

Symposium Plasma und Optische Schichten (SYOS)

gemeinsam veranstaltet

vom Fachverband Kurzzeitphysik der DPG (K) und
der Deutsche Gesellschaft für Plasmatechnologie e.V. (DGPT)

Detlev Ristau
Laser Zentrum Hannover e.V.
Hollerithallee 8
30419 Hannover
d.ristau@lzh.de

Peter Awakowitz
Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl AEPT
Universitätsstrasse 150
44801 Bochum
awa@aept.rub.de

Die Herstellung optischer Dünnschichtsysteme kommt heutzutage ohne den Einsatz moderner Konzepte der Plasmatechnologie nicht mehr aus. So wird nicht nur häufig das Beschichtungsgut selbst mit Plasmen vorbehandelt, sondern es kommen auch direkte plasmagestützte Beschichtungsverfahren zum Einsatz, die eine deutliche Verbesserung der Qualität optischer Funktionsschichtsysteme bewirken können. Beispielsweise kann die Packungsdichte optischer Schichten in plasmagestützten Prozessen erheblich bis nahezu auf den Wert des entsprechenden Festkörpermateriale gesteigert und so eine erhebliche Erhöhung der Schichtstabilität erreicht werden. Bei den Zerstäubungsprozessen spielen Plasmen und Plasmastrahlen eine zentrale Rolle in der kontrollierten Freisetzung des Beschichtungsmaterials in einem Energieregime, das besonders günstig ist für die Bildung von qualitativ hochwertigen optischen Schichten. Trotz dieser enormen Vorteile steckt eine grundlegende Erkundung der Wirkung von Plasmen in den modernen Beschichtungsprozessen noch in ihren Anfängen. Für die zukünftige Entwicklung der Beschichtungsprozesse und die Herstellung der zunehmend geforderten anspruchsvollen optischen Schichtsysteme sind diese neuen Forschungsansätze dringend weiter zu stärken. Die Zielstellung des nunmehr sechsten Symposiums zu dem Themenfeld ist es, den Dialog der beteiligten Technologiebereiche weiter zu intensivieren. Als Plattform bietet sich dabei insbesondere auch das Vorhaben „Plasma und Optische Technologien“ (PluTO) an, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung seit Mitte des Jahres 2009 gefördert wird und nunmehr einen hohen wissenschaftlichen Stand erreicht hat. Im Rahmen des Symposiums sollen unter anderen ausgewählte, von dem Pluto-Konsortium errungene Ergebnisse der Fachöffentlichkeit vorgestellt werden.

Übersicht über Hauptvorträge und Fachsitzungen

(Hörsäle HS 2 und HS 4)

Hauptvorträge

SYOS 1.2	Di	11:10–11:50	HS 2	Plasma und optische Technologien: PluTO — ●NORBERT KAISER
SYOS 1.3	Di	11:50–12:20	HS 2	Entspiegelung von Oberflächen durch plasmageätzte Nanostrukturen — ●ULRIKE SCHULZ
SYOS 1.4	Di	12:20–12:50	HS 2	Untersuchungen an PIAD Schichten — ●OLAF STENZEL, STEFFEN WILBRANDT, DIETER GÄBLER, NORBERT KAISER, JENS HARHAUSEN, RÜDIGER FOEST, ANDREAS OHL
SYOS 2.1	Di	14:00–14:30	HS 2	Diagnostik und Steuerung von PIAD-Prozessen — ●JENS HARHAUSEN, RÜDIGER FOEST, ANDREAS OHL, DIETER GÄBLER, NORBERT KAISER, OLAF STENZEL, STEFFEN WILBRANDT, RALF-PETER BRINKMANN, BENJAMIN SCHRÖDER, ROBERT STORCH, TIM STYRNOLL
SYOS 2.2	Di	14:30–15:00	HS 2	Charakterisierung beschichtender Plasmen — ●PETER AWAKOWICZ
SYOS 2.3	Di	15:00–15:30	HS 2	Plasmadiagnostik und Prozessüberwachung mit der Multipolresonanzsonde — ●RALF PETER BRINKMANN, MICHAEL FRIEDRICHS, MARTIN LAPKE, JENS OBERRATH, CHRISTIAN SCHULZ, ROBERT STORCH, TIM STYRNOLL, PETER AWAKOWITZ, THOMAS MUSSENBRÖCK, THOMAS MUSCH, ILONA ROLFES
SYOS 2.4	Di	15:30–16:00	HS 2	Analyse des Ionenstrahlzerstäubens mittels Plasmadiagnostik — ●CARSTEN SCHMITZ
SYOS 3.1	Di	16:30–17:00	HS 4	Design von amorphen optischen Schutzschichten mittels Multiskalenmodellierung — ●THOMAS FRAUENHEIM

Fachsitzungen

SYOS 1.1-1.4	Di	11:00-12:50	HS 2	Plasma und Optische Technologien I
SYOS 2.1-2.4	Di	14:00-16:00	HS 2	Plasma und Optische Technologien II
SYOS 3.1-3.3	Di	16:30-17:30	HS 4	Plasma und Optische Technologien III

SYOS 1: Plasma und Optische Technologien I

Zeit: Dienstag 11:00–12:50

Raum: HS 2

SYOS 1.1 Di 11:00 HS 2

Einführung in das Symposium — •DETLEV RISTAU — Laser Zentrum Hannover

Motivation und Zusammenfassung des Programms für das Symposium.

Hauptvortrag

SYOS 1.2 Di 11:10 HS 2

Plasma und optische Technologien: PluTO — •NORBERT KAISER — Fraunhofer IOF, Jena

Optiken bestehen aus Materialien, funktionalisierten Oberflächen und Schichten. Sie sind die Grundbausteine der modernen Photonik und werden zur Kontrolle von Licht in allen seinen Eigenschaften von der Erzeugung bis zur Anwendung eingesetzt. Im Zuge der rasanten Entwicklung der photonischen Technologien ist eine große Vielfalt von Optik-Komponenten und Systemen entstanden, deren Funktionsspektrum kontinuierlich ausgeweitet wird. Die Kunden kommen heute vorrangig aus den Märkten Produktion, Lithografie, Medizintechnik, Instrumentierung und Messtechnik, Grundlagenforschung und Astronomie, Luft- und Raumfahrt, Information und Kommunikation und Automotive. Für die Oberflächenfunktionalisierung sind Plasmen unverzichtbares Arbeitsmittel und Stoffwandler. Um die Dünnschicht- und Plasmatechnologien zusammenzuführen, wurde vor 4 Jahren vom BMBF das Pilotprojekt PluTO initiiert. Das Konsortium aus Experten der optischen Beschichtungstechnologie und der Plasmatechnik wird im Rahmen dieses Symposiums die Ergebnisse präsentieren. Die Resonanz der optischen Industrie lässt nun ein Folgeprojekt PluTO+ möglich erscheinen. Es wird analysiert, welche Auswirkungen das für zukünftige Entwicklungen der modernen Optik haben würde.

Hauptvortrag

SYOS 1.3 Di 11:50 HS 2

Entspiegelung von Oberflächen durch plasmageätzte Nanostrukturen — •ULRIKE SCHULZ — Fraunhofer IOF, Jena, D

Bei vielen optischen Anwendungen besteht die Forderung, eine möglichst hohe Lichttransmission zu erreichen. Reflexionsverluste müssen durch spezielle Oberflächenvergütungen unterdrückt werden. Neben Interferenzschichten bietet sich die Möglichkeit an, Sub-

Wellenlängenstrukturen für die Entspiegelung zu nutzen. Es hat sich gezeigt, dass mit solchen Strukturen in vergleichsweise breiten Wellenlängenbereichen entspiegelt werden kann. Außerdem sind die so vergüteten Oberflächen toleranter gegenüber großen Lichteinfallswinkeln, als konventionelle Interferenzschichtsysteme. Am Fraunhofer IOF wird zur Erzeugung von Antireflexstrukturen auf verschiedenen kompakten Kunststoffen der patentierten Plasmaätzprozess AR-plas eingesetzt. Superbreitband-Entspiegelungen können jedoch auch auf Glas erreicht werden, wenn zunächst ein klassisches Interferenzschichtsystem aufgebracht und dieses mit einer strukturierten organischen Schicht abgeschlossen wird. Diese letzte Schicht wirkt dann als niedrigbrechendes effektives Medium und ist maßgeblich für das Erreichen der niedrigen Restreflexion verantwortlich.

Hauptvortrag

SYOS 1.4 Di 12:20 HS 2

Untersuchungen an PIAD Schichten — •OLAF STENZEL¹, STEFFEN WILBRANDT¹, DIETER GÄBLER¹, NORBERT KAISER¹, JENS HARHAUSEN², RÜDIGER FOEST² und ANDREAS OHL² — ¹Fraunhofer IOF, Jena, Deutschland — ²INP Greifswald e.V., Deutschland

Mittels der APS-Quelle plasma-ionengestützt abgeschiedene oxidische optische Schichten zeichnen sich durch hohe und drifffreie Brechzahlen aus, die traditionell über die sogenannte BIAS-Spannung eingestellt werden. Diese Potentialdifferenz zwischen Anode und Masse der erdfreien DC-Plasmaquelle dient als grobes Maß für die Ionenenergie am Substrat. Verbleibende prozessbedingte Grenzen in der Reproduzierbarkeit der Schichtbrechzahlen können sich aber bei bestimmten optischen Spezifikationen (so etwa Breitbandentspiegelungen) störend auswirken, auch wenn die optische Schichtdicke durch ausgefeilte Monitorierungsverfahren reproduzierbar einstellbar ist. In diesem Zusammenhang wurde im Rahmen des PluTO-Projekts ein alternatives Regelungskonzept für die PIAD-Beschichtung entwickelt, welches in mehreren Beschichtungsserien und unterschiedlichen Reaktoren erprobt wurde. Die Ergebnisse der Schichtanalytik demonstrieren, dass die Brechzahlreproduzierbarkeit beispielsweise bei der Titandioxidbeschichtung gegenüber der traditionellen BIAS-Regelung deutlich verbessert ist.

SYOS 2: Plasma und Optische Technologien II

Zeit: Dienstag 14:00–16:00

Raum: HS 2

Hauptvortrag

SYOS 2.1 Di 14:00 HS 2

Diagnostik und Steuerung von PIAD-Prozessen — •JENS HARHAUSEN¹, RÜDIGER FOEST¹, ANDREAS OHL¹, DIETER GÄBLER², NORBERT KAISER², OLAF STENZEL², STEFFEN WILBRANDT², RALF-PETER BRINKMANN³, BENJAMIN SCHRÖDER³, ROBERT STORCH³ und TIM STYRNOLL³ — ¹INP Greifswald e.V. — ²Fraunhofer IOF — ³Ruhr-Universität Bochum

Die Plasma-ionengestützte Deposition optischer Schichten ist ein in der Industrie weit verbreitetes Verfahren. Eine häufig eingesetzte Plasmaquelle ist die Advanced Plasma Source (APS) der Leybold Optics GmbH. Im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts PluTO konnten wesentliche Fortschritte zum Verständnis der Eigenschaften und Funktionsweise der Plasmaquelle und des Plasmas im Rezipienten erzielt werden. Etablierte Regelverfahren für PIAD-Prozesse basieren nicht auf der Erfassung von Plasmakenngrößen, sondern auf indirekten Größen wie Strömen oder Spannungen. Der aktuelle Grad an Reproduzierbarkeit kann die wirtschaftliche Produktion von Schichten anspruchsvoller Spezifikationen erschweren. Dieser Beitrag diskutiert wesentliche Ursachen von Driften der Plasmastützung und zeigt neue Ansätze für die in-situ Erfassung von Plasmakenngrößen. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der optischen Emissionsspektroskopie und der Plasmaresonanzspektroskopie. Hieraus werden neue Konzepte für Regelverfahren von PIAD-Prozessen abgeleitet.

Hauptvortrag

SYOS 2.2 Di 14:30 HS 2

Charakterisierung beschichtender Plasmen — •PETER AWAKOWICZ — Ruhr-Universität Bochum, Bochum

Plasmen zur Abscheidung dünner Schichten werden mittlerweile in vielen Branchen verwendet. Neben der Halbleitertechnologie sind sicherlich die optischen Technologien aber auch Lebensmittel-

Verpackungstechnik sowie die Werkzeugtechnik zu nennen.

Im Vortrag sollen grundsätzliche Wege der Charakterisierung dieser Plasmen aufgezeigt werden, um so wesentliche Parameter wie die Ionenflussdichte oder die Ionenenergieverteilung auf dem Substrat aber auch die Wirkung eines angelegten Substratbias mit den Beschichtungsergebnissen korrelieren zu können.

Am Beispiel verschiedener Plasmabeschichtungsprozesse soll die quantitative optische Emissionsspektroskopie in Verbindung mit Messungen einer Langmuirsonde und einer beschichtungsunabhängigen Multipolresonanzsonde verglichen werden mit quantitativen Resultaten der Schichtabscheidung.

Diese Vergleiche zeigen, dass im Falle von PVD erhebliches Rückspalten am Substrat auftritt und im Falle von PECVD eine zusätzliche Biasspannung die Diffusionsbarriere der Schicht deutlich verbessert.

Danksagung: Diese Arbeiten wurden vom BMBF im Rahmen des Forscherverbundes Pluto und von der DFG im Rahmen des SFB-TR 87 unterstützt.

Hauptvortrag

SYOS 2.3 Di 15:00 HS 2

Plasmadiagnostik und Prozessüberwachung mit der Multipolresonanzsonde — •RALF PETER BRINKMANN, MICHAEL FRIEDRICH, MARTIN LAPKE, JENS OBERATH, CHRISTIAN SCHULZ, ROBERT STORCH, TIM STYRNOLL, PETER AWAKOWITZ, THOMAS MUSENBROCK, THOMAS MUSCH und ILONA ROLFES — Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Die bei der plasmagestützten Fertigung erreichbare Qualität hängt im starken Maß von der Stabilität der eingesetzten Plasmaquelle ab. Die Diagnostik, Überwachung und ggf. Regelung solcher Quellen ist daher von besonderer technischer Bedeutung. Im Rahmen des BMBF-Projekts "Plasma und Optische Technologien" (PluTO) wurde die

Multipol-Resonanz-Sonde (multipole resonance probe, MRP) als eine industrietaugliche und kostengünstige Methode zur Bestimmung von Plasmaparametern entwickelt und experimentell charakterisiert. Im Fokus dieses Vortrages stehen aktuelle neuere Ergebnisse dieses Vorhabens. Zum einen wird über die Weiterentwicklung der MRP in Richtung eines ortsauflösenden Plasma-Diagnostiksystems berichtet, zum zweiten über die in Richtung eines Monitors für die in-situ-Überwachung von Plasmaprozessen. Anwendungen beider Systeme in der Praxis werden ausführlich dargestellt.

Hauptvortrag SYOS 2.4 Di 15:30 HS 2
Analyse des Ionenstrahlzerstäubens mittels Plasmadiagnostik — ●CARSTEN SCHMITZ — Laser Zentrum Hannover e.V., 30419 Hannover

Um das grundlegende Verständnis des reaktiven Ionenstrahlzerstäubens, ein modernes Verfahren zur Abscheidung hochpräziser und multifunktionaler optischer Schichten, zu verbessern, ist der Prozess mit verschiedenen Plasmasonden analysiert worden. Den Kern bildete dabei ein Gegenfeldanalysator mit dem Ionenenergieverteilungen an unterschiedlichen Messpositionen bestimmt wurden. Durch die Modifikation des verwendeten Gegenfeldanalysators konnte der Öffnungswinkel reduziert und zielgerichtete Messungen ermöglicht werden. Damit können die gemessenen Ionen in Ionen aus dem Hintergrundplasma und Ionen vom Target separiert werden. Zusätzlich liefern Sekundärelektronen, die im Gegenfeldanalysator ausgelöst werden, den Nachweis über schnelle Neutralteilchen vom Target. Zusammenhänge mit den Schichteigenschaften werden diskutiert.

SYOS 3: Plasma und Optische Technologien III

Zeit: Dienstag 16:30–17:30

Raum: HS 4

Hauptvortrag SYOS 3.1 Di 16:30 HS 4
Design von amorphen optischen Schutzschichten mittels Multiskalenmodellierung — ●THOMAS FRAUENHEIM — Bremer Center for Computational Materials Science, Universität Bremen

Klassische, quantenmechanische Einteilchen- und Vielteilchenkonzepte werden mit dem Ziel verbunden, binäre und ternäre optische Metalloxid-Schichten mit gewünschten optischen Parametern mittels Computermodellierung maßzuschneidern.

Thin film deposition on flat surface using atmospheric pressure plasma source: influence of C:H ratio on film properties — ●RAMASAMY POTHIRAJA¹, MAX ENGELHARDT¹, BJÖRN OFFERHAUS¹, NIKITA BIBINOV¹, JAN PERNE², and PETER AWAKOWICZ¹ — ¹Institute for Electrical Engineering and Plasma Technology, Ruhr-University Bochum, 44801 Bochum, Germany. — ²Institut für Oberflächentechnik, RWTH Aachen University, Germany.

Hydrocarbon films are deposited on flat glass substrate using filamentary plasma discharge ignited in Ar-CH₄, Ar-C₂H₂-H₂ and Ar-C₂H₂ gas mixtures at atmospheric pressure. Deposited films have been characterized using FTIR-ATR, SEM, XPS and hardness measurements. When CH₄ or C₂H₂-3H₂ (C:H ratio 1:4) mixture is used as a precursor, film is deposited completely covering substrate surface, and deposition rate is low. Usage of only C₂H₂ (C:H ratio 1:1) in argon plasma results in the deposition of flakes like porous materials which are grown perpendicular to the surface of glass substrate. This material has higher reactivity towards atmospheric nitrogen than the material which is deposited from either CH₄ or C₂H₂-3H₂ precursor. Hardness of films obtained from CH₄ as well as C₂H₂-3H₂ precursors under similar conditions are comparable to each other, and harder than the film obtained from C₂H₂ precursor. In addition to these, plasma parameters

are determined for Ar-N₂ plasma ignited under similar experimental condition adopted for film deposition process. Nitrogen is used as a sensor gas. Plasma parameters are determined from the OES, voltage current measurement, micro-photography, and numerical simulation.

Reactive co-sputtering processes in Ar:H₂S and Ar:H₂Se to deposit chalcopyrite absorber layers for thin film solar cells — ●JONAS KRAUSE, MAN NIE, KARSTEN HARBAUER, and KLAUS ELLMER — HZB Berlin GmbH Hahn-Meitner-Platz 1 14109 Berlin

Reactive magnetron co-sputtering from two targets (CuGa and In) was used to deposit Cu(In,Ga)(S,Se)₂ layers as absorbers for thin film solar cells. The good quality of such films has already been proven for CuInS₂, where an efficiency of 11.4% has been achieved which is the same as for other preparation techniques. Recently, we extended our experimental environment enabling reactive processes also with Ar:H₂Se, in order to deposit selenide chalcopyrites, an absorber material which showed, deposited by other techniques, high efficiencies exceeding 20%. In the first experiments we varied the reactive gas content and the substrate temperature. In addition to comparing the discharge parameters of different Ar-to-reactive-gas ratios, we analyzed the deposited films by XRD, XRF and SEM. We found that the discharge conditions, characterized by the discharge voltage, do not change significantly if H₂S is exchanged by H₂Se. However by using H₂Se a lower percentage of reactive gas is necessary in order to achieve fully selenized films in comparison to the sulfurization in a comparable Ar:H₂S process. Furthermore, we also see that the sputtering rate of the metals is significantly influenced by the percentage of reactive gas. The results of the first solar cells processed with absorber layers from this first depositions in Ar:H₂Se are promising and show the opportunities of reactive co-sputtering of electronically active films for solar cells.