

## P 26: Plasma Technology III

Zeit: Donnerstag 14:00–16:00

Raum: HZO 50

P 26.1 Do 14:00 HZO 50

**In-situ Untersuchung der ThO<sub>2</sub>- / La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Verteilung auf Elektroden für HID-Lampen** — ●HÖBING THOMAS<sup>1</sup>, HERMANN PATRICK<sup>1</sup>, BERGNER ANDRE<sup>1</sup>, TRAXLER HANNES<sup>2</sup>, WESEMANN INGMAR<sup>2</sup>, AWAKOWICZ PETER<sup>1</sup> und MENTEL JÜRGEN<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Ruhr-Universität Bochum, 44801 Bochum, Deutschland — <sup>2</sup>Plansee SE, Metallwerk-Plansee-Str. 71, 6600 Reutte, Österreich

Wolfram-Kathoden in Gleichstrom Hochdruck-Gasentladungslampen (HID-Lampen) werden mit den Emittierstoffen ThO<sub>2</sub> oder La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dotiert, um die effektive Austrittsarbeit  $\Phi$  des Kathodenmaterials zu reduzieren. Durch thermische Aktivierung gelangen diese während des Betriebs an den Grenzen der W-Körner zur Oberfläche und erzeugen auf ihr eine Bedeckung, welche entlang der Elektrodenachse Anreicherungs- und Verarmungszonen aufweist. Das Bedeckungsprofil resultiert aus der Bilanz des Abdampfens von der heißen Oberfläche, der Nachlieferung aus dem Inneren der Elektrode und einem rückführenden Ionenstrom aus dem Lichtbogen. Die Elektrode weist dann eine ortsabhängige Austrittsarbeit auf, welche zeitlichen Änderungen unterliegt und dadurch den Bogenansatz destabilisiert. Die Entstehung von Anreicherungen und Verarmungen auf der Elektrodenoberfläche wird durch die Kombination von in-situ Messungen der optischen Oberflächenemissivität und pyrometrischen Messungen der Temperaturverteilung der Elektrode mit ex-situ Messungen der Emitterverteilung untersucht. Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) und PLANSEE SE.

P 26.2 Do 14:15 HZO 50

**Untersuchung der Kombination von Zündhilfen für Xe-HID-Lampen** — ●ANDRE BERGNER, MAX ENGELHARDT, SVEN GRÖGER, THOMAS HÖBING, JÜRGEN MENTEL und PETER AWAKOWICZ — Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

HID-Lampen werden u. a. als Lichtquelle in Frontscheinwerfern von Kraftfahrzeugen eingesetzt. In diesem Anwendungsgebiet werden aus Sicherheitsgründen sehr hohe Anforderungen an die Sofortlichteigenschaft und den Schnellanlauf gestellt. Dies lässt sich durch einen hohen Xenonkaltfülldruck erreichen, der seit dem Verzicht auf Quecksilber ca. 15 bar beträgt. Als Folge haben HID-Lampen für den Automobilbereich besonders hohe Zündspannungen. Daher ist ein Ziel aktueller Forschung, die Zündspannung zu senken.

Die so genannte Außenkolbenentladung, eine DBD im Außenkolben der Lampe, ist eine bereits kommerziell eingesetzte Zündhilfe, die die Zündspannung der Lampe deutlich senkt. Außerdem werden auch Antennen als Zündhilfe in HID-Lampen erfolgreich eingesetzt. Diese Arbeit präsentiert Untersuchungen zur Kombination dieser beiden Zündhilfen. Die Kombination der beiden Zündhilfen sorgt für einen Synergieeffekt, d.h. die Absenkung der Zündspannung ist so groß, wie mit keiner der beiden Zündhilfen allein. Zur Untersuchung des Zündprozesses werden verschiedene elektrische und optische Diagnostiken eingesetzt. Für ein vertieftes Verständnis sorgt die Nutzung einer Vierfach-CCD-Kamera, mit der der Zündprozess visualisiert wird. Im Ergebnis wird die Lampenzündspannung von ca. 20 kV auf ca. 10 kV abgesenkt.

P 26.3 Do 14:30 HZO 50

**Charakterisierung einer dielektrischen Barriereentladung** — ●FRIEDERIKE KOGELHEIDE, SABRINA BALDUS, NIKITA BIBINOV und PETER AWAKOWICZ — Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik (AEPT), Ruhr-Universität Bochum

Nicht-thermische Atmosphärenplasmen haben in der Medizin den Vorteil, kontaktlose und schmerzfreie Behandlungen zu ermöglichen. Um eine gesundheitsschädigende Wirkung für den Patienten ausschließen zu können, ist es notwendig, die einzusetzenden Parameter und Wirkungsweisen der Entladung zu kennen, sodass die eingesetzte Plasmen für den Menschen risikolos konfiguriert werden können. Aus diesem Grund ist es wichtig, die elektrischen sowie physikalischen Eigenschaften der verwendeten Plasmaquelle zu untersuchen. Die verwendete dielektrische Barriereentladung eignet sich aufgrund der Ein-Elektroden-Konfiguration besonders für biologisch-medizinische Anwendungen, da sie in Luft gezündet werden kann und sich somit jedes beliebige Objekt als geerdete Elektrode eignet. Desweiteren zeichnet sich die verwendete Plasmaquelle durch eine Möglichkeit des Umpolens des Spannungspul-

ses aus. Die Leistungseinkopplung und Plasmamparameter werden nicht nur in Bezug auf eine Spannungs- und Frequenzvariation, sondern auch in Bezug auf die Polung der Spannung untersucht. Die Elektronendichte und das reduzierte elektrische Feld werden mit optischer Emissionsspektroskopie sowohl räumlich und zeitlich gemittelt als auch orts- und zeitaufgelöst ermittelt. Die Ergebnisse werden vorgestellt und die Unterschiede diskutiert. Gefördert durch die DFG (PAK 816 'Plasma Cell Interaction in Dermatology') und die Fa. Cinogy.

P 26.4 Do 14:45 HZO 50

**Global model of deposition plasmas fed with an oxygen admixture** — ●EFE KEMANEKI — Institute for Theoretical Electrical Engineering, Department for Electrical Engineering and Information Technologies, Ruhr University Bochum, D-44780 Bochum, Germany

The plasma deposition is used in many processes ranging from the manufacture of optical fibers to the production of solar cells. In these processes, the plasma converts chemically inactive species to the deposition material. Beside many other physical phenomena occurring in the system, the chemical kinetics plays a vital role for the application. Since detailed models of such processes are numerically expensive, global (volume-averaged) models are often preferred to investigate such plasmas. In this contribution we investigate oxygen plasmas, which is one of the main ingredient in deposition processes, via global models. We validate the model by benchmarking against experimental data on various oxygen plasmas in literature with continuous as well as pulsed power coupling. As a preliminary step, we further investigate a plasma chamber fed with an admixture of O<sub>2</sub>/SiCl<sub>4</sub> used in the optical fiber production.

P 26.5 Do 15:00 HZO 50

**Numerische Simulation eines Mikrowellen-Plasmabrenners bei Atmosphärendruck** — ●SANDRA GAISER, MARTINA LEINS, ANDREAS SCHULZ, MATTHIAS WALKER und THOMAS HIRTH — Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 31, 70569 Stuttgart

Für Atmosphärendruckplasmen bieten sich eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten, wie z. B. die Schichtabscheidung oder die Reinigung von kritischen Abgasen. Bei der energieeffizienten und ressourcenschonenden Gestaltung dieser Prozesse ist die numerische Modellierung zur Optimierung der eingesetzten Plasmaquellen von großer Bedeutung.

Der in dieser Arbeit vorgestellte Mikrowellen-Plasmabrenner wird mit Hilfe der numerischen Simulationssoftware COMSOL Multiphysics modelliert. Es werden dabei zunächst mehrere Modelle entwickelt, welche die einzelnen physikalischen Vorgänge beschreiben. Dazu gehört die Simulation der kalten Gasströmung und die Optimierung der Gaszuführung. Darauf aufbauend wird das Plasma zunächst vereinfacht als Wärmequelle in das Strömungsmodell implementiert und damit das Verhalten des heißen Gases untersucht. Ein weiteres Modell befasst sich mit der Verteilung des Mikrowellenfeldes in der Resonatorgeometrie des Plasmabrenners. Dabei wird die Auswirkung des Plasmas auf die Feldverteilung betrachtet, wobei mit Hilfe des Drude-Modells die frequenzabhängige Leitfähigkeit und Permittivität berücksichtigt werden.

P 26.6 Do 15:15 HZO 50

**Numerische Analyse der Ausbreitung von Mikrowellen in einem Plasma** — ●DANIEL SZEREMLEY<sup>1</sup>, THOMAS MUSSENBRÖCK<sup>1</sup>, RALF PETER BRINKMANN<sup>1</sup>, MARC ZIMMERMANN<sup>2</sup>, ILONA ROLFES<sup>2</sup> und DENIS EREMIN<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr - Universität Bochum, D-44780 Bochum, Deutschland — <sup>2</sup>Lehrstuhl Hochfrequenzsysteme, Ruhr - Universität Bochum, D-44780 Bochum, Deutschland

Auf Grund ihrer besonderen Eigenschaften sind Mikrowellenentladungen ein wichtiges Werkzeug für die Beschichtungstechnik. Insbesondere die Möglichkeit, durch eine zusätzliche Bias-Spannung Ionen-Energieverteilungsfunktionen vor Substraten über einen großen Bereich nahezu frei einstellen zu können, macht diese Entladungen zu leistungsstarken Werkzeugen zur Abscheidung nanostrukturierter Funktionsschichten. Eine weitreichende Analyse der Moden und Ausbreitungseigenschaften elektromagnetischer Wellen in einem Plasma entlang einer Antenne ist von besonderem Interesse. Diese Informationen sind notwendig, um einen Plasmareaktor den Ansprüchen der je-

weiligen Anwendung optimal anpassen zu können. In diesem Beitrag werden numerische Simulationsergebnisse einer Mikrowellenentladung entlang der Plasmaline präsentiert werden. Im Mittelpunkt steht dabei die Charakterisierung der Moden, die sich entlang der Antenne ausbreiten können.

Die Autoren danken der Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB-TR 87.

P 26.7 Do 15:30 HZO 50

**Kinetische Simulation der Dynamik gesputterten Aluminiums in kapazitiv gekoppelten Mehrfrequenzplasmen** — ●JAN TRIESCHMANN<sup>1</sup>, STEFAN RIES<sup>2</sup>, STEFAN BIENHOLZ<sup>2</sup>, NIKITA BIBINOV<sup>2</sup>, PETER AWAKOWICZ<sup>2</sup>, RALF PETER BRINKMANN<sup>1</sup> und THOMAS MUSSENBRÖCK<sup>1</sup> — <sup>1</sup>TET, Ruhr-Universität Bochum — <sup>2</sup>AEPT, Ruhr-Universität Bochum

Für viele technische Anwendungen sind Sputterprozesse von großer Bedeutung. Zur Charakterisierung der zugrunde liegenden Prozesse ist hierbei insbesondere die räumliche Verteilung gesputterter Teilchen innerhalb der Reaktorkammer entscheidend. In komplexen Reaktor-geometrien ist eine Vorhersage dieser häufig nur simulativ möglich. Ferner folgt die Geschwindigkeitsverteilung gesputterter Teilchen inhärent keiner Maxwellverteilung. Aus diesem Grund kann letztere nur mittels kinetischer Lösungsansätze bestimmt werden.

In dieser Arbeit werden Direct-Simulation Monte-Carlo (DSMC) Ergebnisse der Verteilung gesputterten Aluminiums vor einem Argon Hintergrund innerhalb einer kapazitiv gekoppelten Mehrfrequenzsputteranlage diskutiert. Das zugrunde liegende Simulationsmodell basiert hierbei auf der frei verfügbaren Software OpenFOAM. Es werden sowohl räumlich aufgelöste Dichte-, als auch Geschwindigkeitsverteilungen

der gesputterten Atome während des Sputterprozesses untersucht. Die Simulationsergebnisse werden darüber hinaus im Kontext experimenteller Untersuchungen des Plasmaprozesses betrachtet.

(Diese Arbeit wird im Rahmen des SFB/Transregio 87 durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert.)

P 26.8 Do 15:45 HZO 50

**Electron energy distribution in HiPIMS discharges: analytic and numerical modeling** — ●SARA GALLIAN<sup>1</sup>, JAN TRIESCHMANN<sup>1</sup>, THOMAS MUSSENBRÖCK<sup>1</sup>, WILLIAM N G HITCHON<sup>2</sup>, and RALF PETER BRINKMANN<sup>1</sup> — <sup>1</sup>TET, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland — <sup>2</sup>ECE, University of Wisconsin-Madison, USA

High Power Impulse Magnetron Sputtering (HiPIMS) is a novel Ionized Physical Vapor Deposition (IPVD) technique, able to achieve an ultra dense plasma with a high ionization degree among the sputtered atoms. This is accomplished by applying a large bias voltage to the target in short pulses with low duty cycle. The electrons emitted by the target because of the ion bombardment are accelerated in the cathode fall and reach the magnetized plasma bulk with a large energy. In this contribution we present an analytic calculation of the distribution function of these energetic electrons. The electrons are inserted into the system as a monoenergetic beam which slows down by Coulomb collisions with a Maxwellian distribution of bulk electrons, and by inelastic collisions with neutrals. The results are verified for parameters appropriate to HiPIMS discharges, by comparing the analytic result with that of a numerical global model. We expect this work to be applicable to a variety of magnetron systems such as HiPIMS and dc discharges.