

P 13: Poster: Niedertemperaturplasmen

Time: Tuesday 16:30–19:00

Location: Poster.III

P 13.1 Tue 16:30 Poster.III

Plasma discharge characterization of medical argon plasma coagulation (APC) system — ●SANDRA KELLER^{1,2}, NIKITA BIBINOV¹, ALEXANDER NEUGEBAUER², KLAUS FISCHER², MARKUS ENDERLE², and PETER AWAKOWICZ¹ — ¹Department of Electrical Engineering and Information Technology, Institute for Electrical Engineering and Plasma Technology, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Germany — ²ERBE Elektromedizin GmbH, 72072 Tübingen, Germany

APC is a surgical technique to treat biological tissue by a transient argon plasma discharge at atmospheric pressure. The APC plasma discharge is mainly used for devitalisation of residual adenoma and coagulation of pathological tissues during surgical applications.

Today, the effect of the plasma discharge to the degree of tissue damage (like devitalisation, coagulation, desiccation etc.) is not fully clarified.

To overcome this issue, we characterized the plasma discharge applied to biological tissue by microphotography, current-voltage measurements, and microscopy. A combination of microphotography and current-voltage measurements was used to determine the kind of plasma discharge, whereas microscopy was used to determine the tissue damage generated by the APC plasma discharge.

Additionally, we combined the results of microphotography, current-voltage measurements, and microscopy to assign the effect of an APC plasma discharge on the biological tissue damage.

P 13.2 Tue 16:30 Poster.III

Räumlich und zeitlich aufgelöste Optische Emissionsspektroskopie an atmosphärischen Plasmoiden — ●SINAN KALAFAT^{1,2}, URSEL FANTZ^{1,2}, ROLAND FRIEDL^{1,2}, MARTIN KAMMERLOHER² und ALEXANDER OSWALD² — ¹Lehrstuhl für Experimentelle Plasmaphysik, Universität Augsburg, 86135 Augsburg — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, 85748 Garching

Durch eine Hochspannungsentladung in einem Wassergefäß entsteht ein autonomes, sich kurzzeitig selbsterhaltendes Plasmagebilde. Diese kugelförmigen Leuchterscheinungen weisen Ähnlichkeiten zu Kugelblitzphänomenen auf, daher hat dieses Experiment auch unter dem Namen Kugelblitzexperiment bereits aufsehen erregt. Ein Versuchsaufbau, welcher in der Lage ist ein solches Plasma zu erzeugen, wurde im Jahr 2002 an der Humboldt-Universität zu Berlin von der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Gerd Fußmann aufgebaut, wobei erste systematische Untersuchungen der Plasmaparameter bereits durchgeführt wurden [1]. Dieses Experiment wurde kürzlich an das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching bei München transferiert. Im Zuge dessen wurde das Experiment um weitere Variationsparameter ergänzt welche u.a. die elektrisch zugeführte Energie beeinflussen. Auswirkungen der Parameter z.B. auf die Größe, Geschwindigkeit und die autonome Phase werden vorgestellt. Die Ortsaufgelöste OES ermöglicht zudem einen Einblick in die zeitliche und räumliche Dynamik des Plasmoids sowie den Ablauf chemischer Prozesse.

[1] A Versteegh, K Behringer, U Fantz, G Fussmann, B Juttner and S Noack, Plasma Sources Sci. Technol. 17 (2008) 024014 (8pp)

P 13.3 Tue 16:30 Poster.III

Secondary electron emission from dielectric surfaces due to de-excitation of impacting meta-stable nitrogen molecules — JOHANNES MARBACH, ●FRANZ XAVER BRONOLD, and HOLGER FEHSKE — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, D-17489 Greifswald, Deutschland

De-excitation of meta-stable molecules at the dielectric covering one of the electrodes of a dielectric barrier discharge is one of the main surface-based secondary electron emission channels controlling, together with wall recombination and various volume-based charge production and destruction processes, the overall charge balance and hence the operation mode of such a discharge. Secondary electrons, entering simulations of bounded plasmas via various secondary electron emission coefficients γ , strongly affect the results of the such simulations. Yet, little is quantitatively known about the γ coefficients. In our previous work [1] we set up a generic effective model for the underlying molecule-surface collision and used it to theoretically investigate Auger de-excitation of meta-stable nitrogen molecules at metallic surfaces. Now, with an eye on dielectric barrier discharges, we apply this model

to dielectric surfaces where we find the de-excitation with subsequent electron release to be mediated by the shape resonance of the negative nitrogen ion. To calculate the associated γ coefficient we combine the Keldysh Green function technique used in [1] with rate equations. Numerical results are presented for Al_2O_3 , MgO , and SiO_2 and discussed with respect to their implications for dielectric barrier discharges.

[1] J. Marbach et al., Phys. Rev. B **84**, 085443 (2011).

P 13.4 Tue 16:30 Poster.III

Gas and vibrational temperatures of a magnetic X-point discharge — ●TSANKO VASKOV TSANKOV and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44780 Germany

Measurements of the molecular hydrogen Fulcher- α bands have been performed in a magnetic X-point discharge. The interpretation of the line intensities provides the rotational and vibrational temperatures in the source and the gas temperature is inferred from the rotational one. The results reveal that the gas temperature is increasing with the RF power, while the vibrational temperature remains relatively constant in the studied range of RF powers.

Further, a concept for existence of an optimum vibrational temperature for the volume negative hydrogen ion production is introduced. Estimations show that this optimum vibrational temperature lies close to the experimentally measured one, supporting the idea that the source design offers certain advantages over the classical ones in terms of negative ion production.

P 13.5 Tue 16:30 Poster.III

Analysis of a HPPMS system — ●SARA GALLIAN, DENIS EREMIN, DANIEL SZEREMLEY, TORBEN HEMKE, THOMAS MUSSENBRÖCK, and RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

The High Power Pulsed Magnetron Sputtering (HPPMS) technique has gained substantial interest in both academic and industrial environments. Its most valuable features are: the high ionization degree of the sputtered material it allows to achieve, and the improved quality of the film deposited even on complex-shaped substrates. Several are the issues related to the modeling of a HPPMS: dense plasma in a strong magnetic field, high ionization degree of the sputtered material, strong gas rarefaction and anomalous electron transport due to instabilities. In this paper, we present a simplified analytic approach to address what we believe are the most fundamental physical phenomena and some preliminary results obtained by means of hybrid models. The authors gratefully acknowledge the support by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) via collaborative research centre SFB-TR 87.

P 13.6 Tue 16:30 Poster.III

V.II - Ein lineares Experiment mit offenen Feldlinien zur Untersuchung magnetischer Rekonnexion — ●ADRIAN VON STECHOW¹, OLAF GRULKE¹ und THOMAS KLINGER^{1,2} — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Greifswald — ²Ernst Moritz Arndt-Universität Greifswald

Magnetische Rekonnexion ist ein Prozess, bei dem eine topologische Umordnung des Magnetfeldes mit anschließender Freisetzung von Energie auf kleinen Längen- und Zeitskalen stattfindet. Dieser Vorgang findet an der Grenzschicht zwischen entgegengesetzten Magnetfeldern statt, wie sie in z.B. magnetosphärischen Plasmen, aber auch in Fusionsplasmen vorkommen. Das lineare und magnetisierte Plasmaexperiment VINETA wurde dahingehend modifiziert, dass in der azimuthalen Ebene Rekonnexion durch einen Stromtrieb in axialer Richtung ermöglicht wird. Dabei entstehen große axiale elektrische Felder. In offener Feldlinienkonfiguration ist der resultierende Plasmastrom jedoch durch das Bohmkriterium begrenzt. Daher wurde eine Elektronenquelle ("Plasma Gun") entwickelt, die Ladungsträger für den Stromfluss zur Verfügung stellt. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse erster Rekonnexionseignisse in der Anlage vorgestellt und die für die Charakterisierung der Rekonnexion entscheidenden axialen Ströme und Felder betrachtet.

P 13.7 Tue 16:30 Poster.III

Charakterisierung einer Plasma Gun zum Stromtrieb in Plas-

men — ●MATTHIAS SCHUMANN², OLAF GRULKE¹ und THOMAS KLINGER^{1,2} — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Greifswald — ²Ernst Moritz Arndt-Universität Greifswald

Elektromagnetische Phänomene in Plasmen setzen einen elektrischen Plasmastrom voraus. Grundsätzlich sind Ströme in berandeten Plasmen durch das Bohmkriterium limitiert. Um dennoch einen großen Strom im Plasma zu erzeugen, wurde eine sogenannte „Plasma Gun“ verwendet, die auf der Basis einer Bogenentladung freie Ladungsträger (sekundäre Elektronen) erzeugt. Die Plasma Gun wird mit einem Pulse Forming Network (PFN) betrieben, dessen Charakteristik konsistent mit Ergebnissen einfacher Simulationen ist. Dieses stellt die benötigten Strompulse von bis zu 1 kA und einer Dauer von ca. 60µs zur Verfügung. In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse der Experimente vorgestellt, die im linearen Plasmaexperiment VINETA durchgeführt wurden. Es werden Messungen der zeitlichen Stromprofile des primären und des sekundären Stromes vorgestellt und deren Abhängigkeiten von den Entladungsparametern charakterisiert. Besonderes Augenmerk wird auf die Maximierung des resultierenden Stroms im Plasma gelegt.

P 13.8 Tue 16:30 Poster.III

Laser Induced Fluorescence measurements of wave phenomena in the VINETA experiment. — ●DAMIAN NIEMCZYK¹, OLAF GRULKE¹, and THOMAS KLINGER^{1,2} — ¹Max-Planck-Institute for Plasma Physics, EURATOM Association, Greifswald — ²Ernst-Moritz-Arndt University, Greifswald

Laser induced fluorescence (LIF) provides a non-intrusive diagnostic method to determine the ion energy distribution function (IEDF) and its perturbations by electromagnetic fields of, e.g., wave phenomena. Temporal changes in the IEDF yield information about the wave's electric field. This method is demonstrated in the experiment VINETA for electrostatic and electromagnetic waves. The used LIF scheme consists of a diode laser with a center wavelength of 668.61nm, a tuning range of 30pm, and CW operation power of 40mW. Temporal resolution can be achieved by using either a digital lock-in-amplifier or a transient recorder built on a digital acquisition card. Further discrimination of the induced fluorescence signal with respect to the phase of the wave, can be achieved if the chopping of the laser signal is done with a frequency much higher than the wave's frequency. Inversion of the Vlasov equation then yields the wave's electric field.

P 13.9 Tue 16:30 Poster.III

Plasmabehandlung bei Atmosphärendruck zur Reduktion von Silbersulfid für die Restaurierung historischer Stickereien — PHILIPP STEINKE, ●BENJAMIN GRAFFEL und FRANK-HOLM RÖGNER — Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik, Dresden

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Auswirkungen einer Plasmabehandlung auf Seide-Silber kombinierte Objekte, wie sie in Form von historischen Silberstickereien und -webereien vorkommen, durchgeführt. Es wurde die Wirkung eines dielektrisch behinderten Entladungplasmas bei Atmosphärendruck mit H₂ als Reaktivgasbeimischung auf eine Ag₂S-Schicht untersucht. Die Einwirkung sollte thermisch, chemisch und mechanisch möglichst schonend erfolgen. Zunächst wurde ein Referenzsystem hergestellt, welches ähnliche chemische und physikalische Eigenschaften wie das Original aufweist. Dafür wurden Silberrenden in einer temperierten K₂S_x-Lösung mit einer Ag₂S-Schicht versehen. Am Referenzsystem konnte gezeigt werden, dass die Plasmabehandlung zu den gewünschten Reduzierungsergebnissen führt, wobei die thermische Belastung gering gehalten werden kann. Eine Anwendung auf historische Objekte stellte sich jedoch als anspruchsvoller dar. Eine über einen sehr langen Zeitraum und unter atmosphärischen Einflüssen gewachsene Ag₂S-Schicht ist schwieriger zu reduzieren als eine nasschemisch und im Vergleich dazu relativ schnell gewachsene Schicht. Die Ergebnisse der historischen Proben zeigen eine Reduktion, für die jedoch eine intensivere Einwirkung erforderlich ist.

P 13.10 Tue 16:30 Poster.III

Investigation of laterally self-organised structures in DBD using triple correlation functions — ROBERT WILD and ●LARS STOLLENWERK — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald, Felix-Hausdorff Str. 6, 17489 Greifswald

The diffuse mode of a dielectric barrier discharge shows under certain conditions ($p \approx 200$ hPa, $f \approx 10...200$ kHz, $d < 1$ mm) deviations in

the lateral homogeneity of the light emission density. The formation of self-organised structures may then be favoured. In this contribution the transition from a hexagonally patterned discharge to a random distribution of filaments during a voltage reduction is observed and investigated. The patterns are examined by the 2D fourier transformation as well as with triple correlation functions. Following this, a further quantity is introduced that corresponds to the quality of the pattern. It is shown that this quantity bifurcates supercritically during the transition of the two structures. It is furthermore shown that the bifurcation voltage of the angular order does not coincide with the bifurcation voltage of the radial order. The latter generally occurs at a lower voltage.

This work has been funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft, SFB-TRR 24, B14.

P 13.11 Tue 16:30 Poster.III

Simulation study of capacitive hydrogen discharges using asymmetric voltage waveforms — ●SEBASTIAN MOHR, EDMUND SCHÜNGEL, JULIAN SCHULZE, and UWE CZARNETZKI — Ruhr-Universität Bochum

Capacitive RF-discharges are commonly used for surface treatments like the deposition of thin films. For industrial applications, the independent control of the ion flux to and the mean energy of the ions impinging on the surfaces is desired. Experiments [1] and 1D3v-PIC/MCC-simulations [2] have shown, that this independent control is possible by applying a fundamental frequency and its second harmonic to the powered electrode. This way, even in geometrically symmetric discharges, as they are often used in industrial reactors, a discharge asymmetry can be induced electrically, hence the name Electrical Asymmetry Effect (EAE). The asymmetry and, therefore, the ion energy can be controlled by the phase between the two frequencies. Many industrial processes require gas mixtures containing hydrogen, e.g. hydrogen-silane discharges to deposit silicon films. We simulate electrically asymmetric discharges containing hydrogen using the Hybrid Plasma Equipment Model (HPEM) [3]. First results are presented and unique effects such as field reversals, which may occur in hydrogen discharges, are discussed. Funding by the German Ministry for the Environment (0325210B)

[1] J. Schulze *J. Phys. D: FTCS* **42** 092005

[2] Z. Donkó *J. Phys. D* **42** 025205

[3] M. Kushner *J. Phys. D* **42** 194013

P 13.12 Tue 16:30 Poster.III

A parallel 2D multigrid method for GPUs — ●CHRISTIAN SCHILLING, DENIS EREMIN, RALF PETER BRINKMANN, and THOMAS MUSSENBRÖCK — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

While Poisson's equation in one dimension can be efficiently solved using the TDMA method, finding a solution for two dimensional problems requires significant computational effort. One widely used approach to solve large multidimensional systems is the iterative multigrid method of which many CPU based implementations are available. The method mainly consists of lots of interpolation operations which are intrinsically parallel and therefore is potentially a good candidate to execute on a GPU. We will show a variant of multigrid that can run on GPUs and is significantly faster than currently available CPU based implementations.

The authors gratefully acknowledge the support by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) via collaborative research centre SFB-TR 87.

P 13.13 Tue 16:30 Poster.III

Time dependent density of metastable nitrogen molecules in barrier discharges — ●SEBASTIAN NEMSCHOKMICHAL and JÜRGEN MEICHSNER — Institute of Physics, University of Greifswald

Barrier discharges at atmospheric pressure are typically filamentary, but under certain conditions a diffuse mode exists, e.g. in pure nitrogen. One reason for the diffuse mode might be the existence of metastables, which can release electrons in the volume or at surfaces by Penning-processes. For a better understanding of the interaction between plasma particles and surfaces a new discharge configuration has been developed with a BSO crystal and a glass plate as dielectrics (1 mm gap width) to investigate the density of metastables together with surface charges and discharge development.

This contribution focuses on the behaviour of the metastable $A^3\Sigma_u^+$, $v = 0$ state of the nitrogen molecule, whose density has been measured by laser induced fluorescence spectroscopy (LIF). The abso-

lute calibration has been done by the comparison with Rayleigh scattering. Typical densities are about $3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ at 500 mbar in the filamentary mode in pure nitrogen. By focussing and triggering the laser with the driving voltage it was possible to determine the density of metastables phase resolved each 0.2 mm in front of the dielectrics. The measurements show a larger density in front of the anode. Furthermore, the maximum of the density has a delay of several microseconds with respect to the appearance of microdischarges.

P 13.14 Tue 16:30 Poster.III

Magnetic Field and Current Profile Diagnostics for the VINETA II Magnetic Reconnection Experiment — •HANNES BOHLIN¹, OLAF GRULKE¹, and THOMAS KLINGER^{1,2} — ¹MPI for Plasma Physics, EURATOM Association, Greifswald — ²Ernst-Moritz-Arndt University, Greifswald

Magnetic reconnection is a topological rearrangement of magnetic fields through the breaking and reconnection of magnetic field lines. It plays an important role in many space plasmas, such as solar flares, as well as in some laboratory processes. Essential to the study of reconnection is the ability to characterize the magnetic field and the current density. Diagnostic tools for magnetic field and current measurements, as being used in the VINETA II (V.II) experiment, are presented. An array of induction coils will be used for determining the spatiotemporal evolution of the magnetic field, and hence parameters such as the reconnection rate and current density. Current profile measurements will be done using a small Rogowski coil that can be scanned through the entire plasma cross section using a high precision positioning system.

P 13.15 Tue 16:30 Poster.III

Eigendynamics of Plasma Filled Spherical Microwave Cavity — •ALI ARSHADI, THOMAS MUSSENBRÖCK, and RALF PETER BRINKMANN — Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, 44780 Bochum

To fully understand and improve resonance based diagnostic techniques for technological plasmas, the knowledge of complex dynamical behavior of bounded plasmas is crucial. In order to find relations between spatially distributed plasma parameters and the resonance modes of the system, an analytical model is set up. The model is based on the cold plasma approximation coupled with the full set of Maxwell's equation. The reactor itself is assumed to be a plasma filled spherical cavity in order to allow for an analytical treatment of the model. In this contribution the eigenvalues and eigenmodes of the system are calculated and their dependence on the plasma parameters is discussed.

Acknowledgment: Financial support by the Ruhr-University Bochum Research School is gratefully acknowledged.

P 13.16 Tue 16:30 Poster.III

Ein Analytisches Randschichtmodell für RF-modulierte CCPs — •HOMAYOUN HATEFINIA, MOHAMMED SHIHAB, ABD ELFATTAH ELGENDY and RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik- Ruhr-Universität Bochum

Hochfrequenz-modulierte Plasmen spielen in den Materialverarbeitungstechnologien eine zentrale Rolle. Bei den Wechselwirkungen zwischen Plasma und der zu verarbeitenden Oberfläche übernimmt die Ionendynamik die Hauptrolle. Viele Plasma-Prozesse werden beispielsweise in PIC simuliert. Simulationen haben den Vorteil, verlässlich zu sein. Auf der anderen Seite sind sie sehr zeit- und kostenaufwendig. Auch zahlreiche analytische Methoden zur Beschreibung der Plasma-Vorgänge sind bereits entwickelt worden. Diese sind in der Regel mathematisch sehr komplex. Sie sind deshalb nur bedingt brauchbar. Dieser Beitrag handelt von einem einfachen analytischen Randschichtmodell. In Abhängigkeit von den externen Kontrollparametern wie Gesamtstrom, Gasdruck, Elektronentemperatur, Betriebsfrequenz und der Plasma-Dichte erzeugt das Modell das räumlich aufgelöste Potential, sowie das elektrische Feld, aber auch die Funktionen der Ionen- und Elektronendichte als algebraische Ausdrücke. Die Ladungsspannungscharakteristik der Randschicht wird anhand der gewonnenen Ergebnisse hergeleitet, was es erlaubt, die Randschicht als ein nicht-lineares Schaltungselement mit konzentrierten Parametern in die Berechnungen der Heizungsprozesse im Bulk, wie selbsterregte Plasmaserienresonanzen miteinzubeziehen.

P 13.17 Tue 16:30 Poster.III

Symmetry breaking in high power pulsed magnetron sputtering (HPPMS) discharges - a phenomenological model — •SARA GALLIAN¹, DENIS EREMIN¹, DANIEL SZEREMLEY¹, THOMAS

MUSSENBRÖCK¹, RALF PETER BRINKMANN¹, ANTE HECIMOVIC², TERESA DE LOS ARCOS², VOLKER SCHULZ-VON DER GATHEN², MARC BÖKE², JÖRG WINTER², and WILLIAM N. G. HITCHON³ — ¹Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum — ²Lehrstuhl für Experimentalphysik II, Ruhr-Universität Bochum — ³Department of Electrical and Computer Engineering, University of Wisconsin-Madison

High power pulsed magnetron sputtering (HPPMS) is a recently developed IPVD (ionized physical vapor deposition) technique. In contrast to DC magnetrons, HPPMS discharges are operated with pulsed power sources, characterized by peak power densities of several kW, pulse durations of a few hundred microseconds, and repetition rates of a ten Hertz. Recently, it was found experimentally that HPPMS discharges exhibit pronounced spatio-temporal behavior, notably an instability which breaks the axial system of the setup. In this contribution we present a phenomenological model of that phenomenon, cast as a system of nonlinearly coupled partial differential equations for the plasma density n_e and the neutral gas density n_N . Analytical solutions for the model are presented and a comparison with experimental data is given. The authors acknowledge funding by the Deutsche Forschungsgemeinschaft within the frame of SFB-TR 87.

P 13.18 Tue 16:30 Poster.III

Simulation and measurements of an inductively coupled hydrogen plasma for sterilization processes — •MAX ENGELHARDT¹, BENJAMIN DENIS¹, TIM STYRNOLL¹, NIKITA BIBINOV¹, THOMAS MUSSENBRÖCK², and PETER AWAKOWICZ¹ — ¹Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik, Ruhr-Universität Bochum — ²Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

Usability of plasmas for sterilization of medical devices is numerously investigated [1]. Especially sterilization of heat-sensitive materials is an advantage of plasma based sterilization. In order to generate a broad VUV spectrum, a hydrogen discharge can be used. Aim of this work is to simulate a hydrogen discharge in a double inductively coupled plasma (DICP) reactor. The simulation computes density distributions and surface fluxes of species in the discharge. This gives insight in not only the quantity of produced radiation, but also allows a calculation of heat flux onto the sterilized object. The simulation is done with the Hybrid Plasma Equipment Model (HPM) [2]. The results of the simulation are verified with experimental data measured with a Langmuir probe system [3], which can record spatially resolved electron density and electron temperature. Additionally, measurements with optical emission spectroscopy are done and compared to corona model calculations from the simulation. [1] H Halfmann et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 40 (2007) 4145-4154 [2] M Kushner, J. Phys. D: Appl. Phys. 42 (2009) 194013 [3] P Scheubert et al., 2001, J. Appl. Phys. 90 587

P 13.19 Tue 16:30 Poster.III

Spektral-kinetische Simulation der Multipolresonanzsonde — •WLADISLAW DOBRYGIN, DANIEL SZEREMLEY, JENS OBERRATH, DENIS EREMIN, THOMAS MUSSENBRÖCK and RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

Die Multipolresonanzsonde (Multipole Resonance Probe = MRP) ist eine vielversprechende Umsetzung der aktiven Plasmaresonanzspektroskopie. Messungen mit der MRP zeigen, dass kinetische Effekte im Druckbereich von einigen Pascal und geringer eine wichtige Rolle spielen [1]. Um diese Effekte zu erklären kann eine spektral-kinetische Simulation, die in diesem Beitrag vorgestellt wird, verwendet werden. Diese Simulation ist vorerst aus einem Poisson-Solver und einem Teilchen-Pusher aufgebaut. Aufgrund der kugelförmigen Geometrie der idealisierten MRP und der Annahme einer Punktladungsverteilung kann die Poisson-Gleichung durch eine Entwicklung in Kugelflächenfunktionen im gesamten Simulationsgebiet analytisch gelöst werden. Mit Hilfe des analytisch berechneten Potentials ergibt sich der Vorteil einer Grid-unabhängigen Berechnung der Kraft auf jedes Teilchen. Mit der Kraft wird die Geschwindigkeit dieser Teilchen über die Bewegungsgleichung in Kugelkoordinaten ermittelt. Der Abschluss eines Rechenzyklus bildet die Bestimmung der Teilchenpositionen aus den Geschwindigkeiten. Damit ist eine stoßfreie kinetische Simulation der MRP möglich, die mit Messungen verglichen werden soll. [1] T. Styrnoll et al., Bulletin of the APS Vol. 53, No.7, DTP 176 (2010)

P 13.20 Tue 16:30 Poster.III

Experimental study of capacitive discharges used for thin

film deposition driven by asymmetric voltage waveforms — ●EDMUND SCHÜNGEL, SEBASTIAN MOHR, JULIAN SCHULZE, and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum

The application of a voltage waveform consisting of two consecutive harmonics is a promising method for controlling the symmetry of capacitively coupled radio frequency (CCRF) discharges. The key parameter is the phase angle between the two driving frequencies. By changing the phase angle, the sheath widths and voltages as well as the mean ion energies at the electrode surfaces can be varied, while the plasma density and ion flux are kept constant. After detailed fundamental investigations of the Electrical Asymmetry Effect (EAE) in argon [1], its effectiveness has also been proven in electronegative [2] plasmas. Here, we show an experimental study of the EAE in the regime of CCRF discharges typically used for silicon thin film deposition purposes, e.g. in solar cell manufacturing. First results in hydrogen and hydrogen-silane gas mixtures at total gas pressures of several hundred Pascal will be discussed.

Funding by the German Federal Ministry for the Environment (0325210B) is gratefully acknowledged. [1] U. Czarnetzki et al. Plasma Sources Sci. Technol. 20 (2011) 024010 [2] J. Schulze et al. Plasma Sources Sci. Technol. 20 (2011) 045008

P 13.21 Tue 16:30 Poster.III

Mikroplasma unterstützte Metamaterialien — ●JAN TRIESCHMANN und THOMAS MUSSENBRÖCK — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum

Im Bereich der Hochfrequenztechnik und Photonik sind künstlich strukturierte Materialien, sog. Metamaterialien, wegen ihrer außerordentlichen elektromagnetischen Eigenschaften ein sehr spannendes Forschungsfeld mit interessanten Anwendungen. In photonischen Kristallen mit (üblicherweise dielektrischen) periodischen Strukturen auf Skala der Wellenlänge erlauben elektromagnetische Bandlücken, die Wellenausbreitung in bestimmten Bereichen zu unterdrücken. Weiterhin ermöglichen gezielt eingebrachte Defektstellen Wellenleitereigenschaften. In dieser Arbeit wird der Einfluss von Mikroplasmen auf die photonische Struktur mittels FDTD Simulationen und nachfolgender Fourieranalyse untersucht. Mikroplasmen innerhalb der Kristallstruktur ermöglichen es, die Ausbreitungseigenschaften von Wellen signifikant zu verändern und sogar die Wellenausbreitung dynamisch zu unterbinden. Durch Simulationen wird die entsprechende Wechselwirkung der elektromagnetischen Wellen mit Mikroplasmen weiter charakterisiert und verifiziert.

P 13.22 Tue 16:30 Poster.III

Numerische Simulation von industriellen DC-Magnetron-Sputteranlagen — ●SVEN DIRKMANN, DANIEL SZEREMLEY, TORBEN HEMKE, RALF PETER BRINKMANN und THOMAS MUSSENBRÖCK — Lehrstuhl Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität-Bochum

Die DC-Magnetronentladung stellt seit vielen Jahren eines der wichtigsten Werkzeuge der Beschichtungsindustrie dar. Der Vorteil gegenüber alternativen Konzepten liegt in der hohen Beschichtungsrate von Metallen und Oxiden begründet.

Die hohe Beschichtungsrate ist indirekt das Ergebnis des hohen Ionisationsgrades und dem damit verbündenden effizienten Sputtern. Obwohl DC-Magnetronentladungen schon lange etabliert sind, ist die experimentelle Charakterisierung des Plasmas und der während der reaktiven Sputterphase an der Targetoberfläche stattfindenden Prozesse nur sehr eingeschränkt möglich.

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der numerischen Fluid-Simulation einer industriellen DC-Magnetron-Sputteranlage mit dem Ziel, den Sputterprozess in geeigneter Weise in den einzelnen Phasen zu beschreiben.

P 13.23 Tue 16:30 Poster.III

Particle-In-Cell Simulation magnetisierter Hochfrequenzplasmen — ●JAN TRIESCHMANN, SARA GALLIAN, DENIS EREMIN, RALF PETER BRINKMANN und THOMAS MUSSENBRÖCK — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum

Kapazitive Hochfrequenzplasmen spielen im Zusammenhang mit Plasmaätzen, Deposition und Oberflächenmodifikation im Allgemeinen eine wichtige Rolle. Die Plasmen, die häufig als Mehrfrequenzplasmen ausgelegt sind, werden typischerweise bei Gasdrücken im Pascal- und sogar im Sub-Pascal-Bereich betrieben. Um trotz der sehr niedrigen Gasdrücke hohe Plasmadichten zu gewährleisten, werden statische Ma-

gnetfelder eingesetzt. Diese haben implizit auch Einfluss auf die Ionenenergieverteilungsfunktionen (IEDFs) und die Möglichkeiten ihrer Einstellung. Auf der Basis von selbstkonsistenten kinetischen Simulationen beschäftigt sich der Beitrag mit der Frage, inwieweit es möglich ist, die IEDF bei magnetisch unterstützten Hochfrequenzplasmen einzustellen und bestimmten Anforderungen anzupassen.

Diese Arbeit wird im Rahmen des SFB-TR 87 durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert.

P 13.24 Tue 16:30 Poster.III

Numerische Simulation des Bounce-Resonanz-Effekts in kapazitiven Hochfrequenzplasmen — ●SEBASTIAN WILCZEK, JAN TRIESCHMANN, DENIS EREMIN und THOMAS MUSSENBRÖCK — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum

Kapazitive Hochfrequenzplasmen werden zur Oberflächenmodifikation häufig bei extrem niedrigen Gasdrücken betrieben. Die Gasdrücke liegen nicht selten im Bereich zwischen 1 und 5 Pa, wo die Heizung der Elektronen nicht mehr durch Stöße mit den Atomen des neutralen Hintergrundgases (Ohmsche Heizung), sondern durch die stochastische Heizung getragen wird. Hierbei kommt es zum Impulsübertrag von der oszillierenden Randschicht auf die Elektronen. Die jetzt energetischen Elektronen bewegen sich nahezu stoßfrei durch die Entladung und treten mit der Randschicht vor der gegenüberliegenden Elektrode in Wechselwirkung. Für eine bestimmte Kombination von Oszillationsfrequenz der Randschichten und Elektrodenabstand kommt es nun erneut zu einem Impulsübertrag von der Randschicht auf die Elektronen. Die Elektronen gewinnen erneut Energie und bewegen sich zurück. Dieser Effekt, der als Bounce-Resonanz-Effekt bezeichnet wird, wird mittels selbstkonsistenter kinetischer Simulation des Bounce-Resonanz-Effektes beschrieben. Der Beitrag diskutiert den Zusammenhang zwischen Plasmaparametern und dem resonanten Elektrodenabstand.

Diese Arbeit wird im Rahmen des SFB-TR 87 durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert.

P 13.25 Tue 16:30 Poster.III

Time dependent charge-voltage characteristic for RF modulated sheath — ●MOHAMMED SHIHAB¹, ABD ELFATTAH ELGENDY¹, IHOR KOROLOV², ARANKA DERZSI², JULIAN SCHULZE³, DENIS EREMIN¹, ZOLTAN DONKO², THOMAS MUSSENBRÖCK¹, and RALF PETER BRINKMANN¹ — ¹Ruhr-University Bochum, Institute for Theoretical Electrical Engineering, D-44780 Bochum, Germany — ²Research Institute for Solid State Physics and Optics, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary — ³Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, Germany

Low pressure capacitively coupled plasmas are widely used in plasma processing and microelectronics industry. Understanding the dynamics of the boundary sheath is a fundamental problem. In this contribution, we investigate the nonlinear dynamics of modulated RF plasma boundary sheath employing a self-consistent kinetic boundary sheath model termed "Ensemble In Spacetime", Particle In Cell (PIC) model, and an analytical model. Asymmetric sheath dynamics is observed for the intermediate RF regime, i.e., when the ion transit time is of the order of the RF period. The ion inertia causes an additional phase difference between the expansion and the contraction phase of the plasma sheath leading to a hysteresis relation for the charge-voltage characteristics. The financial support from the Federal Ministry of Education and Research within the frame of the project "Plasma Technology Grid" and the support of the DFG via the SFB TRR87 is gratefully acknowledged.

P 13.26 Tue 16:30 Poster.III

Dichte metastabiler Argon-Atome in Niederdruck-N₂-Ar-Bogenentladungen — ●DAVID ERTLE¹, ROLAND FRIEDL^{1,2} und URSEL FANTZ^{1,2} — ¹Lehrstuhl für Experimentelle Plasmaphysik, Universität Augsburg, Universitätsstraße 1, 86135 Augsburg — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Boltzmannstraße 2, 85748 Garching

Die Strahlungscharakteristik molekularen Stickstoffs in Niederdruck-Bogenentladungen im mbar-Bereich unter Verwendung von Argon als Hintergrundgas hängt entscheidend von der Konzentration metastabiler Argon-Atome im Plasma ab. Grund hierfür ist die Anregung der Emission des zweiten positiven Systems von N₂ durch Ar-Metastabile im untersuchten Druckbereich von 0,3 mbar bis einige mbar. In einer zylindrischen Entladungsröhre (Elektrodenabstand 280 mm, Durchmesser 26 mm, Betriebsfrequenz 20 kHz) werden N₂-Ar-Bogenentladungen für Anteile von N₂ in Ar von 0% bis 90% auf die

Dichte der Ar-Metastabilen hin untersucht. Die experimentelle Dichtebestimmung wird mittels Weißlicht-Absorptionsspektroskopie entlang eines axialen Sichtstrahls durchgeführt. Es erfolgt eine vergleichende Diskussion experimenteller Resultate mit anhand eines Stoß-Strahlungs-Modells berechneten Werten, um relevante An- und Abregungskanäle zu identifizieren.

P 13.27 Tue 16:30 Poster.III

Numerische Simulation von kapazitiven Mehrfrequenzentladungen für Sputter-Anwendungen — •DANIEL SZEREMLEY¹, STEFAN BIENHOLZ², PETER AWAKOWICZ², RALF PETER BRINKMANN¹ und THOMAS MUSSENBRÖCK¹ — ¹Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik Ruhr-Universität Bochum — ²Lehrstuhl für allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik Ruhr-Universität Bochum

Auf Grund ihrer besonderen Eigenschaften sind kapazitive Mehrfrequenzentladungen ein wichtiges Werkzeug für die Beschichtungstechnik. Insbesondere die Möglichkeit, die Ionen-Energieverteilungsfunktion über einen großen Bereich nahezu frei einstellen zu können macht diese Entladungen zu einem vielversprechenden Kandidaten zur Abscheidung nanostrukturierter Funktionsschichten. In kleineren Laboranlagen konnte effizientes Sputtern gezeigt werden. Eine Hochskalierung bzgl. Größe, Frequenz und Leistung, sowie das Erreichen einer Sputterausbeute vergleichbar mit der von Magnetron-Sputterquellen wirft allerdings Fragen auf, die nur mittels adäquater Experimente und angepasster Simulationen beantwortet werden können.

In diesem Beitrag werden erste numerische Simulationsergebnisse präsentiert, die mittels eines selbstkonsistenten Hybrid-Codes berechnet wurden. Im Mittelpunkt steht dabei die Ionen-Energieverteilungsfunktion, die mittels des elektrischen Asymmetrieffektes eingestellt werden kann. Die numerischen Ergebnisse werden schließlich mit experimentellen Daten verifiziert.

P 13.28 Tue 16:30 Poster.III

Auf dem Weg zum Verständnis von Plasma-Plasma Wechselwirkung: ein einfaches Model eines Mikroplasmas — •ALEXANDER WOLLNY, TORBEN HEMKE, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

Eine neue Atmosphärendruck-Plasma-Quelle stellen die von J. Gary Eden entwickelten Micro Cavity Plasma Arrays (MCPA) dar. Diese in einer Matrix angeordneten Hohlkathodenentladungen haben eine Strukturgröße von einigen 10 μm . Ein Siliziumsubstrat mit Vertiefungen bildet eine Elektrode - die Gegenelektrode ist in ein Dielektrikum, das das Substrat bedeckt, eingebettet. Bei einer Anregung mit einer Frequenz im Bereich von 100 kHz zeigen sich in Abhängigkeit von Druck und Geometrie verschiedenen Wechselwirkungen mit unterschiedlichen Charakteristiken. Um einen Einblick in die Wechselwirkungen zwischen einzelnen Mikroplasmen untereinander in diesem messtechnisch schwer zugänglichen System zu erhalten, wurden Simulationen des Arrays durchgeführt. Die gewonnenen Ergebnisse werden hier vorgestellt.

Diese Arbeit wird im Rahmen der Forschergruppe 1123 *Physics of Microplasmas* von der DFG unterstützt.

P 13.29 Tue 16:30 Poster.III

Ein räumlich aufgelöstes Modell für die Plasmaserienresonanzen in Niederdruckplasmen — •SCHABNAM NAGGARY, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

HF-Ströme weisen eine komplizierte Elektronendynamik auf, welche als Plasmaserienresonanz bezeichnet wird. Diese wird selbst erregte hervorgerufen durch die Zusammenschaltung aus einem nicht-linearen Plasmarandschichtmodell und einem linearen Plasmabulkmodell. Bei asymmetrischen kapazitiv gekoppelten RF-Entladungen tritt dieser Effekt verstärkt auf. Durch die räumliche Ausdehnung des Plasmas hat der HF-Strom eine komplexe multimoden Struktur. Diese führt zu einer hohen Anzahl von Plasmaserienresonanzen. Um die Beeinflussung der Energieeinkopplung in das Plasma durch die selbsterregte Plasmaserienresonanz zu verstehen, ist eine Analyse des HF-Stromes notwendig. Zur möglichst genauen Rekonstruktion des HF-Stromes wird in diesem Beitrag ein Multimodenmodell für das Plasmabulk entwickelt, welches mit zahlreichen Mikrorandschichtmodellen in Reihe zusammengesetzt ist. Der rekonstruierte HF-Strom für einen kugelsymmetrischen Plasmareaktor und eine homogene Dichteverteilung der Elektronen weist mit steigender Modenzahl eine deutlich komplexere Struktur auf. Die berechneten Ergebnisse werden mit gemessenen Daten verglichen.

P 13.30 Tue 16:30 Poster.III

Globale Modelle für den Doppel-ICP-Plasma-Jet — •ALI ARSHADI¹, DENIS EREMIN¹, THOMAS MUSSENBRÖCK¹, RALF PETER BRINKMANN¹, PETER AWAKOWICZ², HORIA-EUGEN PORTEANU³, ROLAND GESCHE³ und KLAUS WANDEL⁴ — ¹Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum — ²Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik, Ruhr-Universität Bochum — ³Ferdinand-Braun-Institut, Berlin — ⁴SENTECH Instruments GmbH, Berlin

Für viele technische Anwendungen bilden mikrowellenbetriebene Plasmajets eine mögliche Alternative zu konventionellen großvolumigen Hochfrequenzreaktoren. Zu ihren vorteilhaften Eigenschaften gehören die geringen Abmessungen und ein hoher elektrischer Wirkungsgrad. Der Doppel-ICP-Plasma-Jet ist eine kürzlich entwickelte Variante, bei dem die Einkopplung der Feldenergie im Wesentlichen induktiv erfolgt. Kernstück des Jets ist ein auf einer Grundfrequenz von etwa 2 GHz schwingender Hohlraumresonator, der in guter Näherung als eine Parallelschaltung zweier zylindrischer Spulen (der Windungszahl eins) mit einem flachen Plattenkondensator aufgefasst werden kann. Durch das Innere der "Spulen" führen jeweils gasdurchströmte Keramikröhrchen, in denen das Plasma brennt. Der Beitrag stellt zwei einfache globale Modelle der Konfiguration vor. Ein "Zündmodell" setzt das Vorliegen des ungestörten Vakuumfeldes voraus und erlaubt eine Untersuchung der Zündbedingungen. Ein komplementäres "Betriebsmodell" basiert auf einer approximativen Darstellung des durch das Plasma veränderten Feldes und beschreibt das Verhalten des Jets im stationären Betrieb. Für beide Modelle wird ein Vergleich mit numerischen Simulationen sowie mit vorliegenden experimentellen Daten durchgeführt.