



Fraunhofer

Institut
Elektronenstrahl- und
Plasmatechnik

Leistungen und Ergebnisse Jahresbericht 2000

Achievements and Results Annual Report 2000



Jahresbericht 2000
Annual Report 2000

Fraunhofer-Institut für
Elektronenstrahl- und
Plasmatechnik

“Plasmatechnik: Prozessvielfalt und Nachhaltigkeit“ ist der Titel einer gelungenen und informativen Broschüre, die im Sommer 2000 vom BMBF gemeinsam mit dem VDI-Technologiezentrum herausgegeben wurde. Die Plasmatechnik wird darin als eine der zukünftigen Schlüsseltechnologien dargestellt. Auch für unser Institut ist sie Inhalt der täglichen Arbeit. Zwei von drei Kernkompetenzen, die wir im Rahmen unserer strategischen Planung definiert haben und gezielt weiterentwickeln wollen, nämlich das Puls-Magnetron-Sputtern und die plasmaaktivierte Hochratebedampfung, leben vom Plasma. Die Leistungsfähigkeit von beschichtenden und abtragenden Plasmen zu steigern und gleichzeitig die Kosten für den Nutzer zu senken, ist Auftrag und bleibt ständige Herausforderung für die Mitarbeiter des FEP.

Aber auch die Weiterentwicklung der dritten Kernkompetenz, der Elektronenstrahltechnologie, wird die Zukunft des Instituts bestimmen. Weltweit ist keine Einrichtung bekannt, die sich in einer ähnlichen Breite mit dem Elektronenstrahl als Werkzeug beschäftigt wie das FEP. Dies müssen und wollen wir nutzen, um auch auf diesem Gebiet in internationale Märkte vorzudringen. Mit der Auslieferung eines Technologiepaketes zum gerichteten Aufdampfen von Schichten an die University of Virginia, das gemeinsam mit den amerikanischen

Wissenschaftlern entwickelt wurde, haben wir, so glaube ich, einen entscheidenden Schritt in diese Richtung getan.

Ein gutes und ausgeglichenes letztes Jahr im alten Millennium liegt hinter uns, und mit großem Optimismus starten wir (nun endlich wirklich) ins neue Jahrtausend. Die Zahlen im Innern dieses Heftes belegen, dass es auch wirtschaftlich weiter aufwärts geht. Gegenüber 1999 konnten wir in 2000 den Anteil unserer Finanzierung durch direkte Projekte mit der Industrie um 8 % erhöhen, bereits heute zeichnet sich eine weitere Steigerung für das begonnene Jahr ab. Eine große Rolle in unseren internationalen Beziehungen spielte auch im vergangenen Jahr wieder Japan. Besonders auf dem Gebiet der Puls-Sputter-Technik agieren wir dort sehr erfolgreich. Korea ist unser nächstes wichtiges Ziel. Im Augenblick sprechen wir über eine enge Zusammenarbeit mit der Sungkyunkwan University in Suwon. Mit dem Korea Institute of Industrial Technology (KITECH) werden wir noch in 2001 ein gemeinsames Büro in Seoul eröffnen. Das herausragende Ereignis des Jahres war ohne Zweifel ein vom FEP ausgerichtetes Internationales Symposium anlässlich der Inbetriebnahme unserer Anlage “MAXI” zur Beschichtung metallischer Platten und Bänder. Etwa 70 Experten trafen sich im Mai in Dresden, um sich über den Stand der Metallband-

veredelung zu informieren und die Möglichkeiten der neuen Anlage kennenzulernen. Das Interesse ist groß, die Anlage ist bereits bis weit in 2001 ausgebaut.

Kooperation mit dem Braunschweiger Fraunhofer IST ist ein wichtiges Thema. Die ersten gemeinsamen Projekte sind gestartet, und in Zukunft wollen wir in der Vorlaufforschung eng zusammenarbeiten.

Wer in diesen Tagen das Fraunhofer Institutszentrum an der Winterbergstrasse besucht, sieht, daß dort eifrig gebaut wird. Alle vier ansässigen Institute wollen sich stark erweitern, das FEP machte den Anfang. Spätestens zu Beginn 2002 werden wir das renovierte Gebäude beziehen.

Insgesamt also phantastische Perspektiven. Elektronenstrahl- und Plasmatechnik haben Zukunft, wir wollen diese Zukunft maßgeblich mitgestalten. Wie immer bleibt am Ende dieser einführenden Worte der Dank für die Unterstützung durch unsere Partner in Forschung und Entwicklung, durch Förderer, insbesondere die Zuwendungsgeber des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit, durch die Auftraggeber aus der Industrie, durch Kollegen und Freunde. Danken möchte ich auch allen Mitarbeitern für ihr Engagement in 2000.



Prof. Dr. Günter Bräuer

"Plasma technology: Great Variety and High Efficiency" this is the title of a very informative brochure published in summer 2000 by BMBF together with the VDI-Technologiezentrum. In this brochure the plasma technology is described as one of the key technologies of the future. For our institute, too, plasma technology forms part of our daily work. Two out of three core competences we have defined during our strategic planning, i.e. the Pulse Magnetron Sputtering and the Plasma-Activated High-Rate Deposition, are based on plasma. Increasing the efficiency of coating and material-removing plasmas and reducing the costs involved at the same time, this is the task of and the challenge for the FEP staff.

However, the further development of the third core competence, i.e. Electron Beam Technology, will contribute largely to the future of the institute, too. There is no other organization in the world which focuses on a similarly wide range of electron beam applications as the FEP. We want and we must use this to open up the international markets in this field, too. With the supply of a technology package (developed together with the American scientists) for directed vapor deposition of layers to the University of Virginia, we have

made an important step in the right direction.

The last year of the old millennium was a good and successful year for us, and we look forward to the new millennium with great optimism. The figures contained in this brochure confirm that the economic situation has continued to improve. Compared to 1999 we were able to increase the share of our financing by direct projects with the industry by 8 % in 2000, and from the present point of view this share will increase even further this year.

In the past year, too, Japan played a major role in our international relationships. In particular in the field of the Pulse Sputtering Technology we were very successful there. Korea is our next important target. At present we are discussing a close relationship with the Sungkyunkwan University in Suwon. In 2001 we will open a joint office in Seoul together with the Korea Institute of Industrial Technology (KITECH). The most important event of last year was an international symposium organized by FEP on the occasion of the commissioning of our "MAXI" plant for coating metallic plates and strips. Some 70 experts met in Dresden in May 2000 to discuss the state of the

art in the field of metal strip improvement and to inform themselves about the possibilities of the new plant. There has been great interest in the plant, and the plant is already booked up for many months.

The cooperation with the Fraunhofer IST in Brunswick is an important subject. The first joint projects have been started and in the future we intend to cooperate closely in research projects. Whoever visits the Fraunhofer Institute Center in Winterbergstrasse, will see that a lot of construction work is going on there. All four institutes based there plan to expand considerably, with the FEP being the first to do so. At the beginning of 2002, at the latest, we will move into the renovated building.

Altogether our perspectives are fantastic. Electron beam and plasma technology will have a great future, and we intend to be a major contributor to this development. Finally I would like to express my gratitude for all the assistance by our research and development partners, our sponsors, in particular the Saxon State Ministry for Economy and Labor, our industrial customers, our colleagues and friends. I would also like to thank all the members of our staff for their commitment in 2000.



Prof. Dr. Günter Bräuer

Inhalt

Vorwort	2
Inhalt	4
Unser Kuratorium	6
Organisationsstruktur	8
Kontaktpersonen	
Wirtschaftliche Entwicklung	10
Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick	12
Puls Magnetron Sputtern von optischen Mehrlagenschichten auf Kunststofffolien	14
Technologien aus dem FEP in Japan	30
Plasmaaktivierte gerichtete Dampfabscheidung - Eine neue Hochrate- PVD-Technologie	42
1. Internationales Symposium "Emergent Opportunities of PVD Coated Metal Strips and Sheets"	50
Kleine Elektronen gegen große Pilzschäden - Wie aus Ideen Technik wird	54
Namen, Daten, Ereignisse	64
Diplomarbeiten	65
Dissertationen	65
Mitarbeit in Gremien	65
Besondere Ereignisse	66
Vorträge	68
Veröffentlichungen	70
Patente	72
Bücher	73
Impressum	74

Contents

Foreword	3
Contents	5
Our Board of Curators	7
Organizational Structure	8
Contact persons	
Yields development	11
The Fraunhofer-Gesellschaft at a glance	13
Pulse Magnetron Sputtering for optical multilayer stacks on polymer webs	15
FEP Technologies in Japan	31
Plasma activated Directed Vapor Deposition – A new high-rate PVD technology	43
1. International Symposium "Emergent Opportunities of PVD Coated Metal Strips and Sheets"	51
Tiny electrons against big damage by fungi How an idea becomes technology	55
Names, Dates, Events	64
Diploma Theses	65
Dissertations	65
Membership of Fraunhofer Alliance	65
Memberships	65
Events	66
Lectures	68
Publications	70
Patents	72
Books	73
Imprint	74

Unser Kuratorium

Dem Kuratorium des Fraunhofer FEP gehörten am Jahresende 2000 folgende Mitglieder an:

Dr. Alfred Hauff	Vorsitzender des Kuratoriums Langjähriger Geschäftsführer der Leybold AG, Geschäftsführer EBARA Germany GmbH
Dr. Helmut Ennen	Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit, Referatsleiter
Dr. Horst Schmidt	Geschäftsführer der microtech GmbH, Teltow
Dr. Rainer Behrisch	Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Bereich Oberflächentechnik, Garching
Dipl.-Ing. Konrad Meier	Vorstand der Gebrüder Schmidt AG
Dr. Ulrich Engel	Geschäftsführer der Braunschweiger Hüttenwerke GmbH
Dr. Herrmann Stumpff	Vorsitzender der Geschäftsführung der LOI Thermprocess GmbH
Dipl.-Phys. Eckhard Dietrich	Geschäftsführer Strategic Counsel Balzers and Leybold Deutschland Holding AG, Hanau

Als Gäste nahmen teil:

Dr. Roland Werner	Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, Referatsleiter
MinRat Dr. Reinhardt Zimmermann	Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, Referatsleiter
Udo Klotzbach	Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, Referatsleiter

Vertreter der Fraunhofer-Gesellschaft:

Dr. Dirk-Meints Polter	FhG Vorstand
Dr. Hans-Ulrich Wiese	FhG Vorstand
Dr. Patrick Hoyer	FhG Zentrale

Wir danken den Herren Kuratoren und Gästen für die hervorragende Unterstützung bei der Durchführung unserer Arbeit.

Our Board of Curators

At the end of 2000, the Board of the Fraunhofer FEP was made up of the following members:

Dr. Alfred Hauff	Longstanding managing director of Leybold AG, chairman of the Committee, Managing director EBARA Germany GmbH
Dr. Helmut Ennen	Departmental manager Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit (Saxon Ministry for Industry and Labor)
Dr. Horst Schmidt	Managing director microtech GmbH, Teltow
Dr. Rainer Behrisch	Max-Planck-Institut for Plasma Physics, Department Surface Physics, Garching
Konrad Meier	Director of Gebrüder Schmidt AG
Dr. Ulrich Engel	Managing director of Braunschweiger Hüttenwerke GmbH
Dr. Herrmann Stumpp	Managing director of LOI Thermoprocess GmbH
Eckhard Dietrich	Managing director Strategic Counsel Balzers and Leybold Deutschland Holding AG, Hanau

The following were invited to be present:

Dr. Roland Werner	Departmental manager, Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (Saxon Ministry of Science and Art)
MinRat Dr. Reinhardt Zimmermann	Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (Saxon Ministry of Science and Art)
Udo Klotzbach	Departmental manager, Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (Saxon Ministry of Science and Art)

Representatives of Fraunhofer-Gesellschaft:

Dr. Dirk-Meints Polter	FhG board
Dr. Hans-Ulrich Wiese	FhG board
Dr. Patrick Hoyer	FhG board

We thank both the sitting and invited committee members for their outstanding support of our work.

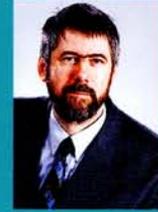
Organisationsstruktur Kontakte

Institutsleitung / Chairmanship



**Prof. Dr.
Günter Bräuer**
braeuer.g@fep.fhg.de

Institutsleiter
Director



**Dr. rer. nat.
Volker Kirchhoff**
kirchhoff.v@fep.fhg.de

Stellv. Institutsleiter
Deputy Director



Bereich Elektronenstrahl
Department Electron Beam
Vertretungsvollmacht

Dipl.-Phys.
Rainer Bartel
bartel.r@fep.fhg.de



Bereich Plasma
Department Plasma

Dr. rer. nat.
Volker Kirchhoff
kirchhoff.v@fep.fhg.de

Sekretariat / Bibliothek

Brigitte Weigel
Tel. +49 3 51 25 86 201

Sekretariat

Anke Richter
Tel. +49 3 51 25 86 101



E-Kanonen
EB-Guns

Dr. rer. nat.
Gösta Mattausch
mattausch.g@fep.fhg.de



Beschichtung Glas
Coating Glass

Dr. rer. nat.
Torsten Kopte
kopte.t@fep.fhg.de



E-Prozesse
E-Processing

Dipl.-Phys.
Rainer Bartel
bartel.r@fep.fhg.de



Beschichtung Plastik
Coating Plastics

Dr. rer. nat.
Nicolas Schiller
schiller.n@fep.fhg.de



Beschichtung Metall
Coating Metal Strips

Dr. rer. nat.
Christoph Metzner
metzner.c@fep.fhg.de



Beschichtung Bauteile
Coating Components

Dipl.-Phys.
Klaus Goedicke
goedicke.k@fep.fhg.de



Werkstoffkunde/Analytik
Characterization

Dr. rer. nat.
Olaf Zywitzki
zywitzki.o@fep.fhg.de

Organizational Structure

Contact Persons



Öffentlichkeitsarbeit / Sekretariate

Public Relations/Office

Annett Arnold
arnold.a@fep.fhg.de



Bereich Systeme / Verwaltung

Department Systems/
Administration

Dipl.-Ing. Matthias Wünsche
wuensche.m@fep.fhg.de

Sekretariat

Claudia Jahn
Tel. +49 3 51 25 86 401



Mechanik-Entwicklung

Mechanic-Development

Dipl.-Ing.
Dieter Weiske
weiske.d@fep.fhg.de



Projektmanagement

Project Management

Veit Mittag
mittag.v@fep.fhg.de



Elektronik-Entwicklung

Electronics-Development

Dipl.-Ing.
Dieter Leffler
leffler.d@fep.fhg.de



Einkauf

Purchasing

Claudia Jahn
jahn.c@fep.fhg.de



Musterbau

Workshop

Rainer Zeibe
zeibe.r@fep.fhg.de



Informationstechnologie

Information Technology

Dipl.-Ing.
Roberto Wenzel
wenzel.r@fep.fhg.de



Kooperation

Outsourcing Manufacturing

Dipl.-Ing.
Steffen Kaufmann
kaufmann.s@fep.fhg.de



Technik

Technical Management

Dipl.-Phys.
Wolfgang Nedon
nedon.w@fep.fhg.de



Schutzrechte

Protective Rights

Dipl.-Phys.
Mathias Rabisch
raebisch.m@fep.fhg.de

Wirtschaftliche Entwicklung

Entwicklung des Betriebshaushalts und der Erträge von 1995 - 2000

Nach dem vorläufigen Ergebnis weist der Betriebshaushalt im Berichtsjahr ein Volumen von 10,8 Mio Euro aus. Dabei entfielen 5,0 Mio Euro auf den Personalaufwand und 5,8 Mio Euro auf den Sachaufwand.

Der Betriebshaushalt zeigt die Eigenfinanzierung des Instituts von 68% auf; 48% der Erträge stammen aus Projekten der Industrie.

Somit gelang es auch im Jahr 2000, die positive Ertragsentwicklung des FEP zu konsolidieren.

Investitionen wurden im Berichtszeitraum in Höhe von 0,4 Mio Euro getätigt.

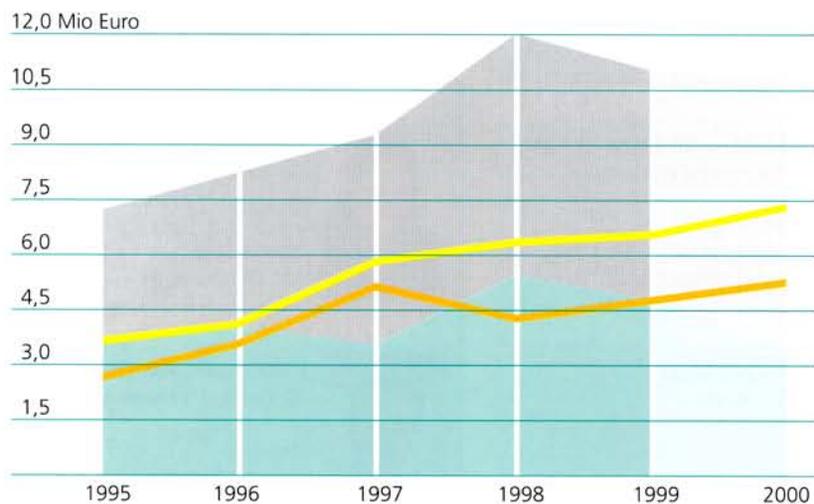
Development of operating budget and yields between 1995 - 2000

According to the preliminary result the operating budget in the reporting period was Euro 10.8 million, Euro 5.0 million of which are staff expenses and Euro 5.8 million of which are material expenses.

The operating budget shows that 68 % of the institute's financing is from its own sources, 48 % of the yield originates from industrial projects.

This shows that in 2000, too, it was possible to consolidate the positive yield development of the FEP.

The investments in the reporting period amounted to Euro 0.4 million.



*) vorläufiges Ergebnis

Haushalt (Betrieb)	7,3	8,3	9,5	11,8	11,1	10,8*
Ertrag gesamt	3,6	4,1	5,9	6,4	6,7	7,4*
davon Wirtschaft	2,6	3,6	5,1	4,3	4,8	5,2*
Zuwendung FhG	3,7	4,2	3,6	5,4	4,4	3,4*
Mitarbeiter	85	85	87	89	96	98

*) preliminary result

cost expenses	7,3	8,3	9,5	11,8	11,1	10,8*
total yield	3,6	4,1	5,9	6,4	6,7	7,4*
yield industrial sector	2,6	3,6	5,1	4,3	4,8	5,2*
grant FhG	3,7	4,2	3,6	5,4	4,4	3,4*
employees	85	85	87	89	96	98

Mitarbeiterentwicklung 2000

Zum Jahresende waren im FEP 98 feste Mitarbeiter tätig. Der Frauenanteil betrug 17 %. Die Einbeziehung von jungen qualifizierten Mitarbeitern in die innovativen Arbeitsaufgaben des FEP und die ständige Suche nach hochmotivierten Doktoranden waren Hauptbestrebungen im Berichtsjahr. Von besonderer Bedeutung bei der Personalgewinnung ist für das FEP die Lehrausbildung. So befanden sich im Berichtszeitraum 2 physikalische Assistentinnen, 2 Technische Zeichnerinnen, 2 Industriemechaniker und 1 Werkstoffprüfer in der Ausbildung.

Staff Development 2000

At the end of the year the FEP employed 98 permanent employees, with 17 % of the staff being women. In the reporting period the institute focused on involving young, qualified employees in the FEP's innovative working tasks and constantly looked for highly motivated postgraduates. Training apprentices is one of the top priorities for the FEP when it comes to staff recruitment. In the reporting period 2 physical assistants, 2 technical draftswomen, 2 industrial mechanics and 1 material tester were apprenticed at the FEP.

Personal	Anzahl
Wissenschaftler	59
Doktoranden	9
Diplomanden	7
wiss. Hilfskräfte/Schüler	43
Technisches Personal	28
Verwaltungsmitarbeiter/ Sekretariate	11
Auszubildende	7
	98

Staff	number
scientists	59
postgraduates	9
undergraduates	7
students	43
technician	28
administration/ secretaries	11
apprentices	7
	98

Gratulation der Institutsleitung zum erfolgreichen Abschluss der Lehrausbildung von Herrn Winckler, Frau Starke, Frau Mieth und Herrn Jedrzejak

The management of the institute would like to congratulate Mr. Winckler, Ms. Starke, Ms. Mieth, Mr. Jedrzejak and on having successfully completed their apprenticeships.



Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Trägerorganisation für Einrichtungen der angewandten Forschung in Deutschland. Sie betreibt Vertragsforschung für die Industrie, für Dienstleistungsunternehmen und die öffentliche Hand. Für Kunden aus der Wirtschaft werden einsatzreife Lösungen technischer und organisatorischer Probleme rasch und kostengünstig erarbeitet. Im Rahmen der Technologieprogramme der Europäischen Union wirkt die Fraunhofer-Gesellschaft in Industriekonsortien an der Lösung technischer Fragen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Wirtschaft mit. Im Auftrag und mit Förderung durch Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden strategische Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im Bereich von Schlüsseltechnologien und im öffentlichen Nachfragebereich (Energie, Verkehr, Umwelt) beitragen.

Die Globalisierung von Wirtschaft und Forschung macht eine internationale Zusammenarbeit unerlässlich. Niederlassungen der Fraunhofer-Gesellschaft in Europa, in den USA und in Asien sorgen daher für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wirtschaftsräumen.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit 48 Forschungseinrichtungen an

Standorten in der gesamten Bundesrepublik. Rund 9 600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von rund 760 Millionen Euro. Davon fallen mehr als 650 Millionen Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft aus Aufträgen der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Die Fraunhofer-Wissenschaftler sind auf differenzierte Forschungsaufgaben aus einem breiten Spektrum von Forschungsfeldern spezialisiert. Wenn Systemlösungen gefragt sind, arbeiten mehrere Institute interdisziplinär zusammen.

Mitglieder der 1949 gegründeten und als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft sind namhafte Unternehmen und private Förderer. Von ihnen wird die bedarfsorientierte Entwicklung der Fraunhofer-Gesellschaft mitgestaltet.

Ihren Namen verdankt die Gesellschaft dem als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreichen Münchner Gelehrten Joseph von Fraunhofer (1787-1826).

Puls Magnetron Sputtern von optischen Mehrlagenschichten auf Kunststofffolien

Dr. Matthias Fahland
Dr. Volker Kirchhoff

Einleitung

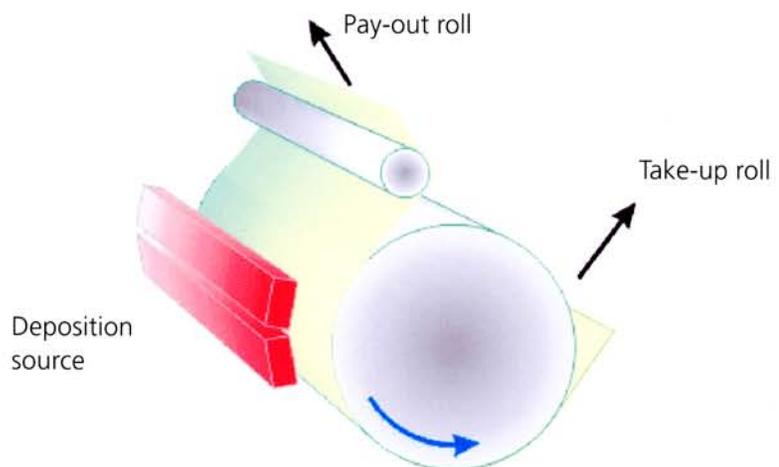
Bandbeschichtungsanlagen für Kunststofffolien sind ein spezieller Typ von Vakuumbeschichtungsanlagen, die eine Zwischenstellung zwischen Batch- und Inline-Beschichtungsanlagen einnehmen. Je nach Anlagengröße und Foliendicke können Rollen mit bis zu 12 km laufender Folielänge in einen Vakuumkessel mit Bandlaufwerk eingebracht werden. Nach dem Evakuieren des Kessels wird das Band im Vakuum umgewickelt. Dabei durchläuft es eine oder mehrere Beschichtungsstationen, die die gewünschten Schichten aufbringen. In den meisten Fällen muss das Band im Moment der Beschichtung über eine Kühlwalze laufen, um eine Zerstörung der Kunststoffe durch Überhitzung zu verhindern (Abb. 1).

Im Jahre 1933 wurde erstmalig ein

Vakuumbeschichtungsprozess an einem laufendem Band durchgeführt [1]. Damals war der Zweck die Abscheidung von Silber auf Stoffbahnen. Die erste Anwendung von größerer wirtschaftlicher Bedeutung war die Metallisierung von Papier und Folie für die Herstellung von Kondensatoren (1935). Anfang der 70er Jahre kam der Markt der Metallisierung von Kunststofffolien für Verpackungszwecke hinzu, der gemeinsam mit den Kondensatorfolien bis heute im Marktvolumen alle anderen Beschichtungsprozesse auf Folie dominiert [2] (Abb. 2). Neben diesen Massenmärkten gibt es auch hochwertige Produkte, die nur durch Sputtern herstellbar sind [3]. Diese sollen im Mittelpunkt der folgenden Abhandlung stehen.

Abb. 1
Grundprinzip einer Vakuumfolienbeschichtungsanlage

Fig. 1
Basic principle of a vacuum web coating system



Pulse Magnetron Sputtering for optical multilayer stacks on polymer webs

Dr. Matthias Fahland
Dr. Volker Kirchhoff

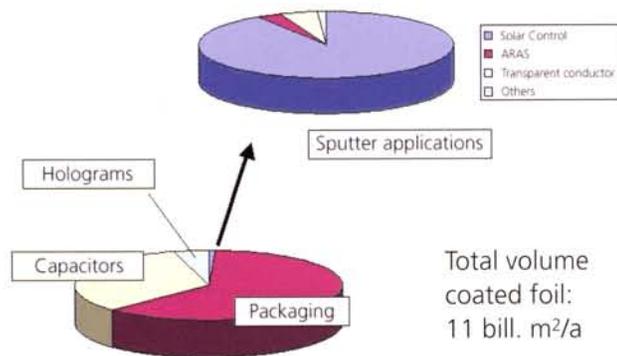
Introduction

Roll to roll deposition systems for polymer webs are a special type of vacuum coaters. They contain elements of both batch coaters and inline coaters. Coils with foils with a length up to 12 km, depending of machine size, can be put into these machines. Afterwards this foil is unwinded and rewinded under vacuum and passes during this procedure one or more deposition zones. In most cases the deposition zones are located around a chilling drum which prevents the foil from getting overheated (Fig. 1). In 1933 first time a vacuum deposition was performed on a running web, that

time for the deposition of silver onto fabrics [1]. The first application of industrial importance was the metallization of paper for making capacitors (1935). Beginning of the 70th the deposition of polymer webs for packaging became a mass market. This application together with the capacitors are dominant concerning the market volume of coated material up to the present time [2] (Fig. 2). Besides these mass markets exist some high tech products which can be manufactured only by sputtering [3]. These will be in the focus of this paper.

Abb. 2
Relative Anteile der verschiedenen Anwendungen von vakuumbeschichteten Folien bezüglich der beschichteten Quadratmeter [2], [3].

Fig. 2
Relative market share of different applications of vacuum coated foils with respect to coated area [2,3]



Sputtern auf Kunststofffolien

Die Beschichtungsraten des Sputterns sind um etwa zwei Größenordnungen geringer als beim Bedampfen, jedoch besitzt das Sputtern erhebliche Vorteile bezüglich der Gleichmäßigkeit der Schichteigenschaften und der Reproduzierbarkeit und Langzeitstabilität des Beschichtungsprozesses selbst. Diese Eigenschaften favorisieren die Sputtertechnologie überall dort, wo Schichten oder Schichtsysteme von hoher Qualität erforderlich sind.

Das ist beispielsweise im gesamten Bereich der optischen Beschichtungen der Fall. Das menschliche Auge ist an bestimmten Farborten in der Lage, Abweichungen in der optischen Schichtdicke ($D_{OPT} = nd$) oberhalb von nur 1 % als Farbverschiebung wahrzunehmen. Diese außerordentliche Empfindlichkeit macht für viele Anwendungen die Sputtertechnologie unabdingbar.

Die Aufskalierung des Sputterns von isolierenden Schichten von Labor- zu industriellen Anwendungen macht den Übergang zur Technologie des Puls-sputterns notwendig, die im Folgenden erläutert werden soll.

Puls Magnetron Sputtern (PMS)

Optische Schichtsysteme werden aus einer Reihe von Basisschichten aufgebaut, beispielsweise SiO_2 , Al_2O_3 , Si_3N_4 , TiO_2 , SnO_2 und einige weitere.

Die Verwendung eines keramischen Targets, das dieselbe chemische Zusammensetzung besitzt wie das gewünschte Schichtmaterial, erfordert die Anwendung des RF-Sputterns. Das klassische DC-Magnetron Sputtern funktioniert in diesem Falle nicht, da das elektrisch isolierende Target den Stromkreis unterbricht und ein stabiles Zünden der Gasentladung unterbindet.

Beim RF-Sputtern kann das Schichtmaterial stabil abgeschieden werden, unabhängig von der elektrischen Leitfähigkeit des Targetmaterials. Jedoch hat diese Technologie einige Nachteile für großtechnische Anwendungen. So ist die Beschichtungsrate außerordentlich klein und eine Aufskalierung für Großflächenbeschichtung nur schwer möglich.

Deshalb ist es günstiger, ein metallisches Target statt eines keramischen zu verwenden, um die gewünschte Schichtstöchiometrie dadurch zu erreichen, dass man ein Reaktivgas wie O_2 oder N_2 in den Reaktionsraum einlässt.

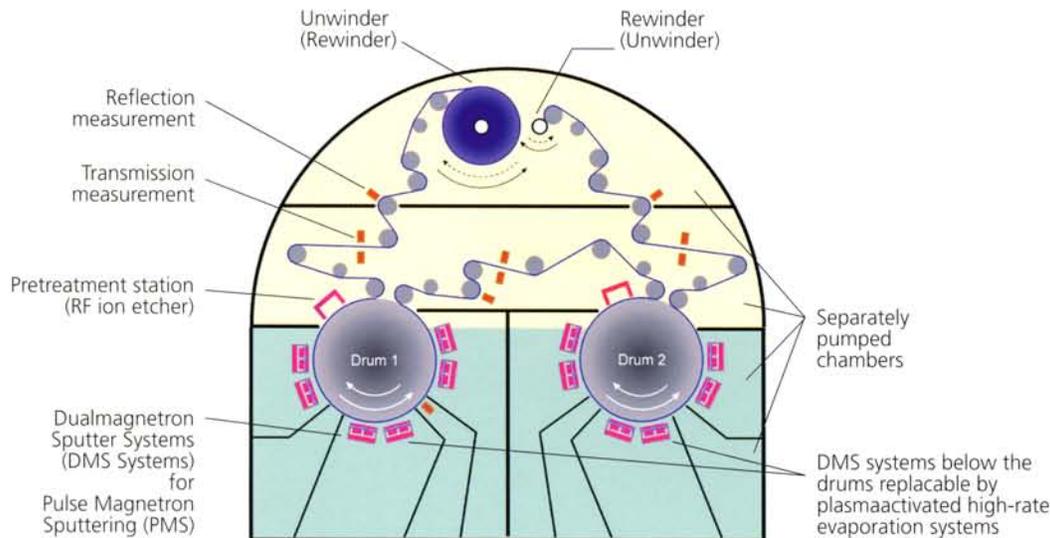


Abb. 3
Anlagenschema der
Pilotbeschichtungsanlage
FOSA 600

Fig. 3
Scheme of pilot web coater
FOSA 600

Sputtering onto Polymer Webs

The deposition rates for sputtering processes are about two orders of magnitude lower than those for evaporation. On the other side sputtering has considerable advantages concerning the uniformity of layer properties and reproducibility of the process itself. Because of these properties sputtering is the preferred technology in a range of high quality applications.

This concerns for instance all optical applications. The human eye is very sensitive to color shifts. In some cases it can detect layer thickness variations in the range of 1 %. This requires the application of the sputtering technology in many cases.

The upscaling of the deposition of insulating optical layers from lab scale to industrial processes requires the introduction of the pulse magnetron technology. This will be the topic in the following section.

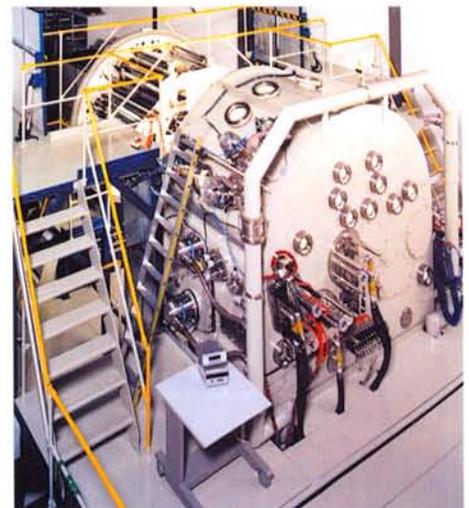
Pulse Magnetron Sputtering

Optical layer systems contain a set of base materials, for instance SiO_2 , Al_2O_3 , Si_3O_4 , TiO_2 , SnO_2 and others. The application of ceramic targets of the same chemical composition as the layer material requires the RF sputtering. The common DC sputtering does not work in this case since the electrical insulating target would interrupt the electrical circuit and hence prevent a stable gas discharge.

In the case of RF sputtering the layer material can be deposited independently on the electrical conductivity of the target material. For large scale technical applications this technology has some disadvantages. The upscaling procedure is technically difficult and the deposition rate is low. That is the reason why a metallic target has a better potential for an economic large scale process. In this case the required layer composition is achieved by adding O_2 or N_2 to the sputtering gas. But this solutions contains some difficulties as well.

Abb. 4
FOSA 600

Fig. 4
Pilot web coater FOSA 600



Doch auch dieser Weg ist mit Schwierigkeiten verbunden. So kommt es nicht nur am Substrat zur Bildung von Reaktionsprodukten, sondern auch am Target. Das Aufwachsen von isolierenden Schichten an den Rückstäubzonen des Magnetrons ist eine wesentliche Ursache für Arcing, was eine kurzzeitige Prozessunterbrechung erfordert und bei häufigem Auftreten den stabilen Betrieb unmöglich macht.

Ferner bilden sich auch Reaktionsprodukte an den Kammerwänden und allen Einbauten der Beschichtungszone und damit auch auf der Anode. Das verursacht eine weitere Schwierigkeit. Durch die Beschichtung der Anode werden die Potentialverhältnisse bei längeren Beschichtungszeiten verschoben. Dieser Effekt, der in der Literatur als "verschwindende Anode" bezeichnet wird, ist für einen zuverlässigen Produktionsverlauf inakzeptabel.

Einen Ausweg aus dieser Situation bietet das Puls Magnetron Sputtern (PMS). Die Grundidee soll am Beispiel des Dual Magnetron Sputterns (DMS) beschrieben werden [4, 5].

Zwei nebeneinander angeordnete Magnetrons sind mit einem Wechsel-

strom-Generator verbunden, der im Frequenzbereich 20 - 50 kHz arbeitet. Jedes Magnetron wird abwechselnd als Kathode oder Anode geschaltet (Abb. 5). Das Abspattern des Targetmaterials erfolgt nur in der Kathoden-Phase. Während der Anoden-Phase werden die isolierenden Schichten auf den Rückstäubzonen der Targets zum Teil neutralisiert. Dadurch werden die an diesen Stellen auftretenden elektrischen Feldstärken begrenzt und das Arcing stark reduziert. Zugleich ist durch den DMS-Betrieb gewährleistet, dass ständig der von Reaktionsmaterial freie Sputtergraben als Anode zur Verfügung steht. Dadurch wird der Effekt der "verschwindenden Anode" vermieden, was stabile Potentialverhältnisse über lange Beschichtungszeiten garantiert. Ein Nebeneffekt des DMS-Sputterns ist die gegenüber dem DC-Sputtern erhöhte Plasmadichte in der Substratebene. Dadurch kann eine zusätzliche Verdichtung der abgeschiedenen Schichten erreicht werden. Die erreichbaren dynamischen Beschichtungsraten für einige Beispiele optischer Basismaterialien sind in Tabelle 1 aufgelistet:

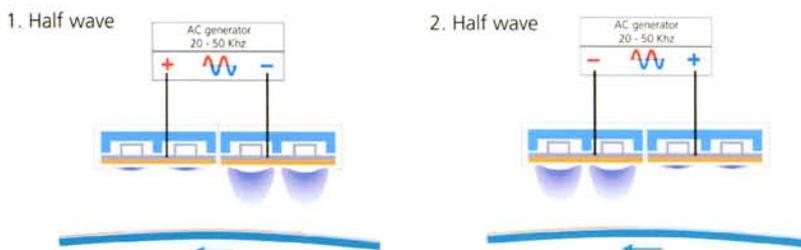


Abb. 5
Funtionsschema des
Dual Magnetron Sputterns

Fig. 5
Scheme of
Dual Magnetron Sputtering

The formation of metal compounds takes place not only at the substrate but also on the target. The insulating layers on the redeposition zones of the target are one major reason for arcing. This requires a short interruption of the power input and results in an unstable process in case of frequent occurrence. Additionally chemical reaction products are also formed at the chamber walls and all equipment inside, that means also at the anode. During longer deposition runs a shifting of potentials can be observed. This so called "disappearing anode phenomenon" is unacceptable for production processes. A promising way out of this situation is offered by the Pulse Magnetron Sputtering (PMS). The basic idea shall be described at the example of the Dual Magnetron Sputtering (DMS) [4, 5].

Two adjacent magnetrons are connected to an AC power supply (frequency 20 - 50 kHz). Each magnetron is alternatively acting as anode or cathode (Fig. 5). The sputtering of the target happens during the cathode phase. During the anode phase the insulating layers on the magnetron are partly neutralized. This limits the electrical field at the target surface and hence reduces arcing. At the same time the DMS process ensures that the target areas which are acting as an anode are free of reaction products. This prevents the "disappearing anode phenomenon". Another effect of the DMS technology is the increased plasma density at the target. This ensures an additional densification of the layers. The dynamic deposition rates achieved at the web coater are given in table 1.

Tabelle 1
Table 1

Material material	Brechungsindex / refractive index	Dynamisch Beschichtungsrate / dynamic deposition rate nm*m/min *)
Siliziumoxid / silicon oxide	1.47	60 - 80
Aluminiumoxid / aluminum oxide	1.63	60
Titanoxid / titanium oxide	2.35 - 2.44	35
Zinnoxid / tin oxide	2.05	80

*) Bemerkung: Für die Beschichtung auf Kunststofffolien stellt in vielen Fällen die thermische Belastbarkeit des Substrats die Begrenzung für die erreichbare Rate dar.

*) Remark: In most cases the thermal heat load of the substrate is a restriction for the productivity rather than the deposition rate.

Pilotsputteranlage FOSA 600 am FEP

Weltweit sind nur bei etwa 25 Firmen industrielle Folienspinneranlagen installiert. Darunter ist nur eine europäische Firma, eine zweite befindet sich im Aufbau. Es kann ein wachsendes Interesse in diesem Bereich registriert werden, woraus auch ein erheblicher Bedarf an Technologieentwicklung resultiert. Die Abteilung Beschichtung von Kunststofffolien des FEP in Dresden hat aus diesem Grunde einen großen Teil ihrer Aktivitäten in diesem Bereich gebündelt. Ein großer Anteil der Forschung und Entwicklung konzentriert sich auf die Pilotsputteranlage FOSA 600 (Abbildungen 4, 6 und 7).

Diese Anlage mit einer Beschichtungsbreite von 600 mm nimmt einen Platz zwischen einer reinen Laboranlage und industriellen Anlagen ein. In sechs separat abgepumpten Kammern können verschiedene Beschichtungsprozesse während des Umwickelns der Folie laufen.

Die Reversibilität des Bandlaufwerkes macht ein mehrfaches Durchlaufen der Beschichtungszonen möglich, was im Prinzip die Abscheidung von einer beliebigen Anzahl von Einzelschichten ermöglicht.

Die Beschichtungskammern sind mit Sputterquellen ausgestattet. Ein starkes Schwergewicht liegt dabei auf der Technologie des Dual Magnetron Sputterns (DMS) (Abb. 5).

Das Bandlaufwerk kann in beide Richtungen mit den gleichen Parametern betrieben werden.

Das FEP stellt mit dieser Anlage kein eigenes Produkt her, sondern arbeitet prinzipiell mit auswärtigen Kunden zusammen. Der Charakter und das Ziel solcher Kooperation können sehr verschieden sein. Es ist beispielsweise möglich,

- eine Technologie für die Beschichtung von Folien komplett zu ent-

wickeln und anschließend an die Produktionsanlage des Kunden zu übertragen,

- die Technologie für einzelne Schichten zu entwickeln, um sie anschließend, wenn gewünscht einschließlich der Hardware, an den Kunden zu übertragen,
- Machbarkeitsstudien für neue Produkte durchzuführen,
- Kleinproduktionen für Produkte durchzuführen, deren Marktvolumen zu gering ist, um speziell für diesen Zweck eine Anlage aufzubauen,
- Pilotproduktion zur Markteinführung eines neuen Produktes durchzuführen.

Im Folgenden sollen kurz die wichtigsten Anwendungsgebiete des Sputterns optischer Schichtsysteme auf Kunststofffolien illustriert werden.

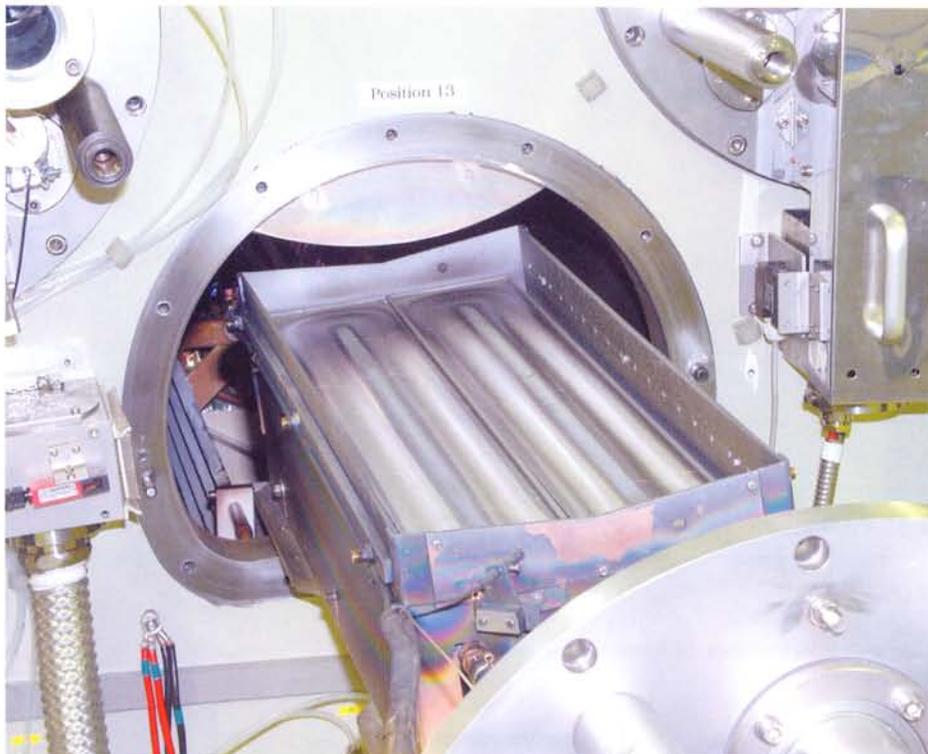


Abb. 6
Sputter Roll Coater FOSA 600
Beschichtungsmodul

Fig. 6
Sputter Roll coater FOSA 600
deposition module

Pilot Sputter Roll Coater FOSA 600 at FEP

Only 25 companies worldwide have installed industrial sputter roll coaters. Among them is only one European company, a second one is about to launch the business. Nonetheless there is a growing interest in this field which also results in a growing demand for technological development. That is why the department Coating Plastics of FEP in Dresden, Germany, has focused a considerable part of its potentials on this field. The pilot web coating machine FOSA 600 plays a leading role in these activities (Fig. 4, 6, 7). This equipment has a deposition width of 600 mm which is beyond a laboratory scale machine but still less than the majority of production machines. Different processes can be run in 6 separately pumped chambers. The two directional

web driving system enables a multiple pass deposition. Because of this there is no restriction concerning the numbers of layers on a foil.

The deposition chambers are equipped with sputtering sources. The Dual Magnetron Sputtering systems (DMS) play a dominant role for the activities at the machine (Fig. 5).

FEP does not manufacture an own product with this machine. All projects are run in cooperation with outside customers. The character and the aim of such a cooperation can be different. It is possible:

- to develop a technology for the deposition of a web completely including the subsequent transfer of the technology to the production machine of the customer,

- to develop a technology for a single layer which might be a component of the customer's layer stack. The technology can be transferred to the production machine of the customer. An adapted hardware can be delivered together with the technology if this is requested (Integrated Package),
- to perform feasibility studies,
- to run low volume productions if it is not profitable for the customer to install an own production machine,
- to run a pilot production prior to installation of a production coater at customer site.

In the following sections a short introduction will be given on the different fields of application of web sputtering.

Abb. 7
Sputter Roll coater FOSA 600
Anordnung von Sputterquellen

Fig. 7
Sputter Roll coater FOSA 600
arrangement of sputter
sources



Sonnenschutzfolien

Als Folge der Wärmeschutzverordnung von 1995 werden heute die meisten Gebäude in Deutschland mit Wärmeschutzfenstern ausgestattet. Sie verwenden beschichtetes Glas und garantieren somit einen effektiveren Energiehaushalt des Gebäudes. In südlichen Ländern gab es in der Vergangenheit meist keine Gesetze, die eine frühzeitige Ausstattung von Gebäuden mit beschichtetem Glas erfordert hätten. Statt der Wärmedämmung von Gebäuden ist dort auf Grund des wärmeren Klimas ein wirksamer Sonnenschutz bedeutsam. Dieser führt ebenso wie der Wärmeschutz in Deutschland zu einer Energieeinsparung bei der Klimatisierung. Ein kostengünstiger Weg zum nachträglichen Erreichen eines Sonnenschutzes für vorher ungeschützte Verglasungen ist die Applikation einer Sonnenschutzfolie (Abb. 8).

Die Beschichtung dieser Folie muss ebenso wie bei der Wärmeschutzverglasung einen möglichst großen Anteil des sichtbaren Lichts durchlassen. Die starke Reflexion muss jedoch bereits für die nahe Infrarot-Strahlung des Sonnenspektrums wirksam sein (Abb. 9). Dieser Effekt wird dadurch erreicht,

dass eine dünne Metallschicht aufgetragen wird, die eine ausreichende Abschirmung der Infrarotstrahlung garantiert. Diese Metallschicht wird in zwei dielektrische Schichten eingebettet, die zu einer Entspiegelung und damit zu einer hohen Transparenz im sichtbaren Spektralbereich führen (Abb. 9). Das komplizierte Zusammenspiel der optischen Wirkungen dieser drei Schichten erfordert die hohe Reproduzierbarkeit des Sputterns. Für die langzeitstabile Beschichtung in Produktionsanlagen ist das Dual Magnetron Sputtern (DMS) für die dielektrischen Schichten vorteilhaft.

Es ist nicht so, dass Sonnenschutzfolien ein Produkt sind, das ausschließlich in südlichen Ländern Anwendung finden wird. Es hat sich gezeigt, dass für Automobilverglasungen das Laminieren von beschichteter Folie technologische Vorteile gegenüber der Direktbeschichtung hat. Da auch hier ein wirksamerer Sonnenschutz den durch Klimatisierung verursachten Benzinverbrauch spürbar senken würde, ist mit einem sehr steilen Anstieg des Bedarfs an Sonnenschutzfolien auch in Industrieländern zu rechnen.

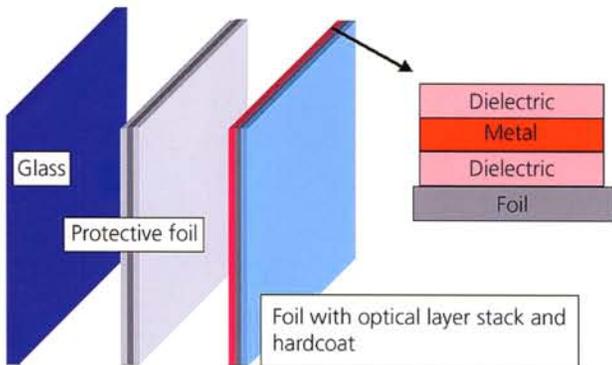


Abb. 8
Beispiel für die Applikation einer Sonnenschutzfolie

Fig. 8
Example for the application of a solar control film

Solar control films

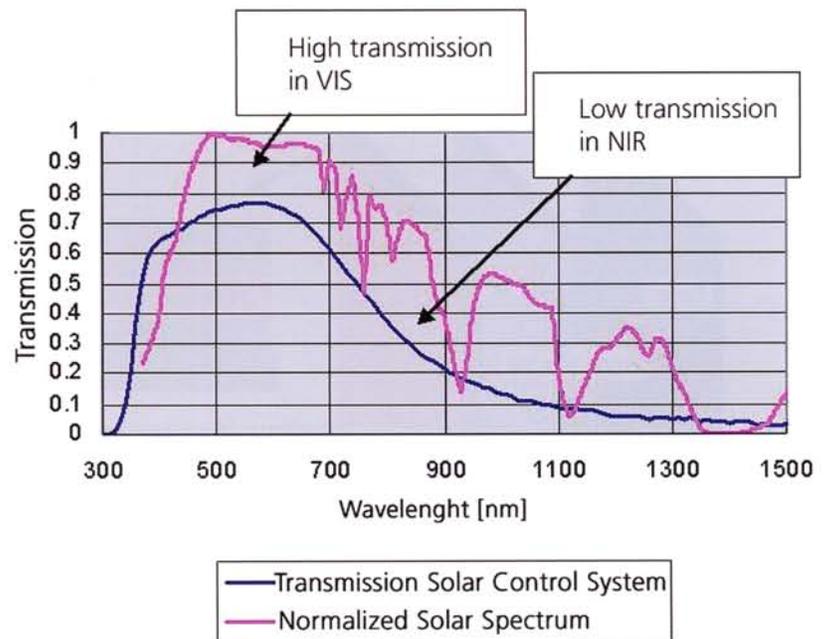
Today most buildings in Germany are equipped with low-e-coatings on the glass panes of the windows. This is a consequence of the Wärmeschutzverordnung of 1995. The application of coated glass results in a more effective energy management of the building. In countries with warmer climate there is a solar control glazing necessary instead of low-e-glazing. A cost effective way of retrofitting such a coating into already existing buildings is the application of a coated foil (Fig. 8). The solar control coating acts very similar to the low-e-coating, i.e. it reflects the NIR part of the spectrum and it is transparent for the visible part of the spectrum (Fig. 9). This effect can be achieved a thin metallic layer which provides the reflectance for the infrared part of the spec-

trum. It is embedded into two dielectric layers. This results in a high transparency in the visible part of the spectrum (Fig. 9). The optical performance of the whole stack requires a high reproducibility of the coating process which is provided by sputtering. The long term stable deposition in production machines is ensured by the application of the Dual Magnetron Sputtering (DMS) for the dielectric layers.

Solar control films are not only required in southern countries, but also in Europe and North America. It has been found that laminating a coated foil is a possible way to equip automotive glazing with solar control functions. This reduces the gasoline consumption of the car which is an important point worldwide.

Abb. 9
Beispiel für das Transmissionspektrum einer Sonnenschutzfolie im Vergleich zur spektralen Intensitätsverteilung des Sonnenlichts

Fig. 9
Example for the transmission spectrum of a solar control film in comparison with the intensity distribution of the solar spectrum



Antireflexbeschichtungen

Antireflexbeschichtungen für Bildschirme bewirken eine wesentliche Verbesserung der Ergonomie für den Betrachter. Deshalb besitzen heute nahezu alle hochwertigen Computerbildschirme eine derartige Beschichtung, die gleichzeitig eine Antistatikwirkung oder eine elektromagnetische Abschirmung beinhaltet (ARAS Schichten). Das Aufbringen der notwendigen Schichten ist jedoch sehr aufwendig. Die gesamte Bildröhre muss dazu ins Vakuum gebracht werden. Deshalb wendet man diese Beschichtung heute nur auf hochwertige Monitore an und beschränkt sich für die wesentlich weniger preisintensiven Fernsehgeräte auf eine reflexmindernde Lackierung. Diese erreicht jedoch bei weitem nicht

die optische Qualität einer Vakuumbeschichtung. Eine kostengünstige Alternative besteht auch hier in dem nachträglichen Applizieren einer geeignet beschichteten Folie (Abb. 10). Neben dem traditionellen absorptionsfreien 4-Schicht-Antireflexsystem gewinnen zunehmend einfachere, teilweise absorbierende Schichtsysteme an Bedeutung (Abb. 11). Diese bewirken neben der Reflexminderung zugleich auch eine Kontrasterhöhung des Bildschirms. Der Helligkeitsverlust kann für die weit verbreitete Kathodenstrahlröhre leicht durch einen höheren Elektronenstrom im Innern der Röhre ausgeglichen werden.

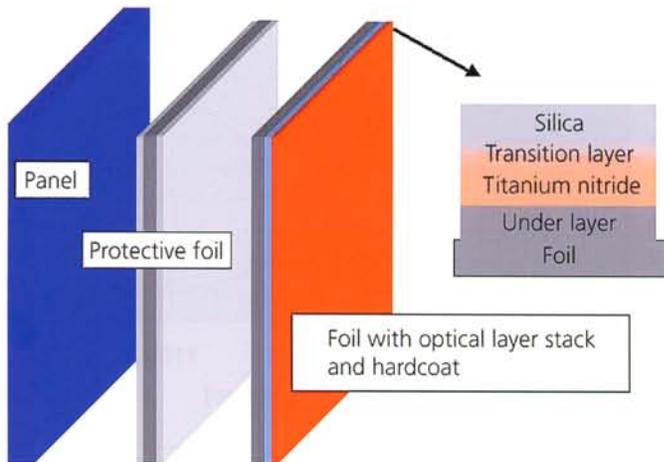


Abb. 10
Beispiel für die Applikation
einer ARAS-Schicht

Fig. 10
Example for the application
of an ARAS system

Antireflective coatings

Antireflective coatings are an important feature of various kinds of displays. Nowadays almost all high quality products in this market possess such a deposition. Often it is combined with antistatic properties (ARAS coating). The application of such a coating is a considerable cost factor for the displays. Especially for CRT's it is complicated to introduce the display into vacuum after finishing the manufacturing process. That is why low price products like TV monitors are spray coated only. This coating does not provide the quality standard of a vacuum deposited ARAS coating. A cost effective alternative is the subse-

quent application of a coated foil to the screen of the display (Fig. 10). Traditionally the layer stack of an ARAS coating is absorption free. A new development is the absorbing ARAS film. This film can be manufactured at lower cost and it provides the additional feature of contrast enhancement (Fig. 11). In the case of CRT tubes the reduction of the brightness due to the absorbing layers easily can be compensated by a higher driving current.

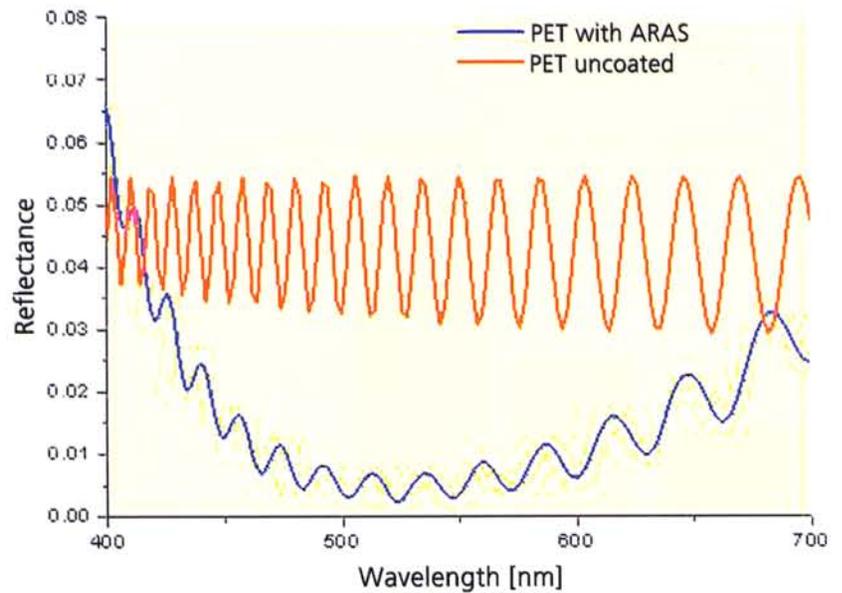


Abb. 11
Reflexionsspektrum einer
ARAS-Schicht
(Antireflective / antistatic)

Fig. 11
Reflection Spectrum of an
ARAS-layer stack

Optische Filtersysteme auf Folie

Diese Gruppe von Schichten ist im Gegensatz zu den vorangegangenen kein Produkt, hinter dem ein Massenmarkt steht. Es gibt jedoch für verschiedenste Anwendungen eine begrenzte Nachfrage von optischen Filtern auf Folie. Einige Beispiele seien hier ohne Anspruch auf Vollständigkeit angeführt (Abb. 12):

- Antireflexschichten für den nahen Infrarotbereich
- Reflektierende Schichtsysteme für Laseranwendungen
- Dekorative Schichten für repräsentative Objekte
- Gewächshausfolien

Obwohl diese Schichten sehr verschieden sind bezüglich der optischen Funktionalität und der Qualitätsanforderung des Anwendungsbereichs, können sie alle mit den gleichen Basisschichten aufgebaut werden. Notwendig sind eine tiefbrechende Schicht, für die Siliziumoxid (SiO_2) in Frage kommt, und eine hochbrechende Schicht, für die es die Alter-

native zwischen TiO_2 , Si_3N_4 , Nb_2O_5 und einigen anderen Oxiden gibt. Sind diese Beschichtungsprozesse einmal in eine Vakuumbandbeschichtungsanlage integriert, kann man unter Umständen durch ein vielfaches Umwickeln des Bandes alle oben genannten Schichtsysteme aufbauen.

Die Pilotanlage FOSA 600 des FEP ist für eine solche Aufgabe optimiert. Sowohl für die hochbrechende als auch für die tiefbrechende Schicht sind DMS-Module aufgebaut, die sehr leicht an den jeweilig notwendigen Beschichtungsstationen installiert werden können und untereinander austauschbar sind. Das Bandlaufwerk ist in beide Beschichtungsrichtungen voll funktionsfähig. Ein Problem besteht darin, dass bei dem Wechsel zwischen den Projekten innerhalb eines kurzen Zeitraumes die notwendige Schichtqualität erreicht werden muss. Um das zu gewährleisten, sind eine Vielzahl von Inline-Reflexionsmessstellen zwischen den Beschichtungsstationen installiert. Diese gestatten es, das Beschichtungsergebnis nach jedem

Prozessschritt zu kontrollieren und gegebenenfalls die Beschichtungsparameter zu korrigieren. Um diese Aufgabe zu lösen, werden auch Reflexionsmessungen direkt auf der Kühlwalze durchgeführt, was eine hohe technische Anforderung darstellt. Im Ergebnis konnte die Einfahrzeit von Schichtsystemen stark verkürzt werden. Diese installierte Messtechnik ermöglicht im Zusammenwirken mit der DMS Technologie eine sehr effektive Abscheidung von Vielfachschichten für optische Filtersysteme. Eine praktische Anwendung kommt überall dort zum Tragen, wo die mechanischen Eigenschaften der Folie gegenüber den von alternativen Werkstoffen von Vorteil sind. Diese Besonderheiten der Folie sind:

- Geringes Gewicht
- Formflexibilität
- Splitterschutz
- Großes Potenzial für Miniaturisierungen
- Effektive Beschichtung im Vakuum

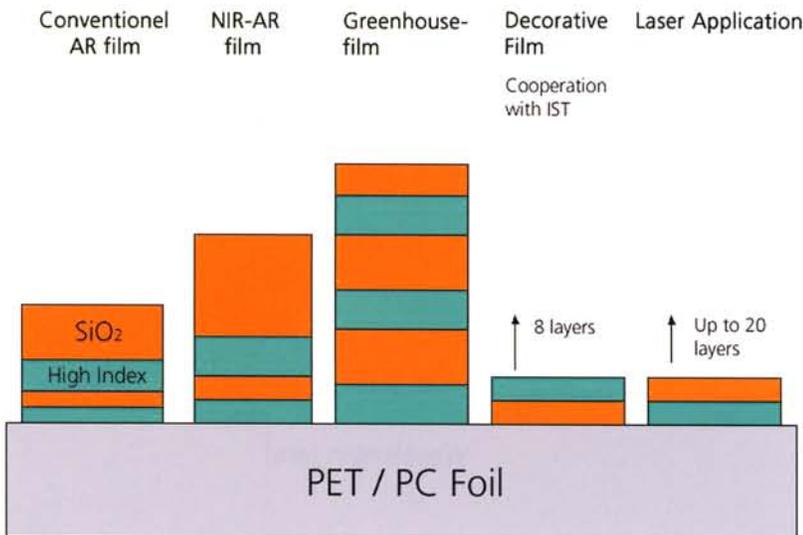


Abb. 12 Schichtstruktur von High-Low-Schichtsystemen für verschiedene Anwendungen

Fig. 12 Layer structure of high-low-stacks for different applications

Optical filter systems on foils

In contrary to the abovementioned examples this group of coatings does not represent a mass market. Nonetheless there are different requests for optical filters on foils for various applications. Here are only some examples (Fig. 12):

- Antireflective coatings for near infrared wavelengths
- Reflective layers for laser applications
- Decorative coatings
- Greenhouse coatings.

These layers are quite different in optical functionality and quality requirement. Nonetheless they can be composed on the basis of the same single layer materials. It is necessary to install a deposition process for a low refractive index material, in most cases SiO_2 , and for a high refractive index material. For the latter one there is a choice between TiO_2 , Si_3N_4 , Nb_2O_5 and some other oxides. Once the deposition processes are installed in the machine all the abovementioned layer stacks can be applied to the substrate material. If necessary the web can be coated in multiple passes. The pilot web coater FOSA 600 of FEP is optimized for such a task. DMS systems

are installed for both the high and the low refractive index material. They can easily be positioned in the necessary deposition zones. The web driving systems can be run in both directions with full functionality. Ensuring the high quality within the short time is an important point for low production volume projects. That is why several optical measurement points are installed inside the machine. They provide an inline check of the coating result and can be used for fine tuning the process set up. Some measurement point are installed directly on the chilling drum which is a high technological challenge. These measurement points allow a quick and reliable process set up.

Coated foils can be applied in several technical fields. An important point is in all these cases the advantage of the polymer material with respect to other materials, mainly with respect to glass. These advantages of foils are:

- Low weight
- Shape flexibility
- Protection from scattering
- High potential for miniaturization
- Availability of effective vacuum coating machines.

Zusammenfassung

Kunststofffolien, die durch aufgesputterte Schichten oder Schichtsysteme veredelt wurden, finden wachsende Bedeutung in verschiedenen Wirtschaftszweigen. Dabei erhält das Sputtern gegenüber dem Bedampfen immer dann den Vorzug, wenn es auf eine hohe Gleichmäßigkeit und Reproduzierbarkeit der Schichten ankommt. Zur effektiven Abscheidung von elektrisch isolierenden, optisch wirksamen Schichtsystemen ist es notwendig, das Dual Magnetron Sputtern anzuwenden. Um den wachsenden Bedarf der Industrie an Forschungs- und Entwicklungsleistungen abzudecken, wurde am FEP in Dresden die Pilotbeschichtungsanlage FOSA 600 in Betrieb genommen.

Es wurden die heutigen Hauptanwendungsfelder für gesputterte Schichten auf Kunststofffolien kurz vorgestellt. Weiterhin wurden die Potentiale der optischen Filtersysteme auf Folien aufgezeigt. Derartige Schichtsysteme können an der FOSA 600 in Kleinserienfertigung aufgetragen werden.

Literatur

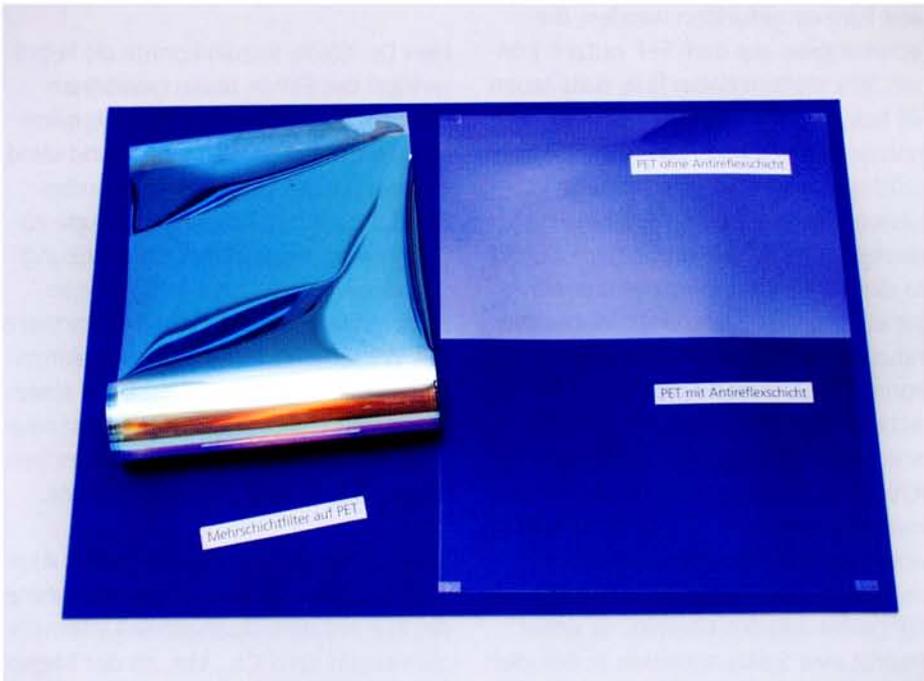
- [1] D. M. Mattox,
"A Concise History of Vacuum Coating Technology" ,
Society of Vacuum Coaters 2000
special edition, pp 2 - 13
- [2] E. K. Hartwig,
"The Future of Aluminum Web Coating Considering Environmental Legislation an Nonmetallic Vacuum Web Coating" ,
Proceedings of 7th International Conference on Vacuum Web Coating, Miami 1993, pp 2 - 11
- [3] J. B. Fenn et al.,
"Roll to Roll Sputter Web Coater- a Status Report" ,
Proceedings of 1998 Society of Vacuum Web Coaters TechCon
- [4] S. Schiller, K. Goedicke, J. Reschke, V. Kirchhoff, S. Schneider, F. Milde,
"Pulsed Magnetron Sputter Technology" ,
Surface Coating Technology, 61 (1993), 331 - 337
- [5] J. Szczyrbowski, G. Teschner,
Proceedings of 38th Society of Vacuum Coaters TechCon, 389 - 394, 1995

Summary

Plastic foils coated with thin layers or layer stacks gain more and more importance in different kinds of industrial applications. Sputtering is preferred in all cases in which an excellent uniformity and reproducibility is required. It is necessary to apply the Dual Magnetron Sputtering Technology (DMS) for an effective deposition of optical layer stacks on large areas. These stacks consist in most cases of electrically insulating single layers.

The industrial like pilot sputter roll coater FOSA 600 at FEP site in Dresden was installed in order to meet the growing demand of research and development service in this field.

The main present applications for sputtered layers on foils are presented. Additionally the potential of optical filter systems on plastic foils are discussed. These kind of products can be made in the FOSA 600 as small scale production.



Technologien aus dem FEP in Japan

Dr. Peter Frach,
Klaus Goedicke,
Dr. Volker Kirchhoff

Marketing- und Entwicklungspartner in Japan

Vor drei Jahren begann das FEP mit der Analyse des internationalen Marktes, wobei wir uns auf Erfahrungen auf dem nordamerikanischen und japanischen Markt stützen konnten. Es sollten weltweit Partner gefunden werden, die Technologien aus dem FEP nutzen können. Wir stellten dabei fest, dass Japan ein besonders geeignetes Land ist, um innovative Verfahren aus dem FEP einzuführen, weil dort verschiedene Voraussetzungen für einen Erfolg in fast idealer Weise erfüllt sind. Japan gehört zu den führenden Industrienationen mit einer großen Zahl hoch innovativer Industriezweige, allen voran Mikroelektronik, Display- und Kommunikationstechnik. Deshalb bietet dieser Markt eine große Zahl von Anwendungsmöglichkeiten für Verfahren, die die Kernkompetenzen des FEP bilden. Es gibt eine Fülle von anspruchsvollen Vakuumbeschichtungsproblemen, die durch das FEP gelöst werden können, da unser Institut eine Spitzenposition in der Welt für einige Grundverfahren einnimmt, so zum Beispiel für das Mittelfrequenz-Puls-Magnetron-Sputtern.

Ein anderer wichtiger Aspekt ist die Aufgeschlossenheit japanischer Unternehmen, innovative Technologien frühzeitig einzuführen. Deshalb passen die Potenzen des FEP und die Marktsituation in Japan in vorzüglicher Weise zueinander.

Die Aktivitäten des FEP stützen sich auf die langfristige Zusammenarbeit mit japanischen Partnern auf wissenschaftlichen, kommerziellen und Marketingfeldern. Die Bestrebungen des FEP sind darauf ausgerichtet, sogenannte Integrierte Pakete in Wissenschaft und Produktion einzuführen, die sowohl Spezialausrüstungen der Vakuumbeschichtungs-technik als auch Verfahrens-know-how

enthalten. Es sollen dafür feste Partnerbeziehungen aufgebaut werden, die gemeinschaftliche Entwicklungsarbeiten und deren Publizierung auf Konferenzen und Messen einschließen.

Herr Dr. Koichi Suzuki konnte als Repräsentant des FEP in Japan gewonnen werden. Sein fundiertes Wissen, seine langjährige Industrieerfahrung und seine Kenntnisse des japanischen Marktes wurden genutzt, um eine Strategie zu erarbeiten, die der Markterschließung und dem Aufbau einer langfristigen Zusammenarbeit mit mehreren Partnern aus Wissenschaft und Industrie dienen. Eine solche Kooperation zwischen einem deutschen Forschungsinstitut, das industrieorientiert arbeitet, und japanischen Firmen bietet beiden Seiten Vorteile.

Den Auftakt für die gemeinsamen Aktivitäten bildete die erfolgreiche Teilnahme des FEP mit dem japanischen Unternehmen Nissin Seiki Co., Ltd. an der Messe "Finetech Japan 1998". Auf dieser weltgrößten Ausstellung der Flachbildschirm-Industrie konnten zahlreiche Kontakte mit fernöstlichen Unternehmen geknüpft werden. Nissin Seiki wurde der technisch-technologische Partner des FEP in Japan, indem es für die Einführung von FEP-Verfahren in den japanischen Markt technische Unterstützung bei Vorbereitung, Montage, Anpassung, Fehlersuche und Wartung leistet. Ein solch umfassendes einheimisches System von Serviceleistungen ist äußerst wichtig und absolut erforderlich, um bleibenden Geschäftserfolg auf dem japanischen Markt zu erringen. Nissin Seiki ist ein Unternehmen für Ausrüstungen der Vakuumtechnologie mit 50 Beschäftigten, das dem Streben nach schnellen und flexiblen Dienstleistungen verpflichtet ist.

Marketing- and Development partners in Japan

Dr. Peter Frach,
Klaus Goedicke,
Dr. Volker Kirchhoff

Three years ago the FEP began to analyze the international market, relying on our experience from the North American and Japanese market. It was our goal to find partners worldwide, which are able to use the technologies developed by FEP. We found out that Japan is a particularly worthwhile country for exporting the FEP's innovative technologies, as the conditions for success are almost ideal there. Japan is among the leading industrial countries with a great number of highly innovative industries, in particular the microelectronics, display and communication technologies. For this reason the Japanese market offers a wide range of possibilities for the application of the technologies forming the FEP's core competences. There is a great number of complex vacuum coating problems which can be solved by FEP, as our institute is a world leader as regards several basic processes, e.g. the medium frequency pulse magnetron sputtering process.

Another important aspect is the open-mindedness of Japanese companies to introduce technologies at an early stage. For this reason the FEP's competences and the market situation in Japan are a perfect match.

The FEP's activities focus on a long-term scientific, commercial and marketing cooperation with Japanese partners. The FEP intends to introduce so-called Integrated Packages in science and industrial production. These packages include both special vacuum coating equipment and process know-how. For this reason solid partner relationships

are to be established including joint development projects and publication of the results of these projects at conferences and trade fairs.

Our representative in Japan is Dr. Koichi Suzuki. His profound knowledge, his long experience in industry and his familiarity with the Japanese market were very useful in the development of a strategy to open up the Japanese market for FEP and to establish long-term relationships with different partners from science and industry. This kind of cooperation between an industry-oriented German research institute and Japanese companies offers great advantages to both sides.

The successful participation of the FEP in the "Finetech Japan 1998" trade fair together with the Japanese company Nissin Seiki Co., Ltd. was the starting point for the joint activities. At this exhibition, which is the largest trade fair of the flat-screen industry numerous contacts were made with companies from the Far East. Nissin Seiki became the technical-technological partner of FEP in Japan, providing technical assistance for the FEP in introducing FEP processes and performing preparatory, assembly, modification, troubleshooting and maintenance services. Such an extensive service system is vital and crucial to ensure lasting success on the Japanese market. Nissin Seiki is a company for vacuum technology equipment with 50 employees, committed to quick and flexible services.

Die zweite Stufe des Technologie-Transfers wurde durch die Gründung des Marketing- und Technologietransfer-Unternehmens "SurfTec TransNational Co., Ltd." (SFT) im April 1998 durch Herrn Dr. Suzuki gemeinsam mit Nissin Seiki eingeleitet. Unternehmensziel des SFT ist die Förderung und Koordinierung der internationalen Forschung und Entwicklung und der technologischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Beschichtungstechnik, speziell ausgerichtet auf deutsche Forschungsinstitute und japanische Unternehmen. SFT hat seine Anstrengungen auf die Verbreitung von Verfahren aus dem FEP auf dem japanischen Markt durch Direktkontakte, Firmenbesuche, Präsentationen und Ausstellungen konzentriert. Der Kern der Zusammenarbeit zwischen SFT und FEP ist die Beratung der Kunden in technischen, wissenschaftlichen und kommerziellen Belangen mit dem Ziel, die jeweils beste verfahrenstechnische Lösung zu erarbeiten und zu empfehlen. Die Zusammenarbeit zwischen SFT und FEP ist inzwischen tägliches Geschäft geworden. Ergebnisse der FuE – Arbeit, Datenblätter, Publikationen und Verfahrensbeschreibungen sind die fachliche Basis der Akquisition. Dazu kommen intensive gemeinsame Arbeiten, um in kürzester Zeit Konzepte, Problemlösungen und Angebote auszuarbeiten.

Eine andere wichtige Aktivität, die oft unverzichtbar für das Zustandekommen einer Zusammenarbeit ist, stellt das Herstellen von Mustern in kurzer Frist dar.

Der Tatbestand, dass SFT als Marketing- und Technologietransfer-Unternehmen agieren kann, wirkt sich sehr günstig aus im Vergleich zu der früheren Akquisition durch nur einen Repräsentanten. Auf die genannte Weise kann SFT künftig weiterhin eine große Zahl von Leistungen im Interesse des FEP erbringen.

Im Laufe der letzten drei Jahre konnte eine Zusammenarbeit des FEP mit zahlreichen Partnern aus Wissenschaft und Industrie begründet werden. Zwei Beispiele sollen die bisher erzielten Erfolge veranschaulichen. FEP, SFT und Nissin Seiki hoben gemeinsam eine Sputteranlage aus der Taufe, die die Nutzung innovativer Beschichtungsverfahren in Forschung und Industrie ermöglicht. Bei Nissin Seiki entstand damit ein neues Geschäftsfeld, die Beschichtung von Produkten im Kundenauftrag, basierend auf FEP-Verfahren. An der Aoyama Gakuin Universität in Tokio begründete die Puls-Magnetron-Sputter-Technologie aus dem FEP Erfolge in der Grundlagenforschung wie in der angewandten Forschung. Diese beiden Beispiele sollen in den folgenden Abschnitten näher erläutert werden.

Die Puls-Plasma-Technologie war bisher die in Japan am erfolgreichsten vermarktete Kompetenz des FEP. Die Möglichkeit, sowohl unipolare als auch bipolare Mittelfrequenz-Pulstechniken wahlfrei einsetzen zu können, vermag zur Zeit weltweit nur das FEP seinen Kunden zu bieten. Diese Technologie ist besonders

für eine Mehrzweck-Nutzung von Sputteranlagen und für die Forschung und Entwicklung von Vorteil, denn sie eröffnet neue Freiheitsgrade für die Optimierung der Schichteigenschaften. Die Anfragen zeigen jedoch, dass sich alle Kernkompetenzen des FEP vermarkten lassen. Deshalb sollen die Aktivitäten in Zukunft auch auf andere Anwendungsgebiete ausgedehnt werden.

In den vergangenen Jahren erhöhte sich der Erlös des FEP auf dem japanischen Markt kontinuierlich von Jahr zu Jahr auf nunmehr insgesamt 3,7 Millionen Euro. Eine eindrucksvolle Kundenliste kann das FEP dabei in Japan vorweisen. Name und Verfahren unseres Institutes sind inzwischen wohlbekannt. Die fortwährenden Anstrengungen in der Zusammenarbeit zwischen FEP und SFT lassen für die Zukunft noch größere Erfolge erwarten.

Im Jahre 2001 wird SFT in Zusammenarbeit mit dem FEP den Internationalen Workshop "Pulse Plasma Surface Technology (PPST Japan)" am 11. und 12. Juni organisieren, unmittelbar vor dem ISSP (International Symposium on Sputtering and Plasma) in Kanazawa. Wir können hoffen, dass das FEP auch weiterhin an vorderer Front auf diesem Gebiet bleibt und die weltweite Entwicklung der Pulstechnologien mitbestimmt.

The second stage of the technology transfer started with the foundation of the marketing and technology transfer company "SurfTec TransNational Co., Ltd." (SFT) in April 1998 by Dr. Suzuki together with Nissin Seiki. It is the objective of SFT to promote and coordinate international research and developments and the technical cooperation in the field of coating systems, focusing on German research institutes and Japanese companies. SFT has been concentrating its activities on the distribution of FEP technologies on the Japanese market by direct contacts, visits to companies, presentations and exhibitions. The core of the cooperation between SFT and FEP is assisting the customers in technical, scientific and commercial issues in order to develop and recommend the best solution in each individual case. The cooperation between SFT and FEP has become daily business in the meantime. The results of the R&D work, data sheets, publications and process descriptions form the technical basis for acquisition. In addition to that SFT and FEP work together very closely to work out conceptual designs, problem solutions and offers on a short-term basis.

Another important activity which, in many cases, is crucial for entering a business relationship with customers is the production of samples on a short-

term basis. The fact that SFT acts as a marketing and technology transfer company is very favorable compared to the former way of acquisition by one representative only. In this way it is possible for SFT to perform many services on behalf of FEP in the future, too.

In the last three years it was possible for FEP to enter into cooperations with numerous partners from the scientific and industrial sectors. In the following paragraphs two examples for this successful cooperation are described. FEP, SFT and Nissin Seiki together realized a sputtering plant enabling the use of innovative coating methods both for scientific and industrial applications. Thus a new operating field was created with Nissin Seiki, i.e. coating of products for customers, based on FEP methods. At the Aoyama Gakuin University in Tokyo the FEP's pulse magnetron sputter technology proved successful both in basic and in applied research. These two examples will be explained in detail in Sections 2 and 3.

The pulse plasma technology has been so far the most successful competence of FEP marketed in Japan. At present FEP is the only source able to provide its customers with the possibility to use both unipolar and bipolar medium frequency technologies. This technology is

particularly favorable for a multipurpose use of sputtering plants and R&D applications, as it opens up new possibilities to optimize the layer characteristics. Inquiries show, however, that all the core competences of FEP can be marketed. For this reason the activities are to be extended to other applications in the future.

In the last few years the profit FEP realized on the Japanese market continually increased every year now totaling 3.7 million Euros. The FEP's list of references in Japan is quite impressive. The name and the technologies of our institute have become quite well-known in the meantime. The continued efforts in the cooperation between FEP and SFT suggest that success will grow further in the years to come.

In 2001 SFT, in cooperation with FEP, will organize the international workshop "Pulse Plasma Surface Technology (PPST Japan)" on 11 and 12 June, which is just before the ISSP (International Symposium on Sputtering and Plasma) in Kanazawa. We are confident that FEP will continue to be a market leader in this field, being a major contributor in the worldwide development of pulse technologies.

Zusammenarbeit mit der Aoyama Gakuin Universität Tokio

Seit 1998 setzen FEP, SFT und Nissin Seiki eine gemeinsame Strategie um, die die Einführung des Mittelfrequenz-Puls-Magnetron-Sputterns (PMS) in Japan zum Ziel hat. Nissin Seiki und SFT errichteten eine Labor-Sputteranlage nach dem Durchlaufprinzip (Abb. 1), die die Bezeichnung SSE (Smart and Small Equipment) trägt. Beiträge des FEP zu diesem Projekt waren die Entwicklung eines neuartigen kleinformatigen Dual-

Magnetron-Systems (DMS), die Lieferung einer solchen Ausrüstung und eines Basisverfahrens zum Puls-Magnetron-Sputtern sowie Unterstützungsleistungen bei Konzeption, Errichtung und Inbetriebnahme der Anlage SSE. Das neue Sputtersystem stellt in Bezug auf die Flexibilität der Plasma-Parameter eine absolute Neuheit dar. Eine Schlüsselbaugruppe für die Energieeinspeisung ist die Pulsschalteneinheit UBS-C2 (Abb. 2).



Abb. 1
Ansicht der Labor-Sputteranlage SSE zur Beschichtung von Substraten der maximalen Abmessung 400 x 400 mm², Bereich hoher Schichtgleichmäßigkeit 200 mm

Fig. 1
View of Laboratory Sputter Plant SSE for coating of substrates with a max. size of 400 x 400 mm², the area with high layer homogeneity is 200 mm.

Cooperation with the Aoyama Gakuin University Tokyo

Since 1998 FEP, SFT and Nissin Seiki have been implementing a joint strategy aiming at the introduction of the medium frequency pulse magnetron sputtering process (PMS) in Japan. Nissin Seiki and SFT constructed an in-line laboratory sputter plant (Fig. 1), the so-called SSE (Smart and Small Equipment). The FEP's contributions in this project included the development of the small-format

Dual-Magnetron-System (DMS), the delivery of such equipment and a base method for pulse magnetron sputtering as well as assistance in design, construction and commissioning of the SSE plant. As regards the flexibility of the plasma parameters the new sputtering system is an absolute novelty. The UBS-C2 pulse switching unit (Fig. 2) is a key component for energy supply.

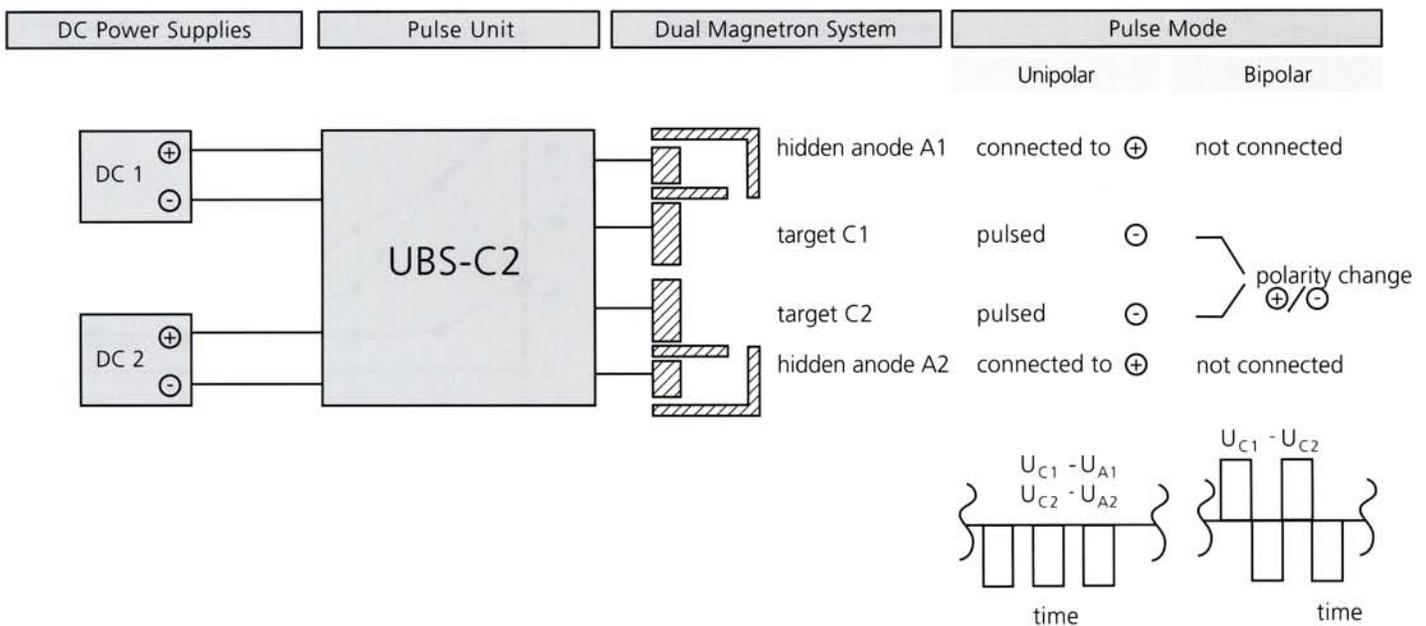


Abb. 2
Wirkungsweise der Puls-Schalteinheit UBS-C2 zur wahlfreien Einspeisung unipolarer oder bipolarer pulsförmiger Energie in das Dual-Magnetron-System

Fig. 2
Function of UBS-C2 pulse switching unit for feeding either unipolar or bipolar pulse-shaped energy to the Dual Magnetron System.

Die Anlage wurde in das Laboratorium von Herrn Dr. Shigesato, dem Leiter des Advanced Technology Development Centre of the Aoyama Gakuin University Tokyo, überführt. Dr. Shigesato, der als Forschungspartner auf ausgewählten Feldern des japanischen Marktes mit SFT zusammenarbeitet, erwarb in den letzten Jahren eine führende Rolle auf dem Gebiet funktionaler PVD (Physical Vacuum Deposition) – Schichten. Seit Ende 1999 hat sich die Arbeitsgruppe intensiv mit DMS-Technologien (Dual-Magnetron-Sputter-Technologie) zur Abscheidung photokatalytischer Titanoxid-Schichten und transparenter leitfähiger Schichten aus Indium-Zinn-Oxid sowie dotiertem Zink-Oxid beschäftigt. Diese Materialien haben für anspruchsvolle Dünnschichtsysteme in Japan eine große Bedeutung. Die Arbeitsergebnisse wurden auf der "Third International Conference on Coatings on Glass", die vom 29. Oktober bis zum 2. November

2000 in Maastricht stattfand, vorgestellt. Drei Veröffentlichungen gemeinsam mit SFT und FEP verdeutlichen die Resultate, die die Gruppe Dr. Shigesato innerhalb eines Jahres mit der Anlage SSE erarbeitet hat [1 - 3].

Zur Abscheidung von Titandioxid-Schichten, die durch UV-Bestrahlung hydrophile Eigenschaften erhalten sollen, wurden drei unterschiedliche Beschichtungsverfahren eingesetzt. Dabei zeigten sich die mit Mittelfrequenz-PMS-Technik hergestellten Schichten klar überlegen, erkennbar an dem Benetzungswinkel von nahezu Null (Abb. 3).

Für die in Sol-Gel-Technik oder durch Radiofrequenz-Sputtern abgeschiedenen Schichten wurden dagegen Benetzungswinkel von 10° bzw. 5° gemessen. Vorteile des Puls-Magnetron-Sputterns mit dem neuen DMS-System wurden auch beim Zerstäuben von Indium-Zinn-Oxid erreicht. Die von Dr. Shigesato und seinen Mitarbeitern durchgeführten

Untersuchungen zeigten eine sehr gute Stabilität des Plasmaprozesses über lange Zeiten bei einer hohen Abscheiderate, ohne dass sich die sonst unvermeidlichen, aber nicht tolerierbaren nadel-förmigen Aufwachungen (nodules) auf den Zerstäubungstargets bilden, die zu einer Prozessunterbrechung zwingen (vgl. Abb. 4).

Ein dreitägiger Besuch der Arbeitsgruppe Dr. Shigesato (Abb. 5) in Dresden vom 4. bis zum 6. November 2000 ermöglichte eine intensive Diskussion der Arbeitsergebnisse und der weiteren Aktivitäten. Wir beschlossen, die Kooperation auf wissenschaftlichem Gebiet weiter zu intensivieren. Dr. Kon, ein Mitarbeiter Dr. Shigesato's, wird im Jahr 2001 mehrere Monate im FEP arbeiten und dabei seine Erfahrungen zum Puls-Magnetron-Sputtern wesentlich vertiefen können.

Abb. 3

Vergleich der Benetzungswinkel von Titan-Dioxid-Schichten für Wasser nach UV-Bestrahlung. Die Schichten wurden durch Mittelfrequenz-Puls-Magnetron-Sputtern, Sol-Gel-Technik und RF-Sputtertechnik hergestellt.

Fig. 3

Comparison of wetting angle of titanium dioxide layers for water after UV irradiation. The layers were made using the Medium Frequency Pulse Magnetron Sputtering, Sol Gel and RF Sputtering technologies.

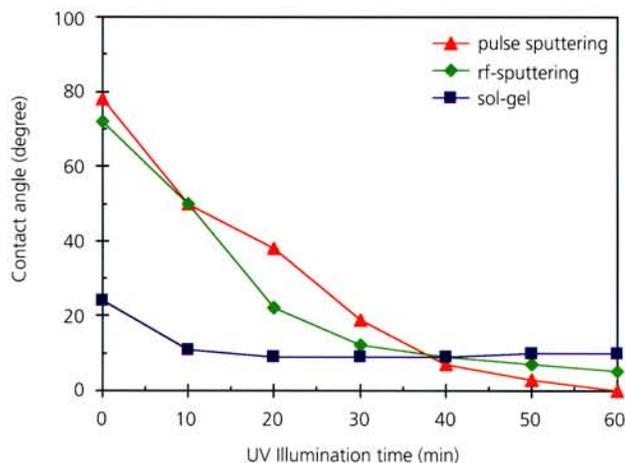
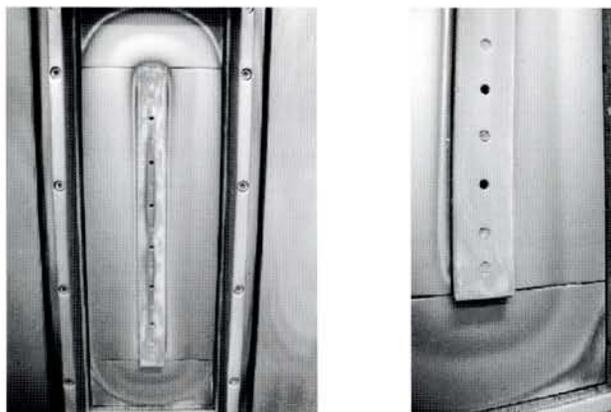


Abb. 4

Ansicht der Zerstäubungstargets aus Indium-Zinn-Oxid nach 100 Betriebsstunden bei einer Mittelfrequenz-Pulsleistung von 3 kW

Fig. 4

View of the sputtering targets made of indium-tin oxide after 100 operating hours at a medium frequency pulse power of 3 kW.



The plant was delivered to the laboratory of Dr. Shigesato, the head of the Advanced Technology Development Centre of the Aoyama Gakuin University Tokyo. Dr. Shigesato, who cooperates with SFT as a research partner in certain areas of the Japanese market, became a leading expert in the field of functional PVD (Physical Vacuum Deposition) layers in the past few years. Since the end of 1999 the workgroup has been focusing on DMS technologies (Dual-Magnetron-Sputtering-Technology) for depositing photo-catalytic titanium oxide layers and transparent, conductive layers of indium-tin oxide and doped tin oxide. These materials are of great importance for sophisticated thin layer systems in Japan. The results of this research were presented at the "Third International Conference on Coatings on Glass", which took

place in Maastricht from 29 October to 2 November 2000. The results Dr. Shigesato's group reached within one year with the SSE plant are shown in three publications by SFT and FEP [1 - 3].

For the deposition of titanium oxide layers, which are to be given hydrophilic properties by UV irradiation, three different coating methods were used. The layers deposited using the medium frequency PMS technology had the most favorable characteristics, with a wetting angle of almost 0° (Fig. 3). In the case of the layers deposited using the Sol Gel method or the radio frequency sputtering process a wetting angle of 10° and 5° were measured, respectively. In the case of sputtering of indium-tin oxide, too, the pulse magnetron sputtering method using the new DMS-

System showed many advantages. The studies carried out by Dr. Shigesato and his staff also proved a very high stability of the plasma process over extended periods at a high deposition rate, without any formation of intolerable nodules on the sputtering targets which normally cannot be avoided and result in an interruption of the process (refer to Fig. 4).

During a three-day visit of Dr. Shigesato's workgroup (Fig. 5) to Dresden from 4 to 06 November 2000, the results of the work and the further activities were discussed in detail. We decided to intensify the cooperation in the scientific field. Dr. Kon, a member of Dr. Shigesato's team, will work at FEP for several months in 2001 in order to deepen his knowledge of the Pulse-Magnetron-Sputtering-Process.

Abb. 5
Arbeitsgruppe Dr. Shigesato von der Aoyama Gakuin University Tokyo, Dr. Suzuki und Mitarbeiter aus dem Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik während eines Arbeitsbesuches in Dresden

Fig. 5
Dr. Shigesato's workgroup from the Aoyama Gakuin University Tokyo, Dr. Suzuki and staff members of the Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik during a visit to Dresden.



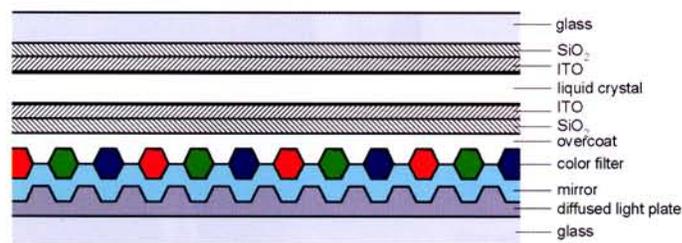
Zusammenarbeit mit dem Industrieunternehmen Nissin Seiki

Japan ist einer der wichtigsten Standorte auf der Welt für die Display-Fertigung. Dieser intensiv wachsende Markt benötigt hochwertige Spiegelschichten (Abb. 6) mit guten Eigenschaften zu akzeptablen Preisen. Nissin Seiki (Abb. 7) hat beschlossen, gemeinsam mit SFT in dieses Geschäftsfeld einzutreten, bestärkt durch die Verpflichtung des FEP, durch Bereitstellung der Basistechnologie und angepassten Verfahren und durch Consulting-Leistungen während der Errichtungs- und Inbetriebnahmephase für Anlagen und Verfahren Unterstützung zu gewähren.

Lokale Regierungsorganisationen der Mito-Präfektur unterstützen das Vorhaben finanziell. Dieses neue Arbeitsgebiet bedeutet jedoch für Nissin Seiki ein neues Produktspektrum, neue Mitarbeiter sowie neue Ausrüstungen (Abb. 8) und Verfahren und stellt damit eine risikoreiche Herausforderung dar. Im Sommer 2000 begann die Fertigung anspruchsvoller Schichtsysteme für einen namhaften Kunden. Zu Jahresbeginn 2001 möchten inzwischen bereits 15 Display-Hersteller in Japan derartige hochreflektierende Spiegel kaufen.

Abb. 6
Schichtfolge für ein ausgewähltes Schichtsystem, das in der Display-Technik Anwendung findet

Fig. 6
Layer sequence for a layer system used in the display industry.



Cooperation with Nissin Seiki

Japan is one of the most important production sites for the production of displays. This rapidly growing market requires high quality reflection layers (Fig. 6) with good properties at acceptable prices. Nissin Seiki (Fig. 7) decided to enter this segment together with SFT, supported by the commitment of FEP to provide assistance by supplying the base technology and adapted technologies and performing consulting services during the construction and commissioning of plants and processes. Local

government organizations of the Mito prefecture support the project financially. This new work field, however, is a new product spectrum for Nissin Seiki new product, thus new employees, equipment (Fig. 8) and processes are required. In summer 2000 the production of sophisticated layer systems for a well-known customer was started. At the beginning of 2001 there are already 15 display manufacturers which want to buy such highly reflecting mirrors.

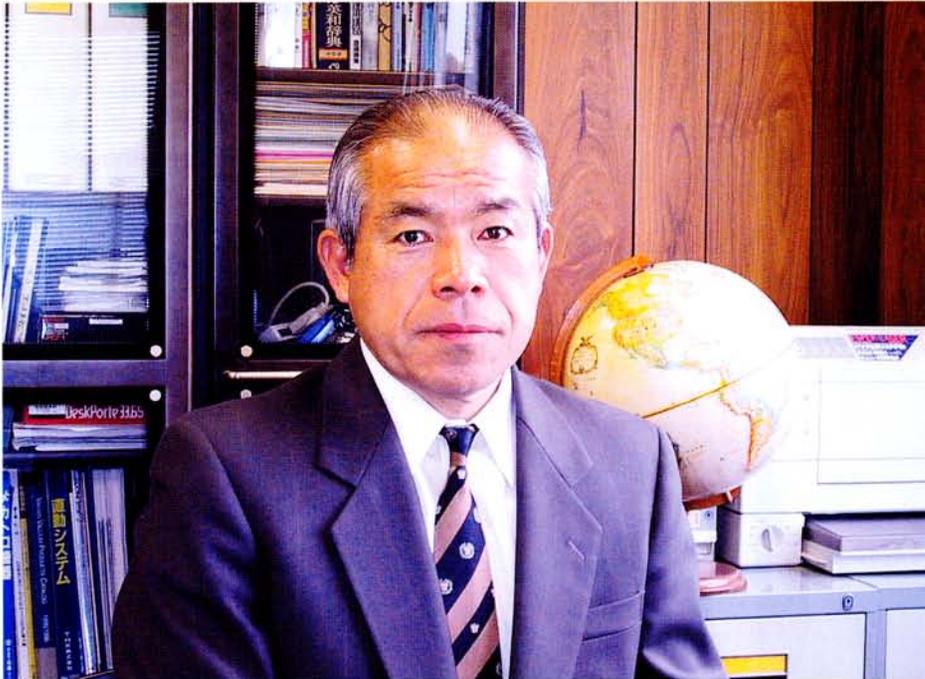


Abb. 7
Mr. Mizukami, Präsident des
Industrieunternehmens Nissin
Seiki Co., Ltd. (Javac) in
Mito, Japan

Fig. 7
Mr. Mizukami, President of
Nissin Seiki Co., Ltd. (Javac)
in Mito, Japan

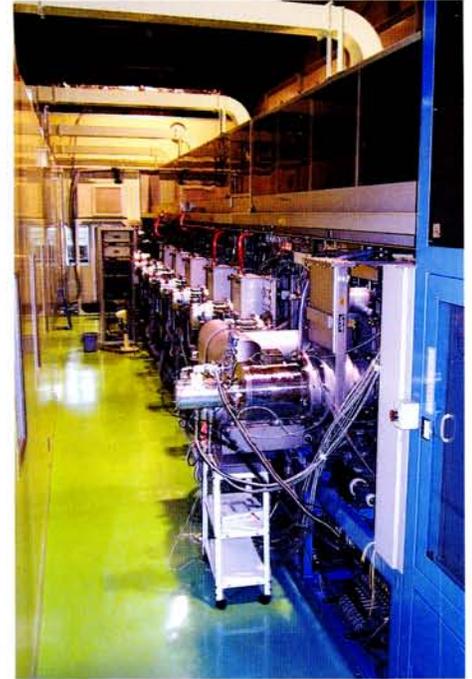


Abb. 8
Durchlauf-Sputteranlage bei Nissin Seiki mit
"Integrierten Paketen" aus dem FEP, die
Komponenten der Puls-Sputtertechnik und der
Prozeßregelung sowie Verfahrens-know-how
beinhalten

Fig. 8
In-line sputter plant at Nissin Seiki with "Integrated
Packages" from FEP, comprising the pulse sputter
technology and the process control components
and the process know-how.

Für die Fertigungsanlage bei Nissin Seiki stellte das FEP ein System von sechs integrierten Paketen des Typs DMS 750 (Abb. 9) bereit und führte reaktive PMS-Verfahren für die Abscheidung von Titan- und Silizium-Dioxid-Schichten mit hoher Rate ein. Dadurch wurden mit Hilfe der Puls-Technologie sowohl Kostenvorteile auf Grund der hohen Abscheideraten als auch verbesserte Schichteigenschaften gegenüber bisherigen Verfahren erzielt. Beispielhaft zeigt Abb. 10 das Reflexionsvermögen des Schichtsystems.

Nissin Seiki beabsichtigt nunmehr, im Jahr 2001 die Fertigung auszudehnen. Eine kontinuierliche Zusammenarbeit zwischen FEP, SFT und Nissin Seiki wird die Grundlage für weitere Geschäftserfolge bilden.

Auf diese Weise können die Vorteile der im FEP entwickelten Technologien und die Effizienz der japanisch-deutschen Zusammenarbeit sehr eindrucksvoll gezeigt werden.

Literaturliste

- [1] N. Shin , M. Kon , P.K. Song , Y. Shigesato , P. Frach , H. Kojima , K. Suzuki , K. Utsumi, "ITO films deposited by dual magnetron sputtering system using oxide targets" Proceedings of the 3rd Conference ICCG, p. 125 - 128
- [2] S. Kuriki, M. Kon, P. K. Song, Y. Shigesato, P. Frach, H. Kojima, K. Suzuki, "Thin films TiO₂ photocatalysis deposited by dual cathode magnetron sputtering and r.f. magnetron sputtering" in Proceedings of the 3rd Conference ICCG, p. 719 - 724
- [3] M. Kon, Y. Shigesato, P. K. Song, P. Frach, H. Kojima, K. Suzuki "Al-doped ZnO films deposited by reactive magnetron sputtering in r.f. mode with a single cathode and m.f. mode with dual cathodes" Proceedings of the 3rd Conference ICCG, p. 123 - 124

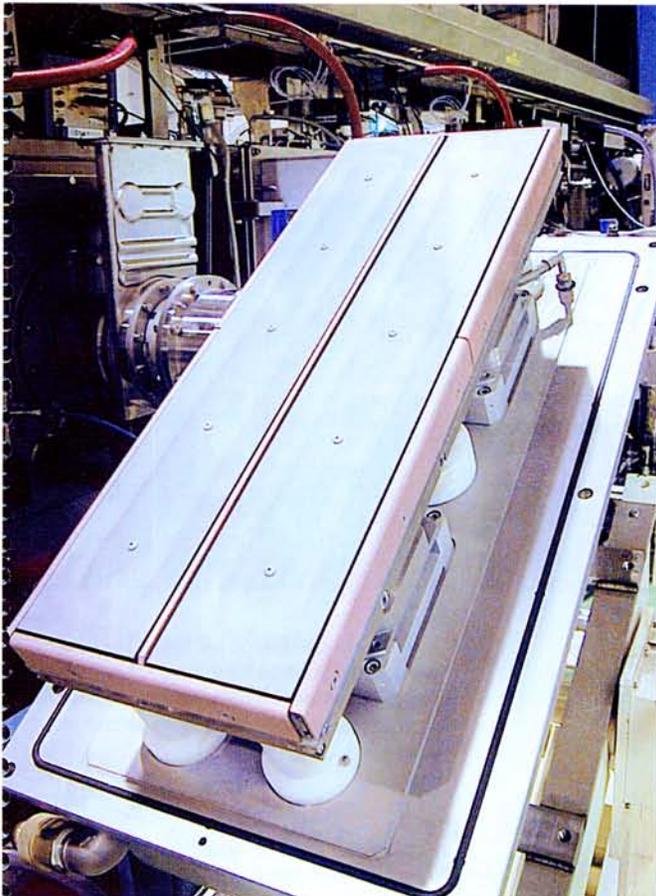


Abb. 9
Dual-Magnetron System DMS 750
(Targetlänge 750 mm) eines von sechs
Systemen aus dem FEP in der Anlage
bei Nissin Seiki

Fig. 9
Dual Magnetron System DMS 750 (target
length 750 mm), one of six FEP systems
used in the plant at Nissin Seiki.

For the production plant at Nissin Seiki, FEP provided a system of six integrated packages of type DMS 750 (Fig. 9) and introduced reactive PMS methods for the high-rate deposition of titanium and silicon dioxide layers. In this way both cost advantages due to the high deposition rates and improved layer characteristics were reached with the pulse technology compared to the standard methods. Fig. 10, for example,

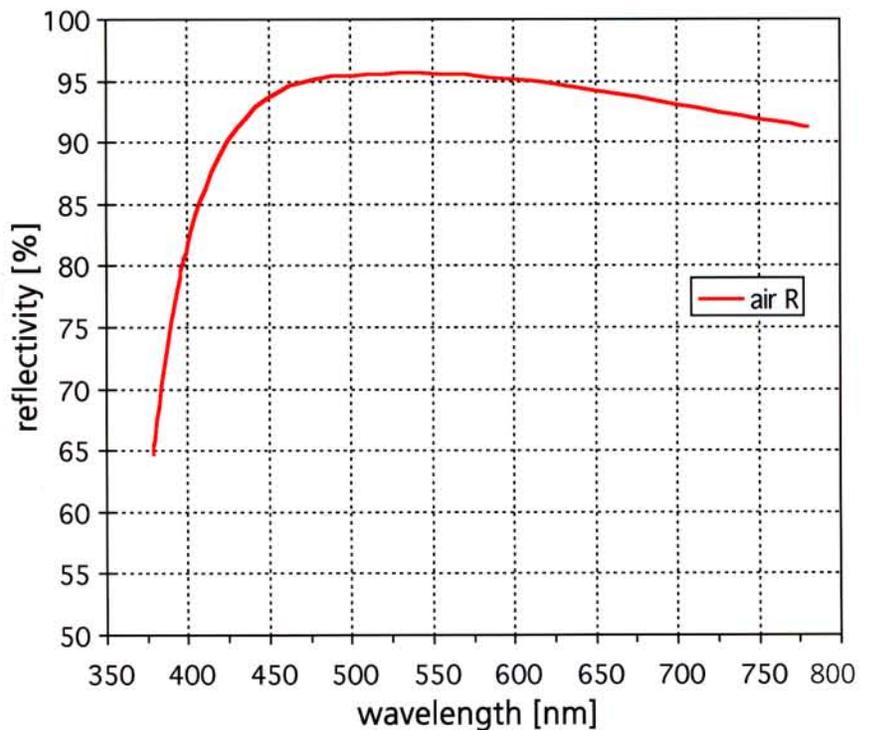
shows the reflection properties of the layer system.

Nissin Seiki intends to extend the production in 2001. A continuous cooperation between FEP, SFT and Nissin Seiki will form the basis for further success.

In this way the advantages of the technologies developed in the FEP and the efficiency of the Japanese/German cooperation can be demonstrated clearly.

Abb. 10
Reflexionsvermögen eines bei Nissin Seiki in PMS-Technik hergestellten hochreflektierenden Spiegelschichtsystems

Fig. 10
Reflection properties of a high-reflection mirror system made at Nissin Seiki using the PMS technology.



Plasmaaktivierte gerichtete Dampfabscheidung - Eine neue Hochrate-PVD Technologie

Dr. Gösta Mattausch,
Dr. Henry Morgner
Fraunhofer-Institut FEP

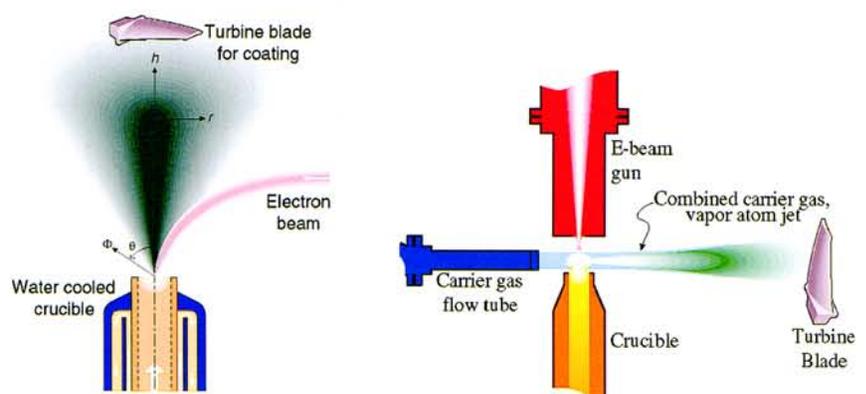
Dr. James Groves,
Prof. Dr. Haydn Wadley
University of Virginia

Seit 1992 entwickeln Forscher an der Universität von Virginia (UVA) eine neue Beschichtungstechnologie, die sie als "Gerichtete Dampfabscheidung" ("DVD") bezeichnen. Das DVD-Konzept war durch Forderungen aus der Industrie nach einem Verfahren mit gegenüber etablierten PVD- Prozessen verbesserter Materialausnutzung und erhöhter Beschichtungsrate motiviert. Ansatzpunkt der Entwicklung war, dass mit dem Elektronenstrahl (EB) verdampfte Material in einen Inertgasstrom zu injizieren und so zu fokussieren. Diese Idee verbindet die Vorzüge der konventionellen EB-Verdampfung (Hochratebeschichtung bis 1 $\mu\text{m/s}$, kontaminationsfreie Materialverdampfung, Legierungssynthese aus Mehrfachtiegeln) mit denen bekannter Jet-Verdampfer (hohe Materialausbeute, Energie der Adatome und räumliche Verteilung des Dampfstromes sind variierbar, Mischung von Dampf und Reaktivgas).

Starting in 1992, researchers at the University of Virginia (UVA) began to develop an untried new coating technology that is now called "directed vapor deposition (DVD)". The spark for the DVD concept was generated by an industrial desire to enhance the materials utilization efficiency and deposition rate of existing vapor technologies. Specifically, they believed that by introducing electron beam (EB) evaporant into a flowing inert gas stream, it would be possible to focus the vapor stream. This idea combines the advantages of conventional EB evaporation (high rate deposition up to 1 $\mu\text{m/s}$, clean and uncontaminated material evaporation, alloy deposition by multicrucible techniques) with the advantages of known jet evaporators (high material utilization efficiency, possibility to vary adatom energy and spatial distribution of the vapor stream, natural mixing of vapor and reactive gas components).

Abb. 1
Im Unterschied zum divergenten Dampfstrom in einer konventionellen EB-PVD-Anordnung (links) generiert der Trägergasfluss beim DVD-Verfahren Stöße zwischen Gas- und Dampfatomen, die den Dampf fokussieren und ihn in Form eines schlanken, gerichteten Strahls zum Substrat transportieren (rechts).

Fig. 1
Rather than allowing the vapor stream to diverge as in the standard EB-PVD setup (left), the DVD carrier gas flow generates gas/vapor atom collisions that keep the vapor stream focused and directed towards the coating surface as a tight beam (right).



Plasma activated Directed Vapor Deposition - A new high-rate PVD technology

Dr. Gösta Mattausch,
Dr. Henry Morgner
Fraunhofer-Institut FEP

Dr. James Groves,
Prof. Dr. Haydn Wadley
University of Virginia

Nach Entwicklung und Lieferung des Integrated Package HPE 10/60 durch das FEP, bestehend aus einer Elektronenstrahlkanone für den Einsatz im Grobvakuum, Hochspannungsversorgung und Strahlführungstechnologie, konnte 1994 das DVD-Konzept in eine funktionsfähige Beschichtungsanlage umgesetzt werden. Das erste DVD-System, basierend auf dem in Abb. 1 dargestellten Wirkprinzip, wurde von UVA komplettiert. Für eine Reihe von Anwendungen, wie z. B. Faserbeschichtung, Herstellung von Metallschäumen und Thermobarrierschichten, konnte der Durchsatz gegenüber etablierten PVD-Verfahren vervielfacht werden.

Im Zuge der Untersuchungen erwies sich jedoch, dass die DVD-Technologie dieser ersten Entwicklungsstufe (DVD I) auf die Abscheidung poröser oder kolumnarer Schichten beschränkt ist. Das wird durch die begrenzte kinetische Energie der Dampfatome und deren fortschreitende Thermalisierung bei typischen Kammerdrücken bis zu 5 mbar verursacht. Diese sind eine Folge der recht hohen Trägergasflüsse bis 200 slm, die für die Knickung des Dampfstromes um 90° benötigt werden.

Seit 1997 arbeiten Teams von UVA und FEP gemeinsam daran, dieses Defizit der DVD-Technologie zu überwinden.

The DVD concept was transformed into a working deposition tool in 1994 when FEP has developed and delivered the Integrated Package HPE 10/60 consisting of a low-vacuum electron beam gun, power supply, and beam guidance technology.

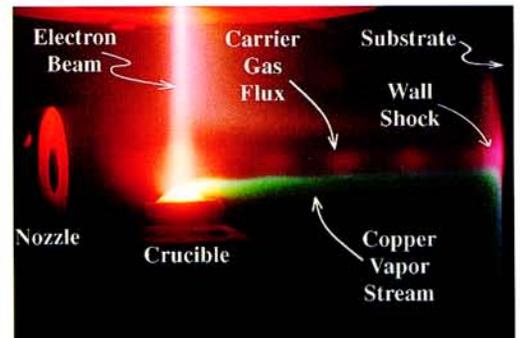
The first generation DVD system, based upon the principle depicted in Fig. 1, was completed by UVA.

For a number of applications, as fiber coating, metal foam formation, and thermal barrier coatings, the production throughput known from established PVD technologies could be multiplied.

However, it was found in the course of investigations carried out at the first generation DVD lab coater (DVD I) that the technology is restricted to deposition of porous or columnar micro-structures. This is caused by the limited kinetic energy of the vapor atoms and their ongoing thermalization due to the high chamber pressure of up to 5 mbar. The latter is a result of the fairly high carrier gas flow of up to 200 slm necessary for the 90° bending of the vapor stream. Since 1997, joint teams of UVA and FEP are working together to overcome this shortfall of the DVD technology.

Abb. 2
Mit dem Integrated Package HPE 10/60, 1994 vom FEP an UVA geliefert (links), wurde die erste Stufe des DVD-Prozesses im Laborversuch realisiert (rechts).

Fig. 2
Using the Integrated Package HPE 10/60 delivered by FEP to UVA in 1994 (left), the first generation DVD process was realized at lab scale (right).



Im Sommer 2000 hat das FEP die Beschichtungsanlage MEDEA in einem Labor der Universität von Virginia installiert. "MEDEA" steht für "Multisource EB evaporation for Directed Vapor Deposition of Alloys". MEDEA vereint aus Simulationsrechnungen an der Universität von Virginia abgeleitete Vorschläge für eine Weiterentwicklung des DVD-Prozesses (DVD II) mit innovativer Hardware und Prozess-Technologie aus dem FEP. Im Ergebnis entstand ein Werkzeug, das neben hoher Beschichtungsrate und Materialausbeute auch eine präzise Steuerung von Mikrostruktur und Zusammensetzung der abgeschiedenen Schicht gewährleistet.

Der DVD II-Prozess, schematisch dargestellt in Abb. 3, soll nicht nur die Abscheidung poröser, sondern auch dichter und kristalliner Schichten ermöglichen.

Dazu wurden vier wesentliche Technologie-Bausteine integriert:

1. Neue Trägergasführung für verbesserte Dampffokussierung
2. Spezielle Elektronenkanone und Strahlführungstechnologie
3. Plasmaaktivierung des Gas- und Dampfstromes
4. Bipolar MF-gepulste Biassspannung am Substrat

During the summer of 2000, FEP has installed the lab coater MEDEA at the University of Virginia. The name stands for "Multisource EB evaporation for Directed Vapor Deposition of Alloys". MEDEA combines the University's research-based design ideas for a second generation DVD process (DVD II) with many of FEP's vapor deposition technology and equipment innovations. The result is expected to be a tool capable of high deposition rates, high material utilization efficiencies, and precise control of depositing atomic structure and composition. The DVD II process as illustrated in Fig. 3 promises the ability to create not only porous but also dense and crystalline structures.

To realize these challenging expectations, the system has incorporated four major technology components into its design:

1. Improved low vacuum, flowing gas vapor focusing
2. Advanced EB gun and beam guidance technology
3. Plasma activation of the gas and vapor stream
4. MF pulsed bipolar electrical biasing of the coating surface

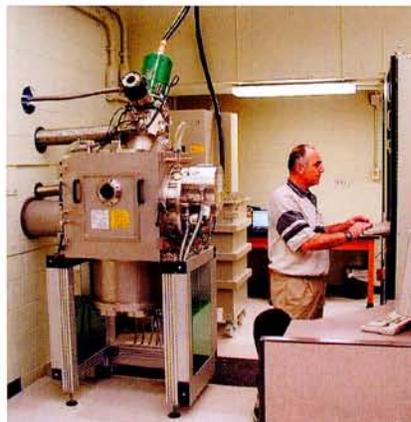
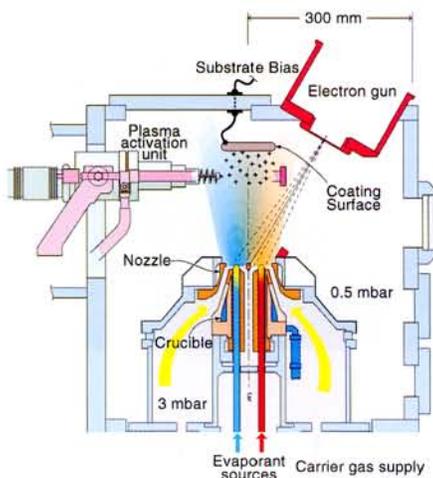


Abb. 3
Wirkprinzip des plasma-aktivierten DVD II-Prozesses (links), realisiert in der Laboranlage MEDEA (rechts). Der Tiegel wurde hier direkt in die Trägergasdüse eingebettet. Bei gleicher Effizienz der Dampffokussierung wie im DVD I-System konnte der Trägergasfluss und damit auch der Kammerdruck in dieser Konfiguration um eine Größenordnung reduziert werden.

Fig. 3
Work principle of the plasma activated DVD II process (left) as realized in the lab coater MEDEA (right). Here, the crucible is directly embedded into the nozzle. At the same vapor focusing efficiency as in the DVD I system, this configuration allows for a reduction of the carrier gas flow, and hence, chamber pressure by one order of magnitude.

Mit der Anlage MEDEA können Mehrstofflegierungen abgeschieden werden. Dazu wurde ein stabgefütterter Tiegel mit vier separaten Schmelzbädern konstruiert. Dieser ist direkt in die Trägergasdüse eingebettet, um den für optimale Dampffokussierung notwendigen Trägergasstrom zu minimieren. Der Durchmesser der Tiegelkrone war deshalb kleiner als 26 mm, der der Fütterstäbe unter 3,2 mm zu halten. Zur Steuerung der Verdampfungsrate der einzelnen Bäder rastert der Strahl ihre Oberfläche mit lokal programmierbarer Geschwindigkeit ab, die den effektiven Leistungseintrag ausbalanciert. Zur Abscheidung echter Legierungen bei Beschichtungs-raten bis 1 $\mu\text{m/s}$ darf die Zykluszeit für die Heizung aller vier Bäder 200 μs nicht übersteigen. Dann wachsen pro Zyklus nur zwei Atomlagen. Der Strahl heizt die Bäder unter diesen Bedingungen also quasi-simultan. Zur Abscheidung von Schichtsystemen kann der Strahl natürlich auch sequentiell von Bad zu Bad geführt werden. MEDEA verfügt über einen rezeptgesteuerten Automatik-Mode, der es gestattet, das Strahl-Ablenkmuster und damit die Zusammensetzung der wachsenden Schicht alle 3 s zu ändern.

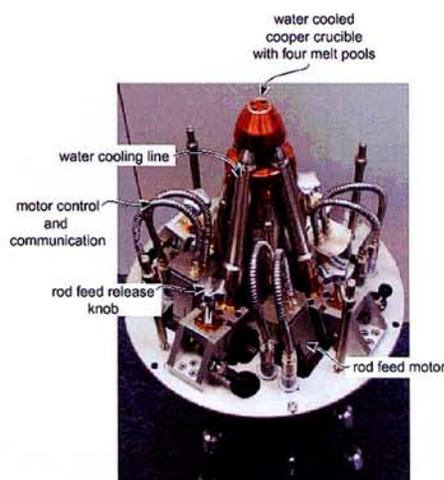
The MEDEA system has the ability to deposit multi-element alloys. For this purpose, a crucible with four separate rod fed melt pools was designed. The crucible was embedded into the carrier gas nozzle in order to minimize the necessary carrier gas flow. Thus, the diameter of the crucible's crown was restricted to 1", resulting in a feeding rod diameter of 1/8". For controlling the evaporation rate of the individual pools, the beam has to scan their surface repeatedly at a programmable speed which balances the effective local power input. For true alloy formation at deposition rates as high as 1 $\mu\text{m/s}$, a cycle time of less than 200 μs for heating of all four pools is required. Then only two monolayers grow within one cycle, and one can say that the beam dwells quasi-simultaneously on all pools. Of course, for deposition of layer stacks, the beam can also be programmed to heat the individual pools sequentially. MEDEA may be operated in a fully automated recipe driven mode. In this mode, the deflection pattern of the beam, and hence, the composition of the growing layer, can be modified every 3 s.

Abb. 4

Typische Zeitabhängigkeit der Verdampfungsrate während einer Legierungsabscheidung (rechts) mit dem Vierstrangtiegel (links) des MEDEA-Systems. Das Abklingen der Verdampfungsrate eines Schmelzbades nach dem Sprung des Strahls zum nächsten ergibt sich aus der Zeitkonstante für die Temperatur-Relaxation der Badoberfläche

Fig. 4

Typical shape of the evaporation rate over time during alloy deposition (right) with the MEDEA four rod crucible (left). The decay of the evaporation rate of a given pool after the beam has jumped to the next one can be estimated from the temperature relaxation time of the pool surface.



Um die geforderte Zykluszeit von 200 μs bei einer sinnvollen Auflösung des Ablenkmusters von etwa 400 Punkten einzuhalten, muss die Ablenkeinheit der Elektronenkanone eine Kleinsignal-Bandbreite von 2 MHz aufweisen. Die notwendige Großsignal-Bandbreite ist aus folgender Überlegung ableitbar: Wird ein Elektronenstrahl über eine Oberfläche geführt, so steigt die Temperatur am Ort der Strahleinwirkung steil an. Nachdem der Strahl diesen Ort passiert hat, relaxiert die lokale Temperatur wieder gegen die mittlere Oberflächentemperatur. Die Größe des Temperatursprungs hängt von der Ablenkfrequenz und von geometrischen Parametern des Systems ab. In Abb. 5 wurde dieser Zusammenhang für einen typischen EB-Verdampfer konventioneller Bauart und für den Vierstrangtiegel von MEDEA quantifiziert. Es ergibt sich, dass im Fall des konventionellen Verdampfers eine Ablenkfrequenz von 100 Hz genügt, um den Temperatursprung auf $< 1000\text{ K}$ zu begrenzen. Dieser Wert wird beim Vierstrangtiegel erst ab einer Ablenkfrequenz von 20 kHz erreicht. Das Ablensystem der Elektronenkanone für den DVD II-Prozess ist deshalb auf 100 kHz Großsignal-Bandbreite ausgelegt.

In order to meet the requirement of a total deflection cycle time less than 200 μs at a reasonable pattern resolution of let's say 400 points, the EB gun must be equipped with a beam deflection system of 2 MHz small-signal bandwidth. The necessary large-signal response can be estimated from the following consideration: When an electron beam scans a surface, the local temperature at the site of the beam passage raises suddenly. After the beam has passed, the temperature relaxes towards the mean surface temperature again. The magnitude of this temperature jump depends on the scan frequency and on characteristic system sizes. In Fig. 5, this situation is evaluated for a conventional EB evaporation setup and for the MEDEA four rod crucible. As a result, the temperature jump remains within reasonable limits of $< 1000\text{ K}$ if a scan frequency of 100 Hz is applied in the case of conventional EB evaporation. However, a scan frequency of 20 kHz is required in order to meet the same limit with the MEDEA four rod crucible. Thus, the deflection system of the EB gun for the DVD II process has to be designed for 100 kHz large-signal limit frequency.

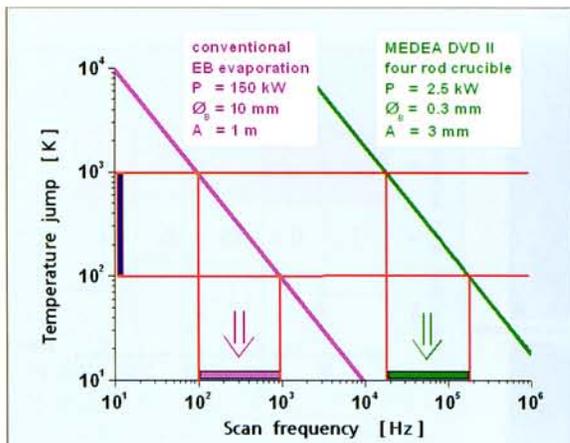


Abb. 5

Anstieg der Oberflächentemperatur am Ort der Strahleinwirkung in Abhängigkeit von der Ablenkfrequenz (links) und quasi-simultane Heizung von zwei Schmelzbädern des Vierstrangtiegels mit einem hochfrequent abgelenkten Elektronenstrahl (rechts).
(P: Strahlleistung, \varnothing_b : Strahldurchmesser, A: Tiegelweite)

Fig. 5

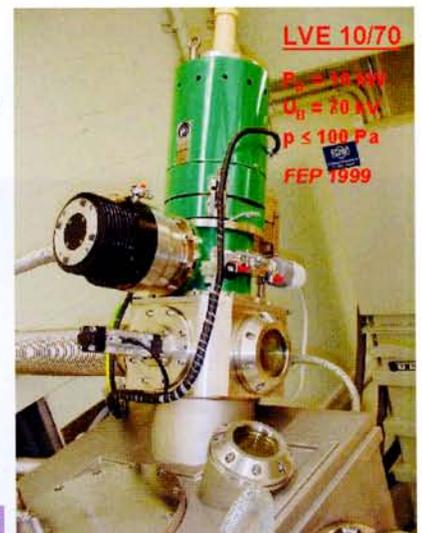
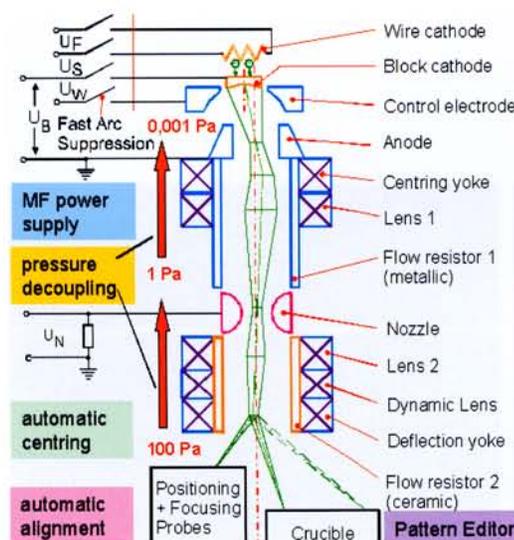
Jump of the surface temperature at the site of the beam passage in dependence on scan frequency (left) and a high-frequency scanned electron beam heating quasi-simultaneously two pools of the four rod crucible (right).
(P: beam power, \varnothing_b : beam diameter, A: crucible width)

Wie vom ersten DVD-System her bekannt war, ist für den oben beschriebenen Tiegel eine Strahlleistung von 10 kW erforderlich. Der Strahldurchmesser muss kleiner als 20 % der Schmelzbad-Abmessungen sein. Um die beim spezifizierten Arbeitsdruck von bis zu 50 Pa auftretenden Streueffekte in Grenzen zu halten, ist eine Beschleunigungsspannung von 70 kV notwendig. Diese Betriebsparameter können mit einer Elektronenstrahlkanone erreicht werden, die im FEP traditionell zum Schweißen und zur thermischen Oberflächenmodifikation eingesetzt wird. Die Kanone kann allerdings nur bis zu einem Arbeitsdruck von 5 Pa betrieben werden. Deshalb wurde sie durch eine differentiell gepumpte Druckstufe in Form einer Düse mit kleiner Öffnung ergänzt, auf die der Elektronenstrahl automatisch zentriert und fokussiert wird. Wegen der hohen Anforderungen an Brennfleckdurchmesser und Positioniergenauigkeit, insbesondere auch unter dem Einfluss dichter Plasmen, wurde das Strahlführungssystem mit einer dynamischen Linse und mit einer Routine zur automatischen Positionierung und Fokussierung des Strahls auf den Tiegel ausgestattet.

Based upon the experiences with the first generation DVD system, a beam power of 10 kW is required for a crucible of the described size. Of course, the diameter of the electron beam must be lower than 20 % of the melt pool size. At the expected work pressure of about 50 Pa, an acceleration voltage of 70 kV is required to limit scattering effects. The operation parameters evaluated above could be satisfied with an EB gun type that is traditionally used for EB welding and thermal surface modification at FEP. However, this gun can be operated up to a work pressure of 5 Pa only. Thus, a differentially pumped pressure stage made of a nozzle disc with small opening was added. The electron beam is automatically centered and focused to this opening. Because of the high demands regarding spot size and positioning accuracy, also in presence of dense plasmas, the beam guidance system was completed with a dynamic lens and with a closed-loop control for optimal beam alignment with respect to the crucible.

Abb. 6
Funktionsschema der für den DVD II-Prozess entwickelten Elektronenstrahlkanone LVE 10/70.

Fig. 6
Function principle of the EB gun LVE 10/70 designed for the DVD II process.



Um die Abscheidung dichter und kristalliner Schichten zu ermöglichen, wurde für den DVD II-Prozess eine effiziente Plasmaaktivierung entwickelt. An die Plasmaquelle waren dabei folgende Forderungen zu stellen:

- Hohe Plasmadichte für hohen Ionisierungsgrad ($\approx 30\%$) im sehr dichten Dampfstrom
- Stabiler Betrieb auch noch im Druckbereich (1 ... 100) Pa
- Lokalisiertes Plasma zur Anpassung an die Geometrie des konzentrierten Dampfstroms
- Funktionieren trotz durch die Überschall-Gasströmung verursachter Ladungsträgerverluste

Es konnte nachgewiesen werden, dass eine Hohlkatoden-Bogenentladung allen diesen Kriterien genügt. Bei den spezifizierten Arbeitsdrücken führt die Thermalisierung der Ladungsträger jedoch zu einem Absinken der Selbstbiasspannung. Deshalb wurde MEDEA mit einer externen Biasquelle ausgestattet. Sie erzeugt eine bipolar gepulste Spannung (≤ 50 kHz, -200 V ... $+200$ V), die alternierend Schauer von Elektronen und Ionen anzieht. Die periodische Aufladung der Oberfläche durch Elektronen erzeugt nahezu ständig ein negatives Potential, auch auf dielektrischem Material. Die dadurch beschleunigten Ionen verdichten die wachsende Schicht.

In order to enable deposition of dense and crystalline structures, an effective plasma activation was developed for the DVD II process. Demands regarding the plasma source were:

- High plasma density for high degree of ionization ($\approx 30\%$) in the very dense vapor stream
- Stable operation up to the pressure range (1 ... 100) Pa
- Plasma must be localized to match the shape of the concentrated vapor stream
- The charge carrier loss caused by the supersonic gas stream must not disable functioning

It could be proved that all these demands are satisfied by a hollow cathode arc discharge. However, a drop of the self bias voltage is expected at the specified work pressures due to charge carrier thermalization. To compensate this effect, the MEDEA system was equipped with an external substrate biasing unit. Its bipolar pulsed voltage (≤ 50 kHz, -200 V ... $+200$ V) attracts alternating showers of electrons and ions. The periodical charging of the surface by electrons generates nearly permanently a negative surface potential, also in the case of dielectric coatings, and thus, ions with enhanced energy necessary for film compacting will be available.

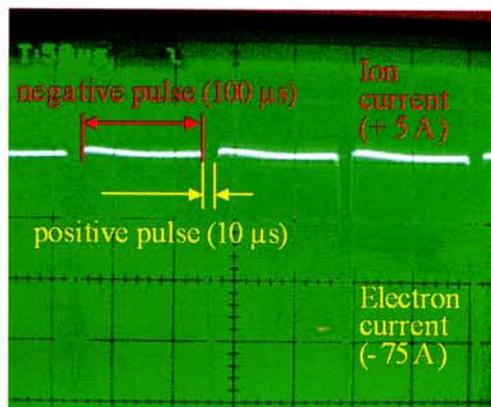
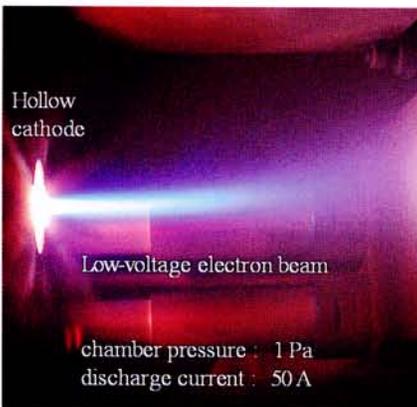


Abb. 7

Der Strahl niederenergetischer Elektronen einer Hohlkatoden-Bogenentladung (links), hier ohne Trägergas und Dampf in isotropem Argon betrieben, erzeugt in Substratnähe ein dichtes Plasma, aus dem mit einer bipolar MF-gepulsten Biasspannung Elektronen und Ionen extrahiert werden können (rechts). Wegen der höheren Beweglichkeit der Elektronen ist der gemessene Elektronenstrom deutlich größer als der Ionenstrom. Durch geeigneter Wahl von Frequenz und Pulsweitenverhältnis kann die Ausprägung der Ionenstromphase optimiert werden.

Fig. 7

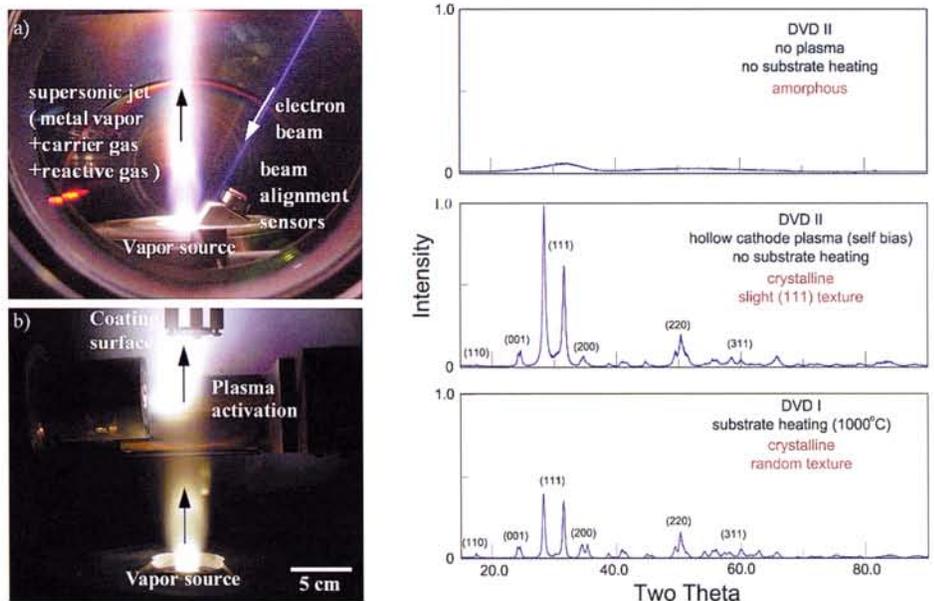
The low-voltage electron beam of a hollow cathode arc discharge (left), here operated in isotropic Argon without carrier gas jet and vapor, produces a dense plasma close to the substrate, from which electrons and ions can be extracted by applying the bipolar MF pulsed bias voltage (right). Due to their higher mobility, the electron current is markedly greater than the ion current. By choosing a suited frequency and pulse width ratio, the ion current phase can be optimized.

Das technologische Potential des plasma-aktivierten DVD II-Prozesses ist momentan Gegenstand experimenteller und theoretischer Studien. Ein Schwerpunkt ist die DVD-basierte Herstellung von nanoporösem, yttriumstabilisiertem Zirkoniumoxid für Thermobarriere-Schichten in Flugzeugturbinen. Bereits die ersten Ergebnisse dieser Studie, illustriert in Abb. 8, belegen die Möglichkeit, die Struktur der wachsenden Schicht durch Plasmaaktivierung zu modifizieren. Weiterhin werden Forschungsaufträge aus der Industrie zur Anwendung der DVD-Technologie bei der Herstellung von Schichtkomponenten für Brennstoffzellen und in der Medizintechnik bearbeitet. Ein Projekt zum Auffinden von Legierungen mit singulären Eigenschaften mittels Mikro-Screening nutzt den Vierstrangtiegel zur Synthese komplexer Mehrstoff-Systeme. FEP und UVA haben eine langfristige Zusammenarbeit vereinbart, um den plasmaaktivierten DVD II-Prozess als neues Verfahren zur effizienten Herstellung hochwertiger Beschichtungen für die Industrie zu qualifizieren. MEDEA ist ein Meilenstein auf diesem Weg.

The technological potentials of the plasma activated DVD II process are now being evaluated through experimental and modeling studies. Research is underway to study DVD's production of yttria-stabilized zirconia with nanoscale porosity for thermal barrier coatings used in aircraft engines. Although more investigations are clearly necessary, the first results of this study, illustrated in Fig. 8, suggest that the plasma activation endows the DVD II process with an ability to modify atomic structure during deposition. Companies are inquiring about DVD's ability to produce thick and thin film components for solid-oxide fuel cell application. DVD's coatings on medical products are being investigated. The multi-crucible capability of MEDEA will soon be used as a materials discovery tool, searching for unique multielement alloy systems by micro-screening. FEP and UVA have agreed on a long term cooperation to qualify the plasma activated DVD II process as a new method of rapidly and efficiently creating high performance coatings for industry. MEDEA is a milestone on this way.

Abb. 8
Struktur von Zirkoniumoxid-Schichten (rechts), die mit dem DVD II-Prozess durch reaktive Verdampfung von Zirkonium (links) hergestellt wurden. Ohne Plasmaaktivierung (a) sind die Schichten amorph, mit Plasmaaktivierung (b) trotz Abscheidung auf kalte ($T < 400\text{ °C}$) Substrate mikrokristallin strukturiert. Mit dem ursprünglichen DVD-Prozess nach Abb. 1 (DVD I) ließen sich vergleichbare Strukturen nur bei Substrattemperaturen um 1000 °C herstellen.

Fig. 8
Structure of zirconia layers (right) deposited by reactive evaporation of Zirconium and using the DVD II process (left). Without plasma activation (a), the coatings are amorphous. Employing plasma activation (b), the coatings are microcrystalline structured despite the fact that they were deposited onto cold ($T < 400\text{ °C}$) substrates. With the original DVD process according to Fig. 1, comparable structures could be obtained only at substrate temperatures above 1000 °C .



1. Internationales Symposium "Emergent Opportunities of PVD Coated Metal Strips and Sheets"

Dr. Bert Scheffel

(Erschienen in GALVANOTECHNIK
10/2000)

Neue Möglichkeiten bei der Oberflächenveredelung von metallischen Bändern und Blechen wurden während eines internationalen Symposiums am 11. Mai 2000 in Dresden diskutiert. Das Symposium stand unter dem Motto: "Emergent Opportunities of PVD Coated Metal Strips and Sheets". Daran nahmen etwa 70 Vertreter aus Industrie und Forschung, insbesondere der europäischen Stahlindustrie, der Vakuumtechnologie-Branche und der Automobilindustrie teil.

Prof. Bräuer, der Institutsleiter der Fraunhofer-Institute für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik (FEP) sowie für Schicht- und Oberflächentechnik (IST), gab in seiner Eröffnungsansprache

einen Überblick über die Potenzen der PVD-Technik (Physical Vapour Deposition) bei der Veredelung metallischer Platten und Bänder (Abb. 1). Im Zusammenhang mit den neuesten Entwicklungen auf diesem Gebiet sprach er von einer "Renaissance der Metallbandbedampfung". Von Prof. Schiller, dem ehemaligen wissenschaftlichen Leiter des FEP, wurde ein interessanter historischer Überblick über die Anwendung der Stahlbandbedampfung gegeben und die Pionierleistungen solcher Firmen wie Temescal Corp. in den USA sowie Leybold Heraeus und das Forschungsinstitut "Manfred von Ardenne" in Deutschland hervorgehoben.



Abb. 1
Eröffnungsansprache
Prof. Dr. Günter Bräuer

Fig. 1
Introductory speech
Prof. Dr. Günter Bräuer

1. International Symposium "Emergent Opportunities of PVD Coated Metal Strips and Sheets"

Dr. Bert Scheffel

(published in GALVANOTECHNIK
10/ 2000)

During an international symposium on 11 May 2000 in Dresden, new possibilities of surface treatment of metallic strips and sheets were discussed. The symposium had the motto "Emergent Opportunities of PVD Coated Metal Strips and Sheets" and some 70 representatives from industry and science, in particular from the European steel industry, the vacuum technology industry and the car manufacturing industry took part in it.

In his introductory speech, Prof. Bräuer, the head of the Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik (FEP) and of the Fraunhofer-Institut für

Schicht- und Oberflächentechnik (IST) gave an overview of the potentials of the PVD technology (Physical Vapor Deposition) for improving metallic sheets and strips (Fig. 1). As regards the latest developments in this field he mentioned a "renaissance of metal strip evaporation". Prof. Schiller the former scientific head of the FEP gave an interesting historical overview of practical applications of the steel strip vapor deposition process, and emphasized the pioneer work of companies such as Temescal Corp. (USA) and Leybold Heraeus and the research institute "Manfred von Ardenne" (Germany).



Abb. 2
Besichtigung der In-line-
Beschichtungsanlage
"MAXI"

Fig. 2
Inspection of the In-line
Coating plant "MAXI"

Seit Beginn des Jahres 2000 verfügt die Fraunhofer-Gesellschaft über eine weltweit einzigartige Forschungsanlage zur In-line-Vakuumbeschichtung von Platten und metallischen Bändern "MAXI" (Abb. 3, 4). Konzept und Aufbau der "MAXI" wurden von Herrn Willkommen, Leybold Systems + Service Dresden, dem Hersteller dieser Anlage, vorgestellt. Wie in einem Vortrag von Herrn Dr. Metzner (FEP) betont wurde, ist das Comeback der PVD-Beschichtung von metallischen Bändern vor allem auf den in den letzten Jahren erfolgten Fortschritt bei der Entwicklung von Hochrate-Plasmaprozessen zurückzuführen. Diese Plasmaprozesse sollen nun in der "MAXI" praxisnah erprobt werden.

Weitere interessante Beiträge wurden von Herrn Dr. Engel (Zollern BHW) zu neuen Anwendungen der PVD-Technik, von Herrn Reinhold (Von Ardenne Anlagentechnik) über industrielle Bandbe-

dampfungsanlagen und Herrn Dr. Ludwig (Balzers Process Systems) zur Elektronenstrahlverdampfung gebracht. Herr Dr. Schuhmacher (Thyssen Krupp Stahl) berichtete über die Ergebnisse eines mehrjährigen Verbundprojekts der deutschen und österreichischen Stahlindustrie mit dem FEP zur Weiterveredelung von verzinktem Stahlblech.

Bei der Besichtigung der Anlagen des Technikums des FEP in Dresden stand die In-line-Beschichtungsanlage "MAXI" im Mittelpunkt des Interesses (Abb. 2). Abschliessend fand eine Podiumsdiskussion zur Zukunft der PVD-Beschichtung von Metallblechen und zu den erwarteten künftigen Anwendungen statt. Der Vorschlag, ein solches Symposium zu wiederholen, fand ein positives Echo. Lassen wir uns überraschen, was auf dem Gebiet der Metallbandbedampfung in naher Zukunft getan wird!

Im Verlauf des Jahres 2000 hat sich erfreulicherweise eine rege Nachfrage seitens der internationalen Industrie für FuE - Arbeiten in der "MAXI" entwickelt. Das Auftragsbuch für 2001 ist fast voll.



Abb. 3, 4
In-line-Beschichtungsanlage
für Platten und metallische
Bänder "MAXI",
Fraunhofer-Institut für
Elektronenstrahl- und
Plasmatechnik (FEP)

Fig. 3, 4
In-line-coating plant
"MAXI" for sheets and
metallic strips,
Fraunhofer-Institut für
Elektronenstrahl- und
Plasmatechnik (FEP)

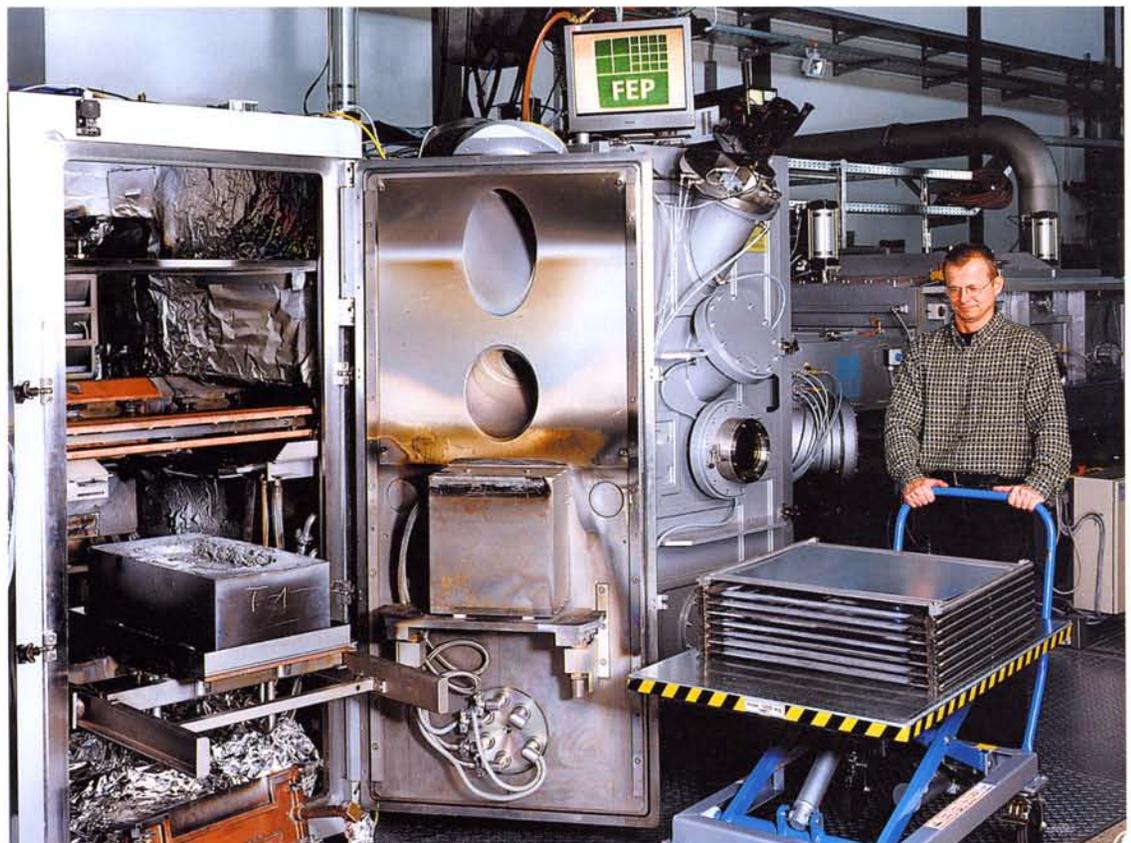
Since the beginning of the year 2000 the Fraunhofer Society operates a research plant for in-line-vacuum coating of plates and metal strips "MAXI" (Fig.3, 4), which is unique in the world. Mr. Willkommen, Leybold Systems + Service Dresden, the manufacturer of this plant, gave a description of the concept and design of "MAXI". As Dr. Metzner (FEP) pointed out, the come-back of PVD coating of metallic strips is mainly due to the progress made in recent years in the development of high-rate plasma processes. These plasma processes will be tested in practice in "MAXI".

Other interesting speeches were delivered by Dr. Engel (Zollern BHW), on new applications of the PVD method, by Mr. Reinhold (Von Ardenne Anlagentechnik), on industrial strip vapor deposition

plants, and Dr. Ludwig (Balzers Process Systems) on electron beam evaporation. Dr. Schuhmacher (Thyssen Krupp Stahl) gave a report on the results of a long-term joint project of the German and Austrian steel industry with FEP on the further improvement of galvanized steel sheet.

During the inspection of the facilities of the Technikum of FEP in Dresden the in-line coating plant "MAXI" was in the focus of interest (Fig. 2). Finally there was a panel discussion on the future of PVD coating of metal sheets and the expected future applications. The suggestions to have another symposium of this kind met with great approval. Let's wait and see what the future will bring in the field of metal strip vapor deposition.

In 2000 there was a great demand by the international industry for R&D-work in the "MAXI". The order books for 2001 are almost full.



Kleine Elektronen gegen große Pilzschäden - Wie aus Ideen Technik wird

Dr. Olaf Röder
Jörg Linke

Was ist e-Beizung

In den letzten Jahren hat die Arbeitsgruppe um Dr. Olaf Röder am FEP Dresden gemeinsam mit der Schmidt AG und Partnern aus der Landwirtschaft eine neuartige Technologie für die umweltfreundliche Bekämpfung schädlicher Mikroorganismen ohne Verwendung chemischer Mittel entwickelt. Diese Technologie wird seit 1995 erfolgreich als Alternative zur chemischen Beizung von Saatgut eingesetzt und als e-Beizung bezeichnet. Das "e-" steht für niederenergetische Elektronen, wie sie beispielsweise zur Erzeugung eines Fernsehbildes genutzt werden.

Nach der Entwicklung einiger Laboranlagen und grundlegenden Arbeiten zur e-Beizung von Saatgut zwischen 1982 und 1991 betreibt das FEP seit 1995 die Pilotanlage WESENITZ 1 im eigenen Technikum in Helmsdorf in der Nähe von Dresden. Zur Einführung der e-Beizung wurden in den letzten 6 Jahren mehr als 4000 t Winterweizensaatgut für über 40 Kunden in ganz Deutschland behandelt. Landwirte und Aufbereiter zahlen für diese Dienstleistung einen Basispreis von 10,- DM je 100 kg zuzüglich Transport. Damit liegt die e-Beizung auf gleichem Preisniveau wie die herkömmliche chemische Beizung mit 15,- DM/dt. Bei hohen Tonnagen sind mit der WESENITZ 1 sogar bereits erhebliche Preisvorteile möglich.

Parallel zur Dienstleistung e-Beizung erfolgten umfangreiche Saatgut-Versuche in Kleinparzellen, Parzellen und kontrollierten Anbauvergleichen.

Die für das Verfahren genutzten "sanften" Elektronen dringen nur wenige hundertstel Millimeter in die Korn-Oberfläche ein und zerstören dort unselektiv und wirkungsvoll alle schädlichen Mikroorganismen wie z.B. Mikropilze. Neben der Saatgutbeizung kann das Verfahren daher auch für die Keimreduktion an Oberflächen von Getreide, Reis, Gewürzen bis hin zu getrockneten Kräutern eingesetzt werden.

Warum sanfte Elektronen

Egal ob bei Saatgut oder Produkten zur weiteren Verarbeitung wie Getreide, Reis, und Gewürze - die meisten schädlichen Mikroorganismen siedeln an der Oberfläche. Sie ist somit Zielort der Behandlung. Große Schäden z.B. durch Mikropilze können insbesondere durch eine frühzeitige Behandlung der Produkte verhindert werden.

Wie in einer Fernsehbildröhre werden Elektronen aus einer glühenden Wolframkatode zu einer Anode hin beschleunigt. Im Gegensatz zum Fernseher erzeugen sie aber kein Bild auf der Glasfläche, sondern werden durch ein spezielles Fenster aus dem Gerät heraus und auf das körnige Produkt geführt. Die Energie der Elektronen wird dabei so bemessen, dass sie nur in eine definierte Randschicht, bei Saatgut in die Samenschale eindringen – nicht tiefer. Die Dicke der Samenschale beträgt z. B. bei Weizen etwa 0,05 mm. In dieser Randschicht geben die Elektronen ihre kinetische Energie ab. Durch die biozide Wirkung führt dies zur Abtötung der Mikroorganismen. Das Innere der Produkte wird von den Elektronen nicht erreicht. Eine Schädigung der Produkte, eine Veränderung der sensorischen Eigenschaften bei Gewürzen oder phytotoxische Nebenwirkungen bei Saatgut sind ausgeschlossen.

Tiny electrons against big damage by fungi

How an idea becomes technology

Dr. Olaf Röder
Jörg Linke

About e-dressing

In the past few years the work group headed by Dr. Olaf Röder at the FEP Dresden together with Schmidt AG and partners from agriculture developed a new technology for environmentally compatible fighting of harmful microorganisms without the use of chemical agents. This technology has been used successfully since 1995 as an alternative to the chemical dressing method and is referred to as e-dressing, with the "e" representing low-energy electrons used, for example, for producing a TV image. After developing some laboratory plants and carrying out some basic work on e-dressing of seeds between 1982 and 1991, the FEP has been operating the WESENITZ 1 pilot plant in its own facility in Helmsdorf near Dresden since 1995. In order to introduce the e-dressing method on the market, more than 4000 t of winter wheat seeds were treated in the last six years for more than 40 customers in Germany. For this service, the farmers and processing companies paid a base price of DM 10.- per 100 kg plus transport. Thus e-dressing is on the same price level as the standard chemical dressing method (15,- DM/dt). With high tonnages significant price advantages are possible with WESENITZ 1. Parallel to the e-dressing service, numerous seeds tests were carried out on small and larger parcels and in controlled cultivation comparisons. The "smooth" electrons used for the process only penetrate a few millimeters of the seed and destroy all harmful microorganisms unselectively and effectively, e.g. micro-fungi. Apart from seed dressing the method can therefore be used for the germ reduction at the surface of cereals, rice, spices and dried herbs, too.

Why smooth electrons

Whether seeds or products for further processing such as cereals, rice and spices - most harmful microorganisms settle close to the surface. This is why this area is the target of the treatment. Big damage, e.g. by micro-fungi, can be avoided in particular when the products are treated at an early stage. Like in a teletube, electrons are accelerated from a glowing tungsten cathode towards an anode. However they do not create an image on the glass surface, but are directed, through a special window, out of the apparatus to the grain product. The energy of the electrons is dimensioned such that they only penetrate the margin area of the product, i.e. the coat in the case of seeds. The thickness of the coat of wheat, for example, is some 0.05 mm. In this margin area the electrons give off their kinetic energy. Due to the biocide effect the microorganisms are destroyed. The electrons do not reach the inside of the products, thus a damage of the products, a change of the sensory properties (in the case of spices) or phytotoxic side effects with seeds are excluded.

Die Innovation "WESENITZ 2"

Saatgut und Produkte wie Getreide, Reis und Gewürze werden in großen Mengen produziert. Für eine wirtschaftliche Behandlung ist eine leistungsfähige Technik erforderlich. Die besondere Anforderung besteht darin, die gesamte Oberfläche aller Körnchen des Schüttgutstromes gleichmäßig mit Elektronen zu beaufschlagen und damit die gewünschte Wirksamkeit zu erzielen.

Für den Unternehmer in der Landwirtschaft sind nicht Einzelkörner im Labor sondern Mengen jenseits der 1000 t Marke interessant - mit geringsten Kosten und ohne aufwendigen Transport. Diese Vision ist mit der Entwicklung der neuartigen mobilen Behandlungsanlage WESENITZ 2 Wirklichkeit geworden. Im Rahmen eines 4jährigen Verbundprojektes von 1997 bis 2000, gefördert vom Sächsischen Ministerium für Wirtschaft und Arbeit, entstand die leistungs-

fähige technische Lösung für die WESENITZ 2. Abb. 1 zeigt den Anlagenprototyp in einer mobilen, völlig autark arbeitenden Version. Für den Betrieb ist lediglich ein entsprechender Elektroanschluss oder ein Stromgenerator erforderlich. WESENITZ 2 ist modular aufgebaut. Das eigentliche Beizmodul ist nicht viel größer als bekannte Beizgeräte und nimmt den Raum von etwa einer kleinen Heimsauna ein (ca. 3 x 3 x 2 m). Im Container stecken noch einige Elektroaggregate und eine Kühleinrichtung sowie die Bedienwarte mit vollautomatischer Steuerung und Einrichtungen zur Qualitätssicherung. Das Beizmodul lässt sich in jede Getreideaufbereitungslinie integrieren. Die notwendigen Versorgungsmodule finden in Raumnischen Platz. Die Anlage erreicht bei der e-Beizung von Getreide eine Leistung von bis zu 30 t pro Stunde.

Die wichtigsten Daten der WESENITZ 2 im Überblick:

- Arbeitsdruck in der Beizkammer: 1000 mbar (Atmosphärendruck)
- kontinuierlicher Prozess
- Anlage wahlweise stationär oder mobil
- mögliche Saatgutarten: Weizen, Roggen, Triticale, Gerste, u.a.
- Körnung Schüttgut: 3 mm bis 15 mm
- Durchsatz bei Getreide bis zu 30 t/h

Die wichtigsten Daten zum Verbundprojekt in Sachsen:

Projektumfang:	Gesamt	6,6 Mio DM,
	FEP-Anteil	3,8 Mio DM,
	Förderung	77 %
Partner:	FEP Dresden, Gebrüder Schmidt AG, Beilngries, Döbeln, Agrargenossenschaft Ruppendorf eG	
Projektanbahnung:	2 Jahre, 1995 – 1997	
Durchführung		
SMWA-Projekt:	4 Jahre, 1997 – 2000	
Entwicklungsziele:	1) Technologieentwicklung e-Beizung von Saatgut mit biologisch-landwirtschaftlicher Verifikation	
	2) Mobile Pilotanlage zur e-Beizung von Weizen, Roggen, Triticale, Gerste	

The new "WESENITZ 2"

Seeds and products like cereals, rice and spices are produced in great quantities. For a profitable treatment a high-capacity technology is required for this reason. The main requirement in this regard is to make sure that the whole surface of all grains of the bulk material flow is exposed evenly to the electrons in order to obtain the desired effect.

Profit-oriented agricultural companies are not interested in the treatment of individual grains in the laboratory but in the treatment of large bulk quantities as of 1000 tons - at low costs and without expensive transport. This vision has now become reality with the development of the new mobile processing plant WESENITZ 2.

The technical solution for the high-capacity WESENITZ 2 plant was developed in a 4-year joint project between 1997 and 2000 and was promoted by the

Saxon Ministry for Economy and Labor. Fig. 1 shows a mobile, fully independently working plant prototype. To use the plant it only has to be connected to an appropriate mains power supply or a power generator. WESENITZ 2 is composed of individual modules. The actual dressing module is not much larger than standard dressing devices and has the size of a small home sauna (approx. 3 x 3 x 2 m). In the container some other electric components and a cooling system and the control console with fully automatic control system and the quality management systems are installed. The dressing module can be integrated in any cereals treatment line. The supply modules required fit in any room niche. In the case of e-dressing of cereals, the plant can reach a throughput of up to 30 t per hour.

Overview of the most important data of WESENITZ 2:

- working pressure in dressing chamber: 1000 mbar (atmospheric pressure)
- continuous process
- plant can be either stationary or mobile
- possible seed types: wheat, rye, Triticale, barley and others
- grain size: 3 mm up to 15 mm
- throughput with cereals up to 30 t/h

Most important data on the joint project in Saxony:

Scope of project:	Total	6.6 Mio DM,
	FEP share	3.8 Mio DM,
	Subsidies	77 %
Partners:	FEP Dresden, Gebrüder Schmidt AG, Beilngries, Döbeln, Agrargenossenschaft Ruppendorf eG	
Planning phase:	2 years, 1995 – 1997	
Execution of SMWA-Project:	4 years, 1997 – 2000	
Objectives:	1) Development of a technology for e-dressing of seeds with biological-agricultural verification 2) Mobile pilot plant for e-dressing of wheat, rye, triticale, barley	

Highlights der e-Beizung 2000

Nachdem zum Jahresende 1999 die technische Entwicklung der WESENITZ 2 weitgehend abgeschlossen war, wurde im letzten Projektjahr viel Kraft in die Abstimmung und Feinoptimierung der Anlagenkomponenten sowie in groß angelegte Feldversuche investiert. Die Ergebnisse können sich sehen lassen. Der Anlagenprototyp arbeitet nun vollautomatisch mit der in Abb. 2 gezeigten Prozessüberwachung. Der Durchsatz der Anlage konnte auf 30 t/h gesteigert werden. Die Wirksamkeit der e-Beizung wurde durch weitere technische Verbesserungen auf 55 % bis 99,5 %, abhängig vom Erreger, erhöht. Sie ist nun mit dem Level der klassischen, chemischen Beizung vergleichbar.

Auch in 2000 galt die Strategie, dem Landwirt Fakten zu liefern. Zu etwa 450 kontrollierten Anbauvergleichen und Parzellenversuchen zwischen 1995 und 1999 kamen in 2000 mehr als 50 Feldversuche zur e-Beizung mit der WESENITZ 2 hinzu. Eine langjährige Statistik die überzeugt. Abb. 3 gibt einen Eindruck der angelegten Kleinparzellenversuche. Zudem wurden mit der WESENITZ 2 erstmals ca. 500 t Saatgut in Dienstleistung e-gebeizt. Das entspricht einer bestellten Fläche von ca. 3500 ha. Diese Ackerflächen sind gleichzeitig Großversuche, die von FEP und Schmidt AG ausgewertet und von kritischen Bauernaugen begutachtet werden. Abb. 4 zeigt einen solchen Versuch.



Abb. 1
Die mobile Pilotanlage WESENITZ 2 zur
Behandlung von Schüttgut

Fig. 1
The mobile WESENITZ 2 pilot plant for treatment
of bulk material



Abb. 2
Automatische Steuerung und
Prozessüberwachung der
WESENITZ 2

Fig. 2
Automatic control and process
monitoring system of
WESENITZ 2

e-dressing highlights in 2000

As the technical development of WESENITZ 2 had largely been completed by the end of 1999 we focused our efforts in the last year of the project on the adaptation and fine optimization of the plant components and on large-scale field tests.

The results are very promising. The plant prototype now works fully automatically by means of the process monitoring system shown in Fig. 2. The throughput of the plant was increased to 30 t/h. The efficiency of the e-dressing method was increased, depending on the type of germ, to between 55 % and 99.5 % by further technical improvements. This is a level similar to the level possible with the standard chemical dressing method.

In 2000, too, we followed our strategy to provide the farmers with facts. In addition to some 450 controlled cultivation comparisons and parcel tests carried out between 1995 and 1999, we carried out more than 50 field tests on e-dressing with the WESENITZ 2. This is a convincing long-term statistic. Fig. 3 gives an impression of the small parcel tests carried out.

For the first time some 500 t of seeds were e-dressed as a service with WESENITZ 2. This corresponds to a cultivated area of some 3500 ha. These areas are at the same time large-scale tests, evaluated by FEP and Schmidt AG and controlled by the farmers. Fig. 4 shows such a test.

Abb. 3
Landwirtschaftliche Versuche
in Kleinparzellen auf Flächen
der AG Ruppendorf

Fig. 3
Agricultural tests on small
parcels on land of
AG Ruppendorf



Abb. 4
Kontrollierter Anbauvergleich
mit ca. 10 ha Winterweizen in
der Magdeburger Börde

Fig. 4
Controlled cultivation
comparison with some 10 ha
of winter wheat in the
Magdeburger Börde region



Im Jahr 2000 wurde eine umfangreiche Werbekampagne gestartet, um den Bekanntheitsgrad der e-Beizung weiter zu erhöhen. Unser wichtigster Partner ist dabei die Schmidt AG. Hauptschwerpunkte unserer ganzheitlichen Marketingstrategie waren im Jahr 2000 Messen, Vorträge und Demonstrationsveranstaltungen mit der Anlage

WESENITZ 2 sowie Presse- und Rundfunkauftritte. Außerdem wurde dem Landwirt e-gebeiztes Saatgut zu attraktiven Schnupperpreisen angeboten. Jeder kann sich selbst von der Qualität unseres Produktes überzeugen. Die breite Flächendeckung der Aktivitäten in Deutschland veranschaulicht Abb. 5.



Abb. 5
Standorte der e-Beizung in
Deutschland
Blau: Dienstleistung und
Großversuche
*: Versuchsstandorte
WR Winterroggen
WT Wintertriticale
WW Winterweizen

Fig. 5
E-dressing locations in
Germany
Blue: Services and
large-scale tests
*: Test locations
WR Winterrye
WT Wintertriticale
WW Winterwheat

In 2000 a large-scale advertisement campaign was started in order to make the customers more knowledgeable about the benefits of the e-dressing method, with Schmidt AG being our most important partner in this respect. Our marketing strategy in 2000 focused on trade fairs, presentations and demon-

strations of the WESENITZ 2 plant as well as press and radio appearances. In addition to that we offered the farmers e-dressed seeds at attractive incentive prices. Everybody can convince themselves of the quality of our product. Fig. 5 shows the areas where we are active in Germany.

Abb. 6
DLG-Feldtage, Rottmersleben,
Juni 2000. Messestand des FEP
Dresden und der Schmidt AG,
Demonstration von Anbauver-
gleichen mit Winterweizen.

Fig. 6
DLG-Feldtage, Rottmersleben,
June 2000. Exhibition stand of
FEP Dresden and Schmidt AG,
demonstration of cultivation
comparisons with winter
wheat.



Abb. 7
Demonstration der e-Beizung
von Weizen bei der
Norddeutschen Saat- und
Pflanzgut AG in
Neubrandenburg

Fig. 7
Demonstration of e-dressing of
wheat at Norddeutschen
Saat- und Pflanzgut AG in
Neubrandenburg



Ausblick

Mit der leistungsfähigen, mobilen Anlage WESENITZ 2 eröffnen sich sehr breite Anwendungsmöglichkeiten. Neben der in Deutschland bereits etablierten e-Beizung von Saatgut kann die schonende Technologie auch für die Keimreduktion von Getreide, Reis, Kaffee, Gewürzen und weiteren schüttbaren Produkten wie z. B. getrockneten Kräutern oder auch Futtermitteln eingesetzt werden. Bisher mussten hier traditionelle Methoden wie z. B. die Gamma-Bestrahlung angewendet werden. Um Veränderungen der sensorischen Produkt-Eigenschaften zu vermeiden und auch eine gute Akzeptanz in der Bevölkerung zu erreichen

sind zunehmend schonende Verfahren wie die e-Technologien des FEP gefragt. Die Anlage WESENITZ 2 kann darüber hinaus auch für die Behandlung technischer Produkte eingesetzt werden. Als Beispiele seien nur die Sterilisation von zerkleinerten medizinischen Abfällen und die Oberflächenmodifikation von Kunststoffgranulaten genannt.

Wie wir von unseren Kunden erfahren, fällt die "Erste Wahl" bei der Behandlung von Saatgut und unterschiedlichsten Schüttgut-Produkten auf das von FEP und Schmidt AG entwickelte Verfahren und die leistungsfähige Technik WESENITZ 2.



Abb. 8
Zeigen, was in der Anlage
WESENITZ 2 steckt

Fig. 8
Demonstrating the benefits of
WESENITZ 2



Abb. 9
Vorträge und Diskussionen mit
Aufbereitern, Landwirten und
Vertretern der landwirtschaftlichen
Forschung

Fig. 9
Presentations and discussions
with processing companies,
farmers and representatives of
agricultural research

Prospects

With the powerful, mobile WESENITZ 2 plant there will be a wide range of application possibilities. Apart from e-dressing of seeds, which has already been well received in Germany, this gentle technology can also be used for germ reduction with cereals, rice, coffee, spices and other bulk products such as dried herbs or fodder. So far traditional methods had to be used for this, e.g. gamma irradiation. In order to avoid changes in the sensory properties of the products and in order for the products to be well-accepted by the public, there is an increasing demand

for gentle treatment methods such as the e-technologies by FEP. In addition to that the WESENITZ 2 plant can also be used for treating technical products, for example for the sterilization of ground medical waste and the surface modification of plastic granulates.

As we have been informed by our customers, the technology developed by FEP and Schmidt AG and the high-performance WESENITZ 2 plant are their "first choice" when it comes to the treatment of seeds and other bulk material products.

Abb. 10
Die Palette der Produkte, die mit "sanften" Elektronen schonend behandelt werden können ist groß.

Fig. 10
There is a wide range of products which can be treated gently with "smooth" electrons.



Namen,
Daten,
Ereignisse

Names,
Dates,
Events

Diplomarbeiten Diploma Theses

BÖCHER, B.-G.:
Untersuchung zum Einfluss des Target-erosionszustandes auf ausgewählte Beschichtungsparameter und Schichteigenschaften beim reaktiven Magnetronspütern von Al₂O₃
Diplomarbeit

LINDNER, T.:
Beiträge zur Entwicklung einer automatischen Strahljustierung für Elektronenstrahlbearbeitungsanlagen

Dissertationen Dissertations

SCHEFFEL, B.:
Untersuchungen zum diffusen katodischen Vakuumbogen bei der plasma-aktivierten Hochratebedampfung
Dissertation, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 25.04.2000

BARTZSCH, H.:
Physikalische Grundlagenuntersuchungen zur Prozeßstabilität und zur Homogenität des Teilchen- und Energiestroms auf das Substrat beim stationären reaktiven Puls-sputtern mit dem Doppelringmagnetron
Dissertation, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,
22. Februar 2000

Mitarbeit in Verbänden Memberships of the Fraunhofer Alliance

Verbund Oberflächentechnik und Photonik (VOB)

Fraunhofer-Themenverbund
"Polymere Oberflächen", POLO

Mitarbeit in Gremien Memberships

G. Bräuer,
Mitglied des Koordinierungsausschusses des Arbeitskreises Plasmaoberflächentechnologie (AK Plasma)

G. Bräuer,
Mitglied des Beirates der Deutschen Vakuum-Gesellschaft e.V. (DVG)

G. Bräuer,
Mitglied des Wissenschaftlichen Beirates des Instituts für Oberflächenmodifizierung Leipzig (IOM)

G. Bräuer,
Mitglied des Kuratoriums der Zeitschrift "Vakuum in Forschung und Praxis"

G. Bräuer,
Mitglied des "International Organizing Committee" der "International Conference on Plasma Surface Engineering" (PSE)

G. Bräuer,
Mitglied des "International Organizing Committee" der "International Conference on Coatings on Glass" (ICCG)

R. Bartel,
Mitglied der Bewertungsgruppe Institut für Oberflächenmodifizierung (IOM) Leipzig des Wissenschaftsrates

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

N. Schiller,
Mitarbeit im "Technical Advisory Committee" der "Annual Technical Conference der Society of Vacuum Coaters" (SVC)

Besondere Ereignisse

3. März 2000
Kuratoriumssitzung mit feierlicher
Einweihung der MAXI



20. – 25. März 2000
Messebeteiligung
Hannover Messe
Fraunhofer-Initiative
Oberflächentechnik



11. Mai 2000
1. Internationales Symposium
"Emergent Opportunities of PVD
Coated Metal Strips and Sheets"



30. Mai 2000
Antrittsvorlesung von Prof. Dr. Günter
Bräuer an der TU Braunschweig



Events



20. - 22. Juni 2000
Ausstellungspavillon auf den
DLG-Feldtage, Rottmersleben,
Magdeburger Börde.



17. – 21. September 2000
Ausstellungsstände auf der
43rd Annual Technical Conference
Society of Vacuum Coaters, Denver,
USA
3rd Workshop on Pulsed Plasma Surface
Technologies, San Diego, USA und
7th International Conference on Plasma
Surface Engineering,
Garmisch-Partenkirchen



6. November 2000
Besuch Aoyama Gakuin Universität
Japan

BRÄUER, G.:
TCO-Beschichtungen in der Industrie
TCO-Workshop, Jülich, 10.02.2000

BRÄUER, G.:
Schichten auf Glas: PVD-Basisprozesse
und ihre reaktiven Varianten II
OTTI-Seminar "Schichten auf Glas",
Regensburg, 4.4.2000

FRACH, P.; GOEDICKE, K.;
GOTTFRIED CHR.:
A Versatile Coating Tool for Reactive
In-line Sputtering in Different Pulse
Modes
3rd PPST, April 5 – 8, 2000, San Diego,
California

METZNER, C.; SCHEFFEL, B.;
RÖGNER, F.H.:
New Developments of PVD – Layers
onto Metallic Sheets and Strips
43rd Annual SVC Techn. Conf.,
April 15 - 20, 2000, Denver, USA
publ. in: Conference-Proceedings

ROGNER, F.-H.; FABER, J.;
SCHEFFEL, B.:
Pulsed plasma Activated Treatment
(PAT) Process Fundamentals and
Applications
Int. Conf. on Metallurgical Coatings
and Thin Films, April 10 – 14, 2000
San Diego, California

KIRCHHOFF, V.:
Emergent Technologies for Large Area
PVD Coating
Int. Conf. on Metallurgical Coatings
and Thin Films, April 10 – 14, 2000,
San Diego, California

WÜNSCHE, T.; RESCHKE, J.;
HAIDUK, A.:
Time Resolved Probe Measurements of
Pulsed Plasma
3rd PPST, April 5 – 8, 2000, San Diego,
California

BRÄUER, G.:
Dünne Schichten mit großer Wirkung –
Beispiele aus dem Alltag
Antrittsvorlesung, TU Braunschweig,
30.5.2000
Journalisten-Stammtisch, Materials
Week 2000, München, 26.9.2000

METZNER, C.; SCHEFFEL, B.:
Elektronenstrahl-Hochrate-Verdampfung
in Kombination mit Plasmen zur wirt-
schaftlichen Beschichtung großer
Flächen
Frühjahrssitzung 2000 des Arbeitskreises
Plasmaoberflächentechnologie,
10. Mai 2000, IWS Dresden

METZNER, C.:
Capabilities at FEP for PVD-Coating of
Metal Strips and Sheets
International Symposium "Emergent
Opportunities of PVD-Coated Metal
Strips and Sheets"
May 11th, 2000, Dresden, Germany

HEINß, J.-P.; GOEDICKE, K.;
METZNER, CH.; SCHEFFEL, B.:
PVD-Beschichtung von Metallband
Workshop "Umweltgerechte Verfahren
der Oberflächentechnik",
Frankfurt/M., 6. Juni 2000

BRÄUER, G.:
Pulse Magnetron Sputtering
7th International Conference on Plasma
Surface Engineering (PSE 2000),
Garmisch-Partenkirchen, 18.9.2000

MORGNER, H.; MATTAUSCH, G.;
GROVES, J. F.:
Plasma Activation for Directed Vapor
Deposition – a New Application for
Hollow Cathode Arc Plasma
"Electron Beam Melting and Refining –
State of the Art 2000",
Reno, 29.-31. Oktober 2000

GROVES, J. F.; MATTAUSCH, G.;
MORGNER, H.; HAAS, D. D.;
WADLEY, H. N. G.:
Directed Vapor Deposition: Low Vacuum
Materials Processing Technology
"Electron Beam Melting and Refining –
State of the Art 2000",
Reno, 29.-31. Oktober 2000

MATTAUSCH, G.; MORGNER, H.;
GROVES, J. F.; DEMUTH, J.:
A Novel EB Evaporation Tool for Directed
Vapor Deposition
"Electron Beam Melting and Refining –
State of the Art 2000",
Reno, 29.-31. Oktober 2000

KRAUSE, U.; SCHULZE, M.:
High Power Medium Frequency Pulsed
Magnetron Sputtering for Large Area
Coating
September 2000, Glasgow

RÖGNER, F.-H.:
In line Beschichtungsanlage MAXI –
Der Weg vom Laborversuch zur
Industrieanwendung
ET BM/FEP 2000

RANK, R.:
Der Inverse Sputterätzer – Ein effektives
Werkzeug zur In-Line Vorbehandlung
von Kunststoff-Folien in Bandbeschich-
tungsanlagen
Proc. 7. Neues Dresdner vakuumtechni-
sches Kolloquium (NDVaK),
20.10.2000,

RÖDER, O.:
Elektronenstrahlhärtung und
Vernetzung – Grundlagen, Technik
und Anwendungen
Jahresfachtagung 2000 – Maßnahmen
zur Prozessoptimierung bei der Lack-
trocknung und –härtung,
Bad Nauheim, 6. April 2000

- RÖDER, O.:
Oberflächenbehandlung von PVC-Recyclat mittels Elektronenstrahltechnik
Gastvortrag zur Sitzung des Arbeitskreises PVC Verwertung und Beseitigung, Bonn, 16. Mai 2000
- RÖDER, O.; HÄNSEL, R.:
Möglichkeiten zur Herstellung migrationsbeständiger Weich-PVC Erzeugnisse
Seminar Weichmacher für PVC – Pro und Kontra in der öffentlichen Diskussion, Wuppertal, 20. Juni 2000
- HEINß, J.-P.:
"PVD-Beschichtung metallischer Platten und Bänder"
Hannover Messe 2000, Werkstoff-Forum, 24. März 2000
- CHARTON, C.; FAHLAND, M.:
Sputtered Ag films on polymer webs; Correlation between layer properties, deposition conditions and substrate
14th Int. Vacuum Web Coating Conference, 25. – 27. 10. 2000, Reno, USA
- SCHEFFEL, B.; METZNER, C.:
New Processes for Plasma Activation during High-rate Electron Beam Evaporation for Large Area Coating
6th Int. Conf. on Electron Beam Technologies (EBT 2000), 4. – 7. Juni 2000, Varna, Bulgarien
- SCHEFFEL, B.; EHLERS, K.-D., HAGLER, J.; METZNER, C.; SCHUHMACHER, B.; STEFFEN, R.:
Neuartige Oberflächenveredelungen von Stahlfeinblech durch Hochratebedampfung in Kombination mit Plasmaprozessen
Vollsitzung des Werkstoffausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh), 13.04.2000, Düsseldorf
- SCHULZE, M.; KRAUSE, U.; WÜNSCHE, T.:
Time Resolved Measurement of Parameters of Medium Frequency Sputtering
3rd PPST, April 5 – 8, 2000, San Diego, California
- BARTZSCH, H.; FRACH, P.:
Modeling the stability of reactive sputtering processes
7th International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE), 17.-21.09.2000, Garmisch-Partenkirchen
- BARTZSCH, H.; FRACH, P.:
Modellierung der Stabilität von reaktiven Sputterprozessen
Arbeitskreis Plasma, Braunschweig, 21.11.2000
- SCHEFFEL, B.; METZNER, C.:
Die Plasmaaktivierung bei der Hochrate-Elektronenstrahl-Bedampfung
Vortrag auf dem Fachgebietskolloquium Thermo- und Fluidynamik der TU Ilmenau, 15. Februar 2000, Ilmenau
- METZNER, C.:
General Aspects of Electron Beam High-rate Evaporation from Water Cooled Copper Crucibles for Area Deposition" – Invited Paper
Int. Workshop "Electromagnetic Control of Free Surface Flows in Materials Processing", EFMP 2000, June 4 - 6, 2000, Ilmenau
- METZNER, C.; SCHEFFEL, B.; EHLERS, K.-D.; SCHUHMACHER, B.; STEFFEN, R.; HAGLER, J.; FLOSSDORF, F.-J.:
Highrate Evaporation in Combination with Plasma Processes for the Economical Coating of Steel Strip
7th International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE) September 17 – 21, 2000, Garmisch-Partenkirchen, Germany
- SCHUHMACHER, B.; EHLERS, K.-D.; FLOSSDORF, F.-J.; HAGLER, J.; METZNER, C.; SCHEFFEL, B.; STEFFEN, R.:
Novel Coating Systems Based on PVD for Surface Treatment of Steel Sheet in Continuous Process
7th Int. Conf. on Plasma Surface Engineering, September 17 – 21, 2000, Garmisch-Partenkirchen
Industrial Workshop "Practical Transfer of Plasma Surface Technologies from Research to Industrial Applications"
- BARTEL, R.; BILZ, H.; DÄNHARDT, J.; SCHMIDT, H.; KORTH, H.:
New Ceramic and Thin-Layer Materials-Process, Design and Sample Developments for New Miniaturised Chip Components with Most Favourable Parameters
Int. Congress on Advanced Materials, Processes and Applications, September 25 – 28, 2000, München
- NEUMANN, M.; KRUG, M.:
Plasmagestützte Hochratebedampfung von Kunststoffen mit organisch modifizierten SiO₂-Schichten
Seminar "Kratzfeste Beschichtungen auf Kunststoffen" des Süddeutschen Kunststoff-Zentrums (SKZ), 11./12. Oktober 2000, Peine
- CHARTON, C.; FAHLAND, M.:
Optical and electrical properties of sputtered Ag films on polymer webs
7th International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE), 17. – 21.09.2000, Garmisch-Partenkirchen
- FRACH, P.; GOEDICKE, K.; GOTTFRIED, CHR.; BARTZSCH, H.:
A Versatile Coating Tool for Reactive In-line Sputtering in Different Pulse Modes
7th International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE) September 17 – 21, 2000, Garmisch-Partenkirchen, Germany.
- GÜLDNER, H.; WOLF, H.; ECKHOLZ, F.; SCHRADER, F.; WINKLER, T.; HANDT, K.; JUNGHÄHNEL, M.:
A Novel Topology for Pulse Generators in Magnetron Sputter Systems
CIEP 2000 IEEE International Power Electronics Congress, Acapulco, Mexico, 2000

Veröffentlichungen

- ZYWITZKI, O.; SAHM, H.; KRUG, M.; MORGNER, H.; NEUMANN, M.:
Comparison of Structure and Properties of SiO_x Coatings deposited by Reactive Pulsed Magnetron Sputtering (PMS) and by Hollow Cathode Activated EB Evaporation (HAD)
ICMCTF, April 10 – 14, 2000, San Diego, California
publ. in: Surface and Coatings Technol. 133 – 134 (2000), p. 555 - 560
- VERGÖHL, M.; MALKOLMES, N.; MATTHEE, T.; BRÄUER, G.:
In-situ Spectroscopic Ellipsometry and Photometry for Magnetron Sputter Process Control
ICMCTF, April 10 – 14, 2000, San Diego, California
publ. in: Thin Solid Films
- FAHLAND, M.; KIRCHHOFF, V.; CHARTON, CH.; KARLSSON, P.:
Roll-to-Roll Deposition of Multilayer Optical Coatings onto Plastic Webs
43rd Society of Vacuum Coaters, SVC, April 15 – 20, 2000
publ. in: 43rd Annual Technical Conference Proceedings, p. 357 – 361
- VERGÖHL, M.; MALKOLMES, N.; MATTHEE, T.; BRÄUER, G.; RICHTER, U.; NICKOL, F.-W.; BRUCH J.:
In-situ Spectroscopic Ellipsometry and Plasma Control for Large-Scale Magnetron Sputter Deposition Processes
43rd Society of Vacuum Coaters, SVC, April 15 – 20, 2000
publ. in Proceedings of the Conference, p. 11 ff.
- FAHLAND, M.:
Abscheidung optischer Mehrlagenschichten auf Kunststoff-Folien
veröff.: Journal für Oberflächentechnik, 2000
- METZNER, CHR.:
PVD-Beschichtung metallischer Platten und Bänder
publ. in: Vakuum in Forschung und Praxis, Nr. 1/2000, S. 45 - 52
- RÖDER, O.; GÖTZ, F.; BALING, P.; TIGGES, J.:
Sachsen beizen mit Elektronen – Ein neues Verfahren neben der chemischen Saatgutbehandlung
Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, Neue Landwirtschaft, Sonderheft 2000, S. 70 – 73
- BRÄUER, G.; TREICHEL, O.:
The Influence of the Barrier Layer on the Mechanical Properties of IR-Reflecting (low-E) Multilayer Systems on Glass
43th Society of Vacuum Coaters, SVC, April 15 – 20, 2000
publ. in: 43rd Annual Technical Conference Proceedings, p. 121 - 126
- BARTZSCH, H.; FRACH, P.; GOEDICKE, K.:
Anode effects on energetic particle bombardment of the substrate in pulsed magnetron sputtering
7th International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE), 17.- 21.09.2000, Garmisch-Partenkirchen
publ. in: Surface and Coatings Technol., 132 (2000), pp. 244 – 250
- FAHLAND, M.; KIRCHHOFF, V.:
Puls Magnetron Sputtern von optischen Mehrlagenschichten auf Kunststofffolien
veröff. in: Vakuum in Forschung und Praxis, 2000
- SCHILLER, S.; METZNER, C.; ZYWITZKI, O.:
New Coatings on Metal Sheets and Strips produced by EB PVD Technologies
published in: Surface and Coatings Technology, p. 246 – 250 and Vol. 125 (2000), pp. 240 – 245
- GOEDICKE, K.; LIEBIG, J.-S.; ZYWITZKI, O.; SAHM, H.:
Influence Process Parameters on the Structure and the Properties of ZrO₂ Coatings deposited by reactive Pulsed Magnetron Sputtering (PMS)
ICMCTF, April 10 – 14, 2000, San Diego, California
publ. in: Thin Solid Films 377-378 (2000), p. 37 - 42
- FAHLAND, M.; KARLSSON, P.; CHARTON, CH.:
Low resistivity transparent electrodes for displays on polymer substrates
3rd Int. Conf. on Coatings on Glass (ICCG), 29.10. – 2.11.2000, Maastricht, NL
publ. in Proceedings of the Conference, p. 689 - 694
- SZYSZKA B.; JIANG, X.; HÖING, T.; PÖCKELMANN, R.; BRINGMANN, U.; BRÄUER, G.:
TCO-coating of polymer substrates using reactive MF-magnetron sputtering of ZnO:Al layers
3rd Int. Conf. on Coatings on Glass (ICCG), 29.10. – 2.11.2000, Maastricht, NL,
publ. in Proceedings of the Conference p. 119
- VERGÖHL, M.; MALKOMES, N.; MATTHEE, T.; BRÄUER, G.; RICHTER, U.; NICKOL, F.-W.; BRUCH, J.:
In-situ monitoring of optical coatings on architectural glass and comparison of the accuracy of the layer thicknesses attainable with ellipsometry and photometry
3rd Int. Conf. on Coatings on Glass (ICCG), 29.10. – 2.11.2000, Maastricht, NL,
publ. in Proceedings of the Conference p. 431 - 442

Publications

MÜLLER, J.; SCHÖPE, G.; KLUTH, O.;
RECH, B.; RUSKE, M.; TRUBE, J.;
SZYSZKA, B.; JIANG, X.; BRÄUER, G.:
Upscaling of texture-etched zinc oxide
substrates for silicon thin film solar cells
3rd Int. Conf. on Coatings on Glass
(ICCG), 29.10. – 2.11.2000,
Maastricht, NL,
publ. in Proceedings of the Conference
p. 669-679

KURIKI, S.; KON, M.; SING, P. K.;
SHIGESATO, Y.; FRACH, P.; KOJIMA, H.;
SUZUKI, K.:
Thin films TiO₂ photocatalysis deposited
by dual cathode magnetron sputtering
3rd Int. Conf. on Coatings on Glass
(ICCG), 29.10. – 2.11.2000,
Maastricht, NL
publ. in Proceedings of the Conference,
p. 719 - 724

SHIN, N.; KON, M.; SONG, P. K.;
SHIGESATO, Y.; FRACH, P.; KOJIMA, H.;
SUZUKI, K.; UTSUMI, K.:
ITO films deposited by dual magnetron
sputtering (DMS) system using oxide
targets
3rd Int. Conf. on Coatings on Glass
(ICCG), 29.10. – 2.11.2000,
Maastricht, NL
publ. in Proceedings of the Conference,
p. 125 - 128

SCHILLER, N.; FAHLAND, M.;
STRAACH, S.:
Coatings of Plastic Webs by Advanced
PVD Technologies
International Conference on Coatings
on Glass (ICCG), Maastricht, 2000
publ. in Proceedings of the Conference
p. 49

KRAUSE, U.; SCHULZE, M.; FUCHS, H.:
Requirements for the System Power
Supply Sputter Source for High Power
Pulsed Magnetron Sputtering
3rd Int. Conf. on Coatings on Glass
(ICCG), 29.10. – 2.11.2000,
Maastricht, NL
publ. in Proceedings of the Conference,
p. 173 - 180

GROVES, J. F.; MATTAUSCH, G.;
MORGNER, D.; HASS, D.;
WADLEY, H. N. G.:
Directed Vapour Deposition
Surface Engineering 16 (2000) 6,
pp. 461 - 464

Nicht alle Vorträge sind in Zeitschriften
bzw. Proceedings abgedruckt. Im FEP
liegend jedoch Kopien der gezeigten
Folien vor. Im Falle des starken Interesses
an den FEP-Technologien bitten wir
um Nachricht. Wir werden gern bereit
sein, geeignetes Informationsmaterial
zur Verfügung zu stellen.

Not all talks are published in journals
or proceedings. However copies of the
slides shown are available at FEP.
If you have a strong interest in FEP
technologies, we will happily make
suitable informational material available.

R. Mohs, Dr. S. Panzer, Dr. O. Röder,
Prof. S. Schiller, Dr. U. Seyfert
"Elektronen-Bandstrahler",
DE 196 38 925

Dr. U. Hartung, Dr. V. Kirchhoff,
A. Meier, S. Schneider, Dr. B. Söder
"Verfahren zur Herstellung wärmereflek-
tierender Schichtsysteme",
DE 196 40 832
(Gemeinschaftspatent mit arcon)

J. Dänhardt, Dr. S. Panzer
"Verfahren zur strukturierten Energie-
übertragung mit Elektronenstrahlen",
DE 196 42 116

K. Goedicke, J. Gulikers,
Dr. E. Hochreiter, J.-St. Liebig,
P. Malobabic
"Verfahren zum Beschichten von Folie
aus Nickel oder einer Nickellegierung
und beschichtete Folie aus Nickel oder
einer Nickellegierung",
DE 198 00 758
(Gemeinschaftspatent mit Philips
Electronics N.V. und Stork Veco B.V.)

K. Goedicke, J. Gulikers, Dr. E. Hochreiter,
J.-St. Liebig, P. Malobabic
"Verfahren zum Beschichten von Folie
aus Nickel oder einer Nickellegierung
und beschichtete Folie aus Nickel oder
einer Nickellegierung",
DE 198 04 751
(Gemeinschaftspatent mit Philips
Electronics N.V. und Stork Veco B.V.)

H. Bartzsch, Dr. P. Frach, K. Goedicke,
Ch. Gottfried, Dr. A. Holfeld
"Einrichtung zum Magnetronzerstäu-
ben"

S. Schiller, U. Heisig, S. Panzer
Elektronenstrahltechnologie

S. Schiller, U. Heisig, S. Panzer
Electron Beam Technology

Verlag der Technik GmbH
Berlin

Verlag der Technik GmbH
Berlin

Beide Bücher sind nur über das FEP
erhältlich!

Both books are only distributed by FEP!

Der Preis für die
– deutsche Ausgabe beträgt
190,- DM
– englische Ausgabe beträgt
130,- US\$

The price for the
– german version is
190,- DM
– english version is
130,- US\$

Imprint

Editors:

Prof. Dr. G. Bräuer
Dr. V. Kirchhoff
A. Arnold
M. Wünsche

Production:

CAD.DOC GmbH
Bad Gottleuba

Fraunhofer-Institut für
Elektronenstrahl- und
Plasmatechnik FEP
Winterbergstraße 28
D-01277 Dresden
Phone: +49 (0) 351 / 25 86-0
Fax: +49 (0) 351 / 25 86-105
e-mail: info@fep.fhg.de
<http://www.fep.fhg.de>

FEP-Technikum Helmsdorf
Fabrikstraße 17
D-01833 Stolpen-Helmsdorf
Phone: +49 (0) 35973 / 232 - 0
Fax: +49 (0) 35973 / 232 - 24