

Symposium Plasma und Optische Technologien (SYOT)

jointly organized by
the Short Time-scale Physics Division (K) and
the Plasma Physics Division (P)

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 Systeme kommt heutzutage ohne den Einsatz moderner Konzepte der Plasmatechnologie nicht mehr aus. So kommen nicht nur häufig direkte plasmagestützte Verfahren bei der Vorbehandlung von optischen Oberflächen und Schichtsystemen zum Einsatz, vielmehr werden auch Plasmen zur Funktionalisierung, Strukturierung und auch Qualitätsverbesserung von Oberflächen für ein breites Anwendungsspektrum verwendet. 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 zur Herstellung von Schichtsystemen 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 Schichten. Trotz dieser enormen Vorteile steckt eine grundlegende Erkundung der Wirkung von Plasmen für viele Anwendungsbereiche noch in ihren Anfängen. Für die zukünftige Entwicklung der Beschichtungsprozesse und die Herstellung der zunehmend geforderten anspruchsvollen Funktionsflächen sind diese neuen Forschungsansätze dringend weiter zu stärken. Die Zielstellung des nunmehr siebten Symposiums zu dem Themenfeld ist es, den Dialog der beteiligten Technologiebereiche weiter zu intensivieren. Als Plattform bietet sich dabei einerseits das Vorhaben „Plasma und Optische Technologien“ (PluTO) an, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung seit Mitte des Jahres 2009 gefördert wird und einen hohen wissenschaftlichen Stand erreicht hat. Andererseits sind hier auch die DFG-Sonderforschungsbereiche „Planare optronische Systeme“ und „Gepulste Hochleistungsplasmen zur Synthese nanostrukturierter Schichten“ zu nennen, die wichtige Impulse aus der Grundlagenforschung in die Entwicklung eintragen können. Im Rahmen des Symposiums sollen die in den Forschungsverbänden errungenen Ergebnisse der Fachöffentlichkeit vorgestellt und diskutiert werden

Overview of Invited Talks and Sessions

(Lecture room: SPA Kapelle)

Invited Talks

SYOT 2.1	Tue	10:40–11:20	SPA Kapelle	Plasma und optische Technologien: PluTO — ●RALF PETER BRINKMANN
SYOT 2.2	Tue	11:20–11:50	SPA Kapelle	Charakterisierung von Prozessen zur plasma-ionengestützten Schichtabscheidung — ●JENS HARHAUSEN, RÜDIGER FOEST, DETLEF LOFFHAGEN, ANDREAS OHL
SYOT 2.3	Tue	11:50–12:20	SPA Kapelle	Plasma-ionengestützte Abscheidung von Hafnium- und Tantaloxidschichten unter Nutzung von Xenon und Argon als Arbeitsgas — ●OLAF STENZEL, STEFFEN WILBRANDT, RALPH SCHLEGEL, NORBERT KAISER
SYOT 2.4	Tue	12:20–12:50	SPA Kapelle	IBS: Praxis und Modellierung — ●HENRIK EHLERS
SYOT 3.1	Tue	14:00–14:30	SPA Kapelle	Plasmaabscheidung nanostrukturierter Barrierschichten auf Kunststoffen - Bedeutung grenzflächenchemischer Aspekte — BERKEM OZKAYA, ●GUIDO GRUNDMEIER
SYOT 3.2	Tue	14:30–15:00	SPA Kapelle	From target to substrate in high power pulsed magnetron plasmas — ●ACHIM VON KEUDELL
SYOT 3.3	Tue	15:00–15:30	SPA Kapelle	Planare Optronische Systeme - Konzept, Umsetzung und erste Ergebnisse — ●LUDGER OVERMEYER

SYOT 3.4	Tue	15:30–16:00	SPA Kapelle	SFB TR 123 Planare optronische Systeme (PlanOS) — ●HANS ZAPPE
SYOT 3.5	Tue	16:00–16:30	SPA Kapelle	Influence of the oxygen plasma parameters on the atomic layer deposition of titanium oxide — ●ADRIANA SZEGHALMI, STEPHAN RATZSCH, ERNST BERNHARD KLEY

Sessions

SYOT 1.1–1.1	Tue	10:30–10:40	SPA Kapelle	Einführung in das Symposium
SYOT 2.1–2.4	Tue	10:40–12:50	SPA Kapelle	Verbund PluTO: Plasma und optische Technologien
SYOT 3.1–3.5	Tue	14:00–16:30	SPA Kapelle	SFB zu Plasma und Optische Technologien

SYOT 1: Einführung in das Symposium

Time: Tuesday 10:30–10:40

Location: SPA Kapelle

SYOT 1.1 Tue 10:30 SPA Kapelle
Einführung in das Symposium — •DETLEV RISTAU — Laser Zen-trum Hannover e.V., Hannover, Germany
Motivation und kurzer Überblick zum Programm des Symposiums.**SYOT 2: Verbund PluTO: Plasma und optische Technologien**

Time: Tuesday 10:40–12:50

Location: SPA Kapelle

SYOT 2.1 Tue 10:40 SPA Kapelle
Invited Talk Plasma und optische Technologien: PluTO — •RALF PETER BRINKMANN — Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik

Der Erfolg optischer Technologien beruht ganz entscheidend auf der Qualität und Funktionalität der verwendeten optischen Komponenten, speziell deren Oberflächen. Auch in anderen Industrien spielen modifizierte Oberflächen und funktionale Schichten eine große Rolle. Für die Fertigung solcher Schichten sind Plasmaprozesse unverzichtbar. Die plasmagestützte Oberflächenbeschichtung hat in den letzten Jahren starken Schub durch gemeinsame Initiativen aus der Plasmatechnik und der optischen Beschichtungstechnik erfahren, vor allem durch den vom BMBF geförderten Verbund Plasma und optische Technologien (PluTO). Die technischen Möglichkeiten der plasmagestützten Oberflächenbeschichtung sind aber noch lange nicht ausgeschöpft. Um die Ausbeute und Qualität funktionaler Schichten zu steigern und die Streuung ihrer geometrischen und Materialeigenschaften zu vermindern, müssen Stabilität und Reproduzierbarkeit der Abscheideprozesse weiter verbessert werden. Ein Ansatz dazu ist die modellbasierte Kontrolle plasmagestützter Abscheideprozesse. Die dafür nötige in-situ Prozessinformation muss durch eine prozessaugliche Plasmadiagnostik gewonnen werden. Der Vortrag wird die aktuellen Entwicklungen in diesem Zusammenhang beleuchten.

SYOT 2.2 Tue 11:20 SPA Kapelle
Invited Talk Charakterisierung von Prozessen zur plasma-ionengestützten Schichtabscheidung — •JENS HARHAUSEN, RÜDIGER FOEST, DETLEF LOFFHAGEN und ANDREAS OHL — Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V., Greifswald, Germany

In der Herstellung von Dünnschichtoptik hat sich die Anwendung von gitterlosen Plasmaquellen etabliert, welche einen Ionenstrahl über einen Expansionsprozess erzeugen. Im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts Plasma und Optische Technologien (PluTO) wurde eine Glühkathoden-Gleichstromentladung näher untersucht, um den Mechanismus zur Strahlerzeugung aufzuklären [1]. Die Plasmaparameter, insbesondere die Elektronen-Energieverteilung und die Ionen-Geschwindigkeitsverteilung, wurden hierzu quantitativ erfasst. Die Interpretation der Emission wird durch ein Stoß-Strahlungsmodell unterstützt. Die Kenntnis dieser plasmaphysikalischen Details ist entscheidend zur Optimierung des Beschichtungskonzepts. Im Vortrag werden neuartige Ansätze zur Regelung der Plasmaquelle und Fortschritte bezüglich der Verbesserung der Reproduzierbarkeit vorgestellt. Die Anwendung von In-situ-Diagnostik zur Überwachung der Prozessparameter verspricht eine direkte Kontrolle der Plasmastützung. Es

werden Ergebnisse der prozesskompatiblen Emissionsspektroskopie zur Charakterisierung des Plasmas und zur aktiven Regelung des Beschichtungsprozesses diskutiert.

Gefördert durch das BMBF unter Förderkennzeichen 13N10462.

[1] J. Harhausen, R.-P. Brinkmann, R. Foest, M. Hannemann, A. Ohl and B. Schröder Plasma Sources Sci. Technol. **21** (2012) 035012SYOT 2.3 Tue 11:50 SPA Kapelle
Invited Talk Plasma-ionengestützte Abscheidung von Hafnium- und Tantaloxidschichten unter Nutzung von Xenon und Argon als Arbeitsgas — •OLAF STENZEL, STEFFEN WILBRANDT, RALPH SCHLEGEL und NORBERT KAISER — Fraunhofer IOF, Albert-Einstein-Str. 7, 07745 Jena

Der Beitrag zeigt ausgewählte Ergebnisse zur Struktur-Eigenschaftsrelation von Dünnschichtproben, die mit plasma-ionengestützter Elektronenstrahlverdampfung (PIAD) mithilfe der Plasmaquelle Leybold APSpro präpariert worden sind. Im Zentrum des Beitrags stehen die Materialien HfO₂ und Ta₂O₅. Aufgezeigt werden Korrelationen zwischen den Ergebnissen von Strukturuntersuchungen mittels Röntgenreflektometrie und hochaufgelöster Elektronenmikroskopie, sowie optischen und mechanischen Schichteigenschaften (Brechzahl, Extinktionskoeffizient, Bandlücke, Shift, und mechanische Spannung). Es wird gezeigt, dass hinsichtlich der erreichbaren optischen Eigenschaften, die Nutzung von Xenon spezifische Vorteile im Vergleich zur Nutzung von Argon mit sich bringen kann.

SYOT 2.4 Tue 12:20 SPA Kapelle
Invited Talk IBS: Praxis und Modellierung — •HENRIK EHLERS — Laser Zentrum Hannover e.V., 30419 Hannover

Das Ionenstrahlzerstäuben (Ion Beam Sputtering, IBS) stellt einen etablierten Prozess zur Herstellung hochkomplexer optischer Präzisionsfilter dar. Aufgrund des separierten Prozesskonzeptes der Ionenerzeugung, der Materialzerstäubung und der Schichtkondensation ist der IBS-Prozess als äußerst stabil bekannt. Als Basis einer notwendigen Prozessoptimierung für aktuelle Herausforderungen der Optischen Dünnschichttechnologie müssen jedoch neue Diagnostik- und Modellierungsansätze das erforderliche Detailverständnis liefern. Ausgehend von messtechnischen Fragestellungen, Simulationen des Sputtervorgangs und einer molekulardynamischen Modellierung des Schichtwachstums werden gegenwärtig neue Lösungskonzepte erarbeitet. Neben den maßgeschneiderten optischen Schichteigenschaften sind eine Steigerung der Beschichtungsrate sowie der homogen beschichtbaren Fläche von entscheidender Bedeutung. Praxisbeispiele zu unterschiedlichen Anwendungsfeldern werden präsentiert.

SYOT 3: SFB zu Plasma und Optische Technologien

Time: Tuesday 14:00–16:30

Location: SPA Kapelle

SYOT 3.1 Tue 14:00 SPA Kapelle
Invited Talk Plasmaabscheidung nanostrukturierter Barrierschichten auf Kunststoffen - Bedeutung grenzflächenchemischer Aspekte — BERKEM OZKAYA und •GUIDO GRUNDMEIER — Technische und Makromolekulare Chemie, Universität Paderborn, Warburgerstr. 100, 33098 Paderborn

Die plasmabasierte Abscheidung von Barrierschichten auf Kunststoffsubstraten impliziert vielfältige grenzflächenchemische Prozesse, die für die Funktionalität und Stabilität des Systems ursächlich sind. Dabei reichen die grenzflächenchemischen Prozesse von der Aktivierung des Substrats über die Nukleation und Schichtbildung bis hin zur Permeation kleiner Moleküle entlang innerer Grenzflächen der Be-

schichtung sowie zu der Defektbildung bei Dehnung des beschichteten Substrats. Bei nichtschichtbildenden Aktivierungsprozessen ist es das Ziel, Funktionsgruppen in die polymere Oberfläche einzubauen, eine Degradation des Polymers jedoch auf ein Minimum zu beschränken. Hierzu werden kombinierte FTIR-spektroskopische und UHV-AFM-analytische Ansätze vorgestellt. Auch bei der Schichtbildung kommt es zur Interaktion des Plasmas mit dem polymeren Substrat, die zur grenzflächennahen Degradation des Polymers führen kann, insbesondere dann, wenn das Plasma oxidierenden Charakter hat. Solche Interaktionen an den verborgenen Grenzflächen können insbesondere mittels FTIR-Spektroskopie aufgeklärt werden. Als Analysemethode für nanoskopische Defekte in Beschichtungen wird die Kombination der

elektrochemischen Analytik unter Nutzung von Probemolekülen mit der spektroskopischen Analyse innerer Grenzflächen vorgestellt.

Invited Talk SYOT 3.2 Tue 14:30 SPA Kapelle
From target to substrate in high power pulsed magnetron plasmas — ●ACHIM VON KEUDELL — Ruhr-Universität Bochum

The temporal distribution of the incident fluxes of argon and titanium ions on the substrate during an argon HiPIMS pulse to sputter titanium with pulse lengths between 50 μ s to 400 μ s and peak powers up to 80 kW is measured by energy-resolved ion mass spectrometry with a temporal resolution of 2 μ s. The data are correlated with time-resolved growth rates and with phase resolved optical emission spectra. All energy distributions can be very well fitted with a shifted Maxwellian indicating an efficient thermalization of the energetic species on their travel from target to substrate. The energy of titanium is higher than that of argon, because they originate from energetic neutrals of the sputter process. The determination of the temporal sequence of species, energies and fluxes in HiPIMS may lead to design rules for the targeted generation of these discharges and for synchronized biasing concepts to further improve the capabilities of high power impulse magnetron sputtering processes.

Invited Talk SYOT 3.3 Tue 15:00 SPA Kapelle
Planare Optronische Systeme - Konzept, Umsetzung und erste Ergebnisse — ●LUDGER OVERMEYER — Institut für Transport- und Automatisierungstechnik, Leibniz Universität Hannover, An der Universität 2, 30823 Garbsen

Das wissenschaftliche Ziel des interdisziplinären Sonderforschungsbereichs "Transregio 123 - Planare Optronische Systeme" (PlanOS) ist die Integration von innovativen sowie bereits erprobten optischen Technologien in eine einzelne, bis ca. 100 μ m starke Polymerfolie zu dem Zweck großflächige und flexible Sensornetzwerke realisieren zu können. Anders als in der Optoelektronik verstehen wir unter dem Begriff der Optronik einen weitgehenden Verzicht auf elektronische Bauteile. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der optischen Messgrößenwandlung, die primär mittels Photonen erfolgt. In unserem Beitrag möchten wir auf die Anwendungen dieser optronischen Systeme zur Messung von Temperatur, Druck und Dehnung bis hin zur Analytik von biochemischen Prozessen mittels Spektroskopie eingehen. Wir zeigen, welche Anforderun-

gen neue Materialien mit optimierten mechanischen, optischen und thermischen Eigenschaften für die Produktion von Wellenleitern, Lichtquellen, Spektrometern und weiteren Sensoren haben müssen. Unsere Forschung konzentriert sich zudem auf neue Konzepte für die Signalgenerierung, -übertragung und Datenverarbeitung in Sensornetzwerken. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten von PlanOS ist die Umsetzung der Erkenntnisse in eine kosteneffektive, Ressourcen schonende Massenproduktion.

Invited Talk SYOT 3.4 Tue 15:30 SPA Kapelle
SFB TR 123 Planare optronische Systeme (PlanOS) — ●HANS ZAPPE — Gisela-und-Erwin-Sick Lehrstuhl für Mikrooptik, Institut für Mikrosystemtechnik, Universität Freiburg

Die Freiburger Aktivitäten im TransRegio SFB "Planare optronische Systeme" werden Übersichtlich dargestellt. Unter den bearbeiteten Themen befinden sich die Entwicklung neuartiger optische Polymere, Druck- und Laminationstechnologien sowie integriert optische Sensoren für Temperatur und Brechungsindex. Diese Arbeiten werden im Kontext vom Gesamt SFB TRR 123 präsentiert.

Invited Talk SYOT 3.5 Tue 16:00 SPA Kapelle
Influence of the oxygen plasma parameters on the atomic layer deposition of titanium oxide — ●ADRIANA SZEGHALMI, STEPHAN RATZSCH, and ERNST BERNHARD KLEY — Friedrich Schiller University Jena, Institute of Applied Physics, Jena, Germany

Anatase hillrocks form on the surface of thin TiO₂ films in plasma enhanced atomic layer deposition (PEALD) processes. Their height, size and density depend on the applied oxygen pressure and plasma potential. The lower the oxygen gas flow the higher the numbers of randomly distributed nucleation sites which lead to the formation of the hillrocks. Their consequence is high surface roughness that increases the challenge of coating nanostructured substrates with a high aspect ratio. Additionally, such titania films for optical applications would suffer of optical losses due to stray light. To suppress the formation of crystalline hillrocks, we demonstrate a multilayer stack made of titanium oxide with ultrathin alumina interlayers. The alumina interlayers with a thickness of only 1 nm inhibit the formation of the hillrocks providing smooth films with excellent optical properties and surface morphology.