



Fraunhofer

FEP

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ELEKTRONENSTRAHL- UND PLASMA-TECHNIK FEP

# JAHRESBERICHT 2009



**JAHRESBERICHT**  
**2009**





## VORWORT

Sehr geehrte Damen und Herren, liebe Freunde des Fraunhofer FEP,

Sie halten den Jahresbericht des Fraunhofer-Instituts für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP in den Händen, in dem wir Sie wie jedes Jahr über die allgemeine Entwicklung des Instituts informieren wollen.

Das Fraunhofer FEP hat - trotz wirtschaftlich schwieriger Rahmenbedingungen - auch das Jahr 2009 positiv abgeschlossen. Unsere derzeit 121 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter haben bei einem Gesamtbudget von 12,3 Millionen Euro einen Industrieanteil von über 30 Prozent realisiert. Es ist gelungen, die Erträge aus öffentlicher Förderung gegenüber 2008 mehr als zu verdoppeln. Dementsprechend lag der Schwerpunkt unserer Aktivitäten 2009 im Bereich des Aufbaus neuer technologischer Felder und Labore, das heißt der Zukunftssicherung des Instituts. So wurde als besonders wichtiger Schritt eine biomedizinische Laboreinheit in Betrieb genommen, die es in Zukunft ermöglichen wird, Biofunktionalitätsprüfungen an biomedizinischen Geräten, Oberflächen und sogar Medien durchzuführen. Die Laboreinheit wird darüber hinaus eine wichtige Rolle bei der Entwicklung neuer Elektronenstrahl-Sterilisationsverfahren, wie zum Beispiel für die Verpackungstechnik, spielen.

Ein in der Welt einmaliges Clustertool wurde aufgebaut, das es erlaubt, Beschichtung, Elektronenstrahlstrukturierung und Elektronenstrahl-Modifizierung in Vakuumfolge ohne Unterbrechung durchzuführen. Geeignet für Substrate von bis zu 8 Zoll eröffnet das Werkzeug sehr universelle Möglichkeiten, zum Beispiel für Vortests von zukünftigen, komplexen Fertigungsabläufen der Solarfabrik 2020.

Im Bereich der Analytik wurde ein neues Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop (Hitachi SU 8000) in Betrieb genommen, das Aufnahmen mit Auflösungen im Nanometerbereich erlaubt. Zusammen mit einer speziellen neuen Probenpräparationstechnik werden damit sogar Untersuchungen möglich, wie sie sonst nur mit (sehr viel teureren) FIB/TEM Messkombinationen zugänglich sind.

In der Prozesstechnik haben wir 2009 als wichtige Beispiele grundlegende Untersuchungen zum Thema »HIPIMS« durchgeführt, um uns objektive Vergleiche zur konventionellen Pulssputtertechnik zu ermöglichen. Ein spezielles Pulssputterverfahren zum Abscheiden orientierter Aluminiumnitrid-Schichten mit besonders hohen piezoelektrischen Koeffizienten wurde für Anwendungen in der Ultraschall-Diagnostik qualifiziert.

Besonders erfreulich sind auch unsere technologischen Beiträge im Zusammenhang mit dem Erhalt wichtiger Kulturgüter: Wir konnten die Natur von Korrosionseffekten bei Edelmetallfäden in Gobelinvorhängen (Dresdner Schloss) aufklären und werden hier in Zukunft mit Plasmaverfahren zum Erhalt in Europa einmaliger Werke beitragen.

Durch Dozentenaustausch mit dem IIT Madras und Gastdoktoranden aus Brasilien und Argentinien wurde die Internationalisierung des Instituts weiter vorangetrieben. Mit Vorträgen und Ausstellungsbeiträgen bei der 52<sup>nd</sup> SVC, der V2009, der Semicon Europe und der 24<sup>th</sup> EU PVSEC, als wichtigste Highlights, waren wir bei internationalen Fachveranstaltungen präsent.

Im Rahmen des von der Fraunhofer Gesellschaft und dem Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst geförderten Projekts »Dresdner Innovationszentrum Energieeffizienz« konnten die Verbindungen zur Technischen Universität Dresden weiter ausgebaut werden. Dies betrifft einerseits Projekte mit dem Lehrstuhl für Halbleiterphysik (Prof. Weber), der den Aufbau unserer Dünnschicht-Solartechnologien unterstützt, andererseits mit dem Lehrstuhl für Verbrennung, Wärme- und Stoffübertragung (Prof. Beckmann), welcher Schichttechnik für effizientere Wärmetauscher entwickelt.

Besonders wichtig für die Zukunft ist der Aufbau des neuen Institutszentrums Bodenbacher Straße, mit den Fraunhofer FEP-Anteilen »Solarfabrik 2020« und »NanoHIP«, für die nun Baugelände bereitgestellt und wichtige Teile der Finanzierung definiert sind.

Im Rückblick auf das erfolgreiche Jahr sind wir uns bewusst, dass unser Erfolg zu einem wichtigen Teil unseren Auftraggebern aus der Industrie, unseren Fördermittelgebern, den Partnern in Forschungs- und Entwicklungsinstitutionen und unseren Förderern in der Politik zu verdanken ist. Wir sehen ihr Vertrauen als Teil des Lohns unserer Arbeit.

Genauso ist unser Erfolg das Ergebnis des hohen Einsatzes unserer engagierten und hochqualifizierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, denen an dieser Stelle ausdrücklich gedankt sei.

Wir blicken optimistisch auf das Jahr 2010, sind uns aber auch bewusst, dass erst 2010 die Probleme der Wirtschaft bei Fraunhofer ankommen werden. Hier hoffen wir, durch unsere ausgeprägte Industrienähe gut durch bewegte Zeiten zu kommen.

**1** *Institutsleiter  
Prof. Dr. Eberhard Schultheiß  
(rechts)  
und stellvertretender  
Institutsleiter Prof. Dr. Volker  
Kirchhoff (links) mit einer  
flexiblen Solarzelle.*

Prof. Dr. Eberhard Schultheiß

Prof. Dr. Volker Kirchhoff





## INHALTSVERZEICHNIS

### 01 - 63

|   |    |  |     |
|---|----|--|-----|
| Vorwort   | 1  | Rolle-zu-Rolle Herstellung von transparenten Hochbarrierefolien            | 43  |
| Inhaltsverzeichnis  | 3  | Biomedizinische Laboreinheit für die Medizintechnik                        | 45  |
| Unser Kuratorium  | 5  | Das Fraunhofer FEP – ein Mitglied der Forschungsallianz Kulturerbe (FALKE) | 47  |
| Das Institut  | 8  | Neues ultrahochauflösendes Feldemissionsraster-elektronenmikroskop         | 49  |
| Fraunhofer FEP im Profil  | 9  | Ionenpräparationstechnik für Querschnitte                                  | 51  |
| Organisationsstruktur   | 11 | <b>Highlights</b>  | 54  |
| Das Institut in Zahlen  | 13 | Die Fraunhofer Lounge entspannen, unterhalten, begegnen                    | 55  |
| Die Fraunhofer-Gesellschaft   | 16 | Fraunhofer sucht die Talente der Zukunft!                                  | 57  |
| Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces   | 17 | Lange Nacht der Wissenschaften 2009  | 58  |
| <b>Aus der Forschung</b>  | 20 | Wissensdurstige Juniordoktoren-Anwärter im Fraunhofer FEP                  | 59  |
| Aufdampfen und Kristallisieren von Si-Schichten mittels Elektronenstrahl    | 21 | Girls' Day 2009 – ein Zukunftstag für Mädchen im Fraunhofer FEP            | 60  |
| Kann HIPIMS mehr als konventionelles Puls-Magnetron-Sputtern?               | 25 | Grundlagenseminar »Reinigungstechnik – Reinigung in der Produktion«        | 61  |
| Magnetronsputtern von piezoelektrischen Aluminiumnitrid-Schichten           | 29 | Internationale Konferenzen, Symposien und Messen                           | 63  |
| APC-LIB – eine Reglerbibliothek für alle Fälle                              | 31 | <b>Annex</b>   | 132 |
| ESABEL – Neue Aktivitäten für die Markteinführung der e-ventus® Technologie | 33 | Namen, Daten und Ereignisse  | 133 |
| Elektronenstrahltechnik für die ultra-schnelle CT-Röntgenbildgebung         | 35 | Internationale Vertreter   | 139 |
| Erste industrielle Lösung für Magnetron-PECVD                               | 37 | Anfahrt  | 142 |
| Sputtern von neuartigen transparenten leitfähigen Oxiden (TCOs)             | 39 | <b>Impressum</b>   | 143 |
| Polymerfolien mit Anti-Reflexeigenschaften durch Plasmaätzen (POLAR)        | 41 |  |     |

## CONTENTS

### 67 - 129

|   |     |  |     |
|---|-----|--|-----|
| Foreword  | 67  | Roll-to-roll manufacture of transparent high-barrier films                       | 109 |
| Contents  | 70  | Biomedical laboratory unit for the development of medical products               | 111 |
| Our advisory board  | 71  | The Fraunhofer FEP – a member of the Cultural Heritage Research Alliance (FALKE) | 113 |
| The institute   | 74  | New ultra high-resolution field emission scanning electron microscope            | 115 |
| Profile of the Fraunhofer FEP   | 75  | Ion beam preparation system for cross-sections                                   | 117 |
| Organizational structure  | 77  | <b>Highlights</b>  | 120 |
| The institute in figures  | 79  | The Fraunhofer Lounge relaxation, entertainment, debate                          | 121 |
| The Fraunhofer-Gesellschaft   | 82  | Fraunhofer seeks the talent of the future!                                       | 123 |
| Fraunhofer Group Light & Surfaces   | 83  | Long Night of Science 2009   | 124 |
| <b>Research News</b>  | 86  | Knowledge-hungry junior doctoral candidates at the Fraunhofer FEP                | 125 |
| Deposition and crystallization of Si-layers using electron beam             | 87  | Girls' Day 2009 a day for girls at the Fraunhofer FEP                            | 126 |
| Is HIPIMS better than conventional pulse magnetron sputtering?              | 91  | Basic seminar cleaning technology in industrial production                       | 127 |
| Magnetron sputtering of piezoelectric aluminum nitride layers               | 95  | International conferences, symposia and fairs                                    | 129 |
| APC-LIB – a comprehensive controller library                                | 97  | <b>Annex</b>   | 132 |
| ESABEL – new activities for the market introduction of e-ventus® technology | 99  | Names, dates and events  | 133 |
| Electron beam technology for ultra-fast CT x-ray imaging                    | 101 | International representatives  | 139 |
| First industrial solution for magnetron PECVD                               | 103 | How to reach us  | 142 |
| Sputtering of novel transparent conducting oxides (TCOs)                    | 105 | <b>Editorial notes</b>   | 143 |
| Polymer films with anti-reflective properties via plasma etching (POLAR)    | 107 |  |     |





## UNSER KURATORIUM

Am 13. Mai 2009 fand die 20. Kuratoriumssitzung des Fraunhofer FEP statt.

In einer Schweigeminute wurde dem ehemaligen Kurator Herrn Dr. Siegfried Döttinger gedacht, der nach langer schwerer Krankheit im Mai 2008 verstorben war. Herr Dr. Döttinger gehörte dem Fraunhofer FEP Kuratorium seit 2001 an und hat in dieser Zeit die Entwicklung des Fraunhofer FEP mit hohem Engagement begleitet, wobei er seine umfassenden Erfahrungen aus seiner Tätigkeit als Forschungsleiter der Daimler Chrysler AG einbrachte.

Mit persönlichen Worten übergaben Herr Prof. Buller und Herr Dr. Engel den neuen Kuratoriumsmitgliedern, Herrn Prof. Funk, Herrn Prof. Eng, Herrn Dr. Osing, Herrn Dr. Michael, Herrn Dr. Stumpp und Herrn Schild ihre Berufungsurkunden. Herr Dr. Roth wurde als erstmaliger Gast im Kuratorium herzlich begrüßt. Herr Prof. Buller brachte seine Freude und Hoffnung zum

Ausdruck, dass gerade durch das Potential der neuen Kuratoren die begonnenen Veränderungen im Fraunhofer FEP belebt und erfolgreich weitergeführt werden können.

Im Bericht des Vorstandes der Fraunhofer-Gesellschaft informierte Herr Prof. Buller die Anwesenden über Neuigkeiten, die wirtschaftliche Situation und besondere Aktivitäten und Highlights in der Fraunhofer-Gesellschaft. Ausgangspunkt dabei waren die Aktivitäten zum Jubiläumsjahr 60 Jahre Fraunhofer-Gesellschaft.

Eine außerordentlich konstruktive Diskussion begleitete die Vorstellung der aktuellen Entwicklungen im Fraunhofer FEP. Dabei wurden wertvolle Hinweise und Anregungen durch die Kuratoren gegeben.

Unser Dank gilt allen Kuratoren, die durch ihr Engagement einen wesentlichen Anteil an der erfolgreichen Entwicklung des Instituts beigetragen haben.

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Dr. Ulrich Engel         | Kuratoriumsvorsitzender, Miba AG  |
| Prof. Dr. Gerald Gerlach | Technische Universität Dresden, Institut für Festkörperelektronik, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik, Institutsdirektor |
| Prof. Dr. Gert Heinrich  | Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V. Leiter des Teilinstituts Polymerwerkstoffe  |
| Dr. Heinz Hilgers        | Vorsitzender des VDI Fachbereiches »Nanotechnik«, Initiator und Gesamtleiter des Projektes »Nanofunk«                                 |
| Prof. Dr. Dieter Junkers | Corus Special Strip, ehem. Direktor Technologie Leiter der Forschung und Entwicklung  |

|                              |  |
|------------------------------|--|
| RegDir. Andreas Kletschke    | Bundesministerium für Bildung und Forschung  |
| MinR Peter Nothnagel         | Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit (SMWA), Referatsleiter Technologieförderung  |
| MinR Dr. Reinhard Zimmermann | Sächsisches Staatsministeriums für Wissenschaft und Kunst (SMWK), Referatsleiter Bund-, Länder- und geisteswissenschaftliche Forschungseinrichtungen |
| Prof. Dr. Ulrich Buller      | Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft   |
| Dr. Patrick Hoyer            | Fraunhofer-Gesellschaft  |
| Prof. Dr. Lukas Eng          | Technische Universität Dresden, Institut für Angewandte Photophysik  |
| Prof. Dr. Richard Funk       | Technische Universität Dresden, Medizinische Fakultät, Institut für Anatomie, Institutsdirektor  |
| Dr. Klaus Michael            | Applied Materials GmbH & Co. KG  |
| Dr. Jan Osing                | ALD Vacuum Technologies GmbH   |
| Dr. Dietmar Roth             | Roth & Rau AG  |
| Robin Schild                 | VON ARDENNE Anlagentechnik GmbH  |
| Dr. Hermann Stumpp           | LOI Thermprocess GmbH  |
| <b>Gäste</b>                 |  |
| Dr. Hans-Ulrich Wiese        | ehem. Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft   |





## DAS INSTITUT

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Fraunhofer FEP im Profil            | 9  |
| Organisationsstruktur               | 11 |
| Das Institut in Zahlen              | 13 |
| Die Fraunhofer-Gesellschaft         | 16 |
| Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces | 17 |





## FRAUNHOFER FEP IM PROFIL

Das Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP Dresden ist eines von 59 Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft. Es wurde nach der deutschen Wiedervereinigung aus Arbeitsgruppen des früheren Forschungsinstituts Manfred von Ardenne in Dresden gebildet. Wie damals werden auch heute im Fraunhofer FEP Technologien entwickelt, erprobt und bis zur Anwendungsreife in der Industrie vorangetrieben. Gemeinsam mit kompetenten Partnern werden dabei Verfahren und zugehörige Anlagentechnik entsprechend den aktuellen Fragestellungen für den Kunden bereitgestellt.

Ein wichtiges Hauptarbeitsgebiet des Fraunhofer FEP ist die Dünnschichttechnologie. Dazu gehört die Beschichtung von Platten, Bändern und Bauteilen aus unterschiedlichen Materialien mit verschiedenen dünnen Schichten oder Schichtsystemen. Viele Gegenstände unseres täglichen Lebens sind heute ohne angepasste Oberflächeneigenschaften nicht mehr vorstellbar. So werden Verpackungsfolien erst durch spezielle Barrierschichten aromadicht. Bleche, zum Beispiel für Fassadenverkleidungen, werden mit korrosionsbeständigen und dekorativen Schichten versehen. Durch das Aufbringen von lichtfilternden Mehrschichtsystemen auf konventionelle Materialien entstehen Sonnenschutzfolien und wärmedämmendes Architekturglas für umweltschonende Technologien. Darüber hinaus sind Spezialschichten für Displays, fälschungssichere Etiketten oder Spiegel, für das neu entstandene Dresdner Grüne Gewölbe, neben vielen anderen Produkten Ergebnisse einer anwendungsbezogenen Forschungsarbeit des Fraunhofer FEP. Für einen weltweiten Markt beschichten Anlagen riesige Flächen an Folie, Metall, Glas und Kunststoff. Das Fraunhofer FEP liefert hierzu spezielle Technologien und Pilotanlagen um

neue Anwendungen möglich zu machen und bestehende Prozesse zu optimieren.

Ein zweites Arbeitsfeld des Fraunhofer FEP ist die Elektronenstrahltechnologie. Der Elektronenstrahl wird eingesetzt, um Metalle zu schweißen, zu verdampfen oder in der Randschicht zu modifizieren. Er härtet Lacke, verbessert Eigenschaften von Kunststoffen, sterilisiert Medizinprodukte oder befreit Saatgut von Krankheitserregern. Für ein breites Spektrum von Anwendungen wird der Elektronenstrahl in einem großen Leistungsbereich als präzises Werkzeug eingesetzt. Viele dieser Entwicklungen stehen in enger Verbindung zu den Bereichen Elektrotechnik, Elektronik und Mikroelektronik. Innovative Produkte wie zum Beispiel Dünnschichtsolarzellen, Sensoren, mikroelektronische Bauelemente oder Datenträger werden vielfach mit Technologien aus dem Fraunhofer FEP hergestellt. Für derartige Forschungsaktivitäten ist in den letzten Jahren insbesondere die Kooperation mit sächsischen Hoch- und Fachschulen gewachsen.

Als industrienahes Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungszentrum hat sich das Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik zur Aufgabe gestellt, seinen Kunden innovative und maßgeschneiderte Problemlösungen auf dem Gebiet der Schicht- und Oberflächentechnik anzubieten. Solche Problemlösungen sind mitunter sehr komplex, sie beinhalten zum Beispiel neben der Auswahl eines funktionsoptimierten Schichtsystems unter anderem die Erarbeitung von geeigneten Reinigungs- und Vorbehandlungsmethoden für das Substrat.

Weitere Leistungen des Fraunhofer FEP sind die Entwicklung und Optimierung von Beschichtungsquelle und Beschichtungsprozess, deren Aufskalierung auf einen industriellen, an das Produkt angepassten Maßstab, sowie die Integration in eine geeignete Anlagentechnik und in bestehende Fertigungsverfahren. Die Kostenoptimierung des Gesamtsystems steht dabei an oberster Stelle. Zur Erarbeitung derartiger Lösungen erforscht und entwickelt das Institut unter Nutzung von dichten Plasmen und Elektronenstrahlen hoher Leistung immer wieder neue innovative Verfahren.

Entsprechend dem Querschnitts- und Schlüsselcharakter der Schicht- und Oberflächentechnik adressiert das Fraunhofer FEP mit seinen Arbeiten einen breiten Kundenkreis. Zu unseren wichtigsten Märkten gehören unter anderem die Branchen Bau, Verkehr, Informationstechnologie, Maschinenbau, Verpackungsindustrie, Pharmazie, Medizin, und erneuerbare Energien.

### Geschäftsfelder und Kernkompetenzen

Das Fraunhofer FEP ist zurzeit in folgenden Geschäftsfeldern tätig:

- ▶ Beschichtung von Flachsubstraten mit optischen Schichten und Schichtsystemen
- ▶ Beschichtung von flexiblen Produkten
- ▶ Beschichtung von Platten und metallischen Bändern
- ▶ Oberflächenbearbeitung und -behandlung mit dem Elektronenstrahl
- ▶ Beschichtung von Bauteilen und Werkzeugen
- ▶ Beschichtung von optischen, elektronischen und magnetischen Komponenten

Zur Bearbeitung werden geschäftsfeldübergreifend die drei Kernkompetenzen des Institutes genutzt:

- ▶ Elektronenstrahltechnologie
- ▶ Puls-Magnetron-Sputtern
- ▶ Plasma-aktivierte Hochratebedampfung

Als einen wesentlichen Bestandteil neuer Technologien sieht das Fraunhofer FEP die Entwicklung und Fertigung innovativer Schlüsselkomponenten für die Beschichtungstechnik, die dem Kunden zusammen mit einer entsprechenden Prozesstechnologie als so genannte »Technologiepakete« angeboten werden.

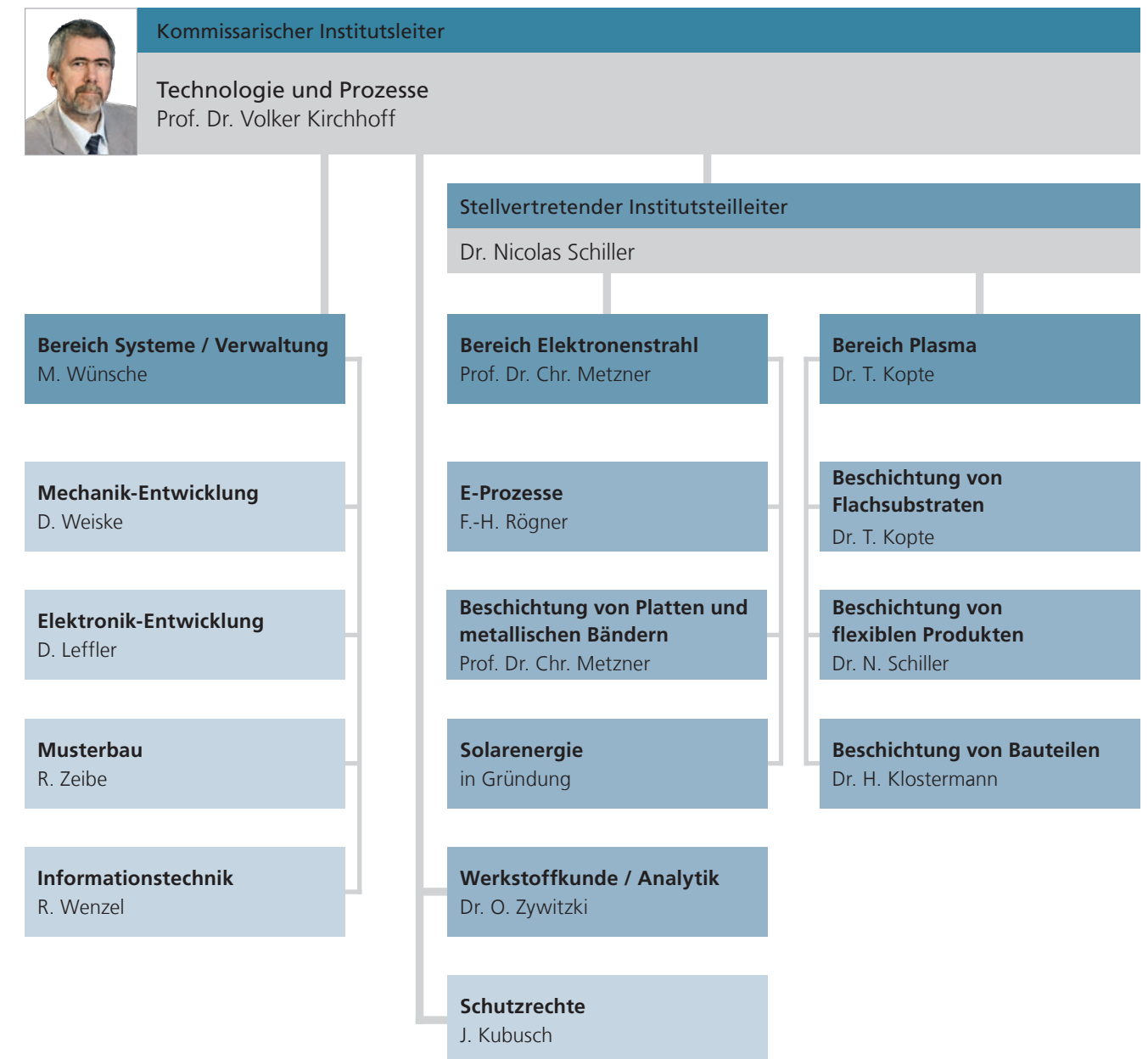
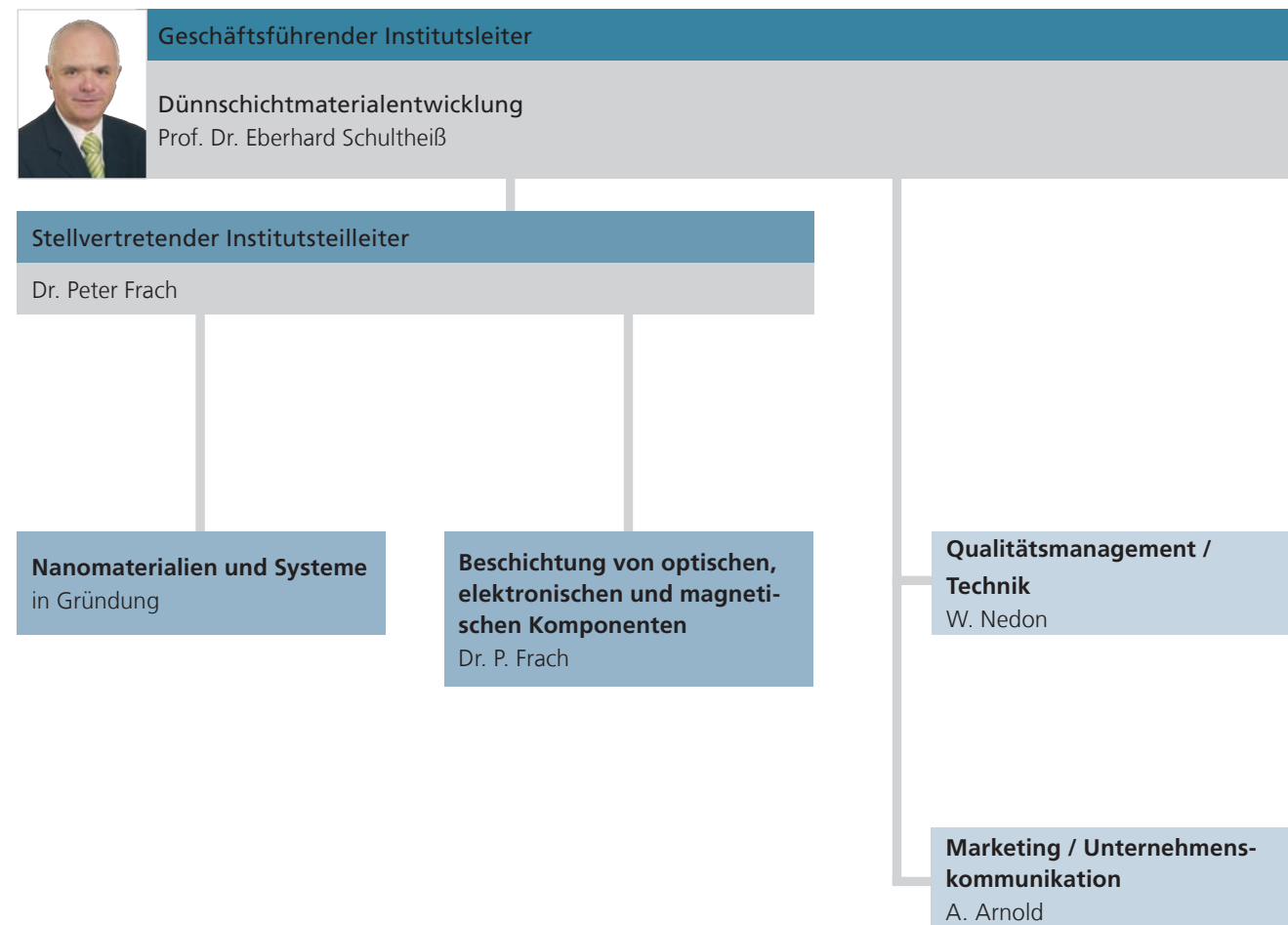
Im Berichtszeitraum beschäftigte das Institut 124 Mitarbeiter, 6 Auszubildende und 80 wissenschaftliche Hilfskräfte.

Das Institut verfügt derzeit über 7000 m<sup>2</sup> Laborfläche an zwei Standorten (Dresden und Helmsdorf). Zur Ausstattung gehören unter anderem zahlreiche industrienaher Anlagen zum Beschichten verschiedener Substrate mittels plasma-aktiverter Bedampfung, Puls-Magnetron-Sputtern und zum Schweißen, Härten sowie zur Oberflächenbehandlung mittels Elektronenstrahl. Des Weiteren stehen dem Institut zahlreiche Laboranlagen und Ausrüstungen zur Charakterisierung von Oberflächen zur Verfügung.

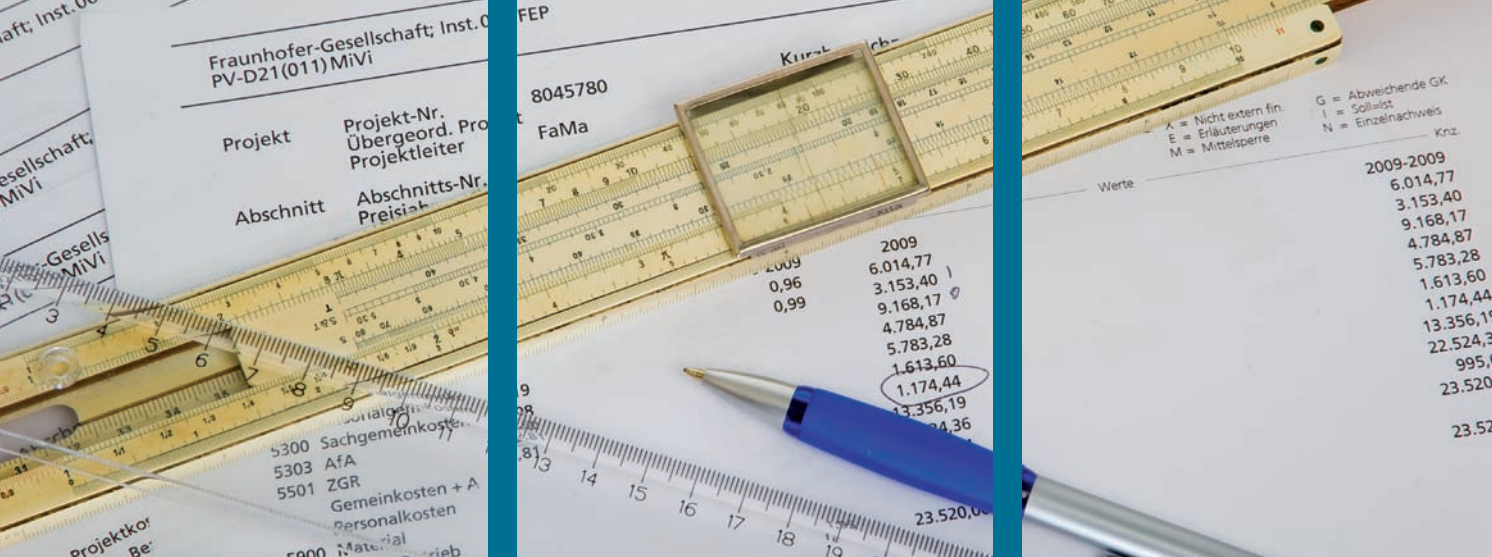
Somit verfügt das Fraunhofer FEP über die idealen Voraussetzungen, um Innovationen für seine Kunden nutzbar zu machen.



# ORGANISATIONSTRUKTUR







## DAS INSTITUT IN ZAHLEN

### Ertragsentwicklung

Auswirkungen der weltweiten wirtschaftlichen Situation erreichten im Berichtszeitraum auch das Fraunhofer FEP. So verzeichneten wir gegenüber dem Jahr 2008 einen Rückgang der Erträge im Bereich der Auftragsforschung mit der Wirtschaft. Dagegen konnten die ehrgeizigen Vorhaben, gemeinsam mit mittelständischen Unternehmen im Bereich der Vertragsforschung aus Bund und Ländern, dabei insbesondere mit dem Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK) und dem Sächsischen Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA), erfolgreich anlaufen und bereits für das Jahr 2010 eine solide Grundlage zur Erreichung der anspruchsvollen Ziele schaffen.

Im Berichtsjahr wurden folgende Erträge erzielt:

- ▶ Wirtschaftserträge (Auftragsforschung Wirtschaft) 3,6 Mio €
- ▶ Öffentliche Erträge (Vertragsforschung Bund) 1,1 Mio €
- ▶ Öffentliche Erträge (Vertragsforschung Länder) 2,7 Mio €
- ▶ EU-Erträge 0,1 Mio €
- ▶ Sonstige Erträge 1,1 Mio €

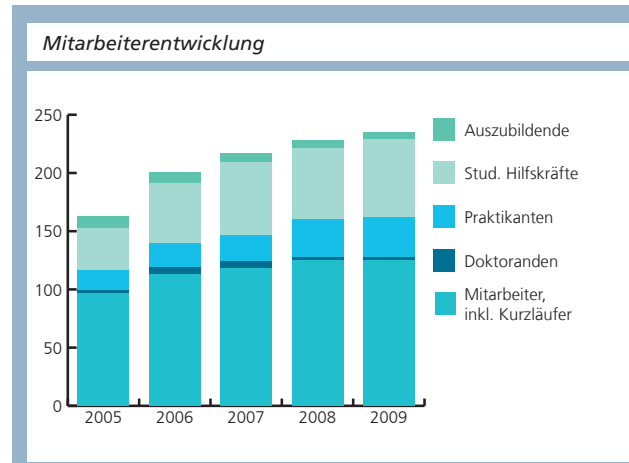
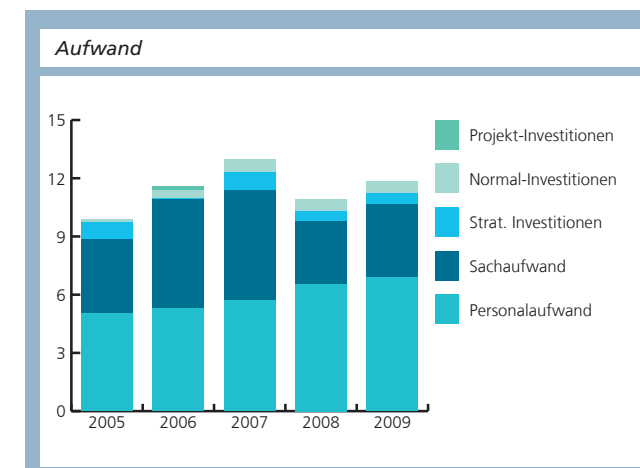
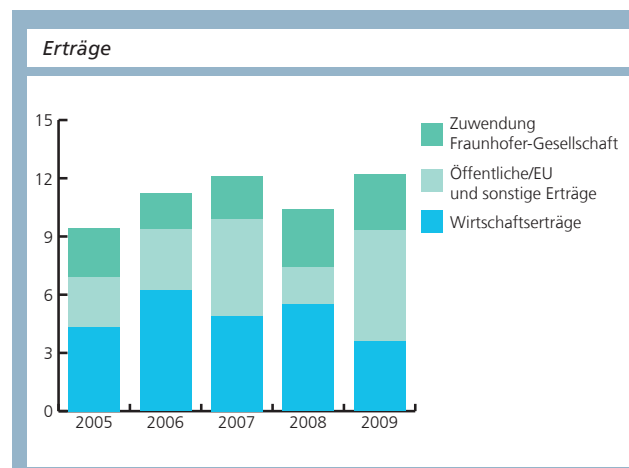
Durch die erzielten externen Erträge im Berichtsjahr konnte eine Eigenfinanzierungsquote von 75 Prozent erzielt werden. Die Personalaufwendungen erreichten 56 Prozent des Gesamtaufwandes. Dieser betrug 12,3 Millionen Euro. Im Berichtszeitraum wurden 0,9 Millionen Euro, davon 0,1 Millionen Euro als strategische Investitionen, in Gerätetechnik und Infrastruktur

investiert, die für die Realisierung der akquirierten Forschungsvorhaben notwendig waren. Dazu kamen zusätzliche Mittel des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) in Höhe von 5,6 Millionen Euro zur Etablierung einer neuen Basisprozess-technik.

### Mitarbeiterentwicklung

Im Jahr 2009 waren 124 Mitarbeiter, 6 Auszubildende und 80 wissenschaftliche Hilfskräfte im Institut tätig. Der vor 2 Jahren eingeschlagene Wachstumskurs konnte damit weitergeführt werden. Unser Hauptaugenmerk galt dabei der Suche nach hoch motivierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die im Rahmen der Forschungs- und Projektarbeiten des Instituts ihre Promotion erfolgreich verwirklichen.

Im Bereich des technischen Nachwuchses wurde auch weiterhin auf gezielte eigene Lehrausbildung zur Akquisition von neuen Mitarbeitern gesetzt. So befanden sich im Berichtszeitraum 3 Physiklaboranten, 1 Zerspanungsmechaniker, 1 Industriemechaniker und 1 Werkstoffprüferin in der Ausbildung. Allen an der Ausbildung unserer AZUBIS beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, sowie den kooperierenden Einrichtungen gilt unser besonderer Dank für die erbrachten Leistungen.



## KONTAKT

Matthias Wünsche  
 Telefon +49 351 2586-400  
 matthias.wuensche@fep.fraunhofer.de





## DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

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

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 59 Institute. 17 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,6 Milliarden Euro. Davon fallen 1,3 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Nur ein Drittel wird 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.

Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien 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. Studentinnen und Studenten 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), der als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich war.





## 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

### Kontakt

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

Verbundassistentin  
 Susan Oxfart  
 Telefon +49 3641 807-202

### 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.  
[www.iof.fraunhofer.de](http://www.iof.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP, Dresden

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

[www.fep.fraunhofer.de](http://www.fep.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen

Das Fraunhofer ILT zählt weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten im Bereich Laserentwicklung und Laseranwendung. Die Kernkompetenzen umfassen die Entwicklung neuer Laserstrahlquellen und -komponenten, Lasermess- und Prüftechnik sowie Laserfertigungstechnik. Hierzu zählen beispielsweise das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Lötten sowie das Oberflächenvergüten, die Mikrofertigung und das Rapid Prototyping. Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Prozessüberwachung und -regelung, Modellierung sowie der gesamten Systemtechnik. Unser Leistungsspektrum reicht von Machbarkeitsstudien über Verfahrensqualifizierungen bis hin zur kundenspezifischen Integration von Laserprozessen in die jeweilige Fertigungslinie.  
[www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST, Braunschweig

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

### Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Freiburg

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 Fraunhofer IPM an Materialien, Herstellungsprozessen und Systemen.  
[www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)

### 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.  
[www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)

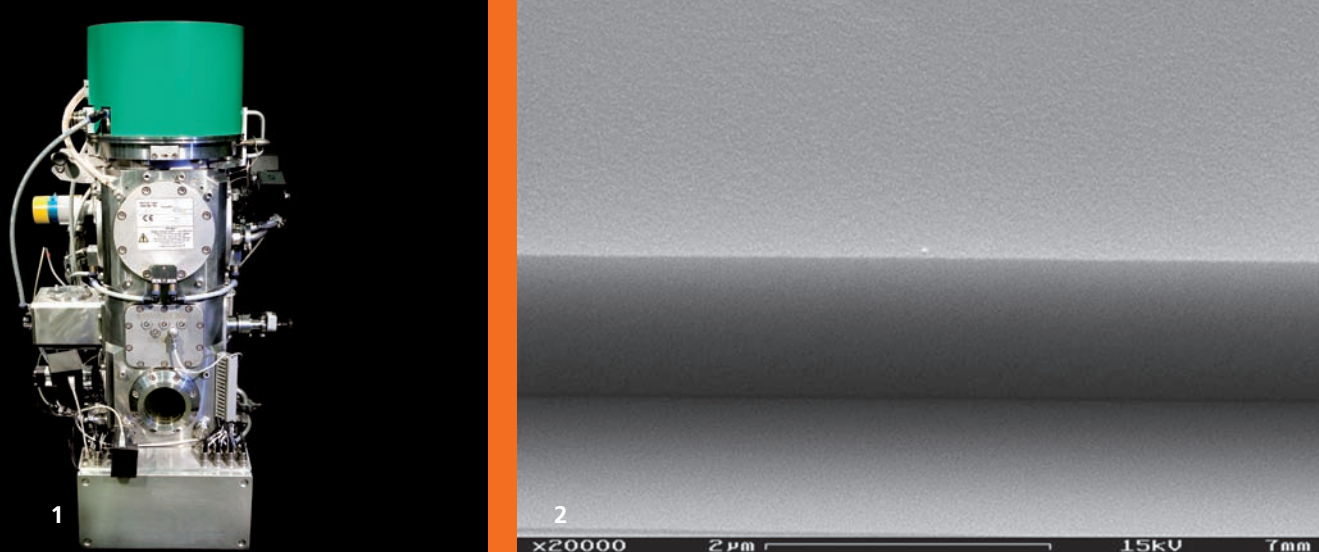




## AUS DER FORSCHUNG

|   |    |
|---|----|
| Aufdampfen und Kristallisieren von Si-Schichten mittels Elektronenstrahl    | 21 |
| Kann HIPIMS mehr als konventionelles Puls-Magnetron-Sputtern?               | 25 |
| Magnetronspalten von piezoelektrischen Aluminiumnitrid-Schichten            | 29 |
| APC-LIB – eine Reglerbibliothek für alle Fälle                              | 31 |
| ESABEL – Neue Aktivitäten für die Markteinführung der e-ventus® Technologie | 33 |
| Elektronenstrahltechnik für die ultra-schnelle CT-Röntgenbildgebung         | 35 |
| Erste industrielle Lösung für Magnetron-PECVD                               | 37 |
| Sputtern von neuartigen transparenten leitfähigen Oxiden (TCOs)             | 39 |
| Polymerfolien mit Anti-Reflexeigenschaften durch Plasmaätzen (POLAR)        | 41 |
| Rolle-zu-Rolle Herstellung von transparenten Hochbarrierefolien             | 43 |
| Biomedizinische Laboreinheit für die Medizintechnik                         | 45 |
| Das Fraunhofer FEP – ein Mitglied der Forschungsallianz Kulturerbe (FALKE)  | 47 |
| Neues ultrahochauflösendes Feldemissionsrasterelektronenmikroskop           | 49 |
| Ionenpräparationstechnik für Querschnitte                                   | 51 |





## AUFDAMPFEN UND KRISTALLISIEREN VON SI-SCHICHTEN MITTELS ELEKTRONENSTRAHL

Für zukünftige Silizium-Dünnschicht-Photovoltaikzellen wurde eine Hochrateabscheidung von amorphen Siliziumschichten entwickelt. Durch eine nachfolgende Kurzzeitbehandlung mit Elektronenstrahlen konnten in einem Durchlaufverfahren Silizium-Kristallite in der charakteristischen Abmessung der Schichtdicke gebildet werden.

In der Photovoltaik besteht ein großes Interesse an wirtschaftlichen und preisgünstigen Herstellungsmethoden zur Realisierung von Dünnschichtzellen. Die Nutzung von Silizium als Absorbermaterial ist hierbei ein vielversprechender Weg. Aktuell werden sowohl amorphe und kristalline aber auch Tandemzellen mit Siliziumschichten produziert. Sowohl beim Prozess einer effektiven Schichtabscheidung als auch bei einer Realisierung von kurzzeitigen Kristallisationsschritten kann die Elektronenstrahltechnik einen markanten Beitrag leisten. Mit den dargestellten Untersuchungen soll demonstriert werden, welche Ergebnisse im Fraunhofer FEP auf diesem Gebiet bisher erlangt wurden.

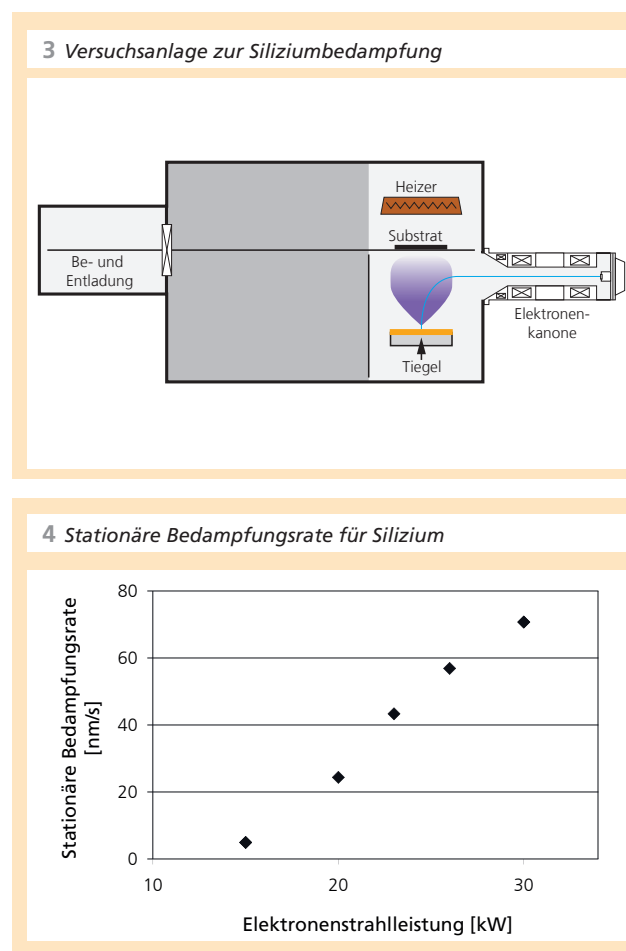
Die Verdampfung von Silizium erfolgte mit dem Elektronenstrahl einer Axialkanone (Beschleunigungsspannung 40 kV) aus einem wassergekühlten Kupfertiegel mit einem Durchmesser von 20 cm (3). An dieser Konfiguration ist bemerkenswert, dass bisher keine nachteiligen Verunreinigungen an Kupfer in den Siliziumschichten festgestellt wurden. Die Ursache besteht darin, dass durch geeignete Parameter die Verdampfung nur aus dem inneren Schmelzbadbereich erfolgte (Verdampfung von Silizium aus »Silizium-Tiegel«). In weitergehenden Arbeiten könnten bei Erfordernis auch andere Materialien für die Verdampfertiegel eingesetzt werden. Die Siliziumschichten wurden auf Borosilikatglas mit einer Größe von 10 x 10 cm<sup>2</sup> aufgebracht. Die Schichtdicken wurden im Bereich zwischen

3 ... 30 µm variiert (2), wobei stationäre Beschichtungsraten bis zu 70 nm/s realisiert wurden. Die Abhängigkeit der Beschichtungsrate von der angewendeten Elektronenstrahlleistung ist im Bild 4 dargestellt und zeigt eine nahezu lineare Abhängigkeit.

Für die Durchführung der Kristallisationsexperimente wurden die bedampften Glassubstrate in kleinere Stücke mit Größen von 50 x 25 mm<sup>2</sup> geteilt. Diese Proben wurden in der Versuchsanlage ELSA des Fraunhofer FEP ebenso mit einer Axialkanone thermisch behandelt. Im Bild 7 ist die Versuchsanordnung zur Realisierung der flächigen Bearbeitung mit einem scannenden Elektronenstrahl dargestellt. Für die Experimente, deren Ergebnisse nachfolgend aufgeführt werden, wurden generell folgende Parameter genutzt: 60 kV Beschleunigungsspannung und 660 Hz Ablenkfrequenz des Elektronenstrahls; 1 cm/s Substratgeschwindigkeit und 25 mm Bearbeitungsbreite auf den Substraten.

In den Experimenten wurde in jeweils separaten Versuchen durch die Erhöhung des angewendeten Strahlstroms die kurzzeitig in der Schicht aufgeprägte Maximaltemperatur gesteigert. Als wesentliche Untersuchungsmethode wurde die lichtmikroskopische Kontrolle der präparierten Gefügeschliffe angewendet. Bei der Schliffpräparation wurden vorhandene Kristallite durch die Anwendung der Secco-Ätze besonders herausgestellt.

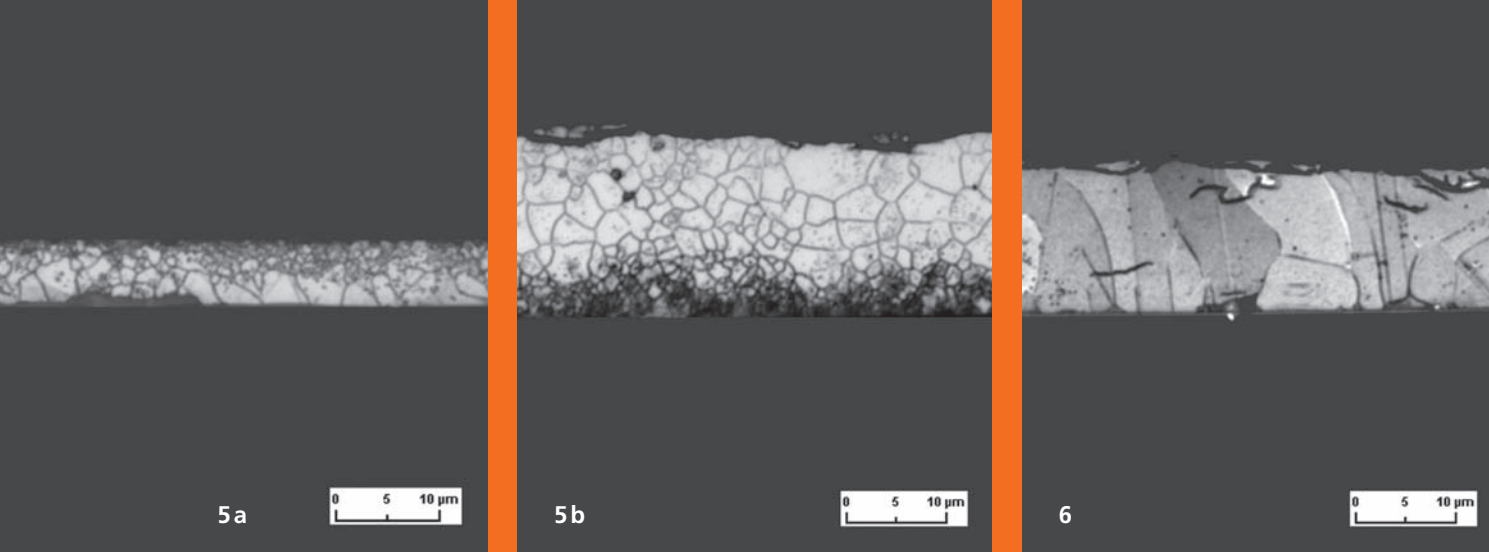
1 Elektronenkanone  
2 REM-Aufnahme einer aufgedampften amorphen Siliziumschicht



## KONTAKT

Dr. Jens-Peter HeiB  
Telefon +49 351 2586-244  
jens-peter.heinss@fep.fraunhofer.de





Für Maximaltemperaturen während der Elektronenstrahlbehandlung unterhalb der Schmelztemperatur konnte in den Schichten eine Festphasenkristallisation festgestellt werden. Die Bildung der Kristallite wurde mit Raman-Messungen nachgewiesen. Diese Kristallite mit Größen deutlich kleiner als  $1 \mu\text{m}$  entstanden bei Temperaturen unterhalb von  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  in einem Zeitintervall von weniger als 1 Sekunde.

Mit einer Erhöhung der Elektronenstrahlleistung und somit stärkerer Erwärmung der Siliziumschicht konnten signifikant größere Kristallite in den Schichten festgestellt werden (5a). Die größeren Kristallite mit Abmessungen von  $3 \dots 4 \mu\text{m}$  bildeten sich bei dieser Probe überwiegend an der Unterseite der  $6 \mu\text{m}$  dicken Siliziumschicht. Bei weiterer Erhöhung der Strahlleistung tritt ein länger anhaltendes Aufschmelzen der Schicht ein und das Silizium läuft zu großen tropfenförmigen Gebilden zusammen. Derartige Schichten sind nicht weiter verwendbar. Diese Tendenz zum Zusammenfließen stellt eine erste Limitierung für die anwendbare Leistungserhöhung dar, um Kristallite wie in Bild 5a gezeigt unmittelbar weiter zu vergrößern.

Ein anderes Erscheinungsbild zeigte sich bei der Kristallisation dickerer Siliziumschichten. Im Bild 5b ist ersichtlich, dass bei der dargestellten  $16 \mu\text{m}$  dicken Siliziumschicht die Kristallite im oberen und im mittleren Schichtbereich gebildet wurden. Die Erklärung für die lokale Ausbildung von Kristalliten kann durch die lokale Verteilung des Leistungsumsatzes der Elektronen im Festkörper gegeben werden. Bei der verwendeten Beschleunigungsspannung von  $60 \text{ kV}$  liegt dieses Leistungsmaximum bei Silizium in einer Tiefe von  $10 \mu\text{m}$ . Im Zusammenhang mit der Wärmeausbreitung ist verständlich, dass die untersten Schichtregionen der  $16 \mu\text{m}$ -Schicht nicht gleichermaßen wie die oberen erwärmt werden.

Aus Anlagenkapazitätsgründen wurden sämtliche dieser Experimente mit der einheitlichen Beschleunigungsspannung von  $60 \text{ kV}$  ausgeführt. Aus den dargestellten Ergebnissen leitet sich andererseits ab, dass der Parameter Beschleunigungsspan-

nung an eine vorgegebene Dicke einer zu kristallisierenden Schicht angepasst werden kann. Somit können die Kristallite homogen über die Schichthöhe ausgeprägt werden. In dieser Möglichkeit zur Optimierung der Elektronenstrahlparameter besteht ein interessanter Vorteil der vorgestellten Technik im Vergleich zur IR-Heizung oder zum Laserkristallisieren.

In weiteren Experimenten wurde die Energieverteilung des genutzten Elektronenstrahls mithilfe der elektro-magnetischen Fokussierspulen der Strahlquelle verbreitert. An derart behandelten Siliziumschichten konnten kristalline Strukturen nachgewiesen werden, die sehr kompakt sind und bei denen sich die Kristallite teilweise über die gesamte Schichthöhe von  $12 \mu\text{m}$  erstrecken (6). Die lokale Verbreiterung des Elektronenstrahls führte zu einer Verbreiterung des aufgeprägten Temperaturprofils. Somit wird nach Passieren des Strahlmaximums der jeweilige Schichtbereich länger nachgeheizt und die verfügbare Zeit zum Ausbilden der Kristallite länger ausgedehnt. Mit diesem Beispiel sollen weitere Einflussmöglichkeiten für zukünftige Optimierungen des Kristallisationsprozesses aufgezeigt werden.

Die demonstrierten Ergebnisse zum Aufdampfen von amorphen Siliziumschichten und der nachfolgenden Kurzzeit-Kristallisation demonstrieren für beide Prozessschritte ein hohes Innovationspotential hinsichtlich der weiteren technischen Ausgestaltung, aber auch hinsichtlich ihrer sehr wirtschaftlichen und großflächigen Prozessführung.

Fördergeldgeber: Innerhalb des Verbundprojektes »Neue PVD-Technologien zur hochproduktiven Abscheidung von Funktionsschichten für die Photovoltaik«, Nr. 11812/1864, gefördert durch das Sächsische Ministerium für Wirtschaft und Arbeit; Projektträger: Sächsische Aufbaubank; Projektpartner: VON ARDENNE Anlagentechnik GmbH

5 Lichtmikroskopaufnahmen der Strukturen von Siliziumschichten nach der thermischen Elektronenstrahlbehandlung

a)  $I_{EB} = 2,7 \text{ mA}$ ;

b)  $I_{EB} = 3,5 \text{ mA}$

6 Struktur einer Siliziumschicht nach der thermischen Elektronenstrahlbehandlung

( $I_{EB} = 5,2 \text{ mA}$ , Elektronenstrahl gezielt verbreitert)

Freistaat Sachsen  
Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit

SAB  
Sächsische Aufbaubank



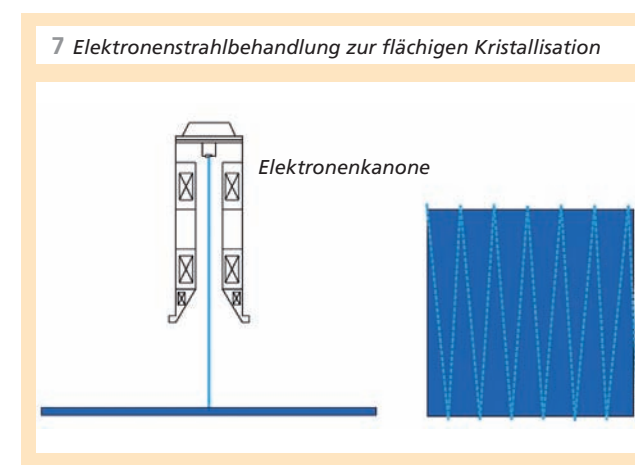
www.solarfabrik2020.de

## KONTAKT

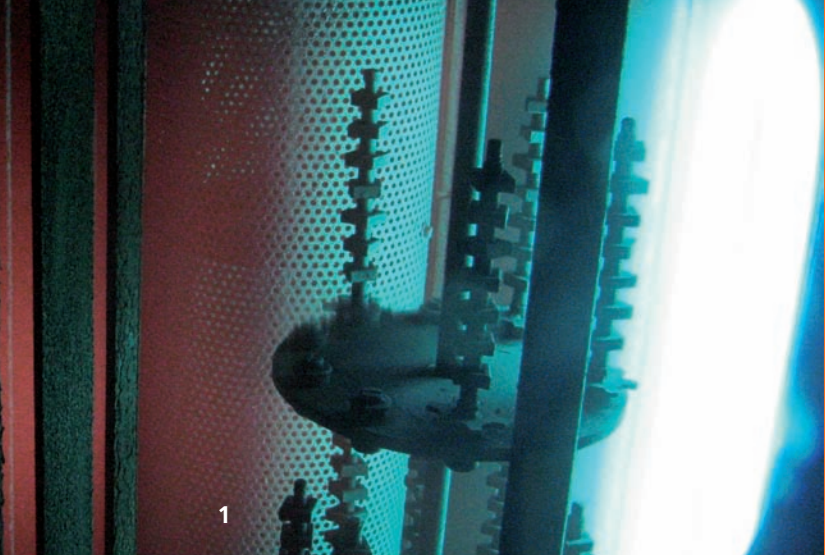
Dr. Jens-Peter HeiB

Telefon +49 351 2586-244

jens-peter.heinss@fep.fraunhofer.de







## KANN HIPIMS MEHR ALS KONVENTIONELLES PULS-MAGNETRON-SPUTTERN?

Ein detaillierter Vergleich dieser neuen vieldiskutierten Technologie mit dem am Fraunhofer FEP etablierten Mittelfrequenz-Pulssputtern sollte Aufschluss darüber bringen, inwieweit sie ihre Vorteile bezüglich der erreichbaren Schichteigenschaften auch in technologisch relevanten Applikationen ausspielen kann.

Seitdem vor gut 10 Jahren die Idee des Hochleistungs-Puls-Magnetron-sputterns (HPPMS oder HIPIMS) geboren wurde, ist in Wissenschaftlerkreisen ein zunehmendes Interesse zu beobachten, diese neue Technologie einzusetzen, umfassend zu erforschen und ihre Wirkmechanismen aufzuklären. Die Technologie hat in Sonderfällen eine gewisse technische Bedeutung erlangt, zum Beispiel in Form des »Highly Ionized Metal Sputtering« in der Mikroelektronik, das zur konformen Beschichtung von tiefen Gräben mit hohem Aspektverhältnis mit Metallen eingesetzt wird. Anwendungen auf großen Flächen hingegen stehen nach wie vor aus. Seitens der Industrie herrscht allerdings eine gewisse Abwartehaltung beim Einsatz vor, was die Übertragung der gewonnenen Grundlagen-Erkenntnisse in reale technologische Prozesse betrifft - woran liegt das?

Bei HIPIMS handelt es sich ebenso wie beim konventionellen Puls-Magnetron-Sputtern (PMS) um die pulsförmige Einspeisung von Energie in eine Magnetron-Entladung – allerdings mit weitaus höheren Leistungsdichten und daraus resultierend mit drastisch verringerten Werten für Puls-Pause-Verhältnis und Wiederholfrequenz. Typischerweise findet man beim konventionellen Puls-Magnetron-Sputtern Leistungsdichten während der Puls-on-Zeit zwischen 5 ... 50 W/cm<sup>2</sup> bei Puls-Pause-Verhältnissen um 1:1 und Wiederholfrequenzen zwischen 20 ... 200 kHz. Die entsprechenden Werte für HIPIMS betragen 0,5 ... 5,0 kW/cm<sup>2</sup>, 1:1000 und 50 ... 500 Hz (2).

Die hohe Leistungsdichte im Puls führt zu einem hohen Ionisierungsgrad der schichtbildenden Teilchen, wodurch die Abscheidung besonders dichter, glatter und homogener Schichten ermöglicht wird. Diesem prinzipiellen Anwendungsvorteil stehen jedoch eine Reihe von Nachteilen gegenüber, von denen besonders die drastisch verringerte Abscheiderate, sowie die deutlich höhere Neigung zu Bogenentladungen. Um am Fraunhofer FEP eine Wissensbasis zur Beurteilung dieser Technologie aufzubauen, wurde die leistungsfähigste auf dem Markt verfügbare HIPIMS-Stromversorgung, die TruePlasma HighPulse 4008 (20 kW DC, 2 kV / 4 kA Puls bei max. 500 Hz) der Firma Trumpf Hüttinger Elektronik unter verschiedensten Bedingungen (Beschichtungsanlage, Magnetrontyp, Targetmaterial, Druck, Gaszusammensetzung) mit konventionellen MF-Pulsstromversorgungen verglichen, wobei zum einen die Entladung selbst und zum anderen die abgeschiedenen Schichten bewertet wurden.

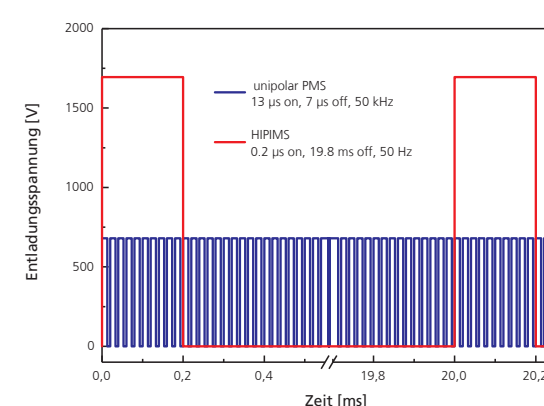
### ZrN-Schichten

Erste Untersuchungen erfolgten in der Batch-Beschichtungsanlage UNIVERSA mit 120 x 500 mm<sup>2</sup> Rechteckmagnetrons am System Zr-N. Als Stromversorgung kam neben dem HIPIMS-Generator ein spannungsgeführter Wechselrichter für Bipolar- und Unipolar-Puls-Betrieb der Firma MagPuls (60 kW DC, 1 kV / 1kA Puls bei max. 50 kHz) zum Einsatz. Die maximal erreichten Leistungsdichten im Puls lagen mit

etwa 0,5 kW/cm<sup>2</sup> beim HIPIMS-Generator um den Faktor 2 höher als beim Spannungswechselrichter, was auf die höhere treibende Spannung zurückzuführen ist. Begrenzende Faktoren für die erreichbare Leistungsdichte waren bei beiden Generatoren das Magnetron-Magnetfeld sowie das bei zu großen Pulsweiten einsetzende Arcing (Bogenentladung). Zur Beurteilung der erreichbaren Schichteigenschaften wurde ein bipolar gepulster Standard-Prozess (20 kHz, 100 W/cm<sup>2</sup> Puls) zur Abscheidung von ZrN-Verschleißschutzschichten mit einem HIPIMS-Prozess (500 Hz, 0,5 kW/cm<sup>2</sup> Puls) verglichen. Wie erwartet, war eine leichte Zunahme der Schichthärte und eine Verbesserung der Morphologie in Richtung dichter und glatterer Schichten zu beobachten (3a, b). Die leistungsbezogene Abscheiderate auf rotierenden Substraten sank bei der erreichten Leistungsdichte im HIPIMS-Modus nur

1 HIPIMS-Abscheidung von Cr-N

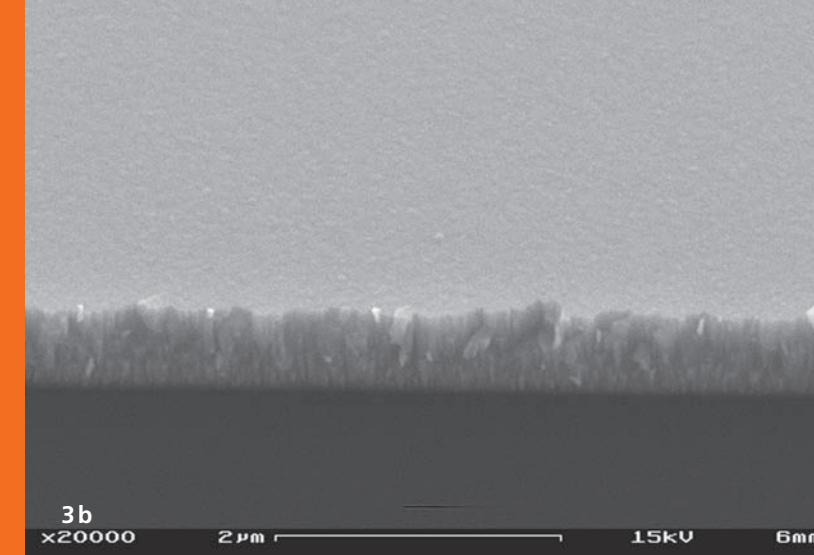
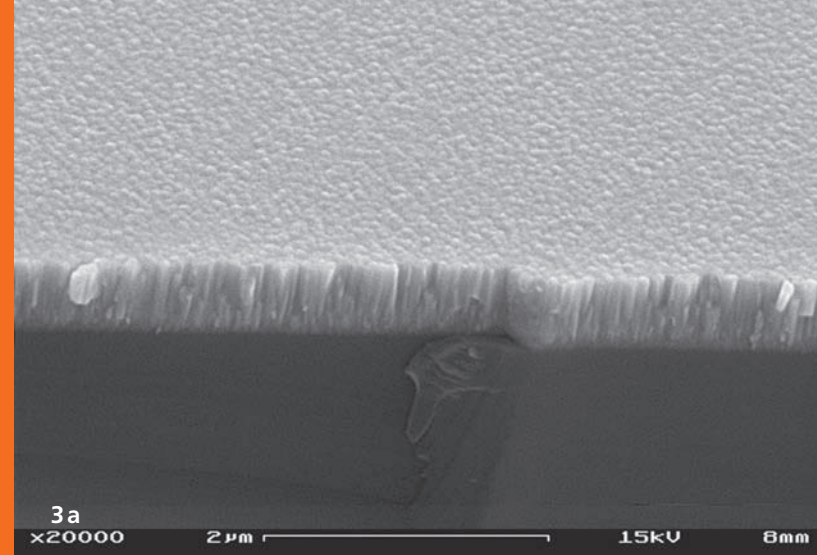
2 Prinzipieller Zeitverlauf der Entladungsspannung bei unipolarem PMS und bei HIPIMS



## KONTAKT

Christian Gottfried  
 Telefon +49 351 2586-371  
 christian.gottfried@fep.fraunhofer.de

Dr. Fred Fietzke  
 Telefon +49 351 2586-366  
 fred.fietzke@fep.fraunhofer.de



unwesentlich, jedoch stieg das Verunreinigungs-niveau in den Schichten aufgrund des kleineren duty cycles (Tastverhältnis) etwas an.

#### Ti- und TiO<sub>2</sub>-Schichten

Weiterführende Experimente mit dem HIPIMS-Generator »True Plasma« fanden unter Verwendung des Innentargets, der Doppel-Ring-Magnetron-Sputterquelle DRM 400, an der Anlage Cluster 300 statt. Neben anderen Materialien wurden vor allem vergleichende Untersuchungen mit einem Ti-Target mit und ohne Reaktivgas durchgeführt. Die DRM 400 besitzt bewegliche Magnetsysteme, so dass die Abhängigkeit des Energieeintrags im HIPIMS-Modus von der Magnetfeldstärke näher untersucht werden konnte. Dabei zeigte sich eine starke Abhängigkeit der erreichbaren Leistungsdichte auf dem Target von der Magnetfeldstärke beim Sputtern in reinem Argon (5).

Die maximale Leistungsdichte im Puls steigt auf dem Target von 2,4 kW/cm<sup>2</sup> auf 4 kW/cm<sup>2</sup> (Anstieg um 67 Prozent), wenn die Magnetfeldstärke lediglich um 15 Prozent erhöht wird. Für das Erreichen hoher Leistungsdichten sind daher starke Magnetfelder günstig. Die im HIPIMS-Modus erreichbaren Ti-Beschichtungs-raten betragen nur 10 ... 14 Prozent der Beschichtungsrate im Unipolar-Pulsmodus bei gleicher mittlerer Leistung (4). Weiterhin wurde festgestellt, dass die schicht-dickenbezogene thermische Substratbelastung (das heißt die

Temperaturerhöhung nach Abscheidung einer definierten Schichtdicke) vergleichbar mit derjenigen des PMS-Prozesses ist.

Folgende Erkenntnisse wurden beim reaktiven HIPIMS-Betrieb mit dem Ti-Target mit Sauerstoff gewonnen: Auch im HIPIMS-Modus ist eine Hysterese des reaktiven Prozesses feststellbar. Dies steht im Widerspruch zu anderen Veröffentlichungen. Der reaktive HIPIMS-Prozess ist mittels optischer Plasmaemissionsspektrometrie regelbar. Eine höhere Prozessstabilität wurde mit der Plasmaregel-einheit S-PCU des Fraunhofer FEP durch die Nutzung des Intensitätsverhältnisses von 2 Spektrallinien (Ti 500 nm; O<sub>2</sub> 777 nm) erreicht. Mit dieser Regelung ist es möglich, die Entladung in beliebigen reaktiven Arbeitspunkten zu stabilisieren und stöchiometrische TiO<sub>2</sub>-Schichten sowohl im Unipolar-Pulsmodus als auch im HIPIMS-Modus abzuscheiden.

Die maximal erreichbaren Beschichtungs-raten für stöchiometrisches TiO<sub>2</sub> betragen nur 5 ... 20 Prozent der vergleichbaren Raten im unipolaren Modus. Die im HIPIMS-Modus abgeschiedenen TiO<sub>2</sub> Schichten sind wesentlich feinkörniger, als die durch unipolar-PMS abgeschiedenen Schichten. Sie wachsen vom Substrat beginnend zunächst amorph und dann in der kristallinen Rutil-Modifikation auf. Ein ähnliches Verhalten wurde auch für im Bipolar-Pulsmodus oder im Pulspaket-Modus abgeschiedene TiO<sub>2</sub>-Schichten beobachtet.

Die im HIPIMS-Modus abgeschiedenen TiO<sub>2</sub>-Schichten weisen aber eine höhere Härte bis 20 GPa gegenüber max. 16 GPa bei denen im Pulspaket-Modus abgeschiedenen Schichten auf. Sie besitzen einen etwas höheren Brechungsindex (n) als die im Unipolar-Pulsmodus abgeschiedene Schichten.

#### Zusammenfassung

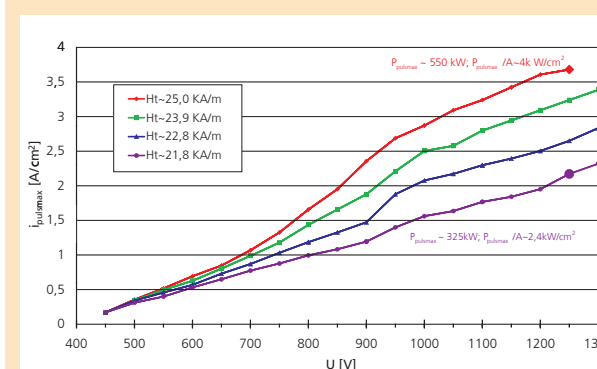
Die Untersuchungen an ZrN und TiO<sub>2</sub> haben gezeigt, dass HIPIMS eine Technologie mit Potenzial zur Erzielung von Schichteigenschaften ist, die mit anderen Sputterverfahren nicht erreicht wurden. Dazu zählen eine höhere Härte sowie ausgeprägte Feinkristallinität. Verfahrensnachteile sind insbesondere die mit zunehmender Leistungsdichte deutlich abnehmende Beschichtungsrate und Prozessstabilität. Bei dem gegenwärtigen Stand der HIPIMS-Stromversorgungen ist sinnvolle Prozessentwicklung im Labormaßstab möglich. Für die Weiterentwicklung der Technologie sind vor allem auch angepasste Magnetron-Sputterquellentypen mit hohem Magnetfeld erforderlich. Auf dieser Basis sollten die Potenziale des HIPIMS-Prozesses weiter untersucht werden, um konkrete Anwendungen zu erschließen.

- 2 HIPIMS-Abscheidung von Cr-N mit Plasma-Unterstützung
- 3 REM-Aufnahmen von ZrN-Schichten
  - a) abgeschieden mittels Bipolar-Pulsmodus
  - b) abgeschieden mittels HIPIMS

4 Zusammenstellung der Schichteigenschaften für unterschiedliche Pulsmodi und reaktive Arbeitspunkte bei TiO<sub>2</sub>-Abscheidung

| Modus    | Arbeitspunkt    | Schichtdicke [nm] | Rate [nm/min] | Härte [GPa] | n @ 550 nm | k @ 550 nm              |
|----------|-----------------|-------------------|---------------|-------------|------------|-------------------------|
| unipolar | stöchiometrisch | 560               | 110,0         | ~7,0        | 2,480      | < 10 <sup>-5</sup>      |
| HIPIMS   | unterstöchiom.  | 848               | 28,0          | 20,0        | 2,552      | 4,70 x 10 <sup>-3</sup> |
| HIPIMS   | voll reaktiv    | 180               | 6,0           | 16,5        | 2,514      | 4,20 x 10 <sup>-3</sup> |
| HIPIMS   | stöchiometrisch | 675               | 18,4          | 19,1        | 2,565      | 2,95 x 10 <sup>-3</sup> |

5 Maximale Entladungsstromdichte  $i_{\text{pulsmax}}$  im Puls für Ti-Target der DRM 400 in Abhängigkeit von der Entladungsspannung U bei unterschiedlichen Magnetfeldstärken ( $p = 1 \text{ Pa Ar}$ ,  $f = 12 \text{ Hz}$ ,  $t_{\text{on}} = 200 \mu\text{s}$ )

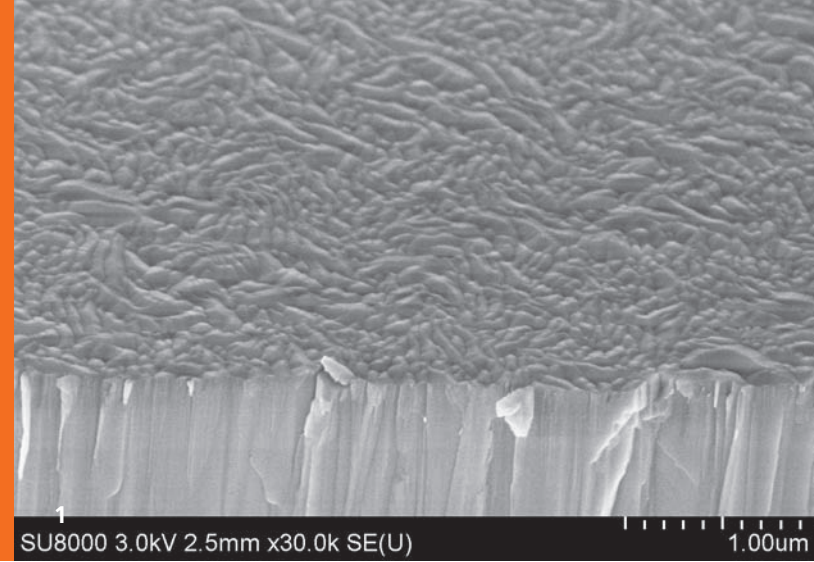


## KONTAKT

Christian Gottfried  
 Telefon +49 351 2586-371  
 christian.gottfried@fep.fraunhofer.de

Dr. Fred Fietzke  
 Telefon +49 351 2586-366  
 fred.fietzke@fep.fraunhofer.de





## MAGNETRONSPUTTERN VON PIEZOELEKTRISCHEN ALUMINIUMNITRID-SCHICHTEN

Piezoelektrische Materialien reagieren auf das Anliegen einer elektrischen Spannung mit einer Verformung oder umgekehrt auf das Einwirken einer Kraft mit einer Ladungstrennung. Anwendung finden diese Materialien in Aktorik und Sensorik, aber auch in der Mikro-Energiegewinnung (micro energy harvesting).

Das piezoelektrische Verhalten wird im einfachsten Fall durch die piezoelektrischen Koeffizienten  $d_{31}$  und  $d_{33}$  (Einheit pm/V oder pC/N) beschrieben, wobei  $d_{31}$  die Längenänderung quer und  $d_{33}$  die Längenänderung parallel zum angelegten elektrischen Feld beschreibt. Das gebräuchlichste piezoelektrische Material ist bisher Blei-Zirkonat-Titanat (PZT). Aufgrund des Bleigehaltes dieses Materials und weiterer Anforderungen, wie der Kompatibilität mit Mikroelektronik-Technologien, wird verstärkt nach Alternativen gesucht. Ein aussichtsreicher Kandidat ist Aluminiumnitrid (AlN), das aufgrund seiner Wurtzit-Kristallstruktur piezoelektrisch aktiv ist. Vielfach ist der Einsatz als dünne Schicht im Schichtdickenbereich 1 ... 40  $\mu\text{m}$  interessant. Daher eignet sich das Verfahren des reaktiven Magnetron-sputterns aufgrund hoher Beschichtungsraten besonders zur Abscheidung solcher Schichten.

In einem gemeinsamen Projekt mit dem Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP wurde am Fraunhofer FEP die Abscheidung von AlN-Schichten untersucht. Ziel ist die Nutzung zur Ultraschallerzeugung in phased array - Ultraschallwandlern, die durch zeitverzögerte Ansteuerung einzelner Schallwandler-Elemente ein elektronisches Schwenken oder Fokussieren des Schallstrahles ermöglichen. Die Schichtabscheidung erfolgte in einer stationären Beschichtungsanordnung mit einer Doppel-Ring-Magnetron (DRM) Sputterquelle. Diese erlaubt die homogene Schichtabscheidung auf Substraten mit

einem Durchmesser von 200 mm. Die Schichtabscheidung erfolgte durch Sputtern von einem Aluminiumtarget in einem Gemisch aus Argon und Stickstoff. Mittels gepulster Energieeinspeisung wurde die Langzeitstabilität dieses reaktiven Sputterprozesses gewährleistet. Die Schichtabscheidung erfolgte im Leistungsbereich von 6 ... 12 kW bei Raten zwischen 110 ... 200 nm/min auf ungeheizte Silizium-Substrate.

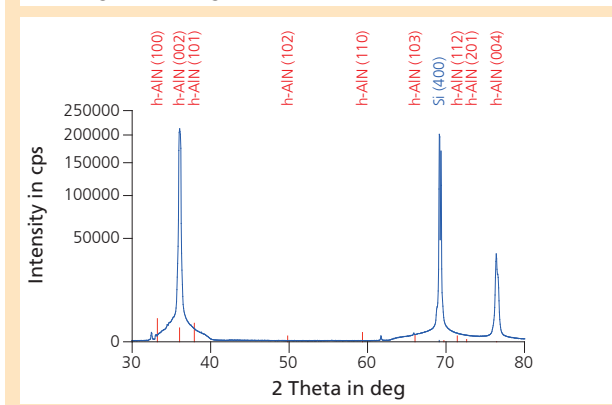
Es erfolgte eine Optimierung der Schichteigenschaften unter Nutzung der Prozessparameter Leistung, Druck, Pulsparameter und Stickstoff-Partialdruck. Ausgewählte Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt. Die Bewertung der Kristallstruktur erfolgte mittels Röntgenbeugung (XRD). Das in der Abbildung 2 dargestellte Röntgendiffraktogramm zeigt anhand der 002- und 004-Beugungsreflexe die einheitliche 001-Textur der AlN-Schichten, die der hexagonalen Wurtzitstruktur entspricht. Eine weitere Bewertung erfolgte mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM). Die in der REM-Aufnahme (1) dargestellte AlN-Schicht zeigt eine kompakte Schichtstruktur, eine Ausrichtung der Kristallite senkrecht zur Oberfläche und eine störungsfreie Oberflächenmorphologie. Weitere relevante Schichteigenschaften, insbesondere der piezoelektrische Koeffizient  $d_{33}$  sind in der Tabelle gegeben (3). Zusammenfassend weisen die Schichten eine nahezu perfekte 001-Textur, eine Dichte nahe am Bulk-Wert von AlN und einen sehr hohen piezoelektrischen Koeffizienten  $d_{33}$  auf, der deutlich über den aus der Literatur

bekanntenen Werten für AlN-Schichten liegt. Erste Tests zeigten eine gute Eignung der Schichten für die Ultraschallwandlung.

Das Projekt wurde vom Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK) über die Sächsische Aufbaubank (SAB) unter der Projektnummer 13555/2317 gefördert.

1 REM-Aufnahme einer AlN-Schicht

2 Röntgendiffraktogramm einer AlN-Schicht mit 001-Textur



3 Eigenschaften von AlN-Schichten

|  |                        |
|--|------------------------|
| Schichtdicke                           | 10 $\mu\text{m}$       |
| Beschichtungsrate                      | 115 nm/min             |
| Dichte                                 | 3,20 g/cm <sup>3</sup> |
| Mechanische Spannungen                 | -1,06 GPa              |
| Piezoelektrischer Koeffizient $d_{33}$ | 7,2 pm/V               |



## KONTAKT

Dr. Hagen Bartzsch  
 Telefon +49 351 2586-390  
 hagen.bartzsch@fep.fraunhofer.de

1

## APC-LIB – EINE REGLERBIBLIOTHEK FÜR ALLE FÄLLE

Das Fraunhofer FEP erarbeitet in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Technische Informationssysteme der TU Dresden, der Dresdner Firma AIS Automation GmbH und der Firma Roth & Rau AG im Rahmen eines Verbundprojektes eine Lösung zur Regelung von in-line Beschichtungsprozessen, auf Basis von APC-Regelungen.

Hierzu wurde in der Vergangenheit eine Software zur Messwerterfassung und APC-Regelung (Advanced Process Control) entwickelt. Bei dieser Entwicklung standen die Aspekte Erweiterbarkeit und Variabilität im Vordergrund. So wurde zur Datenablage ein neues innovatives Datenbank-Schema entwickelt, das dem oben genannten Aspekt, auf Grund seiner Möglichkeit sich adaptiv an die Gegebenheiten anzupassen, Rechnung trägt.

Ziel des aktuellen Projektes »APC-LIB« ist die Entwicklung einer universell einsetzbaren Reglerbibliothek für Beschichtungsprozesse, die bei der Herstellung photovoltaischer Elemente zum Einsatz kommen. Mit dieser Bibliothek wird die Möglichkeit geschaffen, APC-Regler nach dem Baukastenprinzip aus einzelnen Reglerkomponenten wie zum Beispiel PID-Reglern oder modellbasierten prädiktiven (Vorhersage-) Reglern, sogenannten Predictoren, zu generieren. Die hierfür benötigten Prozessmodelle wurden vom Fraunhofer FEP in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern durch umfangreiche Experimente an den in-line Beschichtungsanlagen »MAXI« und »ILA 900« ermittelt. Dabei konnte das auf diesem Gebiet vorhandene Expertenwissen des Fraunhofer FEP zielgerichtet eingesetzt und erweitert werden. An der in-line Beschichtungsanlage für Platten und metallische Bänder »MAXI« stand die plasmaaktivierte Beschichtung von  $\text{SiO}_2$  auf Stahlband im Vordergrund (1). Dieses Schichtsystem spielt zum Beispiel für

Isolations- und Barrierschichten für die Dünnschichtphotovoltaik auf Metallbändern eine große Rolle. An der vertikalen in-line Sputteranlage »ILA 900« wurde das Sputtern von TCO Schichten (transparenten leitfähigen Deckschichten als Frontkontakt für die Photovoltaik) untersucht.

Eine weitere Aufgabe des Fraunhofer FEP besteht in der Validierung der von den Projektpartnern implementierten Regelungsalgorithmen an unseren Anlagen. Auch hier konnten große Fortschritte erzielt werden. So wurde ein Prototyp eines Schichtdickenreglers für den Beschichtungsprozess »Titan auf Stahlband« erfolgreich an der Anlage MAXI getestet (2). Um die große Totzeit im Prozess zu kompensieren, wurde dieser Regler auf Basis eines Smith-Predictors implementiert. Die Ergebnisse der Validierung wurden bereits auf mehreren internationalen Konferenzen vorgestellt<sup>[1, 2]</sup>. Damit konnten die ersten Fundamente für die als Projektergebnis avisierte Reglerbaukastenbibliothek gelegt werden. Aktuell wurde aus den bisher gewonnenen Prozesskenntnissen, identifizierten Prozessmodellen und Ergebnissen der Prototyp-Validierung ein Konzept für die Bibliothek erstellt, welches in den nun folgenden Projektschritten von den Projektpartnern umgesetzt wird, sodass das Projekt Ende 2010 erfolgreich abgeschlossen werden kann. Das Verbundprojekt wird im Rahmen der sächsischen Initiative »Solarfabrik 2020« durch das Sächsische Staatsministerium für

Wirtschaft und Arbeit (SMWA) unter der Projekträgerschaft der Sächsischen Aufbaubank GmbH (SAB) unter der Projektnummer 12674/2098 gefördert.

### Literaturstellen:

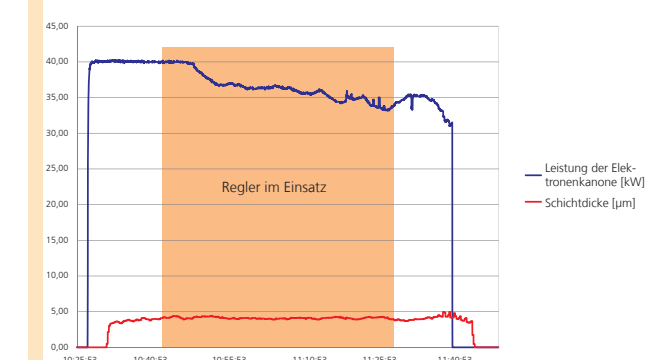
<sup>[1]</sup> H. Kubin, T. Unkelbach, M. Benesch, F.-H. Rögner, A. Dementjev, K. Kabitzsch and Chr. Metzner;

*Identification of process models and controller design for vacuum coating processes with a long dead time using an identification tool with advisory support; In: ETFA 2009. Proceedings of the 14<sup>th</sup> IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. – Mallorca, September 2009.*

<sup>[2]</sup> H. Kubin, M. Benesch, A. Dementjev, K. Kabitzsch, T. Unkelbach, R. Nyderle and Chr. Metzner;

*ADM - process identification tool for experts and technologists; In: IECON 2009. Proceedings of the 35<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – Porto, Portugal 2009.*

### 2 Ergebnisse des Schichtdickenreglers in der Versuchsanlage MAXI



1 Plasmaaktivierte Beschichtung von  $\text{SiO}_2$  auf Stahlband an der in-line Beschichtungsanlage MAXI

Freistaat Sachsen  
Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit

SAB  
Sächsische Aufbaubank



www.solarfabrik2020.de

## KONTAKT

Thomas Unkelbach  
Telefon +49 351 2586-246  
thomas.unkelbach@fep.fraunhofer.de





## ESABEL – NEUE AKTIVITÄTEN FÜR DIE MARKT-EINFÜHRUNG DER e<sup>-</sup>VENTUS® TECHNOLOGIE

Seit etwa 10 Jahren wird die umweltfreundliche Elektronenbehandlung von Saatgut zur Reduzierung von Krankheitserregern und damit zur Verbesserung der Keimfähigkeit im Pilotmaßstab getestet und dabei wertvolle Erkenntnisse gewonnen. Jetzt ist es an der Zeit, eine Markteinführung verstärkt voranzutreiben.

Zusammen mit der damaligen Schmidt-Seeger AG wurde, basierend auf Forschungsergebnissen des Fraunhofer FEP, vor etwa 10 Jahren die umweltfreundliche Technologie zur Saatgutbehandlung mit beschleunigten Elektronen e<sup>-</sup>ventus® entwickelt, um in industriellen landwirtschaftlichen Dimensionen wirksam werden zu können. Das Ergebnis ist eine mobile Schüttgutbehandlungsanlage WESENITZ 2, die mit einem hohen maximalen Durchsatz von 30 t/h Saatgut behandeln kann. Die technologische Grundlage ist dabei die gleichmäßige und allseitige Beaufschlagung jedes einzelnen Samenkorns mit einer für Krankheitserreger letalen Energiedosis auf der Samenoberfläche sowie eine Tiefenwirkung in der Größenordnung der Samenschalendicke, ohne dabei jedoch den Embryo im Inneren der Samen negativ zu beeinflussen. Die Behandlung erfolgt dabei an Luft im kontinuierlichen Schüttgutstrom und lässt sich daher unkompliziert in die vorhandene Logistik der landwirtschaftlichen Saatgutaufbereitung eingliedern.

Die Vorteile der e<sup>-</sup>ventus® Technologie liegen insbesondere in der Substitution von chemischen Beizmitteln, der damit verbundenen verringerten Bodenbelastung, einer verbesserten Drillfähigkeit des Saatgutes und dem Schutz der Mitarbeiter vor schädlichen oder belastenden Stäuben.

In den vergangenen Jahren erfolgte eine intensive Praxiserprobung der Technologie im Pilotmaßstab vorwiegend

in Sachsen, jedoch punktuell auch in einigen europäischen Staaten. Dabei muss man beachten, dass in diesem Bereich relevante Praxisergebnisse erst nach vielen Jahren Einsatz-erfahrung erreicht werden können. Hintergrund sind hier die natürlichen Schwankungen des produzierten Saatgutmaterials, der Verbreitung und Intensität von Krankheitserregern sowie der Witterung, um nur einige Hauptfaktoren zu nennen. Auf diese Weise konnte in den letzten Jahren in Zusammenarbeit mit Saatgutaufbereitungsfirmen, Landwirten und dem Julius-Kühn-Institut der Wirkungsnachweis für die wichtigsten Getreidesorten und für Feimsämereien erzielt werden, sowie – als großer Erfolg – die Zulassung für den Bio-Landbau erwirkt werden.

Anfang 2009 hat sich der langjährige Entwicklungspartner, die Schmidt-Seeger GmbH, aus dem gemeinsamen Projekt zurückgezogen und sowohl den Anteil an der gemeinsamen Anlage WESENITZ 2 als auch an Technologie und Know-how der zu diesem Zweck gegründeten Firma EVONTA-Service GmbH verkauft, um die Marktbearbeitung zusammen mit dem Fraunhofer FEP nahtlos fortzusetzen.

Seit dem letzten Jahr gibt es vermehrt positive Anzeichen für einen erfolgreichen Markteintritt dieser Technologie. Insbesondere zunehmende Verbote von chemischen Beizmitteln innerhalb der EU sowie wachsende Probleme mit

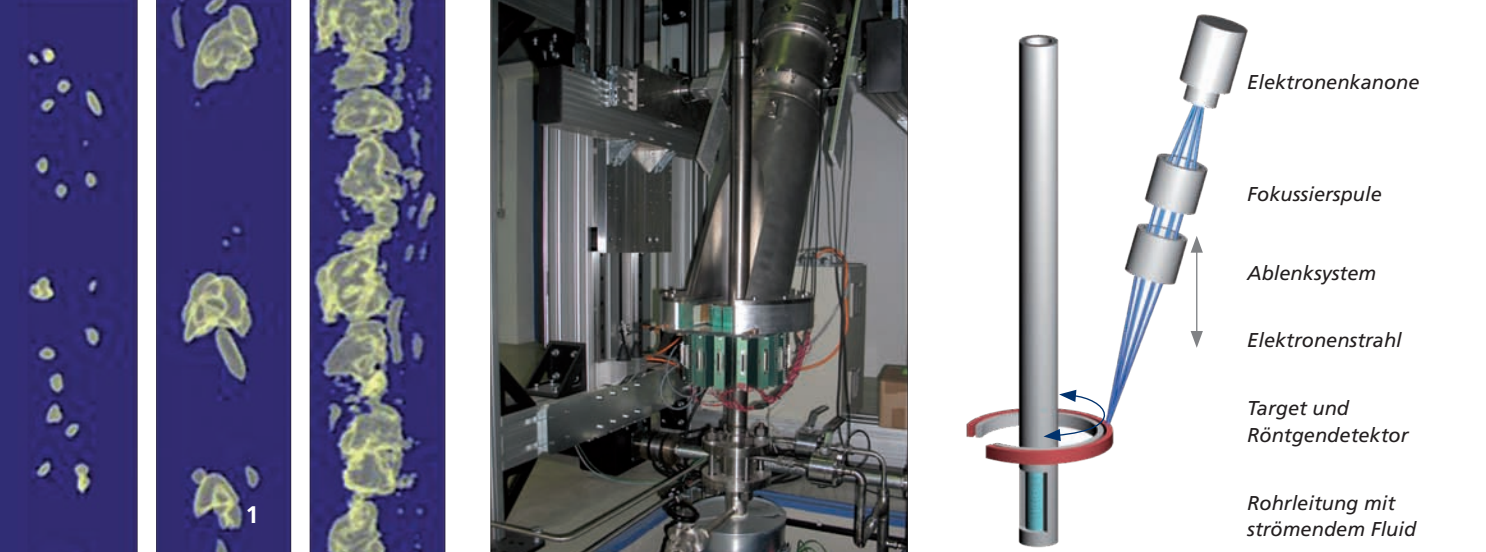
Saatgutkrankheiten im Bio-Landbau erhöhen den Bedarf an umweltfreundlichen Alternativen wie der e<sup>-</sup>ventus® Technologie.

Mit Unterstützung der Venture-Gruppe der Fraunhofer-Gesellschaft laufen deshalb innerhalb des FFE-Projektes »ESABEL« (FFE – Fraunhofer fördert Existenzgründungen) Vorarbeiten für eine Ausgründung mit Fraunhofer-Beteiligung. Dabei spielt nicht nur eine groß angelegte Befragung des deutschen Marktes eine Rolle sondern auch die Eruiierung der Möglichkeiten in Massenmärkten, wie zum Beispiel China. Im Ergebnis einer Akquisitionsreise des Fraunhofer FEP durch vier östliche chinesische Provinzen hat am 11.11.2009 der Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger, ein »Memorandum of Understanding« zur Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Saatgutbehandlung mit der unterzeichnet.

## KONTAKT

Frank-Holm Rögner  
Telefon +49 351 2586-242  
frank-holm.roegner@fep.fraunhofer.de





## ELEKTRONENSTRAHLTECHNIK FÜR DIE ULTRA-SCHNELLE CT-RÖNTGENBILDGEBUNG

In der medizinischen Diagnostik wie auch zur Quantifizierung und Überwachung von Stoff- und Güterströmen in der verarbeitenden Industrie und in der Sicherheitstechnik wächst der Bedarf an schnellen, räumlichen Bildgebungsverfahren. Die Elektronenstrahltechnik kann hier wertvolle Beiträge leisten.

Zur Untersuchung von Strukturen oder Prozessen im Inneren opaker Objekte ist die Röntgentechnik unverzichtbar. Insbesondere der Bedarf an schneller, hochauflösender und räumlicher Bildgebung steigt in vielen Bereichen der Medizin, Industrie und Forschung stetig an.

So gibt es in der chemischen Verfahrenstechnik, der Erdölförderung, der Landwirtschaft und der Kerntechnik ein starkes Interesse an der Untersuchung, Visualisierung und Quantifizierung mehrphasiger und hochdynamischer Stoffströme durch Rohrleitungen, Reaktoren oder Wärmetauscher. Ein besseres Verständnis der Strömungsmuster, des Mischungsverhaltens oder transients Ereignisse soll dabei in eine optimierte Führung von Reaktanden, erhöhten Wärmeaustausch, reduzierte Schwingungsneigung oder in die Entwicklung angepasster Messeinrichtungen für Durchsatz, Zusammensetzung und Fremdkörpererkennung umgesetzt werden.

Die Röntgen-Computertomographie (CT) bietet sich dazu prinzipiell als Werkzeug an. Bisher für medizinische Zwecke entwickelte Geräte mit rotierender Röntgenquelle sind jedoch wegen ihrer mechanischen Trägheit für technische Anwendungen oftmals viel zu langsam.

Dieses Defizit manifestiert sich aber auch in der medizinischen Diagnostik, denn dynamische Prozesse (Herzschlag, Atmung, Peristaltik, etc.) oder aperiodische Vorgänge (Arrhythmien, stimulierte Reizantworten, Verhalten von Implantaten, etc.) können bisher nur unzureichend erfasst und dargestellt werden.

Im Verbund mit weiteren Forschungseinrichtungen hat das Fraunhofer FEP in den vergangenen Jahren mehrere Projekte bearbeitet, um eine leistungsfähigere Technik für beide Anwendungsbereiche zu entwickeln, die auf schnell gescannten Elektronenstrahlen hoher Leistungsdichte basiert.

So wurde in Kooperation mit dem Institut für Sicherheitsforschung des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf (FZD) in den Jahren 2006 - 2008 ein ultra-schneller Elektronenstrahl Röntgen-Scanner für die Tomographie von Zwei-Phasen-Strömungen in Rohrleitungen realisiert. Die Elektronenquelle des Strahlers arbeitet bei 150 kV Beschleunigungsspannung und konzentriert eine Leistung von 10 kW in einen Spot von 1 mm Durchmesser, der dann mit bis zu 10 kHz Umlauffrequenz über ein Wolfram-Target geführt wird. Der Detektor besteht aus 240, rund um die Messebene und annähernd koplanar zur Bahn des Elektronenstrahls, angeordneten CZT Kristallen. Diese können mit einer Datenerfassungsrate von 1 MS/s simultan ausgelesen werden. Dieses Gerät ermöglicht es, bis zu 15.000 tomographische Schnittbilder pro Sekunde bei 1 mm Ortsauflösung aufzuzeichnen<sup>[1]</sup>.

Im Berichtszeitraum wurde nun, gefördert durch den Europäischen Fond für regionale Entwicklung (EFRE), ein zweiter, verbesserter Elektronenstrahlscanner für FZD realisiert, der gegenwärtig in Betrieb genommen wird.

Ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt zur Optimierung der Röntgen CT für die medizinische Diagnostik zielt darauf, die mit der Untersuchung verbundene Belastung des Patienten durch ionisierende Strahlung zu verringern. Um mit möglichst geringen Röntgendosen eine adäquate Bildgebung zu erreichen, werden im Helmholtz-Zentrum München / Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (HMGU) innovative CT-Geometrien und leistungsfähigere Rekonstruktions-Algorithmen entwickelt<sup>[2]</sup>.

Im Rahmen des Projektes »Neue Konzepte für die dreidimensionale Röntgenbildgebung« (BMBF FKZ 031518) hat das Fraunhofer FEP im Berichtsjahr einen Niederenergie-Elektronenstrahl-Scanner für HMGU bereitgestellt. Dieser Strahler arbeitet bei 20 ... 40 kV Beschleunigungsspannung und liefert einen Strom  $\leq 200$  mA. Ein spezielles Röntgentarget lässt sich in einfacher Weise mit verschiedenen Materialien (wie Wolfram, Molybdän oder Kupfer) bestücken. Die somit variabel einstellbare Flusssdichte und spektrale Energieverteilung der erzeugten Röntgenquanten ermöglicht die verbesserte Differenzierung weicher Körpergewebe und pathologischer Einlagerungen. Das Gerät ist auf 1.000 Querschnittsaufnahmen pro Sekunde ausgelegt und mit Einrichtungen zur Reduzierung der Dosisbelastung des Prüflings während des Messprozesses ausgestattet. Leitvision ist sein perspektivischer Einsatz in der Mammographie.

### Referenzen:

- <sup>[1]</sup> Fischer F; Hoppe D, Schleicher E, Mattausch G, Flaske H, Bartel R, Hampel U (2008); *An ultra fast electron beam x-ray tomography scanner. Measurement Science and Technology* 19: 094002
- <sup>[2]</sup> Tischenko O, Xu Y, Hoeschen C (2010) *Main features of the tomographic reconstruction algorithm OPED. Radiat Prot Dosimetry (t.b.p.)*

1 Funktionsprinzip der CT-Röntgenbildgebung unter Nutzung eines schnell abgelenkten Elektronenstrahls (rechts); Target- und Detektor-Sektion des Röntgenscanners, angeordnet um eine Rohrleitung (Mitte); 3D-Visualisierung von Blasen in einem schnell strömenden Wasser-Luft-Gemisch (links)

(Quelle: FZD - Institut für Sicherheitsforschung)

2 Elektronenstrahl-Röntgenscanner »ROFEX-2«

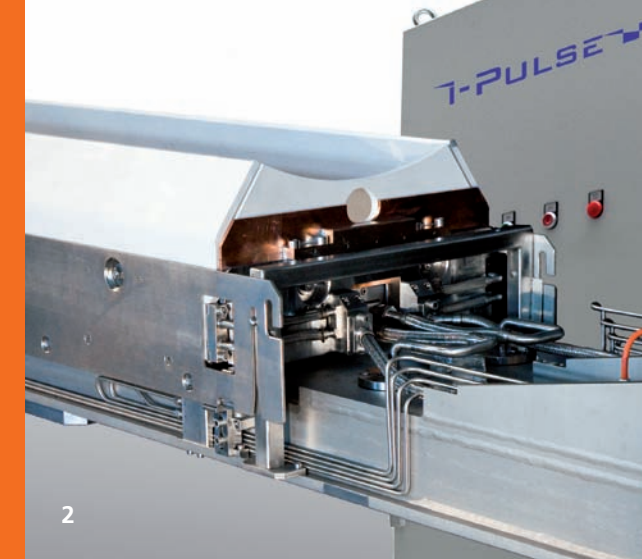
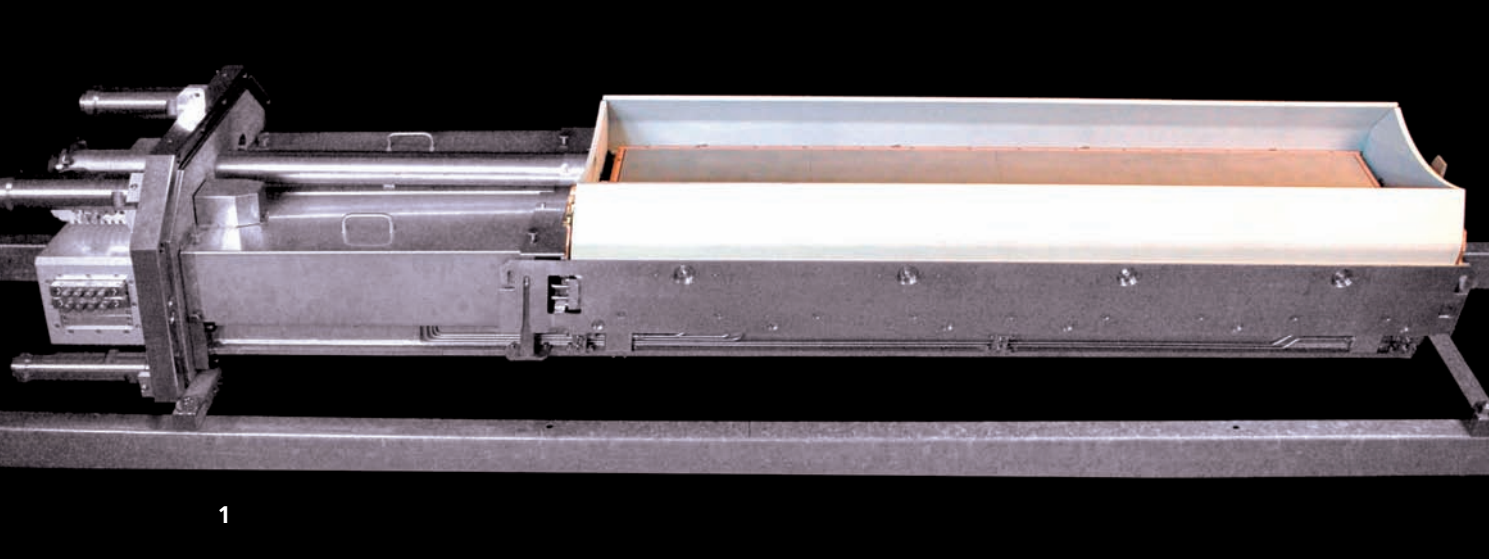
Europa fördert Sachsen.  
EFRE  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Bundesministerium für Bildung und Forschung

## KONTAKT

Dr. Gösta Mattausch  
Telefon +49 351 2586-202  
goesta.mattausch@fep.fraunhofer.de





## ERSTE INDUSTRIELLE LÖSUNG FÜR MAGNETRON-PECVD

Die kontinuierliche Entwicklung der Magnetron-PECVD Beschichtungstechnologie (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) ermöglichte die erste Realisierung eines Prozessmoduls im Anwendungsfeld »Beschichtungen auf Kunststofffolien« und dessen Überführung in die Industrie.

Im vorangegangenen Jahr berichtete Dr. Matthias Fahland von den Entwicklungsarbeiten und dem technologischen Potential des Magnetron-PECVD Prozesses. Inzwischen konnte das erste Prozessmodul für  $\text{SiO}_x\text{C}_y$ -Schichten entwickelt, gefertigt und zum Industriekunden überführt werden. Damit ist ein wesentlicher Schritt für die Etablierung dieser Technologie in der industriellen Fertigung erfolgt.

Abbildung 1 zeigt das Prozessmodul mit Flansch und Trägerarm. Diese konstruktive Ausführung ist typisch für Batchanlagen im Bereich der Rolle-zu-Rolle Beschichtung.

Der prinzipielle Aufbau ist im Schema (3) dargestellt. Er ist bereits durch das reaktive Sputtern bekannt. Die beiden nebeneinander angeordneten Magnetrons werden als Dual Magnetron System (DMS) mit einer bipolaren Sputter-Stromversorgung i-PULSE® 60/200 betrieben. Der schnelle Wechsel der Polarität in Verbindung mit einem optimierten Arc-Handling sichert die Langzeitstabilität des Prozesses.

In Ergänzung zu den Prozessgasen Argon und Sauerstoff wird beim Magnetron-PECVD zusätzlich ein Monomergas eingelassen. Bisher konzentrierten sich die Arbeiten vorwiegend auf die siliziumhaltigen Monomere Hexamethyldisiloxan (HMDSO) und Tetraethylorthosilikat (TEOS). Nach Aktivierung der Monomergase im Sputterplasma bildet sich durch chemische Dampfabscheidung kohlenstoffhaltiges Siliziumoxid ( $\text{SiO}_x\text{C}_y$ ).

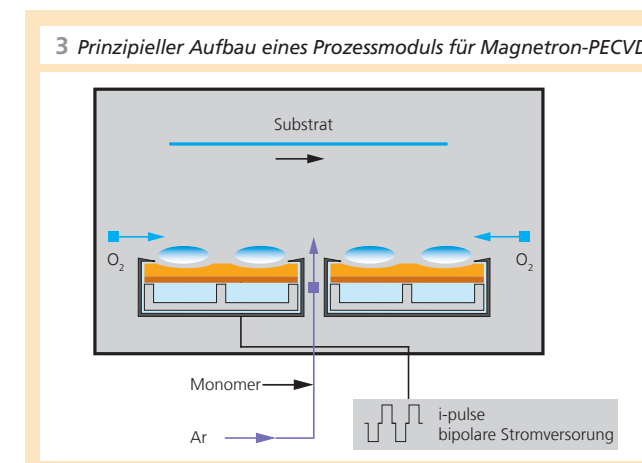
Die so entstehenden Schichten sind denen von gesputtertem  $\text{SiO}_2$  sehr ähnlich, zeichnen sich jedoch durch einen wesentlich geringeren intrinsischen Stress aus. Das macht sich insbesondere bei der Abscheidung auf Kunststofffolien positiv bemerkbar.

Als entscheidender Vorteil gegenüber konkurrierenden Verfahren erwies sich die erhöhte Plasmawirkung am Substrat, die in einer sehr guten Haftfestigkeit der Beschichtung resultiert. Eine Kathodenlänge von knapp 2 m bestätigt außerdem die hervorragende Skalierbarkeit dieser technischen Lösung, die insbesondere durch eine homogene Plasmaverteilung über die gesamte Beschichtungsbreite getragen wird.

Die dynamischen Beschichtungsraten im kontinuierlichen Betrieb lagen stets über 200 nm x m/min. Über kurze Zeit erreichte Spitzenwerte von 500 nm x m/min machen das Potential der Technologie besonders deutlich.

Die weitere Entwicklung und Optimierung des Magnetron-PECVD Prozesses einschließlich der speziellen Hardwarelösungen für aktuelle Beschichtungsaufgaben haben sich zu einem wichtigen Arbeitsgebiet des Fraunhofer FEP entwickelt. Bisherige grundlegende Untersuchungen wie auch die gezielten Optimierungsarbeiten für neue technologische Aufgaben unterstreichen das Potential der Magnetron-PECVD Technologie und erweitern das Technologieportfolio des Fraunhofer FEP in idealer Weise.

- 1 Beschichtungsmodul für Magnetron-PECVD-Prozesse
- 2 Beschichtungsmodul mit bipolarer Sputter-Stromversorgung i-PULSE® 60/200

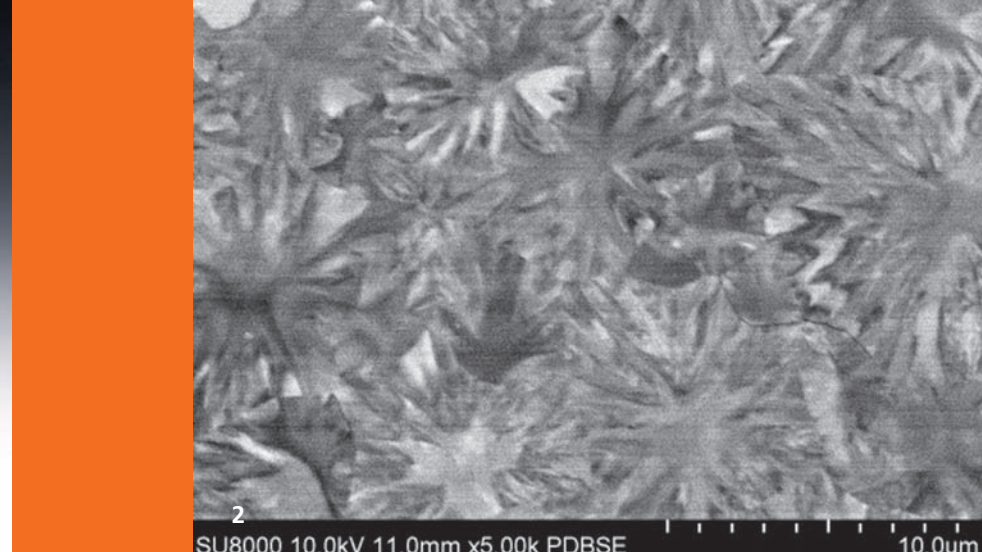
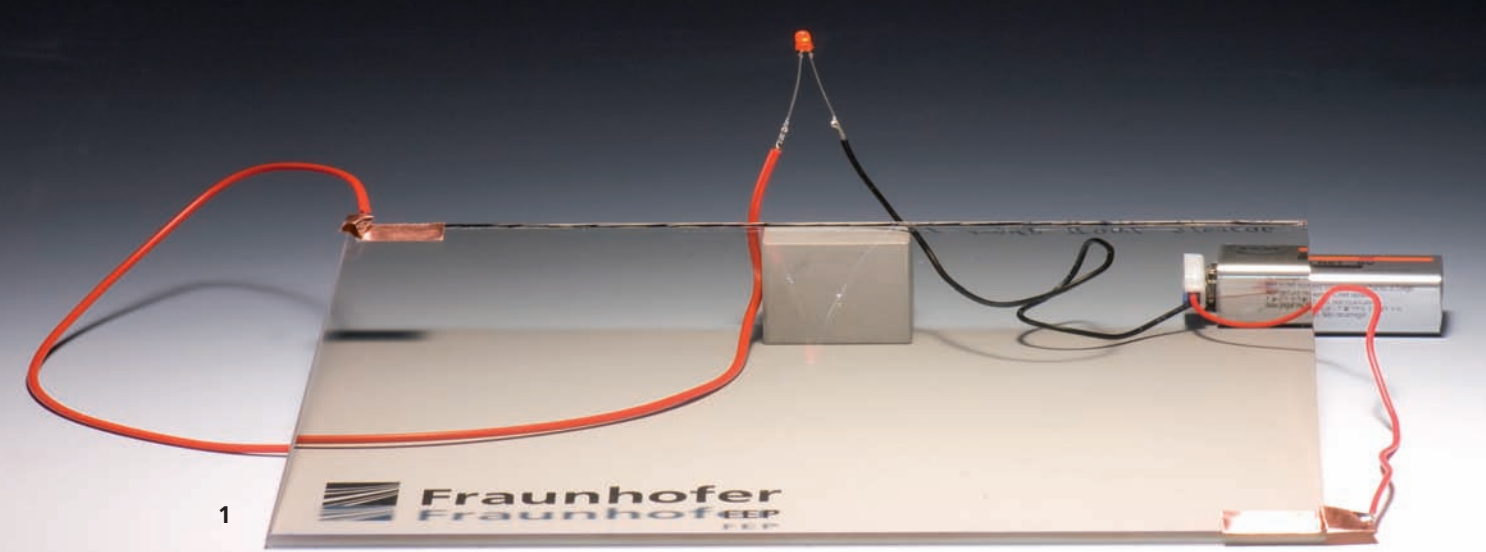


## KONTAKT

Dr. Torsten Kopte  
 Telefon +49 351 2586-120  
 torsten.kopte@fep.fraunhofer.de

Ralf Blüthner  
 Telefon +49 351 2586-380  
 ralf.bluehner@fep.fraunhofer.de





## SPUTTERN VON NEUARTIGEN TRANSPARENTEN LEITFÄHIGEN OXIDEN (TCOs)

Die rasant voranschreitenden Entwicklungen auf dem Gebiet der transparenten Elektronik und der Photovoltaik fordern neuartige transparente leitfähige Oxide mit der Art der Anwendung besonders angepassten elektrischen und optischen Eigenschaften.

Je nach Leitungstyp werden p- und n-leitende TCOs unterschieden. Bei p-leitenden TCOs erfolgt der Leitungsvorgang aufgrund beweglicher positiv geladener Ladungsträger, den sogenannten Löchern. Elektronen bestimmen den Ladungsträgertransport in n-leitenden TCOs. Die Möglichkeit der Abscheidung von p-leitenden TCOs spielt bei der Realisierung von transparenten p – n Übergängen eine wichtige Rolle. Indium freie n-leitende TCOs, die zudem beständig gegen hohe Temperaturen sind, finden beispielsweise ihre Anwendung in der Photovoltaik.

Seit der Entdeckung der p-Leitung in transparenten Dünnschichten aus ternärem Kupfer – Aluminium – Oxid ( $\text{CuAlO}_x$ ), haben auf Kupfer basierende transparente Oxid-Halbleiter-Dünnschichten mit einer Delafossit – Kristallstruktur enormes Interesse im Bereich der Optoelektronik hervorgerufen. Der p-leitende Charakter der  $\text{CuAlO}_x$ -Schichten wird durch die Bindung von Kupferionen in der Schicht bestimmt. Mittels gepulsten reaktiven Magnetronspütern wurden  $\text{CuAlO}_x$ -Schichten abgeschieden, die nach weiterer thermischer Nachbehandlung im Temperaturbereich von 300 ... 500°C, p-leitende Eigenschaften zeigen. Die Wahl der Prozessparameter, insbesondere die Auswahl des Puls Duty Cycles (dem Verhältnis von Puls on-Zeit zur Gesamtdauer des Pulses) beim Puls Magnetron Sputtern, beeinflusst stark die Bildung von einwertigen Kupferionen im Plasma und damit die Eigenschaft

der abgeschiedenen Schicht. Zum Nachweis des Leitungstypes wurde der Seebeck-Koeffizient bestimmt. Dem Fraunhofer FEP gelang es, die Eignung von Sputterverfahren für die Abscheidung p-leitender Schichten nachzuweisen.

Werden in Titandioxid Ti-Atome teilweise mit Niob ersetzt, erhöht sich elektrische Leitfähigkeit deutlich. Die Transmission im sichtbaren Spektralbereich ist hoch. Dieses n-leitende TCO ist hochtemperaturbeständig und wird umgangssprachlich TNO bezeichnet.

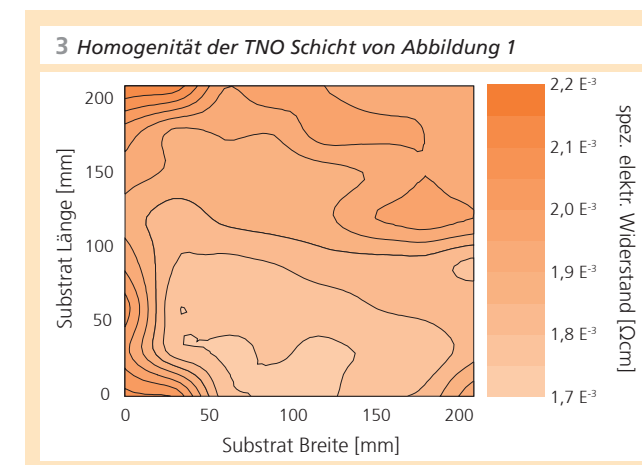
Die Ladungsträgerdichte steigt bei Erhöhung der Konzentration von Niob in der Schicht. Amorphes TNO zeigt spezifische elektrische Widerstände im Bereich von ca. 1 ... 5  $\Omega\text{cm}$ . Durch Strukturumwandlungen in den Schichten, die bei hohen Temperaturen im Bereich zwischen 350 ... 450 °C stattfinden, kann der spezifische elektrische Widerstand deutlich reduziert werden.

Die Ausbildung der anatase Phase bestimmt die elektrischen Leitfähigkeit der Schichten. Eine 150 nm dicke anatase TNO Schicht weist einen spezifischen elektrischen Widerstand von  $1,8 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$  und eine Transmission im sichtbaren Spektralbereich von 73 Prozent auf. Unsere Untersuchungen konzentrierten sich auf die Charakterisierung des TNO-Sputterprozesses, das Verhalten von keramischen TNO-Sputtertargets im Prozess sowie der Einsatzmöglichkeit von TNO als gesputterte TCO Schicht in der Großflächenbeschichtung.

Die elektrischen und optischen Eigenschaften von  $\text{CuAlO}_x$ - und TNO-Schichten werden durch deren strukturelle Eigenschaften bestimmt. Hieraus resultieren neue hohe Anforderungen an die Sputterprozesse hinsichtlich des gesteuerten Aufwachsens von dünnen Schichten. Das Fraunhofer FEP stellt speziell für diese anspruchsvollen Prozesse bereits entwickelte Technologien zur Verfügung.

Das Fraunhofer FEP bedankt sich bei Frau Hongxia Yi, Mitglied des Institute of Electronics der Chinese Academy of Sciences, für Ihre tatkräftige Unterstützung der Arbeiten. Die Untersuchungen zu TNO wurden gefördert durch die Europäische Union und den Freistaat Sachsen (12896/2155).

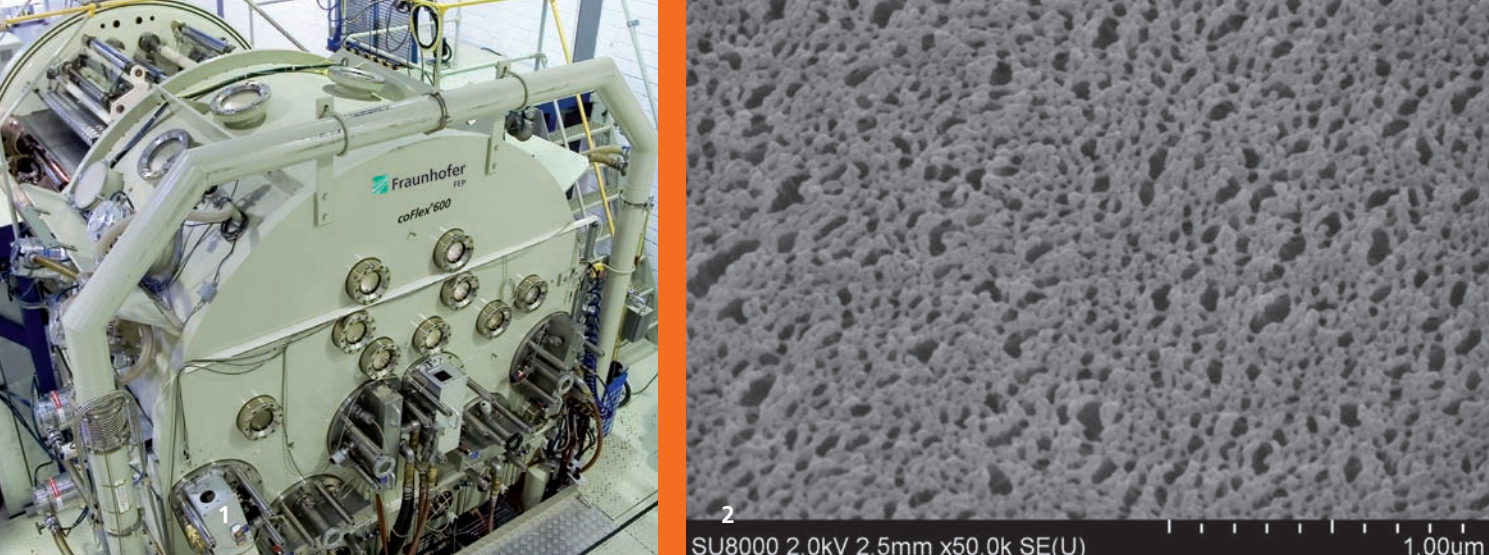
- 1 Großflächenbeschichtung von TNO auf Glas
- 2 Oberfläche einer TNO Schicht aufgenommen im Channelling-Kontrast



**KONTAKT**

Manuela Junghähnel  
 Telefon +49 351 2586-128  
 manuela.junghaehnel@fep.fraunhofer.de





## POLYMERFOLIEN MIT ANTI-REFLEXEIGENSCHAFTEN DURCH PLASMAÄTZEN (POLAR)

In vielen Fällen müssen die optischen Eigenschaften der Kunststofffolien für eine bestimmte Anwendung geändert werden. Im innovativen Netzwerk POLAR<sup>[1]</sup> entwickeln mehrere Firmen gemeinsam mit zwei Fraunhofer-Instituten und der TU Dresden eine neue Technologie zur Entspiegelung von Kunststofffolien.

Wegen der unterschiedlichen Brechzahl von Kunststoffen und Luft wird das Licht an transparenten Folien, zum Beispiel aus PET, etwa zu 12 Prozent reflektiert. Dieser Wert liegt höher als bei Glas, was für viele Anwendungen nachteilig wirkt. Typische Anwendungsfelder für entspiegelte Folien sind hochtransparente Flächen von Vitrinen und Schaufenstern, großflächige optische Elemente für Projektionsgeräte und Fahrzeugteile. Daneben sind für viele Anwendungen, wie zum Beispiel für Sportbrillen, Windschutzscheiben und Displays, Oberflächen interessant, die sowohl reflexmindernd ausgerüstet als auch beschlagfrei sind.

Im Projekt POLAR soll die Entspiegelung verschiedener Folien durch kontrollierten Abtrag der Oberfläche erreicht werden. Basierend auf einem patentierten Prozess des Fraunhofer IOF<sup>[2]</sup> wird die Kunststoffolie mit Plasma behandelt, so dass an der Oberfläche statistisch verteilte Nanostrukturen entstehen. Die wissenschaftliche Zielstellung des Teilprojektes umfasst die Erforschung der Wechselwirkungen der verschiedenen Plasmabestandteile mit den Polymeroberflächen, die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Dicke und Art von Vorbeschichtungen und den danach durch Ätzen erreichbaren Strukturen. Durch die Überbeschichtung der Strukturen können Antibeschlageigenschaften sowie superhydrophobe Eigenschaften erreicht werden, was die möglichen Einsatzgebiete der Folien bedeutend erweitert. Die erreichten Ergebnisse

werden auf eine Rolle-zu-Rolle Anlage überführt. Die Verfahrensoptimierung und die technologische und wirtschaftliche Bewertung erfolgt für verschiedene Folienmaterialien, wobei die technologischen Zielsetzungen der Industriepartner starke Beachtung finden.

Am Fraunhofer IOF wurde bereits die Strukturierbarkeit von den Polymeren PET, TAC und ETFE grundlegend untersucht und diese grundsätzlich für alle genannten Materialien nachgewiesen. Durch das Abscheiden dünner Initialschichten vor dem Ätzen kann die Strukturbildung in einem weiten Bereich gesteuert werden.

Am Fraunhofer FEP erfolgte die Übertragung des am Fraunhofer IOF entwickelten Ätzverfahrens auf eine Bandlaufanlage. Die Experimente dazu liefen an der Pilotbeschichtungsanlage coFlex<sup>®</sup> 600 (1) mit einer Prozessbreite von 600 mm. Als mögliche Ionenquelle zur Realisierung des Ätzabtrages ist eine lineare Ionenquelle (LIS, Advanced Energy) in der Anlage installiert. Überraschenderweise wurde festgestellt, dass auch Doppelmagnetronsysteme unter bestimmten Voraussetzungen als Ionenquellen mit einer hohen Produktivität benutzt werden können<sup>[3]</sup>. Für beide Quellen konnten bereits für die Erzeugung der Nanostrukturen geeignete Parameterfenster für die Materialien PET, TAC und ETFE gefunden werden. Bild 2 zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer

PET-Folie mit Antireflexstrukturierung. In zukünftigen Arbeiten werden weitere Ionenquellen hinsichtlich der Eignung für die industrielle Umsetzung des Verfahrens getestet. Außerdem werden die offenen Fragestellungen zur Langzeitstabilität des Strukturierungsprozesses und zur mechanischen Beständigkeit der Strukturen untersucht. Basierend auf den bisherigen Ergebnissen ist eine weitere Erhöhung der Produktivität insbesondere bei Anwendung der Doppelmagnetronsysteme absehbar.

<sup>[1]</sup> Projekt POLAR:

**Projektpartner:**

Forschungseinrichtungen: Fraunhofer-Institut für angewandte Optik und Feinmechanik (IOF), Jena; Technische Universität Dresden, Fakultät Elektrotechnik, Institut für Festkörperelektronik

**Industrieunternehmen:**

Southwall Europe GmbH, Großröhrsdorf; Island Polymer Industries GmbH, Wolfen; Leica Microsystems CMS GmbH, Wetzlar; Rodenstock GmbH, München; SeeReal Technologies GmbH, Dresden; Roth&Rau AG, Hohenstein-Ernsttal; NOWOFOL Kunststoffprodukte GmbH&Co. KG, Siegersdorf; Johnson Controls GmbH, Burscheid

**Finanzierung:**

BMW-Programm »Förderung von innovativen Netzwerken« (Innonet)  
<sup>[2]</sup> DE10 2006 056 578 A1

<sup>[3]</sup> W. Schönberger, G. Gerlach, M. Fahland, P. Munzert, U. Schulz: Großflächige Entspiegelung von Kunststofffolien durch Plasma- und Ionenbehandlung. In: 17. Neues Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium, 21. - 22. Oktober, Dresden, S. 57 - 61.

1 Bandbeschichtungsanlage coFlex<sup>®</sup> 600

2 REM-Aufnahmen der Folienoberfläche nach der Strukturierung



## KONTAKT

Dr. Nicolas Schiller

Telefon +49 351 2586-131

nicolas.schiller@fep.fraunhofer.de



## ROLLE-ZU-ROLLE HERSTELLUNG VON TRANSPARENTEN HOCHBARRIEREFOLIEN

Es besteht ein erhebliches Interesse, opto-elektronische Geräte (Displays, Beleuchtungskörper, Solarzellen) als flexible Produkte herzustellen. Die Realisierung dieser Produkte auf flexiblen Substraten eröffnet Vorteile bei der Produktion, andererseits ermöglicht es neue Anwendungen.

Um diese flexiblen Anwendungen zu realisieren, wird eine optisch transparente Barrierefolie zur Verkapselung benötigt. Eine wichtige Eigenschaft einer Barrierefolie ist ihre Barrierewirkung gegenüber der Permeation von Wasserdampf und Sauerstoff. Darüber hinaus gibt es weitere Eigenschaften, denen je nach Anwendung unterschiedliches Gewicht beigemessen werden muss. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen transparenten (das heißt lichtdurchlässigen) und opaken (lichtundurchlässigen) Barrierefolien. Bild 2 gibt eine Übersicht verschiedener Anwendungen für Barrierefolien mit den entsprechenden Werten für die Wasserdampfpermeation. Je nach Anforderung an die Barriere werden unterschiedliche Technologien zur Erzielung der Barriere eingesetzt. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass zum Erreichen niedriger Permeationswerte eine Vakuumbeschichtung der Kunststoffolie notwendig ist. Die Vakuumbeschichtung kann mit weiteren Prozessen kombiniert werden. Das POLO-Konzept für UltrabARRIEREFOLIEN sieht eine Kombination von einer anorganischen Sputterschicht auf einem Polymersubstrat, gefolgt von einer Barrierschicht auf Basis von ORMOCER®en (Marke der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., München) und eine weitere anorganische Sputterschicht vor.

Im Rahmen des von der Fraunhofer-Gesellschaft geförderten strategischen Projekts »UltraFlex« haben Partner der Fraunhofer-Allianz Polymere Oberflächen POLO (Fraunhofer IVV, FEP, IAP, IPA, ISC) gemeinsam mit der Fraunhofer-Einrichtung für

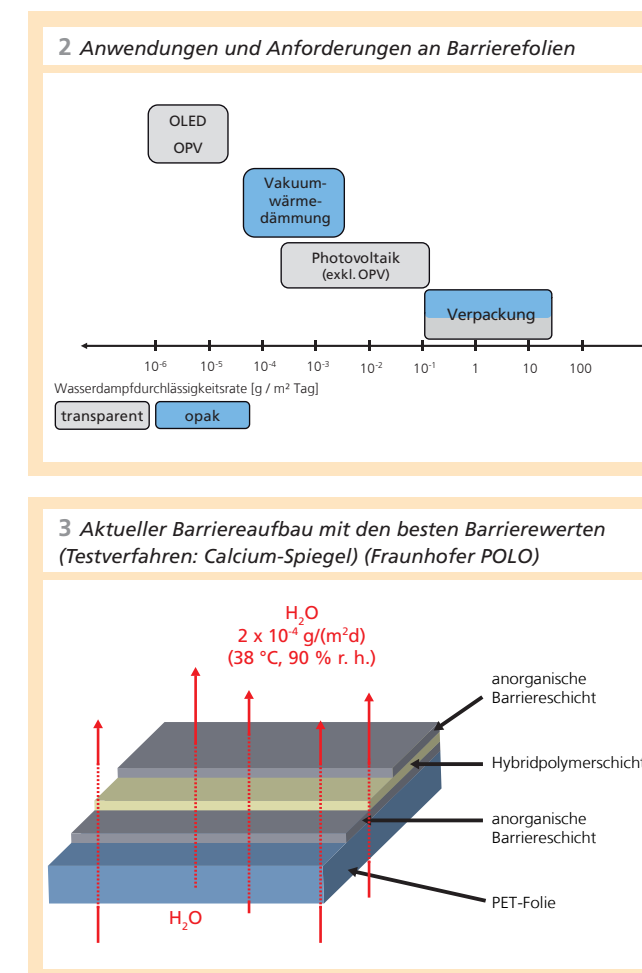
Polymermaterialien und Composite PYCO an unterschiedlichen Schwerpunktthemen zur Erarbeitung von flexiblen Verkapselungsmaterialien für OLEDs und organischen Solarzellen zusammengearbeitet.

Die Aufgabe des Fraunhofer FEP im Rahmen des Projektes war die Weiterentwicklung der Technologie zur Herstellung der anorganischen Barrierschichten. Bei der Anpassung der anorganischen Schichten an ORMOCER®-Schichten konnten Schichtmaterialien erarbeitet werden, mit denen das Potential der Technologie besonders deutlich gezeigt werden konnte. Die Weiterentwicklung der Prozesskontrolle erlaubt nun die Fertigung von anorganischen Schichten mit sehr guter Reproduzierbarkeit und Langzeitstabilität. Die Funktionalität der Barrierefolien konnte durch die Applikation von leitfähigen Schichten erweitert werden. Hierfür wurde ein Zwischenschichtsystem entwickelt, welches eine Strukturierung der leitfähigen Schicht zulässt, ohne dass dabei die Barriereigenschaften verloren gehen.

Im Ergebnis des Projektes liegt eine Barrierefolie vor, die deutlich verbesserte Barriereigenschaften aufweist und in einem produktionsgeeigneten Rolle-zu-Rolle-Verfahren hergestellt werden kann (3). Die Eignung der hergestellten Barrierefolien konnte bereits an elektronischen Testbauteilen überprüft werden. Hierzu wurden organische Leuchtdioden mit der neuen Barrierefolie verkapselt (3). Die Folie kann nun in reproduzierbarer Qualität als Rollenware im Pilotmaßstab für die Kundenbemusterung zur Verfügung gestellt werden. Durch Applikation von weiteren

Funktionsschichten können die Folien auf spezifische Kundenwünsche angepasst werden. Diese Technologie steht damit für die Erprobung als Verkapselungsmaterial bzw. für die Herstellung von flexiblen elektronischen Bauelementen zur Verfügung.

1 OLED-Teststruktur zwischen zwei POLO-Folien (Fotograf: Armin Okulla, Fraunhofer IAP, 2009)



## KONTAKT

Dr. Nicolas Schiller  
Telefon +49 351 2586-131  
nicolas.schiller@fep.fraunhofer.de





## BIOMEDIZINISCHE LABOREINHEIT FÜR DIE MEDIZINTECHNIK

Angesichts der demografischen Entwicklung der Bevölkerung und der Verschiebung des Morbiditätsspektrums hin zu chronischen Erkrankungen, wird in den nächsten Jahrzehnten ein wachsender Gesundheitsmarkt erwartet.

Multimorbide und pflegebedürftige Patienten benötigen vor allem diagnostische und therapeutische Verfahren, die im Repertoire der kurativen Medizin gegenwärtig nicht ausreichend vorhanden sind. Andererseits besteht eine stetig wachsende Nachfrage nach reparativer Medizin, insbesondere in den Bereichen Knochen-, Ophthalmolo- und Koronarchirurgie sowie nach zuverlässiger, nichtinvasiver Diagnostik mit einem erhöhten Anspruch bezüglich Reinheit und Sterilisation.

Auch der internationale Austausch medizintechnischer Waren wird sich weiterhin stark intensivieren. So ist, gemessen an den Exporten der OECD-Staaten, die Nachfrage nach medizinischen Produkten mit 8,5 Prozent pro Jahr deutlich stärker gewachsen als die Nachfrage nach Industriewaren (5,7 Prozent). Das Welthandelsvolumen medizintechnischer Artikel ist im gleichen Zeitraum von 30,1 Milliarden US-Dollar auf 67,7 Milliarden US-Dollar gestiegen. In Zeiten der Wirtschaftskrise zeigt sich die Medizintechnik wenig betroffen und nimmt in der aktuellen Attraktivitätsskala mit 61 Prozent die Spitzenposition ein (VDI-Nachrichten 11/2009).

Der Wachstumsmarkt der Medizintechnik steht im strategischen Fokus des Fraunhofer-Institutes für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP. Für entsprechende

Entwicklungsarbeiten sollen die Kernkompetenzen des Institutes wie produktspezifische Beschichtung, Modifikation von Oberflächen und Randschichten durch Elektronenbehandlung sowie die Sterilisation mittels niederenergetischer Elektronen, in produktorientierte Prozessketten eingebunden und analytisch begleitet werden.

Dazu wurde am Fraunhofer FEP eine biomedizinische Laboreinheit etabliert. Sie enthält die Labore Mikrobiologie und Biokompatibilität/-funktionalität. Neben den klassischen Methoden werden Untersuchungen zur Dynamik der Oberflächenprozesse und zur Molekularelektronik angeboten. Schwerpunkte des Tätigkeitsfeldes sind: Analytik zu aktuellen angewandten Forschungsarbeiten, Pilotserien, Industrienaufträge und ab 2011/12 die Zertifizierung einzelner Untersuchungen.

Die Labore sind mit hochwertigen Laborgeräten ausgestattet. Als Kernstück wird alsbald ein konfokales Mikroskop das Portfolio ergänzen, mit dem Auswertungen und Validierungen von verschiedensten Oberflächen möglich sind. Mit Hilfe angepasster Analytikmodule für den Bereich therapeutischer Medizinprodukte (zum Beispiel Wundversorgung, Inkontinenz) sowie weite Teile des Bereiches Life Science (zum Beispiel Damenhygiene, Sport-/Freizeitartikel) können in der biomedizinischen Laboreinheit Kundenaufträge

bearbeitet werden. Hierbei muss insbesondere die Einsatzfähigkeit und medizinische Sicherheit der Produkte hinsichtlich der Kundenbedürfnisse und der regulativen Anforderungen geprüft werden.

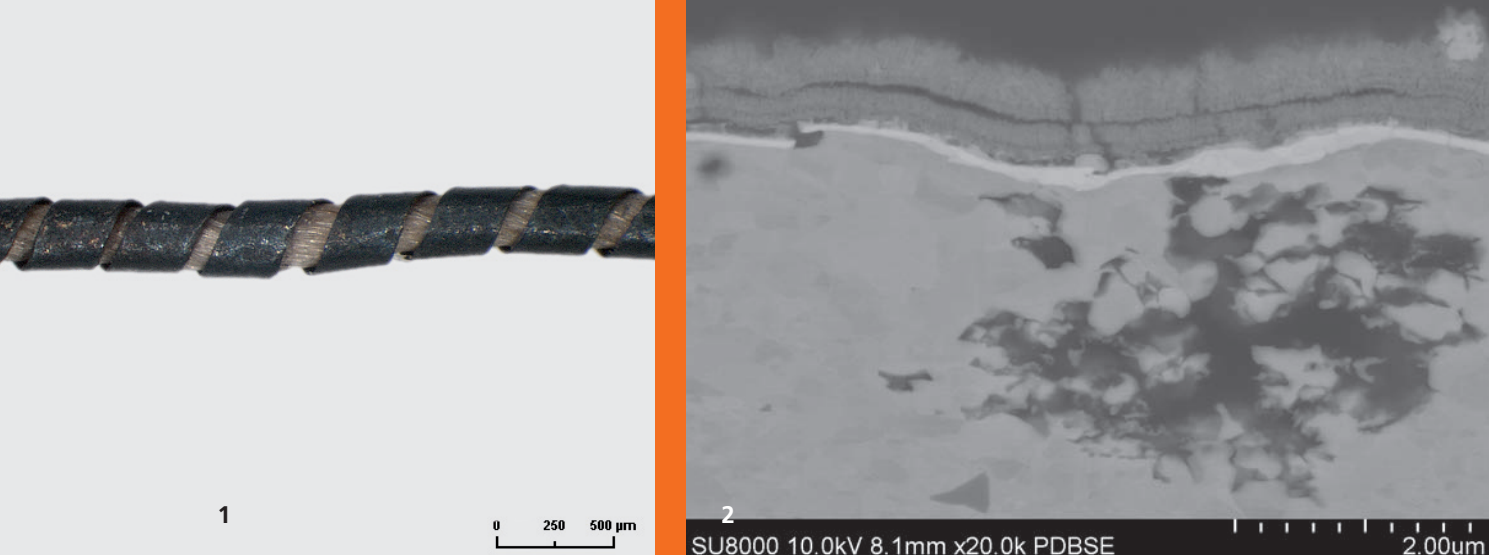
Aufgrund der steigenden Nachfrage nach medizintechnischen Produkten ist ein exponentieller Anstieg der Effizienz zu erwarten. Die biomedizinische Laboreinheit deckt damit einen wichtigen branchenübergreifenden Bedarf und generiert im Fraunhofer FEP Arbeitsplätze. Darüber hinaus können an KMUs der Branche Arbeitsplätze für zukunftsweisende Technologien geschaffen werden.

## KONTAKT

*Dr. Christiane Wetzel*

*Telefon +49 351 2586-165*

*christiane.wetzel@fep.fraunhofer.de*



## DAS FRAUNHOFER FEP – EIN MITGLIED DER FORSCHUNGSA LLIANZ KULTURERBE (FALKE)

Die Fraunhofer-Gesellschaft, die Stiftung Preußischer Kulturbesitz und die Leibniz-Gemeinschaft gründeten 2008 eine Forschungsallianz Kulturerbe mit dem Ziel, innovative Restaurierungs- und Konservierungsverfahren für Kulturgüter zu entwickeln. Den Auftakt bilden plasmatechnologische Untersuchungen.

Am 28. Oktober 2008 fand im Alten Museum zu Berlin die feierliche Gründungsversammlung der Forschungsallianz Kulturerbe (FALKE) statt. Der Vorstand Forschungsplanung der Fraunhofer-Gesellschaft, die Präsidenten der Leibniz-Gemeinschaft und der Stiftung Preußischer Kulturbesitz unterzeichneten ein Memorandum of Understanding.

Darin wurde die Bündelung der Kompetenzen aller drei Institutionen zur Lösung vielschichtiger Fragestellungen zum Erhalt des Kulturerbes festgeschrieben. Hauptanliegen ist die Entwicklung nachhaltiger Restaurierungs- und reversibler Konservierungsverfahren sowie die Verbesserung des Wissenstransfers zwischen Forschung und Restaurierungspraxis. Die umweltbedingt immer komplexer werdenden Restaurierungs- und Konservierungsaufgaben sowie zunehmend neue Materialien von Kulturgütern der jüngsten Geschichte verlangen innovative interdisziplinäre Lösungsansätze. Der Einsatz modernster Analysemethoden, die Verwendung neuer Materialien, die Optimierung geeigneter Reinigungs- und Beschichtungstechnologien, die Entwicklung neuer miniaturisierter Oberflächenbehandlungswerkzeuge und nicht zuletzt das Erforschen nachhaltiger Methoden der Desinfektion, Sterilisierung und Schädlingsbekämpfung spielen dabei eine zentrale Rolle. 18 Fraunhofer-Institute, 8 Forschungsmuseen der Leibniz-Gemeinschaft, 16 Museen und 3 Forschungsinstitute sowie weitere Einrichtungen der

Stiftung Preußischer Kulturbesitz sind in der Allianz vertreten. Mit dem Rathgen-Forschungslabor der Stiftung Preußischer Kulturbesitz verfügt die Allianz über den Erfahrungsschatz des ältesten konservierungswissenschaftlichen Institutes der Welt. Während der nachfolgenden Mitgliedertreffen kristallisierten sich in Diskussionen zwischen Restauratoren, Kunst- und Naturwissenschaftlern folgende Forschungsschwerpunkte heraus:

- ▶ Entwicklung und Validierung zerstörungsfreier Test- und Prüfverfahren
- ▶ Entwicklung spezieller Plasmatechnologien zur Reinigung und Konservierung von Kunst- und Archivgut
- ▶ Nachhaltige Bekämpfung von Mikroorganismen, Insekten und organischen Schädlingen in Archivalien und hölzernem Kulturgut
- ▶ Entwicklung und Verbesserung von Materialien und Methoden zur Erhaltung von Stein-, Glas-, Keramik- und metallischem Kulturgut (insbesondere Industriekulturgut)
- ▶ Entwicklung praktikabler und kostengünstiger Verfahren zur Stabilisierung von zerfallgeschädigtem Papiergut, vorrangig von Zeitungsseiten

Die Fraunhofer-Gesellschaft bewilligte 2009 als erstes Allianzmitglied ein Verbundprojekt, in dem das Fraunhofer FEP zusammen mit 5 weiteren Fraunhofer-Instituten, 4 Einrichtungen der Leibniz-Gemeinschaft und 6 assoziierten Partnern

die Eignung von Plasmatechnologien zum Kulturgüterhalt an Objekten aus dem Fundus der 7 beteiligten Forschungsmuseen studiert und erprobt.

Das Projekt umfasst die Arbeitspakete

- ▶ Atmosphärenplasmabehandlung zur lokalen Reinigung archäologischer Kunstobjekte
- ▶ Niederdruckplasmabehandlung von oxidativ angegriffenen Kunstobjekten und Papier
- ▶ Elektronenstrahlinduzierte Plasmen zur lokalen Reinigung oxidativ angegriffener Kunstobjekte
- ▶ Elektronenstrahlbehandlung zur Entkeimung von Papier-, Holzobjekten sowie zur schonenden Schädlingsbekämpfung in Büchern und Skulpturen

Erste Resultate ermutigen die Projektpartner, in absehbarer Zeit plasmagestützte Verfahren für Restaurierungszwecke bereitstellen zu können. Mitte 2011 soll eine Präsentation ausgewählter Forschungsergebnisse vor allen Allianzmitgliedern im Beisein von Vertretern aus Politik, Wirtschaft und Kunst erfolgen. Diese Präsentation will die fachlichen Ergebnisse bewerten und darüber hinaus das Auditorium für den wachsenden Wirtschaftsfaktor »Kulturerbe und sein Erhalt« bei entsprechenden politisch-kulturellen Rahmenbedingungen sensibilisieren.

1 *ungereinigter vergoldeter Silberlahn; Lichtmikroskopische Aufnahme einer korrodierten Oberfläche (Silbersulfid)*

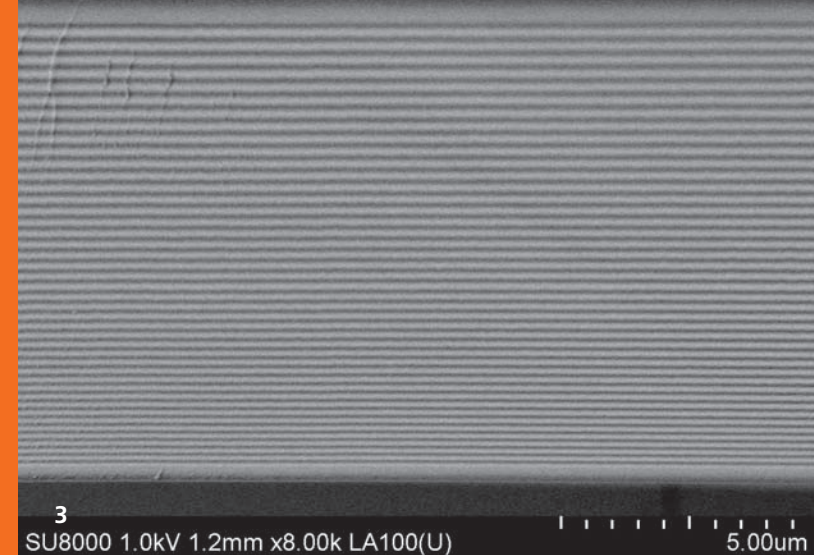
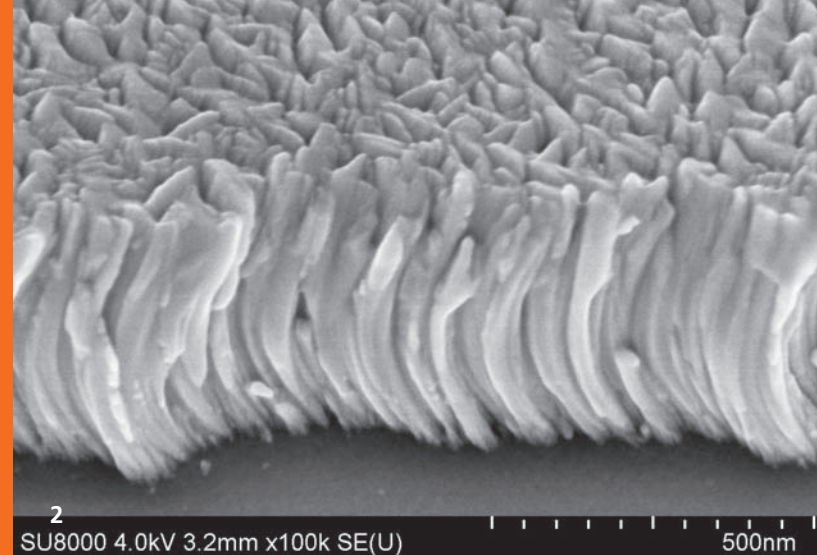
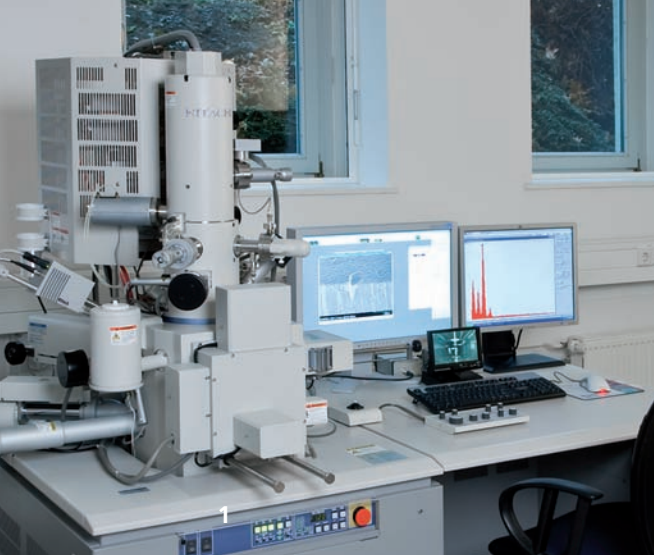
2 *REM-Aufnahme einer ungereinigten vergoldeten Silberlahn, ionenpräparierter Querschnitt Lochfraßkorrosion, Silbersulfid über heller Goldschicht*

3 *Lahn-Gespinst, mechanisch gereinigt*

## KONTAKT

Wolfgang Nedon  
 Telefon +49 351 2586-500  
 wolfgang.nedon@fep.fraunhofer.de





## NEUES ULTRAHOCHAUFLÖSENDES FELDEMISMISSIONSRASTERELEKTRONENMIKROSKOP

Durch die Bereitstellung von Fördermitteln aus einem Sonderprogramm »Verbesserung der Forschungsinfrastruktur« des Sächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kunst konnte 2009 ein neues, modernes Rasterelektronenmikroskop für die Schichtcharakterisierung angeschafft werden.

Nach umfangreichen Tests wurde für die Investition das ultrahochauflösende Feldemissionsrasterelektronenmikroskop SU8000 von Hitachi (1) ausgewählt. Das Mikroskop vom Semi-Inlens Typ ist mit einer kalten Feldemissionskathode ausgestattet, welche sich durch einen sehr hohen Richtstrahlwert auszeichnet. Bei einer Beschleunigungsspannung von 15 kV wird eine sehr hohe Auflösung von 1 nm und bei einer Beschleunigungsspannung von 1 kV noch eine Auflösung von 1,4 nm erreicht. Bei niedrigen Beschleunigungsspannungen können selbst elektrisch nichtleitfähige Proben ohne störende Aufladungen mit hoher Auflösung untersucht werden. Zusätzliche leitfähige Beschichtungen sind nicht erforderlich, so dass die tatsächliche Oberfläche der Probe ohne störende Artefakte untersucht werden kann.

Das Gerät verfügt über umfangreiche Detektionsmöglichkeiten für sekundäre Elektronen (SE), rückgestreute Elektronen (BSE) und transmittierte Elektronen (TE), so dass eine Vielzahl von Informationen über die Probe gewonnen werden können.

Die von der Probe emittierten sekundären Elektronen und die unter einem niedrigen Winkel rückgestreuten Elektronen können mit Hilfe einer Steuerelektrode separiert und durch einen elektromagnetischen  $E \times B$  Filter mit dem oberen Detektor nachgewiesen werden (2,3). Unter hohen Winkeln

rückgestreute Elektronen bewegen sich entlang der optischen Achse in Richtung des Top-Detektors und werden dort detektiert.

Die sekundären Elektronen ermöglichen vor allem eine sehr hochauflösende Abbildung der Oberflächen-Topographie und eine Abbildung im Potentialkontrast. Durch Abbildungen mit rückgestreuten Elektronen können durch den Ordnungszahlkontrast Probenbereiche unterschiedlicher Zusammensetzung und durch den Elektronen-channelling-Kontrast Bereiche unterschiedlicher kristallografischer Orientierung untersucht werden.

Die Abbildung mit Transmissionselektronen (TE) erfordert die Präparation von elektronentransparenten Proben, an denen durch Beugung der Elektronen am Kristallgitter wertvolle Informationen bis in den Nanometerbereich der Gefüge gewonnen werden können.

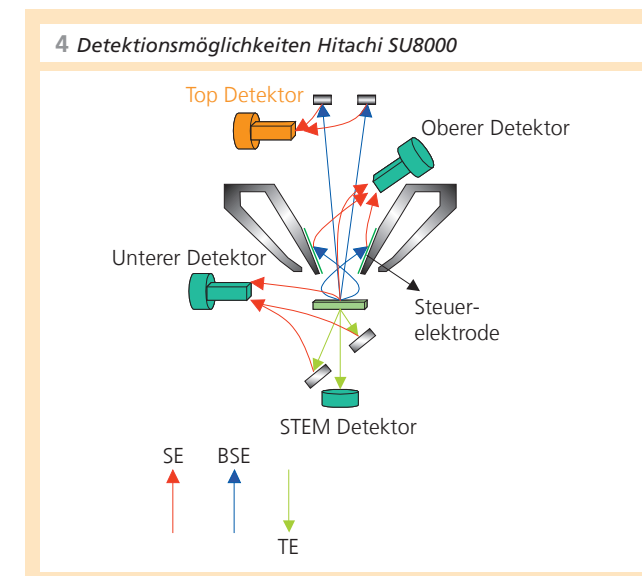
Außerdem verfügt das Mikroskop durch die Installation eines modernen Silizium-Drift-Detektors (SDD) über sehr gute Analysemöglichkeiten durch energiedispersive Spektrometrie von Röntgenstrahlung (EDS). Der neue SDD-Detektor hat gegenüber früheren Si(Li)-Detektoren eine deutlich verbesserte Energieauflösung und eine sehr gute Nachweisempfindlichkeit auch für leichte Elemente. Zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung können sowohl Spektren an einzelnen Punkten als auch quantitativ auswertbare Elementverteilungs-

bilder über eine ausgewählte Fläche aufgenommen werden. Insgesamt kann eingeschätzt werden, dass mit dem neuen Feldemissionsrasterelektronenmikroskop sehr gute analytische Voraussetzungen geschaffen wurden, welche zum Beispiel für die Weiterentwicklung von präzisionsoptischen Schichten, für Schichtsysteme der Dünnschicht-Photovoltaik oder für Schichten mit ultrahoher Barrierewirkung benötigt werden.

- 1 *Feldemissionsrasterelektronenmikroskop Hitachi SU8000*
- 2 *Molybdänrückkontakt für Dünnschicht-Photovoltaik (SE, oberer Detektor)*
- 3 *Präzisionsoptischer Rugate Filter (BSE, oberer Detektor)*

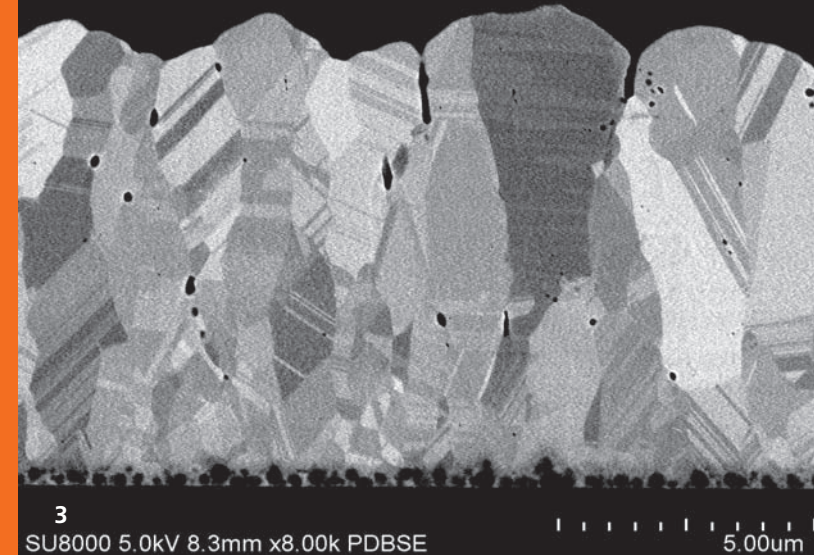
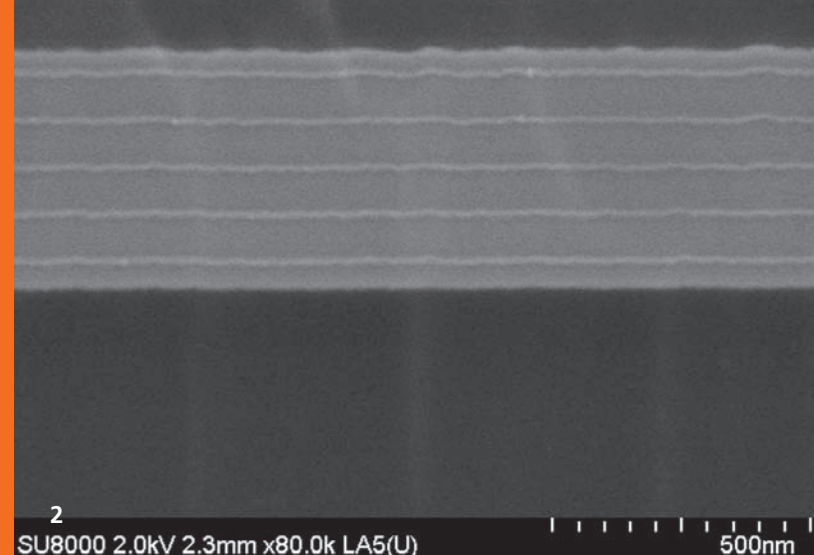
Europa fördert Sachsen.  
**EFRE**  
 Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Freistaat Sachsen  
 Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst



## KONTAKT

Dr. Olaf Zywitzki  
 Telefon +49 351 2586-180  
 olaf.zywitzki@fep.fraunhofer.de



## IONENPRÄPARATIONSTECHNIK FÜR QUERSCHNITTE

Um die verbesserten Abbildungsmöglichkeiten des neuen ultrahochauflösenden Rasterelektronenmikroskops SU8000 von Hitachi in vollem Umfang nutzen zu können ist eine qualitativ sehr gute Probenpräparation erforderlich.

Von großer Bedeutung für die Entwicklung und Optimierung von neuen Schichtsystemen ist die detaillierte Untersuchung von polierten Querschnitten in Wachstumsrichtung. Zielstellung ist vor allem die Charakterisierung des Gefüges der Schichten und deren Grenzflächen. Insbesondere Schichtsysteme auf Polymerfolien, aber auch die meisten metallischen Schichten lassen sich häufig nicht auf konventionellem Wege durch Brechen, Schneiden oder mechanisches Polieren präparieren.

Zur Verbesserung der Präparationsmöglichkeiten wurde deshalb eine neue Ionenpräparationstechnik für Querschnitte angeschafft und erfolgreich in Betrieb genommen. Für die Anschaffung des Gerätes wurden dankenswerterweise Fördermittel des Sächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kunst zur Verfügung gestellt.

Der Cross Section Polisher SM-09010 der Firma Jeol (1) verfügt über eine 6 kV Argon-Ionenquelle, welche unter einem Winkel von 90° zur Probenoberfläche angeordnet ist. Die Probenoberfläche wird mit einer sehr eng anliegenden Schutzblende teilweise abgedeckt. Das an der Blende geringfügig überstehende Probenmaterial wird durch Sputtern mit dem Ionenstrahl abgetragen, so dass an der Kante der Blende ein Querschnitt der zu untersuchenden Probe präpariert wird. Um eine möglichst gleichmäßige Politur des Querschnittes zu erreichen, wird die Probe zusätzlich noch um  $\pm 30^\circ$

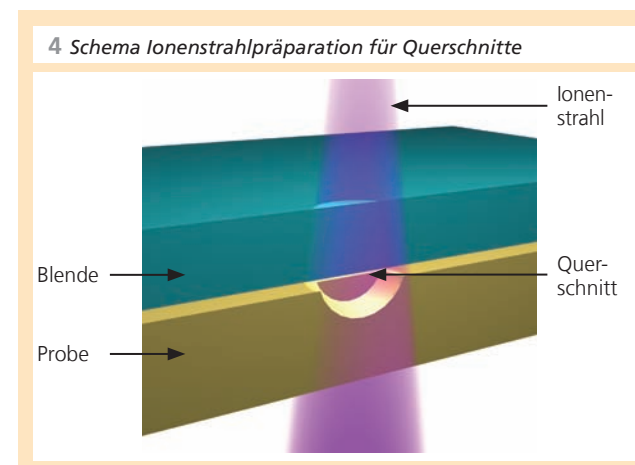
gependelt. Mit dieser Technik lassen sich selbst Materialverbunde aus sehr unterschiedlichen Materialien wie Keramiken, Polymeren und Metallen in sehr hoher Qualität präparieren.

So konnten bereits verschiedenste optische Schichtsysteme auf PET-Folien präpariert werden. Ein Beispiel hierfür sind Sonnenschutzfilter, welche aus fünf ca. 12 nm dünnen Silberschichten bestehen, die in dickere Metalloxidschichten eingebettet sind (2). Für die Funktion dieses Schichtsystems sollen die Silberschichten gerade so dünn sein, dass sie die Wärme des Sonnenlichtes möglichst vollständig reflektieren, aber das sichtbare Licht noch vollständig durchlassen. Dies stellt höchste Ansprüche an die Schichtdickengleichmäßigkeit aber auch an die Rauheit der Grenzflächen, welche mit der neuen Ionenpräparationstechnik nun untersucht werden können.

An polykristallinen Schichten kann durch die schonende und saubere Technik der Ionenstrahlpräparation sehr gut die Mikrostruktur untersucht werden. Ein Beispiel hierfür sind CdTe-Schichten für die Photovoltaik bei denen nach der Präparation das Gefüge im Kristallorientierungscontrast abgebildet werden kann (3).

Die jetzt verfügbare neue Technik der Ionenstrahlpräparation eröffnet somit neue Möglichkeiten für die hochauflösende Abbildung von bisher nicht oder nur sehr schwierig zu präparierenden Proben.

- 1 Cross-Section Polisher Jeol SM-09010
- 2 Querschnitt einer Sonnenschutzschicht mit 5 Silberschichten
- 3 Querschnitt einer ionenpräparierten CdTe-Schicht im Orientierungscontrast



## KONTAKT

Dr. Olaf Zywitzki  
 Telefon +49 351 2586-180  
 olaf.zywitzki@fep.fraunhofer.de





## HIGHLIGHTS

|   |    |
|---|----|
| Die Fraunhofer Lounge – entspannen, unterhalten, begegnen           | 55 |
| Fraunhofer sucht die Talente der Zukunft!                           | 57 |
| Lange Nacht der Wissenschaften 2009                                 | 58 |
| Wissensdurstige Juniordoktoren-Anwärter im Fraunhofer FEP           | 59 |
| Girls' Day 2009 – ein Zukunftstag für Mädchen im Fraunhofer FEP     | 60 |
| Grundlagenseminar »Reinigungstechnik – Reinigung in der Produktion« | 61 |
| Internationale Konferenzen, Symposien und Messen                    | 63 |



## DIE FRAUNHOFER LOUNGE ENTSPANNEN, UNTERHALTEN, BEGEGNEN

Das Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP möchte mit dieser Veranstaltung den Austausch zwischen Natur- und Geisteswissenschaften fördern und lädt regelmäßig Gäste aus der regionalen Politik, Wissenschaft und Wirtschaft zu einem anregenden Gesprächsabend ein.

### **Bauchrede für Kopfmenschen zur vierten Fraunhofer Lounge**

»Leben Ingenieure und Marketer wirklich in verschiedenen, fast unvereinbaren Welten?« So lautete eine der Kernfragen zur vierten Fraunhofer Lounge am 12. März 2009. An diesem Abend trafen sich 65 Gäste aus der regionalen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik, um am Fraunhofer FEP einen spannenden Diskussionsabend zu verfolgen.

Als Referenten waren Michael Schmidt und Olaf Schumann geladen, die ihr Buch und das Thema »Bauchrede für Kopfmenschen - Marketing für Leute, die Wichtigeres vorhaben« im Gepäck hatten.

Wenn die beiden gerade kein Buch darüber schreiben, auf welcher Gratwanderung sich das Marketing im Technologie-mittelstand bewegt, führen sie eine auf »erklärungsbedürftige Produkte« spezialisierte Werbeagentur in Dresden und entstammen nicht zufällig den beiden Welten, die normalerweise die Begegnung scheuen: Dipl.-Ing. Michael Schmidt ist Werkstofftechniker, Dipl.-Graf.-Des. Olaf Schumann Werbekreativer. Das Thema interessierte und polarisierte gleichermaßen: Was haben Sahnejoghurts und Industriehochöfen gemeinsam? Wo liegt der kleinste gemeinsame Nenner zwischen Marketern und Ingenieuren? Und wie verträgt sich ein Technologieprodukt eigentlich mit »Marketing-Firlefanz« wie Design, Unique Advertising Propositions und einer Markenidentität?

Der Sächsische Staatsminister a. D. und PR-Experte Michael Sagurna brachte in seiner Rolle als Moderator der Gesprächsrunde die beiden Pole einander näher und entlockte den beiden Experten noch die ein oder andere Marketing-Weisheit.

Der Leiter des gastgebenden Fraunhofer-Instituts für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik, Prof. Dr. Eberhard Schultheiß stellte letztendlich folgenden Befund: »Eine Bauchrede für Kopfmenschen gibt es eben doch, denn Bauchgefühl und Verstand ergänzen sich auf diesem Gebiet ganz vorzüglich!«

### **Krise oder Chance zur fünften Fraunhofer Lounge**

Das Thema der fünften Fraunhofer Lounge lautete »Deutschland nach der Wahl und in der Krise. Wie kommen wir voran?« Zu dieser höchst aktuellen Frage luden wir den Publizisten, Berater und ehemaligen Moderator des ZDF heute journals Alexander Niemetz ein. Moderiert wurde der Abend von Holger Scholze, der als Börsenjournalist unter anderem für n-tv tätig ist.

Alexander Niemetz beleuchtete das bewegende Thema Krise aus verschiedenen Blickwinkeln und lenkte die Aufmerksamkeit dabei immer wieder auf die Motive von Eigenverantwortung, Transparenz und Nachhaltigkeit. Thesen rund um Bildungspolitik, Rentenfinanzierung bis hin zu den

stets umstrittenen Gesundheitsreformen polarisierten und interessierten die Zuhörer gleichermaßen. Ergänzende Impulse bot Niemetz durch Praxisvergleiche mit sowohl politischen als auch sozialen Modellen aus der Schweiz und Dänemark.

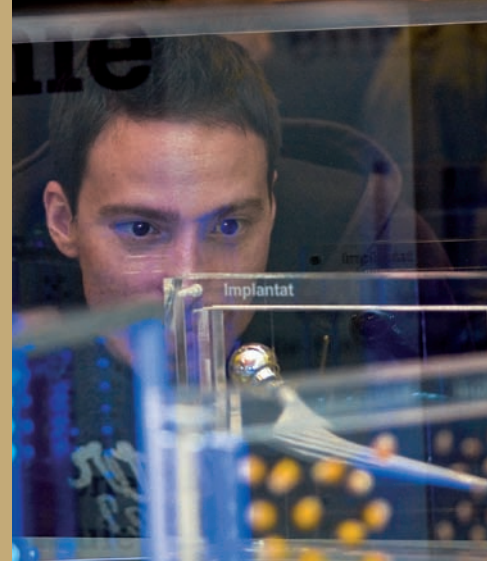
Holger Scholze indessen trug mit Einblicken ins Finanz- und Börsensystem zur variablen Betrachtung des Themas bei. Aus seiner Sichtweise schilderte er, wie auch Profis am Finanzmarkt in Paniksituationen irrational-emotional reagieren und in welcher Form der typisch deutsche Wunsch nach Sicherheit zur Verschärfung der Krise beigetragen haben könnte. Die anschließenden Fragen und Diskussionsbeiträge aus dem Publikum bewiesen sowohl das allseitige Interesse als auch die Brisanz des Themas.

Letztlich bot der gastgebende Institutsleiter Prof. Eberhard Schultheiß einen treffenden Vergleich aus der chinesischen Kultur: Das Schriftzeichen für »Krise« setzt sich aus den Symbolen »Ji« für »Gefahr« und »Wei« gleichbedeutend mit »Chance« zusammen, worin er eine Motivation für den täglichen Umgang mit der Krise sieht. Bei kulinarischen Kleinigkeiten und Pianoklängen von Tom Jähig wurden die Gespräche noch lange fortgeführt. Damit ging eine erfolgreiche Fraunhofer Lounge zu Ende, wir freuen uns auf die Fortsetzung der Veranstaltungsreihe im Frühjahr 2010.

## KONTAKT

Annett Arnold  
Telefon +49 351 2586-333  
annett.arnold@fep.fraunhofer.de





## FRAUNHOFER SUCHT DIE TALENTE DER ZUKUNFT!

Forschung schafft Zukunft. Und diese Zukunft werden die jungen Talente von morgen gestalten. Fraunhofer führt beides zusammen und veranstaltete erstmals in Dresden die Fraunhofer Talent-School!

Vom 6. - 8. November 2009 luden drei Dresdner Institute insgesamt 32 Jugendliche ein, um an einem Workshop zu den Zukunftsthemen Umwelt und Energie teilzunehmen. Die Schüler der zehnten bis dreizehnten Jahrgangsstufe reisten aus Schulen in Brandenburg, Hamburg, Hessen, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Sachsen-Anhalt an.

Eines haben sie alle gemeinsam: Sie begeistern sich für Wissenschaft, finden naturwissenschaftliche und technische Fragestellungen faszinierend und wollen eigene Ideen zu aktuellen Forschungsthemen entwickeln.

Die jungen Talente hatten die Wahl zwischen 3 Workshops: Am Fraunhofer IKTS drehte sich alles um die zukunftsweisende Technologie der Brennstoffzelle. Die Teilnehmer erlebten im Labor, wie die Welten der Energietechnik, Thermodynamik, Chemie und Werkstoffwissenschaften aufeinandertreffen und konnten sogar eine eigene Brennstoffzelle bauen.

Organische Leuchtdioden werden neben Plasma- und LCD-Displays in Zukunft eine sehr große Rolle spielen. Der vom Fraunhofer IPMS angebotene Workshop beschäftigte sich mit diesen so genannten OLEDs. Neben den theoretischen Grundlagen zur Funktionsweise und dem aktuellen Forschungsstand, fertigten die Teilnehmer sogar eine eigene OLED im Reinraum. Die Wissenschaftler vom Fraunhofer FEP beantworteten in ihrem Workshop Fragen rund um das Thema der regenerativen Energiegewinnung und bauten mit den Schülern eine

Solarzelle, welche aus pflanzlichen Farbstoffmolekülen Strom erzeugen kann. Für die Herstellung dieser so genannten Grätzelzelle arbeiteten die Nachwuchswissenschaftler einen Tag lang hochkonzentriert im Labor.

Unter der Anleitung von Prof. Dr. Eberhard Schultheiß, dem Institutsleiter des Fraunhofer FEP, brachten sie Titandioxid auf eine Glasscheibe mit elektrisch leitfähiger Schicht auf. Eine zweite Glasscheibe wurde mit einer Graphitschicht versehen. Nun stellten die jungen Forscher die Basis der Solarzelle her: den Fruchtsaft welcher den lichtempfindlichen Farbstoff enthält. Der Bereich zwischen den nun entstandenen Elektroden wurde mit einer Jodlösung als Elektrolyt gefüllt. Nach einem langen Labortag hielten die Talent-School-Teilnehmer stolz eine funktionierende elektrochemische Farbstoff-Solarzelle in den Händen.

Neben theoretischem und praktischem Fachwissen, gab es zur Talent-School auch die Gelegenheit die Wissenschaftler und deren Alltag näher kennen zu lernen. Ein Seminar schulte die Jugendlichen auf humorvolle Weise im erfolgreichen Präsentieren. Bei einem gemütlichen Kaminabend wiederum durften sie ihre Fragen an Fraunhofer-Führungskräfte und den Jungunternehmer einer Forschungsausgründung loswerden. Mit der Präsentation der Workshopergebnisse ging die Talent-School 2009 in Dresden zu Ende. Nach drei Tagen voller spannender Erfahrungen mit den Fraunhofer-Nachwuchsforschern steht fest: unsere Zukunft ist in guten Händen!

## LANGE NACHT DER WISSENSCHAFTEN 2009

Bunt war sie, gefüllt mit Experimentiershows zum Staunen und Forschungsstationen zum Mitmachen, Hinterfragen und Begreifen. Die Lange Nacht der Wissenschaften bot am 19. Juni 2009 zum siebenten Mal Einblicke in Fraunhofer Zukunftstechnologien, welche sonst hinter verschlossenen Türen erforscht werden.

Im Institutszentrum feierten wir obendrein den 60. Geburtstag der Fraunhofer-Gesellschaft. Gemeinsam mit unseren Ehrengästen, der Sächsischen Staatsministerin für Wissenschaft und Kunst, Frau Dr. Eva-Maria Stange sowie dem ersten Bürgermeister Dirk Hilbert bestaunte das Publikum die Künste des Glasperlenspielers Mister Crystal und die des Zauberers Kay Gellrich zum Thema »Finanzkrisenmagie«.

Im Anschluss daran hieß es »Bei Fraunhofer grillt der Chef!« - unsere Institutsleiter Prof. Eberhard Schultheiß und Prof. Volker Kirchhoff grillten 60 Minuten lang für die Gäste der Jubiläumsfeier und verteilten Würstchen an Groß und Klein.

Nach der körperlichen Stärkung schwärmten die Dresdner Nachtwandler aus, um das vielfältige Angebot zu erkunden. Clevere Kids blieben den Forschern mit einem Quiz von Station zu Station auf der Spur. So erfuhren Sie warum eine Rose in tausend Stücke zerbricht, wenn man sie vorher in flüssigen Stickstoff getaucht hat oder wie eine Glasscheibe mit Hilfe einer photokatalytischen Schicht zur selbstreinigenden Fensterscheibe wird. Außerdem beobachteten die Nachwuchsforscher live, wie man mit Hilfe eines Elektronenstrahls eine Metallplatte gravieren kann. Und hätten Sie gedacht, dass der Elektronenstrahl außerdem medizinische Geräte oder Saatgut desinfizieren und sterilisieren kann? Ferner zeigte ein Blick in unsere riesigen Beschichtungsanlagen den Besuchern, welche Rolle die Oberflächentechnik im zukünftigen Alltag spielt – ob bei Anwendungen der Solartechnik oder für den Einsatz von

wärmereflektierenden Folien beim Hausbau – Fraunhofer-Technologien zum Thema Energieeffizienz sind gefragt wie nie zuvor!

Die heiterste Art der Forschung nahe zu kommen, erfuhren unsere Besucher auf dem vacuBIKE – mit diesem Spezialfahrrad erstrampelten sich eifrige Nachtschwärmer ihr »eigenes Vakuum«.

Eine Lange Nacht mit über 2800 Besuchern ging im Fraunhofer-Institutszentrum zu Ende. Wir freuen uns über so viel Neugierde, Begeisterung und Abenteuerlust und laden alle Nachtwandler schon jetzt zur nächsten Wissenschaftsnacht am 18. Juni 2010 ein.

## KONTAKT

Annett Arnold

Telefon +49 351 2586-333

annett.arnold@fep.fraunhofer.de





## WISSENSDURSTIGE JUNIORDOKTOREN-ANWÄRTER IM FRAUNHOFER FEP

Ein »Dokortitel« schon vor dem Schulabschluss?  
Das klingt ungewöhnlich, doch mit dem »Juniordoktor« ist es möglich!

Auch im Schuljahr 2008/2009 können sich Schüler aus Dresden und Umgebung wieder auf den Weg zum »Dokortitel« machen. Ausgestattet mit einem persönlichen Juniordoktor-Pass absolvieren sie Stationen der Dresdner Naturwissenschaften, Medizin, Wirtschaft und Kunst. Sie besuchen Labore, durchforsten Museen, treffen Wissenschaftler und beantworten Fragen, um mit dem begehrten Titel Juniordoktor ausgezeichnet zu werden.

Am 10. März 2009 führte der Weg zum ersehnten Dokortitel auch an unserem Institut vorbei. Insgesamt 19 Jungen und Mädchen im Alter zwischen 14 und 18 Jahren besuchten das Fraunhofer FEP und lauschten einem Vortrag von Frank-Holm Rögner mit dem Titel »Im Vakuum ist mehr los als Nichts«. Den Juniordoktor-Anwärtern wurden im Laufe der Veranstaltung knifflige Rätsel gestellt: Wie kann ein Elektron nützlicher sein als ein Schweizer Taschenmesser? Was braucht es, um damit zu heizen, zu schweißen, Dinge zu durchleuchten oder Oberflächen und Materialien zu verändern? Und was ist überhaupt ein Vakuum? Mit Hilfe kleiner Experimente und anschaulicher Beispiele hatten die Schüler schnell den Durchblick und konnten auch die finale Juniordoktor-Frage beantworten. Ein Ausflug in unser Technikum und ein Blick in die Plasmakammer der inline-Vakuumbeschichtungsanlage MAXI bildeten den Höhepunkt des Nachmittages im Fraunhofer FEP. Wir danken den Schülern für so viele clevere

Fragen und Antworten und wünschen ihnen noch alles Gute auf ihrem Weg zum Juniordokortitel!

## GIRLS' DAY 2009 – EIN ZUKUNFTSTAG FÜR MÄDCHEN IM FRAUNHOFER FEP

Mädchen und technische Berufe passen nicht zusammen?  
Beim Girls' Day am 23. April 2009 bewiesen wir das Gegenteil!

Das Fraunhofer FEP lud 15 Mädchen ein, unseren Wissenschaftlerinnen für einen Tag über die Schulter zu schauen. Was macht eigentlich eine Physiklaborantin und wie wird man Diplomchemikerin? Wie sieht der Arbeitsalltag einer Wissenschaftlerin bei uns aus? Und welche Anwendungen gibt es im Alltag für die technologischen Entwicklungen des Fraunhofer-Instituts für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik? An diesem Tag gab es für die Mädchen viel zu entdecken: Eine Gruppe erforschte den selbstreinigenden Effekt von photokatalytischen Schichten aus Titanoxid auf einer Glasscheibe. Außerdem durften die Mädchen im Rahmen eines Materialtests mit einem Messer Brillengläser zerkratzen, Glaslinsen in Salzwasser kochen und einen Abrasionstest durchführen. Somit lernten sie, wie wir unsere Beschichtungen auf Haltbarkeit und Kratzfestigkeit testen. Die zweite Gruppe erforschte, was mit einer Glasscheibe passiert, wenn man diese mit Elektronen beschießt. Ein anschließender Test wies die entstandene Verfärbung als eine chemische Reaktion nach. Dass Elektronen noch viel mehr können, erfuhren die Schülerinnen beim Gravieren mit dem Elektronenstrahl auf einer Metallplatte. Als Abschiedsgeschenk durfte jede Schülerin einen gravierten Anhänger mit nach Hause nehmen. Der Institutsleiter Prof. Dr. Eberhard Schultheiß erklärte, warum gerade Mädchen für viele technische Berufe besonders gut geeignet sind: »Mädchen überzeugen durch gute Schulnoten, Fleiß und Ausdauer. Sie sollten sich unbedingt trauen, auch in

naturwissenschaftliche Berufe hinein zu schnuppern, zum Beispiel im Rahmen eines Praktikums bei uns.« »Außerdem sind Mädchen oft sehr kreativ, was besonders in der Forschung wichtig ist, um innovative Wege zu gehen.« fügte Dr. Christiane Wetzel hinzu. Der Girls' Day ging für beide Seiten – Schülerinnen und Forscherinnen mit vielen Fragen und Antworten zu Ende. Wir freuen uns über den Mut und die Neugier der Nachwuchsforscherinnen und hoffen, sie mit diesem Tag ihrer Berufswahl für die Zukunft ein Stück näher gebracht zu haben.

## KONTAKT

Annett Arnold  
Telefon +49 351 2586-333  
annett.arnold@fep.fraunhofer.de





## GRUNDLAGENSEMINAR »REINIGUNGSTECHNIK – REINIGUNG IN DER PRODUKTION«

»Reinigungsprozesse sind kostenintensiv aber leider ein notwendiges Übel« ist ein oft gehörtes Zitat in der Industrie. Dass Reinigungsprozesse wertschöpfend sind und nur durch ein solides Grundlagenwissen prozesssicher betrieben werden können, haben die Teilnehmer am ersten Grundlagenseminar erkannt.

Die zentrale Bedeutung der Reinigung in der Produktion wird in letzter Zeit immer häufiger hervorgehoben. Die Reinigungstechnik ist ein fester Bestandteil in der Prozesskette zur Herstellung eines Produkts und ein Querschnittsthema für den Maschinen- und Anlagenbau sowie für die Produktions- und Verfahrenstechnik. Bei der Analyse von Reinigungsaufgaben, der Schadensanalyse oder bei der Auswahl von Reinigungsverfahren fehlt es aber oft an der notwendigen Systematik bzw. Methodik. Dieses Wissen kann in Deutschland leider noch nicht in einem Ausbildungsberuf oder Studium erlernt werden, somit fehlt es in der Industrie an qualifiziertem Know-how und Mitarbeitern, die Reinigungsaufgaben zu bewältigen haben. Der Bedarf an Schulungen und Seminaren ist dementsprechend hoch. So planen 20 Prozent der in einer Markt- und Trendanalyse befragten Unternehmen die Schulung ihrer Mitarbeiter auf dem Gebiet der Reinigungstechnik (1).

Aus diesem Grund hat die Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik, in der das Fraunhofer FEP seit Gründung im Jahr 2002 Mitglied ist, das Grundlagenseminar »Reinigungstechnik - Reinigung in der Produktion« geplant und 2009 erstmals erfolgreich durchgeführt. Als Veranstaltungsort wurde das Fraunhofer FEP ausgewählt und hat diese Premiere mit Bravour bestanden, wie die Befragung der Teilnehmer ergeben hat. Neben den Referenten des Fraunhofer FEP - Prof. Schultheiß und Herrn Rögner - konnten weitere 6 Referenten aus den Fraunhofer

IPK, IWS, IPA, IGB und IFAM vom 17. - 19. Juni 2009 den 18 interessierten Teilnehmern inhaltsreiche Tage mit Theorie und Praxis bieten. Das Vermitteln von Wissen und praktischen Fähigkeiten zum methodischen und systematischen Vorgehen in der Planung, Umsetzung und Qualitätssicherung von Reinigungsprozessen stand dabei im Mittelpunkt. Die Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik reagierte damit auf den Bedarf der Industrie und stellte bei dem Seminar bewusst nicht bestimmte Verfahren, Anwendungen oder Branchen in den Vordergrund, sondern die zentralen Fragestellungen:

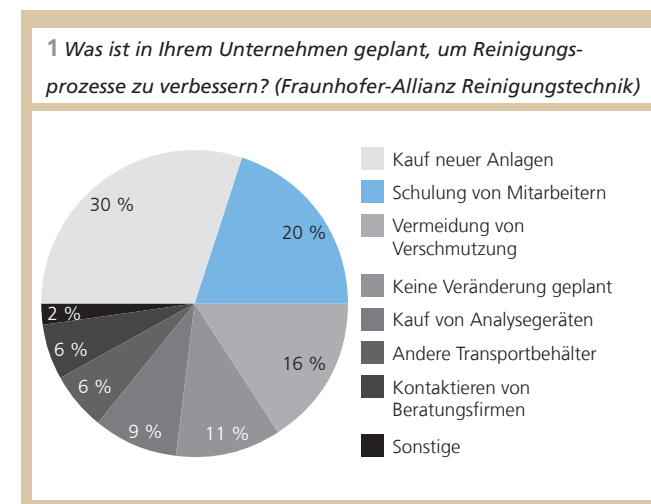
- ▶ Wie gehe ich Reinigung an?
- ▶ Wie gliedert sich die Reinigung in die Produktionskette ein?
- ▶ Welche Reinigungsverfahren stehen mir zur Verfügung?
- ▶ Wie messe ich die Sauberkeit meines Bauteils?
- ▶ Welche Möglichkeiten der Qualitätssicherung habe ich?
- ▶ Welche Richtlinien gibt es bzw. welche sind für mich relevant?

Die Teilnehmer aus den Verantwortungsbereichen

- ▶ Reinigungsprozesse
  - ▶ Investitionen
  - ▶ Qualitätssicherung
  - ▶ Produktionsplanung, Technologie
- hatten sich dabei die Ziele gesetzt
- ▶ unternehmens- und anwendungsneutral eine solide Know-how Basis zu erwerben
  - ▶ methodische Sicherheit bei der Lösung von

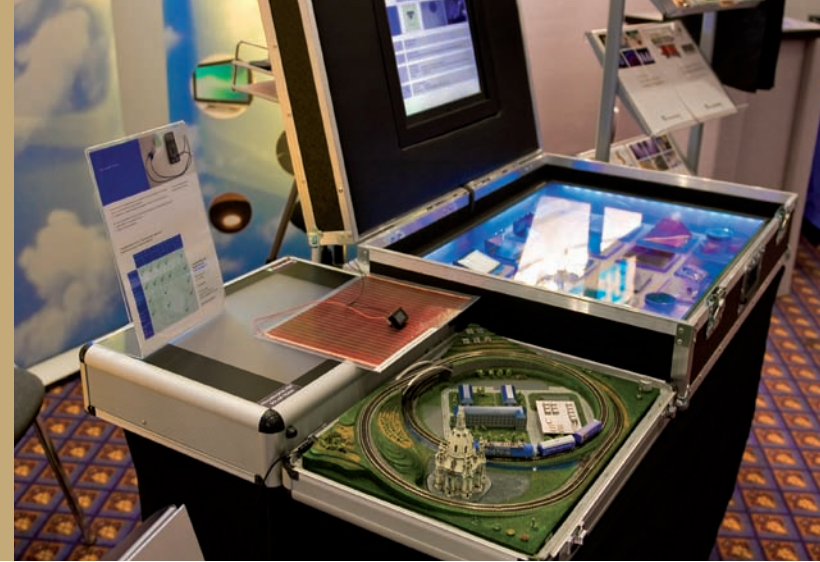
- Reinigungsaufgaben zu bekommen
- ▶ theoretische Grundlagen zu festigen
- ▶ Reinigungsverfahren, -analytik und Qualitätsmanagement zu systematisieren

Die Resonanz der Teilnehmer bestätigte die Richtigkeit des gewählten Ansatzes. Damit wurde der Startpunkt für eine begehrte Seminarreihe gelegt, die in Zukunft zu einem zertifizierten Lehrgang ausgebaut werden soll. Vom 16. - 18. Juni 2010 wird es im Fraunhofer FEP wieder heißen: »Reinigungsprozesse beherrschen – Eine saubere Leistung!«



## KONTAKT

Frank-Holm Rögner  
 Telefon +49 351 2586-242  
 frank-holm.roegner@fep.fraunhofer.de



## INTERNATIONALE KONFERENZEN, SYMPOSIEN UND MESSEN

Auch im Jahr 2009 nahm das Fraunhofer FEP an zahlreichen internationalen Konferenzen, Symposien und Messen teil, um neuste Forschungsergebnisse zu präsentieren und den Austausch mit anderen Wissenschaftlern zu fördern. Vertreten waren wir unter anderem auf folgenden Veranstaltungen:

|   |
|---|
| 28.01. Erneuerbare Energien (enertec 2009), Leipzig, Deutschland  |
| 29.01. Thermische EB-Technologien, Freiberg, Deutschland  |
| 03.03. - 05.03. MedTec Europe 2009, Stuttgart, Deutschland  |
| 10.03. - 11.03. 1 <sup>st</sup> Symposium Shaping European Nanotechnology, Düsseldorf, Deutschland  |
| 12.03. Gründungs-Kolloquium Anwenderkreis Normaldruckplasma, Jena, Deutschland  |
| 26.03. Workshop Heizen und Kühlen im Vakuum (EFDS), Dresden, Deutschland  |
| 30.03. - 03.04. DPG – Frühjahrstagung 2009, Greifswald, Deutschland   |
| 07.04. 1. Kolloquium Halbleitertechnologie/Mikroelektronik (Silicon Saxony), Dresden, Deutschland   |
| 15.04. - 17.04. 6 <sup>th</sup> International Symposium on Transparent Oxide Thin Films for Electronics and Optics (TOEO-6), Tokio, Japan |
| 19.04. - 23.04. 17 <sup>th</sup> International Conference on Wear of Materials, Las Vegas, USA  |
| 09.05. - 14.05. 52 <sup>nd</sup> Annual Technical Conference Society of Vacuum Coaters SVC, Santa Clara, USA                              |
| 11.05. - 15.05. Spie's Optifab 2009, Rochester, New York, USA   |
| 26.05. - 27.05. VDI Wissensforum, Dresden, Deutschland  |
| 01.06. - 04.06. 9 <sup>th</sup> International Conference on Electron Beam Technologies (EBT 2009), Varna, Bulgarien                       |
| 19.06. Niedersächs. Photovoltaik Symposium, Hameln, Deutschland   |
| 22.06. Dünnschicht Messtechnik in der Photovoltaik (Sentech), Leipzig, Deutschland  |
| 23.06. 10. Wörlitzer Workshop Laseranwendung in der Elektronik- und Photovoltaik-Industrie, Wörlitz, Deutschland                          |
| 30.06. - 01.07. 2 <sup>nd</sup> Int. Battery Congress Advanced Battery Technologies 2009, Frankfurt/Main, Deutschland                     |
| 08.07. - 10.07. 10 <sup>th</sup> International Symposium on Sputtering and Plasma Processes (ISSP 2009), Kanazawa, Japan                  |
| 08.07. - 10.07. 2 <sup>nd</sup> Int. Symposium for flexible Organic Electronics (IS-FOE), Chalkidiki, Griechenland                        |
| 15.07. - 16.07. MEF-Tag 2009, München, Deutschland  |
| 26.08. Photovoltaik in Mitteldeutschland – Quo Vadis, Dresden, Deutschland  |
| 30.08. - 04.09. Microscopy Conference (MC 2009), Graz, Österreich   |
| 09.09. - 10.09. Messe für Nachwachsende Rohstoffe (naro.tech 2009), Erfurt, Deutschland   |

|   |
|---|
| 15.09. - 16.09. Thüringer Grenz-und Oberflächentage (ThGot), Jena, Deutschland  |
| 20.09. - 22.09. Biomaterials-Africa Conference 2009, Pretoria, Südafrika  |
| 20.09. - 25.09. Asian-European PSE 2009 (International Conference on Plasma Surface Engineering), Busan, Südkorea               |
| 21.09. WS-Chancen und Risiken der Nanotechnologie, Köthen, Deutschland  |
| 21.09. - 25.09. 24 <sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Deutschland                            |
| 22.09. - 26.09. 14 <sup>th</sup> IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Palma, Mallorca |
| 20.10. - 22.10. V2009 Industrieausstellung & Workshop Vakuumbeschichtung und Plasmaoberflächentechnik, Dresden, Deutschland     |
| 21.10. - 22.10. NDVaK 17. Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium, Dresden, Deutschland   |
| 03.11. - 05.11. 35 <sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2009), Porto, Portugal     |
| 05.11. - 06.11. 2. Photovoltaik Symposium Solare Energieversorgung – quo vadis?, Wolfen, Deutschland                            |
| 19.11. Kolloquium Denkmal-Lobby Deutschland - viele Köche verderben den Brei?, Köln, Deutschland                                |
| 30.11. - 02.12. OTTI – Dritte Fachtagung mit Ausstellung Transparent leitfähige Schichten (TCO), Neu-Ulm, Deutschland           |

## KONTAKT

Annett Arnold  
 Telefon +49 351 2586-333  
 annett.arnold@fep.fraunhofer.de



**ANNUAL REPORT**  
**2009**



## FOREWORD

We hope this annual report of the Fraunhofer Institute for Electron Beam and Plasma Technology will once again give you valuable information about our institute and a fascinating insight into our work.

Despite the difficult economic climate, the Fraunhofer FEP had a positive year in 2009. Our workforce, which currently stands at 121, had a total budget of 12.3 million euros at their disposal, over 30% of which came from projects with industry. We more than doubled our income from publicly funded projects compared with 2008. Accordingly, the focus of our activities in 2009 was the opening up of new technological fields and expanding our laboratory facilities, namely securing the long-term future of the institute. A very important step was the bringing into operation of a biomedical laboratory unit which in the future will allow biofunctionality tests to be carried out on biomedical equipment, surfaces, and even media. The laboratory unit will also play an important role in the development of new electron beam sterilization techniques, for example for the packaging sector.

A unique cluster tool has been developed which allows coating, electron beam structuring, and electron beam modification to be carried out in a vacuum sequence without interruption. Suitable for substrates of up to 8 inches, the tool opens up an array of opportunities, for example for pre-tests for future, complex production sequences for the Solarfabrik 2020.

In the analytical area, a new field emission scanning electron microscope (Hitachi SU8000) was brought into operation. This permits resolution down to the nanometer range. Together with a new, special specimen preparation technique, this will allow studies which otherwise would only be possible with (much more expensive) FIB/TEM combination systems.

In the area of process technology we carried out fundamental studies in 2009 on HIPIMS to allow an objective comparison with conventional pulse sputtering techniques. A special pulse sputtering technique for depositing oriented AlN layers having very high piezoelectric coefficients was qualified for applications in ultrasonic diagnostics.

Also particularly pleasing was the technological input we provided for preservation of our cultural assets: We were able to elucidate the nature of corrosion effects in noble metal threads

in Gobelin tapestries (Dresden Castle) and in the future we will use plasma methods to help preserve unique cultural works in Europe. The internationalization of the institute was furthered with exchanges with the IIT Madras and guest postgraduates from Brazil and Argentina. The highlights of FEP representation at international conferences in 2009 were presentations and exhibits at the 52<sup>nd</sup> SVC, V2009, Semicon Europe, and the 24<sup>th</sup> EU PVSEC.

Within the framework of the "Dresden Innovation Center for Energy Efficiency", which is being funded by the Fraunhofer-Gesellschaft and the Saxon State Ministry for Science and the Arts (SMWK), our links with the Technical University of Dresden were further expanded. This involves on the one hand a project with the Department of Semiconductor Physics (Prof. Weber), which is helping the expansion of our thin-film solar technologies, and on the other hand a project with the Department of Combustion, Heat and Material Transfer (Prof. Beckmann), which is developing layer technology for more efficient heat exchangers.

Especially important for the future is the construction of the new Institute Center on Bodenbacher Strasse with the Fraunhofer FEP's Solarfabrik 2020 and NanoHIP. The ground has now been made available and much of the financing is in place.

Looking back on a successful year, we are aware that an important part of our success is due to our industrial customers, funding organizations, partner R&D establishments, and our promoters and sponsors in the political world. We value greatly the trust you put in us. Equally, our success is also due to the enormous input of our motivated and highly qualified employees. We would like to take the opportunity here to expressly thank all FEP employees for their sterling work.

We look optimistically ahead to 2010, but realize that 2010 will be the year when the economic woes of the world will start to impact us. We believe the industrial focus of our work will enable us to get through these challenging times.

<sup>1</sup> Executive Director  
Prof. Dr. Eberhard Schultheiß  
(right) and Acting Director  
Prof. Dr. Volker Kirchhoff  
(left) with a flexible solar cell

Prof. Dr. Eberhard Schultheiß

Prof. Dr. Volker Kirchhoff





## CONTENTS

### 67 - 129

|   |     |  |     |
|---|-----|--|-----|
| Foreword  | 67  | Biomedical laboratory unit for the development of medical products               | 111 |
| Contents  | 70  | The Fraunhofer FEP – a member of the Cultural Heritage Research Alliance (FALKE) | 113 |
| Our advisory board  | 71  | New ultra high-resolution field emission scanning electron microscope            | 115 |
| The institute   | 74  | Ion beam preparation system for cross-sections                                   | 117 |
| Profile of the Fraunhofer FEP   | 75  | <b>Highlights</b>  | 120 |
| Organizational structure  | 77  | The Fraunhofer Lounge<br>relaxation, entertainment, debate                       | 121 |
| The institute in figures  | 79  | Fraunhofer seeks the talent of the future!                                       | 123 |
| The Fraunhofer-Gesellschaft   | 82  | Long Night of Science 2009   | 124 |
| Fraunhofer Group Light & Surfaces   | 83  | Knowledge-hungry junior doctoral candidates at the Fraunhofer FEP                | 125 |
| <b>Research News</b>  | 86  | Girls' Day 2009<br>a day for girls at the Fraunhofer FEP                         | 126 |
| Deposition and crystallization of silicon layers                            | 87  | Basic seminar<br>cleaning technology in industrial production                    | 127 |
| Is HIPIMS better than conventional pulse magnetron sputtering?              | 91  | International conferences, symposia and fairs                                    | 129 |
| Magnetron sputtering of piezoelectric aluminum nitride layers               | 95  | <b>Annex</b>   | 132 |
| APC-LIB – a comprehensive controller library                                | 97  | Names, dates and events  | 133 |
| ESABEL – new activities for the market introduction of e ventus® technology | 99  | International representatives  | 139 |
| Electron beam technology for ultra-fast CT x-ray imaging                    | 101 | How to reach us  | 142 |
| First industrial solution for magnetron PECVD                               | 103 | <b>Editorial notes</b>   | 143 |
| Sputtering of novel transparent conducting oxides (TCOs)                    | 105 |  |     |
| Polymer films with anti-reflective properties via plasma etching (POLAR)    | 107 |  |     |
| Roll-to-roll manufacture of transparent high-barrier films                  | 109 |  |     |





## OUR ADVISORY BOARD

The 20<sup>th</sup> meeting of the Fraunhofer FEP advisory board took place on 13 May 2009.

A minute's silence was held in memory of Dr. Siegfried Döttinger, a former member of the Fraunhofer FEP committee, who died in May 2008 after a long serious illness. Dr. Döttinger had been a member of the Fraunhofer FEP committee since 2001 and in that time he oversaw the development of the Fraunhofer FEP with much enthusiasm. He was able to call on his vast experience as head of research at Daimler Chrysler AG.

With personal words, Prof. Buller and Dr. Engel presented the new committee members - Prof. Funk, Prof. Eng, Dr. Osing, Dr. Michael, Dr. Stumpp, and Mr. Schild - with their certificates of appointment.

Dr. Roth, a first-time guest in the Fraunhofer FEP advisory board, was warmly welcomed. Prof. Buller expressed his hope that the appointment of the new advisory board members

would enable the ongoing changes at the Fraunhofer FEP to be invigorated and successfully furthered.

In the report of the board of the Fraunhofer-Gesellschaft, Prof. Buller informed those present about new innovations, the current economic situation, and special activities and highlights within the Fraunhofer-Gesellschaft. The starting point was the activities marking the 60<sup>th</sup> anniversary of the founding of the Fraunhofer-Gesellschaft.

A very constructive discussion accompanied the presentation of the current developments at the Fraunhofer FEP. Valuable points and comments were made by the committee members.

Our thanks indeed go to all advisory board members for the key part they have played in the successful development of the Fraunhofer FEP.

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Dr. Ulrich Engel         | Advisory board Chairman, Miba AG  |
| Prof. Dr. Gerald Gerlach | Technische Universität Dresden, Institute for Solid-State Electronics, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Institute Director |
| Prof. Dr. Gert Heinrich  | Leibniz-Institute of Polymer Research Dresden<br>Head of Institute of Polymer Materials   |
| Dr. Heinz Hilgers        | Member of advisory board VDI competence area "Nanotechnik", initiator and project manager of "Nanofunk"   |

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Prof. Dr. Dieter Junkers     | Corus Special Strip, former Director Technology<br>Head of Research and Development                      |
| RegDir. Andreas Kletschke    | Federal Ministry of Education and Research (BMBF)  |
| MinR Peter Nothnagel         | Saxon State Ministry of Economic Affairs and Employment (SMWA), Head of Division Technology Funding      |
| MinR Dr. Reinhard Zimmermann | Saxon State Ministry of Science and the Arts (SMWK),<br>Head of Division Research                        |
| Prof. Dr. Ulrich Buller      | Executive Board of the Fraunhofer-Gesellschaft   |
| Dr. Patrick Hoyer            | Fraunhofer-Gesellschaft  |
| Prof. Dr. Lukas Eng          | Technische Universität Dresden, Institute for Applied Photonics  |
| Prof. Dr. Richard Funk       | Technische Universität Dresden, Faculty of<br>Medicine "Carl Gustav Carus", Head of Institute of Anatomy |
| Dr. Klaus Michael            | Applied Materials GmbH   |
| Dr. Jan Osing                | ALD Vacuum Technologies GmbH   |
| Dr. Dietmar Roth             | Roth & Rau AG  |
| Robin Schild                 | VON ARDENNE Anlagentechnik GmbH  |
| Dr. Hermann Stumpp           | LOI Thermprocess GmbH  |
| <b>Guest members</b>         |  |
| Dr. Hans-Ulrich Wiese        | Former Board Member of the Fraunhofer-Gesellschaft   |





## THE INSTITUTE

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| Profile of the Fraunhofer FEP     | 75 |
| Organizational structure          | 77 |
| The institute in figures          | 79 |
| The Fraunhofer-Gesellschaft       | 82 |
| Fraunhofer Group Light & Surfaces | 83 |





## PROFILE OF THE FRAUNHOFER FEP

The Fraunhofer Institute for Electron Beam and Plasma Technology FEP in Dresden is one of the 59 institutes of the Fraunhofer-Gesellschaft. Following German reunification, it was established from work groups of the former Manfred von Ardenne R&D institute in Dresden. The Fraunhofer FEP develops, tests and optimizes technologies for industrial applications. In collaboration with proficient partners we are able to provide process and plant technologies to meet the needs of our customers. The Fraunhofer FEP has satisfied customers all over the world.

One of the Fraunhofer FEP's main fields of work is thin film technology. This concerns the coating of sheets, strips and components made of diverse materials with various layers or layer systems. Many items of everyday life have adapted surface properties. Plastic packaging films are made impermeable by special barrier layers. Metal sheets, which are for example used for facade cladding, are being equipped with corrosion-resistant and decorative layers. Sun protection foils or heat-insulating architectural glass for environmentally sound technologies are produced by applying light-filtering layer systems.

Furthermore, the applied research work of the Fraunhofer FEP is responsible for special layers used for displays, forgery-proof labels and mirrors in the newly restored Green Vault in Dresden, as well as many other products. For a worldwide market highly efficient plants are producing layers on millions of square meters of plastic films, metals, glass and other synthetic materials. Fraunhofer FEP therefore delivers special technologies and pilot plants in order to allow new applications and to optimize existing processes.

The second main field of work of the Fraunhofer FEP is electron beam technology. Electron beams are being used for the welding and evaporation of metals and for the modification of edge layers. Other applications are the curing of paints and lacquers, the improvement of the properties of plastics, the sterilization of medical devices and germ reduction in seed and grain. Electron beams are used as a precise tool for a broad range of applications. Many of these developments are closely related to the fields of electrical engineering, electronics and microelectronics. Innovative products such as thin film solar cells, sensors, microelectronic components and data media are being produced using technologies developed by the Fraunhofer FEP. For this research we have increased collaboration with Saxon universities and technical colleges over recent years. The main focus of this team work is the organization of targeted education and training in the technology fields of the Fraunhofer FEP.

As an industry-oriented R&D organization, the objective of the Fraunhofer Institute for Electron Beam and Plasma Technology FEP is to provide innovative and customized solutions in the field of thin film and surface technology. These solutions can sometimes be highly sophisticated, comprising for example an optimized layer system and suitable cleaning and pretreatment methods for the substrate. Further services we provide are the development and optimization of coating sources and coating processes, scale-up to a suitable scale depending on the product and integration into suitable plant technology and into existing production process. Economic considerations

relating to the process development play a major role. The cost effectiveness of the total system has the highest priority. The development of these optimal solutions requires R&D work on innovative processes involving high density plasma and high performance electron beams.

Due to the cross-sector and key nature of thin film and surface technology, the work of the Fraunhofer FEP is of interest to a wide range of customers. The most important branches are the building industry, transport sector, information technology, plant construction, pharmaceuticals, medicine and renewable energies.

### Business units and core competence

The Fraunhofer FEP comprises six business units:

- ▶ Coating of flat substrates with optical layers and layer systems
- ▶ Coating of flexible products
- ▶ Coating of sheets and metal strips
- ▶ Surface modification and treatment with electron beam
- ▶ Coating of machine parts and tools
- ▶ Coating of optic, electronic and magnetic components

In order to carry out their work, the business units require competence in three core areas:

- ▶ Electron beam technology
- ▶ Pulse magnetron sputtering
- ▶ Plasma activated high-rate deposition

These technologies are used within the six business units.

The Fraunhofer FEP is increasingly offering new technologies to customers as "technology packages", comprising the development and production of innovative key components for coating technology along with the relevant process technology.

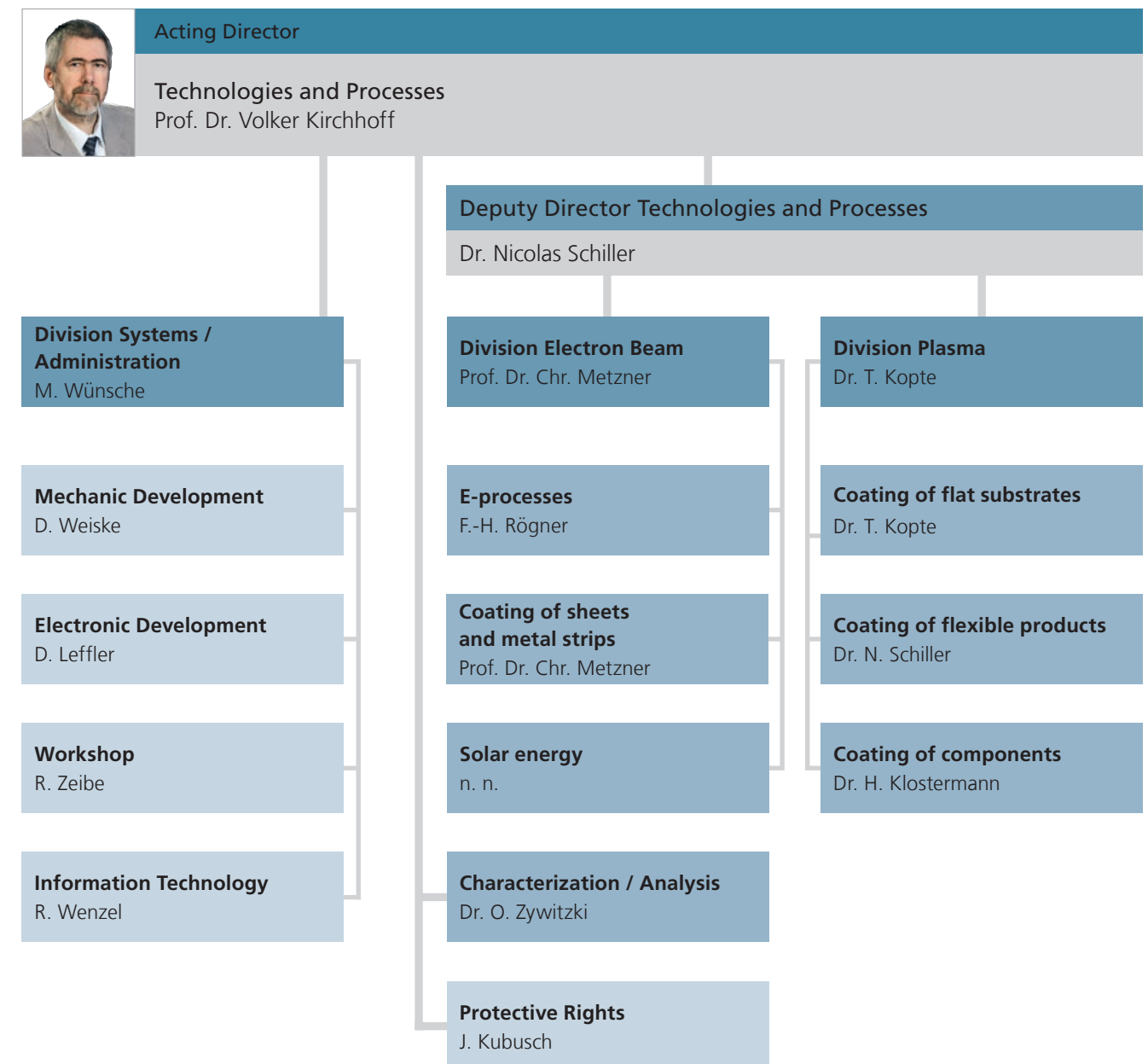
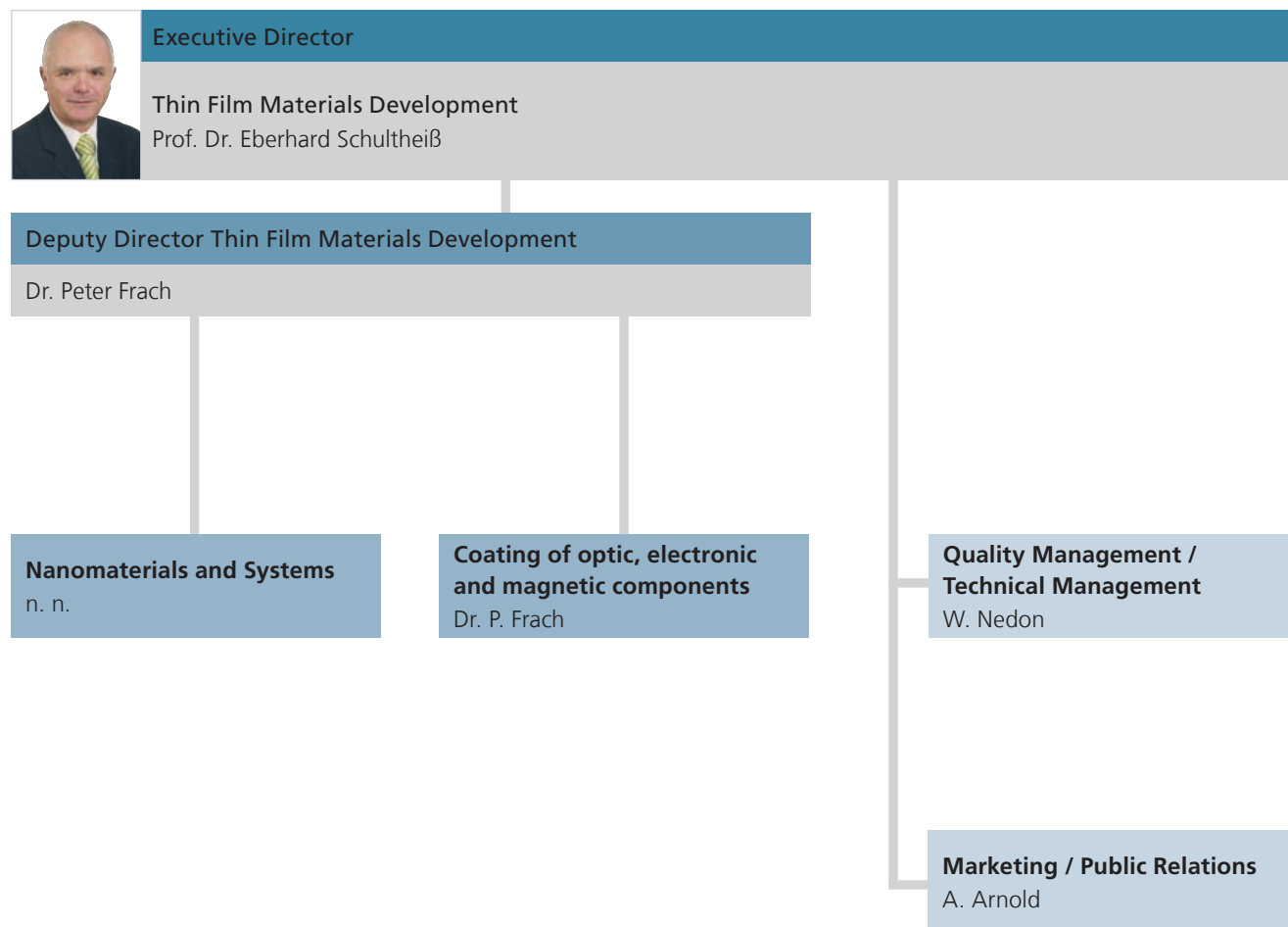
In 2009 the Fraunhofer FEP had 124 permanent employees, 6 trainees, and 80 auxiliary scientific/student staff.

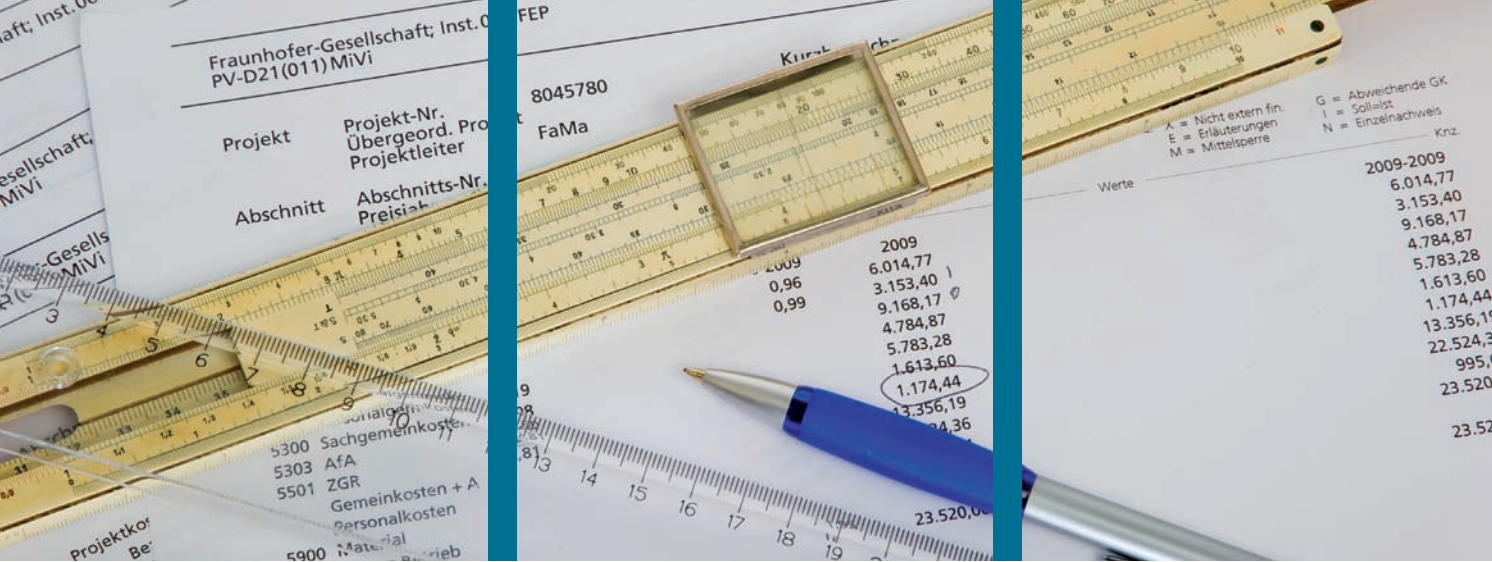
The Fraunhofer FEP currently has 7000 m<sup>2</sup> of laboratory area at two sites (Dresden and Helmsdorf). The equipment includes numerous industry-relevant plants for coating plastic films, glass substrates, plastic sheets, metal strips, metal sheets and components using plasma activated high rate deposition and pulse magnetron sputtering. Three further plants are used for welding, curing and surface treatment with electron beams. In addition, the institute has many laboratory plants and a variety of analytical equipment for the characterization of surfaces and layers.

As such, the Fraunhofer FEP is in an ideal position to develop innovative solutions for its customers.



# ORGANIZATIONAL STRUCTURE





## THE INSTITUTE IN FIGURES

### Funding

The impact of the global economic downturn was also felt by the Fraunhofer FEP in the report year. In 2009 there was a decrease in income from contract research with industry compared to 2008. In contrast, ambitious joint projects with medium-sized companies funded by the federal government and Länder, and in particular by the Saxon State Ministry for Science and the Arts (SMWK) and the Saxon State Ministry for Economic Affairs, Labor and Transport (SMWA), were able to start. This provides a solid basis for reaching our demanding goals in 2010.

The external funding in the report year was split as follows:

- ▶ Income from industry (contract research with industry) €3.6 million
- ▶ Public funding (contract research funded by the federal government) €1.1 million
- ▶ Public funding (contract research funded by the Länder) €2.7 million
- ▶ EU funding €0.1 million
- ▶ Other funding €1.1 million

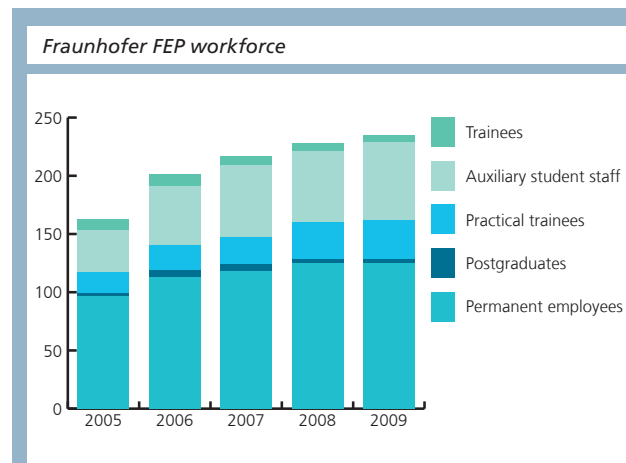
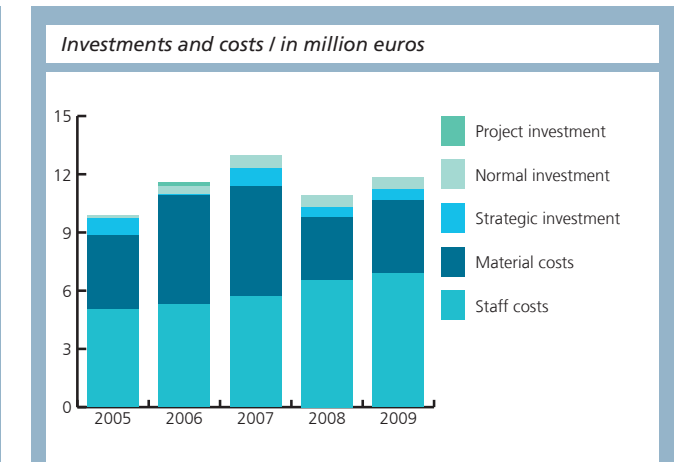
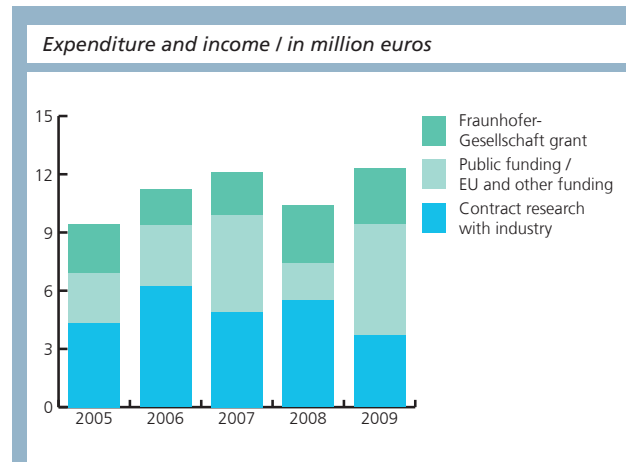
Given the level of external funding in the report year, self-funding amounted to 75 percent of the total expenditure of 12.3 million euros. Staff costs amounted to 56 percent of the total expenditure. In the report year 0.9 million euros were spent on equipment and infrastructure (0.1 million euros of which was strategic investment) in order to carry out the research projects. In addition, the Fraunhofer FEP received funding of 5.6 million euros from the European Fund for

Regional Development (EFRD) for establishing new process technology.

### Workforce

In 2009 the Fraunhofer FEP had 124 permanent employees, 6 trainees, and 80 auxiliary scientific/student staff. The rise in employee numbers, started two years ago, was hence continued in 2009. We strived to engage highly motivated scientists who are able to undertake Ph.D. work within the scope of our R&D activities.

With regards to the training of young technical staff, we once again used our own technician training program to attract new employees in this area. In the report period there were 3 physics laboratory technicians, 1 metal-working mechanic, 1 industrial mechanic, and 1 materials tester in the process of being trained. We would like to extend thanks to all employees and organizations involved in the training of our young trainees.



## CONTACT

Matthias Wünsche  
 Phone +49 351 2586-400  
 matthias.wuensche@fep.fraunhofer.de





## THE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

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

At present, the Fraunhofer-Gesellschaft maintains more than 80 research units in Germany, including 59 Fraunhofer Institutes. The majority of the 17,000 staff are qualified scientists and engineers, who work with an annual research budget of €1.6 billion. Of this sum, more than €1.3 billion is generated through contract research. Two thirds of the Fraunhofer-Gesellschaft's contract research revenue is derived from contracts with industry and from publicly financed research projects. Only one third is contributed by the German federal and Länder governments in the form of base funding, enabling the institutes to work ahead on solutions to problems that will not become acutely relevant to industry and society until five or ten years from now.

Affiliated research centers and representative offices in Europe, the USA and Asia provide contact with the regions of greatest importance to present and future scientific progress and economic development.

With its clearly defined mission of application-oriented research and its focus on key technologies of relevance to the future, the Fraunhofer-Gesellschaft plays a prominent role in the German and European innovation process.

Applied research has a knock-on effect that extends beyond the direct benefits perceived by the customer: Through their research and development work, the Fraunhofer Institutes help to reinforce the competitive strength of the economy in their local region, and throughout Germany and Europe. They do so by promoting innovation, strengthening the technological base, improving the acceptance of new technologies, and helping to train the urgently needed future generation of scientists and engineers.

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

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





## FRAUNHOFER GROUP LIGHT & SURFACES

### Competence by networking

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

### Core competences of the group

- ▶ Surface and coating technologies
- ▶ Beam sources
- ▶ Micro- and nanotechnology
- ▶ Materials treating
- ▶ Opto-mechanical precision systems
- ▶ Optical measuring systems

### Contact

Group Chairman  
 Prof. Dr. Andreas Tünnermann  
 Fraunhofer IOF  
 Albert-Einstein-Straße 7  
 07745 Jena  
 Phone +49 3641 807-201

Group Assistant  
 Susan Oxfart  
 Phone: +49 3641 807-202

### Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering IOF, Jena

The Fraunhofer IOF develops solutions with light to cope foremost challenges for the future in the areas energy and environment, information and security, as well as health care and medical technology.

The competences comprise the entire process chain starting with optics and mechanics design via the development of manufacturing processes for optical and mechanical components and processes of system integration up to the manufacturing of prototypes. Focus of research is put on multifunctional optical coatings, micro- and nano- optics, solid state light sources, optical measurement systems, and opto-mechanical precision systems.

[www.iof.fraunhofer.de](http://www.iof.fraunhofer.de)

### Fraunhofer Institute for Electron Beam and Plasma Technology FEP, Dresden

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

[www.fep.fraunhofer.de](http://www.fep.fraunhofer.de)

### Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT, Aachen

The Fraunhofer ILT is worldwide one of the most important development and contract research institutes of its specific field. The activities cover a wide range of areas such as the development of new laser beam sources and components, precise laser based metrology, testing technology and industrial laser processes. This includes laser cutting, caving, drilling, welding and soldering as well as surface treatment, micro processing and rapid prototyping.

Furthermore, the Fraunhofer ILT is engaged in laser plant technology, process control, modeling as well as in the entire system technology. We offer feasibility studies, process qualification and laser integration in customer specific manufacturing lines.

[www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de)

### Fraunhofer Institute for Surface Engineering and Thin Films IST, Braunschweig

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

[www.ist.fraunhofer.de](http://www.ist.fraunhofer.de)

### Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques IPM, Freiburg

Fraunhofer IPM develops and builds optical sensor and imaging systems. These mostly laser-based systems combine optical, mechanical, electronic and software components to create perfect solutions of robust design that are individually tailored to suit the conditions at the site of deployment. In the field of thermoelectrics, the institute has extensive know-how in materials research, simulation, and systems. Fraunhofer IPM also specializes in thin-film technologies for application in the production of materials, manufacturing processes and systems

[www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)

### Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology IWS, Dresden

The business areas joining, cutting and surface technology are the main foci of the Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology IWS. The research and development activities base on a distinctive know-how in the field of material engineering and nanotechnology and include the possibility of material characterization. The IWS's special feature is its expertise in combining its know-how with its extensive experience in developing system technologies within the field of film- and laser technology.

[www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)

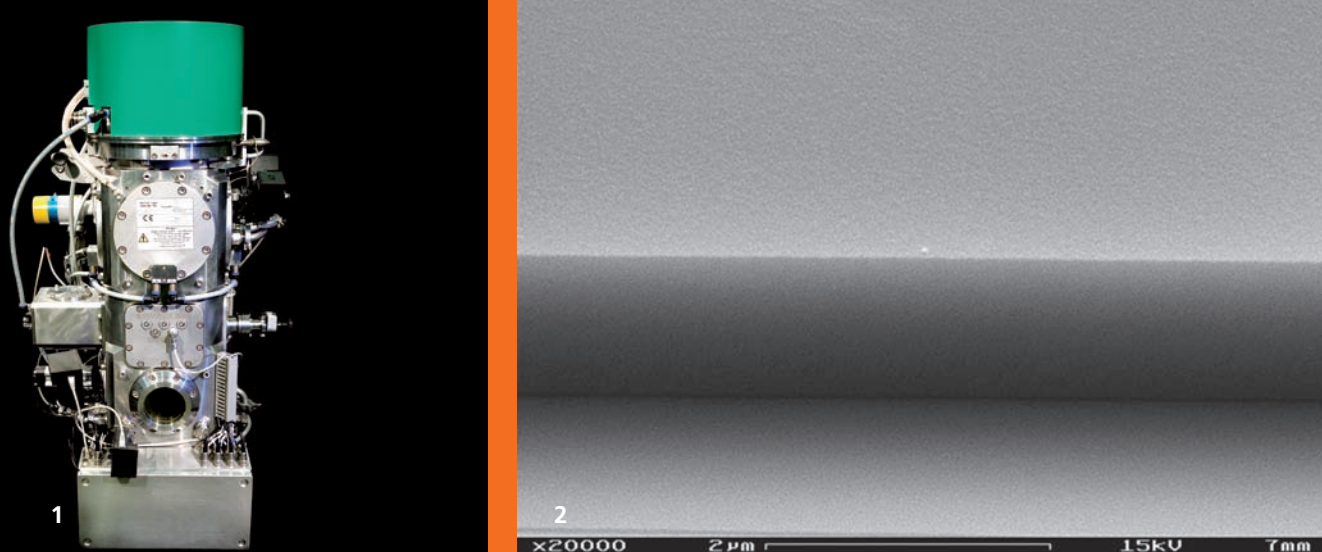




## RESEARCH NEWS

|  |     |
|--|-----|
| Deposition and crystallization of Si-layers using electron beam                  | 87  |
| Is HIPIMS better than conventional pulse magnetron sputtering?                   | 91  |
| Magnetron sputtering of piezoelectric aluminum nitride layers                    | 95  |
| APC-LIB – a comprehensive controller library                                     | 97  |
| ESABEL – new activities for the market introduction of e-ventus® technology      | 99  |
| Electron beam technology for ultra-fast CT x-ray imaging                         | 101 |
| First industrial solution for magnetron PECVD                                    | 103 |
| Sputtering of novel transparent conducting oxides (TCOs)                         | 105 |
| Polymer films with anti-reflective properties via plasma etching (POLAR)         | 107 |
| Roll-to-roll manufacture of transparent high-barrier films                       | 109 |
| Biomedical laboratory unit for the development of medical products               | 111 |
| The Fraunhofer FEP – a member of the Cultural Heritage Research Alliance (FALKE) | 113 |
| New ultra high-resolution field emission scanning electron microscope            | 115 |
| Ion beam preparation system for cross-sections                                   | 117 |





## DEPOSITION AND CRYSTALLIZATION OF SI-LAYERS USING ELECTRON BEAM

Technology for the high-rate deposition of amorphous silicon layers has been developed for future silicon thin-layer photovoltaic cells. Via a subsequent short-duration treatment with an electron beam in a continuous process it is possible to form silicon crystallites within the layer thickness.

In photovoltaic technology there is a keen interest in economical, commercially viable manufacturing methods for thin layer cells. The use of silicon as an absorber material is very promising for this. Currently both amorphous and crystalline silicon are produced, and also tandem cells with silicon layers. Electron beam technology can facilitate both effective layer deposition and also the short-duration crystallization step. The studies described here demonstrate the results that have been achieved up until now in this area at the Fraunhofer FEP.

The evaporation of silicon is achieved using the electron beam of an axial gun (accelerating voltage 40 kV) and a water-cooled copper crucible having a diameter of 20 cm (3). In this configuration it is noteworthy that up until now no copper contamination has been detected in the silicon layers. The reason for this is that due to the selected process parameters the evaporation only occurs from the inner region of the melt bath. In further studies, it has been shown that if required other materials can be used for the evaporator crucible. The silicon layers were applied to borosilicate glass (10 x 10 cm<sup>2</sup>). The layer thicknesses were varied between 3 ... 30 μm (2), and stationary coating rates of up to 70 nm/s were realized. The dependence of the coating rate on the applied electron beam power is shown in figure 4 and shows a linear correlation.

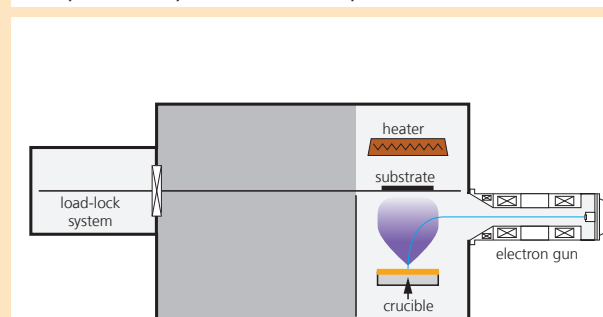
For the crystallization experiments, the glass substrates with the amorphous silicon layer were broken into smaller pieces (50 x 25 mm<sup>2</sup>). These smaller specimens were thermally treated in the ELSA experimental plant at the Fraunhofer FEP with an axial gun. Figure 7 shows the experimental set-up for 2-dimensional processing with a scanning electron beam. The following parameters were used for the experiments: 60 kV accelerating voltage and a 660 Hz deflection frequency for the electron beam; 1 cm/s substrate speed and 25 mm treatment width on the substrates.

In the studies, the short-duration maximum temperature in the layer was increased by carrying out separate experiments with increasing beam power. Optical microscopy was used to inspect prepared microsections of the layers. For the micro-section preparation, Secco-etching was employed in order to make the crystallites that were present easier to see. At maximum temperatures during the electron beam treatment of below the melting temperature, solid phase crystallization in the layers was detected. The formation of crystallites was detected by Raman measurements. These crystallites, of size considerably below 1 μm, form at temperatures below 1000 °C over a period of less than 1 s.

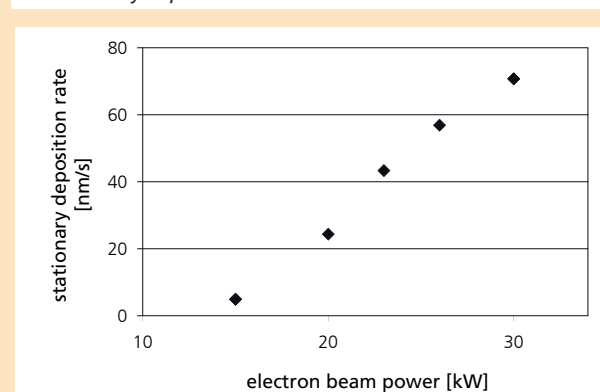
A further increase in the electron beam power and hence greater heating of the silicon layer caused significantly

1 Electron gun  
2 SEM figure of a deposited amorphous silicon layer

3 Experimental plant for silicon deposition



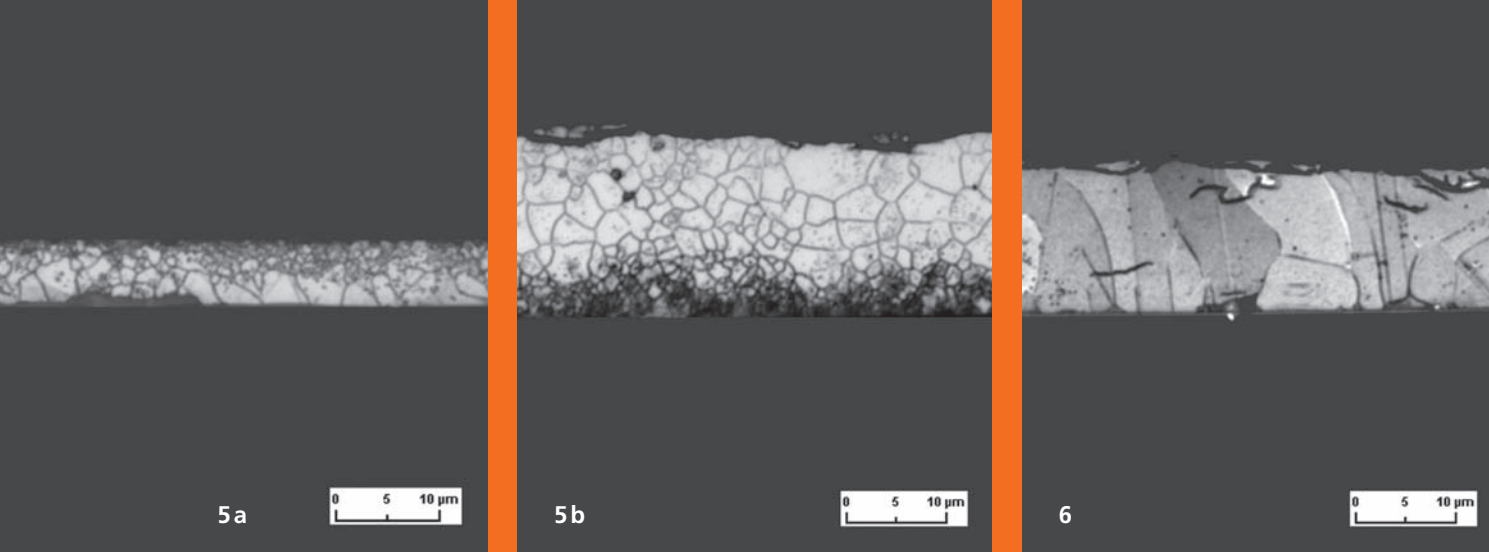
4 Stationary deposition rates for silicon



## CONTACT

Dr. Jens-Peter Heinß  
Phone +49 351 2586-244  
jens-peter.heinss@fep.fraunhofer.de





larger crystallites to form in the layers (figure 5a). The larger crystallites (3 ... 4 µm) in this specimen formed predominantly on the lower side of the 6 µm thick silicon layer. On further increasing the beam power there was melting of the layer for a longer period of time and the silicon coalesced to form large droplet-shaped structures. Such layers cannot be used further. This tendency to coalesce represents the first limitation on the beam power as a means of further increasing the size of crystallites (figure 5a).

Another phenomenon was apparent when crystallizing thicker silicon layers. Figure 5b shows that in the 16 µm thick silicon layer the crystallites formed in the upper and middle regions of the layer. The explanation for this is the local distribution of the energy of the electrons in the solid. At an accelerating voltage of 60 kV, the energy maximum for silicon is at a depth of 10 µm. Due to heat propagation, it is understandable that the lowermost region of the 16 µm layer does not heat the same as the upper region. For reasons of plant capacity, all of these experiments were carried out at the same accelerating voltage (60 kV). The results show, however, that the accelerating voltage can be used to customize the thickness of the crystallite layer. As such, the crystallites can be homogeneously distributed throughout the whole layer. This ability to optimize the electron beam parameters is a key advantage of this technology.

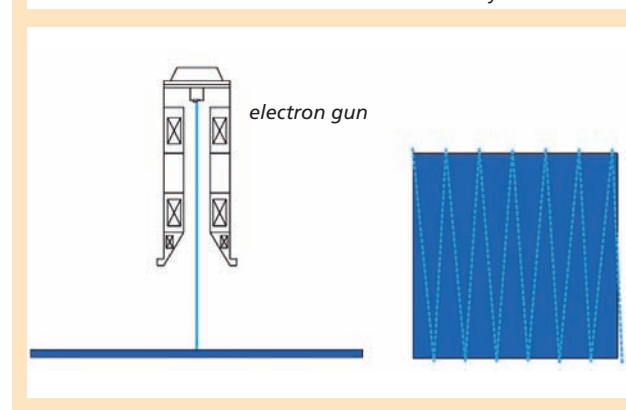
In further experiments the energy distribution of the electron beam was broadened using the electro-magnetic focusing coils of the beam source. The crystalline structures of silicon layers treated in this way were very compact and in some cases the crystallites extended across the whole layer thickness of 12 µm (figure 6). The local broadening of the electron beam led to broadening of the resulting temperature profile. After passing the beam maximum, the relevant region of the layer is post-heated for longer and the time available for crys-

tallite formation is extended. With this example further ways of optimizing the crystallization process should be indicated. The results which have been described for the deposition of amorphous silicon layers followed by a short-duration crystallization process demonstrate that for both processing steps there is scope for innovation with regard to the technical configuration and highly economical application to large areas.

#### Project funding

The joint project entitled "New PVD technologies for high-rate deposition of functional layers for photovoltaic cells" (reference no.: 11812/1864) was funded by the Saxon State Ministry for Economic Affairs, Labor and Transport via the Sächsische Aufbaubank; Project partner: VON ARDENNE Anlagentechnik GmbH

#### 7 Electron beam treatment for 2-dimensional crystallization



- 5 Structure of silicon layers after thermal electron beam treatment  
a)  $I_{EB} = 2.7 \text{ mA}$ ;  
b)  $I_{EB} = 3.5 \text{ mA}$
- 6 Structure of a silicon layer after thermal electron beam treatment  
( $I_{EB} = 5.2 \text{ mA}$ , electron beam specifically broadened)

Freistaat Sachsen  
Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit

SAB  
Sächsische AufbauBank

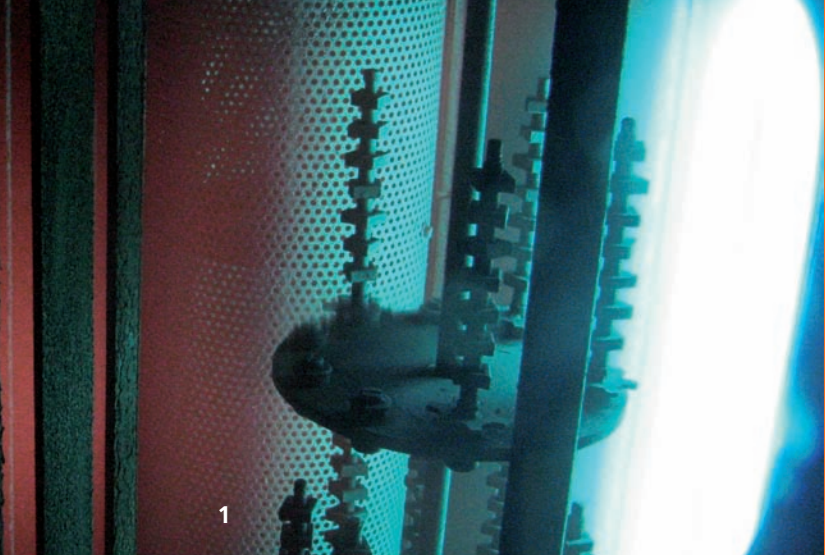


[www.solarfabrik2020.de](http://www.solarfabrik2020.de)

## CONTACT

Dr. Jens-Peter HeiB  
Phone +49 351 2586-244  
[jens-peter.heinss@fep.fraunhofer.de](mailto:jens-peter.heinss@fep.fraunhofer.de)





## IS HIPIMS BETTER THAN CONVENTIONAL PULSE MAGNETRON SPUTTERING?

A detailed comparison of this new, much discussed technology and the medium frequency pulse sputtering technique that is established at the Fraunhofer FEP should clarify to what extent its advantage regarding the attainable layer thickness can be utilized in technologically relevant applications.

Since the idea of high power pulsed magnetron sputtering (HPPMS or HIPIMS) was born more than 10 years ago, there has been ever increasing interest in scientific circles to use this new technology, carry out extensive R&D, and clarify the mechanisms involved. In some areas, this technology has attained special technical significance, for example for "Highly Ionized Metal Sputtering" in microelectronics which is used for coating Deep Trenches of high aspect ratio with metals. In contrast, no applications for large surfaces have been developed. In industry a certain reticence to use the technology, and to transfer the acquired knowledge to real processes, has prevailed.

HIPIMS, like conventional PMS, is concerned with feeding energy pulses into a magnetron discharge – albeit with much higher power densities and hence drastically reduced values for the pulse-pause ratio and pulse frequency. Typically conventional PMS has power densities during the pulse-on-time of between 5 ... 50 W/cm<sup>2</sup> for pulse-pause ratios of 1:1 and pulse frequencies of between 20 ... 200 kHz. The relevant values for HIPIMS are 0.5 ... 5 kW/cm<sup>2</sup>, 1:1000, and 50 ... 500 Hz (figure 2).

The high power density in the pulse leads to a high degree of ionization of the layer-forming particles, allowing the deposition of layers which are especially dense, smooth, and

homogenous. Besides this advantage, there are a number of disadvantages and in particular the drastically reduced deposition rate and the much higher tendency for arc discharges. In order to build up a knowledge base at the Fraunhofer FEP for evaluating this technology, the most effective HIPIMS generator available in the marketplace, the TruePlasma HighPulse 4008 (20 kW DC, 2 kV / 4 kA pulse at max. 500 Hz) made by Trumpf Hüttinger Elektronik, was compared with established MF pulse generators under a wide range of conditions (coating plant, magnetron type, target material, pressure, gas composition). The discharges themselves and also the deposited layers were evaluated.

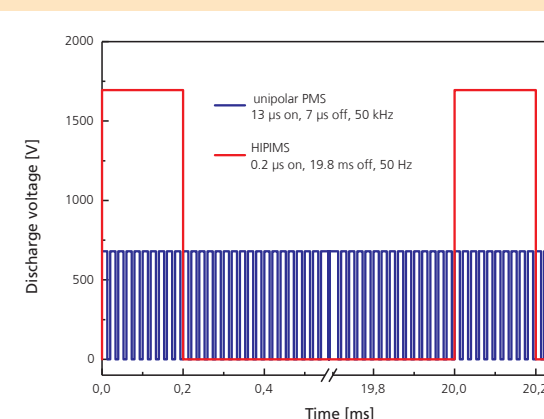
### ZrN layers

The first tests were carried out in the batch coating plant UNIVERSA with a 120 x 500 mm<sup>2</sup> rectangular magnetron on the Zr-N system. The generators which were used were the HIPIMS generator and a voltage-sourced rectifier for bipolar and unipolar pulse mode made by MagPuls (60 kW DC, 1 kV / 1kA pulse at max. 50 kHz). The maximum attained power densities in the pulse were about 0.5 kW/cm<sup>2</sup> for the HIPIMS generator, which was a factor of 2 higher than for the voltage rectifier. This was due to the higher operating voltage. Limiting factors for the power density of both generators were the magnetron magnetic field and arcing for long pulse lengths.

In order to evaluate the properties of the layers, a bipolar pulsed standard process (20 kHz, 100 W/cm<sup>2</sup> pulse) was compared with a HIPIMS process (500 Hz, 0.5 kW/cm<sup>2</sup> pulse) for depositing ZrN anti-abrasion layers. As expected, a slight increase in the hardness and an improvement of the morphology towards denser and smoother layers were observed (figure 3a, b). The deposition rate per unit power on rotating substrates fell insignificantly for the power density achieved in HIPIMS mode. However, the level of contamination in the layers increased somewhat due to the shorter duty cycle.

1 HIPIMS deposition of Cr-N

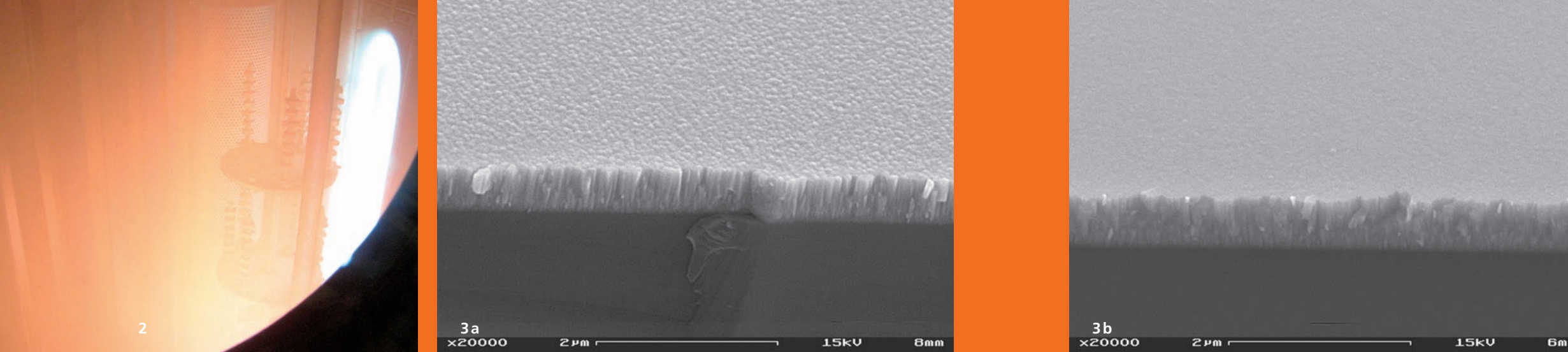
2 Schematic time profile of the discharge voltage for unipolar PMS and for HIPIMS



## CONTACT

Christian Gottfried  
Phone +49 351 2586-371  
christian.gottfried@fep.fraunhofer.de

Dr. Fred Fietzke  
Phone +49 351 2586-366  
fred.fietzke@fep.fraunhofer.de



**Ti and TiO<sub>2</sub> layers**

Further experiments with the "True Plasma" HIPIMS generator were conducted using the inner target of the double ring magnetron sputter source DRM 400 on the Cluster 300 plant. Amongst the materials which were studied, comparative tests were carried out with a Ti target with and without reactive gas. The DRM 400 has moveable magnet systems so that the dependence of the energy input in HIPIMS mode on the magnetic field strength could be studied in detail. It was found that the power density on the target was very dependent on the magnetic field strength for sputtering in pure argon (figure 5).

The maximum power density in the pulse increases at the target from 2.4 kW/cm<sup>2</sup> to 4 kW/cm<sup>2</sup> (67% increase) when the magnetic field strength is only increased by 15%. To achieve high power densities, strong magnetic fields are therefore favorable. The Ti coating rates in HIPIMS mode are only 10 to 14 percent of the coating rates in unipolar pulse mode at the same average power (figure 4). Furthermore, it was found that the thermal load on the substrate per unit layer thickness (namely the temperature increase after depositing a layer of defined thickness) was comparable with that of the PMS process.

The following are results from experiments in reactive HIPIMS mode with a Ti target in oxygen: In HIPIMS mode,

**4 Summary of the layer properties for different pulse modes and different reactive working points for TiO<sub>2</sub> deposition**

| mode     | working point      | layer thickness [nm] | rate [nm/min] | hardness [GPa] | n @ 550 nm | k @ 550 nm              |
|----------|--------------------|----------------------|---------------|----------------|------------|-------------------------|
| unipolar | stoichiometric     | 560                  | 110.0         | ~7.0           | 2.480      | < 10 <sup>-5</sup>      |
| HIPIMS   | hypostoichiometric | 848                  | 28.0          | 20.0           | 2.552      | 4.70 x 10 <sup>-3</sup> |
| HIPIMS   | full reactive      | 180                  | 6.0           | 16.5           | 2.514      | 4.20 x 10 <sup>-3</sup> |
| HIPIMS   | stoichiometric     | 675                  | 18.4          | 19.1           | 2.565      | 2.95 x 10 <sup>-3</sup> |

the reactive process also showed hysteresis. This contradicts other published findings. The reactive HIPIMS process can be controlled using optical plasma emission spectrometry. Higher process stability was achieved using the plasma control unit S-PCU of the Fraunhofer FEP by using the ratio of the intensities of 2 spectral lines (Ti 500 nm; O<sub>2</sub> 777 nm). By controlling the process in this way, the discharge can be stabilized within any desired working points and stoichiometric TiO<sub>2</sub> layers can be deposited in both unipolar pulse mode and in HIPIMS mode.

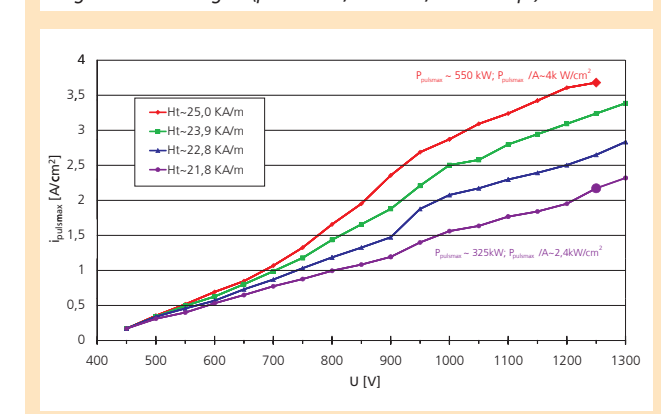
The maximum achievable coating rates for stoichiometric TiO<sub>2</sub> are only 5 to 20 percent of the comparable rates in unipolar mode. The TiO<sub>2</sub> layers deposited in the HIPIMS mode are much finer grained than those deposited by unipolar PMS. They grow from the substrate, and are first of all amorphous and then in the crystalline rutile form. Similar behavior was observed for TiO<sub>2</sub> layers deposited in bipolar pulse mode or in pulse packet mode. The TiO<sub>2</sub> layers deposited in the HIPIMS mode have, however, a higher hardness of up to 20 GPa compared to a maximum of 16 GPa for those deposited in pulse packet mode. They have a somewhat higher refractive index (n) than the layers deposited in unipolar pulse mode.

**Summary**

The studies on ZrN and TiO<sub>2</sub> have shown that HIPIMS is a promising technology for achieving layer properties that cannot be achieved using other sputtering techniques. These properties include a higher hardness and fine crystallinity. The disadvantages of the technique are in particular the much reduced coating rate at higher power density and the process stability. Given the current state of HIPIMS generators, laboratory scale process development should ensue. For the further development of the technology, suitable magnetron sputter sources with a high magnetic field are required. This will then enable HIPIMS processes to be developed for specific applications.

- 2 HIPIMS deposition of Cr-N with additional plasma source
- 3 SEM micrographs of ZrN layers
  - a) Deposited via bipolar pulse mode
  - b) Deposited via HIPIMS

**5 Maximum discharge power density  $i_{pulsmax}$  in the pulse for a Ti target (DRM 400) as a function of the discharge voltage U at different magnetic field strengths ( $p = 1 Pa Ar, f = 12 Hz, t_{on} = 200 \mu s$ )**

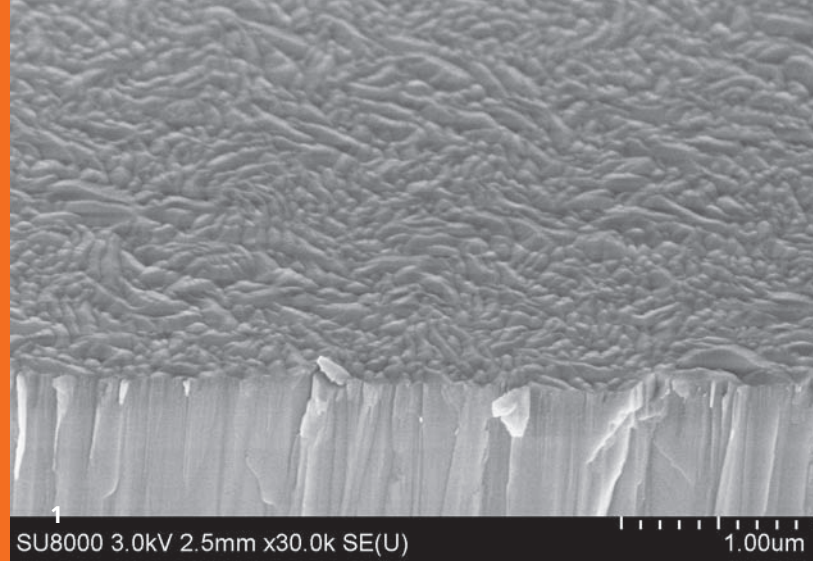


**CONTACT**

Christian Gottfried  
 Phone +49 351 2586-371  
 christian.gottfried@fep.fraunhofer.de

Dr. Fred Fietzke  
 Phone +49 351 2586-366  
 fred.fietzke@fep.fraunhofer.de





## MAGNETRON SPUTTERING OF PIEZOELECTRIC ALUMINUM NITRIDE LAYERS

Piezoelectric materials respond to the application of an electric voltage by deforming or, vice-versa, respond to the application of a force by charge separation. These materials are used in actuators and sensors, and also for micro energy harvesting.

In the simplest case, piezoelectric behavior is described by the piezoelectric coefficients  $d_{31}$  and  $d_{33}$  (units pm/V or pC/N), where  $d_{31}$  is the change in length transverse to the applied electric field and  $d_{33}$  is the change in length parallel to the applied electric field. The most common piezoelectric material to date is lead-zirconate-titanate (PZT). Due to the lead content of this material and other requirements such as compatibility with microelectronics technologies, the search is actively on for alternative materials. A promising material is aluminum nitride (AlN), which is piezoelectric due to its wurtzite crystal structure. Thin layers of thickness in the 1 ... 40 µm range are often of interest and that is why reactive magnetron sputtering, with its high coating rates, is particularly suitable for depositing such layers.

The deposition of AlN layers is being studied at the Fraunhofer FEP as part of a joint project with the Fraunhofer IZFP. The objective is to use these for ultrasound generation in so-called phased array ultrasonic transducers. The layer deposition is carried out in a stationary coating configuration with a double-ring-magnetron (DRM) sputter source. This allows the deposition of homogenous layers on substrates having a diameter of 200 mm. The layer deposition is achieved by sputtering from an aluminum target in a mixture of argon and nitrogen. Pulsed energy input guarantees the long-term stability of this reactive sputtering process. The layer deposi-

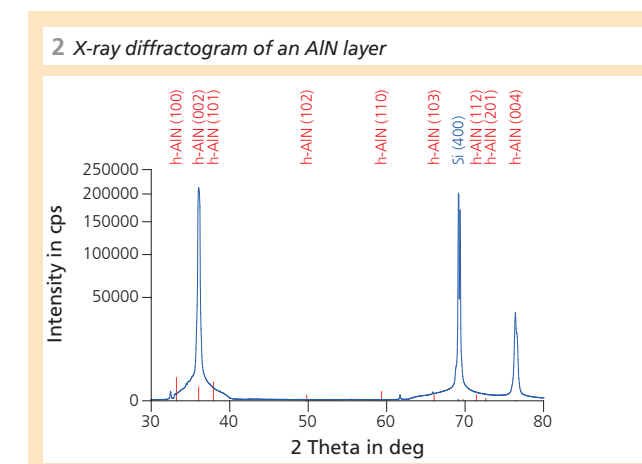
tion is carried out at powers in the 6 ... 12 kW range at rates between 110 ... 200 nm/min on unheated silicon substrates.

The layer properties were optimized by adjusting the process parameters, namely the power, pressure, pulse parameters, and nitrogen partial pressure. Selected results are shown. The analysis of the crystal structure was carried out by x-ray diffraction (XRD). The (002) and (004) diffractions in the x-ray diffractogram (figure 2) show the homogenous (001) texture of the AlN layers which corresponds to the hexagonal wurtzite structure. Samples were also analyzed by scanning electron microscopy (SEM). The AlN layer shown in the SEM micrograph (figure 1) has a compact structure, the crystallites are aligned perpendicular to the surface, and the surface is defect-free. Measurement of the piezoelectric coefficient  $d_{33}$  was undertaken at the Fraunhofer IZFP using a PM 300 Piezo-Meter manufactured by PiezoTest. This device measures the electric voltage that is generated under a modulated load. An average value of  $d_{33}=7.2$  pm/V was measured for the best layer. The density was measured by weighing the layers. The stress measurement was undertaken by determining the deflection of the coated Si-wafer. The table summarizes the relevant layer properties. In summary, the layers show an almost perfect (001) texture, have a density close to the bulk value for AlN, and have a very high piezoelectric coefficient  $d_{33}$ , which is considerably higher than the values for AlN

layers known from the literature. Initial tests have shown the materials are very suitable for ultrasonic transducers.

The project was funded by the Saxon State Ministry for Science and the Arts (SMWK) via the Sächsische Aufbaubank (SAB) under project reference 13555/2317.

1 SEM micrograph of an AlN layer



### 2 Properties of AlN layers

|                                    |                        |
|------------------------------------|------------------------|
| layer thickness                    | 10 µm                  |
| coating rate                       | 115 nm/min             |
| density                            | 3.20 g/cm <sup>3</sup> |
| mechanical stress                  | -1.06 GPa              |
| piezoelectric coefficient $d_{33}$ | 7.2 pm/V               |

Freistaat Sachsen  
Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst  
SAB  
Sächsische Aufbaubank

## CONTACT

Dr. Hagen Bartzsch  
Phone +49 351 2586-390  
hagen.bartzsch@fep.fraunhofer.de

1

## APC-LIB – A COMPREHENSIVE CONTROLLER LIBRARY

The Fraunhofer FEP, together with the Department for Technical Information Systems at TU Dresden, AIS Automation GmbH, and Roth & Rau AG, are carrying out a joint project to develop controllers for in-line vacuum coating processes based on Advanced Process Control (APC).

In the past, software was developed for data acquisition and APC, with the focus being on expandability and variability. For data storage, for example, a new innovative database system was developed that takes into account the aforementioned aspects due to its ability to adapt to the circumstances.

The objective of the current APC-LIB project is to develop a universal controller library for coating processes that are used for manufacturing photovoltaic elements. This library enables an APC controller to be generated, based on the module principle, from individual controller components such as PID controllers or model based predictive controllers (so-called predictors).

The necessary process models were developed by the Fraunhofer FEP in conjunction with project partners in extensive experiments using the MAXI and ILA 900 in-line coating plants. This enabled the expert knowledge of the Fraunhofer FEP in this area to be utilized and expanded. The focus of the work on the MAXI in-line coating plant for metal sheets and metal strips was plasma-activated SiO<sub>2</sub> deposition on steel strips (figure 1). This layer system is particularly important for insulation and barrier layers for thin film photovoltaic systems on metal strips. The sputtering of TCO layers (transparent conducting top layers as the front contact for photovoltaic systems) was studied using the ILA 900 vertical in-line sputtering plant.

A further task of the Fraunhofer FEP was the validation of the control algorithms implemented by the project partners, using our plants. Considerable progress has been made here. A prototype of a film thickness controller for the "titania on steel strip" coating process was, for example, successfully tested on the MAXI plant (figure 2). In order to compensate the large dead time in the process, this controller was implemented as a Smith predictor. The results of the validation have already been presented at a number of international conferences <sup>[1], [2]</sup>.

This provided the first building blocks for the envisaged controller module library. The process knowledge, process models, and results of prototype validations that have been acquired up until now have been used to draw up a concept for the library which is now being implemented by the project partners. Project completion is scheduled for the end of 2010.

This joint project is being funded under the Solarfabrik 2020 initiative by the Saxon State Ministry for Economic Affairs, Labor and Transport (SMWA) under the auspices of Sächsische Aufbaubank GmbH (SAB) (project reference 12674/2098).

### Literature:

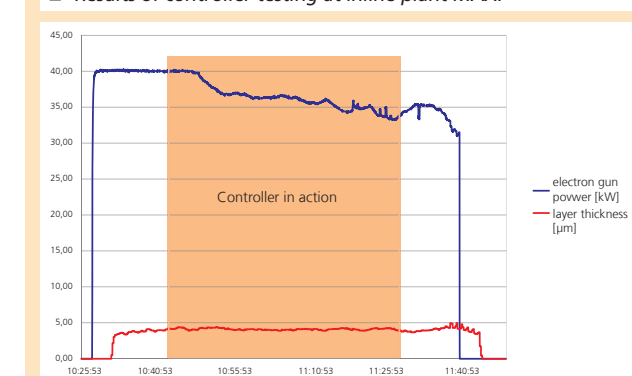
<sup>[1]</sup> H. Kubin, T. Unkelbach, M. Benesch, F.-H. Rögner, A. Dementjev, K. Kabitzsch and Chr. Metzner; *Identification of process models and controller design for vacuum coating processes with a long dead time using an identification tool with advisory support; In: ETFA 2009. Proceedings of the 14<sup>th</sup> IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. – Majorca, September 2009.*

<sup>[2]</sup> H. Kubin, M. Benesch, A. Dementjev, K. Kabitzsch, T. Unkelbach, R. Nyderle and Chr. Metzner;

*ADM - process identification tool for experts and technologists; In: IECON 2009. Proceedings of the 35<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – Porto, Portugal 2009.*

1 Plasma-activated vacuum coating of SiO<sub>2</sub> on steel strip on the in-line coating plant MAXI

2 Results of controller testing at inline plant MAXI



Freistaat Sachsen  
Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit

SAB  
Sächsische Aufbaubank



www.solarfabrik2020.de

## CONTACT

Thomas Unkelbach  
Phone +49 351 2586-246  
thomas.unkelbach@fep.fraunhofer.de





## ESABEL – NEW ACTIVITIES FOR THE MARKET INTRODUCTION OF E<sup>-</sup> VENTUS® TECHNOLOGY

Over the past 10 years or so, the environmentally-friendly electron treatment of seed products using e-ventus® technology to kill pathogens and hence improve the ability of the seeds to germinate has been tested on a pilot plant scale and valuable information has been acquired. The time has now come to introduce this technology to the commercial marketplace.

Following research studies at the Fraunhofer FEP and working with the then Schmidt-Seeger AG, the environmentally-friendly e-ventus® technology for treating seeds with accelerated electrons was developed about 10 years ago, with the ultimate aim of eventually using this on a real industrial-agricultural scale. The result of this work is a mobile seed treatment plant (WESENITZ 2), which has a high maximum seed throughput of 30 t/h. The technology involves the uniform treatment of all sides of each seed grain with a dose of energy that is lethal for pathogens. This dose of energy must impact the seed surface and must penetrate to a depth the order of the thickness of the epispem without adversely affecting the embryo inside the seed. The treatment is carried out in air in a continuous seed flow and therefore can be easily integrated into existing seed processing logistics.

The advantages of e-ventus® technology are in particular the non-usage of chemical dressing agents and hence lower pollution of the soil, improved seed drilling, and protection of employees against harmful or hazardous dust.

In recent years the technology has been extensively tested on a pilot plant scale. Much of this testing took place in Saxony, but some testing also took place at sites in other European countries. It must be pointed out that it has taken a number of years of testing with this technology to draw practically

meaningful conclusions. This is due to the natural fluctuations in seed quality, the geographical spread and number of pathogens, and weather influences, to name just a few of the factors involved. Working in collaboration with seed processing companies, farmers, and the Julius-Kühn-Institute over recent years has enabled proof to be acquired of the effect of the electron treatment on the main types of cereals and on mixtures of small seeds, and successful approval to be granted for bio-agricultural production.

At the start of 2009 our long-term development partner Schmidt-Seeger GmbH withdrew from the project. It sold its share of the joint WESENITZ 2 plant and its share of the technology and know-how in the company EVONTA-Service GmbH, which was founded for this purpose, in order to allow seamless continuation of the commercialization in collaboration with the Fraunhofer FEP.

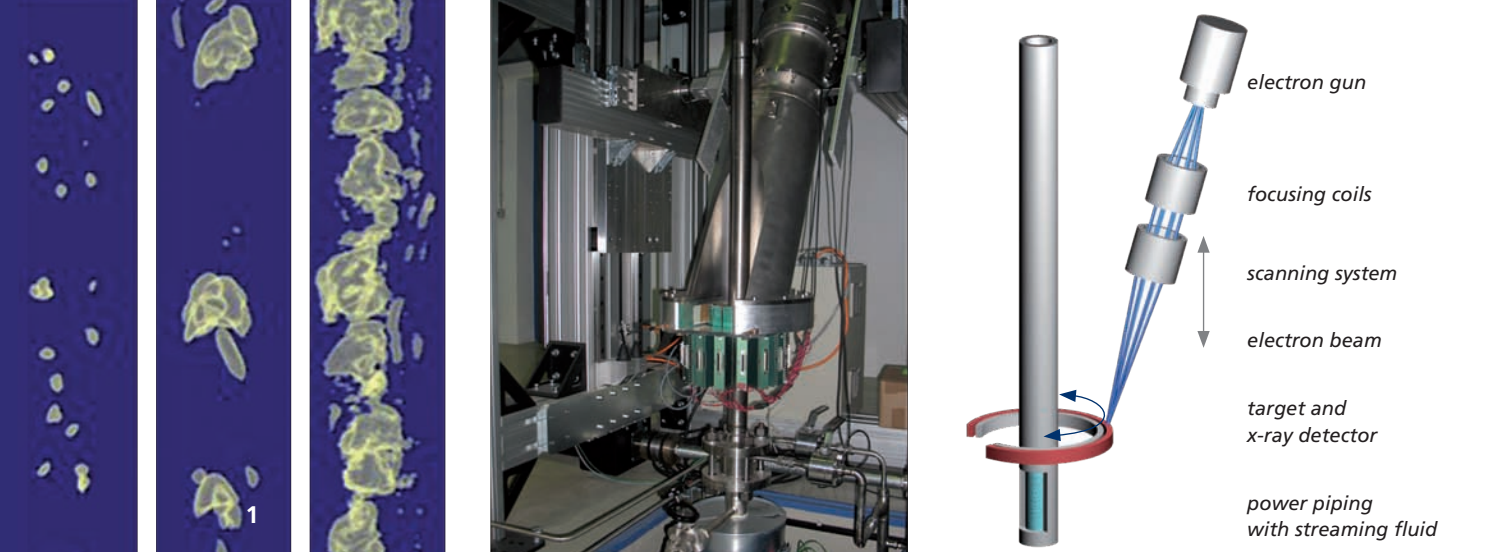
Over the last year there has also been an increasingly positive likelihood of successful introduction of this technology to the marketplace. This is due to the increasing number of bans on chemical dressing agents in the EU and the growing problem of seed disease in bio-agriculture.

With the support of the Venture group of the Fraunhofer-Gesellschaft, the FFE project ESABEL (FFE: Fraunhofer Fosters

Entrepreneurship) is in the process of spinning off a company with Fraunhofer shareholding. This will not only focus on the German market, but will also explore mass international markets such as China. As a result of a recent canvassing trip of the Fraunhofer FEP through 4 Chinese provinces, the President of the Fraunhofer-Gesellschaft, Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger, signed a Memorandum of Understanding on 11.11.2009 regarding collaboration with the Shandong Academy of Sciences in the area of seed treatment.

## CONTACT

*Frank-Holm Rögner*  
Phone +49 351 2586-242  
[frank-holm.roegner@fep.fraunhofer.de](mailto:frank-holm.roegner@fep.fraunhofer.de)



## ELECTRON BEAM TECHNOLOGY FOR ULTRA-FAST CT X-RAY IMAGING

There is a growing need for rapid, spatial imaging techniques for medical diagnostics, for quantification and monitoring of materials and goods flows in the processing industry, and for safety technology. Electron beam technology can make a valuable contribution here.

X-ray technology is indispensable for examining structures and processes inside opaque objects. In particular, there is a growing demand for rapid, high resolution, spatial imaging in many sectors of medicine, industry and research. In the chemical processing, oil production, agriculture, and nuclear technology sectors there is great interest in investigating, visualizing, and quantifying multiphase and highly dynamic material flows through pipes, reactors and heat exchangers. A deeper understanding of flow patterns, mixing behavior, and transient events will allow optimized control of reactants, better heat exchange, reduced tendency to vibrate, and the development of customized measuring devices for throughput, composition, and contaminant detection.

X-ray computer tomography (CT) can in principle be used as a tool for this. Units with a rotating x-ray source which have hitherto been developed for medical imaging are, however, often too slow for technical applications due to their mechanical inertia.

This deficiency also manifests itself in medical diagnostics because dynamic processes (heart beat, breathing, peristalsis, etc.) and aperiodic processes (arrhythmia, stimulated responses, behavior of implants under load, etc.) have up until now only been able to be recorded and visualized in an unsatisfactory way.

In collaboration with other research organizations, the Fraunhofer FEP has carried out a number of projects in recent years in order to develop a more effective technique for both application areas based on fast scanning electron beams of high power density.

In the period 2006 - 2008, an ultra-fast electron beam x-ray scanner has been developed in collaboration with the Institute for Safety Research at Research Center Dresden-Rossendorf (FZD) for the tomography of two-phase flows in pipes. The electron source of the scanner operates at an accelerating voltage of 150 kV and focuses a power of 10 kW into a spot of 1 mm diameter, which is then passed over a tungsten target at a sweep frequency of 10 kHz. The detector consists of 240 CZT crystals arranged around the measurement plane and approximately coplanar with the path of the electron beam. The detector readings can be simultaneously recorded at a data acquisition rate of 1 MS/s. This unit allows up to 15,000 tomographic slices per second to be visualized at 1 mm local resolution<sup>[1]</sup>.

Supported by the European Regional Development Fund (ERDF), a second, further improved electron beam scanner has been developed for FZD in the report year 2009. The new device currently undergoes start-up of operation and testing. A key aspect of research for optimizing the x-ray CT for medical diagnostics is directed at lowering

the effect of ionizing radiation on the patient. In order to achieve adequate imaging at the lowest possible x-ray doses, innovative CT geometries and powerful reconstruction algorithms are being developed at the Helmholtz-Zentrum Munich / German Research Center for Environmental Health (HMGU)<sup>[2]</sup>.

As part of the project "New concepts for 3-dimensional x-ray imaging" (BMBF FKZ 031518), the Fraunhofer FEP has made available a low energy electron beam scanner for HMGU in the report year. This scanner operates at an accelerating voltage of 20 to 40 kV and produces a current of  $\leq 200$  mA. A special x-ray target can be equipped with different materials (e.g. tungsten, molybdenum, and copper). The resulting adjustable flux density and spectral energy distribution of the x-ray quanta allow improved differentiation of soft body tissue and pathological deposits. The unit is designed to record 1000 slices per second and has facilities for reducing the dose of the patient during the measurement process. The goal is prospective use for mammography.

### References:

- <sup>[1]</sup> Fischer F, Hoppe D, Schleicher E, Mattausch G, Flaske H, Bartel R, Hampel U (2008); An ultra fast electron beam x-ray tomography scanner. *Measurement Science and Technology* 19: 094002
- <sup>[2]</sup> Tischenko O, Xu Y, Hoeschen C (2010) Main features of the tomographic reconstruction algorithm OPED. to be published in: *Radiat Prot Dosimetry* (advance access online available)

1 Function principle of the CT x-ray imaging utilizing a rapidly deflected electron beam (right); Target and detector section of the x-ray scanner, arranged around a test pipe (middle); 3D visualization of bubbles in a fast-streaming water-air mixture (left).

(source: Courtesy of FZD - Institute for Safety Research)

2 Electron beam x-ray scanner "ROFEX-2"

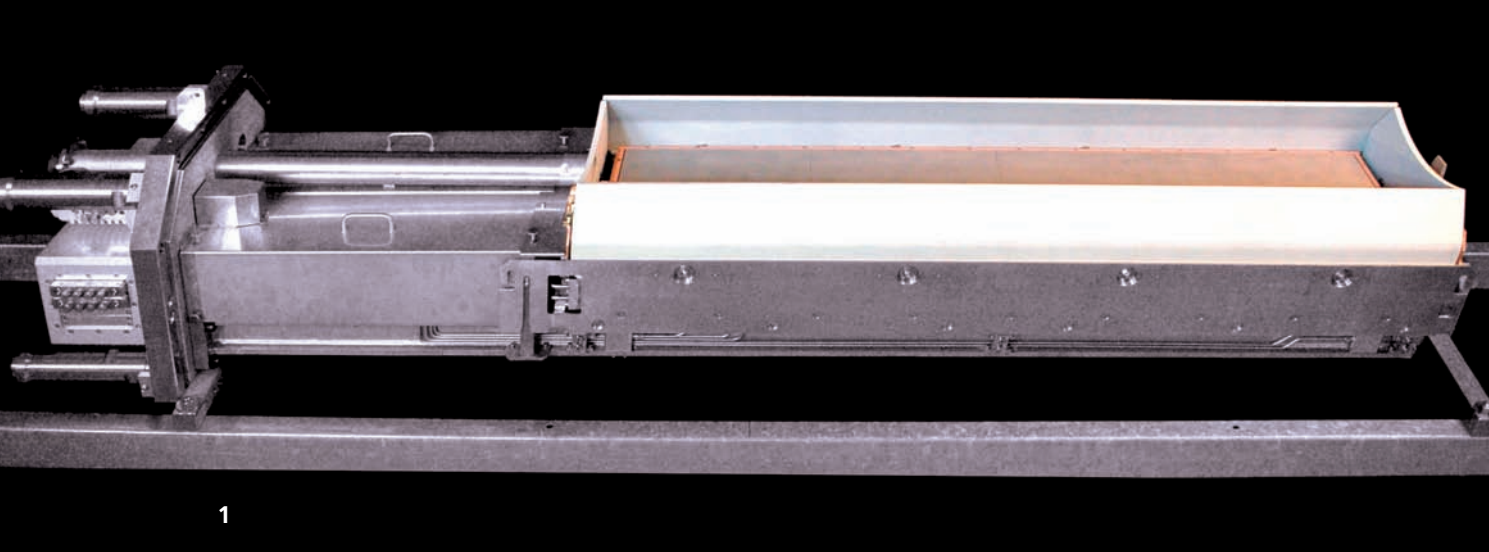
Europa fördert Sachsen.  
EFRE  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Bundesministerium für Bildung und Forschung

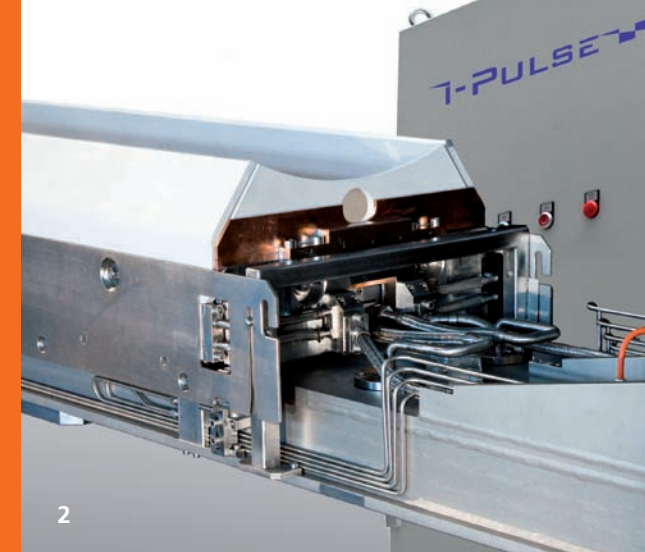
## CONTACT

Dr. Gösta Mattausch  
Phone +49 351 2586-202  
goesta.mattausch@fep.fraunhofer.de





1



2

## FIRST INDUSTRIAL SOLUTION FOR MAGNETRON PECVD

The continuous developments in magnetron PECVD coating technology (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) have allowed realization of the first industrial process module for coating polymer films and the transfer of this module to industry.

Last year Dr. Matthias Fahland gave a report on the status of development work and the potential of the magnetron PECVD process. In the meantime, the first process module for  $\text{SiO}_x\text{C}_y$  layers has been developed, manufactured, and transferred to an industrial customer. This marks an important step for the establishment of this technology in industry.

Figure 1 shows the process module with flange and support arm. This design is typical for batch roll-to-roll coating plants.

A scheme of the module is shown (figure 3). This is already familiar from reactive sputtering. The two adjacent magnetrons are operated as a Dual Magnetron System (DMS) driven by the bipolar sputtering power supply unit i-PULSE® 60/200. The rapid alternating of the polarity coupled with optimized arc-handling guarantees the long-term stability of the process.

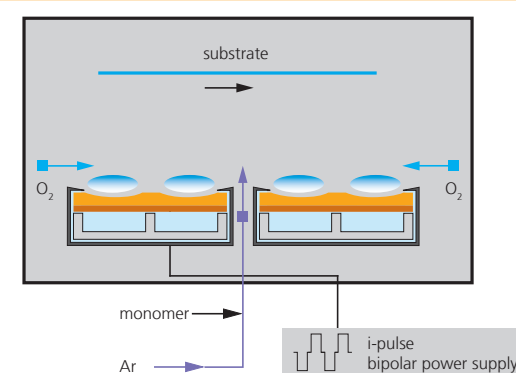
In addition to the process gases argon and oxygen, a monomer gas is fed during magnetron PECVD process. Up until now the work has mainly focused on the silicon-containing monomers hexamethyldisiloxane (HMDSO) and tetraethyl orthosilicate (TEOS). After activation of the monomer gases in the sputter plasma, a carbon-containing silicon oxide phase forms ( $\text{SiO}_x\text{C}_y$ ) via chemical vapor deposition. The resulting layers are very similar to those of sputtered  $\text{SiO}_2$ , but have much lower intrinsic stress. That is highly beneficial for deposition on polymer films.

A key advantage compared to competing methods is the enhanced effect of the plasma on the substrate, which results in very good adhesion of the coating. A cathode length of just under 2 m also confirms the excellent scalability of this technical solution, a feature of which is the homogenous plasma distribution across the whole coating width.

The dynamic coating rates in continuous operation are in all cases above 200 nm x m/min. Peak values of 500 nm x m/min attained in a short period of time highlight the promise of this technology.

The advanced development and optimization of the magnetron PECVD process, including special hardware solutions for specific coating tasks, are key areas of work of the Fraunhofer FEP. Fundamental studies and customized optimizations for new tasks have underlined the enormous potential of magnetron PECVD technology and have enabled the Fraunhofer FEP to expand its technology portfolio.

3 Process module for magnetron PECVD



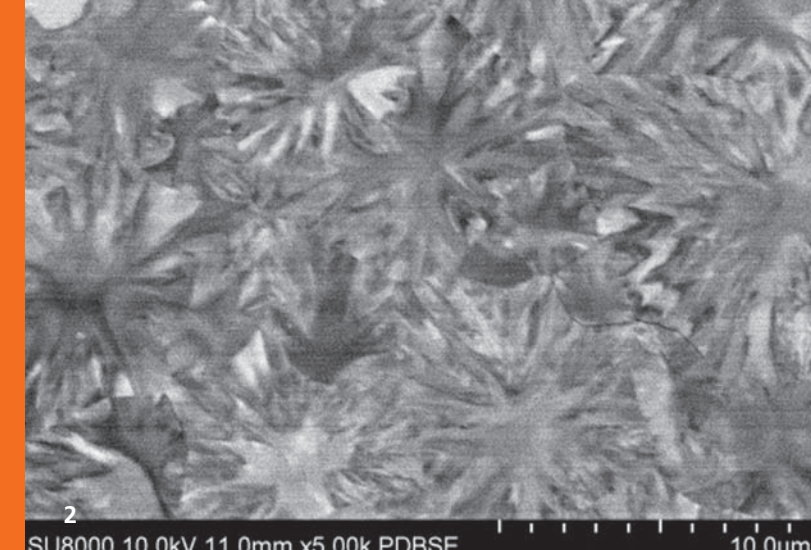
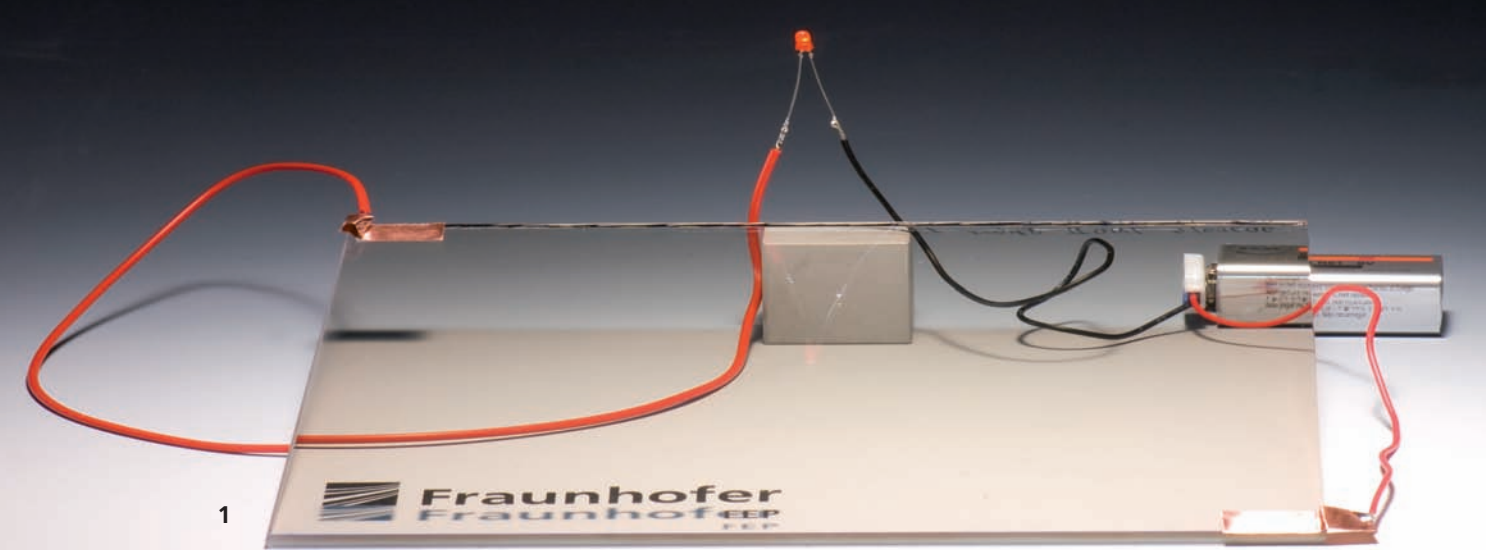
1 Coating module for magnetron PECVD processes

2 Coating module with the bipolar sputtering power supply unit i-PULSE® 60/200

## CONTACT

Dr. Torsten Kopte  
Phone +49 351 2586-120  
torsten.kopte@fep.fraunhofer.de

Ralf Blüthner  
Phone +49 351 2586-380  
ralf.bluehner@fep.fraunhofer.de



## SPUTTERING OF NOVEL TRANSPARENT CONDUCTING OXIDES (TCOS)

The rapid developments in the field of transparent electronic and photovoltaic systems are requiring novel transparent conducting oxides whose electrical and optical properties are specially adapted to the nature of the application.

A distinction is made between p- and n-type conducting TCOs. In p-type conducting TCOs the conduction process is caused by mobile positively charged carriers, the holes. Electrons determine the charge carrier transport in n-type TCOs. The ability to deposit p-type TCOs plays an important role in the realization of transparent p-n junctions. Indium-free n-type TCOs with high temperature resistance are used for example in photovoltaic technology.

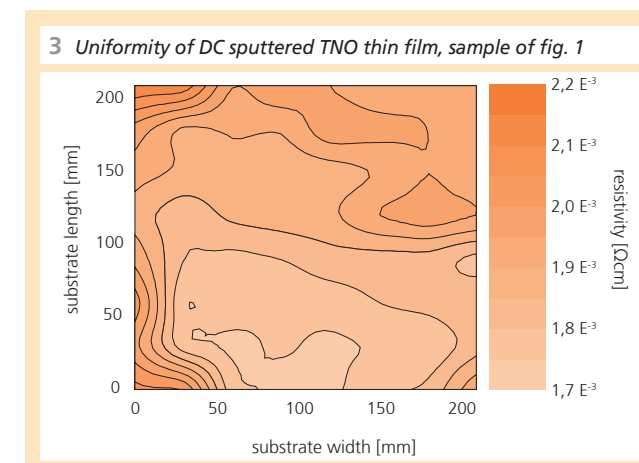
Since the discovery of p-type conduction in transparent thin films made of ternary copper – aluminum – oxide ( $\text{CuAlO}_x$ ), transparent copper-based semi-conducting oxide thin films with delafossite crystal structure have caused great interest in the field of optoelectronics. The p-type character of the  $\text{CuAlO}_x$  layers is determined by the bonding of  $\text{Cu}^+$  ions in the layer. The  $\text{CuAlO}_x$  layers were deposited by pulse reactive magnetron sputtering. After a further thermal annealing in the temperature range of 300 ... 500°C the layer show p-type conducting properties. The choice of process parameters, and in particular the type of the pulse duty cycle for pulse magnetron sputtering has a considerable influence on the formation of monovalent copper ions in the plasma and hence the properties of the deposited film. To determine the type of conduction, the Seebeck coefficient was measured. The Fraunhofer FEP has successfully demonstrated the suitability of sputtering methods for depositing p-type conducting layers.

The partial substitution of titanium with niobium in titania creates an n-type conducting oxide. This is also denoted as TNO. Besides the good electrical and optical properties, TNO has a very high temperature resistance. The carrier density increases with increasing concentration of niobium in the layer. Amorphous TNO shows a resistivity in the range of ca. 1 ... 5  $\Omega\text{cm}$ . Due to structural changes in the layers which take place at high temperatures (350 ... 450°C), the resistivity can be considerably reduced. The formation of the anatase phase determines the conductivity of the layers. A 150 nm thick anatase TNO layer has a resistivity of  $1.8 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$  and a transmission in the visible range of 73%. The main focus of our work is characterizing the TNO sputtering process, the behavior of ceramic TNO sputtering targets in the process, and the applicability of TNO as a sputtered TCO layer for large area depositions.

The electrical and optical properties of  $\text{CuAlO}_x$  and TNO layers are determined by their structural properties. There are therefore new high requirements on the sputtering processes concerning the controlled growth of thin films. The Fraunhofer FEP makes available technologies specially developed for these demanding processes.

The Fraunhofer FEP wishes to thank Mrs. Hongxia Yi, a member of the Institute of Electronics of the Chinese Academy of Sciences, for her enthusiastic support during this project. The studies on TNOs were funded by the European Union and the Free State of Saxony (12896/2155).

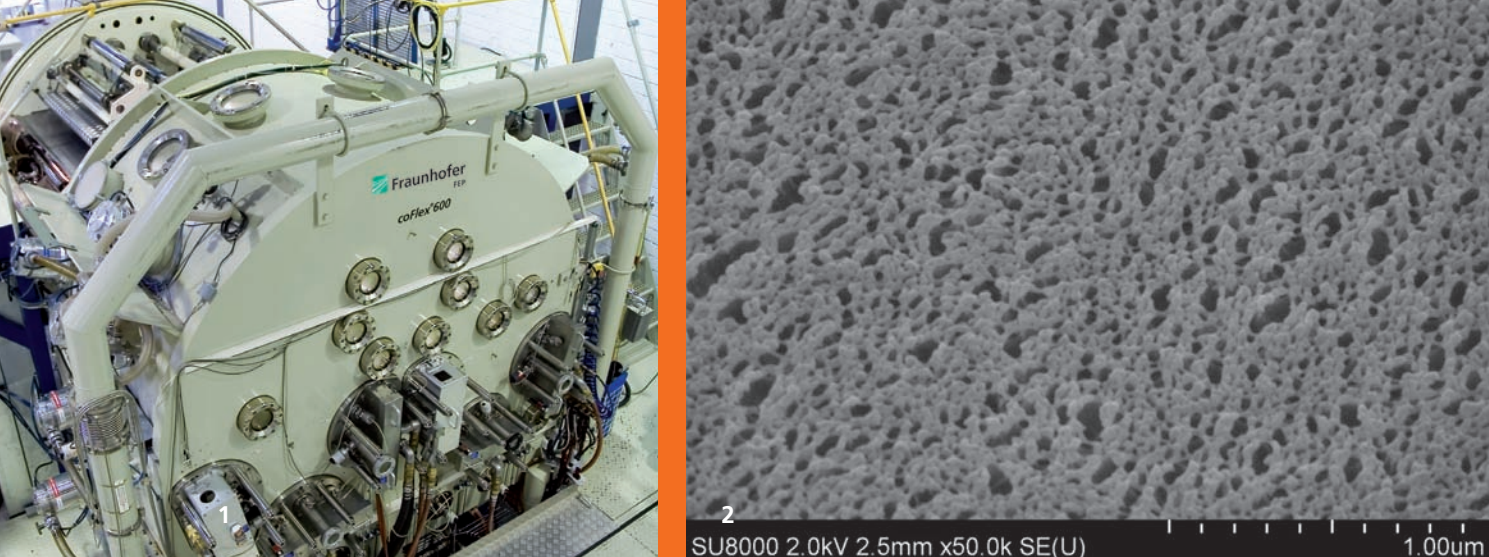
1 Large area coating of Nb doped Titania on glass  
2 Microcrystalline TNO surface in channelling orientation contrast



**CONTACT**

Manuela Junghähnel  
Phone +49 351 2586-128  
manuela.junghaehnel@fep.fraunhofer.de





## POLYMER FILMS WITH ANTI-REFLECTIVE PROPERTIES VIA PLASMA ETCHING (POLAR)

In many cases, the optical properties of polymer films have to be customized for specific applications. POLAR<sup>[1]</sup> is an innovative network, comprising several companies, two Fraunhofer institutes, and TU Dresden, that is developing new anti-reflective technology for polymer films.

The differing refractive indices of polymers and air mean that up to about 12% of light is reflected by transparent films (e.g. PET films). This value is higher than for glass, and is disadvantageous for many applications. Typical application fields for anti-reflective films are highly transparent surfaces of showcases and shop windows, large optical elements for projection units, and car parts. In addition, surfaces having low-reflection and anti-fogging properties are of interest for a wide variety of application such as sports glasses, windscreens, and displays.

The POLAR project is creating antireflective surfaces on different polymer films by controlled etching of the surface. Based on a patented process of the Fraunhofer IOF<sup>[2]</sup>, the polymer film is treated with plasma in such a way that statistically distributed nanostructures are generated on the surface. The scientific work in this part of the project involves investigating the interactions of the various plasma particles with the polymer surfaces, examining the relationship between the thickness and nature of pre-coatings, and studying the structures which are subsequently created via etching. Due to the overcoating of the structures, anti-fogging properties as well as superhydrophobic properties can be achieved, and this significantly extends the potential uses of the films. The results are being transferred to a roll-to-roll plant. Optimization of the process and technological and commercial evaluation

are being carried out for a number of film materials, with the focus being on the technological objectives of the industrial companies involved in the project.

At the Fraunhofer IOF, the ability to structure PET, TAC, and ETFE has already been studied extensively and demonstrated in principle for all the mentioned materials. Via the deposition of thin initial films prior to the etching, it is possible to control the structure generation over a broad range.

The etching process developed at the Fraunhofer IOF was transferred to a web coating plant at the Fraunhofer FEP. The experiments were carried out on the coFlex<sup>®</sup> 600 (1) pilot coating plant, having a processing width of 600 mm. For the etching, a linear ion source (LIS, Advanced Energy) was installed in the plant. It was surprisingly found that double magnetron systems can also be used under certain conditions as ion sources with high productivity<sup>[3]</sup>. For both sources, suitable parameter windows were found for generating nanostructures on PET, TAC, and ETFE polymers. Figure 2 show scanning electron micrograph of a PET film having antireflective structuring. In future work further sources will be tested for their suitability for industrial implementation. In addition, the open questions on the long-term stability of the structuring process and the mechanical stability of the structures will be studied. Based on the results obtained up until

now, a further increase in the productivity is foreseeable, in particular for double magnetron systems.

<sup>[1]</sup> Project POLAR:

**Project partners:**

Research organizations: Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering (IOF), Jena; Technical University of Dresden, Faculty of Electrical Engineering, Institute for Solid State Electronics

**Industrial companies:**

Southwall Europe GmbH, GroBröhrsdorf; Island Polymer Industries GmbH, Wolfen; Leica Microsystems CMS GmbH, Wetzlar; Rodenstock GmbH, Munich; SeeReal Technologies GmbH, Dresden; Roth&Rau AG, Hohenstein-Ernsttal; NOWOFOL Kunststoffprodukte GmbH&Co. KG, Siegersdorf; Johnson Controls GmbH, Burscheid

**Funding:**

BMW program (Federal Ministry of Economics and Technology)  
"Funding of innovative networks" (Innonet)

<sup>[2]</sup> DE10 2006 056 578 A1

<sup>[3]</sup> W. Schönberger, G. Gerlach, M. Fahland, P. Munzert, U. Schulz: Großflächige Entspiegelung von Kunststofffolien durch Plasma- und Ionenbehandlung. In: 17. Neues Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium, 21 - 22 October, Dresden, P. 57 - 61.

1 coFlex<sup>®</sup> 600 vacuum coating plant  
2 SEM micrographs of the film surface after structuring



## CONTACT

Dr. Nicolas Schiller  
Phone +49 351 2586-131  
nicolas.schiller@fep.fraunhofer.de

## ROLL-TO-ROLL MANUFACTURE OF TRANSPARENT HIGH-BARRIER FILMS

There is a considerable interest in manufacturing optoelectronic devices (displays, light-emitting diodes, solar cells) as flexible products. The realization of such products on flexible substrates has advantages for their production and will open up new applications.

In order to realize these flexible products, an optically transparent barrier film is required for encapsulation. An important property of a barrier film is its barrier effect against the permeation of water vapor and oxygen. There are also other properties whose importance varies depending on the use of the film. A fundamental distinction can be made between transparent (i.e. light-permeable) barrier films and opaque (i.e. non light-permeable) barrier films. Figure 2 gives an overview of different applications of barrier films, showing the permissible values for the water permeation. Depending on the requirements on the barriers, different technologies are used to realize the barriers. In principle, vacuum coating of the polymer films is necessary to realize low permeation values. This vacuum coating can be combined with other processes. The POLO concept for ultra barrier films involves a combination of an inorganic sputtered layer on a polymer substrate, followed by a barrier film based on ORMOCER® (Trademark of Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. in Germany) materials and a further inorganic sputtered layer.

As part of the UltraFlex project funded by the Fraunhofer-Gesellschaft, the members of the Fraunhofer Alliance for Polymer Surfaces POLO (Fraunhofer IVV, FEP, IAP, IPA, ISC) have worked together with the Fraunhofer Research Institution for Polymeric Materials and Composites PYCO in a number of key

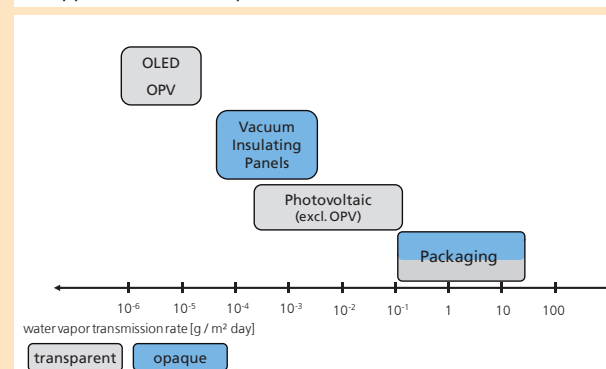
areas in order to develop flexible encapsulation materials for OLEDs and organic solar cells.

The role of the Fraunhofer FEP in the project was to further develop the technology for manufacturing inorganic barrier films. The adaptation of the inorganic layers to the ORMOCER® layers enabled layer systems to be developed which allowed the full potential of the technology to be clearly demonstrated. Advanced development of the process control now permits the manufacture of inorganic layers with very high reproducibility and long-term stability. The functionality of the barrier films was expanded via the application of conducting layers. An intermediate layer system was developed for this, which allows a structuring of the conducting layer without diminishment of the barrier properties.

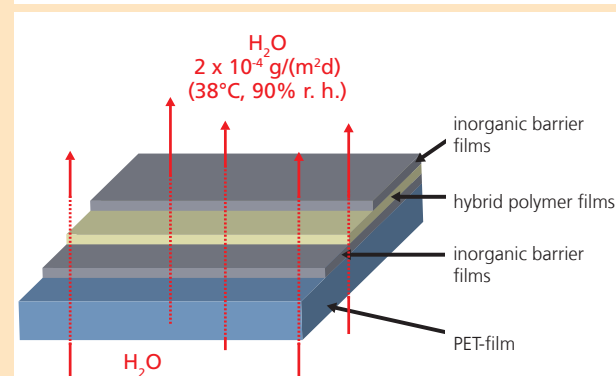
The result of the project work is a barrier film which has much improved barrier properties and which is suitable for manufacture using an adaptable roll-to-roll procedure (figure 3). The functionality of the new barrier film has already been tested on electronic components. For this, organic light-emitting diodes were encapsulated with the new barrier film (figure 3). The film can now be made available in reproducible quality on a roll on a pilot scale for customer samples. The application of further functional layers means that the films can be adapted to specific customer requirements. This technology is hence available for developing encapsulation materials and for the manufacture of flexible electronic components.

1 OLED-test structure between two POLO films  
(source: Armin Okulla, Fraunhofer IAP, 2009)

### 2 Applications and requirements of barrier films



### 3 Current barrier structure and the best barrier values (test method: calcium mirror) (Fraunhofer POLO)



## CONTACT

Dr. Nicolas Schiller  
Phone +49 351 2586-131  
nicolas.schiller@fep.fraunhofer.de





## BIOMEDICAL LABORATORY UNIT FOR THE DEVELOPMENT OF MEDICAL PRODUCTS

The coming decades are expected to see a growing market for healthcare products due to demographic changes in the population and a shift in the morbidity spectrum towards chronic illnesses.

Multimorbid patients and patients in need of care require diagnostic and therapeutic methods which are currently not available widely enough in the repertoire of curative medicine. On the other hand, there is an ever growing demand for reparative medical procedures, in particular in the area of orthopedic, ophthalmic, and coronary surgery, as well as a demand for effective, non-invasive diagnostics with increased associated requirements regarding cleanliness and sterilization.

The international trade in medical goods will also continue to grow. Based on the exports of OECD countries it has been shown that the growth in demand for medical products (increasing at 8.5% per year) is considerably greater than the growth in demand for industrial products (increasing at 5.7% per year). In the same period, the growth in the global trade value of medical products increased from 30.1 billion US dollars to 67.7 billion US dollars. During the period of the financial crisis, the market for medical products has been little affected. With a current attractiveness rating of 61 percent the sector occupies the top position (VDI-Nachrichten 11/2009).

The growth in the market for medical products is being strategically tapped into by the Fraunhofer Institute for Electron Beam and Plasma Technology FEP. Development work

in core Fraunhofer FEP areas such as customized coatings, modification of surfaces and boundary layers by electron beam treatment, and sterilization using low-energy electrons is being integrated into product-oriented process chains and accompanied by analytical studies.

A biomedical laboratory unit has also been established at the Fraunhofer FEP for this. This includes the microbiology laboratory and the biocompatibility/biofunctionality laboratory. Besides classical methods, studies on the dynamics of surface processes and on molecular electronics are offered. The main activities are analytical work for current research work, pilot series, industrial projects, and from 2011/12 the certification of individual tests.

The laboratories have state-of-the-art analytical equipment. A confocal microscope will shortly be added to the equipment portfolio, so allowing the evaluation and validation of a wide range of surfaces.

Projects for customers will be able to be undertaken in the biomedical laboratory unit with the help of adapted analytical modules for therapeutic medical products (e.g. wound dressing, incontinence) as well as for broader aspects of the life sciences (e.g. female hygiene products, sport/recreation articles). In particular, the practicality and medical safety of

products for customer needs and for regulatory requirements will be tested.

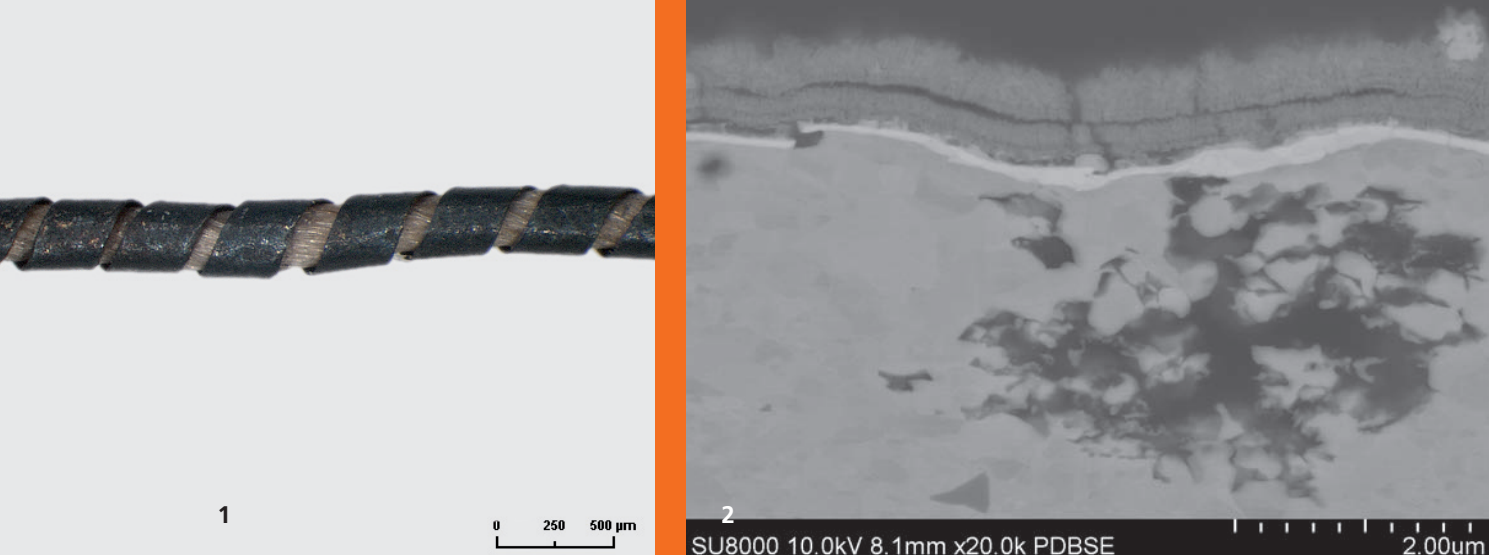
The increasing demand for medical products is expected to be accompanied by an exponential improvement in efficiency. The biomedical laboratory unit meets an important cross-sector need and will generate employment opportunities at the Fraunhofer FEP. In addition, jobs involving future-oriented technologies could be created at small and medium-sized companies in the sector.

## CONTACT

*Dr. Christiane Wetzel*

*Phone +49 351 2586-165*

*christiane.wetzel@fep.fraunhofer.de*



## THE FRAUNHOFER FEP – A MEMBER OF THE CULTURAL HERITAGE RESEARCH ALLIANCE (FALKE)

In 2008 the Fraunhofer-Gesellschaft, the Prussian Cultural Heritage Foundation, and the Leibniz Association founded the Cultural Heritage Research Alliance. The objective of this alliance is to develop innovative restoration and preservation techniques for cultural objects. Initially this will involve plasma technology methods.

On 28 October 2008 the founding of the Cultural Heritage Research Alliance (FALKE) took place at the Altes Museum in Berlin. The director of research planning at the Fraunhofer-Gesellschaft, the presidents of the Leibniz Association and of the Prussian Cultural Heritage Foundation and signed a memorandum of understanding.

This laid down how the expertise of the three organizations will be used to solve complex issues concerning the preservation of our cultural heritage. The main focus is the development of sustainable restoration methods and reversible preservation methods, and improvement of the transfer of knowledge from research to practical restoration. Innovative, interdisciplinary solutions are required to solve the ever more complex, environmentally-related, restoration and preservation tasks, which increasingly are involving new materials of more recent cultural objects. The use of state-of-the-art analytical methods, the use of new materials, the optimization of suitable cleaning and coating technologies, the development of new, miniaturized surface treatment tools, and sustainable methods for disinfection, sterilization, and pest control play a central role here. In total, 18 Fraunhofer institutes, 8 research museums of the Leibniz Association, 16 museums, 3 research institutes, and other institutions of the Prussian Cultural Heritage Foundation are represented in the alliance. The involvement of the Rathgen Research

Laboratory of the Prussian Cultural Heritage Foundation means that the alliance can call on the wealth of experience of the oldest institute in the world involved in preservation technology.

During subsequent meetings of the alliance members (restoration experts, art experts, and scientists), the following main research topics were proposed:

- ▶ Development and validation of non-destructive test methods
- ▶ Development of special plasma technologies for cleaning and preserving art objects and archived objects
- ▶ Sustainable control of microorganisms, insects, and organic pests in archived goods and wooden art objects
- ▶ Development and improvement of materials and methods for preserving stone, glass, ceramic, and metal art objects (in particular industrial cultural objects)
- ▶ Development of practical and favorable-cost methods for stabilizing disintegrated paper objects (primarily newspaper pages)

In 2009 the Fraunhofer-Gesellschaft, the first member of the alliance, approved funding for a joint project in which the Fraunhofer FEP along with 5 other Fraunhofer institutes, 4 institutions of the Leibniz Association, und 6 associated partners are evaluating and testing the suitability of plasma technologies for the preservation of cultural objects from the

7 participating research museums.

The project comprises the following work packages:

- ▶ Atmospheric plasma treatment for the local cleaning of archaeological art objects
- ▶ Low pressure plasma treatment of oxidatively damaged art objects and paper
- ▶ Electron beam induced plasmas for the local cleaning of oxidatively damaged art objects
- ▶ Electron beam treatment for sterilizing paper and wooden objects and for pest control in books and sculptures under gentle conditions

The first results have been encouraging and the project partners envisage that plasma-aided methods for restoration work will be available in the foreseeable future. At the midyear of 2011 there will be a presentation of selected research results to all members of the alliance, in the presence of representatives from the worlds of politics, commerce, and culture. This presentation will evaluate the technical results and make the audience aware of the growing commercial significance of "Cultural heritage and its preservation" under relevant political-cultural boundary conditions.

1 Unclean, flat gold-plated silver thread, optical micrograph, corroded surface (silver sulfide)

2 Unclean, flat gold-plated silver thread, SEM micrograph, ion-prepared cross-section, pitting corrosion, silver sulfide on light gold layer

3 Spun metal thread, mechanically cleaned

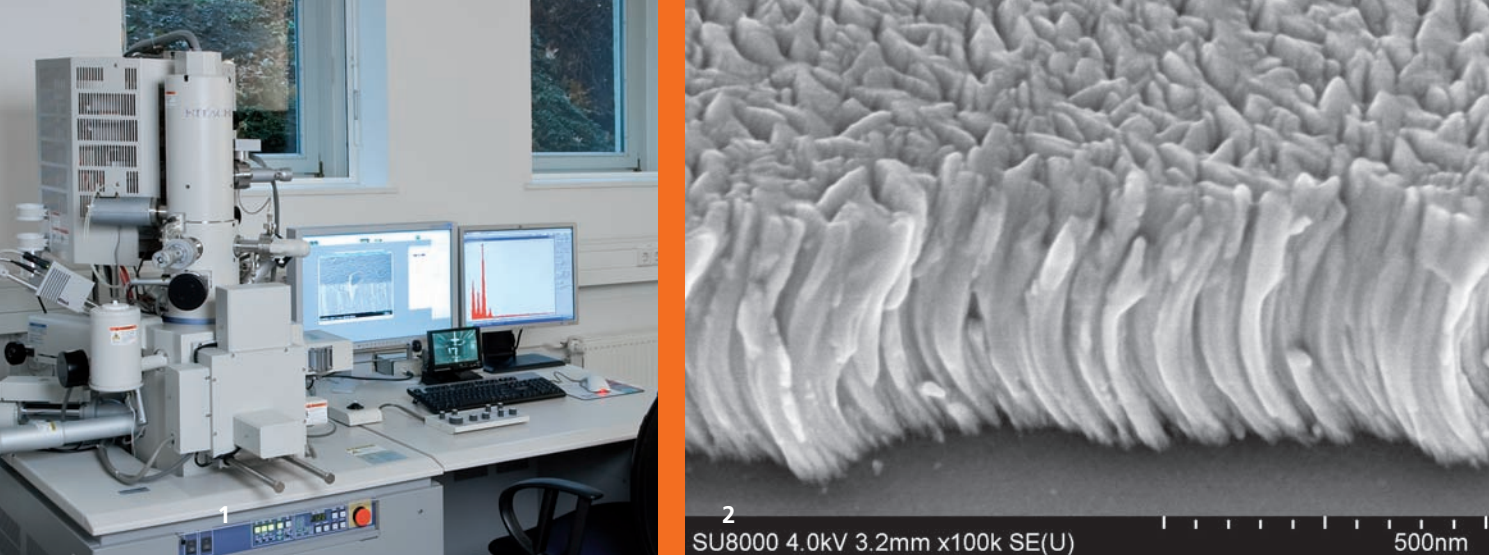
## CONTACT

Wolfgang Nedon

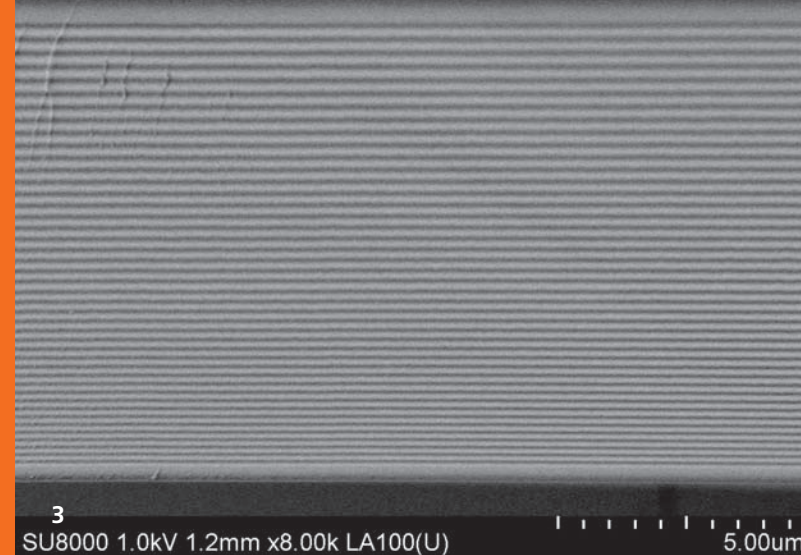
Phone +49 351 2586-500

wolfgang.nedon@fep.fraunhofer.de





2 SU8000 4.0kV 3.2mm x100k SE(U) 500nm



3 SU8000 1.0kV 1.2mm x8.00k LA100(U) 5.00um

## NEW ULTRA HIGH-RESOLUTION FIELD EMISSION SCANNING ELECTRON MICROSCOPE

In 2009 a new, state-of-the-art scanning electron microscope was acquired by the Fraunhofer FEP for layer/film analysis. This was funded under a special program entitled "Improvement of the research infrastructure" of the Saxon State Ministry for Science and the Arts.

Following extensive testing, the Hitachi SU8000 ultra high-resolution field emission scanning electron microscope (1) was selected. The microscope is of the semi-in-lens type and is equipped with a cold field emission cathode, a feature of which is its very high brightness. At an accelerating voltage of 15 kV, a very high spatial resolution of 1 nm is achieved, whilst at an accelerating voltage of 1 kV there is still a spatial resolution of 1.4 nm. At low accelerating voltages, even electrically non-conducting specimens can be analyzed at high resolution without problematic charging. Additional conducting coatings are not required, meaning that the actual surface of the specimen can be seen without interfering artifacts.

The instrument has extensive detection options for secondary electrons (SE), backscattered electrons (BSE), and transmitted electrons (TE), so that a wealth of information about the specimen can be obtained.

The secondary electrons emitted from the specimen and the low angle backscattered electrons can be separated using a control electrode and detected using an electromagnetic  $E \times B$  filter with the upper detector (2,3). Electrons backscattered at high angles move along the optical axis in the direction of the top detector and are detected there. The secondary electrons allow very high resolution imaging

of the surface topography and imaging in potential contrast. Imaging with backscattered electrons allows the specimen areas of different composition via atomic number contrast and areas of different crystallographic orientation (via electron channeling contrast) to be analyzed.

Imaging with transmitted electrons (TE) requires the preparation of electron-transparent specimens from which further valuable information down to the nanometer microstructure can be acquired from the diffraction of the electrons by the crystal lattice.

The presence of a silicon drift detector (SDD) means that the microscope also has excellent analytical capabilities via energy dispersive x-ray spectroscopy (EDS). Compared to the older Si(Li) detectors, the new SDD detector has much better energy resolution and very good detection sensitivity, even for light elements. In order to determine the chemical composition, spectra can either be taken at individual points or over selected areas to get quantitative element distribution images.

The new field emission scanning electron microscope will facilitate the Fraunhofer FEP in its development work in areas such as precision optical layers, layer systems for thin film photovoltaic technology, and ultra high barrier layers.

1 Hitachi SU8000 field emission scanning electron microscope

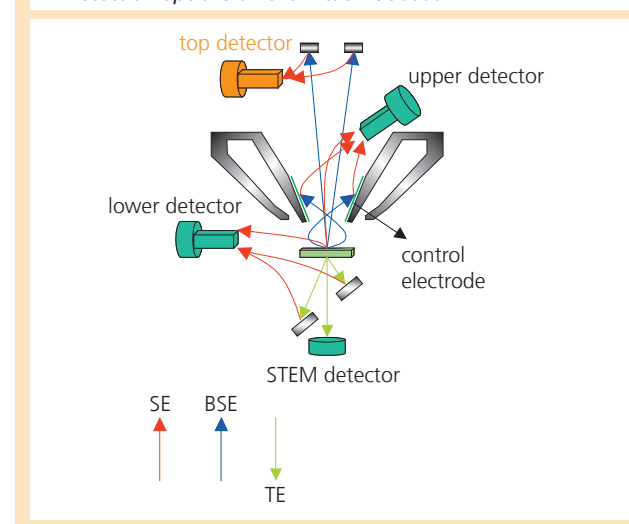
2 Molybdenum back contact for thin film photovoltaic technology (SE, upper detector)

3 Precision optical rugate filter (BSE, upper detector)

Europa fördert Sachsen.  
EFRE  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

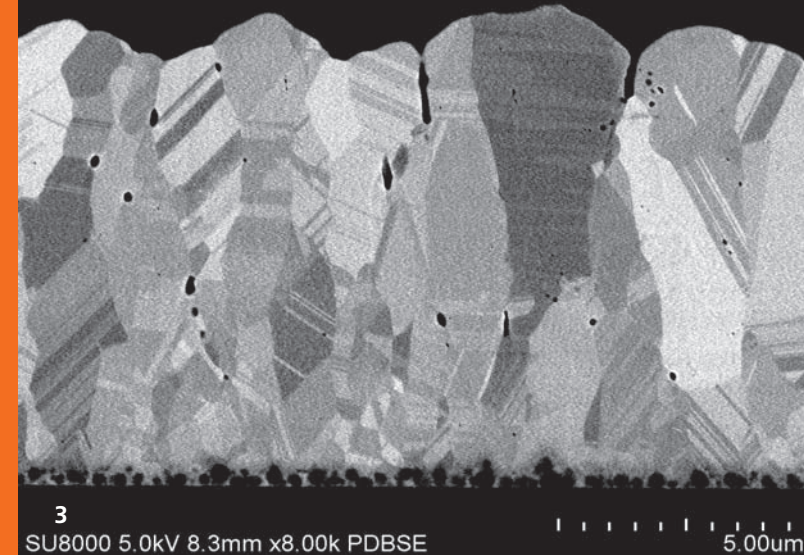
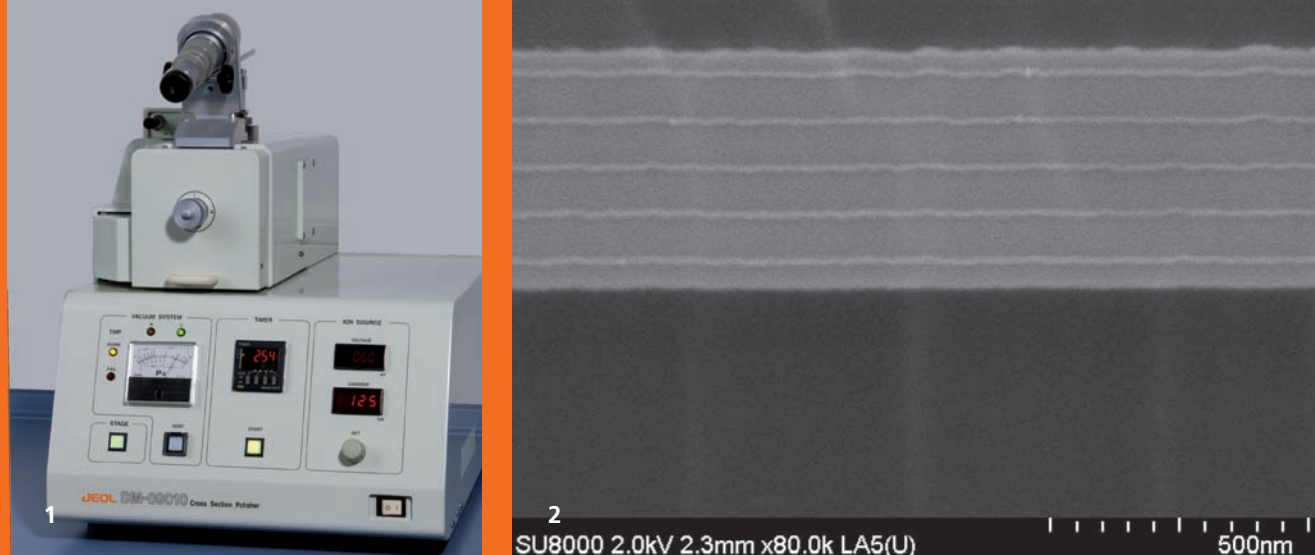
Freistaat Sachsen  
Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst

4 Detection options on the Hitachi SU8000



## CONTACT

Dr. Olaf Zywitzki  
Phone +49 351 2586-180  
olaf.zywitzki@fep.fraunhofer.de



## ION BEAM PREPARATION SYSTEM FOR CROSS-SECTIONS

In order to fully utilize the improved imaging capability of the new Hitachi SU8000 ultra high resolution scanning electron microscope, very high quality specimen preparation is vital.

The development and optimization of new layer systems requires detailed analysis of polished cross-sections in the growth direction. The main objective is characterization of the microstructure of the layers and their interfaces. In particular, layer systems on polymer films, and also most metal layers, often cannot be prepared in a conventional way by breaking, cutting or mechanical polishing.

For this reason, a new ion preparation system for cross-sections was purchased and successfully brought into operation. We are grateful for the funding for this that was provided by the Saxon State Ministry for Science and the Arts. The Jeol SM-09010 Cross Section Polisher (1) has a 6 kV argon ion source, arranged at an angle of 90° to the specimen surface. The specimen surface is partially covered with a close-fitting shielding plate.

The non-covered part of the specimen is removed by sputtering with the ion beam, so that at the edge of the shielding plate a cross-section of the specimen to be tested is produced. In order to achieve as even as possible polish on the cross-section, the specimen is also rocked through  $\pm 30^\circ$ . This technique even allows high-quality preparation of cross-sections of composites made from a range of different materials such as ceramics, polymers, and metals. A wide range of optical layer systems on PET films have already been

prepared using this technique. Protective sunlight filters are just one example. They are made of five ca. 12 nm silver layers embedded in thicker metal oxide layers (2). For the functioning of these layer systems, the silver layers must be so thin that they reflect the heat of the sunlight as much as possible, yet allow the visible light to fully pass through. This puts high requirements on the uniformity of the thickness of the layers and also on the roughness of the interfaces which can now be studied using the new ion preparation system.

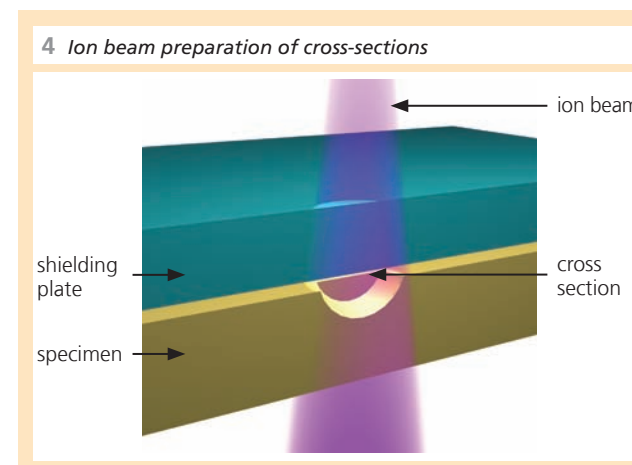
The microstructure of polycrystalline layers can be very effectively analyzed using the gentle and clean ion beam preparation technology. Examples are CdTe layers for photovoltaics, whose microstructures can be imaged in crystal orientation contrast (3).

The ion beam preparation system which is now available is hence opening up new opportunities for the high resolution imaging of specimens which up until now could either not be prepared or were very difficult to prepare.

- 1 Jeol SM-09010 cross-section polisher
- 2 Cross-section of a protective sunlight filter comprising 5 silver layers
- 3 Cross-section of a CdTe layer prepared by ion beam technique in orientation contrast

Europa fördert Sachsen.  
**EFRE**  
 Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Freistaat Sachsen  
 Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst



## CONTACT

Dr. Olaf Zywitzki  
 Phone +49 351 2586-180  
 olaf.zywitzki@fep.fraunhofer.de







## THE FRAUNHOFER LOUNGE RELAXATION, ENTERTAINMENT, DEBATE

The Fraunhofer Lounge is an event organized by the Fraunhofer Institute for Electron Beam and Plasma Technology FEP to promote interaction between the physical sciences and the humanities. Speakers from the worlds of regional politics, science, and commerce are invited to give a talk on a topic which is then debated.

### Thinking with both heart and mind: The fourth Fraunhofer Lounge

Do engineers and marketing people really live in different worlds? This was the core question debated at the fourth Fraunhofer Lounge on 12 March 2009. The event was attended by 65 people from the worlds of science, commerce, and politics.

The invited speakers were Michael Schmidt and Olaf Schumann who discussed themes from their book "Bauchrede für Kopfmenschen - Marketing für Leute, die Wichtigeres vorhaben".

The two have not written a book about the difficulty of marketing for medium-sized technology companies, but they do head an advertising agency in Dresden for "products requiring special marketing" and not coincidentally come from very different backgrounds which normally stay well apart: Michael Schmidt is a materials engineer and Olaf Schumann is an advertising designer.

The topic of the evening both polarized and engaged the listeners: What do creamy yoghurts and industrial blast furnaces have in common? What is the smallest common denominator between marketing people and engineers? And how compatible is in fact a technological product with marketing parlance such as design, unique advertising propositions, and brand identity?

In his role as chairman of the debate, the former Saxon Minister and PR expert Michael Sagurna brought the two poles closer to one another and engaged the two experts with a few pieces of marketing wisdom.

The director of the Fraunhofer FEP, Prof. Dr. Eberhard Schultheiß, put forward the following fact at the end of the evening: "There is indeed a place for people who think with both their heart and mind, because gut feeling and common sense sometimes complement one another perfectly!"

### Crisis or opportunity: The fifth Fraunhofer Lounge

The topic of the fifth Fraunhofer Lounge was "Germany after the election and in crisis. How do we make progress?" The speaker on this most topical theme was the publicist, advisor, and former presenter of the ZDF heute TV program Alexander Niemetz. The evening was chaired by Holger Scholze who is a stock market journalist for, amongst others, n-tv.

Alexander Niemetz described the topic of crisis from different viewpoints and focused attention again and again on own responsibility, transparency, and sustainability. His comments on education policy, interest financing right through to ever controversial health reforms both polarized and engaged his audience. Niemetz offered extra insight by making practical comparisons with political and social models in Switzerland and Denmark.

Holger Scholze put forward his different view of the financial and stock market system. He outlined how professionals respond irrationally-emotionally in panic situations in the financial markets and how the typically German desire for certainty may have led to aggravation of the crisis.

The resulting questions and discussions from the audience demonstrated both the general interest and fervor of the topic. Finally, the host institute director, Prof. Eberhard Schultheiß, put forward a pertinent comparison from the Chinese culture: The Chinese writing symbols for "crisis" comprise "Ji" for "danger" and "Wei" meaning "opportunity", which he believes may indicate how to cope with the crisis.

The discussions continued informally afterwards, accompanied by tasty snacks and the piano music of Tom Jähig. This brought a successful Fraunhofer Lounge to its end and we look forward to these events continuing early in 2010.

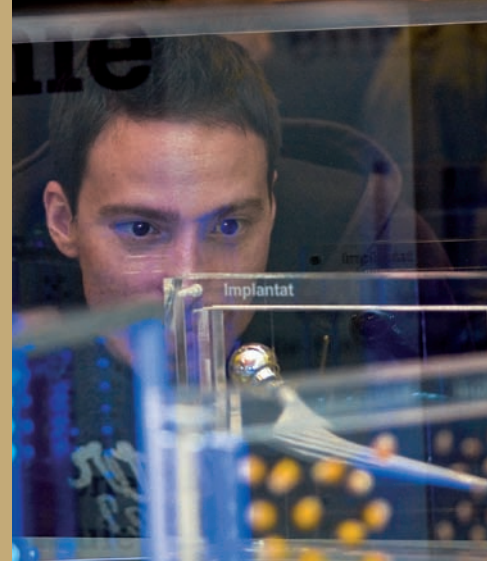
## CONTACT

Annett Arnold

Phone +49 351 2586-333

annett.arnold@fep.fraunhofer.de





## FRAUNHOFER SEEKS THE TALENT OF THE FUTURE!

Research is about the future. And the future will be shaped by the young talent of tomorrow. The Fraunhofer brought these two themes together and held for the first time a Fraunhofer Talent School in Dresden!

On 6-8 November 2009 the Dresden based Fraunhofer institutes invited a total of 32 school pupils to participate in a workshop on the environment and energy. The pupils came from schools in the German states of Brandenburg, Hamburg, Hesse, Rheinland-Pfalz, Saxony, and Saxony-Anhalt. They had one thing in common: They had a keen interest in science, were fascinated by the natural sciences and technical issues, and wanted to develop their own ideas about topical research themes.

The school pupils had a choice of 3 workshops: Everything at the Fraunhofer IKTS concerned fuel cells. The participants learned in the laboratory how the worlds of energy technology, thermodynamics, chemistry, and materials science come together and were even able to construct their own fuel cell.

Organic light-emitting diodes have a major role to play in the future, as do plasma and LCD displays. The workshop organized by the Fraunhofer IPMS focused on these so-called OLEDs. Besides giving a theoretical background on how they function and outlining the current state of research, the participants also produced their own OLED in the clean room.

The Fraunhofer FEP workshop involved the topic of regenerative energy. The participants built a solar cell that can produce

electricity from plant pigments. To make these so-called Grätzel cells, the young pupils worked a full, concentrated day in the laboratory.

Under the guidance of Prof. Dr. Eberhard Schultheiß, the director of the Fraunhofer FEP, they coated a glass sheet having an electrically conducting layer with titanium dioxide. They coated a second glass sheet with a graphite layer. The young researchers then made a basic solar cell: the key component being the light-sensitive pigment. The region between the electrodes was filled with an iodine solution as an electrolyte. At the end of the long laboratory day the participants in the Talent School were proudly able to hold a functioning electrochemical pigment solar cell in their hands.

Besides the theoretical and practical knowledge, there was also the opportunity for the school pupils to become familiar with the daily life of a scientist. A seminar taught the school pupils in a humorous way how to successfully present their work. In a sociable discussion evening, they put questions to senior members of the Fraunhofer organization and young entrepreneurs of a spin-off company. The presentation of the workshop results brought the 2009 Talent School in Dresden to a close. After three exciting days with the young enthusiasts one thing became clear: Our future is in good hands!

## LONG NIGHT OF SCIENCE 2009

An extravaganza of experimental shows, and research stations where visitors can participate, ask, and learn. The Long Night of Science on 19 June 2009 offered, for the seventh time, a glimpse of the future technologies of the Fraunhofer which normally remain behind closed doors.

In the Institute Center we also celebrated the 60th anniversary of the founding of the Fraunhofer-Gesellschaft. Together with our guests of honor, the Minister for Science and the Arts, Dr. Eva-Maria Stange, and the first Mayor, Dirk Hilbert, the public were amazed by the art of the glass bead player, Mister Crystal, and the "Financial crisis magic" of magician Kay Gellrich.

"The chef is now grilling" then followed, with our institute directors Prof. Eberhard Schultheiß and Prof. Volker Kirchhoff barbecuing for 60 minutes for guests at the anniversary celebrations, handing out grilled sausages to young and old alike.

After the sustenance, the night visitors dissipated to see the many varied attractions.

Clever kids kept up with the researchers as they did their station to station quiz. They learned, for example, why a rose breaks into a thousand pieces if it has previously been immersed in liquid nitrogen and how a pane of glass becomes self-cleaning if it has a photocatalytic layer. In addition the young scientists of tomorrow observed live how an electron beam is able to engrave a metal plate. And who would have thought that an electron beam can also sterilize medical equipment or seeds. An insight was also gained by the visitors into our enormous coating plants, and they learned what

role surface technology will play in everyday life in the future. Whether it be for solar technology or for heat-reflecting films for house construction, Fraunhofer technologies for energy efficiency are in ever increasing demand!

The vacuBIKE allowed visitors to experience science in the most amusing of ways – this special bike allowed the enthusiastic visitors to create their "own vacuum".

More than 2800 people attended the Long Night of Science. We look forward to seeing so many again at the next Long Night of Science on 18 June 2010.

## CONTACT

Annett Arnold  
Phone +49 351 2586-333  
annett.arnold@fep.fraunhofer.de





## KNOWLEDGE-HUNGRY JUNIOR DOCTORAL CANDIDATES AT THE FRAUNHOFER FEP

A doctorate before leaving school? That sounds strange, but is possible with "Junior Doctor"!

In the 2008/2009 school year, school pupils from Dresden and the surrounding area were again able to take a step towards a "doctorate". With a personal Junior Doctor pass in hand, they attended locations in Dresden covering the natural sciences, medicine, commerce, and art. They visited laboratories and museums, met scientists, and answered questions with the objective of being awarded the honored title of Junior Doctor.

On 10 March 2009 it was the Fraunhofer FEP's turn for the Junior Doctor candidates. In total 19 boys and girls aged between 14 and 18 visited the Fraunhofer FEP and listened attentively to a presentation by Frank-Holm Rögner entitled "There is more than nothing in a vacuum". The Junior Doctor candidates were given tricky questions during the presentation: Why is an electron more useful than a Swiss penknife? What does an electron need to become hot, to weld, to illuminate things or to change surfaces and materials? And what is indeed a vacuum? With the help of small experiments and interesting examples, the school pupils were given a good insight and were able to answer the final Junior Doctor question. A tour around our pilot plant area and a look at the plasma chamber of the MAXI inline vacuum coating plant were the highlights of the afternoon at the Fraunhofer FEP. We would like to thank the school pupils for their many interesting questions and for their answers and

wish them much success on their way to becoming Junior Doctors!

## GIRLS' DAY 2009 – A DAY FOR GIRLS AT THE FRAUNHOFER FEP

Are girls suitable for technical professions? The Girls' Day on 23 April 2009 certainly showed they are!

The Fraunhofer FEP invited 15 girls to spend a day with our female scientists. What does a physics laboratory technician do and how does one become a chemistry graduate? What does the daily life of a scientist involve at the Fraunhofer FEP? And what everyday applications do the technologies that are developed at the Fraunhofer FEP have?

The girls had much to find out on this day: One group researched the self-cleaning effect of photocatalytic layers of titanium oxide on a pane of glass. As part of materials tests, for girls were also asked to scratch the lenses of spectacles, boil glass lenses in salt water, and carry out an abrasion test. They so learned how we test the service life and scratch resistance of our coatings. The second group studied what happens to a sheet of glass when it is bombarded with electrons. A subsequent test showed the resulting discoloration was due to a chemical reaction.

The girls learned that electrons can do far more when they engraved a metal plate with an electron beam. As a present, each of the girls was able to take an engraved pendant home.

The institute director, Prof. Dr. Eberhard Schultheiß, outlined why girls are particularly suitable for many technical jobs: "Girls get good marks at school, they work hard, and they persevere. They should not hesitate to enter technical

professions, for example by undertaking practical training at the FEP." Dr. Christiane Wetzel added "Girls are often very creative, and this is particularly important for innovative research."

The Girls' Day ended with the girls asking questions and the scientists answering them. We were delighted to see the enthusiasm of the girls and hope this day has helped them on the way to choosing a career path.

## CONTACT

Annett Arnold  
Phone +49 351 2586-333  
annett.arnold@fep.fraunhofer.de





## BASIC SEMINAR – CLEANING TECHNOLOGY IN INDUSTRIAL PRODUCTION

"Cleaning processes are a costly but necessary evil" is a commonly heard phrase in industry. At the first basic seminar on cleaning technology the participants learned that cleaning processes add value but can only be effectively carried out with a sound basic knowledge of the relevant processes.

The central importance of cleaning processes in industrial production has in recent times been increasingly highlighted. Cleaning technology is an established part of the process chain for manufacturing a product and is of importance for all sectors, for example for machine and plant construction, and for production technology and process engineering. There is however often a lack of understanding of the necessary systematic and methodical approach for analyzing cleaning tasks, for failure analysis, and for selecting a cleaning method. At present, this knowledge still forms no part of any training or course of study in Germany, and hence there is a lack of know-how in industry and a lack of employees who deal with cleaning tasks. There is consequently a great need for training courses and seminars. For example, 20% of companies questioned as part of a market and trend survey indicated that they had plans to train their employees in cleaning technology (figure 1).

For this reason, the Fraunhofer Cleaning Technology Alliance, which the Fraunhofer FEP is a founding member since 2002, decided to set up an basic seminar entitled "Cleaning technology in industrial production". This was held for the first time in 2009. The Fraunhofer FEP was chosen as the venue and the participants gave positive feedback of this choice in a participant survey. In addition to speakers

from the Fraunhofer FEP (Prof. Schultheiß and Mr. Rögner), presentations were given by 6 other speakers from the Fraunhofer IPK, IWS, IPA, IGB, and IFAM. The seminar was held on 17 - 19 June 2009 and was attended by 18 participants. The seminar involved both theoretical and practical aspects. The focus was on the transfer of knowledge and practical skills for methodical and systematic procedures for the planning, execution, and quality assurance of cleaning processes. The Fraunhofer Cleaning Technology Alliance has thus responded to the need of industry and deliberately chose not to put specific processes, applications, and sectors to the fore, but rather endeavored to answer the following questions:

- ▶ How do I go about cleaning?
- ▶ How can cleaning be incorporated into the process chain?
- ▶ What cleaning methods are available to me?
- ▶ How do I measure the cleanliness of my component?
- ▶ What options do I have for quality assurance?
- ▶ What relevant guidelines are available to me?

The participants came from the following areas:

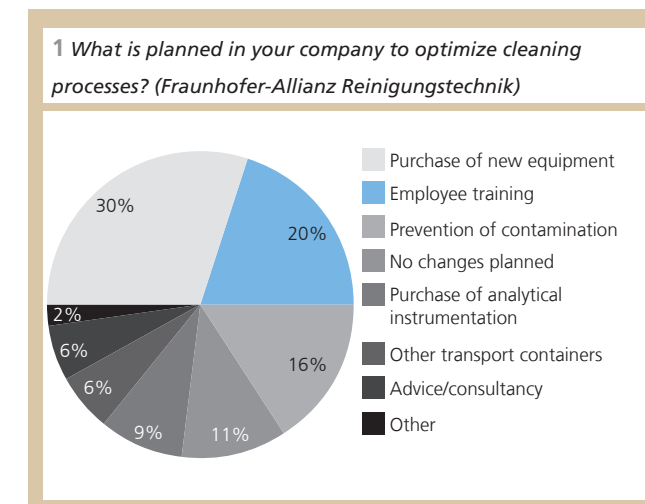
- ▶ Cleaning processes
- ▶ Investment planning
- ▶ Quality assurance
- ▶ Production planning, technology

and had the following objectives:

- ▶ To acquire a sound fundamental knowledge of cleaning technology
- ▶ To acquire methodical skills for solving cleaning tasks
- ▶ To improve theoretical knowledge
- ▶ To systematize cleaning methods, analytical methods, and quality management

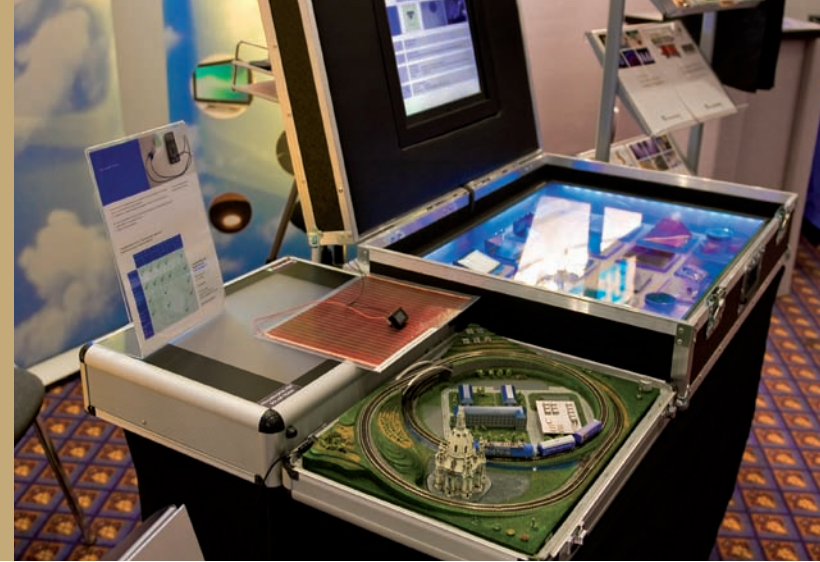
The positive feedback confirmed that the approach we had adopted was the right one. This is the starting point for a much-needed series of seminars which in the future will be expanded to form an accredited training course. The next seminar in the series will be held on 16 - 18 June 2010 at the Fraunhofer FEP and will be entitled:

"Controlling cleaning processes – Effective performance!"



## CONTACT

Frank-Holm Rögner  
 Phone +49 351 2586-242  
 frank-holm.roegner@fep.fraunhofer.de



## INTERNATIONAL CONFERENCES, SYMPOSIA AND FAIRS

In 2009 Fraunhofer FEP personnel participated in many international conferences, symposia and fairs to present their latest research results and promote exchange of ideas with other scientists. We were represented at, amongst other things, the following events:

|   |
|---|
| 28.01. Erneuerbare Energien (enertec 2009), Leipzig, Germany  |
| 29.01. Thermische EB-Technologien, Freiberg, Germany  |
| 03.03. - 05.03. MedTec Europe 2009, Stuttgart, Germany  |
| 10.03. - 11.03. 1 <sup>st</sup> Symposium Shaping European Nanotechnology, Düsseldorf, Germany  |
| 12.03. Gründungs-Kolloquium Anwenderkreis Normaldruckplasma, Jena, Germany  |
| 26.03. Workshop Heizen und Kühlen im Vakuum (EFDS), Dresden, Germany  |
| 30.03. - 03.04. DPG – Frühjahrstagung 2009, Greifswald, Germany   |
| 07.04. 1. Kolloquium Halbleitertechnologie/Mikroelektronik (Silicon Saxony), Dresden, Germany   |
| 15.04. - 17.04. 6 <sup>th</sup> International Symposium on Transparent Oxide Thin Films for Electronics and Optics (TOEO-6), Tokio, Japan |
| 19.04. - 23.04. 17 <sup>th</sup> International Conference on Wear of Materials, Las Vegas, USA  |
| 09.05. - 14.05. 52 <sup>nd</sup> Annual Technical Conference Society of Vacuum Coaters SVC, Santa Clara, USA                              |
| 11.05. - 15.05. Spie's Optifab 2009, Rochester, New York, USA   |
| 26.05. - 27.05. VDI Wissensforum, Dresden, Germany  |
| 01.06. - 04.06. 9 <sup>th</sup> International Conference on Electron Beam Technologies (EBT 2009), Varna, Bulgaria                        |
| 19.06. Niedersächs. Photovoltaik Symposium, Hameln, Germany   |
| 22.06. Dünnschicht Messtechnik in der Photovoltaik (Sentech), Leipzig, Germany  |
| 23.06. 10. Wörlitzer Workshop Laseranwendung in der Elektronik- und Photovoltaik-Industrie, Wörlitz, Germany                              |
| 30.06. - 01.07. 2 <sup>nd</sup> Int. Battery Congress Advanced Battery Technologies 2009, Frankfurt/Main, Germany                         |
| 08.07. - 10.07. 10 <sup>th</sup> International Symposium on Sputtering and Plasma Processes (ISSP 2009), Kanazawa, Japan                  |
| 08.07. - 10.07. 2 <sup>nd</sup> Int. Symposium for flexible Organic Electronics (IS-FOE), Chalkidiki, Greece                              |
| 15.07. - 16.07. MEF-Tag 2009, München, Germany  |
| 26.08. Photovoltaik in Mitteldeutschland – Quo Vadis, Dresden, Germany  |
| 30.08. - 04.09. Microscopy Conference (MC 2009), Graz, Austria  |
| 09.09. - 10.09. Messe für Nachwachsende Rohstoffe (naro.tech 2009), Erfurt, Germany   |

|  |
|--|
| 15.09. - 16.09. Thüringer Grenz-und Oberflächentage (ThGot), Jena, Germany   |
| 20.09. - 22.09. Biomaterials-Africa Conference 2009, Pretoria, South Africa  |
| 20.09. - 25.09. Asian-European PSE 2009 (International Conference on Plasma Surface Engineering), Busan, South Korea           |
| 21.09. WS-Chancen und Risiken der Nanotechnologie, Köthen, Germany   |
| 21.09. - 25.09. 24 <sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany                               |
| 22.09. - 26.09. 14 <sup>th</sup> IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Palma, Majorca |
| 20.10. - 22.10. V2009 Industrieausstellung & Workshop Vakuumbeschichtung und Plasmaoberflächentechnik, Dresden, Germany        |
| 21.10. - 22.10. NDVaK 17. Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium, Dresden, Germany  |
| 03.11. - 05.11. 35 <sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2009), Porto, Portugal    |
| 05.11. - 06.11. 2. Photovoltaik Symposium Solare Energieversorgung – quo vadis?, Wolfen, Germany                               |
| 19.11. Kolloquium Denkmal-Lobby Deutschland - viele Köche verderben den Brei?, Köln, Germany                                   |
| 30.11. - 02.12. OTTI – Dritte Fachtagung mit Ausstellung Transparent leitfähige Schichten (TCO), Neu-Ulm, Germany              |

## CONTACT

Annett Arnold  
 Phone +49 351 2586-333  
 annett.arnold@fep.fraunhofer.de





## ANNEX

|  |     |
|--|-----|
| Namen, Daten und Ereignisse / Names, dates and events    | 133 |
| Internationale Vertreter / International representatives | 139 |
| Anfahrt / How to reach us                                | 142 |

## NAMEN, DATEN UND EREIGNISSE NAMES, DATES AND EVENTS

### Mitgliedschaft in Gremien

E. Schultheiß  
Mitglied im DGO-Vorstand

E. Schultheiß  
Mitglied im Beirat der Deutschen Vakuumgesellschaft

E. Schultheiß  
Stellvertretender Vorstand Verband Hessen-Mittelrhein-Saar der DPG

E. Schultheiß  
Projektgutachter der Förderagentur der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik

E. Schultheiß  
Vorsitzender im wissenschaftlichen Beirat der Europäischen Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS)

V. Kirchhoff  
Vorstandsvorsitzender ELEWER e. V.  
ELEWER – Der Elektronenstrahl als Werkzeug

R. Bartel  
Mitglied des Kuratoriums im »Zentrum für angewandte Forschung und Technologie ZAFT e. V.«  
an der HTW Dresden (FH)

R. Bartel  
Mitglied im Kompetenzzentrum Maschinenbau Chemnitz / Sachsen e. V.

A. Arnold  
Vorstandsmitglied ELEWER e. V.  
ELEWER – Der Elektronenstrahl als Werkzeug

A. Arnold  
Geschäftsführerin des »International Council for Coating of Glass e. V.«  
(ICCG)

N. Schiller  
Mitarbeiter im »Technical Advisory Committee« der »Annual Technical Conference« der »Society of Vacuum Coaters« (SVC)

N. Schiller  
Mitarbeiter im DFF (Deutsches Flachdisplay-Forum im VDMA)

N. Schiller  
Mitglied im Fraunhofer-Themenverbund »Polymere Oberflächen« (POLO)

F.-H. Rögner  
Mitarbeiter in der Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik

H. Bartzsch  
Mitarbeiter im EFDS und bei Silicon Saxony

G. Mattausch  
Mitarbeiter im Organizing Committee der »International Conference on High-Power Electron Beam Technology – EBEAM«

G. Mattausch  
Mitarbeiter in der Informationstechnischen Gesellschaft (ITG) des VDE:  
Fachausschuss 8.6 »Vakuumelektronik und Displays«

G. Mattausch  
Mitarbeiter im Organizing Committee der »International Conference on Electron Beam Technologies – EBT«

P. Frach  
Mitarbeiter im EFDS Fachausschuss »Oberflächen und Beschichtungen in der Bio- und Medizintechnik«

P. Frach  
Mitarbeiter im Photonic Net

P. Frach  
Mitarbeiter in der Fraunhofer-Allianz Photokatalyse

Chr. Wetzel  
Mitarbeiter im EFDS, Fachausschuss »Oberflächen und Beschichtungen in der Bio- und Medizintechnik«

H. Klostermann  
Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik,  
AG Neuartige Plasmaquellen und Prozesse

### Vorträge

E. Schultheiß  
**Heizen und Kühlen im Vakuum – Einstieg**  
EFDS Workshop »Heizen und Kühlen im Vakuum«  
Dresden, Deutschland  
26. März 2009

F.-H. Rögner  
**Beschleunigte Elektronen – Ein Werkzeug nicht nur für Metallurgen**  
ISF - Kolloquium Schweißen und Löten mit Elektronenstrahlen -  
aktuelle Entwicklungen und Anwendungen  
RWTH Dresden, Deutschland  
23. April 2009

H. Klostermann, F. Fietzke, R. Labitzke, T. Modes, O. Zywitzki  
**High power pulsed sputtering and plasma-assisted hybrid processes for industrial scale hard layer deposition**  
36<sup>th</sup> International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films (ICMCTF)  
San Diego, USA  
27. April - 01. Mai 2009

E. Schultheiß  
**Als Physiker im Unternehmen und der Fraunhofer Gesellschaft – Ein Vergleich**  
Physiker im Beruf  
Bad Honnef, Deutschland  
01. - 02. Mai 2009

N. Schiller  
**Vakuumbeschichtung von Kunststofffolien**  
IVLV-Arbeitsgruppe »Abfüllen und Verpacken von Lebensmitteln«  
Dresden, Deutschland  
06. Mai 2009

St. Günther, St. Straach, N. Schiller, A. Quiceno, A. Contreras,  
R. Ludwig, G. Hoffmann  
**Innovative transparent barrier for packaging**  
52<sup>nd</sup> SVC Annual Technical Conference  
Santa Clara, USA  
09. - 14. Mai 2009

R. Nyderle, T. Preußner, R. Blüthner, D. Pavic  
**Properties of plasma polymerized thin films deposited from hexamethyldisiloxane (HMDSO) by magnetron-assisted PECVD process**

52<sup>nd</sup> SVC Annual Technical Conference  
Santa Clara, USA  
09. - 14. Mai 2009

F. Händel, H. Morgner, Chr. Metzner  
**Siliconoxid barrier layers for thin film photovoltaic on flexible metal strips produced by high-rate deposition for large area coatings**  
52<sup>nd</sup> SVC Annual Technical Conference  
Santa Clara, USA  
09. - 14. Mai 2009

P. Frach, H. Bartzsch, D. Glöß, M. Gittner, E. Schultheiß, W. Brode, J. Hartung  
**Highly insulating Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> films for sensor applications deposited by reactive pulse magnetron sputtering**  
52<sup>nd</sup> SVC Annual Technical Conference  
Santa Clara, USA  
09. - 14. Mai 2009

P. Frach, H. Bartzsch, K. Täschner, J. Liebig, E. Schultheiß  
**Multifunctional optical coatings on polymers deposited by pulse magnetron sputtering and magnetron enhanced PECVD**  
52<sup>nd</sup> SVC Annual Technical Conference  
Santa Clara, USA  
09. - 14. Mai 2009

F.-H. Rögner, Chr. Wetzel, O. Röder, G. Gotzmann,  
**Sterilization of surgical instruments using mini electron accelerators**  
52<sup>nd</sup> SVC Annual Technical Conference  
Santa Clara, USA  
09. - 14. Mai 2009

F. Fietzke  
**Vakuumverfahren zur Erzeugung funktionaler Oberflächenschichten für medizinische Anwendungen**  
Workshop »Präzisionsfertigung für die Medizintechnik«  
Chemnitz, Deutschland  
13. Mai 2009

A. Delan, E. Schultheiß, P. Frach, D. Glöß, A. Karuppasamy  
**Properties of pure and N, C and W doped TiO<sub>2</sub> thin films grown by reactive magnetron sputtering**  
nanofair 2009  
Dresden, Deutschland  
26. - 27. Mai 2009



H. Klostermann  
**PVD Basisprozesse und ihre reaktiven Varianten**  
 OTTI-Fachkolloquium »Funktionalisierung von Glasoberflächen durch Beschichtungen«  
 Göttingen, Deutschland  
 25. - 26. Mai 2009

E. Schultheiß  
**Fraunhofer FEP - System solutions in thin film technology**  
 2<sup>nd</sup> CAR-FhG Workshop  
 Dresden, Deutschland  
 25. - 27. Mai 2009

H. Morgner, Chr. Metzner  
**Fraunhofer FEP's activities in thin film photovoltaics**  
 Workshop »Commercializing Future Technologies for Energy and Energy Efficiency«  
 Dresden, Deutschland  
 28. Mai 2009

P. Feinäugle, G. Mattausch, F.-H. Rögner  
**Cold cathode electron beam sources for high-rate PVD**  
 9<sup>th</sup> International Conference on Electron Beam Technologies – EBT 2009  
 Varna, Bulgarien  
 01. - 04. Juni 2009

F. Fischer, U. Hampel, G. Mattausch  
**Ultra fast electron beam x-ray CT scanner for industrial process tomography**  
 9<sup>th</sup> International Conference on Electron Beam Technologies – EBT 2009  
 Varna, Bulgarien  
 01. - 04. Juni 2009

Chr. Metzner, B. Scheffel, J.-P. Heinß, H. Morgner  
**Plasma activated high-rate deposition with axial electron beam guns**  
 9<sup>th</sup> International Conference on Electron Beam Technologies – EBT 2009  
 Varna, Bulgarien  
 01. - 04. Juni

A. Delan, D. Glöß, P. Frach, E. Schultheiß  
**Low temperature electrical conductivity, gas sensing and photocatalytic properties of pure and doped TiO<sub>2</sub> thin films grown by reactive magnetron sputtering**  
 E-MRS 2009 Spring Meeting, Congress Center  
 Strasbourg, France  
 08. - 12. Juni 2009

M. Junghähnel  
**Optische Funktionsschichten und -schichtsysteme abgeschieden mittels Puls Magnetron Sputtern und deren industrielle Herstellung**  
 Vorlesung im Rahmen der Vorlesungsreihe: Fertigungsverfahren und Werkstoffe der Optik  
 Technischen Universität Ilmenau, Fakultät Maschinenbau, FB Anorganisch-nichtmetallische Werkstoffe  
 15. Juni 2009

N. Schiller, M. Fahland, J. Fahlteich, W. Schönberger  
**Vacuum roll-to-roll coating technologies for organic electronics**  
 2<sup>nd</sup> International Symposium on Flexible Organic Electronics (IS-FOE09)  
 Chalkidiki, Griechenland  
 08. - 10. Juli 2009

D. Glöß, H. Bartzsch, P. Frach, K. Täschner, J. Liebig, E. Schultheiß  
**Sputtering and PECVD of inorganic and hybrid transparent coatings for optical applications**  
 10<sup>th</sup> International Symposium on Sputtering and Plasma Processes (ISSP)  
 Kanazawa, Japan  
 08. - 10. Juli 2009

H. Kubin, Th. Unkelbach, M. Benesch, F.-H. Rögner, A. Dementjev, K. Kabitzsch, Chr. Metzner  
**Identification of process models and controller design for vacuum coating processes with a long dead time using an identification tool with advisory support**  
 14<sup>th</sup> IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)  
 Mallorca, Spanien  
 22. - 26. September 2009

Chr. Metzner, J.-P. Heinß, H. Morgner  
**Hochrate-Elektronenstrahlverdampfen für Anwendungen in der Photovoltaik**  
 Workshop »Hochrateverdampfen für die Photovoltaik«  
 ISFH, Emmerthal, Deutschland  
 04. September 2009

E. Schultheiß  
**Folienbeschichtung**  
 Vorbehandeln und Beschichten von Kunststoffoberflächen,  
 OTTI-Seminar  
 Regensburg, Deutschland  
 09. - 10. September 2009

J. Schönfelder, Chr. Wetzel, N. Özküçür, R. Funk  
**Oberflächenmodifizierung von Polyetherurethan und Silikon mit Elektronenstrahl für die therapeutische Medizintechnik**  
 7. Biomaterial-Kolloquium  
 Friedrichroda, Deutschland  
 17. September 2009

Chr. Wetzel, J. Schönfelder, N. Özküçür, T. K. Monsees, R. H. W. Funk  
**Improvement of cell adhesion in the medical-surface boundary layer**  
 Biomaterials - Africa Conference 2009  
 Pretoria, Südafrika  
 20. - 22. September 2009

E. Schultheiß  
**Chancen der Nanotechnologie aus Sicht eines Technikers**  
 Workshop Chancen und Risiken der Nanotechnologie  
 Institut für klinische Hygiene und Qualitätssicherung e. V.,  
 Köthen, Deutschland  
 21. September 2009

E. Schultheiß, R. Schmittgens  
**Abscheidung von Nanokompositschichten aus Niederdruck-plasmen - Stand bei Fraunhofer FEP und Wege zur Aufskalierung**  
 EFDS-WS Schichten aus Nanopartikeln - Abscheidung aus Dispersionen, Flammen und Plasmen  
 Dresden, Deutschland  
 29. September 2009

N. Schiller, J. Fahlteich, M. Fahland, St. Straach, W. Schönberger  
**Transparent barrier coatings on polymer films**  
 AIMCAL Fall Technical Conference 2009  
 Amelia Island, FL, USA  
 18. - 21. Oktober 2009

J.-P. Heinß, H. Morgner, F. Händel, K. Häfner, Chr. Metzner  
**Beispiele für Anwendungen des Elektronenstrahls in der Photovoltaik**  
 V2009 Industrieausstellung & Workshop Vakuumbeschichtung und Plasmaoberflächentechnik, WS Beschichtungen für Solar- und lichttechnische Anwendungen: Dünnschicht-Technologien und Materialien  
 Dresden, Deutschland  
 20. - 22. Oktober 2009

P. Frach, D. Glöß, H. Bartzsch, K. Täschner, J. Liebig, E. Schultheiß  
**Abscheidung von anorganischen und Hybridschichten für optische Anwendungen mittels Magnetronsputtern und Magnetron-PECVD**  
 V2009 Industrieausstellung & Workshop Vakuumbeschichtung und Plasmaoberflächentechnik, WS Beschichtungen für den optischen Gerätebau  
 Dresden, Deutschland  
 20. - 22. Oktober 2009

W. Schönberger, G. Gerlach, M. Fahland, P. Munzert, U. Schulz  
**Großflächige Entspiegelung von Kunststofffolien durch Plasma- und Ionenbehandlung**  
 V2009 Industrieausstellung & Workshop Vakuumbeschichtung und Plasmaoberflächentechnik, WS Beschichtung und Modifizierung von Kunststoffoberflächen  
 Dresden, Deutschland  
 20. - 22. Oktober 2009

N. Schiller  
**Vacuum roll-to-roll coating technologies for polymer films**  
 Bayer Science and Innovation Dialogue  
 Leverkusen, Deutschland  
 27. - 28. Oktober 2009

H. Kubin, M. Benesch, A. Dementjev, K. Kabitzsch, Th. Unkelbach, R. Nyderle, Chr. Metzner  
**ADM - process identification tool for experts and technologists**  
 35<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)  
 Porto, Portugal  
 03. - 06. November 2009

Th. Preußner  
**Transparente Funktionsschichten für Photovoltaik-Anwendungen**  
 Workshop Oberflächentechnik »Oberflächentechnologien in der Solartechnik Funktionalisierte Oberflächen in der Medizintechnik«  
 Zwickau, Deutschland  
 05. November 2009

Chr. Metzner  
**Future technologies and processes for roll to roll coating in thin film PV**  
 5<sup>th</sup> International Workshop on Thin films in the PV industry  
 München, Deutschland  
 13. November 2009

#### Veröffentlichungen

J.-P. Heinß, F. Händel, T. Meyer, R. Würz  
**High productive deposited Mo layers for back ohmic contacts of solar cell**  
 Plasma Process and Polymers, Vol. 6, Issue S1, 2009  
 S. S29 - S35

A. Delan, A. Karuppasamy, E. Schultheiß  
**A comparative study on the photocatalytic and gas sensing properties of pure and N-doped TiO<sub>2</sub> thin films**  
 Plasma Process and Polymers, Vol. 6, Issue S1, 2009  
 S. S731 - S734

R. Schmittgens, M. Wolf, E. Schultheiß  
**A versatile system for large area coating of nanocomposite thin films**  
 Plasma Process and Polymers, Vol. 6, Issue S1, 2009  
 S. S912 - S916

F. Fietzke, H. Morgner, St. Günther  
**Magnetically enhanced hollow cathode – a new plasma source for high-rate deposition processes**  
 Plasma Process and Polymers, Vol. 6, Issue S1, 2009  
 S. S242 - S246

G. Suchanek, Z. Hubicka, A. Levin, St. Günther, M. Cada, A. Dejneka, L. Jastrabik, D. Meyer, E. Schultheiß, G. Gerlach  
**Recrystallization of the copper bottom electrode during complex oxide deposition onto kapton films**  
 Application of Ferroelectrics, ISAF 2009, 18<sup>th</sup> IEEE International Symposium  
 S. 1 - 5, Proceedings

Chr. Wetzel, O. Röder  
**Technologische und produktspezifische Aspekte der Elektronenstrahlsterilisation und (Bio)Funktionalisierung**  
 Galvanotechnik, Vol. 10, 2009  
 S. 2244 - 2246

H. Klostermann, F. Fietzke, R. Labitzke, Th. Modes, O. Zywitzki  
**Zr–Nb–N hard coatings deposited by high power pulsed sputtering using different pulse modes**  
 Surface & Coatings Technology, Vol. 204, 2009  
 S. 1076 - 1080

N. Schiller, J. Fahlteich, M. Fahland, W. Schönberger  
**Roll-to-roll technology for transparent high barrier films**  
 Vacuum & Coating Technology 2009  
 S. 46 - 49

St. Günther, St. Straach, N. Schiller, A. Quiceno, A. Contreras, R. Ludwig, G. Hoffmann  
**Innovative transparent barrier for packaging**  
 52<sup>nd</sup> SVC Annual Technical Conference  
 S. 727 - 729, Proceedings

R. Nyderle, T. Preußner, R. Blüthner, D. Pavic  
**Properties of plasma polymerized thin films deposited from hexamethyldisiloxane (HMDSO) by magnetron-assisted PECVD process**  
 52<sup>nd</sup> SVC Annual Technical Conference  
 S. 354 - 359, Proceedings

F. Händel, H. Morgner, Chr. Metzner  
**Siliconoxid barrier layers for thin film photovoltaic on flexible metal strips produced by high-rate deposition for large area coatings**  
 52<sup>nd</sup> SVC Annual Technical Conference  
 S. 37 - 41, Proceedings

P. Frach, H. Bartzsch, D. Glöß, M. Gittner, E. Schultheiß, W. Brode, J. Hartung  
**Highly insulating Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> films for sensor applications deposited by reactive pulse magnetron sputtering**  
 52<sup>nd</sup> SVC Annual Technical Conference  
 S. 134 - 139, Proceedings

P. Frach, H. Bartzsch, K. Täschner, J. Liebig, E. Schultheiß  
**Multifunctional optical coatings on polymers deposited by pulse magnetron sputtering and magnetron enhanced PECVD**  
 52<sup>nd</sup> SVC Annual Technical Conference  
 S. 446 - 450, Proceedings

F.-H. Rögner, Chr. Wetzel, O. Röder, G. Gotzmann  
**Sterilization of surgical instruments using mini electron accelerators**  
 52<sup>nd</sup> SVC Annual Technical Conference  
 S. 181 - 187, Proceedings

P. Feinäugle, G. Mattausch, F.-H. Rögner  
**Cold cathode electron beam sources for high-rate PVD**  
 9<sup>th</sup> International Conference on Electron Beam Technologies - EBT 2009  
 S. 204 - 209, Proceedings

F. Fischer, U. Hampel, G. Mattausch  
**Ultra fast electron beam x-ray CT scanner for industrial process tomography**  
 9<sup>th</sup> International Conference on Electron Beam Technologies - EBT 2009  
 S. 112, Proceedings

Chr. Metzner, B. Scheffel, J.-P. Heinß, H. Morgner  
**Plasma activated high-rate deposition with axial electron beam guns**  
 9<sup>th</sup> International Conference on Electron Beam Technologies - EBT 2009  
 S. 212 - 216, Proceedings

H. Kubin, M. Benesch, A. Dementjev, K. Kabitzsch, Th. Unkelbach, R. Nyderle, Chr. Metzner  
**ADM - process identification tool for experts and technologists**  
 35<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)  
 S. 1446 - 1451, Proceedings

#### Fachposter

J.-P. Heinß, Chr. Metzner, B. Scheffel  
**Carbon based tribological coatings by using the high-rate electron beam evaporation**  
 17<sup>th</sup> International Conference on Wear of Materials (WOM 2009)  
 Las Vegas, USA  
 19. - 23. April 2009

M. Junghähnel, B. Heimke, U. Hartung, T. Kopte  
**Large area sputtering of Niobium doped Titania (TNO) used as transparent electrode for solar cells**  
 24<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition Proceedings  
 Hamburg, Deutschland  
 21. - 25. September 2009

J.-P. Heinß, H. Morgner, K. Häfner  
**Crystallization of silicon layers with a scanned electron beam**  
 24<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition Proceedings  
 Hamburg, Deutschland  
 21. - 25. September 2009

K. Häfner, H. Morgner, J.-P. Heinß, Chr. Metzner  
**High-rate electron beam evaporation of amorphous silicon**  
 24<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition Proceedings  
 Hamburg, Deutschland  
 21. - 25. September 2009

A. Delan, D. Glöß, P. Frach, E. Schultheiß  
**Gassensorische und photokatalytische Eigenschaften von dotierten und undotierten Titanoxidschichten**  
 9. Dresdner Sensor-Symposium  
 S. 319 - 321, Proceedings  
 Dresden, Deutschland  
 07. - 09. Dezember 2009

A. Delan, A. Karuppasamy, E. Schultheiß, D. Glöß, P. Frach, R. Petrich, G. Schmidt  
**Geruchsmindernde, photokatalytische Titanoxidschichten**  
 9. Dresdner Sensor-Symposium  
 S. 307, Proceedings  
 Dresden, Deutschland  
 07. - 09. Dezember 2009

#### Diplomarbeiten

A. Voit  
**Fertigstellung und Qualifizierung eines Hall-Messplatzes am Beispiel von transparenten leitfähigen Schichten**  
 Westsächsische Hochschule Zwickau  
 Fachbereich Physikalische Technik, Studiengang Mikrotechnologie  
 03. Juli 2009

K. Bergner  
**Entwicklung und Aufbau eines optischen Messsystems zur in-situ Charakterisierung von dünnen Schichten auf Kunststofffolien**  
 Fachhochschule Jena  
 Fachbereich: SciTec, Studiengang: Feinwerktechnik,  
 Vertiefungsrichtung: Fertigungstechnik  
 24. August 2009

M. Prescher  
**Untersuchungen zur Optimierung der Schichtdickenmessung mittels Röntgenfluoreszenzspektroskopie**  
 Westsächsische Hochschule Zwickau  
 Fachbereich Physikalische Technik, Studiengang Mikrotechnologie  
 03. November 2009

S. Brückner  
**Entwicklung einer Technologie zur Herstellung und Applikation eines neuen Materials für Siloabdeckungen aus bioverwertbaren Rohstoffen**  
 Hochschule Zittau/Görlitz (FH)  
 Studiengang Ökologie und Umweltschutz  
 25. November 2009

#### Erteilte Schutzrechte

DE 10 2008 012 383 B3  
**Licht erzeugendes Wandelement**  
 V. Kirchhoff, T. Kopte, J. Kubusch

CH 697 685 B1  
**Vorrichtung und Verfahren zum Aufbringen eines Dünnschichtsystems mittels Zerstäuben**  
 H. Bartzsch, P. Frach, K. Goedicke, St. Lange

FR 2 872 173 B1  
**Dispositif et procede pour déposer un système de couches minces par pulvérisation**  
 H. Bartzsch, P. Frach, K. Goedicke, St. Lange

JP 4 163 151 B2  
**Vorrichtung und Verfahren zum Aufbringen eines Dünnschichtsystems mittels Zerstäuben**  
 H. Bartzsch, P. Frach, K. Goedicke, St. Lange

EP 1 652 963 B1  
**Oberflächenveredeltes Objekt, Verfahren zu dessen Herstellung sowie Verwendung des Objektes**  
 F. Fietzke, K. Goedicke, D. Glöß, P. Frach

US 7,541,070  
**Method of vapor-depositing strip-shaped substrates with a transparent barrier layer made of aluminum oxide**  
 N. Schiller, St. Straach, M. Rabisch, M. Fahland, Chr. Charton

EP 1 522 606 B1  
**Verfahren zur Beschichtung von bandförmigem Material mit schwarzem Aluminiumoxid**  
 N. Schiller, St. Straach, R. Rank, G. Zeißig, St. Günther





## INTERNATIONALE VERTRETER INTERNATIONAL REPRESENTATIVES

### Japan

Dr. Koichi Suzuki  
Tokyo, 154-0004, Japan  
510, Spacia Sangenchaya  
Nibankan  
2-14-6, Taishido, Setagaya-ku  
Japan

### India

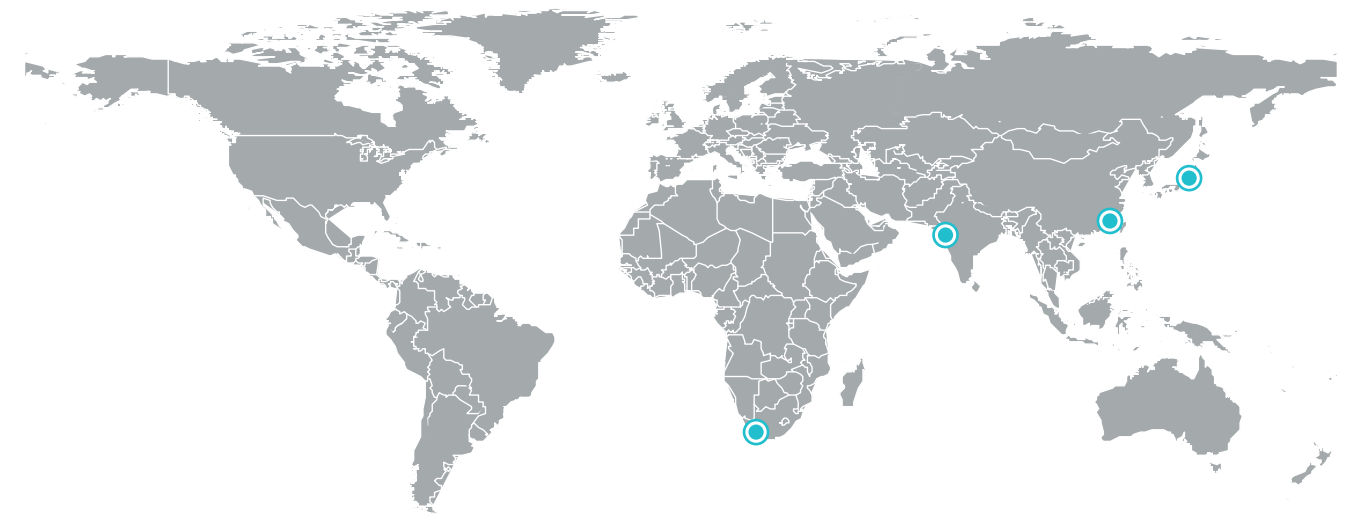
Umesh Bhagwat  
S.U.N. Media Ventures Pvt. Ltd.  
1, Gnd Floor, Krishna Kunj,  
Ashok Nagar Cross Road No 3,  
Kandivili East, Mumbai 400101  
Republic of India

### China

Oliver Wang  
10C, Block V Neptunus Mansion  
Nanyou Rdd Nanshan District  
Shenzhen 518054  
People's Republic of China

### South Africa

Thomas Schaal  
Esa-Meridian consulting (pty.) Ltd.  
25 Tahiti Close  
7975 Capri Village,  
Fish Hoek / Cape Town  
Republic of South Africa





## ANFAHRT

Fraunhofer-Institut für  
Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP  
Winterbergstraße 28  
01277 Dresden, Deutschland

### Anreise mit dem Auto

- ▶ Autobahn A4 oder A13, Ausfahrt Dresden-Altstadt
- ▶ Bundesstraße B6, Hamburger Straße in Richtung Stadtmitte
- ▶ weiter über die Wilsdruffer Straße, Stübelallee
- ▶ am Ende des »Großen Gartens« rechts in die Karcherallee
- ▶ an der folgenden Ampel links in die Winterbergstraße

### Anreise mit der Bahn

- ▶ ab Dresden Hauptbahnhof mit der Straßenbahnlinie 10 (Striesen) bis zum Strassburger Platz
- ▶ mit den Linien 1 (Kleinzschachwitz) oder 2 (Prohlis) bis Zwinglistraße
- ▶ 10 Minuten zu Fuß

### Anreise mit dem Flugzeug

- ▶ ab Flughafen Dresden mit dem Taxi etwa 40 Minuten zum Fraunhofer-Institutszentrum IZD (Winterbergstraße 28)

### GPS Koordinaten

- ▶ N 51° 01.790
- ▶ O 13° 46.890

## HOW TO REACH US

Fraunhofer Institute for  
Electron Beam and Plasma Technology FEP  
Winterbergstrasse 28  
01277 Dresden, Germany

### By car

- ▶ Autobahn A4 or A13, exit Dresden-Altstadt
- ▶ Bundesstrasse B6, Hamburger Strasse to Stadtmitte
- ▶ continue along Wilsdruffer Strasse, Stübelallee
- ▶ at the end of the "Großer Garten" turn right onto Karcherallee
- ▶ at the next traffic light, turn left onto Winterbergstrasse

### By railway and tram

- ▶ from Dresden main railway station take line 10 (Striesen) to Strassburger Platz
- ▶ change to line 1 (Kleinzschachwitz) or 2 (Prohlis) and exit at Zwinglistrasse
- ▶ walk 10 minutes from there

### By airplane

- ▶ from airport Dresden take a taxi to Winterbergstrasse 28

### GPS coordinates

- ▶ N 51° 01.790
- ▶ E 13° 46.890



## IMPRESSUM

### Kontakt

Fraunhofer-Institut für  
Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP  
Winterbergstraße 28  
01277 Dresden, Deutschland

Telefon +49 351 2586-0  
Fax +49 351 2586-105  
www.fep.fraunhofer.de  
info@fep.fraunhofer.de

### Ansprechpartner

Annett Arnold  
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Marketing,  
Unternehmenskommunikation  
Telefon +49 351 2586-452  
annett.arnold@fep.fraunhofer.de

### Redaktion

Prof. Dr. Eberhard Schultheiß  
Prof. Dr. Volker Kirchhoff  
Dr. Marita Mehlstäubl  
Annett Arnold

### Abbildungsnachweis:

Janek Wieczorek  
Finn Hoyer  
Thomas Ernsting

### Gestaltung / Satz

Janek Wieczorek  
Finn Hoyer

### Übersetzung

Stuart Fegan, Großbritannien

### Druck

Druckerei Wagner Verlag und Werbung GmbH  
Großschirma/Sachsen, Deutschland

### Titelbild

Flexible solar cell, manufactured in the frame of the European  
program FLEXCELLENCE (2005-2008)  
Fotograf: Janek Wieczorek

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

© Fraunhofer FEP, Dresden, Deutschland  
März 2010

## EDITORIAL NOTES

### Contact

Fraunhofer Institute for  
Electron Beam and Plasma Technology  
Winterbergstrasse 28  
01277 Dresden, Germany

Phone +49 351 2586-0  
Fax +49 351 2586-105  
www.fep.fraunhofer.de  
info@fep.fraunhofer.de

### Contact person

Annett Arnold  
Public Relation, Marketing, Communication  
Phone +49 351 2586-452  
annett.arnold@fep.fraunhofer.de

### Editorial team

Prof. Dr. Eberhard Schultheiß  
Prof. Dr. Volker Kirchhoff  
Dr. Marita Mehlstäubl  
Mrs. Annett Arnold

### Photo acknowledgments

Mr. Janek Wieczorek  
Mr. Finn Hoyer  
Mr. Thomas Ernsting

### Print layout

Mr. Janek Wieczorek  
Mr. Finn Hoyer

### Translation

Mr. Stuart Fegan, UK

### Production

Druckerei Wagner Verlag und Werbung GmbH  
Großschirma/Sachsen, Germany

### Cover picture

Flexible solar cell, manufactured in the frame of the European  
program FLEXCELLENCE (2005-2008)  
photographer: Janek Wieczorek

Reproduction of any material is subject to editorial authorization.

© Fraunhofer FEP, Dresden, Germany  
March 2010

