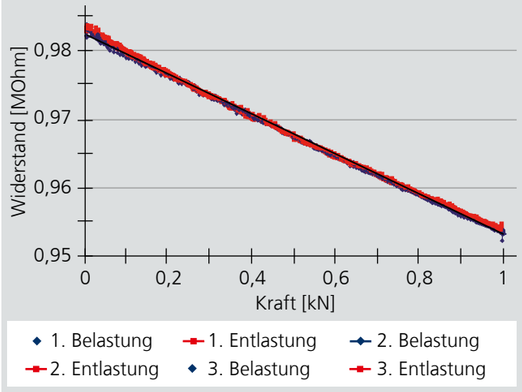
Sensorische Eigenschaften des Dünnschichtsystems

FAG Lager (6206.C4) mit integriertem piezoresistiven Schichtsystem DiaForce®-Cr-SiCON® wurden in einem Prüfstand bei der Schaeffler Technologies AG & Co. KG dynamisch getestet. Ziel dieser Untersuchungen war es, durch Widerstands- bzw. Spannungsänderungen der Kraftsensoren, das Überrollen der Lagerkugeln zu detektieren und die Lastverteilung in der Laufbahn aufzunehmen.

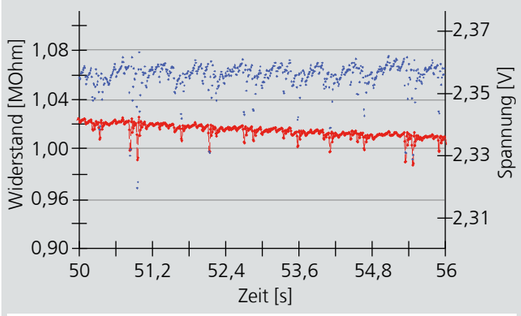
Ausblick

Die Verschleißfestigkeit piezoresistiver Dünnschichtsysteme, die direkt in der Laufbahn von Lagern messen, muss in einem nächsten Schritt für einen langzeitstabilen Einsatz bei hohen Belastungen und Drehgeschwindigkeiten optimiert werden.

Linearer Kennlinienverlauf des Sensorwiderstandes in Abhängigkeit von der Belastung.



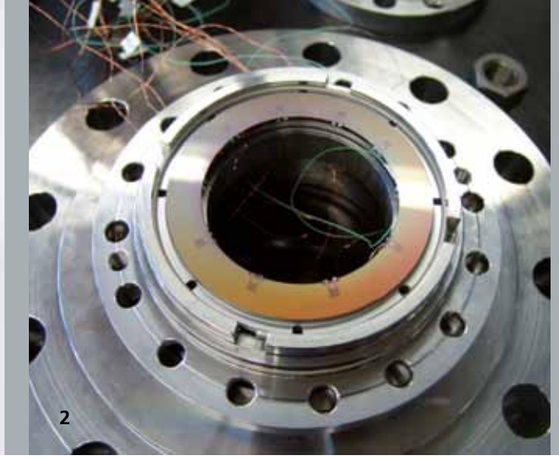
Test der Kraftsensorik im Prüfstand bei Schaeffler Technologies AG & Co. KG. Der Widerstandsverlauf spiegelt die Kugelkontakte wider. (Käfig mit 13 Kugeln; Drehgeschwindigkeit: 100 rpm; Normalbelastung: 1500 N).



1 *Lager mit integrierter Dünnschichtsensorik.*
2 *Zwei Innnenlagerringe mit piezoresistivem Schichtsystem in der Laufbahn der Wälzkörper.*
3 *Innenlagerring mit der piezoresistiven Sensorschicht DiaForce® und darauf strukturierten Chromelektroden mit Goldkontakten.*

KONTAKT

Dr.-Ing. Saskia Biehl
Telefon +49 531 2155-604
saskia.biehl@ist.fraunhofer.de



ENTWICKLUNG VON DÜNNSCHICHTSENSORIK ZUR EXAKTEN TEMPERATURDETEKTION

Durch Integration von sensorischen Dünnschichtsystemen können Betriebszustände direkt in den Hauptbelastungszonen von Gleitlagern und Dichtungssystemen bestimmt werden. Innerhalb des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten WING-Projektes INTELLA (Intelligente, leichte Lagerungen und Dichtungen für den Automobil- und Maschinenbau) forscht das Fraunhofer IST an der Umsetzung.

Lager- und Dichtungskomponenten müssen im Betrieb einen großen Last-, Drehzahl- und Temperaturbereich abdecken. Durch die Breite des Betriebsbereiches arbeiten die Komponenten jedoch meist unter suboptimalen Betriebsbedingungen, so dass sie mit geringer Effizienz und schlechtem Wirkungsgrad betrieben werden. Ein Grund dafür ist die auf maximale Belastung zielende Auslegung der Komponenten, und damit die Überdimensionierung der Bauteile. Um die Effizienz und damit den Wirkungsgrad solcher Komponenten zu steigern, werden aktive Systeme zur Anpassung von Lager- und Dichtspaltgeometrien benötigt, die in einem Regelkreis arbeiten. Die aktiven Systeme bestehen aus Aktoren und sensorischen Dünnschichtsystemen, die nachfolgend näher beschrieben werden.

Sensorische Dünnschichtsysteme

Die als »Downsizing« bezeichnete Strategie, mit leichteren Bauteilen höhere Leistungen zu erzielen, lässt sich bei dynamisch beanspruchten Maschinenelementen nur durch eine Anpassung an die Lastsituation realisieren. Dazu werden bereits Aktuatoren verwendet, die eine zusätzliche Systemkomponente darstellen. Zur Detektion von Betriebstemperaturen in Gleitringdichtungen von EagleBurgmannn und in den Lagerringen der KSB AG werden sensorische Dreischichtsysteme mit einer Gesamtschichtdicke unter 10 µm verwendet, die direkt auf das Bauteil abgeschieden und am Fraunhofer IST entwickelt wurden. Eine elektrische Isolationsschicht wird als Grundschicht in einer Dicke von 3–4 µm homogen in die Hauptbelastungszonen abgeschieden. Darauf werden 200 nm dicke Chrommäanderstrukturen appliziert, die durch eine elektrische Isolations- und Verschleißschutzschicht (d = 3 µm) bedeckt werden. Als Isolationsschichten kommen mit Silizium und Sauerstoff modifizierte Kohlenwasserstoffschichten oder auch Aluminiumoxidschichten zum Einsatz. Die Herausforderung bei diesen Entwicklungen liegt nicht nur im Schichtsystem, sondern auch in der dreidimensionalen Strukturierung, da die Kontakte der Sensorstrukturen außerhalb der Hochlastbereiche liegen.

Sensorische Eigenschaften des Dünnschichtsystems

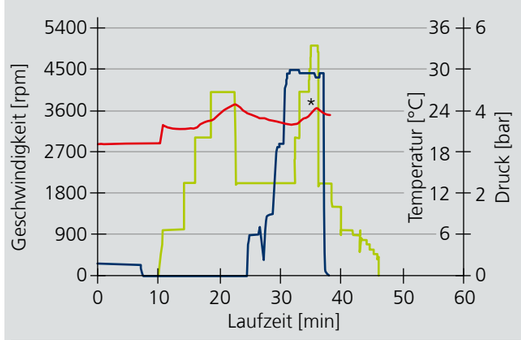
Die Firma EagleBurgmann testet Gasdichtungen mit integrierter Temperatursensorik in ihren Prüfständen. In Bild 2 ist ein Testaufbau dargestellt, mit der die exakte Erfassung von Temperaturprofilen im Bereich der Gleitteile von Gasdichtungen nachgewiesen werden konnte. Ein Messergebnis aus den Versuchsreihen ist in der nebenstehenden Grafik dargestellt. Sie zeigt einen dynamischen Dichtungsprobelauf mit Variation verschiedener Betriebsparameter wie Drehzahl und Betriebsdruck. Zu erkennen sind die Veränderungen der Temperatur an den Gleitringen (rote Kurve). Steilere Gradienten ergeben sich in erster Linie durch Zunahme der Verwirbelungsleistung bei größeren Drehzahlsprüngen.

Ausblick

Innerhalb des Projektes »INTELLA« werden neben der Temperatursensorik auch piezoresistive Schichtsysteme zur Belastungsdetektion in Lagern entwickelt. Diese sensorischen Dünnschichtsysteme sollen in Kombination mit Aktuatorik zur aktiven Regelung von Komponenten und damit zu einer verbesserten Funktionstüchtigkeit und Gewichtsreduzierung von Bauteilen beitragen.

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes »Mikrosysteme 2004–2009 / Energieautarke Mikrosysteme« (16SV3368) gefördert und vom Projektträger VDIVDE-Innovation und Technik GmbH betreut.

Ergebnisse dynamischer Probeläufe mit Temperatursensorik.



1 *Mäanderstrukturen zur Temperaturdetektion auf Axiallagerringoberfläche von der KSB AG.*

2 *Prototyp für Gasdichtung mit Temperatursensorik und innenliegender Kontaktierung im Prüfstand von EagleBurgmann.*

KONTAKT

Dr.-Ing. Saskia Biehl
Telefon +49 531 2155-604
saskia.biehl@ist.fraunhofer.de

1

2

1 *Stahlstifte mit sensorischem Dünnschichtsystem.*
2 *Einbausituation der sensorischen Sensorstifte in den Kugelgewindetrieb.*

PIEZORESISTIVE DÜNNSCHICHTSENSORIK FÜR INTELLIGENTE KUGELGEWINDETRIEBE

Zur Realisierung eines intelligenten Kugelgewindetriebes wurden piezoresistive Dünnschichtsysteme entwickelt, die auf Kraftaufnehmer abgeschieden und strukturiert werden. Diese stiftförmigen Grundkörper lassen sich leicht in die Spindelmutter integrieren und messen dort die Betriebs- und Verschleißzustände während sich der Gewindetrieb bewegt.

Herstellung des sensorischen Dünnschichtsystems

Auf die Funktionsflächen der Kraft aufnehmenden Sensorstifte wird als erstes im PACVD-Prozess eine 6 µm dünne piezoresistive Sensorschicht aus amorphem Kohlenwasserstoff abgeschieden. Die multifunktionale Schicht stammt aus der Familie der kohlenstoffbasierten Schichten und ist eng mit der diamantähnlichen Kohlenstoffschicht DLC (diamond like carbon) verwandt. Diese Schicht weist neben ihrer Piezoresistivität, eine hohe Härte (24 GPa) und einen geringen Reibkoeffizienten gegen Stahl ($\mu = 0{,}16$) auf. Auf die Sensorschicht wird eine homogene 400 nm Chromschicht im PVD-Prozess abgeschieden und mittels 3-D-Photolithographie und nasschemischer Ätzung strukturiert. Auf diese Weise wird eine ortsaufgelöste Messung der Druckzustände möglicht (Bild 1). Eine mit Silizium und Sauerstoff modifizierte 3 µm dicke Kohlenwasserstoffschicht schützt die Sensorstrukturen vor abrasivem Verschleiß und ölhaltigen Medien. Die im PACVD-Prozess abgeschiedene Deck- und Schutzschicht dient darüber hinaus als elektrische Isolation des Kraftaufnehmers gegenüber der Maschinenmasse.

Integration der Sensorstifte in die Spindelmutter

Um Kenndaten des Kugelgewindetriebs erfassen zu können, ist eine direkte Integration der Sensorstifte zur Kraftmessung in die Spindelmutter nötig. Als Maß für den Verschleiß dient die Vorspannkraft der Doppelmutter, in welche unter einem 120°-Winkel drei Stifte mit einem Durchmesser von 8 mm und einer Länge von 20 mm direkt integriert werden. Durch Gewindebolzen kann ein definiertes Vorspannmoment über die im direkten Kraftfluss liegenden Sensorstifte auf die Doppelmutter des Kugelgewindetriebs eingestellt werden (Bild 2). Die Stirnfläche des Stiftes dient zur Erfassung der Vorspannkraft. Sie ist um 45° geneigt und schafft so eine druckfreie Fläche zur Temperaturkompensation der Kraftstrukturen und eine Fläche zur Temperaturermittlung.

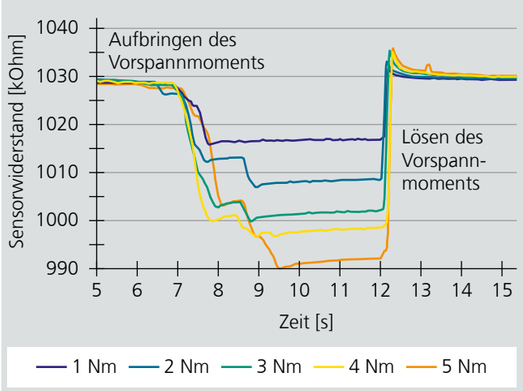
Charakterisierung der Sensorstifte

Vor dem Einbau in die Spindelmutter wird das piezoresistive Verhalten der Stifte untersucht, indem die Stirnfläche mit einem Gegenkörper vollflächig zyklisch be- und entlastet wird. Aus den Messungen ergeben sich charakteristische lineare Abhängigkeiten des Sensorwiderstandes in Abhängigkeit von der Belastung. Die Widerstandsänderung liegt im Bereich von 6 Ohm/N. Im Kugelgewindeprüfstand werden die Sensorstifte, wie in Bild 2 dargestellt, in die Spindelmutter integriert. Die Ergebnisse der Vorspannmomentmessung zeigen die Kraftänderung beim Beaufschlagen eines Sensorstiftes mit einem vordefinierten Anzugsdrehmoment (nebenstehende Grafik).

Ausblick

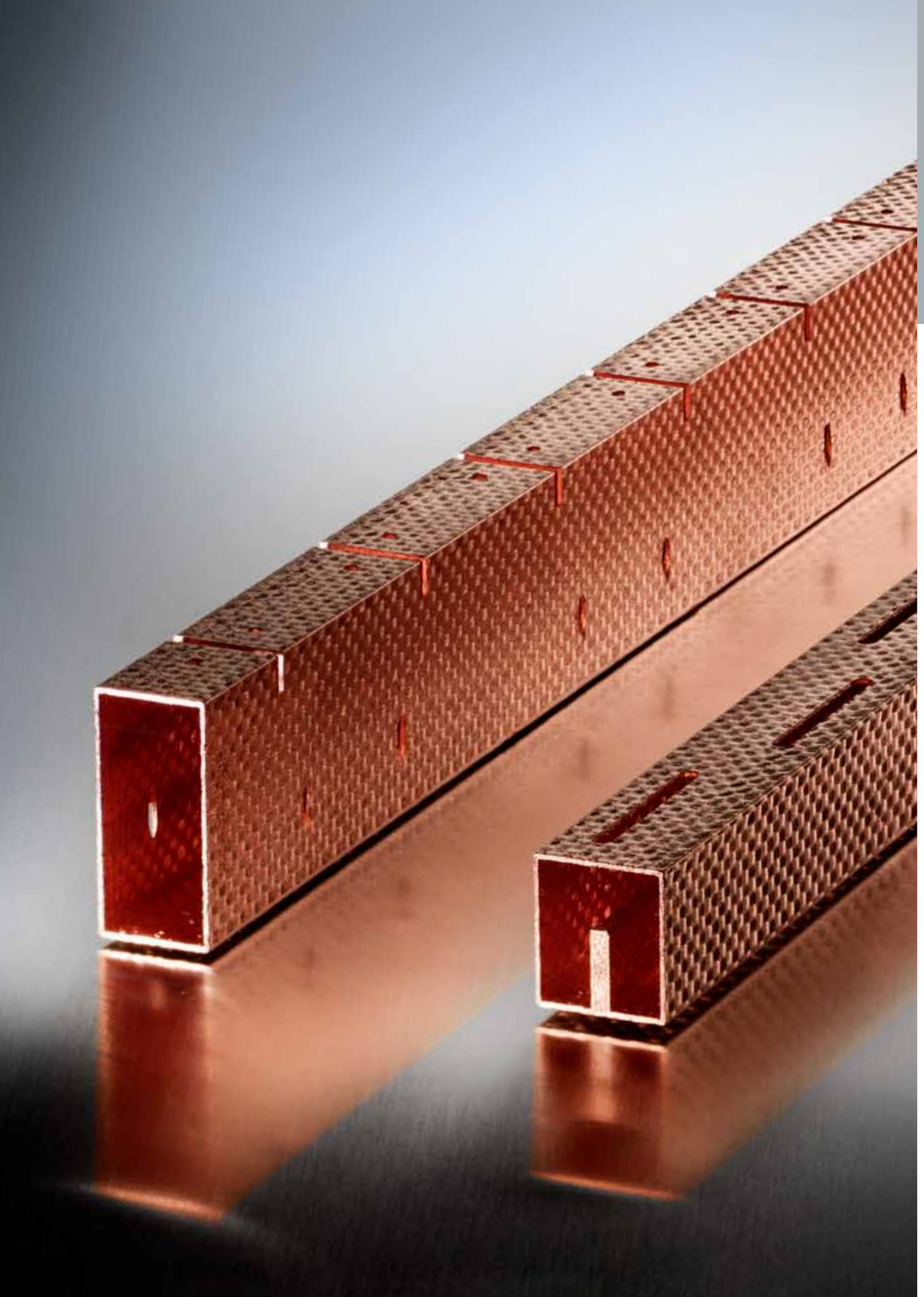
Im weiteren Projektverlauf liegt der Fokus darauf, die Vorspannkraftänderung der Kraftaufnehmer bei dynamischen Versuchen im Prüfstand zu untersuchen. In einem nächsten Schritt wird die Sensorik mit der im Projekt entwickelten autarken Energieversorgung und der drahtlosen Datenübertragung kombiniert und getestet.

Aufzeichnung des Vorspannmomentes in statischen Versuchen im Prüfstand.



KONTAKT

Dr. Saskia Biehl
Telefon +49 531 2155-604
saskia.biehl@ist.fraunhofer.de



LUFT- UND RAUMFAHRT

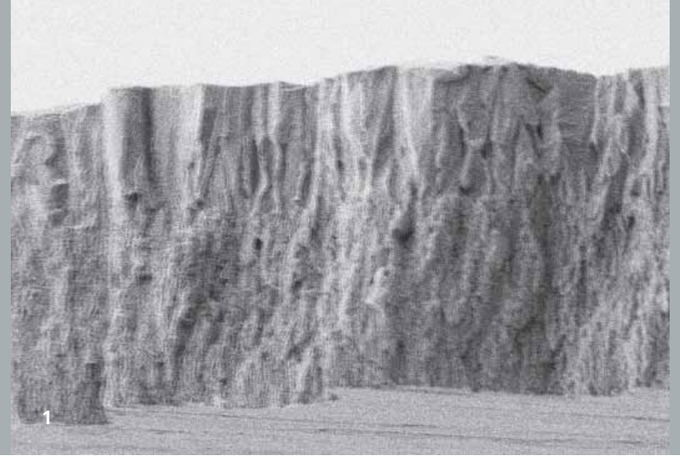
Im Geschäftsfeld »Luft- und Raumfahrt« werden Verfahren und Schichten für Sonderwerkstoffe wie zum Beispiel Leichtbauwerkstoffe entwickelt, für die es oft noch keine etablierten Beschichtungsverfahren gibt. Anwendungsgebiete sind überwiegend Verschleiß- und Korrosionsschutz in der Luftfahrt sowie optische und elektrische Funktionen in der Raumfahrt. Zurzeit werden im Fraunhofer IST folgende Themen behandelt:

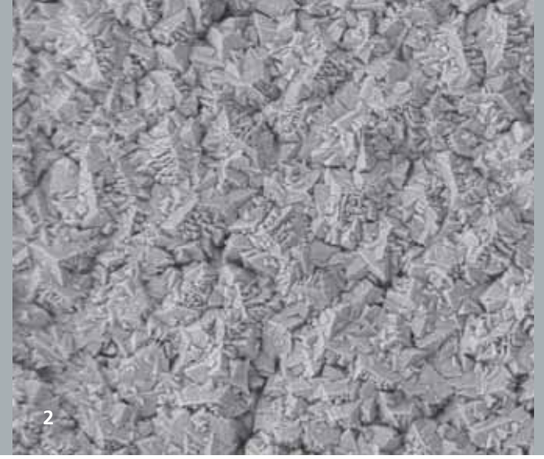
- Galvanische Metallisierung von CFK-Bauteilen
- Metallisierung von Titanbauteilen mit Kombinationsverfahren
- Verschleißschutzschichten für Triebwerke in Düsenflugzeugen
- Lagersensorik – Zustandsüberwachung in Flugzeugen
- Entwicklung von Oberflächen für trennmittelfreie Formwerkzeuge
- Galvanische Beschichtung von Magnesium für Leichtbau im Flugzeug

Zu den Kunden zählen Unternehmen aus der Luft- und Raumfahrtindustrie sowie deren Zulieferer.

KONTAKT

Dr. Andreas Dietz
Telefon +49 531 2155-646
andreas.dietz@ist.fraunhofer.de





1 *Einfluss von Substratvorspannung auf die Schichtmorphologie.*
2 *Aufsicht einer GFS-Zirkoniumoxidschicht.*

WÄRMEDÄMMSCHICHTEN FÜR TURBINENSCHAUFELN

Sparsamere Flugzeuge durch bessere Turbinen, die auch bei hohen Temperaturen effizient funktionieren: Wärmedämmbeschichtungen auf Turbinenschaufeln tragen zu längerer Lebensdauer und verringertem Treibstoffverbrauch bei.

Einsatz in Flugzeugturbinen

Der Wirkungsgrad einer Turbine wird vom Verhältnis der Eintritts- zur Austrittstemperatur bestimmt. Je größer die Differenz, desto höher das Arbeitsvermögen der Turbine. Heißere Eintrittsgase führen zu einem höheren Wirkungsgrad, aber auch zu einer stärkeren Belastung des Schaufelmaterials. Neben aktiven Filmkühlungen werden zum Schutz der Turbinenschaufeln auch Isolationsschichten eingesetzt. Diese Wärmedämmschichten ermöglichen eine höhere Gaseintrittstemperatur, bei gleicher Betriebsdauer. Aufgrund thermisch isolierender Eigenschaften wird teilstabilisiertes Zirkoniumoxid (PSZ) als Wärmedämmschicht verwendet. Diese Keramik weist, zusätzlich zu einer geringen Wärmeleitfähigkeit, einen Temperaturausdehnungskoeffizienten nahe dem Niveau von Metallen auf. Um Phasenumwandlungen zu unterbinden, wird das Zirkoniumoxid dotiert. Vorzugsweise werden 6 bis 8 Prozent Yttriumoxid zur Teilstabilisierung zugefügt, da sowohl der Ermüdungswiderstand als auch die Thermowechselbeständigkeit bei dieser Legierung Höchstwerte erreichen. Die Isolationseigenschaften der keramischen Schichten resultieren zum einen aus den intrinsischen Eigenschaften – PSZ hat als Vollmaterial eine Wärmeleitfähigkeit von etwa 2 W/m*K – zum anderen aus der Gefügestruktur der Keramik. Die Photonen- und Phononenleitfähigkeiten, welche den Wärmetransport bestimmen, werden durch innere Grenzflächen weiter herabgesetzt. Eine gezielte Einstellung der Porosität kann die Wärmeleitung effektiv behindern.

Gesputterte Wärmedämmschichten

Um hohe Beschichtungsraten und gezielte Mikrostruktureinstellungen zu ermöglichen, werden am Fraunhofer IST Wärmedämmschichten erfolgreich mit dem Hochrate-Sputterverfahren Gasflusssputtern (GFS) hergestellt. Dafür wird ein rohrförmiges Target aus metallischem Zirkonium als Hohlkathode geschaltet. Über einen Argonstrom werden die gesputterten Partikel transportiert. Zwischen Target und Substrat wird Sauerstoff eingespeist, so dass die Metallpartikel zu Zirkoniumdioxid reagieren. Diese Kombination ermöglicht eine hohe Beschichtungsrate, die für eine wirtschaftliche Produktion von Wärmedämmschichten erforderlich ist – die Schichten werden einige hundert Mikrometer dick. Mit der GFS-Technik können Beschichtungen mit vielen unterschiedlichen Mikrostrukturen erzeugt werden. Genauso ist es möglich, Herstellparameter während des Prozesses zu variieren und so Gradientenschichten herzustellen.

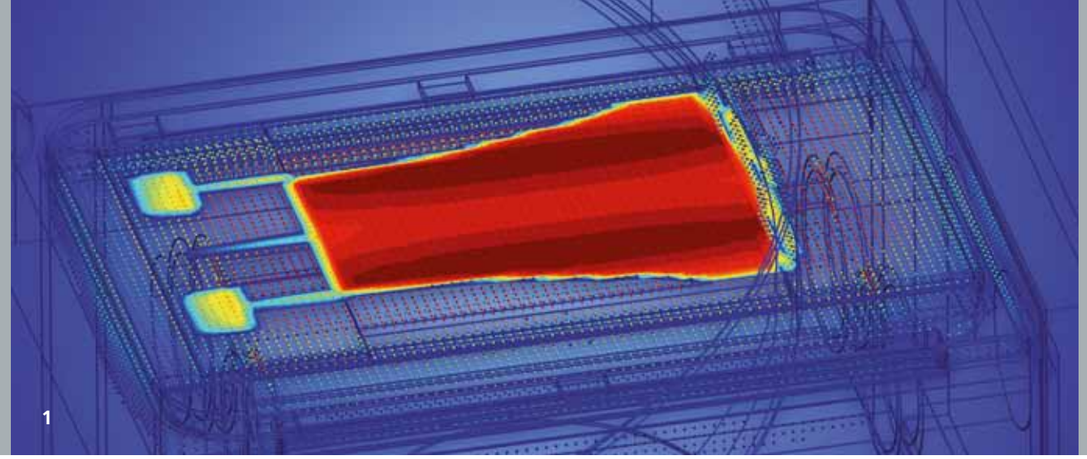
Ausblick

Im Rahmen eines DFG-Projektes wird zukünftig untersucht, welchen Einfluss Herstellparameter auf die Schichtstrukturen und diese ihrerseits auf die thermomechanischen Eigenschaften ausüben. Ziel ist es, einen Zusammenhang zwischen Anlageneinstellungen, Schichtcharakteristika und Bauteileigenschaften abzuleiten, welcher Vorhersagen für verschiedene Kombinationen ermöglicht. Auch neuartige Strukturen können so für ihren Einsatz als Wärmedämmschicht evaluiert werden.

KONTAKT

Dr. Thomas Jung
Telefon +49 531 2155-616
thomas.jung@ist.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Franziska Zschausch
Telefon +49 531 2155-836
franziska.zschausch@ist.fraunhofer.de



1

PROZESS-SIMULATION FÜR OPTISCHE HOCHPRÄZISIONSFILTER

Optische Hochpräzisionsfilter sind wichtige Kernelemente vieler Spezialanwendungen wie z. B. spektroskopische Instrumente in der Raumfahrttechnik, Hochleistungs-Lichtwellenleiter, UV-Photolithographie oder optische Hochpräzisions-Analytik. Mit zunehmender Spezialisierung steigt die Anzahl benötigter Schichten und damit steigen auch die Anforderungen bezüglich Homogenität und Reproduzierbarkeit. Zur Prozessoptimierung und zur Verbesserung des Prozessverständnisses werden am Fraunhofer IST Direct Simulation Monte-Carlo (DSMC)-Rechnungen der Gasdynamik und des Teilchentransports in Sputterprozessen durchgeführt. Damit können die Einflüsse von Anlagen- und Blendengeometrie auf das Beschichtungsprofil identifiziert und quantifiziert werden.

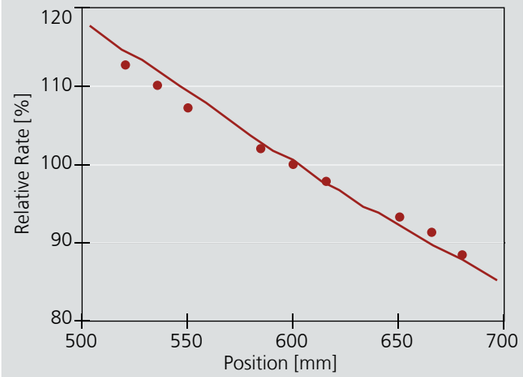
Modellierung einer Sputteranlage für die Hochpräzisionsoptik

Am Fraunhofer IST wurde 2011 die Sputteranlage »Enhanced Optical Sputtering System« (EOSS) für optische Hochpräzisionsfilter in Betrieb genommen. In dieser Anlage werden hoch- und niederbrechende keramische Schichten durch Sputtern metallischer Schichten und anschließender Plasma-Oxidation hergestellt. Die Substrate sind hierbei auf einen Drehteller montiert. Zur Vermeidung von Partikelkontamination erfolgt der Sputterprozess von unten nach oben. Durch den Drehprozess fällt das Schichtdickenprofil zunächst reziprok mit der Radialposition ab. Um diesen Effekt zu kompensieren, sind zusätzliche Blenden erforderlich, die den inneren Bereich stärker abblenden als den äußeren. Zur Optimierung der Blendenform wurde der Transport des gesputterten Materials durch den Vakuum-Rezipienten mittels des »Direct Simulation Monte-Carlo«-Verfahrens simuliert. Für dieses Verfahren wurde am Fraunhofer IST eine Simulationsumgebung implementiert, die aufgrund der Verwendung massiv paralleler Algorithmen auf komplexe und große Anlagengeometrien angewendet werden kann.

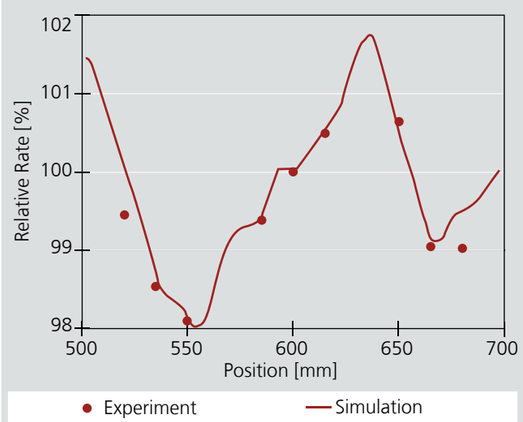
Das Simulationsmodell besteht im Wesentlichen aus der Kammergeometrie, den Blenden und der zum Sputtern verwendeten Rohrtargets. Mittels Magnetfeld-Simulation wurden die Positionen der maximalen Plasmadichte bestimmt und an dieser Stelle im Modell Teilchenquellen für das gesputterte Metall eingesetzt. In der DSMC-Simulation werden die Teilchenflüsse von Argon und dem gesputterten Metall betrachtet. Bild 1 zeigt die resultierende Metallabsorption auf den Kammerinnenwänden und dem Substrat (hervorgehoben).

Durch Integration der Teilchenstromdichte am Substrat entlang von Kreisbögen erhält man schließlich das radiale Schichtdickenprofil. Wie in den nebenstehenden Grafiken gezeigt, ergeben sich sowohl ohne als auch mit Blenden gute Übereinstimmungen zwischen Messung und Simulation. Damit kann das Simulationsmodell zukünftig zur modellgestützten Optimierung der Blendengeometrie eingesetzt werden.

Simulierte und gemessene relative Schichtdicke in Abhängigkeit vom Radius (ohne Blende).



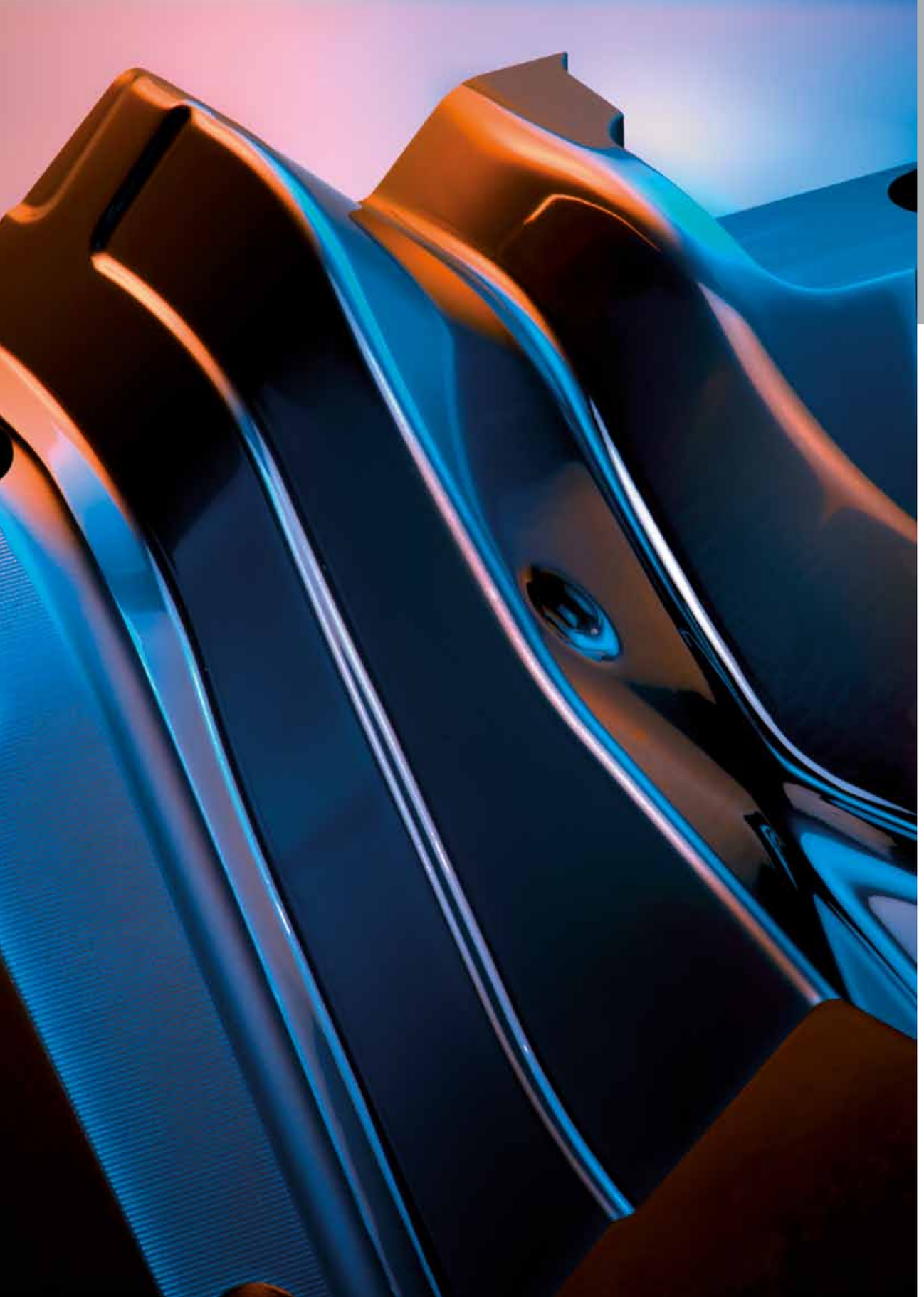
Simulierte und gemessene relative Schichtdicke in Abhängigkeit vom Radius (mit Blende).



1 *Simuliertes Metall-Absorptionsprofil auf den Innenwänden der EOSS-Sputterkammer. Der für die Beschichtung relevante Bereich ist hervorgehoben.*

KONTAKT

Dr. Andreas Pflug
Telefon +49 531 2155-629
andreas.pflug@ist.fraunhofer.de



WERKZEUGE

Im Geschäftsfeld »Werkzeuge« konzentriert sich das Fraunhofer IST unter anderem auf diese Themen:

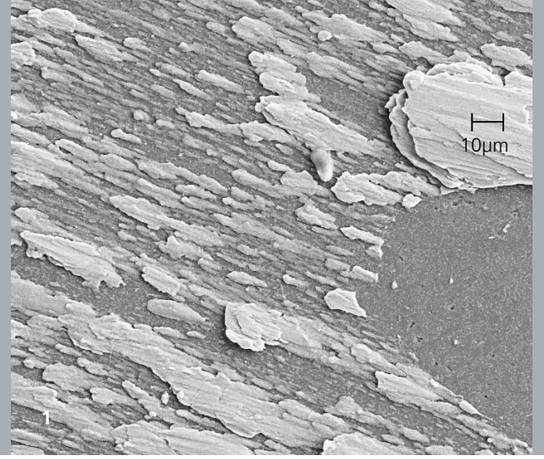
- Verbesserung von Qualität und Leistungsfähigkeit bei Umform- und Schneidprozessen durch Antihaft- und Verschleißschutzbeschichtungen
- Superharte Beschichtungen für Zerspanwerkzeuge
- compeDIA®-Diamantschleifbeläge für Präzisionsschleifwerkzeuge
- Verschleißschutzschichten für die Warmumformung
- Entwicklung von »intelligenten Werkzeugen« mit integrierten sensorischen Funktionen
- Entwicklung von nanostrukturierten Kompositbeschichtungen

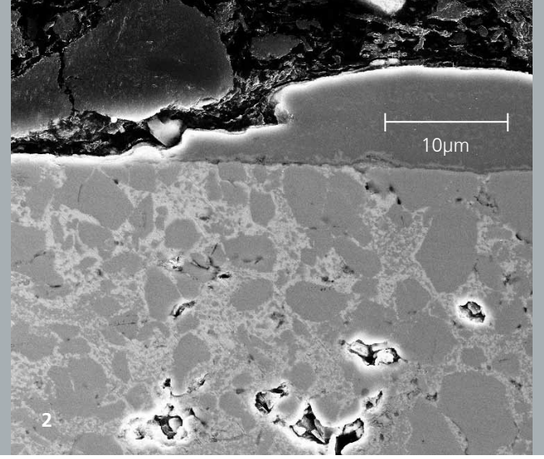
Wichtige Kunden dieses Geschäftsfeldes sind Werkzeughersteller und Beschichtungsunternehmen sowie Werkzeuganwender z. B. aus dem Bereich Formenbau oder der Automobilindustrie.

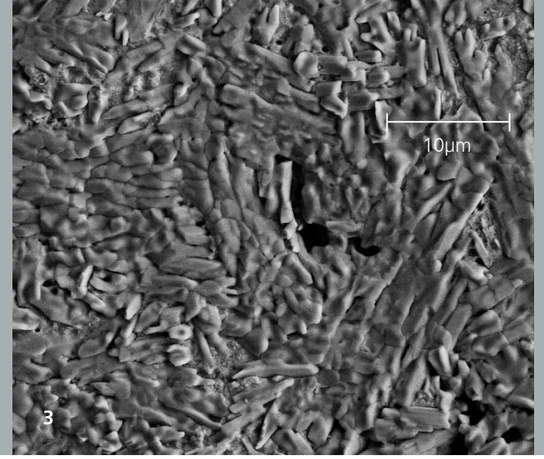
KONTAKT

Dr.-Ing. Martin Keunecke
Telefon +49 531 2155-652
martin.keunecke@ist.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Jan Gäbler
Telefon +49 531 2155-625
jan.gaebler@ist.fraunhofer.de







TRIBOLOGIE VON HOCHFESTEN TITAN-LEGIERUNGEN BEI 500 – 900 °C

Für die Umformung von hochfesten Titanlegierungen, wie sie in der Luft- und Raumfahrt Anwendung finden, sind Temperaturen von etwa 900 °C erforderlich. An die Werkzeuge werden dabei extreme Anforderungen gestellt. Zur Entwicklung geeigneter Werkzeugmaterialien und –beschichtungen wurden tribologische Versuche bei 500 – 900 °C durchgeführt.

Die Umformung von Blechwerkstoffen aus hochfesten Titanlegierungen, z. B. der in der Luftfahrt am häufigsten verwendeten Titanlegierung TiAl6V4 erfordert Temperaturen von etwa 900 °C. Ein wesentliches Problem stellen dabei die tribologischen Verhältnisse zwischen den Titanwerkstoffen und den Werkzeugoberflächen dar. Titan neigt in hohem Maße zur Anhaftung auf dem Werkzeug (Bild 1 und 2). Es kommt zum Reißen der Bauteile und zu starken Schäden an der Bauteiloberfläche. Durch die Anwendung geeigneter Werkzeugmaterialien und Beschichtungen kann dem entgegengewirkt werden. Am Fraunhofer IST wurden im Rahmen von tribologischen Modellversuchen Erkenntnisse über das tribologische Verhalten von hochfesten Titanlegierungen im Kontakt mit Werkzeugmaterialien und Beschichtungen ermittelt. Ab etwa 500 °C neigt Titan stark zur Aufnahme von Sauerstoff und Stickstoff aus der umgebenden Atmosphäre, so dass mit einer Schutzgasatmosphäre gearbeitet werden muss.

Tribometerversuche

Bei Temperaturen zwischen 500 – 900 °C wurden Stift-Scheibe-Versuche mit TiAl6V4 gegen verschiedene Werkstoffe (Hartmetall, Keramik) und Beschichtungen (thermische Spritzschichten, PVD-Schichten) unter Argonatmosphäre durchgeführt. Ziel der Tribometerversuche war es, die Reibwertverläufe und Verschleißerscheinungen zu ermitteln. Dazu wurden folgende Methoden angewandt:

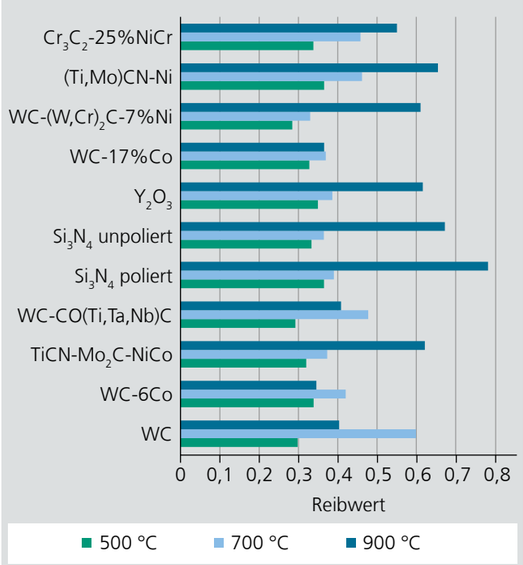
- Lichtmikroskopische Verfahren
- Tastschnittverfahren
- REM
- EDX

Die Bilder 1 und 2 zeigen die Analyseergebnisse der Tribometerversuche.

Ergebnisse

Die niedrigsten Reibwerte und geringsten Anhaftungen konnten mit wolframkarbidhaltigen Werkstoffen und Beschichtungen erzielt werden – allerdings nur unter der Voraussetzung, dass ein geringfügiger Restsauerstoffgehalt in der Schutzgasatmosphäre enthalten ist. Zu erklären ist dies durch die Ausbildung einer dünnen reibungsmindernden Wolframoxidschicht (Bild 3), die zu einer Halbierung des Reibwertes führen kann. Dieser Effekt soll zukünftig gezielt genutzt werden.

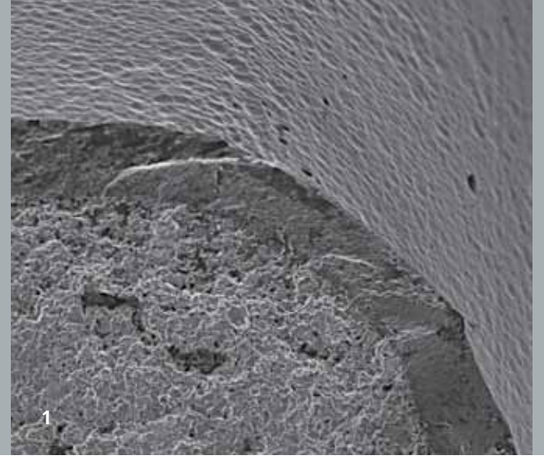
Reibwert verschiedener Werkstoffe und Beschichtungen gegen TiAl6V4.

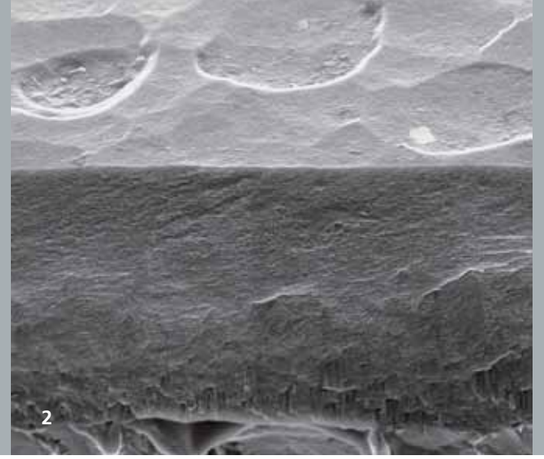


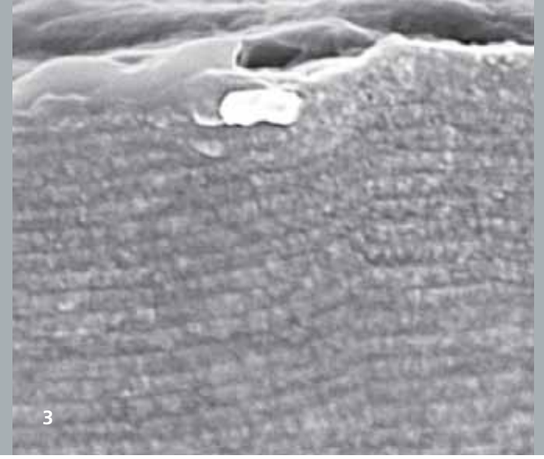
1 *Titananhaftungen auf Si_3N_4.*
2 *Titananhaftungen auf thermischer Spritzschicht Cr_3C_2-25 Prozent NiCr.*
3 *Reibungsmindernde Wolframoxidschicht auf Hartmetall WC-Co.*

KONTAKT

Dipl.-Ing. Martin Weber
Telefon +49 231 844-507
martin.weber@ist.fraunhofer.de







1 *Durch CrTiAlSiN-Beschichtung geschützte Schneidkante eines Zerspanwerkzeuges aus Hartmetall.*
2 *REM-Bruchbild einer nanostrukturierten Hartstoffschicht mit Lagenaufbau.*
3 *REM-Bruchbild zur Auflösung einzelner Lagen.*

NANO-STRUKTURIERTE HARTSTOFF-SCHICHTEN FÜR WERKZEUGE UND HOCHTEMPERATUR ANWENDUNGEN

Werkzeuge in der industriellen Fertigung müssen ständig wachsende Anforderungen erfüllen. Insbesondere Zerspanwerkezuge sind oft Temperaturen von über 1000 °C ausgesetzt. Nano-strukturierte Werkzeugbeschichtungen kombinieren hohe Härte und Verschleißfestigkeit mit einer verbesserten Temperaturbeständigkeit im Vergleich zu Standardhartstoffschichten und liefern damit einen wertvollen Beitrag, die Herausforderungen der zukünftigen Produktion zu erfüllen.

Anpassung von Werkzeugbeschichtungen
Jede neue Herausforderung, sei es in der Bearbeitung schwer zu zerspanender Werkstoffe (z. B. Nickelbasis-Superlegierungen, hochlegierte Stähle oder spezielle Gusseisensorten) oder in modernen Umformprozessen, verlangt neue, auf den jeweiligen Einsatz abgestimmte Werkzeugbeschichtungen. Mit dem Trend zu höheren Schnittgeschwindigkeiten und zur Trockenbearbeitung wird die Hochtemperatur- und Oxidationsstabilität von Werkzeugen und Beschichtungen besonders wichtig. Das Fraunhofer IST bietet individuell an die jeweilige Anwendung angepasste Lösungen für Hartstoffschichtsysteme, um auch zukünftige Anforderungen in der Produktion erfüllen zu können.

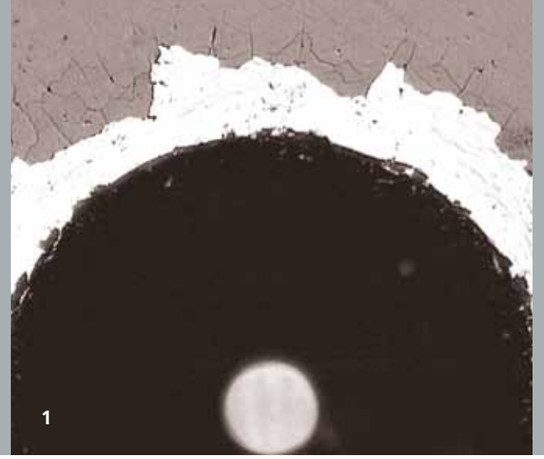
Entwicklung nano-strukturierter Schichtsysteme
Mittels gepulster Magnetron-Sputterverfahren können verschiedene Elemente und Phasen flexibel kombiniert und als glatte und »Droplet«-freie Beschichtung abgeschieden werden. Aktuell wird diese Technologie in dem vom BMBF geförderten Projekt »NanoHM« zur Weiterentwicklung von TiAlN-basierten Schichtsystemen durch Modifikation mit Elementen wie z. B. Cr und Si verwendet. Der vom Fraunhofer IST verfolgte Ansatz besteht dabei in einem strukturellen Schichtdesign aus Nano- oder Multilagen.

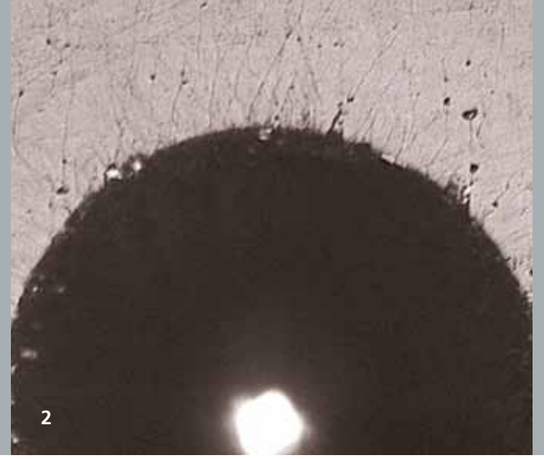
Kombination mannigfaltiger Eigenschaften
Mit diesem Konzept können Beschichtungen hoher Härte (> HV 4000) und Verschleißbeständigkeit bei gleichzeitig verbesserter Haftfestigkeit hergestellt werden. Ein weiterer Vorteil der nanostrukturierten Schichtsysteme (CrAlTiN und CrAlTiSiN) liegt in einer im Vergleich zu TiAlN deutlich gesteigerten Oxidationsbeständigkeit. Mögliche Einsatztemperaturen über 1000 °C ebnen den Weg für neue Anwendungen unter extremen Bedingungen, zum Beispiel in der Zerspanung schwer spanbarer Materialien. Die Leistungsfähigkeit der entwickelten Beschichtungen konnte bereits in Frästests an Nickelbasislegierungen nachgewiesen werden.

Ausblick
Zur Erschließung neuer Anwendungsfelder sind Tests in verschiedenen anderen Einsatzgebieten geplant. Aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen stehen weitere Modifikationen durch zusätzliche Elemente sowie Modifikationen der Schichtarchitektur im Fokus aktueller Entwicklungen.

KONTAKT

Dipl.-Phys. Christian Stein
Telefon +49 231 844-647
christian.stein@ist.fraunhofer.de





1 *Ergebnis des Rockwell-Haftungstests nach VDI 3824, vor der Elektronenstrahlbehandlung.*
2 *Haftungstest nach der Elektronenstrahlbehandlung.*

ELEKTRONENSTRAHLHÄRTUNG UND HARTSTOFFBESCHICHTUNG FÜR HOCHBELASTETE WERKZEUGE UND BAUTEILE

Mittels Elektronenstrahlhärtung ist es möglich, Werkzeuge und Bauteile aus Stahl selektiv zu härten – sogar durch eine PVD- oder PACVD-Beschichtung hindurch. Das Fraunhofer IST untersucht gemeinsam mit der TU Bergakademie Freiberg im Rahmen eines von der DFG geförderten Projektes Kombinationsverfahren aus Beschichtung und Härtung, die die Widerstandsfähigkeit von Werkzeugen und Bauteilen gegen Verschleiß maximiert.

Randschichthärtung und Beschichtungen

Durch eine Randschichthärtung kann die Leistungsfähigkeit und der Verschleißwiderstand vieler Bauteile und Werkzeuge erhöht werden, insbesondere wenn eine Durchhärtung nicht möglich oder unerwünscht ist. Kombiniert mit einer Hartstoffschicht erfährt das Bauteil eine erhebliche Verbesserung seiner Verschleißeigenschaften. Für nitriergehärtete und beschichtete Werkzeuge (Duplex-Verfahren) ist dieser Effekt seit längerer Zeit bekannt, zum Beispiel bei Werkzeugen in der Blechumformung.

Randschichthärten mit dem Elektronenstrahl

Die Elektronenstrahlbehandlung bietet völlig neue Einsatzmöglichkeiten. Die Vorteile:

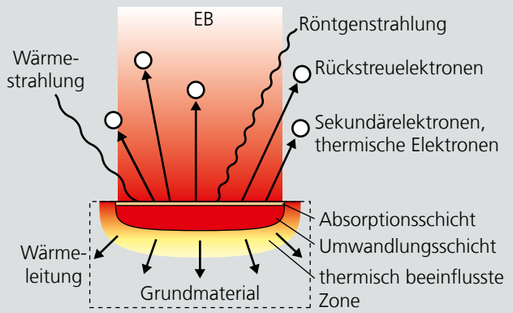
- Schnelle, genaue Positionierung des Elektronenstrahls
- Materialspezifische Härtung
- Durchstrahlte Beschichtungen bleiben weitgehend unbeeinflusst
- Verzug und Verlust der Kernhärte stellen aufgrund des minimalen Wärmeeintrags keine Probleme dar
- Kein Anlassen und/oder mechanisches Nachbearbeiten nötig

Unser Projektpartner, die Technische Universität Bergakademie Freiberg, arbeitet seit vielen Jahren erfolgreich auf dem Gebiet der Elektronenstrahl-Randschichthärtung.

Erfolg und Nutzen

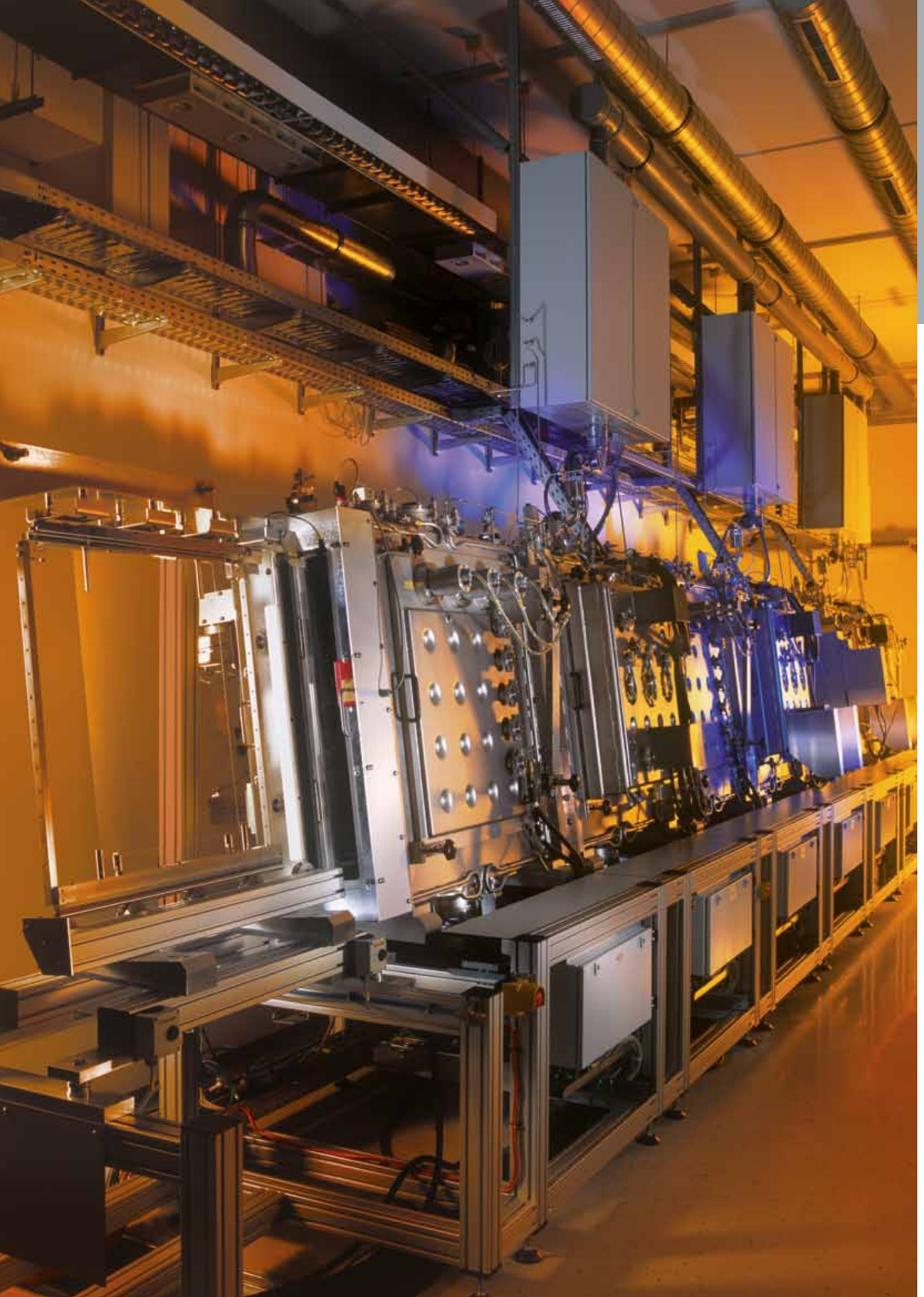
Eine beschichtete Oberfläche, die zuvor oder nachträglich lokal randschichtgehärtet wurde, ist besonders widerstandsfähig gegen punktuell auftretende Lastspitzen. Die im Rahmen unseres Projektes untersuchten TiAlN-Schichten, die unterschiedliche Ti/Al-Verhältnisse aufweisen, zeigen mindestens so gute Haftungseigenschaften wie solche, die in einer Kombination aus Nitrierung und Beschichtung hergestellt wurden. Die nachträgliche Elektronenstrahlhärtung ist vor allem für solche Stähle interessant, die beim Hochtemperatur-Beschichten ihre Härte wieder verlieren würden. Bauteile, die auf diese Weise behandelt wurden, sind besonders geeignet für die Bereiche Massivumformung, Zerspanung, Führungen und Lager sowie im Antriebsstrang.

Erzeugung martensitischer Stützschichten für Hartstoffschichten zur Eigenschaftsoptimierung von Randschichten mittels lokal definiertem Elektronenstrahl (EB)-Härten.



KONTAKT

Dipl.-Ing. Kai Weigel
Telefon +49 531 2155-650
kai.weigel@ist.fraunhofer.de



ENERGIE, GLAS, FASSADE

Im Geschäftsfeld »Energie, Glas und Fassade« konzentrieren sich die Arbeiten des Instituts unter anderem auf die Entwicklung von:

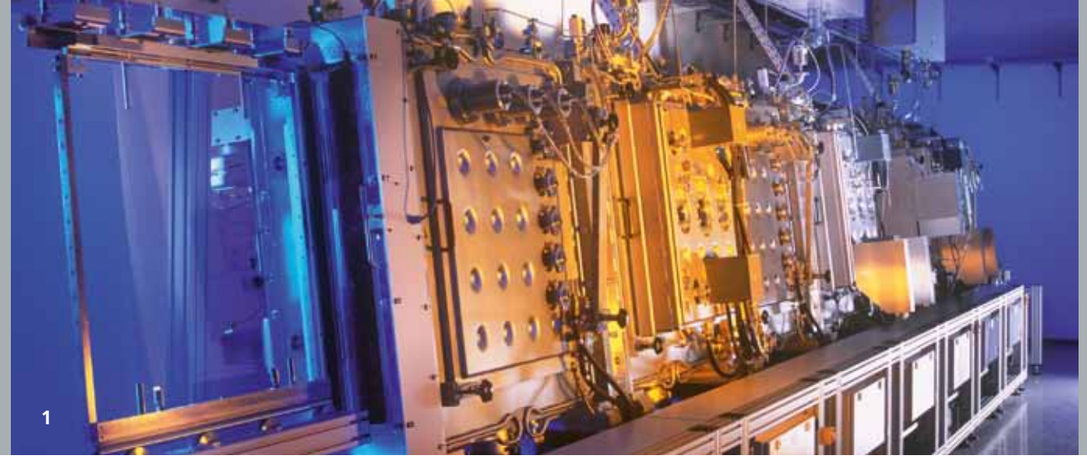
- Schichtsystemen und zugehörigen Prozessen für Photovoltaikanwendungen,
- kostengünstigen transparenten leitfähigen Schichtsystemen (TCOs) für die Photovoltaik und Solarthermie, Architektur- und Autoglas,
- Halbleiterschichten für Dünnschicht-Photovoltaik,
- Untersuchungsmethoden zur Charakterisierung von Dünnschicht-Solarzellen,
- verbesserten funktionellen Schichten und Beschichtungsprozessen auf Architekturglas,
- Schichtsystemen für Brennstoffzellen,
- verbessertem kostengünstigen Hochtemperatur-Korrosionsschutz für Turbinenschaufeln.

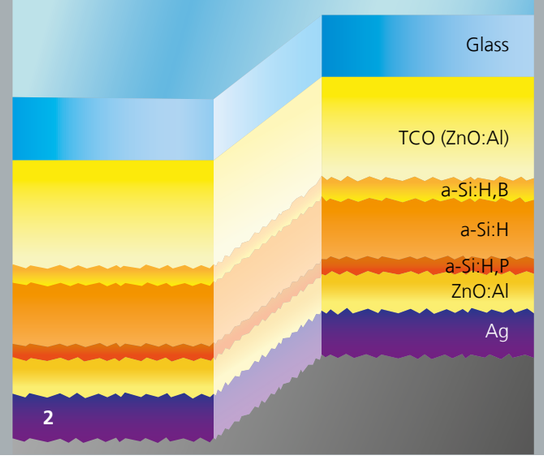
Zu den Kunden gehören Unternehmen der Glas-, Photovoltaik- und Elektroindustrie, der Energie- und Bauwirtschaft, Heizungs- und Sanitärhersteller sowie Anlagenhersteller und Lohnbeschichter.

KONTAKT

Dr. Bernd Szyszka
Telefon +49 531 2155-641
bernd.szyszka@ist.fraunhofer.de

Dr. Volker Sittinger
Telefon +49 531 2155-512
volker.sittinger@ist.fraunhofer.de





1 *7-Kammer Heißdraht-CVD-Inline-Beschichtungsanlage.*
2 *Aufbau der pin-Dünnschicht-Solarzelle.*

HEISSDRAHT-CVD-SILIZIUMSCHICHTEN FÜR DIE PHOTOVOLTAIK

Das Beschichtungsverfahren Heißdraht-CVD (HWCVD) ist eine vielversprechende Technologie für die kostengünstige Abscheidung von Silizium-basierten Schichten. Aus amorphen und mikrokristallinen Siliziumschichten werden unter anderem Dünnschicht-Solarzellen hergestellt.

Das Beschichtungsverfahren
Heißdraht-CVD (Chemical Vapor Deposition) ist ein etabliertes Beschichtungsverfahren für Diamantschichten. Auch bei der Herstellung von Silizium-basierten Schichten bietet es gegenüber bewährten plasmaunterstützten Beschichtungsverfahren eine Reihe von Vorteilen:

- Kostengünstig durch hohe Beschichtungsraten, hohen Gasumsatz und geringe Investitionen
- Einfaches Skalieren auf große Flächen
- Substratschonende Abscheidung ohne Ionenbombardement (kein Plasma)
- Kalte Prozesse unter 100 °C möglich (sensible Substrate)

Am Fraunhofer IST stehen mehrere Heißdraht-CVD-Anlagen zur Herstellung von Silizium-basierten Schichten zur Verfügung. Bild 1 zeigt eine Inline-Anlage mit sieben Kammern, wovon drei Beschichtungsmodule mit einer Anregungszone von jeweils 500 x 600 mm² ausgestattet sind. Die Module sind durch Zwischenkammern voneinander getrennt. Die Substrate können auf beiden Seiten in die Anlage eingeschleust werden.

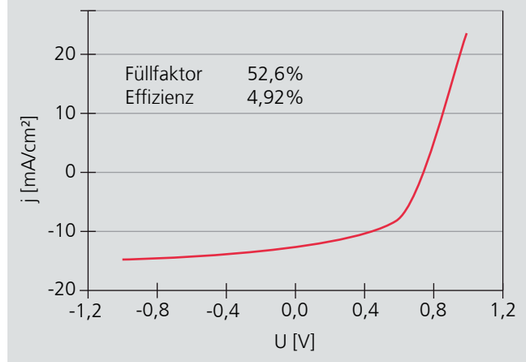
Entwicklungen für die Dünnschicht-Photovoltaik
In einem ersten Schritt wurde in der Inline-HWCVD-Anlage der Kern einer amorphen Silizium-Solarzelle, die intrinsische a-Si:H-Schicht, entwickelt. Über die Bewertung des Bindungszustandes von Si-und H-Atomen (FTIR, Fourier Transform Infrarot Spektroskopie) in der Schicht und die elektrischen Eigenschaften der Schicht bei Beleuchtung (Hell-/Dunkelleitfähigkeit) wurden intrinsische a-Si:H-Schichten für den Einsatz in a-Si:H-Solarzellen ausgewählt.

In einem zweiten Schritt konnten die p- und n-dotierten (Bor und Phosphor dotierten) amorphen Siliziumschichten entwickelt und zunächst auf ihre elektrische Leitfähigkeit optimiert werden. Für Bor dotierte Schichten konnte bisher ein spezifischer Widerstand von < 2 x 10^5 Ohm*cm erreicht werden. Für Phosphor dotierte Schichten wurden 3 x 10^2 Ohm*cm erreicht.

Erste Solarzellen konnten in Zusammenarbeit mit der Abteilung Großflächenbeschichtung auf einer Fläche von 50 mm x 50 mm und 100 mm x 100 mm hergestellt werden. Die Fläche der Zellen variierte zwischen 0,1 cm² und 1 cm². Der Schichtaufbau ist in Bild 2 zu erkennen. Die Siliziumschichten wurden in einem Durchgang in der Inline-HWCVD-Anlage der Abteilung Diamanttechnologie hergestellt. Alle anderen Schichten stammen aus der Sputter-Inline-Anlage der Abteilung Großflächenbeschichtung. Eine I-U-Kennlinie der besten vollständig am IST prozessierten Solarzelle ist in der nebenstehenden Grafik zu sehen. Bisher konnte eine initiale Effizienz von ca. 5 Prozent für eine Zellfläche von 1 cm² erreicht werden.

Ausblick
Die zukünftigen Arbeiten zur Abscheidung von Silizium-basierten Schichten für die Dünnschicht-Photovoltaik umfassen einerseits die Materialoptimierung der einzelnen Schichten und der Solarzelle als Gesamtes sowie andererseits die Entwicklung eines mikrokristallinen Absorbers bei hohen Beschichtungsraten. Damit lassen sich in einem nächsten Schritt mikromorphe Solarzellen herstellen. Im Bereich der auf Wafern basierten Photovoltaik wird derzeit an Schichten für die elektronische Passivierung von Silizium-Solarzellen gearbeitet. Ziel ist es, die Heißdraht-CVD-Technologie für Silizium-basierte Schichten in industrielle Fertigungsprozesse zu transferieren.

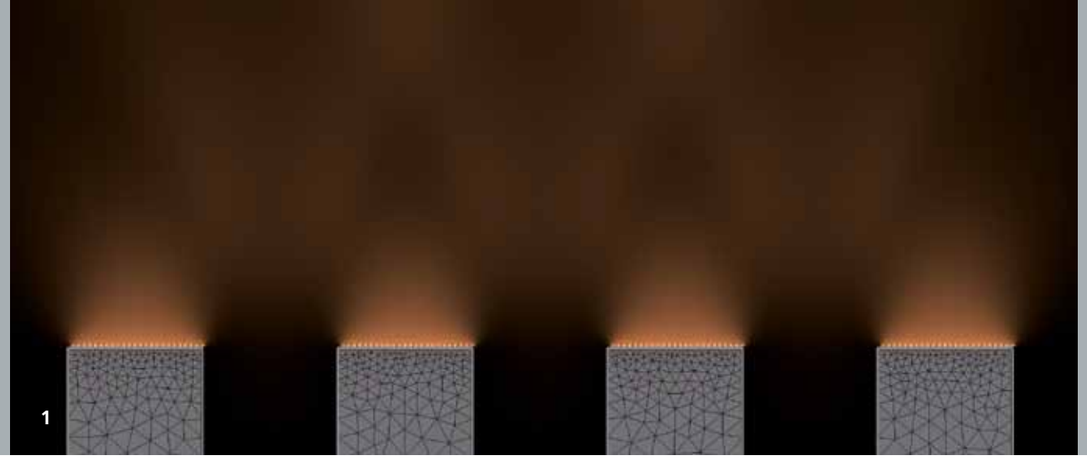
Initiale Kennwerte einer am Fraunhofer IST prozessierten Solarzelle.



KONTAKT

Dipl.-Ing Artur Laukart
Telefon +49 531 2155-508
artur.laukart@ist.fraunhofer.de

Dr. Volker Sittinger
Telefon +49 531 2155-512
volker.sittinger@ist.fraunhofer.de



1 *Simuliertes Druckprofil bei der Aluminium-Verdampfung aus vier Linienquellen bei einem Dampfdruck von 1 mbar.*

SIMULATION VON VERDAMPFUNGSPROZESSEN

Verdampfungsprozesse sind eine wichtige Alternative zu plasmagestützten Abscheideverfahren, insbesondere bei empfindlichen Substraten und Prekursoren, die in Plasmaprozessen durch hochenergetische Teilchen beschädigt werden können. Verdampfungsprozesse kommen u.a. bei der Folienbeschichtung, bei der Beschichtung empfindlicher Halbleiterstrukturen oder bei der Verdampfung organischer Prekursoren z. B. für OLED-Displays zum Einsatz. Die Bedampfung großer Flächen mit guter Schichthomogenität ist eine Herausforderung. Das Fraunhofer IST bietet daher die Möglichkeit, den Verdampfungsprozess im Sinne einer modellgestützten Quellenentwicklung zu modellieren.

Modellierung von Verdampfungsprozessen

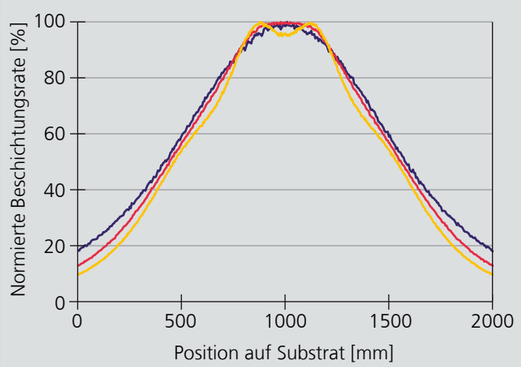
Eine Besonderheit bei der Modellierung von Verdampfungsprozessen ist der große Druckbereich, der berücksichtigt werden muss. Während an der Verdampferquelle meist noch eine laminare Strömung vorliegt, fällt der Druck bereits in geringem Abstand davon rapide ab, so dass ein Übergang zu Molekularströmung erfolgt. Zur Beschreibung derartiger Strömungsfälle ist die Kontinuums-Dynamik mittels Navier-Stokes-Gleichungen nicht mehr ausreichend, vielmehr muss die allgemeinere Boltzmannsche Transportgleichung gelöst werden. Am Fraunhofer IST wurde hierzu eine geeignete Software entwickelt, mit der die Boltzmann-Gleichung mittels »Direct Simulation Monte Carlo« (DSMC)-Verfahren auf statistische Weise gelöst wird. Dank Parallelisierung können auch große und komplexe Problemstellungen bearbeitet werden.

Als Beispiel wird eine 2-D-Simulation der Aluminiumverdampfung vier benachbarter Linienquellen gezeigt. Die Quellenbreite und der Abstand zwischen den Quellen betragen jeweils 100 mm, im Abstand von 800 mm zu den Quellen befindet sich ein 2 m breites Substrat. Wie anhand des in Bild 1 gezeigten Aluminium-Druckprofils zu erkennen ist, führen die Kollisionsvorgänge zwischen den verdampften Aluminium-Atomen in der Nähe der Quelle zu komplexen dynamischen Wechselwirkungen. Bei hohem Dampfdruck führen diese zu erkennbaren Features im resultierenden Schichtdickenprofil (siehe nebenstehende Grafik).

Ausblick

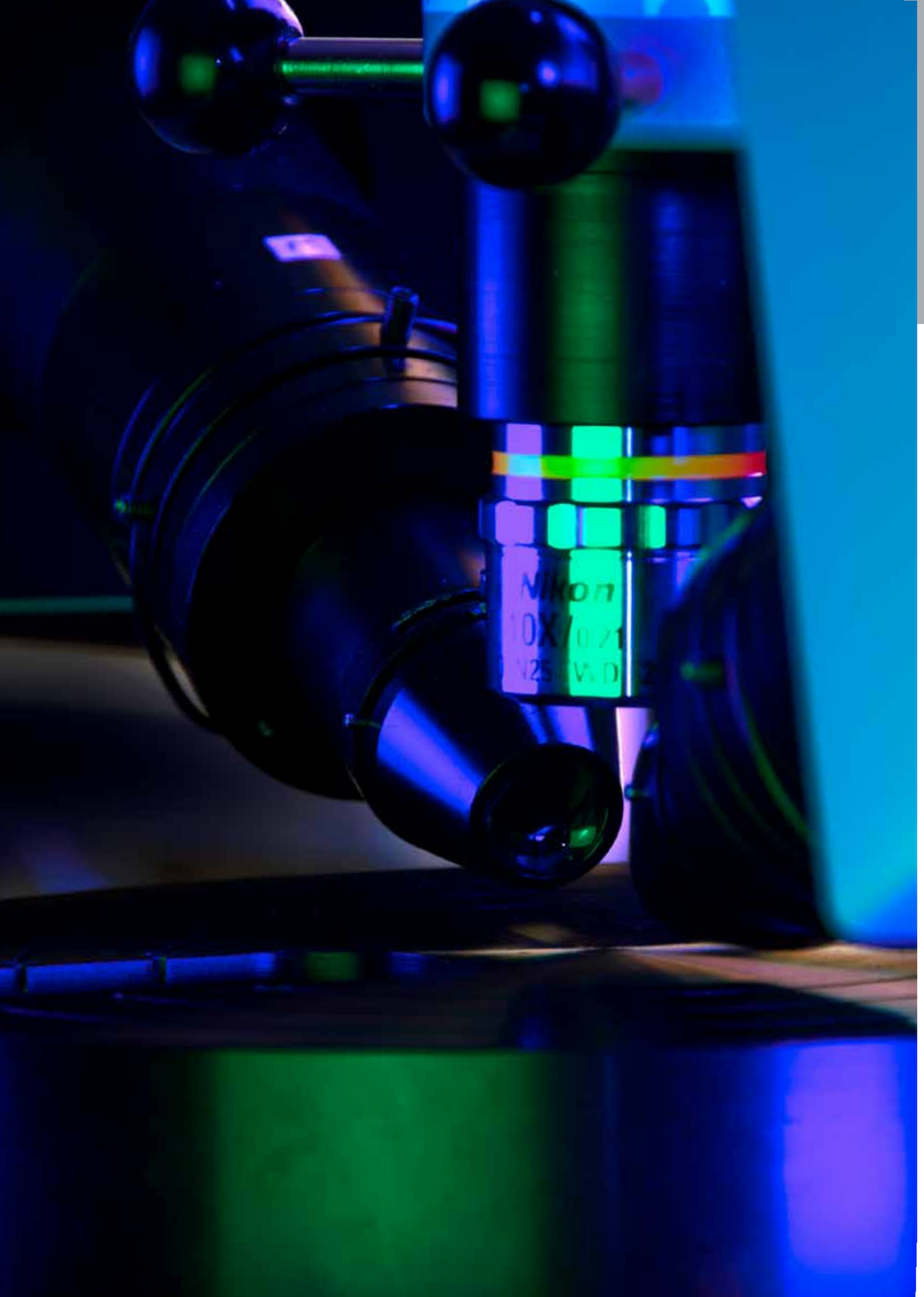
Noch komplexer als bei der einfachen Verdampfung sind die Vorgänge bei der Mehrphasen-Verdampfung. Am Fraunhofer IST kann die Entwicklung neuer Verdampferquellen durch simulationsgestützte Optimierungsstudien unterstützt werden.

Wechselwirkung bei hohem Dampfdruck.



KONTAKT

Dr. Andreas Pflug
Telefon +49 531 2155-629
andreas.pflug@ist.fraunhofer.de



OPTIK, INFORMATION, KOMMUNIKATION

Die Themen im Geschäftsfeld »Optik, Information und Kommunikation« umfassen unter anderem:

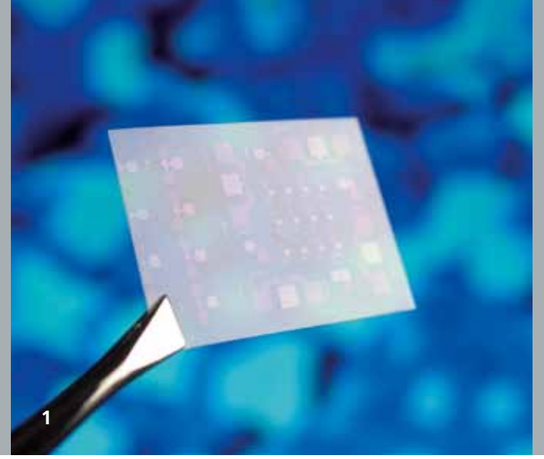
- Die Entwicklung elektrischer Kontakt- und Isolationsschichten
- Die Entwicklung von Schichtsystemen für Displays
- Die Entwicklung und das Design von Mehrlagenschichten für optische Filter
- Die Entwicklung von sensorischen Schichten
- Die Entwicklung neuer Materialien sowie Strukturierungs- und Metallisierungstechnologien zur Substitution von ITO-Schichtsystemen in Flachbildschirmen

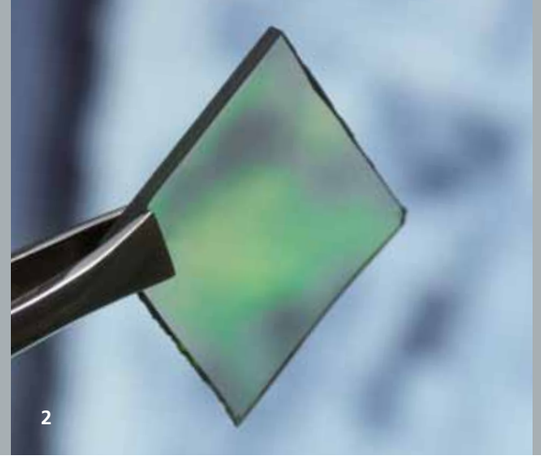
Zu den Kunden dieses Geschäftsfeldes zählen Unternehmen der optischen Industrie, der Telekommunikation, der Automobilindustrie, Hersteller von Displays und Datenspeichern sowie Anlagenhersteller und Lohnbeschichter.

KONTAKT

Dr. Michael Vergöhl
Telefon +49 531 2155-640
michael.vergoehl@ist.fraunhofer.de

Dr. Ralf Bandorf
Telefon +49 531 2155-602
ralf.bandorf@ist.fraunhofer.de





1 *Transparente TFTs auf PEN-Folie, hergestellt an der Uninova, Lissabon.*
2 *Cu-Cr-O-System auf Glas, hergestellt am Fraunhofer IST.*

P-LEITENDE TRANSPARENTE SCHICHTEN FÜR TRANSPARENTE ELEKTRONIK

Transparent leitfähige Schichten (TCOs) finden im Alltag ein breites Anwendungsspektrum, z.B. als Frontelektrode in Displays von u.a. Handys, Computern oder Fernsehern oder als Frontkontakt in Dünnschicht-Solarzellen und (organischen) LEDs. Bisher sind diese Materialien n-Halbleiter. Damit auch andere Bereiche der Halbleiterelektronik zur Ansteuerung der Bauteile transparent ausgelegt werden können, forschen Wissenschaftler des Fraunhofer IST an der Herstellung von p-leitenden TCOs. Ziel sind vollständig transparente Produkte der Halbleiterelektronik.

Materialien

Am Fraunhofer IST werden p-TCOs auf der Basis der sogenannten Delafossitstruktur untersucht. Die Delafossitstruktur ist eine Kristallstruktur, die an Stelle von negativ geladenen Elektronen positiv geladene Ladungsträger, sogenannte »Löcher«, als Hauptladungsträgerart beinhaltet. Die Delafossite beinhalten dabei unter anderem Systeme aus:

- Cu-Al-O
- Cu-Cr-O

Diese Materialien lassen sich auch mischen oder dotieren, um die Leitfähigkeit und Beweglichkeit der Ladungsträger einzustellen.

Prozesse

Für die Herstellung der p-TCOs ist ein zweistufiger Prozess nötig. Im ersten Schritt wird in einem Sputterprozess die nötige chemische Zusammensetzung in Dünnschichtform abgeschieden. Dafür wurden folgende Prozesse durchgeführt:

- Hohlkathoden-Gasfluss-Sputtern
- Reaktives RF-Magnetron-Sputtern

In einem anschließenden Temperschritt bei Temperaturen zwischen 600 °C und 1000 °C kristallisieren die amorph abgeschiedenen Schichten. Dabei bildet sich unter definierten Prozessbedingungen die gewünschte Kristallphase des Delafossiten, so dass ab einer bestimmten Reinheit auch p-leitende und transparente Eigenschaften auftreten.

Ausblick

In weiteren Arbeiten soll die Einsetzbarkeit der p-TCOs in der Halbleiterelektronik untersucht werden. Dazu ist geplant, mit bereits etablierten n-TCOs transparente p-n-Übergänge zu fertigen.

Elektrische und optische Eigenschaften der am Fraunhofer IST hergestellten p-TCOs.

System	Cu-Al-O	Cu-Cr-O
T_{max} [°C]	1000	700
T_{VIS} [%]	30	49
p [Ωcm]	108	29
n_H [cm^{-3}]	6 x 10^{15}	9 x 10^{18}
μ_H [cm^2/Vs]	9,2	0,035

KONTAKT

Dipl.-Phys. Christina Schulz
Telefon +49 531 2155-571
christina.schulz@ist.fraunhofer.de

Dr. Bernd Szyszka
Telefon +49 531 2155-641
bernd.szyszka@ist.fraunhofer.de

1

2

1 *Justage des Strahlengangs für die Plasmaspektroskopie.*
2 *Die Beschichtungsanlage Pfeiffer Balzers PLS580 wird zur Herstellung von Mischoxiden verwendet.*

REAKTIVES SPUTTERN VON MISCHOXIDEN FÜR OPTISCHE SCHICHTEN

Metalloxide sind ein klassischer Bestandteil optischer Filter, wie sie z.B. in Lasersystemen, speziellen Mikroskopen und Spektrometern eingesetzt werden. Die Ansprüche sind hier extrem hoch: Die Substrate dürfen sich z.B. nicht verbiegen und es dürfen auch nur geringste Lichtstreuungen auftreten. Durch die gemeinsame Abscheidung zweier bewährter Schichtmaterialien ergeben sich neue Schichteigenschaften. Verbiegung erzeugende Verspannungen der Schichten können gezielt reduziert und streuend wirkende Schichtrauheiten verringert werden. Am Fraunhofer IST wurde dafür ein Beschichtungsverfahren auf Basis des reaktiven und gepulsten Magnetronsputterns entwickelt, durch das sich ein völlig neues Anwendungsspektrum eröffnet.

Die Herstellung optischer Schichtsysteme mittels Magnetronsputtertechnik gewinnt im industriellen Bereich zunehmend an Bedeutung. Gleichzeitig werden Anforderungen an Filter immer komplexer, so dass bewährte Einzelmaterialien die Möglichkeiten beschränken. Zur Mischung von Oxiden bestand bisher im Bereich des Sputterns nur die Möglichkeit, mit die Rate begrenzenden keramischen Targets, teurer Radiofrequenztechnik oder ebenfalls hochpreisigen Sonderanfertigungen von Mischmaterialien zu arbeiten.

Neuartiges Regelungsverfahren für Pulsprozesse

Zusammen mit der Firma IFU Diagnostic Systems GmbH wurde der Pulse Pattern Controller 2 (PPC2) zur Stabilisierung von gepulsten Sputterprozessen entwickelt. Die Vorteile auf einen Blick:

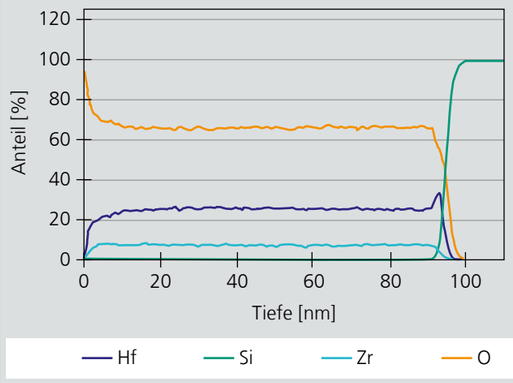
- Unterschiedliche Pulsmuster, -zeiten und -pausen
- Prozesskontrolle über optische Plasmaemissionen oder Sauerstoff-Partialdruck
- Sputtern von zwei unterschiedlichen Targets in einem Prozess mit hohen Raten
- Regelbare Plasmaintensität
- Individuell einstellbare Mischverhältnisse der Materialien

Mit diesem Verfahren können insbesondere Materialien, die für den ultravioletten Wellenlängebereich relevant sind, im Co-Prozess abgeschieden werden, wie z.B. die unterschiedlich brechenden Materialien Hafnium- oder Zirkoniumoxid (hochbrechend) mit Aluminium- oder Siliziumoxid (niedrigbrechend). Die beim Sputtern der hochbrechenden Oxide auftretenden hohen Schichtrauheiten und -spannungen konnten auf diese Weise reduziert werden. Die Qualität von Intereferenzfiltern wird dadurch deutlich gesteigert, da weniger Streuungsverluste auftreten.

Ausblick

Der vorgestellte Prozess eignet sich sowohl für wissenschaftliche Untersuchungen als auch für Produktionsprozesse. Durch die Möglichkeit, zwei Reinmaterialien in beliebigen Verhältnissen mischen zu können, werden Grundlagenuntersuchungen erleichtert. Industrielle Anwender profitieren von der hohen Flexibilität, da ohne Materialwechsel und Anlagenstandzeiten auf unterschiedliche Anforderungsprofile eingegangen werden kann. Am Fraunhofer IST werden mit dem Verfahren auch zukünftig neue Beschichtungsmaterialien mit optimierten optischen wie mechanischen Eigenschaften entwickelt.

Tiefenprofilanalyse (SIMS) an einem 100 nm dicken Mischoxid aus Hafniumoxid und Zirkoniumoxid auf Siliziumwafer, das mit dem beschriebenen Verfahren abgeschieden wurde.



KONTAKT

Dipl.-Phys. Stefan Bruns
Telefon +49 531 2155-628
stefan.bruns@ist.fraunhofer.de

Dr. Michael Vergöhl
Telefon +49 531 2155-640
michael.vergoehl@ist.fraunhofer.de

1

2

INNOVATIVES SYSTEM ZUR HERSTELLUNG VON PRÄZISIONSOPTIKEN – EOSS

Die hohen Anforderungen an optische Präzisionsfilter steigen kontinuierlich. Neben den Produktionskosten sind insbesondere Reproduzierbarkeit, Partikelarmut und Langzeitstabilität wichtige Faktoren für den günstigen und erfolgreichen Einsatz in Produktionsprozessen. Mit dem in Kooperation mit FHR Anlagenbau entwickelten Sputtersystem EOSS beschreitet das Fraunhofer IST neue Wege in der Herstellung von Interferenzoptiken.

Enhanced Optical Sputtering System – EOSS

Mit dem neuen Sputtersystem EOSS steht dem Fraunhofer IST eine hochmoderne Anlage zur Verfügung, um präzise optische Interferenzfiltersysteme herzustellen. Dabei werden die Schichten in bis zu drei Kammern durch Magetronsputtern auf das Substrat aufgebracht. Als Quellmaterialien werden zylindrische Rohre eingesetzt, welche im Gegensatz zu ihren planaren Pendants eine deutlich stabilere Verteilungsfunktion aufweisen. Zur weiteren Verminderung von Partikelkontaminationen wurde die gesamte Anlage als »sputter-up«-Konzept ausgelegt. Die Beschichtung erfolgt in diesem Fall von unten nach oben, so dass schwerere Partikel nicht auf den Substraten kondensieren können. Eine zusätzliche Station zur Plasmabehandlung und ein leistungsstarkes Heizsystem runden das System ab.

Technische Daten

- Magazinsystem für Substratcarrier
- Vollbestückung der Anlage von Atmosphäre zu $1x10^{-6}$ mBar Schleusendruck, inkl. Schleusen in weniger als 20 Minuten
- 10 Substratcarrier mit einem nutzbaren Durchmesser von 200 mm und einer nutzbaren Dicke von 30 mm
- Basisdruck ca. $1x10^{-7}$ mbar, erreichbar innerhalb von 24 Stunden nach dem Schließen der Anlage zu Wartungszwecken
- Sputterleistungen bis 20 kW pro Meter und Target
- Spektrales und monochromatisches Transmissionsmonitoring
- Prozessautomatisierung durch MOCCA+
- RF-Plasmaquelle
- Substratheizung bis 300 °C Substrattemperatur

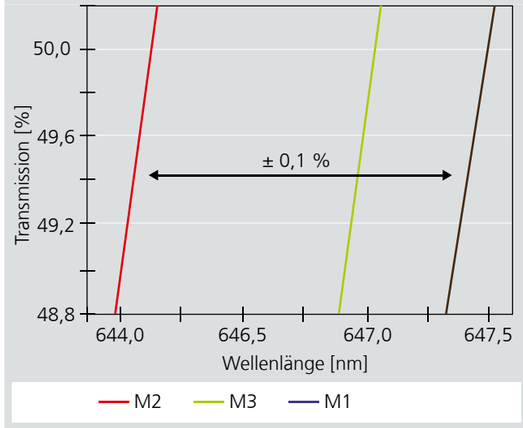
Erste Ergebnisse

In ersten Versuchsreihen zur Reproduzierbarkeit konnten bereits außerordentlich gute Ergebnisse erzielt werden. In einem ersten Versuch wurde die Reproduzierbarkeit eines Bandpassfilters anhand der Lage einer Kante bestimmt. In der oberen Grafik sind die Ergebnisse von drei aufeinander folgenden Versuchen gezeigt. Die untere Grafik zeigt die Reproduzierbarkeit von Teller zu Teller in einem Batch. Es handelt sich in beiden Fällen um zeitgesteuerte Prozesse.

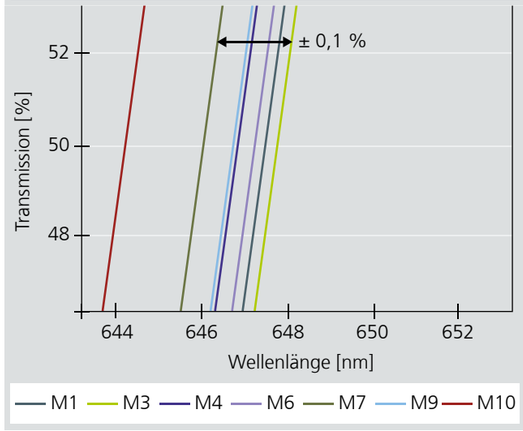
Unser Angebot

Das Fraunhofer IST unterstützt seine Kunden mit eigenen Beschichtungsanlagen, einem breit gefächerten Analytikangebot und langjähriger Erfahrung bei der Bearbeitung aktueller Fragestellungen, neuer Herausforderungen oder beim Prototyping von optischen Filtersystemen – vom ersten Teilschritt bis zum fertigen Filter.

Reproduzierbarkeit der Kantenlage Batch zu Batch.



Reproduzierbarkeit der Kantenlage Teller zu Teller.



1 *EOSS Sputtersystem am Fraunhofer IST.*
2 *Aufsicht auf den Drehteller von oben.*

KONTAKT

Dipl.-Phys. Daniel Rademacher
Telefon +49 531 2155-674
daniel.rademacher@ist.fraunhofer.de

1 *Messstrahl des Monitoringsystems an der EOSS.*
2 *Abbildungsqualität des Messaufbaus an der EOSS.*

MOCCA+® – PROZESSAUTOMATISIERUNG UND OPTISCHES MONITORING

Zur Erhöhung der Präzision in Beschichtungsprozessen wird üblicherweise in-situ Monitoring zur Kontrolle der Schichtdicken eingesetzt. Die Software MOCCA+®, die seit mehreren Jahren am Fraunhofer IST kontinuierlich weiterentwickelt wird, erlaubt es, verschiedene optische Messsysteme zu verwenden, um die Präzision bei der Herstellung von Interferenzoptiken weiter zu erhöhen und zu automatisieren.

MOCCA+® – die Vorteile

- Monitoring: Erhöhung der Abscheidepräzision
- Redesign: Optimierung des verbleibenden Schichtstapels zur in-situ Korrektur von Schichtdickenabweichungen
- Prozesskontrolle: Volle Automatisierung und einfache Benutzbarkeit
- Einfache Oberflächen: Management von Beschichtungsrezepten, Materialdaten und Filterdesigns mit wenigen Klicks
- Optische Berechnungen: Es wird keine weitere Software benötigt

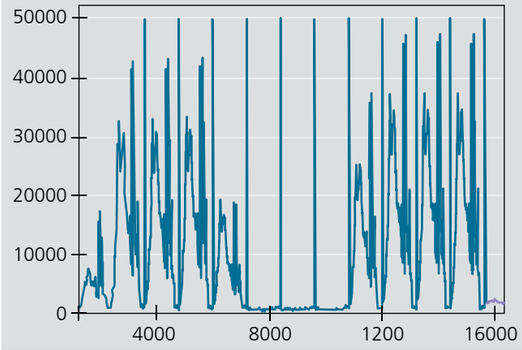
Adaptionsbeispiel EOSS

Das System wurde an der Beschichtungsanlage EOSS adaptiert. Die besondere Herausforderung liegt hier in den besonders kurzen Messzeiten. Um ein maximales Maß an Intensität zu erreichen und einen möglichst großen Wellenlängenbereich abzudecken, wurde ein Spiegelsystem (Bild 1 und 2) zur Führung der Lichtwellen berechnet. Dank einer speziellen Mess- und Triggerelektronik können jetzt auch Messzeiten von 500 µs mit Genauigkeiten von ±1,6 µs realisiert werden. In der oberen Grafik ist eine typische Messung bei voller Messgeschwindigkeit dargestellt. Die untere Grafik zeigt die daraus berechnete Transmissionskurve. Alle prozessrelevanten Anlagenfunktionen können durch MOCCA+® gesteuert werden.

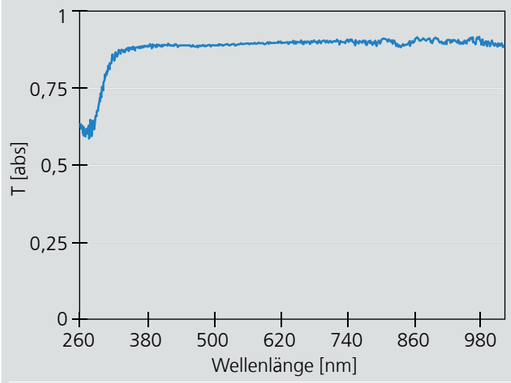
Unser Angebot

Das Fraunhofer IST ist ein kompetenter Partner bei der Implementierung von Monitoringsystemen, die auf die jeweiligen Anlagen und Bedürfnisse zugeschnitten sind. Dabei muss es nicht immer die Standardlösung sein: MOCCA+® kann auf die spezifischen Anforderungen und Möglichkeiten der Beschichtungsanlagen angepasst werden, so dass MOCCA+® vom einfachen Monitoring bis hin zur vollständigen Prozessautomatisierung eingesetzt werden kann.

Messung des Spektrums über eine Rotation der Beschichtungsanlage EOSS.



Spektrale Qualität der Messung von 260 bis 1020 nm Wellenlänge an der EOSS.



KONTAKT

Dipl.-Phys. Daniel Rademacher
Telefon +49 531 2155-674
daniel.rademacher@ist.fraunhofer.de

1 *Für Experimente verwendete Sputteranalage.*

VERBESSERTE SCHICHTHAFTUNG AUF PTFE MITTELS PLASMABEHANDLUNG

RF-gesputterte Polytetrafluorethylen (PTFE)-Schichten sind hochtransparent, niedrigbrechend (n = 1,39) und sehr elastisch. Leider haften auf PTFE andere abgeschiedene Schichten nur sehr schlecht. Ziel der am Fraunhofer IST durchgeführten Entwicklungsarbeit war es, die Schichthaftung auf PTFE-Oberflächen zu verbessern. Hierdurch ergeben sich neue Einsatzgebiete für das PTFE, wie z. B. optische Schichtsysteme oder organische-anorganische Kompositschichten.

Experimentelle Herangehensweise

Organische Materialien wie Polymere eignen sich üblicherweise nicht für die Abscheidung mittels Sputterverfahren, da ihre elektrische Leitfähigkeit zu gering und ihre molekulare Struktur zu empfindlich gegenüber den hohen Teilchenenergien eines Gasentladungsplasmas ist. Eine Ausnahme bildet hier das PTFE, das am Fraunhofer IST über ein konventionelles Sputtermagnetron in reiner Argonatmosphäre abgeschieden wird. Zur Haftungsverbesserung auf den PTFE-Schichten wurde die verwendete Sputteranlage (Bild 1) derart modifiziert, dass die Substrate mit RF-Leistungszufuhr zwischen zwei Beschichtungsprozessen mit Plasma behandelt werden konnten. Um anschließend Haftungsuntersuchungen durchführen zu können, wurde die PTFE-Schicht in einem nächsten Schritt mit Tantaloxid beschichtet. Durch Variation verschiedener Behandlungsparameter wie Behandlungsdauer, Atmosphäre und RF-Leistung konnte so die Haftung der Ta_2O_5-Schichten optimiert werden.

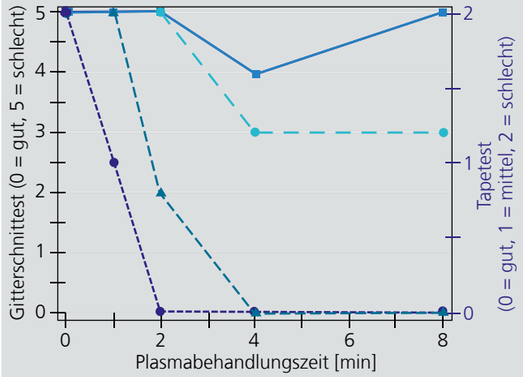
Ergebnisse

Durch den Ionenbeschuss beim Beglimmen wird die PTFE-Oberfläche geätzt. Bemerkenswert ist hieran, dass die Ätzrate empfindlich von der Zusammensetzung des Prozessgases abhängt. In reinem Argon ist die plasmageätzte Schichtdicke im PTFE proportional zur Behandlungsdauer. Eine Zugabe von fünf Prozent Wasserstoff zum Prozessgas bewirkt hingegen einen leichten Dickenzuwachs (untere Grafik). Die Brechzahl der Schichten steigt zudem leicht an, was auf ein Ersetzen von Fluor durch Wasserstoff an der PTFE-Oberfläche zurückzuführen ist. Die Schichthaftung, welche mittels Gitterschnitttest nach DIN EN ISO 2409 sowie eines einfachen Tape-Tests (auf Glassubstraten) bestimmt wurde, verbessert sich bereits nach wenigen Minuten Behandlungszeit erheblich.

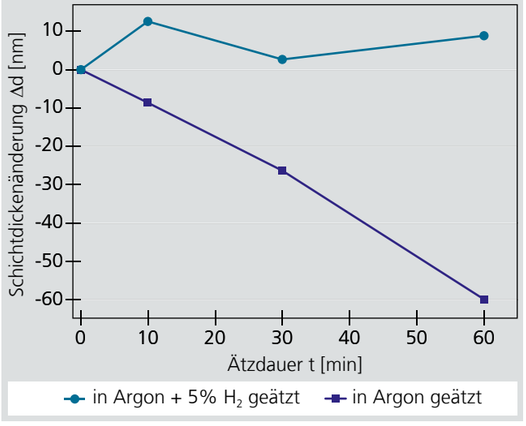
Ausblick

Die Plasmabehandlung von PTFE-Schichten und -Substraten in einer wasserstoffhaltigen Atmosphäre ist ein erfolgversprechender Weg, gute Schichthaftung zu erzeugen. Hierdurch wird es möglich, PTFE-Schichten auch in optischen und anderen Schichtstapeln einzusetzen und für neuartige Anwendungen zu erschließen.

Schichthaftung als Funktion der Behandlungsdauer.



Schichtdickenänderung als Funktion der Behandlungsdauer.



KONTAKT

Dr. Thomas Neubert
Telefon +49 531 2155-667
thomas.neubert@ist.fraunhofer.de

1 *Industrielle Inline-Beschichtungsanlage zur Herstellung von elektrischen Funktionsschichten.*

ELEKTRISCHE ISOLATIONSSCHICHTEN AUF BASIS VON AL_2O_3

Elektrische Isolationsschichten bilden die Grundlage für eine effiziente Nutzung von Sensoren auf technischen Oberflächen. Bisher werden Al_2O_3-Isolationsschichten unter hohem Aufwand mit Hochfrequenz-Sputterprozessen von keramischen Targets abgeschieden. Eine energie- und kosteneffizientere Beschichtungsalternative bieten hier reaktive Sputterprozesse.

Aluminiumoxid (Al_2O_3) wird als Dünnschicht neben optischen und tribologischen Anwendungen auch als elektrische Isolationsschicht eingesetzt. Die Herstellung dieser dünnen Schicht erfolgt wegen der hohen Plasmadichte meist auf kleinen Kathoden mittels eines Hochfrequenz-Sputterprozesses (HF). Eine Aufskalierung der HF-Sputterprozesse ist meist problematisch, da hierfür die erforderliche HF-Generatorleistung auf dem Markt vielfach nicht verfügbar bzw. zu kostspielig ist. Eine Alternative bietet das reaktive Sputtern von metallischen Targets. Hier hat das Fraunhofer IST unterschiedliche Verfahren, wie das Mittelfrequenz-Sputterverfahren (MF) und hoch-ionisierte Pulsprozesse (HIPP-Prozesse) untersucht. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der Isolationseigenschaft, welche durch die Durchschlagspannung definiert ist.

Reaktive Prozesse zur Herstellung von Al_2O_3

Reaktive Prozesse bieten die Möglichkeit einer Aufskalierung auf größere (industrielle) Kathoden. Allerdings benötigen sie gleichzeitig auch eine angepasste aktive Regeltechnik. Dem Fraunhofer IST stehen unterschiedliche Verfahren zur Prozesskontrolle zur Verfügung:

- Regelung auf den Sauerstoff-Partialdruck mittels Lambda-Sonde
- Regelung auf eine Emissionslinie mittels Plasma-Emissions-Monitor

Dabei kann entweder der Sauerstoffffluss direkt über Piezoventile nachgeführt werden oder es erfolgt eine effektive Leistungsanpassung über Nachführung der anliegenden Leistung. Diese Leistungsanpassung ist auch im Falle von HIPP-Prozessen durch Regelung der Pulspausen möglich.

Zur weiteren Steigerung der Durchschlagsfestigkeit erfolgte das Schichtwachstum lagenweise, wodurch immer wieder neue Nukleationszentren für das Wachstum der nächsten Lage entstehen. Die Einzelschichten bestehen dabei entweder aus leicht unterschiedlich gewählten Schichtzusammensetzungen oder wurden mit unterschiedlichen Prozessparametern hergestellt. Mit Hilfe dieser Technik und der Stapelung von Al_2O_3-Schichten konnten Durchschlagspannungen im Bereich von 200 V/µm realisiert werden.

Ausblick

Reaktive Sputterprozesse bieten das Potenzial, Isolationsschichten auf technischen Oberflächen herzustellen. Dabei zielt die Entwicklung auf energie- und kosteneffizientere Beschichtungen, die weiter aufskaliert werden können und gleichzeitig verbesserte Schichteigenschaften zeigen.

KONTAKT

Dipl.-Phys. Holger Gerdes
Telefon +49 531 2155-576
holger.gerdes@ist.fraunhofer.de

Dr. Ralf Bandorf
Telefon +49 531 2155-602
ralf.bandorf@ist.fraunhofer.de

MENSCH UND UMWELT

Im Zentrum der Aktivitäten des Geschäftsfeldes »Mensch und Umwelt« steht die Entwicklung von Oberflächen für Anwendungen in Medizintechnik, Biotechnologie und Umwelttechnik. Beispiele sind:

- Selektive Funktionalisierung und Beschichtung von Oberflächen mittels Atmosphärendruck-Plasmaverfahren (z. B. für Bioanalytik, Medizintechnik oder Migrationsbarrieren)
- Diamantbeschichtete Elektroden zur elektrochemischen Wasserdesinfektion und zur Behandlung von Abwasser
- Metallisierung von Kunststoffoberflächen für Biosensoren
- Innenbeschichtung von Mikrofluidikkomponenten, Zellkulturbeuteln und Schläuchen
- Reibungsmindernde biokompatible Schichten (z. B. diamantähnliche Kohlenstoffschichten) für Anwendungen in der Medizintechnik, z. B. in der Prothetik
- Plasmabehandlung zur Restaurierung und Konservierung von Kulturgütern

Kunden dieses Geschäftsfeldes sind unter anderem Unternehmen aus der Pharmaindustrie, der Biotechnologie, Medizintechnik, Lebensmittelindustrie, der chemischen Industrie und Umwelttechnik.

KONTAKT

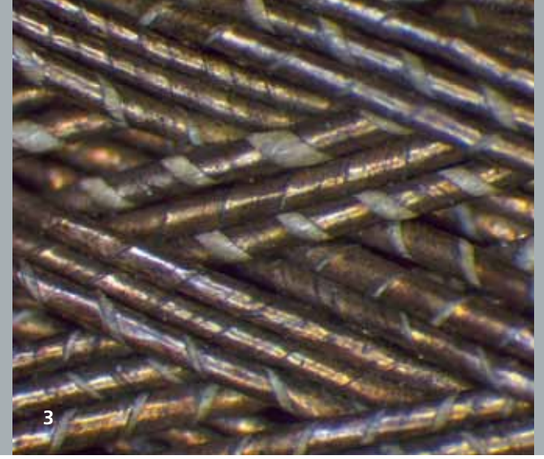
Dr. Simone Kondruweit
Telefon +49 531 2155-535
simone.kondruweit@ist.fraunhofer.de

Prof. Dr. Claus-Peter Klages
Telefon +49 531 2155-510
claus-peter.klages@ist.fraunhofer.de

Dr. Michael Thomas
Telefon +49 531 2155-525
michael.thomas@ist.fraunhofer.de

1

2


3

1-2 *Versilberte Teekanne vor und nach einer reduzierenden Behandlung mit Atmosphärendruck-Plasma.*
3 *Stereomikroskopische Aufnahme in 6,5-facher Vergrößerung eines Textils mit integriertem Silber-Lahnfaden.*

SILBERREINIGUNG MITTELS ATMOSPHÄRENDRUCK-PLASMA

Oberflächen aus Silber oder einer Silberlegierung verfärben sich im Laufe der Zeit an der Luft: Sie »laufen an«. Der Grund für das Anlaufen ist die Empfindlichkeit der Silberoberfläche gegenüber schwefelhaltigen Gasen, wie sie in geringen Mengen in der Umgebungsluft vorkommen. Bereits bei Raumtemperatur reagiert Schwefelwasserstoff mit Silber zu Silbersulfid, wodurch sich braun-schwarze Verfärbungen auf der Silberoberfläche bilden.

Für den Erhalt des Kulturerbes
Kunst- und Kulturgüter geben als wertvolle Zeitzeugen Auskunft über kulturelle Strömungen, vergangene Bräuche, Materialien und Techniken. Häufig sind diese Objekte aber durch Verwitterung, Umwelteinflüsse, Korrosion und mikrobiellen Befall gefährdet. Zusammen mit fünf anderen Fraunhofer-Instituten entwickelt das Fraunhofer IST innerhalb der Forschungsallianz Kulturerbe Verfahren, die Plasmatechnologien für den Erhalt unseres kulturellen Erbes nutzen und damit das Spektrum restauratorischer Methoden erweitern. Wissenschaftler am Fraunhofer IST forschen seit einiger Zeit an der schonenden Silberreinigung mittels Atmosphärendruck-Plasma.

Probleme der herkömmlichen Silberpolitur
Damit Silberoberflächen silbrig glänzen, muss das Silbersulfid von Zeit zu Zeit entfernt werden. Hier arbeiten Restauratoren im Wesentlichen mit einem abrasiv wirkenden Gemisch aus Kalziumkarbonat und Wasser, der Schlämmkreide. Problematisch ist dieses Verfahren jedoch insbesondere für dünnwandige, filigrane und versilberte Objekte und Gegenstände, die keine ebenmäßige Oberfläche aufweisen. Jeder Poliervorgang entfernt Originalsubstanz und damit einen Teil des Kulturgutes.

Silberreduktion im Atmosphärendruck-Plasma
In einer bei Atmosphärendruck arbeitenden Plasmadüse wird eine Entladung gezündet, die durch den Gasstrom eines Stickstoff-Wasserstoff-Gemisches nach außen getragen und mit dem angelaufenen Material in Kontakt gebracht wird. Durch das Einwirken des reduzierenden Gasgemisches kommt es zu einer Desoxidation der angelaufenen Oberflächen und die Schwarzfärbung verschwindet. Die großen Vorteile der Plasmabehandlung:

- Kein Materialabtrag
- Reinigung hochempfindlicher Ausstellungsstücke
- Gezielte lokale Behandlung
- Einfache Anwendung: die Plasmadüse wird wie ein Stift über die Probe geführt
- Gute Kontrollierbarkeit – im Gegensatz zu Niederdruck-Verfahren

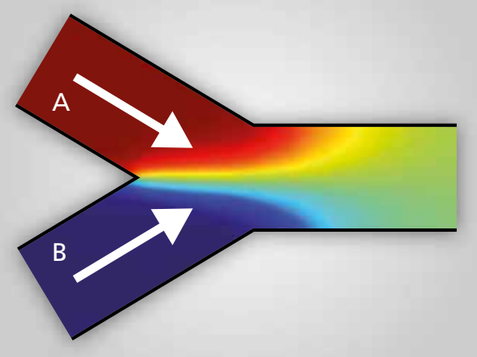
Anwendungsbeispiele
Interessant ist das Verfahren für historische Textilien, bei welchen Textil und Metall in festem, unzertrennbaren Verbund vorliegen – wie z. B. bei Gewirken aus Seide und Silber. Herkömmliche Reinigungsverfahren führen nicht nur zu einem Substanzverlust des Silbers, sondern wirken sich außerdem schädigend auf die Seidenproteine aus. Hier kann eine Plasmabehandlung eine schonende Alternative darstellen. Ein weiterer Anwendungsbereich sind sehr fragile Objekte, die unter einer mechanischen Politur plastisch verformt werden. Da das Atmosphärendruck-Plasmaverfahren berührungsfrei arbeitet, kann die Entfernung des Silbersulfids ohne Verformung des Objekts erfolgen.

Ausblick
Inwieweit auch andere auf Silberobjekten auftretende Verbindungen wie z. B. Silberchloride und -sulfate, aber auch Kupferverbindungen im Plasma reduziert werden können, wird derzeit noch untersucht.

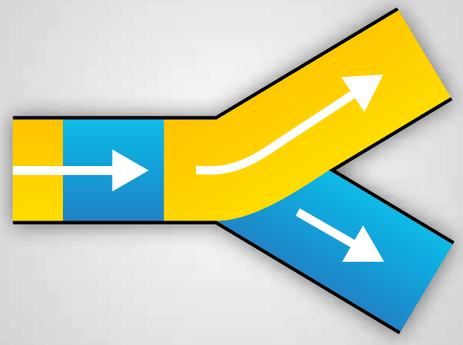
KONTAKT

Dr. Michael Thomas
Telefon +49 531 2155-525
michael.thomas@ist.fraunhofer.de

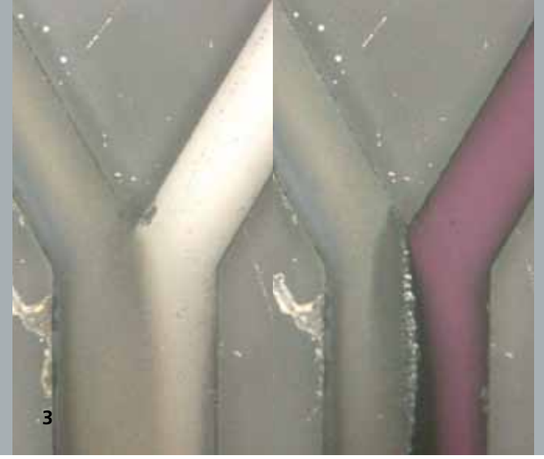
Dipl.-Ing. Margret von Hausen
Telefon +49 531 2155-622
margret.von.hausen@ist.fraunhofer.de



1



2



3

FLUIDISCHER SEPARATOR FÜR ZWEIPHASENGEMISCHE

Für die Aufspaltung von polaren und unpolaren Mehrphasensystemen wie z.B. Öl-Wasser-Gemische müssen die fluidischen Phasen getrennt werden. Für gewöhnlich werden dafür Schwerkraftabscheider und Skimmer, Zentrifugen und Membransysteme eingesetzt. Diese lassen sich nur mit relativ hohem technischen und energetischen Aufwand in chemische und biochemische Prozesse sowie Prozesswasser- und Reinigungsanlagen integrieren und betreiben. Der Bedarf an kontinuierlichen Separatoren, die bei einfacher Prozessintegration hohe Trennleistungen erzielen, ist daher groß.

Separationsverfahren

Verfahren zur Trennung von flüssigen Mehrphasensystemen nutzen häufig den Dichteunterschied zwischen den Flüssigkeiten aus, wie z. B. Zentrifugen oder Abscheider. Die Effizienz der Verfahren hängt dabei von der Größe des Dichteunterschieds ab. Eine weitere Möglichkeit, flüssige Mehrphasensysteme aufzutrennen, ergibt sich unter Ausnutzung der unterschiedlichen Oberflächenspannungen der einzelnen Phasen. Entsprechende Separatoren benötigen kleine Kanaldimensionen oder Membranstrukturen, so dass die einzelnen Flüssigkeitsphasen mit unterschiedlichen Oberflächen in Kontakt kommen können. Unterschiedliche fluidische Phasen lassen sich durch Ausnutzung der Oberflächenspannung trennen, indem das Mehrphasensystem durch eine Kanalstruktur geleitet wird, welches sich in hydrophile und hydrophobe Kanäle aufspaltet. Dabei gilt: je besser die Auslegung und Dimensionierung der Kanalstrukturen (z. B. hinsichtlich Oberfläche/Volumen- und Aspektverhältnis) den Durchmessern der Fluidsegmente (Tröpfchen) entsprechen, desto vollständiger gelingt die Separation. Durch Kombination von Mikrostrukturierungstechniken und Oberflächenbeschichtungsverfahren können derartige Trennsysteme in einer breiten Materialvielfalt realisiert werden.

Effekt durch Plasmainnenbeschichtung

In strukturierten und gedeckelten mikrofluidischen Kanalstrukturen aus dielektrischen Materialien wie z. B. Glas und Kunststoffe lassen sich bei Atmosphärendruck Plasmen zünden, die eine allseitige Beschichtung des Kanalinneren erlauben. Durch das Anlegen zweier Elektroden an der Ober- und Unterseite des Bauteils werden in den Kanälen mittels Wechselspannung elektrische Felder erzeugt, die die Zündfeldstärke übersteigen. Durch geeignete Wahl des Gases bzw. Gasgemisches, das durch die Kanäle strömt, können die inneren Oberflächen in Form eines Post-Processings beschichtet oder aktiviert werden. In dem Prinzipschema in Bild 1 ist dies anschaulich dargestellt: Leitet man durch den einen Zulauf der Y-Kanalstruktur (A) ein Gas mit einem Schichtprekursor (rot) und durch den anderen Zulauf (B) gleichzeitig ein nicht beschichtendes Gas (blau) in den Kanal, wird nur der Zweig (A) beschichtet. Die einseitige Beschichtung erfolgt wegen der für die diffusive Durchmischung erforderlichen Zeit in den Hauptkanal hinein (Bild 2). Verfährt man mit einem anderen Prekursor ebenso bei der Beschichtung von Zulauf B, erreicht man, dass sich in einem derart oberflächenbehandelten Y-Separator eine Mehrphasen-Flüssigkeitsströmung am Ende des Kanals durch die seitlich unterschiedlichen Oberflächenspannungen auftrennt. Dadurch kann die Trennleistung gegenüber Standardseparatoren deutlich erhöht werden. Experimente mit Heptan/Wasser- und Perfluorodecalin/Wasser-Gemisch haben dies eindrucksvoll belegt. Bild 3 zeigt mit eingefärbtem Wasser die Begrenzung der Benetzung auf den hydrophilen Bereich.

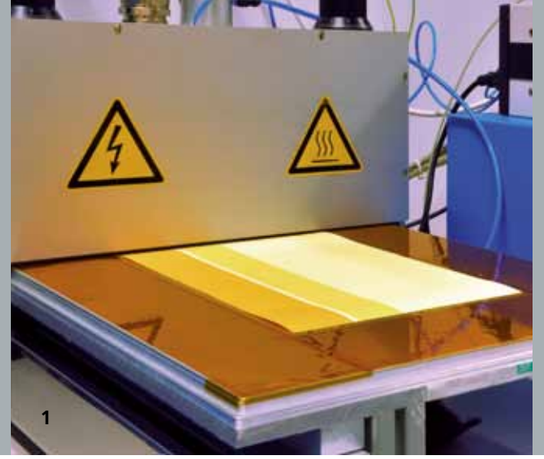
Anwendungen

Möglichkeiten für den Einsatz der Separatoren liegen in den Bereichen Prozesswasserbehandlung, Umwelttechnik, Chemie/Biochemie und Droplet-based Mikrofluidik. Der Durchsatz bei kleinen Kanalgeometrien kann durch parallele Anordnung der Separatorstrukturen kompensiert werden. Zurzeit werden am Fraunhofer IST die Trennleistungen für verschiedene Zweiphasengemische charakterisiert.

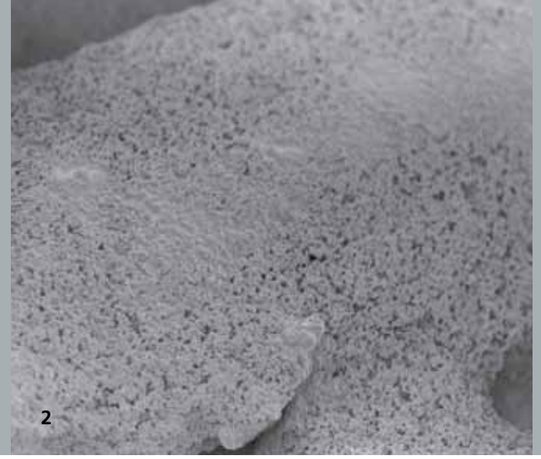
1 Beschichtung eines Separators (Simulation mit COMSOL® Multiphysics): Es werden nur der Zweig A und ein Teil des Hauptkanals beschichtet. Im Hauptkanal erlischt die Entladung durch das Inertgas aus Zweig B.
2 Schema der Trennung eines Zweiphasengemisches aus Öl und Wasser in einem mikrofluidischen Y-Kanal.
3 Linke Y-Struktur: weißer Bereich ist unbeschichtet (hydrophil). Grauer Bereich ist hydrophob beschichtet. Rechte Y-Struktur: Nur der dunkelrote Bereich wird von eingefärbtem Wasser benetzt.

KONTAKT

Dr. Marko Eichler
Telefon +49 531 2155-636
marko.eichler@ist.fraunhofer.de



1



2

3

VOM LABOR IN DIE PRODUKTION: VEREDLUNG TECHNISCHER TEXTILIEN DURCH ATMOSPHÄRENDRUCK-PLASMA

Die Anforderungen an multifunktionale technische Textilien steigen mit den wachsenden Einsatzgebieten. So müssen z. B. Polyestermarkisengewebe dimensionsstabil sein, schmutzabweisend und leicht zu reinigen. Darüber hinaus sollen sie vor UV-Strahlung schützen und gleichzeitig eine hohe Lichtechtheit aufweisen. Am Fraunhofer IST wird an der effizienteren Produktion dieser multifunktionalen Textilien geforscht.

Veredlung technischer Textilien

Die Veredlung ist ein komplexes Verfahren zur Produktion von Gewebe, bei dem eine Vielzahl von Produktionsschritten und Parametern sehr genau aufeinander abgestimmt und überwacht werden müssen. Ein für die gewünschte Multifunktionalität von Markisengewebe wesentlicher Produktionsschritt ist die Abscheidung nasschemischer Schichten (Appreturen). Allerdings ist das für die Markisen eingesetzte Polyestergewebe ein relativ dünnes, kompaktes und schlecht benetzendes Material. Dies führt bei der späteren Veredlung zu einer geringen Flottenaufnahme und damit verbunden zu hohen Produktkonzentrationen in der Appretur. Darüber hinaus bleibt ein hoher Anteil dieser Appretur auf der Gewebeoberfläche hängen, bildet dort eine dicke Schicht auf der Vorder- und Rückseite aus und erhöht damit das Risiko der Rissbildung (Graubruch).

Plasmabehandlung bei Atmosphärendruck

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojektes »µPlasTex« (FKZ 13N9273 – 13N9277) wurde der Einfluss der Plasmabehandlung bei Atmosphärendruck auf die Benetzbarkeit von Polyestermarkisengewebe untersucht. Mit einer mobilen Anlage (Bild 1) des Fraunhofer IST konnten dazu bei der Firma Schmitz-Werke GmbH + Co. KG in Emsdetten erste grundlegende Versuche zum Einfluss der Behandlung auf die Benetzbarkeit durchgeführt werden. Es stellte sich heraus, dass sich die Appretur bei dem mit Plasma behandelten Gewebe gleichmäßig und faserkerntief zwischen den einzelnen Garnfilamenten verteilte (Bild 2). Die Vorteile auf einen Blick:

- Homogene Appreturverteilung im Gewebeverbund
- Weniger Oberflächenappretur
- Konstante Ausrüstungseffekte
- Verbesserte technische Eigenschaften, wie u. a. höhere Schmutzabweisung und Wasserdichtigkeit, geringer Graubruch

Übertragung in den technischen Maßstab

Gemeinsam mit der SOFTAL Corona & Plasma GmbH wurden die an der mobilen Plasmaanlage des Fraunhofer IST gewonnen Erkenntnisse auf die für Bahnwaren ausgelegten Anlagen im Plasmakompetenzzentrum von SOFTAL übertragen. Die Ergebnisse:

- Deutlich verbesserte Benetzung der Appretur bis in die Gewebeinnenlagen
- Minimierung der Plasmadosis durch exakte Abstimmung von Verarbeitung und Plasmabehandlung aufeinander
- Einsparung eines Veredlungsschritts durch Prozessoptimierung im Bereich der nasschemischen Ausrüstung
- Insgesamt bessere technische Eigenschaften

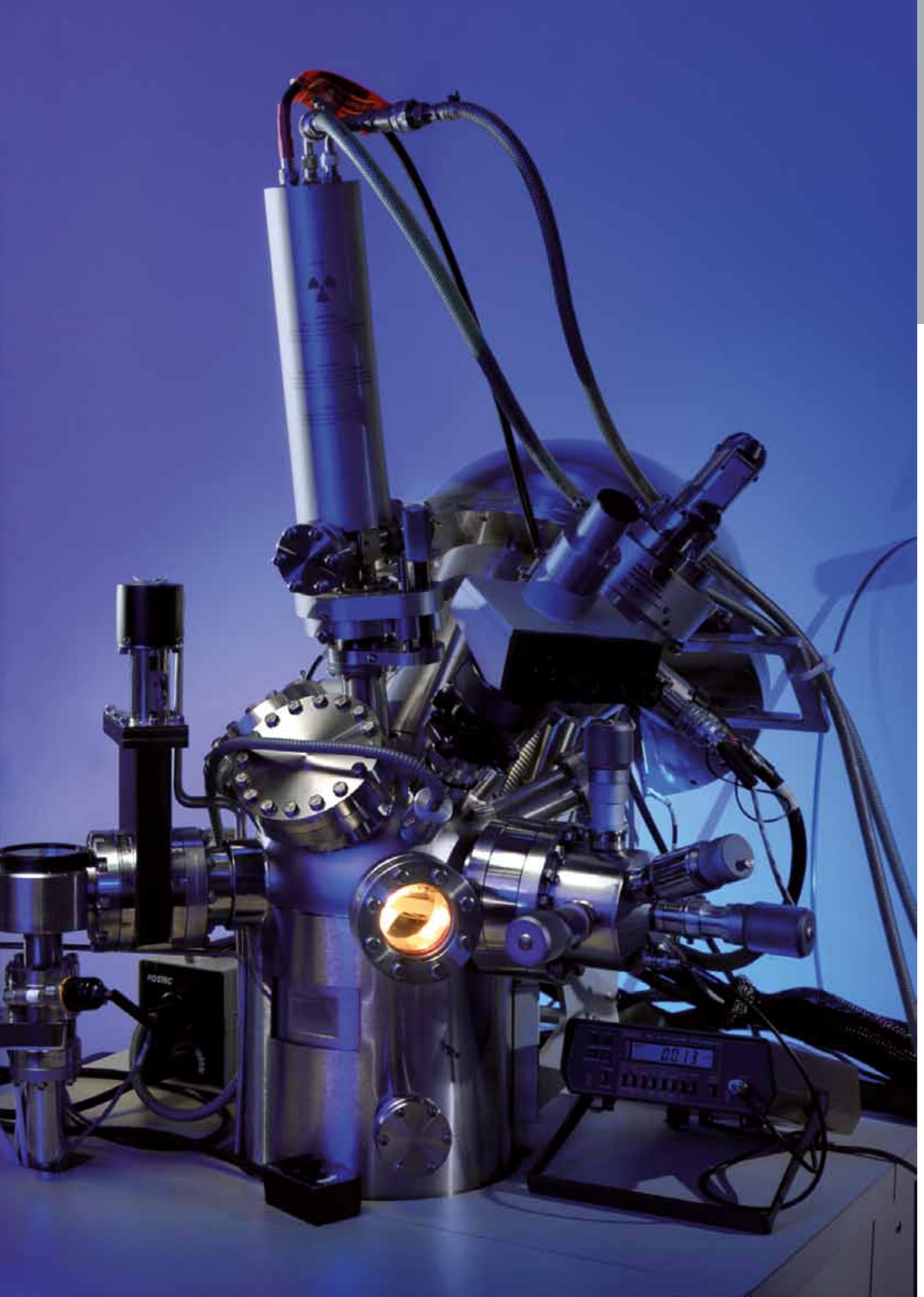
Technologietransfer

Durch den Einsatz von Plasmatechnologie konnten die Prozesse in der Textilveredlung deutlich optimiert werden. Die Schmitz-Werke investierten aufgrund der aus diesem Projekt gewonnen Erkenntnisse in eine von SOFTAL hergestellte Atmosphärendruckplasmaanlage für die Produktion von technischen Textilien (Bild 3). Diese Anlage wurde Ende 2011 erfolgreich in Betrieb genommen.

1 *Mobile flexible Behandlungsanlage des Fraunhofer IST für die Plasmabehandlung bei den Anwendern vor Ort.*
2 *REM-Aufnahme eines Polyestermultifilaments und eines Polyestereinzelfilaments mit SNC-Ausrüstung.*
3 *Von SOFTAL gebaute Behandlungsstation für die beidseitige Plasmabehandlung von Polyestermarkisen bei den Schmitz-Werken.*

KONTAKT

Dr. Michael Thomas
Telefon +49 531 2155-525
michael.thomas@ist.fraunhofer.de



LEISTUNGEN UND KOMPETENZEN

Zur Bearbeitung der in den vorangegangenen Kapiteln exemplarisch vorgestellten Geschäftsfelder nutzt das IST ein breites Spektrum an Kompetenzen, die sich zum einen auf spezielle Schichtsysteme und zum anderen auf Beschichtungsverfahren beziehen:

Niederdruckverfahren

- Magnetron-Sputtern und hochionisierte gepulste Plasmaverfahren u. a. HIPIMS, MPP
- Hohlkathodenverfahren
- PACVD-Verfahren
- Heißdraht-CVD-Verfahren
- Atomlagenabscheidung (ALD)

Atmosphärendruckverfahren

- Galvanische Mehrkomponentensysteme
- Elektrochemie
- Atmosphärendruck-Plasmaverfahren
- Mikroplasmen
- Niedrig-Temperatur-Bonden
- Kunststoffmetallisierung
- Korrosionsschutz

Mikro- und Nanotechnologie

- Grenzflächenfunktionalisierung
- Mikro- und Sensortechnologie
- Nanokompositschichten

Elektrische und optische Schichten

- Optische Schichten
- Transparente leitfähige Schichten
- Diamantelektroden
- Silizium-basierte Schichten für Photovoltaik und Mikroelektronik
- Oxidische Halbleiter
- Isolationsschichten

Superharte Schichten

- Diamant
- Kubisches Bornitrid (cBN)

Reibungsminderung und Verschleißschutz

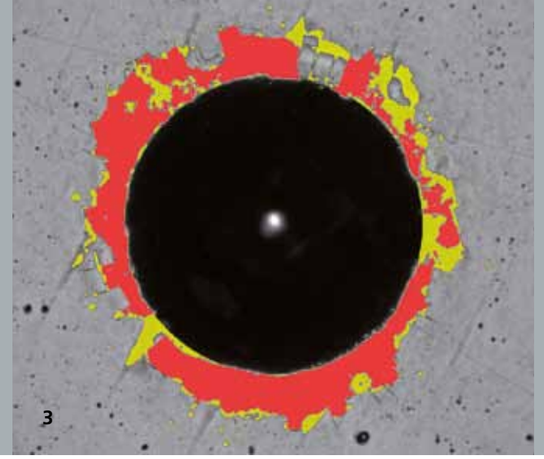
- Amorphe Kohlenstoffschichten (DLC)
- Diamantschichten
- Hartstoffschichten
- Plasmadiffusion
- Trockenschmierstoffschichten

Analytik und Qualitätssicherung

Darüber hinaus bietet das Institut ein breites Spektrum an Geschäftsfeld übergreifenden Leistungen: Oberflächenvorbehandlung, Schichtentwicklung, Prozesstechnik (einschließlich Prozessdiagnostik, -modellierung und -regelung), Schichtcharakterisierung und -prüfung, Aus- und Weiterbildung, anwendungsbezogene Auslegung und Modellierung, Anlagen- und Komponentenentwicklung sowie Technologietransfer.

1

2


3

NEUE AUTOMATISIERTE AUSWERTUNG FÜR DEN ROCKWELL-TEST

Am Fraunhofer IST wurde gemeinsam mit der BAQ GmbH ein neues Auswerteverfahren entwickelt, das eine automatisierte Bewertung der Schichthaftung erlaubt. Nicht nur die Auswertung läuft automatisch ab, sondern auch die eigentliche Rockwell-Prüfung ist automatisiert. Mit einer Bildverarbeitungssoftware werden beschichtete Bauteile zuverlässig und ohne manuelles Eingreifen auf ihre Schichthaftung geprüft.

Die Herausforderung: Der Rockwell-Test

Der Rockwell-Test ist ein seit vielen Jahren in Industrie und Forschung sehr anspruchsvolles, aber etabliertes Prüfverfahren zur Bestimmung der Schichthaftung. Auf dem beschichteten Bauteil wird nach Rockwell eine konventionelle Härteprüfung durchgeführt. Vorliegende Schichtschädigungen im Randbereich des Rockwelleindrucks werden auf diese Weise qualitativ beurteilt und nach visuellem Eindruck in Haftklassen eingeteilt (VDI-Richtlinie 3198). In der Anwendung zeigt der Rockwell-Test jedoch leider verschiedene Nachteile, wie z. B.

- keine quantitativen Bewertungsgrößen,
- geringe Reproduzierbarkeit,
- für Normung ungeeignet,
- Durchführung nur mit erfahrenem Personal,
- aufwendige Dokumentation,
- keine Automatisierungsmöglichkeit.

Das neue Auswertungsverfahren: Die Rockwell-Software

In Kombination mit der am Fraunhofer IST und der BAQ GmbH entwickelten Bildverarbeitungs-Software wird der Rockwell-Test jetzt deutlich leichter und anwendungsfreundlicher. Die Vorteile auf einen Blick:

- Automatisches Setzen des Rockwell-Eindrucks, Bildaufnahme und Auswertung der Schichtschädigungen mit einer Bildverarbeitungssoftware
- Die Software liefert zwei weitere quantitative Kenngrößen zur Beschreibung der Schichthaftung: die Haftzahl und die Symmetriezahl
- Der große Vorteil: Alle drei Parameter können objektiv und reproduzierbar ermittelt werden

Das Prinzip der Software

Zunächst wird die Schichthaftung – wie gewohnt – mit dem Rockwell-Tester geprüft. Per Bildverarbeitungs-Software wird der Prüfeindruck dann automatisch ausgewertet: Über Kontrastvergleiche identifiziert und quantifiziert die Software enthaftete Schichtbereiche.

Der Test – Ergebnisse, Dokumentation und Archivierung

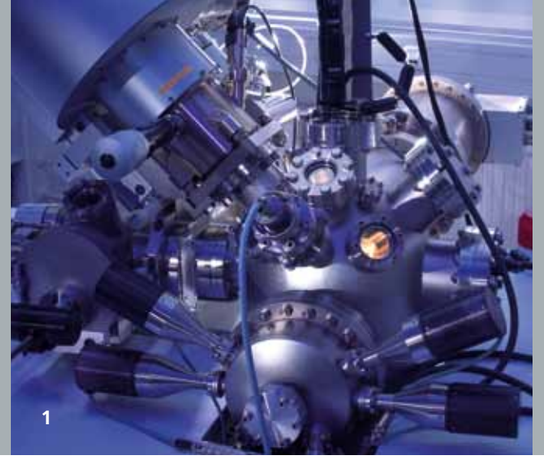
Mit dem neuen Test werden den Haftklassen neue Haftzahlen zugeordnet. Die Haftzahl ist der Koeffizient aus enthafteter Fläche und projizierter Rockwell-Eindruckfläche (Bild 3). Sie berücksichtigt neben der Enthaftung auch die Substrathärte und ist daher für eine mögliche Normierung der Haftklassen besonders interessant. Die Symmetriezahl wird aus der Verteilungsfunktion, in der winkelabhängig die enthafteten Schichtbereiche dargestellt sind, ermittelt. Sie gibt Auskunft darüber, ob die enthafteten Schichtbereiche gleichmäßig entlang des Rockwell-Eindrucks verteilt sind, oder ob einzelne lokale Schichtenthaftungen vorliegen (Bild 3; Symmetriezahl = 2,9) Die Rockwellprüfung zur Schichthaftung wird mit den beiden Kennzahlen, Haftzahl und Verteilungszahl vollständig beschrieben. Die Ergebnisse werden unmittelbar nach der Auswertung in eine Excel-Datei übertagen, dokumentiert und archiviert. Darüber hinaus kann das Prüfverfahren online über ein angeschlossenes PC-Netzwerk verfolgt werden.

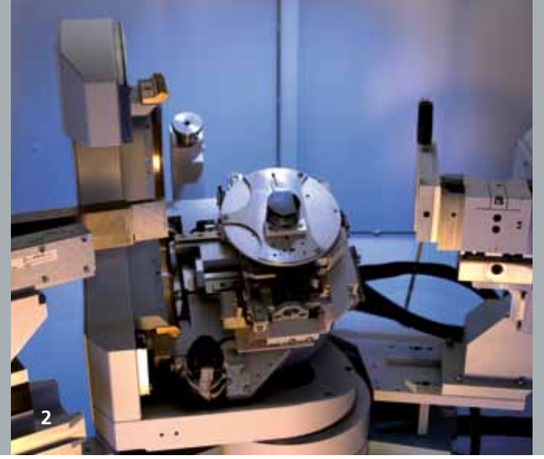
1 Gerät zur vollautomatischen Schichthaftungsprüfung.
2 Probenhalter und Auswerteeinheit des Schichthaftungsprüfgerätes.
3 Beispiel eines ausgewerteten Rockwell-Eindruckes: die Haftzahl = 39,2 entspricht der Haftklasse HF5.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Reinhold Bethke
Telefon +49 531 2155-572
reinhold.bethke@ist.fraunhofer.de

Antje Hipp
Telefon +49 531 2155-575
antje.hipp@ist.fraunhofer.de





1 *Cameca Quadrupol SIMS für Sekundärionen Massenspektroskopie.*
2 *Röntgendiffraktometer zur Kristallstrukturanalyse (XRD) und für Röntgenreflektometrie Messungen (XRR).*

PRÄZISE SCHICHTDICKENBESTIMMUNG BEI MULTILAYERN MIT SIMS UND XRR

Bei nicht-periodischen Vielschichtsystemen mit mehr als 5 Einzellagen ist die präzise Bestimmung der Einzelschichtdicken schwierig. Röntgenreflektometrie (XRR) allein versagt hier aufgrund der Komplexität der Auswertung. In Kombination mit Sekundärionen-Massenspektroskopie (SIMS) ist jedoch eine präzise Schichtdickenbestimmung von über 30 individuellen Einzellagen möglich.

Exakte Schichtdickenmessung für optische Filter

Für spektral selektive optische Filter, wie z. B. Kanten- oder Bandpass-Filter werden mit Sputter- oder Aufdampfverfahren abwechselnd niedrig und hoch brechende dünne Schichten nach vorher berechneten Designs abgeschieden (z. B. SiO_2/Nb_2O_5). Die Herausforderung: Die vorher berechneten Schichtdicken müssen exakt getroffen werden. Da *in-situ* Messungen der Schichtdicken (z. B. durch Ellipsometrie) nicht genau genug sind, ist es nötig, mit Messungen außerhalb des Beschichtungsprozesses sicherzustellen, dass die gewünschten Schichtdicken tatsächlich erreicht wurden. Für derart komplexe Messungen werden am Fraunhofer IST zwei Messverfahren kombiniert: Die Sekundärionen-Massenspektroskopie (SIMS) und die Röntgenreflektometrie (XRR). Jedes der Verfahren für sich ist nicht in der Lage, eine Lösung zu finden, da bei XRR zu viele Fitparameter auftreten und bei SIMS durch verschiedene Sputterraten der Materialien, ion mixing und Oberflächenrauheiten nicht die erforderliche Genauigkeit erreicht wird. Erst duch Kombination der beiden Verfahren können alle Parameter analysiert und sicher bestimmt werden.

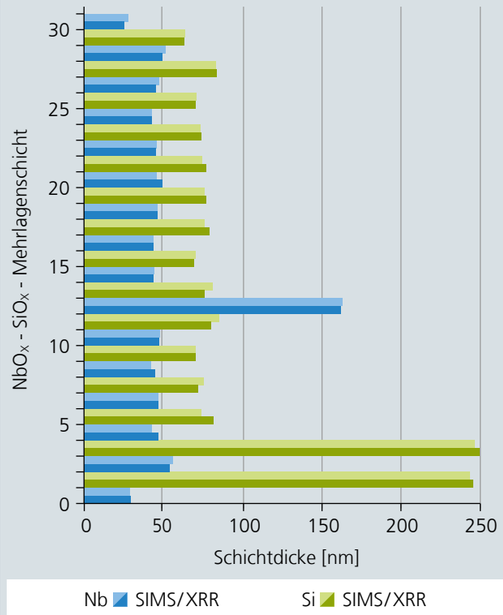
Das Messverfahren

Zunächst wird ein SIMS-Tlefenprofil erstellt. Mit Hilfe von separaten Messungen der Einzelmaterialien (SiO_2/Nb_2O_5) werden die unterschiedlichen Sputterraten der Materialien bestimmt und korrigiert. Hieraus ergibt sich eine erste Näherung für die Schichtdicken der Einzellagen. Diese Werte werden dann als Startparameter für die Simulation der XRR-Messungen verwendet, dabei wird die Dichte für alle Schichten gleichen Materials als gleich angenommen. Die Grenzflächen-Rauheiten werden frei angepasst. Durch die bereits relativ genauen Startparameter gelingt ein »Fit«, welcher verbesserte Schichtdicken für den Multilayer liefert. Mit dieser zweiten Näherung werden dann die Sputterraten der SIMS-Messung nochmals so angepasst, dass sich die kleinstmögliche Abweichung zu den XRR-Daten ergibt. Dieses abwechselnde Anfitten der XRR- und SIMS-Daten wird zwei bis drei mal wiederholt bis sich keine Änderungen mehr ergeben.

Die Ergebnisse

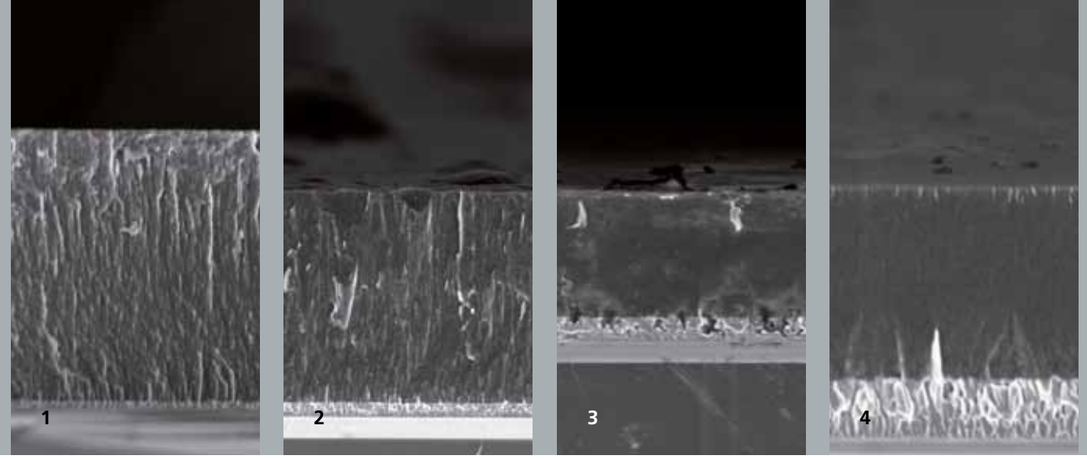
Nach einer iterativen Anpassung der Daten ergab sich eine gute Übereinstimmung von SIMS- und XRR-Schichtdicken mit einer mittleren Abweichung von nur 1,8 nm oder 3 Prozent (nebenstehende Grafik). Das XRR liefert außerdem Daten über die Dichte des SiO_2 von 2,4 g/cm³ und für Nb_2O_5 von 4,7 g/cm³. Diese relativ hohen Werte resultieren vermutlich aus dem Ionenbeschuss während des Beschichtungsprozesses. Die Grenzflächenrauhigkeit der Einzelschichten steigt von 0,7 bei der untersten bis auf 2,4 nm bei der obersten Schicht an. *Ex-situ* Ellipsometrie-Messungen zeigen eine mittlere Abweichung der Schichtdicken von 10 Prozent im Vergleich zu den kombinierten SIMS/XRR-Daten, so dass hier das Modell noch weiter optimiert werden muss. Grundsätzlich funktioniert das Kombinationsverfahren bei Mehrlagenschichten mit Einzelschichten von 2 bis einige hundert Nanometer Schichtdicke. Einzige Voraussetzung: Die Substrate müssen ultraglatt sein (Glas oder Si-Wafer). Dabei spielt es keine Rolle, ob die Schichten amorph oder kristallin, transparent oder opak sind.

Schichtdicken der Einzelschichten jeweils bestimmt mit XRR und SIMS.



KONTAKT

Dr. Kirsten Schiffmann
Telefon +49 531 2155-577
kirsten.schiffmann@ist.fraunhofer.de



MPP-ABSCHEIDUNG VON C-DLC-SCHICHTEN FÜR TRIBOLOGISCHE ANWENDUNGEN

Diamond-like Carbon (DLC)-Schichten sind sehr hart, verschleißfest und korrosionsbeständig – Mit diesen Eigenschaften eignen sie sich hervorragend für Anwendungen im Bereich Tribologie. Die Abscheidung von C-DLC mit dem Modulated Pulsed Plasma (MPP), einer Modifikation der hochionisierten, gepulsten HIPIMS-Beschichtung, ermöglicht jetzt neue Möglichkeiten der Schichtmodifizierung.

Modulated Pulsed Plasma

MPP-Prozesse stellen eine Modifikation des seit einigen Jahren intensiv untersuchten High Power Impulse Magnetron Sputterings (HIPIMS) dar. Während bei HIPIMS-Prozessen sehr kurze Pulse mit extremen Spitzenleistungen zur Plasmagenerierung genutzt werden, arbeitet das MPP-Verfahren mit Makropulsen, welche aus mehreren Pulssegmenten bestehen. Wie beim HIPIMS-Verfahren ist auch hier die Leistung im Puls deutlich höher als bei konventionellen Verfahren. Durch eine Variation der Pulsdauer bzw. der Pulspausen in den einzelnen Pulssegmenten lassen sich unterschiedlich hohe Ströme bzw. Stromdichten am Target erzeugen. Ein Makropuls besteht aus einer nieder- und einer hochionisierten Phase:

- Die niederionisierte Phase wird zum Zünden und zur Stabilisierung des Plasmas verwendet
- In der hochionisierten Phase werden verstärkt Ionen generiert

MPP – Prozessführung

Um Kohlenstoffionen im Plasma zu generieren, ist es notwendig einen hohen Spitzenstrom innerhalb des Makropulses zu erzeugen. Dieser wird durch lange Pulszeiten und sehr kurze Pulspausen im letzten Drittel des Makropulses realisiert. Messungen mittels optischer Emissionsspektroskopie zeigen Kohlenstoffionen in diesem Bereich.

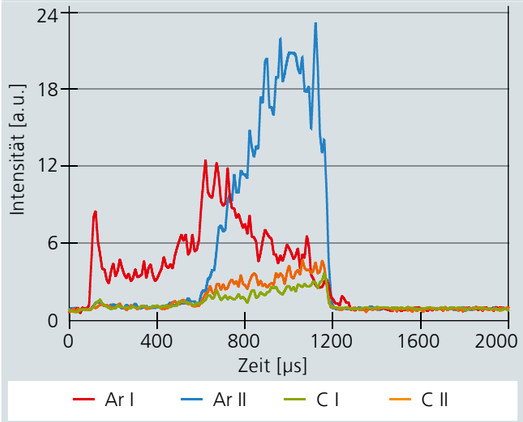
Die Vorteile

- Es ergeben sich Spitzenleistungsdichten bis 330 W/cm² und Spitzenstromdichten bis zu 0,6 A/cm²
- Zusätzlich zur MPP-Anregung am Target kann eine Bias-Spannung am Substrat angelegt werden

Reaktive MPP-Abscheidung von C-DLC-Schichten

Kohlenstoffschichten als korrosionsbeständige Hartschichten können durch Sputtern von einem Graphittarget hergestellt werden. Zur Verbesserung der Haftung werden verschiedene Metalle als Haftvermittlerschicht eingesetzt. Weitere Schichtmodifikationen sind durch Zugabe von Acetylen als Reaktivgas möglich. Darüber hinaus lassen sich in Kombination mit einer Bias-Spannung am Substrat mit der MPP-Technologie Schichthärten von über 40 GPa (Nanoindentierung) erzielen. Schichtwachstum, -aufbau und -rauheit sind durch Variation von Druck und Substratbiasspannung einstellbar. Das Besondere des MPP-Beschichtungsverfahrens: Schichten, die bei niedrigen Prozessdrücken, hohen Bias-Spannungen und einem geringen Acetylenanteil hergestellt werden, zeigen glasartige Strukturen gepaart mit höchsten Schichthärten.

Intensitätsverläufe von angeregten Teilchen in einem MPP-Plasma, aufgenommen mit einem optischen Emissionsspektrometer.

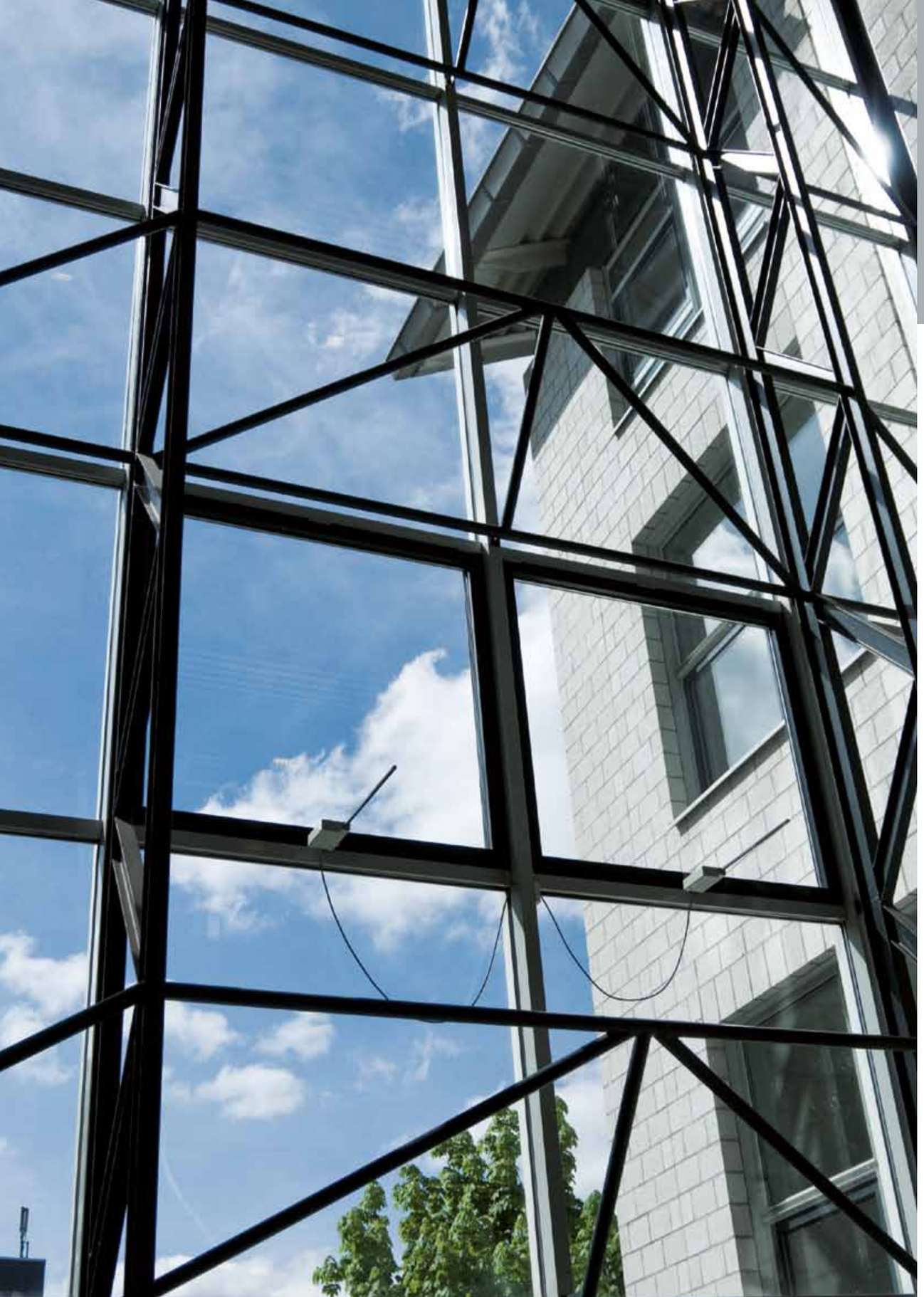


1 *Graphittarget.*
2 *Graphittarget mit Zugabe von Acetylen.*
3 *Graphittarget mit Zugabe von Acetylen und 400 V Biasspannung.*
4 *Graphittarget mit Zugabe von Acetylen, 400 V Biasspannung und niedrigem Prozessdruck.*

KONTAKT

Dr. Ralf Bandorf
Telefon +49 531 2155-602
ralf.bandorf@ist.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Holger Gerdes
Telefon +49 531 2155-576
holger.gerdes@ist.fraunhofer.de



NAMEN, DATEN, EREIGNISSE 2011

Auch im Jahr 2011 präsentierte sich das Fraunhofer IST wieder auf verschiedenen Plattformen. Hier finden Sie eine Übersicht der wichtigsten Ereignisse und Aktivitäten des Jahres 2011:

- Messen und Konferenzen
- Workshops
- 2. Internationale Konferenz zum Thema Hochleistungsimpuls-Magnetronsputtern (HIPIMS)
- Ereignisse

MESSEN UND KONFERENZEN

Hannover Messe 2011
Hannover, 4. – 8. April 2011. Das Fraunhofer IST präsentierte gemeinsam mit der Fraunhofer-Allianz Photokatalyse, dem Fraunhofer IWM und ILT auf der Hannover Messe 2011 viele Praxisbeispiele und innovative Ansätze für neueste Anwendungen der Schicht- und Oberflächentechnik. So fliegen zum Beispiel zum ersten Mal vom Fraunhofer IST metallisierte und damit leitfähige CFK-Antennen ins Weltall, Glasscheiben werden zu transparenten Displays und dünne, diamantähnliche Kohlenstoffschichten helfen Benzin sparen. Neben dem Gemeinschaftsstand in der alle zwei Jahre stattfindenden Leitmesse »Surface Technology« war das Fraunhofer IST auch auf dem Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Gesellschaft präsent. Rund um eine Kawasaki Ninja zeigten Wissenschaftler des Fraunhofer IST Anwendungsmöglichkeiten von dünnen Schichten im Automobil. Wie adaptronische und sensorische Bauteile durch den Einsatz dünner Schichten noch breiter eingesetzt werden können und kostengünstiger werden, stellte das IST auf dem Fraunhofer-Allianz Adaptronik vor.

LASER 2011
München, 23. – 26. Mai 2011. Auf der »LASER – World of Photonics« stellte das Fraunhofer IST seine Expertise im Bereich dünne optische Schichten für Anwendungen aus der Produktionstechnik, Lasertechnik, Medizintechnik, Display und Kommunikationstechnik vor. Präsentiert wurden optische Schichtsysteme für dielektrische Filter und das Monitoring Modul MOCCA⁺ zur in-situ Prozesskontrolle für optimale Beschichtungsergebnisse.

SENSOR+TEST 2011
Nürnberg, 7. – 9. Juni 2011. Auf der Messtechnik-Messe SENSOR+TEST zeigte das Fraunhofer IST im Rahmen der Fraunhofer-Allianz Adaptronik neueste Forschungsergebnisse zu piezoresistiver Dünnschichtsensorik. So können dünnste Sensorschichten auch unter extremen Bedingungen exakt und direkt am Ort des Geschehens die Temperatur oder den Druck messen, z. B. integriert in ein Kugelgewindetrieb für die Antriebstechnik.

26th EU PVSEC
Hamburg, 5. – 8. September 2011. Das Fraunhofer IST forscht an neuen dünnen Schichten und Beschichtungsprozessen für Solarzellen-Anwendungen. Um den Preis einer mikrometerdicken Dünnschicht-Solarzelle bei hoher Qualität möglichst niedrig halten zu können, hat das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST verschiedene Verfahren entwickelt, die einzelne Produktionsschritte verbessern können. Auf der begleitenden Ausstellung der 26th EU PVSEC, der European Photovoltaic Solar Energy Conference, in Hamburg stellte das Fraunhofer IST auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand diese neuen Prozesse und Verfahren vor.

8th AEPSE 2011
Dalian, China, 19. – 22. September 2011. Wissenschaftler des Fraunhofer IST haben auf der »8th Asian-European Conference on Plasma Surface Engineering AEPSE« neueste Entwicklungen und Technologien des Jahres 2011 einem internationalen Publikum vorgestellt. Prof. Dr. G. Bräuer, Institutsleiter des IST, eröffnete eine Reihe von neun Plenarvorträgen mit einem Vortrag zu Technologien, Verfahren und Anwendungsbereichen der Schicht- und Oberflächentechnik, wie z. B. der Architektur- und Automobilindustrie.

TCO Topical Conference in Korea
Incheon, Korea, 4. – 6. Oktober 2011. In Kooperation mit der Society of Vacuum Coaters SVC, USA, und dem Korean Institute of Surface Engineering KISE wurde im November 2011 das erste »International Symposium on Transparent Conductive Coatings: Display and Solar Applications« durchgeführt. Auf der 2-tägigen Veranstaltung mit ca. 70 Teilnehmern und hochkarätigen Vorträgen europäischer, amerikanischer und asiatischer Experten wurden aktuelle Forschungsarbeiten zum Thema »Transparent leitfähige Schichten – TCO« vorgestellt. Nach diesem erfolgreichen Start wird es in drei Jahren eine weitere gemeinsame Konferenz geben.

LG Paju Display Cluster in Korea
Paju, Nordkorea, 4. November 2011. Das Fraunhofer IST hat im Rahmen einer Fraunhofer-Delegation unter der Leitung von Prof. Bullinger, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, das LG Display Cluster in Paju an der Grenze zu Nordkorea besucht. Besonders beeindruckend war die Besichtigung einer vollautomatisierten Produktionsstätte zur Herstellung von TV-Displays. Im anschließenden Fraunhofer-Seminar stellten die Fraunhofer-Institute HHI, ISC, IPA, FIRST und das IST ihre Lösungen für einzelne LG Display-Forschungsfelder vor. Das IST war hier mit Wilma Dewald und Prof. (TUT) Wolfgang Diehl vertreten.

Surface Protective Coatings Symposium in Indien
Bangalore, Indien, 7. – 9. Dezember 2011. Auf Einladung von Prof. Khanna vom Indian Insitute of Technology IIT und dem Verband der Deutschen Maschinen und Anlagenbauer VDMA hat Prof. (TUT) Wolfgang Diehl, stellvertrender Institutsleiter des Fraunhofer IST, auf dem »International Symposium on Surface Protective Coating and Indo-German Conference on Surface Engineering« einen Plenarvortrag zum Thema »Functional Coatings Produced by Plasma Processes« gehalten. Im Zuge des Symposiums wurde eine konkrete Zusammenarbeit mit dem Indian Institute of Technology Indore vereinbart: Das Fraunhofer IST wird beim Aufbau und Betrieb des »Surface Engineering Centre« helfen. Ein Memorandum of Understanding wird im März 2012 unterzeichnet.

1 *Dr. Saskia Biehl, Gruppenleiterin Mikro- und Sensortechnologie, stellte auf der Hannover Messe 2011 eine Gitarre vor, in der ein Stückchen Fraunhofer IST-Technologie steckt: Integrierte Sensortechnologie übersetzt komplexe Spieltechniken einer Gitarre in digitale Steuersignale.*
2 *Ein Ausschnitt des Fraunhofer IST-Messeauftritts auf der Hannover Messe 2011.*
3 *Organisatoren und Teilnehmer der TCO Topical Conference in Korea.*

1 *Dr. Jan Gäbler. Wissenschaftler am Fraunhofer IST, moderierte das 25. Treffen des Industrie-Arbeitskreises Werkzeugbeschichtungen und Schneidstoffe in Braunschweig.*

WORKSHOPS

»Neue Werkstoffe wirtschaftlich zerspanen«
Regensburg, 6. – 7. Juni 2011. Ziel des OTTI-Fachforums war es, neue Werkstoffe für leistungs- und wettbewerbsfähige Produkte zu diskutieren. Die von Dr. Lothar Schäfer, Abteilungsleiter für Diamanttechnologie am Fraunhofer IST, geleitete Wissenschaftsplattform behandelte u. a. Strategien für die wirtschaftliche Bearbeitung von neuen Werkstoffen, wie z. B. hochfeste Stähle und Legierungen, Leichtmetalllegierungen auf der Basis von Aluminium und Magnesium, Titan- und Nickelbasislegierungen, Komposit- und Verbundwerkstoffe oder sprödharte Werkstoffe auseinander. Weitere Themen waren die Ressourceneffizienz von Werkzeugmaschinen, Hochleistungs- (HPC) und Trockenzerspanen, innovative Schneidstoffe und Werkzeugkonzepte, Werkzeugbeschichtungen und die industrielle Praxis für das Zerspanen von neuen Werkstoffen.

INS-Tagung »DLC und CVD-Diamant: Kohlenstoffschichten auf dem Weg zur nationalen und internationalen Normung«
Braunschweig, 26. Oktober 2011. Auf der »Innovationen mit Normen und Standards – INS-Tagung« ging es gezielt darum, über den Stand des industriellen Einsatzes von amorphen Kohlenstoffschichten (Diamond-like Carbon, DLC) und CVD-Diamantschichten, die weltweit in einer großen Anzahl von Varianten angeboten werden, zu informieren, die bestehenden nationalen Standards für diese Schichtklassen zu präsentieren und die weltweiten Normungsansätze und -aktivitäten aufzuzeigen. Die Fachtagung fand in den Räumen des Fraunhofer IST statt und wurde vom Deutschen Institut für Normung e.V. gemeinsam mit dem Fraunhofer IST und dem Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK organisiert.

24. und 25. Treffen des Industrie-Arbeitskreises Werkzeugbeschichtungen und Schneidstoffe
Berlin, 24. März und Braunschweig, 27. Oktober 2011. Auch in diesem Jahr traf sich der »Industriearbeitskreis Werkzeugbeschichtungen und Schneidstoffe« wieder zweimal. Bei beiden Seminaren – in den Räumen des Produktionstechnischen Zentrums Berlin und des Fraunhofer IST – präsentierten namhafte Experten aus Industrie und Forschung neueste Erkenntnisse und Entwicklungen zur Herstellung und zum Einsatz von beschichteten Zerspanungswerkzeugen und Schneidstoffen. Die Teilnehmer sahen eine interessante Auswahl von Fachvorträgen, u. a. zu den Themen Nano-Hartmetalle, nanokristalline Werkzeugbeschichtungen, Schneidkantenpräparation, CVD-TiAlN, keramische Schneidstoffe und hochwarmfeste Stahlgusswerkstoffe – Zerspanen mit Minimalmengenschmierung. In begleitenden Industrieausstellungen wurden Produkte zur Prüfung von Schichtdicke und -haftung und Verschleißfestigkeit sowie zur Digitalmikroskopie präsentiert.

2. Industrie-Workshop »Sputter-Dehnungsmessstreifen«
Braunschweig, 29. November 2011. Gesputterte Dünnschicht-Dehnungsmessstreifen (DMS) besitzen eine Vielzahl von Vorteilen gegenüber herkömmlichen Folien-DMS. Sie können z. B. mit einem sehr hohen Automatisierungsgrad und hoher Positionsgenauigkeit aufgebracht und durch ihre geringe Schichtaufbauhöhe von nur wenigen Mikrometern einfacher in vorhandene Bauteile integriert werden. Besonders interessant für eine hohe Messgenauigkeit ist jedoch die deutlich erhöhte Dehnungsempfindlichkeit spezieller piezoresistiver Schichten im Vergleich zu konventionellen Materialkombinationen. Auf dem 2. Industrieworkshop »Sputter-Dehnungsmessstreifen« wurden in Braunschweig neueste Entwicklungen und Forschungsergebnisse präsentiert und diskutiert. Den Teilnehmern aus Wirtschaft und Wissenschaft bot der Workshop darüber hinaus eine gemeinsame Gesprächs- und Netzwerkplattform.

1

2

2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON HIPIMS

Vom 28. – 29. Juni 2011 fand in Braunschweig die 2. Internationale Konferenz zum Thema Hochleistungsimpuls-Magnetronsputtern (High Power Impuls Magnetron Sputtering HIPIMS) statt. Das Expertentreffen zu Anwendungen und Forschungsfragen rund um HIPIMS-Technologien wurde in diesem Jahr zum zweiten Mal vom Kompetenznetz INPLAS e.V. in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IST und der Sheffield Hallam University organisiert.

Da dünne Schichten eine Schlüsselkomponente für viele innovative Produkte wie energieeffiziente Fenster, Flachbildschirme, Sensoren oder Hartstoffschichten im Bereich Werkzeugveredelung oder Automotive, sowie unzählige Produkte des täglichen Lebens darstellen, unterliegen die Herstellungsverfahren einer kontinuierlichen Weiterentwicklung. Eine neue Generation der Kathodenzerstäubung liefert die Pulstechnik: insbesondere Verfahren mit hochenergetischen Pulsen ermöglichen eine Abscheidung mit ionisiertem Schichtmaterial. Das Hochleistungsimpuls-Magnetronsputtern (High Power Impulse Magnetron Sputtering HIPIMS) ist durch seine Erfolge eine der Zukunftstechnologien, die seit etwa einem Jahrzehnt erforscht wird und sich aktuell den Weg in industrielle Beschichtungsprozesse bahnt.

Nach einem erfolgreichen Start der Internationalen HIPIMS-Konferenz (International Conference on Fundamentals and Applications of HIPIMS) im Juli 2010 in Sheffield, UK, fand vom 28. – 29. Juni 2011 die zweite HIPIMS-Konferenz in Braunschweig statt. In insgesamt 37 wissenschaftlichen Vorträgen und 14 Postern wurden neueste Entwicklungen diskutiert und Zukunftsideen ausgetauscht. Das wachsende Interesse an der HIPIMS-Technologie zeigte sich auch in der Teilnehmerzahl. Mit über 160 Anwesenden konnte die Zahl der Gäste um ein Drittel gesteigert werden. Die Teilnehmer kamen aus 25 Ländern mit Vertretern aus allen Kontinenten. Die begleitende Industrieausstellung nutzten 19 Unternehmen, um ihre Produkte in den Bereichen Pulsgeneratoren, Plasmadiagnostik, Sputterquellen, Targetmaterialien, HIPIMS-Prozessregelung bis hin zu HIPIMS-Beschichtungsanlagen mit entspechenden Prozessen anzubieten.

Mit über 50 Beiträgen von hoher Qualität fand das Programm beim Fachpublikum regen Zuspruch. Die Botschaft, dass die Technologie in der Produktion angekommen sei, wurde durch die erste technische Session, in der Vertreter verschiedener Unternehmen den Stand der Technik und erste HIPIMS-Serienprozesse vorstellten, unterstrichen. So kann mit HIPIMS unter anderem die Standzeit von Fräsern um mehr als 50 Prozent erhöht werden. Wendeschneidplatten können gleichförmig beschichtet oder Spannungen in Schichten exakt eingestellt werden – mit dem Effekt, dass sich die Lebensdauer der beschichteten Bauteile deutlich verlängert. Auch werden Anwendungen, wie eine eisfreie Autoscheibe, die Eiskratzen im Winter überflüssig macht, erstmals für eine Produktion im industriellen Maßstab möglich. Von den physikalischen Grundlagen über experimentelle Untersuchungen, theoretische Modellierung und Simulation bis zur Anwendung erstreckten sich die Beiträge weltweit anerkannter Experten.

Im Vorfeld bot die Society of Vacuum Coaters SVC verschiedene Short Courses zum Thema der Konferenz an. Gemeinsam mit hochkarätigen, internationalen Experten konnten die Kursteilnehmer in den Räumen des Fraunhofer IST verschiedene Apekte der Methodik erörtern.

1 *Die Konferenzteilnehmer vor der Stadthalle in Braunschweig.*
2 *Die einzelnen Sessions der HIPMS-Konferenz 2011 waren durchgehend gut besucht.*

1

2

3

EREIGNISSE

Professur in Südafrika
Die Tshwane University of Technology TUT in Pretoria, Südafrika hat Wolfgang Diehl, stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik IST, zum außerordentlichen Professor der Fakultät für Ingenieurwesen und Raumplanung berufen. Gewürdigt wird mit dieser Ernennung die jahrelange gute wissenschaftliche Zusammenarbeit sowie sein Einsatz und Engagement beim Aufbau des RETECZA-Programms. Die TUT ernennt außerordentliche Professoren in Anerkennung erwiesener Fachkompetenz sowie für Spitzenleistungen in Forschung und Lehre. Professor Wolfgang Diehl ist durch Gastvorlesungen und wissenschaftlichen Austausch sowie außergewöhnlichen Einsatz beim Aufbau des RETECZA-Programms aktiv in das akademische Programm eingebunden. Die Berufungsurkunde wurde am 9. Mai 2011 von Prof. Laurens van Staden, Vizekanzler der TUT, zum Auftakt der internationalen Konferenz »Wind Power Africa 2011« im Beisein des deutschen Generalkonsuls Hans-Werner Bussmann feierlich überreicht. Die Tshwane University of Technology TUT wurde 2004 gegründet und ist mit etwa 60.000 Studenten die mit Abstand größte höhere Bildungseinrichtung im südlichen Afrika.

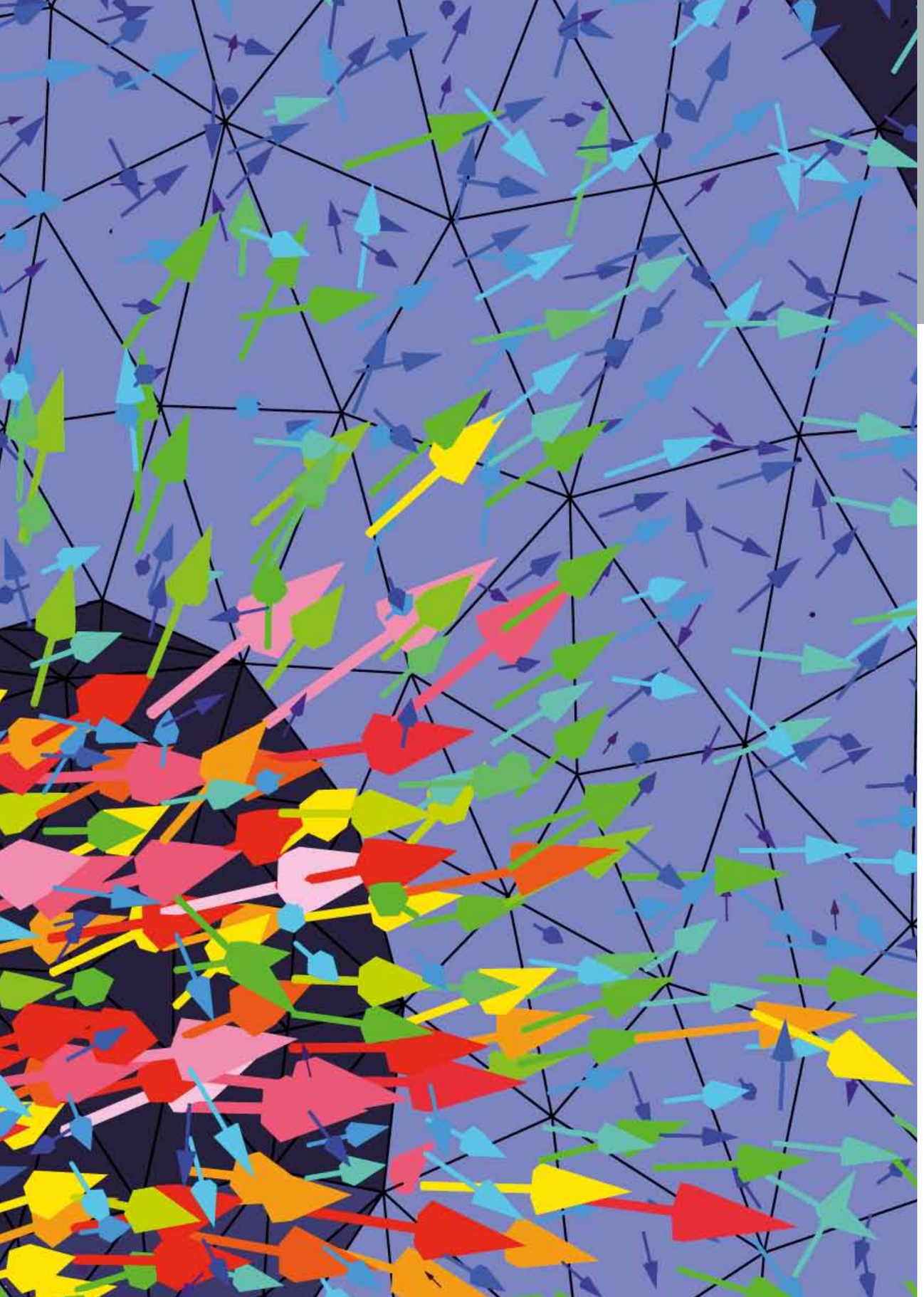
Auf den Spuren dünner Schichten: Die KIWIs kommen!
Am 24. Oktober 2011 begrüßte das Fraunhofer IST 17 Schüler der 5. – 10. Klasse zur Stippvisite. Unter dem Motto »Plasma leuchtet ein – Auf den Spuren dünner Schichten« wurden die Jugendlichen im Rahmen der Ferienbetreuung »KIWI – Forschertage für Neugierige« des Braunschweiger Hauses der Wissenschaft durch das Institut geführt. Dabei lernten sie mehr über dünne Schichten, ihre Beschichtungsmöglichkeiten und ihre molekulare Beschaffenheit.

Fraunhofer IST-Mitarbeiter spendet Leben
Sebastian Jung, Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST, hat einem Leukämiepatienten durch eine periphere Stammzellenentnahme ein neues Leben ermöglicht. Das Fraunhofer IST stand Sebastian Jung unterstützend zur Seite. Institutsleiter Prof. Dr. Günter Bräuer stellte ihn für die Zeit des Eingriffs von der Arbeit frei und ermöglichte damit die Spende. »Wir begrüßen das soziale Engagement unserer Mitarbeiter«, so Prof. Dr. Günter Bräuer. »Durch seinen Einsatz und seine Hilfsbereitschaft ist Sebastian Jung uns allen ein Vorbild.« Sebastian Jung ist am Fraunhofer IST als Physiklaborant in der Großflächenbeschichtung tätig.

Tag der Ausbildung
Im Rahmen des von der Bundesagentur für Arbeit organisierten »JobCompass light« stellte das Fraunhofer IST am 29. September 2011 die Ausbildungen zum Physiklaboranten und zum Oberflächenbeschichter vor. Beide Berufe können seit vielen Jahren am Institut erlernt werden. Sie bieten Jugendlichen einen Einstieg in die Fraunhofer-Welt mit Technik auf höchstem Niveau. Die Veranstaltung fand in der alten Rotationshalle des Braunschweiger Zeitungsverlags statt.

Der Kindergarten »Arpker Waldzwerge« gewinnt Fraunhofer-Wettbewerb »Kids kreativ!«
Mit der »Waldkindergarten-Hilfsmaschine«, kurz WAKI-Hilfsmaschine, konnte der Lehrter Waldkindergarten »Arpker Waldzwerge«, den unter anderem Nils Thomas (6 Jahre), Sohn von Fraunhofer IST-Mitarbeiter Dr. Michael Thomas besucht, einen der beiden ersten Plätze des Fraunhofer-Kindergartenwettbewerbs »Kids kreativ!« gewinnen. Für die WAKI-Hilfsmaschine wurden nur Materialien aus der Natur verwendet. Angetrieben durch Windkraft gießt sie nicht nur Blumen und putzt Fenster, sondern unterhält auch Kinder und entlastet so Erzieher. Nils' Vater initiierte und begleitete das Projekt im Kindergarten. Der Fraunhofer-Wettbewerb »Kids kreativ!« lädt junge Forscher im Alter von drei bis sechs Jahren aus Fraunhofer-nahen Kitas ein, Ideen rund um Zukunftsthemen zu entwickeln.

1 *Bob Bond, Institut für Advanced Tooling an der Tshwane University of Technology, Südafrika, und Prof. (TUT) Wolfgang Diehl, Fraunhofer IST.*
2 *Hochkonzentiert: Jungen und Mädchen auf den Spuren dünner Schichten beim KIWI-Tag am Fraunhofer IST.*
3 *Die Arpker Waldzwerge mit ihrer »Waldkindergarten-Hilfsmaschine«.*



DAS FRAUNHOFER IST IN NETZWERKEN

Das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST ist mit seiner Forschungs- und Entwicklungstätigkeit Teil verschiedener interner und externer Netzwerke, die mit unterschiedlichen Schwerpunkten im Spannungsfeld zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Politik agieren. Innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft bündelt das Institut seine Kompetenzen mit denen anderer Fraunhofer-Institute unter anderem im Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces und in verschiedenen Fraunhofer-Allianzen, um Kunden und Partnern auch technologieübergreifend optimale Lösungen für deren Aufgabenstellungen anbieten zu können.

Darüber hinaus hat das Fraunhofer IST auch die zukünftigen Wissenschaftler und Forscher im Blick. Deshalb vernetzt sich das Institut intensiv mit Ausbildern, Schulen und Schülern, um Jugendliche früh für naturwissenschaftliche und technische Inhalte zu begeistern und den wissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern.

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT AUF EINEN BLICK

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 mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 60 Institute. Mehr als 20 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,8 Milliarden Euro. Davon fallen 1,5 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 erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Niederlassungen sorgen für Kontakt 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 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 an Fraunhofer-Instituten wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung 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.

FRAUNHOFER-VERBUND 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

- Schicht- und Oberflächentechnologie
- Strahlquellen
- Mikro- und Nanotechnologie
- Materialbearbeitung
- Opto-mechanische Präzisionssysteme
- Optische Messsysteme

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jena
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.

Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP, Dresden
Die Kernkompetenzen des Fraunhofer FEP sind Elektronenstrahltechnologie, Puls-Magnetron-Sputtern und Plasmaaktivierte Hochratebedampfung. Unsere 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. Unsere Technologien und Prozesse finden Anwendung im Maschinenbau, in der Solarenergie, der Biomedizintechnik, der Architektur und für den Kulturguterhalt, in der Verpackungsindustrie, im Bereich Umwelt und Energie, der Optik, Sensorik und Elektronik sowie in der Landwirtschaft.

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen
Im Bereich Laserentwicklung und -anwendung zählt das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten. 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 das Rapid Manufacturing. Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Prozessüberwachung und -regelung, Modellierung sowie der gesamten Systemtechnik.

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST, Braunschweig
Das Fraunhofer IST bündelt als industrienahes FuE-Dienstleistungszentrum Kompetenzen auf den Gebieten Schichtherstellung, Schichtanwendung, 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: Maschinenbau und Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt, Werkzeuge, Energie, Glas und Fassade, Optik, Information und Kommunikation, Mensch und Umwelt.

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Freiburg
Das Fraunhofer IPM entwickelt und realisiert optische Sensor- und Belichtungssysteme. Bei den vorwiegend Laser-basierten 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. Auf dem Gebiet der Thermoelektrik verfügt das Institut über Know-how in Materialforschung, Simulation und Systemen. In der Dünnschichttechnik arbeitet das Fraunhofer IPM an Materialien, Herstellungsprozessen und Systemen.

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Dresden
Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS ist in den Geschäftsfeldern Fügen, Trennen und Oberflächentechnik tätig. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten basieren auf einem ausgeprägten werkstoff- und nanotechnischen Know-how und umfassenden Möglichkeiten der Werkstoffcharakterisierung. Die Besonderheit des Fraunhofer IWS liegt in der Kombination dieses Know-hows mit weitreichenden Erfahrungen in der Entwicklung von Technologien und Systemtechnik im Bereich der Schicht- und Lasertechnik.

KONTAKT

VERBUNDVORSITZENDER
Prof. Dr. Andreas Tünnermann
Albert-Einstein-Straße 7
07745 Jena
Telefon +49 3641 807-201

VERBUNDASSISTENTIN
Susan Oxfart
Telefon +49 3641 807-207
www.light-and-surfaces.fraunhofer.de

1

2

FRAUNHOFER MACHT SCHULE – NACHWUCHSFÖRDERUNG AM IST

Nachwuchsförderung – für das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST bedeutet das, Jugendliche für naturwissenschaftliche Themen zu begeistern, ihnen Berührungsängste zu nehmen und junge Menschen für industrienahe Forschung zu begeistern. Die Förderung und Betreuung von Schülern, die Interesse an den Forschungsbereichen des Fraunhofer IST haben, ist ein wichtiger Bestandteil der Arbeit am Institut.

Wie ein roter Faden zog sich das Thema Nachwuchsförderung durch das Jahr 2011 und manifestierte sich in vielen verschiedenen Schülerveranstaltungen, -führungen und -praktika. Ein Rückblick:

Pinut – Praktika in Naturwissenschaft und Technik für Schülerinnen

Mit dem Ziel, insbesondere Schülerinnen für ein naturwissenschaftliches Studium zu begeistern, hat das Fraunhofer IST 2011 im Rahmen des vom Braunschweigischen Hochschulbund geförderten Programms Pinut insgesamt vier Gymnasiastinnen innerhalb eines mehrstufigen Praktikums betreut. »Am Besten hat mir gefallen, dass wir viel praktisch erleben durften. Wir wurden vom ersten Tag an ins Institutsleben einbezogen und konnten beispielweise helfen, eine Anlage zu reparieren. Am Ende funktionierte sie wieder und wir waren mehr als ein kleines bisschen stolz auf uns«, berichtet Pinut-Praktikantin Madita Giesecke begeistert.

Zukunftstag für Mädchen und Jungen am Fraunhofer IST

Alle Jahre wieder öffnet das Fraunhofer IST zusammen mit dem Fraunhofer WKI seine Türen, um im Rahmen des »Zukunftstages für Mädchen und Jungen« Schülerinnen und Schüler für Wissenschaft zu begeistern. Mit Laborkittel und Schutzbrille schnupperten insgesamt zwanzig wissbegierige Schüler –14 Mädchen und 6 Jungen – einen Tag lang in den faszinierenden Forschungsalltag der Fraunhofer-Institute hinein. Am Fraunhofer IST durften sie Kunststofffolien mittels Atmosphärendruck-Plasmaverfahren metallisieren. Üblicherweise werden solche Folien in der Technik als flexible Leiterbahnen verwendet. Am Ende des Tages konnten die Mädchen und Jungen die selbst beschichteten Folien mit nach Hause nehmen und vielleicht ist auch der ein oder andere naturwissenschaftliche Funke übergesprungen.

Physiklaboranten.de

Im Herbst 2011 ging die gemeinsame Ausbildungsplattform www.physiklaboranten.de von der Fraunhofer-Gesellschaft, der PTB und TU Braunschweig online. Der Startschuss für das Ausbildungsportal fiel auf einer großen Veranstaltung Ende September mit rund 80 interessierten Schülern aus drei Jahrgängen des Braunschweiger Gymnasiums Kleine Burg, kombiniert mit einigen Vorträgen der Fraunhofer IST-Institutsleitung und einer Führung durch die Maschinenräume und Labore. Das Besondere der Website: Auszubildende und Ausbilder berichten hier ganz persönlich von ihrem Traumberuf. Lesen Sie dazu mehr auf Seite 106.

KIWI-Ferienbetreuung

Zum ersten Mal hat das Fraunhofer IST an der vom Braunschweiger Haus der Wissenschaft organisierten Kinder-Ferienbetreuung »KIWI-Forschertage für Neugierige« teilgenommen. Unter dem Motto »Plasma leuchtet ein – Auf den Spuren dünner Schichten« begleiteten uns rund zwanzig Kinder im Alter von 10 bis 14 Jahren auf eine spannende Reise in die Welt der Schicht- und Oberflächentechnik: Dabei ging es durch die Labore des Fraunhofer IST, vorbei an großen Beschichtungsanlagen, gelben Räumen und zündenden Plasmen. In vielen Versuchen, Vorführungen und Mit-Mach-Aktionen erfuhren die Mädchen und Jungen, wo dünne Schichten überall benötigt werden, warum sie so oft so dünn sein müssen und wie sie hergestellt werden können.

Ein »ausgewählter Ort« auch für Schüler

2011 wurde das Fraunhofer IST als »ausgewählter Ort« im Land der Ideen ausgezeichnet. Mit dem Ziel, interessierte Schülerinnen und Schüler stärker in die Forschungsarbeit des Instituts zu integrieren, richtete sich die Veranstaltung rund um die Preisverleihung auch an 25 Schülerinnen und Schüler der Integrierten Gesamtschule (IGS) Peine. Sie hatten die Möglichkeit, das Institut in einer Schülerführung kennenzulernen.

1 *Eine Gemeinschaftsleistung: www.physiklaboranten.de geht auf Knopfdruck online.*
2 *Die KIWIs machen sich ein Bild von der Analytik am Fraunhofer IST.*

KONTAKT

Dr. Simone Kondruweit
Telefon +49 531 2155-535
simone.kondruweit@ist.fraunhofer.de

1 *Das Ausbildungsportal www.physiklaboranten.de.*

NEUES AUSBILDUNGSPORTAL – WWW.PHYSIKLABORANTEN.DE

Unter den über 300 anerkannten Ausbildungsberufen in Deutschland den Richtigen zu finden, ist nicht leicht – auf www.physiklaboranten.de informieren Ausbilder und Auszubildende des Fraunhofer IST, der PTB und der TU Braunschweig gemeinsam und sehr persönlich über ihren Traumberuf.

Sie führen Versuchsreihen und physikalische Messungen durch, dokumentieren die gewonnenen Ergebnisse, werten sie aus und arbeiten dabei eng mit Physikern oder Ingenieuren zusammen. Physiklaborantinnen und Physiklaboranten sind aus Wissenschaft, Forschung und Industrie nicht wegzudenken. Insbesondere am Forschungsstandort Braunschweig spielt der Ausbildungsberuf eine sehr wichtige Rolle. Leider wird es immer schwieriger, Jugendliche für den Beruf zu begeistern – obwohl er auch ausgezeichnete Voraussetzungen für ein späteres Studium bietet.

Mit der neuen gemeinsamen Internetplattform rund um den Ausbildungsberuf des Physiklaboranten werben das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST, die Physikalisch Technische Bundesanstalt und die Technische Universität Braunschweig für diese Ausbildung. »Physiklaborant ist ein sehr anspruchsvoller technischer Beruf, indem man hautnah an der Forschung und Entwicklung von Zukunftstechnologien arbeitet«, so Sven Pleger, Ausbilder am Fraunhofer IST. »Mit dem Portal wollen wir den Beruf wieder in den Fokus rücken und Schüler ganz gezielt beraten und informieren.«

Unter www.physiklaboranten.de können sich interessierte Schüler, Lehrer und Unternehmen ein Bild vom Arbeitsalltag der Physiklaborantinnen und Physiklaboranten machen, Anforderungen der Ausbildung kennenlernen oder Tipps für die richtige Bewerbung nachlesen. In der Website-Rubrik »Laborgeschichten« erzählen die Auszubildenden darüber hinaus Anekdoten aus ihrem Alltag, plaudern dabei aus dem Nähkästchen und lassen sehr ehrliche Einblicke zu.

Auf Knopfdruck online: Die Kick-off-Veranstaltung
Vor über 80 Schülern des Braunschweiger Gymnasiums Kleine Burg ging die Ausbildungsplattform dann im Herbst 2011 online. In verschiedenen Vorträgen stellten Prof. Dr. Bräuer, Institutsleiter des Fraunhofer IST und Prof. (TUT) Diehl, stellvertretender Institutsleiter, sowie Ausbilder und Auszubildende den Beruf des Physiklaboranten, seine Relevanz für die Schicht- und Oberflächentechnik und ihre ganz persönlichen Erfahrungen mit dieser anspruchsvollen Ausbildung vor.

www.physiklaboranten.de richtet sich an alle Interessierten auch über die Region Braunschweig hinaus.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Sven Pleger
Telefon +49 531 2155-624
sven.pleger@ist.fraunhofer.de

1

2

3

DAS KOMPETENZNETZ INDUSTRIELLE PLASMA-OBERFLÄCHENTECHNIK E.V. – INPLAS

Das Kompetenznetz INPLAS e.V. hat seine Geschäftsstelle am Fraunhofer IST. Als Kompetenznetz ist INPLAS beim Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) akkreditiert und gehört zu den hundert besten Netzwerken Deutschlands. Das Netzwerk hat 39 Mitglieder mit ca. 200 aktiven Personen, davon stammen 70 Prozent aus der Industrie. 2011 erhielt INPLAS das Bronze Label of Cluster Management Excellence in der European Cluster Excellence Initiative.

Auch im Jahr 2011 hat INPLAS wieder mit zahlreichen erfolgreichen Aktivitäten zur Stärkung und Bekanntheit der Plasmatechnik beigetragen.

Entwicklung und Konzeption neuer Forschungsthemen
Im Strategieprozess »Photonik 2020« konnte INPLAS das Thema Plasmatechnik wieder erfolgreich platzieren und sich gemeinsam mit den Trägergesellschaften von Plasma Germany für die Lehre und Forschung im Bereich Plasmatechnik einsetzen.

INPLAS)))Talks
Im Februar 2011 fand der Auftakt zur neuen Vortrags- und Gesprächsreihe INPLAS)))Talks unter dem Titel »How to increase the efficiency of sputtering« statt. Vor etwa 80 Teilnehmern stellten hochkarätige internationale Experten ihre Entwicklungsergebnisse und Erfahrungen zum Thema Sputterausbeute vor.

Aktive Arbeit der Arbeitsgruppen
Den Gemeinschaftsausschuss »Kombinierte Oberflächentechnik« bilden DFO, DGO, EFDS und INPLAS. Die fachliche Leitung liegt bei Dr. Petra Uhlmann (DFO), INPLAS übernimmt die Organisation. Die Gruppe traf sich zu den Themen Verfahrenskombinationen der Plasma-, Lackier- und Galvanotechnik sowie Oberflächenbeschichtungen im Bereich Energiegewinnung und -erzeugung. Die Arbeitsgruppe »Neuartige Plasmaquellen und -prozesse« unter der Leitung von Dr. Bernhard Cord, Singulus Technologies AG, sowie die AG »Werkzeuge« geleitet von Dr. Jan Gäbler, Fraunhofer IST, trafen sich 2011 jeweils zweimal mit folgenden aktuellen Themen:

- AG »Neuartige Plasmaquellen und -prozesse«: Prozessmonitoring, Arc-Management, PECVD-Prozesse
- AG »Werkzeuge«: Mess- und Prüfverfahren, Umfrage zu einem Berufsbild im Bereich Plasmatechnik

Öffentlichkeitsarbeit
Ein Highlight der INPLAS Netzwerkarbeit war die Organisation der 2. International Conference zum Thema Hochleistungsimpuls-Magnetronsputtern (High Power Impuls Magnetron Sputtering HIPIMS). Mehr dazu auf Seite 94–95. Darüber hinaus war INPLAS 2011 auch auf weiteren Veranstaltungen und Konferenzen organisatorisch aktiv, u. a:

- Measurement Valley-Workshop »Funktionalisierung von Oberflächen« in Göttingen
- Hannover Messe 2011
- Fachtagungen, wie die V2011 in Dresden und TCO-Fachtagung in Neu-Ulm
- NMN-Symposium in Salzgitter

Im neuen Imagefilm der Stadt Braunschweig sowie im Kurzfilm »Wirtschaft und Wissenschaft« der Stadt Braunschweig konnte INPLAS den Beitrag zur Veranstaltungsstadt mit der HIPIMS-Konferenz bereichern.

38 INPLAS-Mitglieder (Stand: Dezember 2011)

1 *Abendveranstaltung der HIPIMS-Konferenz in Braunschweig.*
2 *Teilnehmer des Gemeinschaftsausschusses »Kombinierte Oberflächentechnik«.*
3 *INPLAS erhält das Bronze Label of Cluster Management Excellence in der European Cluster Excellence Initiative.*

KONTAKT

Dipl.-Ing. Carola Brand
Telefon +49 531 2155-574
carola.brand@inplas.de

Dr.-Ing. Gerrit von Borries
Telefon +49 531 2155-662
gerrit.von.borries@inplas.de

www.inplas.de

MITGLIEDSCHAFTEN

Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e. V.
www.dgm.de

Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e.V.
www.dfo-online.de

Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e. V.
www.dgo-online.de

Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS)
www.efds.org

European Society for Precision Engineering and Nanotechnology (euspen)
www.euspen.eu

European Technology Platform for Micro- and NanoManufacturing (MINAM)
www.minamwebportal.eu

ForschungRegion Braunschweig e. V.
www.forschungregion-braunschweig.de

Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e. V.
www.faps.uni-erlangen.de/mid

Fraunhofer-Allianz Adaptronik
www.adaptronik.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion
www.automobil.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Numerische Simulation von Produkten, Prozessen
www.nusim.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Photokatalyse
www.photokatalyse.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Proteinchips
www.proteinchips.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik
www.allianz-reinigungstechnik.de

Fraunhofer-Allianz SysWasser
www.syswasser.de

Fraunhofer-Netzwerk Elektrochemie
www.elektrochemie.fraunhofer.de

Fraunhofer-Netzwerk Nachhaltigkeit
www.fraunhofer.nachhaltigkeit.de

Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces
www.light-and-surfaces.fraunhofer.de

German Flatpanel Display Forum DFF
www.displayforum.de

International Council for Coatings on Glass e. V.
www.iccg.eu

Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik e. V. (INPLAS)
www.inplas.de

Materials Valley e. V.
www.materials-valley-rheinmain.de

Nano- und Materialinnovation Niedersachsen e. V. (NMN)
www.nmn-ev.de

Nanotechnologie Kompetenzzentrum Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung CC UPOB e. V.
www.upob.de

NANOfutures European Technology Integration and Innovation Platform (ETIP) in Nanotechnology
www.nanofutures2010.eu

PhotonicNet GmbH – Kompetenznetz Optische Technologien
www.photonicnet.de

Plasma Germany
www.plasmagermany.org

Zentrum für Mikroproduktion e. V. (ZeMPro)
www.microcompany.de

MITARBEIT IN GREMIEN

Bandorf, R.: COST Action MP0804, Action Chairman.

Bandorf, R.: Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e. V., Mitglied.

Bandorf, R.: Humboldt Stiftung, Gutachter.

Bandorf, R.: International Conference on HIPIMS, Conference Chairman.

Bandorf, R.: International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, Session Chairman.

Bandorf, R.: Society of Vacuum Coaters, Session Chairman, Volunteer Mentor.

Bandorf, R.: Zentrum für Mikroproduktionstechnik e. V., Mitglied.

Bewilogua, K.: DGM-Arbeitskreis »Materialkundliche Aspekte der Tribologie und der Zerspanung«, Mitglied.

Bewilogua, K.: Programm-Komitee EFDS-Workshop Amorphe Kohlenstoffschichten – tribologische Anwendungen und industrielle Herstellungsverfahren.

Bewilogua, K.: OTTI-Fachforum PVD- und CVD-Beschichtungsverfahren für tribologische Systeme, Fachliche Leitung.

Borries, von, G.: Kompetenzzentrum »Ultradünne funktionale Schichten«, Mitglied.

Brand, C.: Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS), Mitglied.

Brand, C.: Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik INPLAS e. V., Geschäftsführerin.

Brand, C.: Plasma Germany, Mitglied des Koordinierungsausschusses.

Brand, J.: Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. (EFDS), Leitung des Fachausschusses »Tribologische Schichten«.

Brand, J.: Gesellschaft für Tribologie (GfT), Mitglied.

Brand, J.: International Colloquium Tribology, Tribology and Lubrication Engineering, Mitglied im Programme Planning Committee.

Bräuer, G.: AMG Coating Technologies, Mitglied des Beitrats

Bräuer, G.: Aufsichtsrat der PVA TePla AG, Mitglied.

Bräuer, G.: European Joint Committee on Plasma and Ion Surface Engineering (EJC / PISE), Chairman.

Bräuer, G.: International Conference on Coatings on Glass and Plastics (ICCG), Mitglied des Organisationskomitees.

Bräuer, G.: International Council for Coatings on Glass (ICCG) e. V., Mitglied des Vorstands.

Bräuer, G.: Institut für Solarenergieforschung, Mitglied des Beirats.

Bräuer, G.: Kompetenznetz Industrielle Plasmaoberflächentechnik (INPLAS) , Vorstandsvorsitzender.

Bräuer, G.: Nano- und Materialinnovationen Niedersachsen e. V. (NMN), Mitglied des Vorstands.

Bräuer, G.: Zeitschrift »Vakuum in Forschung und Praxis«, Mitglied des Kuratoriums.

Bräuer, G.: Zentrum für Mikroproduktionstechnik e. V., Mitglied des Vorstands.

Diehl, W.: Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung DFO, stellvertretender Präsident.

Diehl, W.: Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS), Mitglied des Vorstands.

Diehl, W.: ForschungRegion Braunschweig, Mitglied des Lenkungskreises.

Diehl, W.: Glass Performance Days (GDP), Mitglied des Advisory Boards.

Diehl, W.: Plasma Germany, Mitglied des Koordinierungsausschusses.

Diehl, W.: RETECZA NPO, Pretoria SA, Vorsitzender des Boards.

Diehl, W.: Society of Vacuum Coaters (SVC), Director, Mitglied des Executive Board.

Diehl, W.: Society of Vacuum Coaters (SVC), Mitglied des »International Relations Committee«.

Diehl, W.: Technologietransferkreis ForschungRegion Braunschweig, Mitglied.

Dietz, A.: Arbeitsgemeinschaft Elektrochemischer Forschung (AGEF), Mitglied.

Dietz, A.: Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e. V. (DGO), Mitglied des Vorstands.

Dietz, A.: Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e. V. (DGO), stellvertretender Vorsitzender Ortsgruppe Niedersachsen.

Dietz, A.: Fachausschuss »Forschung« der DGO, Mitglied.

Dietz, A.: Fachausschuss »Kombinationsschichten« der DGO, Mitglied.

Dietz, A.: Gesellschaft für Korrosionsschutz (GfKorr), Mitglied.

Gäbler, J.: DIN Normenausschuss 062 Materialprüfung, Arbeitsausschuss 01-72 »Chemische und elektrochemische Überzüge«, Mitglied.

Gäbler, J.: European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, Mitglied.

Gäbler, J.: European Technology Platform for Advanced Materials and Technologies EuMaT, Mitglied.

Gäbler, J.: Industrie-Arbeitskreis »Werkzeugbeschichtungen und Schneidstoffe«, Leitung.

Gäbler, J.: Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik INPLAS e. V., Arbeitsgruppenleiter Werkzeuge.

Gäbler, J.: VDI-Richtlinien-Fachausschuss »CVD-Diamant-Werkzeuge«, Mitglied.

Keunecke, M.: European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, Mitglied.

Keunecke, M.: International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films (ICMCTF), Session Chairman.

Klages, C.-P.: Nano- und Materialinnovationen Niedersachsen e.V. (NMN), Fachbeirat Oberflächen.

Klages, C.-P.: Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. (EFDS), Mitglied des wissenschaftlichen Beirats.

Lachmann, K.: COST Action MP1101 »Biomedical Applications of Atmospheric Pressure Plasma Technology«, Management Committee, Substitute.

Neumann, F.: CEN / TC386 »Photocatalysis«, WG2 »Air Purification«, WG4 »Selfcleaning«, WG6 »Light Sources«, Mitglied, Europäisches Komitee für Normung.

Neumann, F.: DIN Normenausschuss 062 Materialprüfung, Arbeitsausschuss NA 062-02-93 AA »Photokatalyse«, Mitglied; Leitung des Arbeitskreises »Photokatalytische Selbstreinigung«, DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Schäfer, L.: Beirat der Condias GmbH, Mitglied.

Schäfer, L.: Industriearbeitskreis »Werkzeugbeschichtungen und Schneidstoffe«, Mitglied.

Schäfer, L.: Nano- und Materialinnovationen Niedersachsen e. V. (NMN), Mitglied.

Schäfer, L.: Nanotechnologie-Kompetenzzentrum Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung CC UPOB e. V., Mitglied.

Sittinger, V.: Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS), Workshop »Beschichtungen für Solar- und lichttechnische Anwendungen – Anwendungen in Photovoltaik und Solarthermie V2011«, Chairman.

Sittinger, V.: Society of Vacuum Coaters, Session Chairman, Volunteer Mentor.

Thomas, M.: Arbeitskreis Atmosphärendruckplasmaverfahren (AK-ADP), Mitglied.

Thomas, M.: EFDS-Fachausschuss »Atmosphärendruck Plasmatechnologien«, Mitglied.

INTERNATIONALE GÄSTE

Herr Prof. Dr. Xiang Yu, University of Geosciences, Peking, Volksrepublik China, 23.6.2011 – 20.12.2011.

PUBLIKATIONEN

Antsupov, G.; Gäbler, J.: Abscheidegeschwindigkeit messbar und Diamantschichten reproduzierbar machen. In: ZVO report, 2011, 4, S. 36–37.

Austgen, M.; Koehl, D.; Zalden, P.; Pflug, A.; Siemers, M.; Berg, S.; Wuttig, M.: Sputter yield amplification by tungsten doping of Al_2O_3 employing reactive serial co-sputtering: process characteristics and resulting film properties. In: Journal of physics D: applied physics 44, 2011, 345501.

Bandorf, R.; Gerdes, H.: Beschichtungstechnologien. In: Globisch, S. (Hrsg.): Lehrbuch Mikrotechnologie für Ausbildung, Studium und Weiterbildung: mit 106 Tabellen, 292 Aufgaben und einem umfangreichen Internetangebot. Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig im Carl-Hanser-Verlag, 2011, S. 256–278.

Bandorf, R.; Loch, D.; Bräuer, G.: Highly ionised gas-flow sputtering. In: Society of Vacuum Coaters: Society of Vacuum Coaters: Technical Conference Proceedings: 1991–2011. Albuquerque, SVC, 2011, pp. 155–159.

Bandorf, R.; Pape, F.; Gatzen, H. H.; Bräuer, G.: Wear behavior in microactuator interfaces. In: Büttgenbach, Stephanus (Ed.) et al.: Design and manufacturing of active microsystems. Berlin [u.a.]: Springer, 2011, pp. 69–88 (Microtechnology and MEMS).

Behrens, B.-A.; Bräuer, G.; Paschke, H.; Bistron, M.: Reduction of wear at hot forging dies by using coating systems containing boron. In: Production engineering 5, 2011, 5, pp. 497–506.

Behrens, B.-A.; Bistron, M.; Paschke, H.: Standmengenerhöhung in der Warmmassivumformung durch borhaltige Mehrlagenbeschichtungen. In: Schmiede-Journal, 2011, September, S. 32–35.

Bewilogua, K.; Bialuch, I.; Ruske, H.; Weigel, K.: Preparation of a-C:H/a-C:H:Si:O and a-C:H/a-C:H:Si multilayer coatings by PACVD. In: Surface and coatings technology 206, 2011, 4, pp. 623–629.

Bialuch, I.; Bewilogua, K.; Augustin, W.; Scholl, S.: Easy-clean surfaces built to order: plasma deposition creates a range of very hard hydrophobic coatings. In: European coatings journal, 2011, 5, pp. 24–29.

Bialuch, I.; Bewilogua, K.; Günther, M.; Peter, S.; Richter, F.: High rate deposition of hard a-C:H coatings using microwave enhanced plasma CVD. In: Society of Vacuum Coaters: Society of Vacuum Coaters: Technical Conference Proceedings: 1991–2011. Albuquerque: SVC, 2011, pp. 537–540.

Biehl, S.; Staufenbiel, S.; Hauschild, F.; Kräusel, V.; Mintenbeck, D.: Dünnschichtsensorik zur Online-Überwachung von Scherschneidprozessen. In: Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) u.a.: MikroSystemTechnik Kongress 2011: Proceedings: 10.–12. Oktober 2011, Darmstadt. Berlin [u.a.]: VDE-Verl., 2011, S. 787–790.

Biehl, S.; Staufenbiel, S.; Hauschild, F.; Wolf, L.; Wagner, H.: Piezoresistive Dünnschichtsensorik auf Basis amorpher Kohlenwasserstoffschichten. In: Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) u.a.: MikroSystemTechnik Kongress 2011: Proceedings; 10.–12. Oktober 2011, Darmstadt. Berlin [u.a.]: VDE-Verl., 2011, S. 783–786.

Biehl, S.: Sensorische Dünnschichtsysteme auf Basis piezoresistiver Kohlenstoffschichten. In: Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten (EFDS) u.a.: Amorphe Kohlenstoffschichten – tribologische Anwendungen und industrielle Herstellungsverfahren: Workshop; am 6. Dezember 2011 in Dresden. Dresden: EFDS, 2011, getr. Zählung.

Biehl, S.; Staufenbiel, S.; Hauschild, Frank: Thin film sensor systems based on hydrogenated carbon. In: European Community on Computational Methods in Applied Sciences u.a.: 5th ECCOMAS Thematic Conference on Smart Structures and Materials SMART' 11: Saarbrücken, July 6–8, 2011. Saarbrücken, 2011, pp. 764–767.

Borris, J.; Thomas, M.; Dohse, A.; Lachmann, K.; Hochsattel, T.; Weidlich, E.-R.; Klages, C.-P.: Kostengünstige und ressourceneffiziente Herstellung flexibler Leiterplatten, RFID-Antennen und Biosensoren mittels Plasma Printing & Packaging Technologie. In: Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) u.a.: MikroSystemTechnik Kongress 2011: Proceedings; 10.–12. Oktober 2011, Darmstadt. Berlin [u.a.]: VDE-Verl., 2011, S. 185–188.

Brand, P. J.: DLC-Schichten nach Maß: amorphe Kohlenstoffschichten (DLC) – Schichtvarianten und ihre Herstellung. In: Metalloberfläche: mo 65 2011, 11, S. 20–22.

Bräuer, G.; Bandorf, R.; Bewilogua, K.; Diehl, W.; Szyszka, B.; Vergöhl, M.: Magnetron sputtering and its applications, milestones and future challenges. In: Society of Vacuum Coaters: Society of Vacuum Coaters: Technical Conference Proceedings: 1991–2011. Albuquerque: SVC, 2011, pp. 3–7.

Bruns, S.; Vergöhl, M.; Werner, O.; Wallendorf, T.: High rate deposition of mixed oxides by controlled reactive magnetron-sputtering from metallic targets. In: Thin solid films 2011, Article in Press. Corrected Proof 2011. DOI: 10.1016/j.tsf.2011.07.014.

Bruns, S.; Vergöhl, M.: Optical and thin film properties of mixed oxides deposited by pulsed reactive magnetron sputtering. In: Lequime, Michel (Ed.) et al.: Advances in Optical Thin Films IV: Proceedings of SPIE; 5–7 September 2011, Marseille, France. Bellingham, Wash.: SPIE, 2011, 81680N1-9 (Proceedings of SPIE 8168).

Chen, J.; Ruffert, C.; Gatzen, H. H.; Bandorf, R.; Bräuer, G.: Fabrication of magnetic layers for electromagnetic microactuators. In: Büttgenbach, Stephanus (Ed.) et al.: Design and manufacturing of active microsystems. Berlin [u.a.]: Springer, 2011, pp. 167–188 (Microtechnology and MEMS).

Dewald, W.; Sittinger, V.; Szyszka, B.; Wippler, D.; Hüpkes, J.; Obermeyer, P.; Hamelmann, F.; Stiebig, H.; Säuberlich, F.; Severin, D.; Klein, S.; Rohde, M.; Schmidt, U.: Evaluation of textured TCOs for a-SI:H/µc-SI:H thin film solar cells by angular resolved light scattering measurements. In: 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition: Proceedings; CCH Congress Centre and International Fair Hamburg, Germany; Conference 5–9 September 2011: Exhibition 5–8 September 2011. München: WIP, 2011, pp. 2704–2708.

Düsing, J. F.; Suttmann, O.; Bandorf, R.; Gerdes, H.: Oberflächen-Dünnschichtsensorik erschließt neue Anwendungen. In: Laser-Magazin 2011, 3, S. 11–12.

Eichler, M.; Nagel, K.; Hennecke, P.; Klages, C.-P.: Fluidischer Separator für Zweiphasengemische. In: Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) u.a.: MikroSystemTechnik Kongress 2011: Proceedings; 10.–12. Oktober 2011, Darmstadt. Berlin [u.a.]: VDE-Verl., 2011, S. 919–922.

Eichler, M.; Michel, B.; Hennecke, P.; Klages, C.-P.: Mechanism and prevention of defect formation during hydrophilic silicon direct bonding at low temperatures. In: Knechtel, Roy (Ed.) et al.: Wafer-Bond '11, Conference on Wafer Bonding for Microsystems, 3D- and Wafer Level Integration: 6th–8th December 2011, Chemnitz, Germany: [book of abstracts]. Chemnitz: Fraunhofer ENAS, 2011, pp. 25–26.

Eichler, M.; Hennecke, P.; Michel, B.; Klages, C.-P.: Niedrigtemperatur-Direktbonden von Silizium-, Borosilikat- und Quarzglaswafern und der Einfluss von Funktionsschichten. In: Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) u.a.: MikroSystemTechnik Kongress 2011: Proceedings: 10.–12. Oktober 2011, Darmstadt. Berlin [u.a.]: VDE-Verl., 2011, S. 630–633.

Günther, M.; Bialuch, I.; Peter, S.; Bewilogua, K.; Richter, F.: High rate deposition of hard a-C:H films using microwave excited plasma enhanced CVD. In: Surface and coatings technology 205 (2011), Supplement 2, pp. S94–S98.

Heckmann, U.; Bandorf, R.; Petersen, M.; Gwozdz, V.; Bräuer, G.: Matching of maximum gauge factor and TCR zero crossing of Me-DLC. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE Sensors 2011, Proceedings: Limerick, Ireland 28–31, October. Piscataway, NJ: IEEE, 2011, pp. 472–475.

Hofmann, D.; Kunkel, S.; Bewilogua, K.; Wittorf, R.: Si-DLC basierende Schichtsysteme mit anwendungsoptimierten Eigenschaften. In: Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten (EFDS) u.a.: Amorphe Kohlenstoffschichten – tribologische Anwendungen und industrielle Herstellungsverfahren, Workshop: am 6. Dezember 2011 in Dresden. Dresden: EFDS, 2011, getr. Zählung.

Jordan, A.; Petersen, M.; Bandorf, R.; Büttgenbach, S.; Klages, C.-P.: DLC-Beschichtung auf SU-8-Fotoresist für piezoresistive Anwendungen in der Kraftsensorik. In: Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) u.a.: MikroSystemTechnik Kongress 2011: Proceedings; 10 – 12. Oktober 2011, Darmstadt. Berlin [u.a.]: VDE-Verl., 2011, S. 567 – 570.

Kaden, D.; Quenzer, H.-J.; Wagner, B.; Ortner, K.; Jung, T.; Jakob, A.; Tiefensee, F.: Entwicklung und Integration eines Hochratensputterprozesses für Blei-Zirkonat-Titanat-Dünnschichten. In: Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) u.a.: MikroSystemTechnik Kongress 2011: Proceedings; 10. – 12. Oktober 2011, Darmstadt. Berlin [u.a.]: VDE-Verl., 2011, S. 662 – 665.

König, J.; Gäbler, J.: Industrielle Bedeutung, aktueller Stand der Normung und Abscheidungsverfahren von Kohlenstoffschichten, Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN; VDI 2840 »Kohlenstoffschichten – Grundlagen, Schichttypen und Eigenschaften«. In: DIN-Mitteilungen + Elektronorm 2011, 10, S. 33 – 34.

König, J.; Gäbler, J.; Blum, J.: Klassifizierung, Eigenschaftsprofile und Anwendungsgebiete von Kohlenstoffschichten, Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN: Innovation mit Normen und Standards. In: DIN-Mitteilungen + Elektronorm 2011, 10, S. 36 – 41.

Kurz, J.; Eberle, F.; Graumann, T.; Kaschel, M.-E.; Sähr, A.; Neumann, F.; Dalpke, A. H.; Erdinger, L.: Inactivation of LPS and RNase A on photocatalytically active surfaces. In: Chemosphere 84, 2011, 9, pp. 1188 – 1193.

Lachmann, K.; Dohse, A.; Thomas, M.; Pohl, S.; Meyring, W.; Dittmar, K. E. J.; Lindenmaier, W.; Klages, C.-P.: Surface modification of closed plastic bags for adherent cell cultivation. In: The European physical journal applied physics 55 2011, 1, id 13812.

Lindenmaier, W.; Lachmann, K.; Meyring, W.; Garritsen, H. S. P.; Thomas, M.; Dittmar, K. E. J.: Innenbeschichtung von Beuteln für die Kultur adhärenter humaner Zellen. In: Biospektrum 17, 2011, 1, S. 32 – 34.

Matthai, A.; Bangert, S.; Grünhagel, O.; Hangleiter, B.; Schulz, U.; Szyszka, B.: MINERVA – a project for the development of an ultra resistant coating on PC for automotive use. In: Vakuum in Forschung und Praxis 2011, Best of glass, pp. 6 – 8.

Neubert, T.; Gaida, A.; Huwer, W.; Nagel, K.; Vergöhl, M.: Deposition of optical coatings on plastics using poly-para-xylylene. In: Society of Vacuum Coaters: Society of Vacuum Coaters: Technical Conference Proceedings: 1991 – 2011. Albuquerque: SVC, 2011, pp. 265 – 269.

Neubert, T.; Gaida, A.; Huwer, W.; Vergöhl, M.: Organic materials for the use in optical layer systems. In: Lequime, Michel (Ed.) et al.: Advances in Optical Thin Films IV: Proceedings of SPIE: 5 – 7 September 2011, Marseille, France. Bellingham, Wash.: SPIE, 2011, 81680T1-8 (Proceedings of SPIE 8168).

Papa, F.; Gerdes, H.; Bandorf, R.; Ehiasarian, A. P.; Kolev, I.; Bräuer, G.; Tietema, R.; Krug, T.: Deposition rate characteristics for steady state high power impulse magnetron sputtering (HIPIMS) discharges generated with a modulated pulsed power (MPP) generator. In: Thin solid films (2011), Article in Press. Corrected Proof 2011. DOI: 10.1016/j.tsf.2011.09.004.

Paschke, H.; Stueber, M.; Ziebert, C.; Bistron, M.; Mayrhofer, P.: Composition, microstructure and mechanical properties of boron containing multilayer coatings for hot forming tools. In: Surface and coatings technology 205, 2011, Supplement 2, pp. S24 – S28.

Petersen, M.; Heckmann, U.; Bandorf, R.; Gwozdz, V.; Schnabel, S.; Bräuer, G.; Klages, C.-P.: Me-DLC films as material for highly sensitive temperature compensated strain gauges. In: Diamond and related materials 20, 2011, 5/6, p. 814 – 818.

Pflug, A.; Siemers, M.; Schwanke, C.; Febty Kurnia, B.; Sittinger, V.; Szyszka, B.: Simulation of plasma potential and ion energies in magnetron sputtering. In: Materials technology 26 (2011), 1, pp. 10 – 14.

Phataralaoha, A.; Bandorf, R.; Bräuer, G.; Büttgenbach, S.: Friction behavior in microsystems. In: Büttgenbach, Stephanus (Ed.) et al.: Design and manufacturing of active microsystems. Berlin [u.a.]: Springer, 2011, pp. 89 – 108 (Microtechnology and MEMS).

Rademacher, D.; Vergöhl, M.; Richter, U.: In-situ thickness determination of multilayered structures using single wavelength ellipsometry and reverse engineering. In: Applied optics 50, 2011, 9, pp. C222 – C227.

Rademacher, D.; Bräuer, G.; Vergöhl, M.; Fritz, B.; Zickenrott, T.: New sputtering concept for optical precision coatings. In: Lequime, Michel (Ed.) et al.: Advances in Optical Thin Films IV: Proceedings of SPIE: 5 – 7 September 2011, Marseille, France. Bellingham, Wash.: SPIE, 2011, 81680O1-7 (Proceedings of SPIE 8168).

Sander, U.; Gerdes, H.; Bandorf, R.: Mess- und Prüfverfahren. In: Globisch, Sabine (Hrsg.): Lehrbuch Mikrotechnologie für Ausbildung, Studium und Weiterbildung, mit 106 Tabellen, 292 Aufgaben und einem umfangreichen Internetangebot. Leipzig, Fachbuchverl. Leipzig im Carl-Hanser-Verl., 2011, S. 206 – 228.

Schäfer, L.: Diamantbeschichtete Keramik DiaCer: leistungsfähiger Werkstoffverbund für extreme Anforderungen. In: Diamond Business 1, 2011, S. 22 – 26.

Schiffmann, K.: Determination of fracture toughness of bulk materials and thin films by nanoindentation: comparison of different models. In: Philosophical magazine 91, 2011, 7 – 9, pp. 1163 – 1178.

Siemers, M.; Pflug, A.; Schwanke, C.; Szyszka, B.: Particle-in-cell Monte Carlo simulation for process analysis and development. In: Society of Vacuum Coaters: Society of Vacuum Coaters: Technical Conference Proceedings: 1991 – 2011. Albuquerque, SVC, 2011, pp. 348 – 351.

Sittinger, V.; Laukart, A.; Harig, T.; Höfer, M.; Dewald, W.; Britze, C.; Schäfer, L.; Szyszka, B.; Bräuer, G.: In-line processing of hot wire CVD a-SI:H solar cells using different ZnO:Al morphologies as front contact. In: 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition: Proceedings: CCH Congress Centre and International Fair Hamburg, Germany: Conference 5 – 9 September 2011: Exhibition 5 – 8 September 2011. München: WIP, 2011, pp. 2671 – 2675.

Sittinger, V.; Dewald, W.; Werner, W.; Szyszka, B.: Influence of process parameter and magnetic field strength on DC magnetron sputtered ZnO:Al films from ceramic targets. In: Society of Vacuum Coaters: Society of Vacuum Coaters: Technical Conference Proceedings: 1991 – 2011. Albuquerque: SVC, 2011, pp. 502 – 507.

Sittinger, V.; Dewald, W.; Szyszka, B.; Säuberlich, F.; Stannowski, B.: New approach towards an optimized light trapping morphology of Al-doped ZnO films. In: Vakuum in Forschung und Praxis (2011), Best of glass, pp. 14 – 15.

Sittinger, V.; Dewald, W.; Szyszka, B.; Ruske, F.: Reactive magnetron sputtering of ZnO:Al. In: Photovoltaics international (2011), August, pp. 120 – 126.

Staufenbiel, S.; Biehl, S.; Lampe, C.; Bertram, O.: Sensorentwicklung für energieautarke Mikrosysteme in Werkzeugmaschinen. In: Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) u.a.: MikroSystemTechnik Kongress 2011: Proceedings: 10. – 12. Oktober 2011, Darmstadt. Berlin [u.a.]: VDE-Verl., 2011, S. 779 – 782.

Stein, C.: 8th Asian-European Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE 2011) in Dalian (China). In: Vakuum in Forschung und Praxis 23 (2011), 6, S. 48 – 49.

Stein, C.; Keunecke, M.; Bewilogua, K.; Chudoba, T.; Kölker, W.; van den Berg, H.: Cubic boron nitride based coating systems with different interlayers for cutting inserts. In: Surface and coatings technology 205 (2011), Supplement 2, pp. S103 – S106.

Stenzel, O.; Schürmann, M.; Wilbrandt, S.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.; Mende, M.; Ehlers, H; Ristau, D.; Bruns, S.; Vergöhl, M.; Riggers,

W.; Bischoff, M.; Held, M.: Optical and mechanical properties of oxide UV coatings, prepared by PVD techniques. In: Lequime, Michel (Ed.) et al.: Advances in Optical Thin Films IV: Proceedings of SPIE: 5-7 September 2011, Marseille, France. Bellingham, Wash.: SPIE, 2011, 81681W1-10 (Proceedings of SPIE 8168).

Szyszka, B.; Tholense, H.: Kratz- und korrisionsfeste Beschichtungen aud komplexen 3D-Bauteilen: Atomic layer deposition. In: JOT: Journal für Oberflächentechnik 51, 2011, 9, S. 48–51.

Szyszka, B.: Moderne Glasanwendungen. In: Baukultur 4, 2011, S. 18–19.

Szyszka, B.; Sittinger, V.; Ulrich, S.; Beontoro, W.; Werner, W.: Neue Produktionstechnik für leitfähige Schichten auf Glas: kostengünstige ITO-Beschichtungen mittels HiPIMS. In: JOT + Oberfläche: Journal für Oberflächentechnik 51, 2011, 1, S. 36–40.

Thomas, M.; Borris, J.; Eichler, M.; Klages, C.-P.: Micropatterning using atmospheric pressure plasma processes. In: Vakuum in Forschung und Praxis, 2011, Best of glass, pp. 35–37.

Ulrich, S.; Rösch, R.; Neubert, T.; Mushin, B.; Szyszka, B.; Gobsch, G.; Hoppe, H.: Organic photovoltaic solar cells using thin tungsten oxide as interlayer anode contact material. In: 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition: Proceedings: CCH Congress Centre and International Fair Hamburg, Germany: Conference 5–9 September 2011: Exhibition 5–8 September 2011. München: WIP, 2011, pp. 605–607.

Vergöhl, M.; Althues, H.; Frach, P.; Glöß, D.; Graumann, T.; Hübner, C.; Neumann, F.; Neubert, T.; Schottner, G.; Song, D. K.: Photocatalytic TiO_2 films deposited by different methods: characterization of activity and optical properties in a round robin experiment. In: Vakuum in Forschung und Praxis 23, 2011, 5, pp. 17–21.

Vergöhl, M.; Bandorf, R.; Bräuer, G.; Bruns, S.; Werner, O.: Reactive HiPIMS of oxides for optical coatings. In: Society of Vacuum Coaters: Society of Vacuum Coaters: Technical Conference Proceedings: 1991–2011. Albuquerque: SVC, 2011, pp. 121–130.

Weber, M.; Weihnacht, V.: Anwendung DLC-basierter Schichtsysteme für Umformwerkzeuge. In: Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten (EFDS) u.a.: Amorphe Kohlenstoffschichten – tribologische Anwendungen und industrielle Herstellungsverfahren, Workshop: am 6. Dezember 2011 in Dresden. Dresden: EFDS, 2011, getr. Zählung.

Weber, M.: Herstellung und Anwendung von PVD- und CVD-Beschichtungen. In: Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe: 18. Werkzeugseminar It's Tool Time: 11. Oktober 2011: Werkzeuge von der Tradition bis zur Innovation. Remscheid, Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe, 2011, getr. Zählung.

VORTRÄGE, POSTER

Bandorf, R.; Ebert, M.; Bräuer, G.: C-DLC process development using MPP (Talk), Symposium on Reactive Sputter Deposition, Linköping, Sweden, December 8–9, 2011.

Bandorf, R.; Sittinger, V.; Szyszka, B.; Vergöhl, M.; Loch, D.; Bräuer, G.: Gepulste Hochleistungsplasmen – Stand der Technik und industrielle Perspektiven (Poster), 15. Fachtagung Plasmatechnologie, Stuttgart, Deutschland, 28. Februar–2. März 2011.

Bandorf, R.; Bräuer, G.: Highly Ionized Pulse Plasma Processes - HIPP Processes (Talk), 2nd International Conference on HIPIMS, Braunschweig, Germany, June 28–29, 2011.

Bandorf, R.; Heckmann, U.; Petersen, M.; Peters, M.; Bräuer, G.: Nanocomposite material for strain gauge application (Invited Talk), 6th Symposium on Functional Coatings and Surface Engineering FCSE, Montreal, Canada, June 2011.

Bandorf, R.; Reschke, M.; Gerdes, H.; Bräuer, G.: The Influence of Pulse Arrangement and Off-time between First and Second Pulse in Bipolar HIPIMS (Talk), 38th International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films ICMCTF, San Diego, CA, USA, May 2011.

Baron, S.; Armgardt, M.; Gäbler, J.; Hagemann, A.; Höfer, M.; Schäfer, L.: Investigation of the regrowth of worn CVD diamond crystallites (Poster), 22nd European Conference on Diamond, Diamond-Like Materials, Carbon Nanotubes and Nitrides, Garmisch-Partenkirchen, Bavaria, Germany, September 2011.

Bewilogua, K.; Keunecke, M.; Stein, C.: Sputter deposition of thick cubic boron nitride coatings for tool applications. Seminar Department of Physics & Materials Science, City University of Hong Kong, September 2011.

Bewilogua, K.; Bialuch, I.; Bräuer, G.; Augustin, W.; Scholl, S.: Modified diamond-like carbon coatings – Preparation by PECVD and applications for anti-adhesive surfaces. 8th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering, Dalian, China, September 2011.

Bialuch, I.; Bewilogua, K.; Bräuer, G.; Geddert, T.; Augustin, W.; Scholl, S.: Preparation of hard hydrophobic coatings by plasma assisted deposition techniques. European Coating Conference – Easy to clean/self-cleaning coatings, Berlin, February 2011.

Bialuch, I.; Bewilogua, Günther, M.; Peter, S.; Richter, F.: High rate deposition of hard a-C:H coatings using microwave excited plasma enhanced CVD. Society of Vacuum Coaters 54th Annual Technical Conference Proceedings, Chicago, IL, April 2011.

Biehl, S.: Dünnschichtsensorik zur Online-Überwachung von Scherschneidprozessen (Poster), MST Kongress, Darmstadt, 12. November 2011.

Biehl, S.: Piezoresistive Dünnschichtsensorik auf Basis amorpher Kohlenwasserstoffschichten (Poster), MST Kongress, Darmstadt, 12. November 2011.

Biehl, S.: Sensorische Dünnschichtsysteme auf Basis piezoresistiver Kohlenstoffschichten (Vortrag), EFDS Workshop zu Kohlenstoffschichten, Dresden, 6. Dezember 2011.

Biehl, S.: Thin film sensor systems based on hydrogenated carbon (Talk), SMART Conference, Saarbrücken, July 7, 2011.

Borris, J.; Thomas, M.; Lachmann, K.; Dohse, A.; Hochsattel, T.; Hinze, A.; Weidlich, E.-R.; Klages, C.-P.: Atmospheric pressure plasma activation of polymers for their subsequent wet-chemical metallization, 4th International Symposium of Plasma Center for Industrial Applications (PLACIA) & Plasma Application Monodzukuri (PLAM) on Reactivation of Manufacturing in Japan by Plasma-Nano Technology, December 1, 2011, Nagoya, Japan.

Brand, C.: Plasma leuchtet ein – Industrielle Plasma-Oberflächentechnik, Workshop Funktionalisierung von Oberflächen, Measurement Valley, Göttingen, 10. Februar 2011.

Brand, J.; Petrik, M.: Coatings for friction and wear reduction in internal Combustion Engines (Poster), European Symposium on Friction, Wear and Wear Protection, Karlsruhe, Germany, October 26–28, 2011.

Brand, J.: Möglichkeiten moderner Plasmatechnologie für den Leichtbau, 4. Nano- und Materialsymposium Niedersachsen, Salzgitter, 17. November 2011.

Bräuer, G.: Beschichten mit Plasma – Neue Verfahrensentwicklungen und aktuelle Anwendungen (Vortrag), 18. Symposium »Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde«, Chemnitz, 1. April 2011.

Bräuer, G.: Copper strip coating and cleaning – opportunities using plasma processes (Talk), International Wrought Copper Council (IWCC) Technical Seminar 2011, Kuala Lumpur, Malaysia, March 7, 2011.

Bräuer, G.: Forschung und Lehre auf dem Gebiet der Schicht- und Oberflächentechnik an der Technischen Universität Braunschweig (Vortrag), Hannover Messe, 8. April 2011.

Bräuer, G.; Szyszka, B.; Vergöhl, M.; Bandorf, R.: Magnetron sputtering and its applications – Milestones and future challenges (Talk), SCHOTT Coating Innovations Workshop, Yverdon-les-Bains, Switzerland, March 15, 2011.

Bräuer, G.; Bandorf, R.; Bewilogua, K.; Diehl, W.; Szyszka, B.; Vergöhl, M.: Magnetron sputtering and its applications – Milestones and future challenges (Talk), Society of Vacuum Coaters, 54th Annual Technical Conference, Chicago, IL, USA, April 18, 2011.

Bräuer, G.; Bandorf, R.; Bewilogua, K.; Schäfer, L.; Szyszka, B.; Vergöhl, M.: Recent Developments in Plasma Based Coating Technologies (Talk), 8th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE), Dalian, China, September 19, 2011.

Bruns, S.; Vergöhl, M.: Optical and thin film properties of mixed oxides deposited by pulsed reactive magnetron sputtering (Vortrag), SPIE Optical Systems Design, Marseille, France, September 2011.

Cerezuela Barreto, M.; Borris, J.; Thomas, M.; Hänsel, R.; Stoll, M.; Klages, C.-P.: Plasma polymerization at atmospheric pressure of silicon based thin films for plasticizer migration barrier applications (Poster), 4th Central European Symposium on Plasma Chemistry (CESPC), Zlatibor, Serbia, August 21–25, 2011.

Diehl, W.: Knowledge for Growth – Green Technologies – The Fraunhofer Model. Wind Power Africa 2011, Conference, Cape Town, South Africa, May 2011.

Diehl, W.; Bandorf, R.; Bewilogua, K.; Biehl, S.; Brand, J.; Jung, T.; Klages, C.-P.; Szyszka, B.; Thomas, M.; Vergöhl, M.; Bräuer, G.: Functional Coatings Produced by Plasma Processes – Technology and Recent Applications. Int. Symposium on Surface Protection Coating and Indo-German Conference on Surface Engineering, Bangalore, India, December 2011.

Dietz, A.: Moderne Schichtsysteme durch Kombinationsverfahren - Ein Überblick, Berliner Fachseminar der DGO, Januar 2011.

Dietz, A.; Klumpp, G.; Kramer, H.-J.; Haas, C.: Galvanic metallization of CFRP waveguides, European Conference for Aero-Space Science (EUCASS), St. Petersburg, July 2011.

Dietz, A.; Klumpp, G.; Kramer, H.-J., Haas, C.: Galvanic metallization of CFRP waveguides, 5th International CFK-Valley Stade Convention, 2011.

Dietz, A.; Moustafa, E.: Aluminium deposition from ionic liquids – A technical process?, EAST MINDE FORUM, November 2011, FEM, Schwäbisch Gmünd, Germany.

Dietz, A., Klumpp, G., Kramer, H.-J., Haas, C., Galvanic metallization of CFRP waveguides, 4. Nano und Material Symposium Niedersachsen, November 2011, Salzgitter.

Ehiasarian, A.P.; Sittinger, V.: $CuInSe_2$ thin film photovoltaic absorber layers by HIPIMS (Vortrag), 2nd International Conference on HIPIMS, Braunschweig, June 2011.

Eichler, M.; Nagel, K.; Hennecke, P.; Klages, C.-P.: PECVD-Abscheidung in gedeckelten mikrofluidischen Kanälen, 12. Wörlitzer Workshop, Wörlitz, Juni 2011.

Eichler, M.; Borris, J.; Hinze, A.; Thomas, M.; Klages, C.-P.: Recent Developments of DBD-type Microplasmas in Surface Technology, 8th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering AEPSE, Dalian City, China, September 2011.

Eichler, M.; Thomas, M.; Lachmann, K.; Hennecke, P.; Behrendt, T.; Klages, C.-P.: Beschichtung und Funktionalisierung von Oberflächen mittels DBE für das Direktbonden, V2011 Industrieausstellung & Workshop, Dresden, Oktober 2011.

Erbas, S.; Schulze, D.; Gäbler, J.; Hoefer, M.; Schäfer, L.: Chemical vapour deposition of SiC barrier layer on cemented carbides for diamond (Poster), 22nd European Conference on Diamond, Diamond-Like Materials, Carbon Nanotubes and Nitrides, Bavaria, Germany, September 2011.

Fenker, M.; Petrikowski, K.; Gäbler, J.; Pleger, S.; Schäfer, L.: Study of CrN and NbC Interlayers for HFCVD Diamond Deposition onto WCCo Substrates, International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, 2011, San Diego.

Gäbler, J.; Schäfer, L.; Pleger, S.; Petrikowski, K.; Fenker, M.: Evaluierung von Entschichtungs-Verfahren für diamantbeschichtete Hartmetallwerkzeuge. Fraunhofer IST (Veranst.) 24. Treffen des Industrie-Arbeitskreises Werkzeugbeschichtungen und Schneidstoffe, Braunschweig, 2011.

Gäbler, J.: Zerspanung sprödharter Werkstoffe. Ostbayrisches Technologietransfer-Institut (Veranst.): OTTI-Fachforum »Neue Werkstoffe wirtschaftlich zerspanen« 2011, Regensburg.

Gäbler, J.; Keunecke, M.; Weber, M.; Bewilogua, K.; Baron, S.: New developments on hard and superhard PVD and CVD thin-film coatings for tribological applications. European Powder Metallurgy Association EPMA (Veranst.): EURO PM 2011, Intern. Powder Metallurgy Congress, Barcelona, 2011.

Gäbler, J.: Beschichtungen für Hartmetallwerkzeuge: Aktuelle Entwicklungen des Fraunhofer IST. Machining Innovations Network (Veranst.): Workshop und Roadshow Werkzeug-Substrate und Beschichtungen, Plaffeien, Schweiz, 2011.

Gäbler, J.: Die Schichtklasse der Kohlenstoffschichten: Schichttypen gemäß VDI 2840. Deutsches Institut für Normung (Veranst.): INS-Tagung DLC und CVD-Diamant: Kohlenstoffschichten auf dem Weg zur nationalen und internationalen Normung, Braunschweig, 2011.

Graumann, T.; Koeßler, D.; Neumann, F.; Vergöhl, M.; Szyszka, B.: PVD-Technologies for Self-Cleaning and Antibacterial Applications on Glass and Plastics, Poster, Glass Performance Days (GPD), 12th International Conference on Architectural and Automotive Glass 2011, Tampere, Finland, July 17–20, 2011.

Graumann, T.; Neumann, F.; Werner, O.; Kurz, J.; Vergöhl, M.: Preparation and Properties of Reactive Pulse Magnetron Sputtered TiO2 Thin-Films for Self-Cleaning and Antibacterial Large Area Coatings, Vortrag, Conference on Photocatalytic and Advanced Oxidation Technologies for the Treatment of Water, Air, Soil and Surfaces, PAOT-2011, Gdansk University of Technology, Poland, July 4–8, 2011.

Graumann, T.; Neumann, F.: Latest Trends And Activities In Standardization of Photocatalytic Test Methods (Invited Talk), Photocatalytic and Superhydrophilic Surfaces Workshop, PSS2011, Manchester Metropolitan University, September 12, 2011.

Hofmann, D.; Kunkel, S.; Bewilogua, K.; Wittorf, R.: Si-DLC basierende Schichtsysteme mit anwendungsoptimierten tribologischen Eigenschaften, EFDS-Workshop Amorphe Kohlenstoffschichten – tribologische Anwendungen und industrielle Herstellungsverfahren, Dresden, 6. Dezember 2011.

Keunecke, M.; Bewilogua, K.; Becker, J.; Gies, A.; Grischke, M.: Chromium carbide: A new coating approach for highly loaded, low friction applications, 38th International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, San Diego, CA, USA, May 2011.

Klaaßen, E.; Kramer, H.-J.; Schäfer, L; Dietz, A.: Elektrochemische Verfahren an Diamantelektroden: Elektrolytische Ozonerzeugung und In-Situ Schadstoffabbau (EAOP®), ZVO Oberflächentage, Düsseldorf/Neuss, 21.–23. September 2011.

Lachmann, K.; Dohse, A.; Thomas, M.; Klages, C.-P.: Internal coating of plastic bags for biomedical applications (Vortrag), 45. DGBMT Jahrestagung, 28.–30. September 2011, Freiburg.

Lachmann, K.; Dohse, A.; Thomas, M.; Klages, C.-P.: Plasma Polymerization of 3-aminopropyl-trimethoxysilane inside closed plastic bags at atmospheric pressure (Talk), ISPC 20, July 24–29, 2011, Philadelphia, USA.

Miletic, D.; Gäbler, J.; Rissing, L.: Precision grinding with CVD diamond coated dicing blades. European Society for Precision Engineering and Nanotechnology (Veranst.): 11th euspen Intern. Conf., Como, 2011.

Neubert, T.; Gaida, A.; Huwer, W.; Nagel, K.; Vergöhl, M.: Deposition of optical coatings on plastics using poly-para-xylylene, SVC, Chicago, April 2011.

Neubert, T.; Gaida, A.; Huwer, W.; Vergöhl, M.: Organic materials for the use in optical layer systems, OSD, Marseille, September 2011.

Neumann, F.; Anti-soiling Chemical Activity Using Deposited Stearic Acid by Measurement of Optical Haze, Vortrag, 4th International CEN/TC 386 WG4 Meeting, Università di Torino, February 11, 2011.

Papa, F.; Gerdes, H.; Bandorf, R.; Ehiasarian, A. P.; Bräuer, G.; Tietema, R.; Krug, T.: The Influence of High Power Impulse Magnetron Sputtering (HIPIMS) Pulse Parameters on Plasma, Target, and Substrate Interactions (Invited Talk), 38th International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films ICMCTF, San Diego, CA, USA, May 2011.

Paschke, H.: Approaches to subsurface engineering of forging tools with plasma diffusion treatment (Talk), ICAMS Advanced Discussions, Bochum, March 2011.

Paschke, H.: Projektpräsentation IGF 15759 N »Erhöhung der Werkzeugstandmengen durch borhaltige Mehrlagenbeschichtungen auf Schmiedegesenken« (Vortrag), Schmiedeakademie im Industrieverband Massivumformung (IMU), Hagen, Juni 2011.

Paschke, H.; Rechberger, M.; Bertling, J.: Plasma combination processes for biomimetic self sharpening cutting tools (Poster), European Symposium on Friction, Wear and Wear Protection 2011, Karlsruhe, October 2011.

Pflug, A.; Siemers, M.; Szyszka, B.; Koehl, D.; Austgen, M.; Wuttig, M.: Magnetron Modelling (eingeladener Vortrag), ITFPC-MIATEC, Nancy, November 2011.

Pflug, A.; Schwanke, C.; Siemers, M.; Niemann, J.; Lepping, J.; Szyszka, B.: Parallel PIC-MC simulation of rarefied gas flow dynamics and gas discharges (Vortrag), DPG-Tagung Kiel, März 2011.

Polenzky, C.: p-TCOs für Anwendungen in der transparenten Elektronik (Vortrag), EFDS-Workshop »Transparente leitfähige Oxide – Festkörperphysikalische Grundlagen und Technologie«, Dresden, Mai 2011.

Polenzky, C.; Balmer, C.; Szyszka B.: Investigation of Cu-Al-O mixtures with composition near $CuAlO_2$ (Poster), E-MRS Fall meeting, Warsaw, September 2011.

Rademacher, D.; Bräuer, G.; Vergöhl, M.; Fritz, B.; Zickenrott, T.: New sputtering concept for optical precision coatings (Talk); SPIE Optical Systems Design, Marseille, France, September 2011.

Rechberger, M.; Paschke, H.; Bertling, J.: Biting and Cutting - New Tribological Strategies for Cutting Tools Designed by Nature (Talk), Int. Conference on BioTribology, ICoBT 2011, London, UK, September 2011.

Rechberger, M.; Paschke, H.; Bertling, J.: Self-sharpening cutting tools for abrasive polymers – a biomimetic approach (Talk), European Symposium on Friction, Wear and Wear Protection 2011, Karlsruhe, October 2011.

Schäfer, L.: Diamantbeschichtete Keramik DiaCer© - Die Verbindung zweier Hochleistungswerkstoffe (eingeladener Vortrag), Mit Werkstoffmechanik zu mehr Wertschöpfung, Festkolloquium zum 65. Geburtstag von Dr. Thomas Hollstein, Freiburg, 9. März 2011.

Schäfer, L.: On the utilization and the making of diamond (Talk), Workshop 10 Jahre CONDIAS, August 20, 2011, Itzehoe.

Schäfer, L.: Wasserbehandlung und Desinfektion ohne chemische Zusatzstoffe (eingeladener Vortrag), Niedersächsisches Grundwasserkolloquium 2011, Braunschweig, 23.–24. März 2011.

Schäfer, L.: Wasserbehandlung und Desinfektion ohne chemische Zusatzstoffe (Vortrag), 5. Mitteldeutsches Netzwerktreffen Innovative Umwelttechnik, 29. März 2011, Bitterfeld-Wolfen.

Schäfer, L.; Höfer, M.; Klaaßen, E.; Kramer, H.-J.; Diehl, W.: Water disinfection and destruction of micropollutants without additional chemicals (Talk), Workshop on Water and Sanitation Options in the Rural Areas, July 24–26, 2011, Graaff-Reinet, South Africa.

Schiffmann, K. I.: Phenomena in Microwear Experiments: Friction Wear, Fatigue, Elastic-Plastic Deformation and Material Transport. Chinesisch-Deutsches Symposium »Nanofabrication and Nanotribology«, Berlin, May 29–June 2, 2011.

Schiffmann, K. I.: Characterization of 31 non-periodic layers of alternate SiO_2/Nb_2O_5 on glass for optical filters by SIMS, XRR and Ellipsometry (Poster); 18th International Conference on Secondary Ion Mass Spectrometry, Riva del Garda, Italy, September 18–23, 2011.

Schwanke, C.; Pflug, A.; Siemers, M.; Szyszka, B.; Koehl, D.; Austgen, M.: PIC-MC simulations of high power plasma discharges (Poster), 54th SVC, April 18, 2011, Chicago.

Siemers, M.; Pflug, A.; Schwanke, C.; Szyszka, B.: Applied PIC-MC Simulation for Process Analysis and Development (Invited Talk), 54th SVC, April 18, 2011, Chicago.

Sittinger, V.; Ehiasarian, A.P.: Deposition of Cu and In layers with a plasma activated Se evaporation source (Talk), COST Meeting, Braunschweig, June 2011.

Sittinger, V.; Horstmann, F.; Boentoro, W.; Werner, W.; Szyszka, B.: Die eisfreie Autoscheibe und andere Anwendungen von mittels HIPIMS hergestellter TCOs (Vortrag), EFDS Workshop, Dresden, Mai 2011.

Sittinger, V.; Diehl, W.; Szyszka, B.: Dünnschicht-Technologien für Photovoltaik auf großen Flächen (Vortrag), V2011, Dresden, Oktober 2011.

Sittinger, V.; Horstmann, F.; Boentoro, W.; Werner, W.; Szyszka, B.; Bräuer, G.: Ice-free window and other applications with the HIPIMS technology (Talk), 2nd International Conference on HIPIMS, Braunschweig, June 2011.

Sittinger, V.; Schlatmann, R.: Introduction to thin film photovoltaics technologies (Tutorial), 54th SVC Annual Technical Conference, Chicago, April 2011.

Sittinger, V.; Szyszka, B.; Dewald, W.: Reaktives Magnetronsputtern versus keramische Targets - Kosten und Performance für ZnO:Al in der Dünnschicht-Photovoltaik (Vortrag), OTTI Fachtagung, Neu-Ulm, November 2011.

Staufenbiel, S.: Sensorentwicklung für energieautarke Mikrosysteme in Werkzeugmaschinen (Poster), MST Kongress, Darmstadt, 12. November 2011.

Stein, C.; Keunecke, M.; Bewilogua, K.; Bräuer, G.; Kölker, W.; van den Berg, H.: c-BN and TiAlN based hard coatings for cutting inserts (Talk), 8th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering, Dalian, China, September 2011.

Thomas, M.: Atmosphärendruckplasmaverfahren – Innovationen und Trends (Vortrag), Innovationsforum Hybridteile – Technologien für den Leichtbau, 29.–30. März 2011, Barleben.

Thomas, M.: P³T – Plasma Printing & Packaging-Technologie - Modulares Anlagenkonzept zur kontinuierlichen Fertigung von flexiblen Leiterplatten, RFID-Antennen, und Biosensoren (Vortrag), Effizienzfabrik, 15. November 2011, Frankfurt.

Thomas, M.; Dohse, A.; Borris, J.; Klages, C.-P.: DBD-type cavity microplasmas for patterned surface treatment in electronics, biomedical, and textile applications (Talk), 6th International Workshop of Microplasmas, April 3-6, 2011, Paris.

DISSERTATIONEN

Biehl, S. N.: Entwicklung von Dünnschichtsensoren auf Basis piezoresistiver Kohlenwasserstoffschichten. Stuttgart: Fraunhofer Verl., 2011 (Berichte aus Forschung und Entwicklung; 035). Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2011.

Eichler, M.: Anlagen- und Prozessentwicklung für das Niedrigtemperatur-Direktbonden mittels Atmosphärendruck-Plasmaaktivierung. Stuttgart: Fraunhofer-Verl., 2011 (Berichte aus Forschung und Entwicklung; 032). Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2010.

Lachmann, K.: Entwicklung und Charakterisierung eines Schichtsystems für Lasermikrodissektion und Laserkatapultieren. Stuttgart: Fraunhofer-Verl., 2011 (Berichte aus Forschung und Entwicklung, 033). Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2011.

DIPLOMARBEITEN / MASTERARBEITEN

Bauer, B.: Normgerechte Quantifizierung des photokatalytischen Methylenblauabbaus, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, März 2011.

Erfle, P.: Strukturierte Metallisierung von anorganischen Substraten, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, November 2011.

Kouangain, P.: Gestaltung und Optimierung von Gasführung und Bauteilhalterungen einer Chargierungseinrichtung, Fachhochschule Dortmund, August 2011.

Xiao, R.: Normgerechte Quantifizierung des photokatalytischen Stearinsäureabbaus, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Januar 2011.

Widmaier, R.: Tribologische Untersuchungen für Bauteile eines Verbrennungsmotors, Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften (Institut für Produktionstechnik) Wolfenbüttel, Mai 2011.

Zickenrott, T.: Konstruktion eines UV-VIS-NIR Messaufbaus zur in-situ Transmissionsmessung in Drehtellerbatchanlagen, Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften (Institut für Produktionstechnik) Wolfenbüttel, Januar 2011.

BACHELORARBEITEN

Franke, C.: Chemische Derivatisierung mit aliphatischen Trifluorverbindungen an modifizierten Oberflächen, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Oktober 2011.

Kappich, S.: Reaktive Abscheidung von Aluminiumoxid-Schichten auf einer industriellen In-Line Sputteranlage, Jade Hochschule Wilhelmshaven, April 2011.

Reschke, M.: Off-Zeit-Modulation bei bipolarem Hochleistungs-Impuls-Magnetron-Sputtern, Jade Hochschule Wilhelmshaven, Mai 2011.

Roiss, S.: Abscheidung und Charakterisierung von Me-DLC als sensorische Schicht für Dehnungsmessstreifen, Fachhochschule Gelsenkirchen, März 2011.

SCHUTZRECHTANMELDUNGEN

Bandorf, R.: Vorrichtung zur differenzierten Schichtratenmessung von Neutralteilchen und Ionen, Verfahren sowie Verwendung der Vorrichtung.

Bethke, R.: Vorrichtung und Verfahren zur Prüfung der Haftfestigkeit einer Beschichtung auf einem Substrat.

Biehl, S.; Rumposch, C.; Schmidt, V.: Verwendung von amorphen Kohlenstoffschichten als Tonabnehmer für Saiteninstrumente und deren Bauteile.

Brand, J.; Thomas, M.; von Borries, G.: Bauteil mit Verschleißschutz- oder Antihaft-Folie sowie Verfahren zu dessen Herstellung.

Eichler, M.; Nagel, K.; Klages, C.-P.: Verfahren zur plasmagestützten Behandlung von Innenflächen eines Hohlkörpers, Fluid-Separator sowie die Verwendung.

Jung, T.: Hohlkathoden-Plasmaquelle sowie Verwendung der Hohlkathoden-Plasmaquelle.

Pflug, A.; Siemers, M.; Werner, W.; Szyszka, B.: Vorrichtung und Verfahren zur Reaktivgastrennung in in-line-Beschichtungsanlagen.

Schäfer, L.; Höfer, M.; Armgardt, M.: Gleitring mit verbesserten Einlaufeigenschaften.

Szyszka, B.; Pflug, A.; Rademacher, D.; Vergöhl, M.: In-Situ Messaufbau für den Einsatz in Beschichtungsanlagen.

Thomas, M.; Klages, C.-P.; Dohse, A.: Plasmastempel und Verfahren zur Plasmabehandlung einer Oberfläche.

BILDVERZEICHNIS

Abbildung auf der Titelseite
Simulation des Teilchentransports in einer Sputteranlage für optische Hochpräzisionsfilter.
Bild: Andreas Pflug, Jan Benz, Fraunhofer IST

S. 2: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 3: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 6; 1: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 7; 2: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 8; 1: Elena Dröge, Fraunhofer IST
S. 9; 2: Fraunhofer IST
S. 14: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 16: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 22; 1: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 22; 2: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
S. 23: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 24: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 26: jarts/Photocase.com
S. 28: Reiner Meier, BFF Wittmar
S. 30: Reiner Meier, BFF Wittmar
S. 32; 1: Manuela Lingnau, Fraunhofer WKI
S. 32; 2: Manuela Lingnau, Fraunhofer WKI
S. 34; 1: Manuela Lingnau, Fraunhofer WKI
S. 34; 2: EagleBurgmann Germany
S. 36; 1: Manuela Lingnau, Fraunhofer WKI
S. 36; 2: Manuela Lingnau, Fraunhofer WKI
S. 38: Reiner Meier, BFF Wittmar
S. 40; 1: Franziska Zschausch, Fraunhofer IST
S. 41; 2: Franziska Zschausch, Fraunhofer IST
S. 42: Andreas Pflug, Fraunhofer IST
S. 44: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 46; 1: Martin Weber, Fraunhofer IST
S. 46; 2: Martin Weber, Fraunhofer IST
S. 47; 3: Martin Weber, Fraunhofer IST
S. 48; 1: Christian Stein, Fraunhofer IST
S. 48; 2: Christian Stein, Fraunhofer IST
S. 49; 3: Christian Stein, Fraunhofer IST
S. 50; 1: Kai Weigel, Fraunhofer IST
S. 50; 2: Kai Weigel, Fraunhofer IST
S. 52: Reiner Meier, BFF Wittmar
S. 54; 1: Reiner Meier, BFF Wittmar
S. 56: Andreas Pflug, Fraunhofer IST
S. 58: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 60; 1: Bernd Müller
S. 60; 2: Bernd Müller
S. 62; 1: Stefan Bruns, Fraunhofer IST
S. 62; 2: Stefan Bruns, Fraunhofer IST
S. 64; 1: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 64; 2: Daniel Rademacher, Fraunhofer IST
S. 66; 1: Daniel Rademacher, Fraunhofer IST
S. 66; 2: Daniel Rademacher, Fraunhofer IST
S. 68: Thomas Neubert, Fraunhofer IST
S. 70: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 72: Falko Oldenburg, Fraunhofer IST
S. 74; 1: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 74; 2: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 75; 3: Margret von Hausen, Fraunhofer IST
S. 77; 3: Marko Eichler, Fraunhofer IST
S. 78; 1: Michael Thomas, Fraunhofer IST
S. 78; 2: Michael Thomas, Fraunhofer IST
S. 79; 3: Schmitz-Werke GmbH + Co. KG
S. 80: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 82; 1: H. Eder, BAQ GmbH
S. 82; 2: H. Eder, BAQ GmbH
S. 83; 3: Antje Hipp, Fraunhofer IST
S. 84; 1: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 84; 2: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 86; 1–4: Ralf Bandorf, Fraunhofer IST
S. 90; 1: Fraunhofer-Gesellschaft
S. 90; 2: Fraunhofer-Gesellschaft
S. 92: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 94; 1: Claudia Siatkowski, Fraunhofer IST
S. 95; 2: Claudia Siatkowski, Fraunhofer IST
S. 96; 2: Myriam Schaller, Fraunhofer IST
S. 97; 3: Michael Thomas, Fraunhofer IST
S. 98: Andreas Pflug, Fraunhofer IST
S. 102; 1–4: Fraunhofer-Verbund Light&Surfaces
S. 103; 5: Reiner Meier, BFF Wittmar
S. 104; 1: Jan Benz, Fraunhofer IST
S. 105; 2: Myriam Schaller, Fraunhofer IST
S. 106: Fraunhofer IST
S. 108; 1: Kompetenznetz INPLAS e. V.

IMPRESSUM

Das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST

Institutsleitung
Prof. Dr. Günter Bräuer

Stellvertretender Institutsleiter
Prof. (TUT) Wolfgang Diehl

Bienroder Weg 54 E
38108 Braunschweig
Telefon +49 531 2155-0
Fax +49 531 2155-900
info@ist.fraunhofer.de
www.ist.fraunhofer.de

Redaktion und Koordination:
Dr. Simone Kondruweit
Dipl.-Sozialwiss. Elena Dröge
M. A. Anika Heddergott

Layout
Dipl.-Des. Falko Oldenburg

Druck
Maul-Druck GmbH, Braunschweig
www.mauldruck.de

© Fraunhofer IST 2012