

## P 8: Niedertemperaturplasmen

Zeit: Dienstag 13:30–17:20

Raum: INP-Staffelgeschoß

P 8.1 Di 13:30 INP-Staffelgeschoß

**Experimental investigations of the Electrical Asymmetry Effect** — ●JULIAN SCHULZE<sup>1</sup>, EDMUND SCHÜNGEL<sup>1</sup>, ZOLTAN DONKO<sup>2</sup>, DIRK LUGGENHÖLSCHER<sup>1</sup>, and UWE CZARNETZKI<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum — <sup>2</sup>Hungarian Academy of Science, Budapest, Hungary

In 2008 a method to generate a variable DC self bias even in geometrically symmetric capacitively coupled radio frequency (CCRF) discharges was proposed based on an analytical model and a fluid simulation. If the discharge is operated at a fundamental frequency and its second harmonic, it was predicted that the resulting DC self bias can be adjusted by the phase angle between the applied voltage harmonics. A PIC simulation showed that this Electrical Asymmetry Effect (EAE) allows separate control of the energy and flux of ions at the electrode surfaces. In this work the EAE and the related separate control of ion energy and flux are tested experimentally. A geometrically symmetric CCRF discharge operated at 13.56 MHz and 27.12 MHz with variable phase angle between the harmonics is operated in argon at different pressures. The DC self bias, the energy as well as the flux of ions at the grounded electrode surface, and the space and phase resolved optical emission are measured. The results show that a DC self bias is generated as an almost linear function of the phase angle. This variable DC self bias indeed allows separate control of ion energy and flux in an almost ideal way under various discharge conditions. This work is funded by the DFG through GRK 1051.

P 8.2 Di 13:45 INP-Staffelgeschoß

**Transport von Barium in Fluoreszenzlampen** — ●FLORIAN SIGENEGER<sup>1</sup>, KRISTIAN RACKOW<sup>1</sup>, DIRK UHRLANDT<sup>1</sup>, JÖRG EHLBECK<sup>1</sup> und GERD LIEDER<sup>2</sup> — <sup>1</sup>INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, Greifswald — <sup>2</sup>RLS-M, Osram GmbH, Hellabrunner Str. 1, München

Experimentelle und theoretische Untersuchungen zum Transport von Bariumatomen und -ionen in der Kathodenregion von Fluoreszenzlampen im Betrieb bei 25 kHz werden vorgestellt. Die Dichte der Bariumatome und -ionen wurde mittels laserinduzierter Fluoreszenz bei verschiedenen Abständen vom Zentrum des Spots zeitaufgelöst gemessen. Weiterhin wurde die Kathodenfallspannung zeitaufgelöst durch eine verbesserte Bandmethode bestimmt.

Das theoretische Modell umfasst die Lösung der zeitabhängigen Teilchenbilanzgleichungen von Bariumatomen und -ionen, die die Ionisation von Barium als Gewinn- und Verlustterme enthalten. Der Ratenkoeffizient der Ionisation von Barium und die Elektronendichte werden durch Lösung der raumaufgelösten Elektronen-Boltzmann-Gleichung in sphärischer Geometrie unter Verwendung der gemessenen Kathodenfallspannung sowie Entladungsstromstärke gewonnen. Zwischen dem gemessenen und berechneten zeitlichen Verlauf der Dichte der Bariumatome wurde eine gute Übereinstimmung gefunden. Die Ergebnisse illustrieren die empfindliche Abhängigkeit der Bariumdichteprofile von der Ionisation, die zu einer deutlichen Absenkung der Bariumdichte in der Kathodenphase führt. Das Modell liefert den Bariumfluss von der Kathode, der die Lebensdauer der Lampe begrenzt.

Die Arbeit wurde unterstützt von RLS-M, OSRAM GmbH, München.

P 8.3 Di 14:00 INP-Staffelgeschoß

**Investigation on T-waves in the low pressure dc positive column in oxygen** — ●DIRK PASEDAG, MARC BOGACZYK, HOLGER TESTRICH, and HANS-ERICH WAGNER — Institut für Physik, E.-M.-Arndt-Universität Greifswald

Plasmas of electronegative molecular gases are known to be susceptible to the development of instabilities which lead to the excitation of standing and moving striations. In the positive column of the dc O<sub>2</sub>-glow discharge two regimes exist, one with a low axial electric field strength of about 5 V/cm, the so called T-mode, and the H-mode with more than 10 V/cm. The investigations are focused on the anode directed waves in the T-mode and the dynamic behavior of the H- and T-mode. The determination of phase velocity and wavelength was done by probe head measurements on a plasma tube with variable electrode distances from 40 cm to 120 cm, pressures from 0.5 Torr to 1 Torr and discharge currents up to 60 mA. Also different cathode configurations were used.

Supported by SFB-TR 24, project B1.

P 8.4 Di 14:15 INP-Staffelgeschoß

**Sheath dynamics in capacitively coupled RF plasmas** — ●KRISTIAN DITTMANN<sup>1</sup>, KONSTANTIN MATYASH<sup>2</sup>, RALF SCHNEIDER<sup>2</sup>, and JÜRGEN MEICHSNER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>University of Greifswald, Institute of Physics, Greifswald, Germany — <sup>2</sup>Max-Planck-Institute for Plasma Physics, EURATOM Association, Greifswald, Germany

The RF sheath dynamics in asymmetric capacitively coupled RF plasmas in oxygen, hydrogen and argon is investigated by means of PROES (Phase Resolved Optical Emission Spectroscopy) and simulated with Particle in Cell code with Monte-Carlo collisions (PIC MCC).

Comparing the experimental and simulations results, it was shown that depending on the plasma processing parameters the observed excitation patterns in the sheath have their origin in the electron heating during the sheath expansion phase, energetic electrons in the sheath collapse phase, secondary electrons emitted from the powered electrode, electric field reversal during sheath collapse and electronic excitation due to heavy particle collisions at the powered electrode.

In oxygen RF plasmas an excitation pattern was found which gives an indication for electric field reversal similar to that in hydrogen plasmas. It appears slightly earlier within the RF cycle and its maximum is located not directly at the powered electrode compared to hydrogen case. The detailed analysis of this phenomenon with PIC-MCC simulations revealed, that the electric field reversal in oxygen RF plasmas is determined by the interaction of the electron flow toward the wall during the sheath collapse phase with the negative ions peak at the sheath entrance. Supported by SFB-Transregio 24.

P 8.5 Di 14:30 INP-Staffelgeschoß

**Einfluß von Metallhalogeniden auf das Elektrodenverhalten in Hochdrucklampen** — ●MICHAEL SCHMIDT, MANFRED KETTLITZ und HARTMUT SCHNEIDENBACH — INP-Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald

Die Lebensdauer von Hochdruckentladungslampen ist stark durch die thermische Belastung ihrer Elektroden bestimmt. Die Kathodentemperatur wird durch die Austrittsarbeit determiniert, welche u.a. durch Emittierpasten oder Thoriumdotierung gesenkt werden kann. Auch eine Bedeckung der Elektrode mit einer Monoschicht aus der Gasphase senkt die Austrittsarbeit. Die Existenz einer solchen Schicht wurde durch Messung der Elektrodentemperatur mit optischer Emissionsspektroskopie bei 800 nm und anschließende Berechnung der Austrittsarbeit nachgewiesen. Dazu wurde ein vorliegendes Modell der Randschicht zwischen Kathode und Säulenplasma benutzt. Mittels optischer Absorptionsspektroskopie wurde gezeigt, dass der Einfluß der Absorption der Elektrodenstrahlung durch das Plasma im Meßbereich vernachlässigt werden kann. Die Umschließung der Elektroden mit dem Plasma des Lichtbogens wurde mit einer Kamera beobachtet. Untersucht wurden Quarzlampen (COST 529), betrieben mit Rechteckspannung bei einer Frequenz von 120 Hz und Strömen zwischen 0,5 A und 1,2 A. Die Füllungen bestanden aus Hg mit Zusätzen von NaI, TII und DyI<sub>3</sub> sowie Ar als Zündgas. Die verschiedenen Elektrodentemperaturen und Austrittsarbeiten werden in Abhängigkeit von der Füllung diskutiert.

P 8.6 Di 14:45 INP-Staffelgeschoß

**Erzeugung von Kupfer-Polypyrrol-Kompositschichten durch simultanen PVD/PECVD-Prozess** — ●CHRISTIAN WALTER und VOLKER BRÜSER — INP Greifswald e.V. - Germany

Nanokompositschichten aus Metallen und Polymeren haben vielfältige Eigenschaften wie beispielsweise antibakterielle Wirkung, Supraleitfähigkeit, Schutzwirkung gegen atomaren Sauerstoff sowie katalytische Aktivität und sind deshalb von sehr großem technologischen Interesse[1]. Polypyrrol-Metall-Kompositschichten sind dabei besonders interessant, da Polypyrrol durch Dotierungen mit z.B. PF<sub>6</sub> eine Leitfähigkeit von bis zu 1000 Scm<sup>-1</sup> erreicht und an Luft sehr beständig ist[2]. Solche Polypyrrol-Schichten können mittels PECVD-Prozessen erzeugt werden[3]. Durch eine Kombination dieses Verfahrens mit einer Magnetron-Sputterquelle wird es möglich, Metalle (hier Kupfer) in die Polymerschicht einzubringen. Auf diese Weise können verschiedenste Composite erzeugt werden. Das Spektrum reicht hierbei je nach Leistung der Plasmaquellen von im Polymer eingebetteten Kupferpartikeln bis zu einer Größe von 50nm, über Kupfer(I)oxid Nanopartikel (Größe ca. 2nm) bis hin zu an das Polymer gebundenen Kupferatomen.

Der Metallanteil variiert dabei von 3-30%. Gezeigt werden sowohl XPS, XRD, Cyclovoltammetrie und IR-Messungen als auch REM und AFM-Bilder.

- [1] A. Malinauskas *et al.*; *Nanotechnology* **16** (2005) R51\*R62  
 [2] A.B. Kaiser; *Reports on Progress in Physics* **64** (2001) 1-49  
 [3] G.J.Cruz *et al.*; *Thin solid films* **342** (1999) 119-126

P 8.7 Di 15:00 INP-Staffelgeschoß

**Vorstellung eines neu entwickelten VHF - CCP - Reaktors zur Anwendung im biomedizinischen Bereich** — ●KATHARINA STAPELMANN und PETER AWAKOWICZ — Ruhr - Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44780 Bochum

Plasmasterilisation stellt eine vielversprechende Alternative zu den derzeit üblichen Sterilisationsmethoden dar. Kurze Sterilisationszeiten können bei geringen Prozess - Temperaturen erreicht werden, ohne auf den Gebrauch von toxischen und zum Teil materialschädigenden Desinfektionsverfahren angewiesen zu sein. Die Wirksamkeit der Plasmasterilisation in Labor - Reaktoren wurde in mehreren Veröffentlichungen bereits gezeigt. Ein wesentlicher Vorteil der Plasmasterilisation besteht darin, dass sowohl Bakterien inaktiviert, wie auch Proteine und Prionen entfernt werden können. Vorgestellt wird ein neues Konzept für die Plasmasterilisation, ausgeführt als kapazitiv gekoppelte Entladung im Frequenzbereich von 76 - 80 MHz. Die Leistungseinkopplung erfolgt über einen neuartigen Generator. Bei diesem Konzept bilden Plasmaimpedanz und Generator einen Schwingkreis. Die Nennfrequenz dieses Oszillators entspricht der Resonanzfrequenz des Schwingkreises, so dass die Leistungsanpassung durch Variation der Frequenz erfolgt. Ein neuer Weg wird beim Design - Konzept der Entladungskammer beschritten, indem als Entladungskammer eine Schublade aus Kunststoff (PEEK) Verwendung findet. Präsentiert werden der Aufbau und erste Untersuchungen zur Charakterisierung des Reaktors. Weiterhin wird ein Ausblick auf mikrobiologische Untersuchungen gegeben.

P 8.8 Di 15:15 INP-Staffelgeschoß

**Barrierebeschichtung und Sterilisation von PET-Flaschen mit mikrowellenangeregten Niederdruckplasmen** — ●SIMON STEVES, MICHAEL DEILMANN, NIKITA BIBINOV und PETER AWAKOWICZ — Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik, Ruhr-Universität Bochum

Die Anforderungen an moderne Verpackungsmaterialien steigen im Hinblick auf die Entwicklung geeigneter Permeationsbarrieren und Verfahren zur materialschonenden Sterilisation. Am Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik der Ruhr-Universität Bochum wird ein mikrowellenangeregtes Niederdruckplasma zur Barrierebeschichtung und Plasmasterilisation von PET-Flaschen entwickelt.

Mit dieser Art der Plasmabehandlung besteht die Möglichkeit, thermolabile Materialien ohne den Einsatz toxischer Substanzen, wie Wasserstoffperoxid oder Peressigsäure, zu sterilisieren. Bei der Plasmasterilisation werden im Gegensatz dazu Argonplasmen mit Beimischungen von Stickstoff, Sauerstoff oder Wasserstoff verwendet. Die vom Plasma emittierte Strahlung zwischen 160 und 300 nm erweist sich als besonders effizient für die Sterilisation.

Zur Barrierebeschichtung werden Siliziumoxidschichten ( $\text{SiO}_x$ ) mit Hilfe eines gepulsten Hexamethyldisiloxan:Sauerstoff-Plasmas auf PET abgeschieden, die zu einer Barriereverbesserung um mehr als das 65fache im Hinblick auf die Sauerstoffpermeation führen. Mit optimierter Schichtzusammensetzung wird die Sauerstoffpermeation für 60 nm dicke  $\text{SiO}_x$  - Schichten auf PET-Folien auf einen Restpermeationsfluss von  $J = 1.0 \pm 0.3 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-2} \text{ Tag}^{-1} \text{ bar}^{-1}$  reduziert.

## 20 min. break

P 8.9 Di 15:50 INP-Staffelgeschoß

**Dielektrisch behinderte Entladungen - Optische Untersuchungen des Entladeverhaltens** — ●CHRISTIAN HOCK, ANDREAS SCHÖNLEIN, BATU KLUMP, BENJAMIN KOUBECK, MARCUS IBERLER und JOACHIM JACOBY — Johann Wolfgang von Goethe Universität, Institut für Angewandte Physik, Max von Laue Strasse 1, 60438 Frankfurt a.M.

Als Dielektrisch behinderte Entladung (DBE) werden Gasentladungen bezeichnet, bei der die Elektroden durch mindestens eine isolierende Schicht (Dielektrika) begrenzt werden. Dabei handelt es sich um nicht Gleichgewichtsentladungen mit einer Dauer von wenigen Nanosekunden. Die Barriereentladung erfolgt zu meist in einer Vielzahl an Einzelentladungen, sogenannte Filamente, man spricht hierbei von einer inhomogenen Entladung. Unter gewissen Umständen kann mit der

Entladung jedoch eine homogene Zündung des Plasmas erreicht werden. In dieser Arbeit soll anhand optischer Untersuchungen das Entladungsverhalten des Plasmas unter Berücksichtigung verschiedener Parameter wie z.B. der Pulsform (Sinus, Rechteckspannung), Pulsdauer und Amplitude, als auch Geometrie und Gasdruck betrachtet werden.

P 8.10 Di 16:05 INP-Staffelgeschoß

**Orts- und zeitaufgelöste Messung von Oberflächenladungen in einer dielektrischen Barrierentladung** — ●LARS STOLLENWERK — Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart

Es wird ein Gasentladungssystem mit dielektrischer Barriere untersucht, das aus einem schmalen, mit Helium gefüllten Entladungsspalt zwischen großflächigen Elektroden besteht. Obwohl die Entladung im Glimmodus betrieben wird, bildet sie aufgrund des großen Aspektverhältnisses eine lateral strukturierte Stromdichteverteilung aus. Für die Stabilisierung der entstehenden Muster spielen Oberflächenladungen, die sich nach jedem Durchbruch auf den dielektrischen Schichten bilden, eine wichtige Rolle. Um diese Ladungsdichteverteilung ortsauflöst messen zu können, wird als dielektrische Barriere ein BSO-Kristall verwendet. Über den Pockels-Effekt wird die Polarisation eines einfallenden Lichtstrahls moduliert und ermöglicht so die Beobachtung der Oberflächenladungsverteilung in der laufenden Entladung. Die gegenüber früheren Arbeiten deutlich erhöhte Zeitauflösung ermöglicht es, auch laufende Strukturen in der Entladung beobachten zu können.

P 8.11 Di 16:20 INP-Staffelgeschoß

**Dynamics of Cathode Spot Plasma Parameters in Spark and Arc Stages of Vacuum Discharge** — ●RALF METHLING<sup>1</sup>, DIRK UHRLANDT<sup>1</sup>, ALEXANDER BATRAKOV<sup>2</sup>, SERGEY POPOV<sup>2</sup>, ELENA PRYADKO<sup>2</sup>, and KLAUS-DIETER WELTMANN<sup>1</sup> — <sup>1</sup>INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, D-17489 Greifswald — <sup>2</sup>Institute of High-Curent Electronics SB RAS, Tomsk, Russia

Modern notations do not foresee principle differences in cathode spot mechanisms in the breakdown stage as compared with steady burning arc. The cathode spots generate similar craters regardless of discharge burning time under the condition of cold cathode. The spot plasma has rather stable parameters while gradual changes in the plasma parameters can convincingly be explained in terms of cathode heating effects. However, invariability of spot mechanisms is not the feature of initial period of spot burning since the moment of gap breakdown.

Recently, we observed a surprising behaviour of cathode spot plasma characteristics within the first microsecond of discharge burning. Though ion energies per charge ratios are the same for all charge states at the long-burning arc discharge, there is a dependency of the ratios on charge states in the starting phase. The similar transition is seen in spot light radiation using high-speed time resolved spectroscopy. Higher ion charge state lines start to emit first, being followed by lower charge state lines. Finally, atomic lines appeared after the delay as long as half microsecond. The latter fact correlates with exactly the same delay of resonant absorption by spot plasma at atomic lines.

P 8.12 Di 16:35 INP-Staffelgeschoß

**Design of arbitrary bias waveforms for tailored ion bombardment during plasma processing** — ●TIM BALONIAK, RÜDIGER REUTER, and ACHIM VON KEUDELL — AG Reaktive Plasmen, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland

Substrate biasing is an established technique to control and adjust material properties during thin film deposition from a plasma. The energy distribution function of the ions impinging onto the substrate (IEDF) is manipulated by the external bias voltage. Optimal ion bombardment can significantly improve film properties like hardness, adhesion, crystallinity, or wear resistance. In our contribution, we report about the quantitative measurement of ion energy distribution functions on arbitrarily biased substrates. The measurements are performed in a magnetically enhanced, capacitively coupled argon discharge, which is heated by 13.56 and/or 71 MHz. An aluminum target is mounted on the powered electrode. The substrates are placed on an arbitrarily biased electrode driven by RF waveforms at 1 MHz. A miniaturized, floating retarding field analyzer allows for IEDF measurements on the biased substrate holder. The energy distributions are found to be good replica of the bias waveforms applied to the substrate, eventually skewed by collisions at higher pressures. Our findings allow to design tailored waveforms for optimal ion bombardment and thus, optimal film properties.

P 8.13 Di 16:50 INP-Staffelgeschoß

**Standing Waves and Landau Damping in a Flat Coil Helicon Discharge** — •YUSUF CELIK, DRAGOS L. CRINTEA, CHRISTOPHER ISENBURG, RACHEL FAINBLAT, DRIK LUGGENHÖLSCHER, and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr University Bochum, 44780 Bochum

The field structure and the heating mechanism in a Helicon discharge in Argon are investigated. The discharge is excited by a flat coil antenna in the azimuthally isotropic  $m = 0$  mode. Radial B-Dot measurements confirm that the azimuthal B field component is proportional to the derivative of the axial component. An analysis of transversal wave vector spectra demonstrates that mainly one transversal wave vector contributes to the axial helicon field. Operation is only possible at certain ratios of power to static magnetic field strength. These ratios are identified as modes of standing waves by axial B-Dot probe measurements. In modes showing a strong damping of the wave, the inferred phase velocity is close to the electron thermal velocity. The electron density and temperature are obtained by Langmuir probe measurements. An analytical standing wave model including Landau damping and Coulomb collisions reproduces very well the experimental results. From this comparison it can be clearly concluded that Landau damping of electrons travelling along the field lines at speeds close to the

helicon phase velocity is the main damping mechanism. Supported by DFG via GK 1051.

P 8.14 Di 17:05 INP-Staffelgeschoß

**Plasma series resonance effect and change from capacitive to inductive coupling in low-pressure RF inductively coupled plasmas** — •PHILIPP KEMPKES — Institut für Experimentalphysik V, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Germany

RF inductively coupled plasmas (ICPs) are capable of two operational modes, the so-called E and H mode, between which usually no smooth variation exists, but a more or less sharp transition. The E mode is dominated by capacitive coupling and consequently shows characteristics of capacitively coupled plasmas (CCPs), which manifests itself in the occurrence of the so-called plasma series resonance effect. We present a description of the effect in terms of a lumped-element circuit model and demonstrate that it can be used to distinguish whether capacitive or inductive power coupling is dominant. Further, the dynamics of the transition from the E mode to the H mode is investigated experimentally, and the results are compared to a time-resolved global model.