

P 7: Poster: Modellierung und Simulation von Niederdruckplasmen

Zeit: Dienstag 17:00–19:00

Raum: Foyer

P 7.1 Di 17:00 Foyer

On the determination of electron energy transport coefficients in fluid models — ●MARKUS M. BECKER, DETLEF LOFFHAGEN, and FLORIAN SIGENEGER — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald

Hydrodynamic models are commonly used for the theoretical description of gas discharge plasmas at moderate and high pressure. The hydrodynamic equations are frequently simplified by means of the drift-diffusion assumption for the electron particle and energy density. The diffusion and mobility coefficients for the electron particle flux can be determined in dependence on the mean energy using the local mean energy approximation. The same procedure should be used to determine the energy transport coefficients. However, the energy balance equation is often simplified by the assumption of a Maxwellian electron energy distribution function. In the present contribution, the influence of the latter approach is discussed in detail considering, as an example, a low pressure glow discharge in argon. For comparison, the spatially inhomogeneous Boltzmann equation is solved for a given interelectrode electric field. Pronounced differences between the results especially in the transition region from the cathode fall to the negative glow confirm the importance of correct energy transport coefficients. In addition, it is shown that the common heat flux approximation in full hydrodynamic models, comprising equations for density, momentum and energy, yields results that qualitatively coincide with the results of the drift-diffusion approximation assuming a Maxwellian electron energy distribution function.

P 7.2 Di 17:00 Foyer

The dynamics of the RF sheath in Capacitively Coupled Plasmas — ●MOHAMMED SHIHAB, DENNIS ZIEGLER, and RALF PETER BRINKMANN — Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, 44801 Bochum

The dynamics of the sheath formed in front of a radio frequency (RF) powered electrode controls the energy and angular distribution of ions bombarding the electrode, which in turn affects the deposition rate, etch rate, and etch anisotropy.

In this contribution, we introduce a self consistent model which is able to resolve the ion dynamics in the intermediate RF frequency regime. The effect of ion modulation on plasma parameters like for example the charge within the sheath, the electric field, and the ion energy distribution will be discussed. The model is able to describe realistic process conditions (external bias voltage, nonharmonic modulation of the periodic sheath potential, and the interaction with the neutral background gas) is computationally efficient and at the same time numerically stable.

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 collaborative research center SFB-TR87 is gratefully acknowledged.

P 7.3 Di 17:00 Foyer

Current-voltage characteristics of nonharmonically modulated plasma boundary sheaths — ●ABD T. ELGENDY, RALF PETER BRINKMANN, and HAIMOUN HATEFINIA — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

The dynamics of capacitively coupled RF-discharges is largely dominated by the charge-voltage characteristics of the plasma boundary sheath, which in turn is dependent on the characteristics of the modulation. This contribution focuses on the behavior of the sheath under non-harmonic excitations, such as two-frequency and pulse-like excitation. Mathematical models of different complexity and computational efficiency will be established and compared.

P 7.4 Di 17:00 Foyer

Zur Existenz eines stoßmodifizierten Bohmkriteriums — ●RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

Der Plasma-Schicht-Übergang in stationären Entladungen beliebiger Stoßbestimmtheit wird untersucht. Das analysierte Modell enthält die Kontinuitäts- und Bewegungsgleichung der Ionen, das Boltzmann-Gleichgewicht der Elektronen, sowie die Poisson-Gleichung. Unter der Annahme, dass die Elektronen-Debye-Länge klein gegen die Ionen-

Gradienten-Länge ist, wird eine quasilineare Differentialgleichung erster Ordnung hergeleitet, die sowohl die elektronenverarmte Schicht als auch den deren Übergang in das quasineutrale Plasma beschreibt. Die Eigenschaften einer hebbaren inneren Singularität der Gleichung werden als stoßbestimmtes Bohm-Kriterium interpretiert.

P 7.5 Di 17:00 Foyer

Numerische Simulationen zum Einfluss der Reaktorgeometrie auf Ionenenergie und Ionenbombardment in kapazitiv gekoppelten Plasmen — ●JAN TRIESCHMANN¹, DENNIS ZIEGLER¹, RALF PETER BRINKMANN¹, DIRK HEGEMANN² und THOMAS MUSSENBRÖCK¹ — ¹Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland — ²Empa, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, St. Gallen, Schweiz

Für die Skalierung von Industrieprozessen bei der Plasma-Polymerisation ist der Energieeintrag in das Plasma von signifikanter Bedeutung. [1] Unter Berücksichtigung geometrischer Faktoren erlaubt der globale Parameter "Leistung pro Gasfluss" eine gute Skalierung. Bei der Erzeugung funktionaler Schichten hingegen ist die Beschaffenheit maßgeblich durch das Ionenbombardment und die Wachstumsrate bestimmt. In dieser Arbeit soll der Einfluss der Reaktorgeometrie auf die räumlich aufgelöste Ionendichte und die Variation des Ionenbombardments in verschiedenen Plasmazonen untersucht werden. Es werden Ergebnisse numerischer Simulationen basierend auf der Lösung von Fluidgleichungen vorgestellt und diskutiert. Zur vereinfachten Betrachtung wird eine reine Argonentladung betrachtet. Dies erlaubt in guter Näherung eine Analyse der energetischen Bedingungen im Plasma. Die Untersuchungen sollen zum detaillierten Verständnis bei der Skalierung von Plasmazuständen beitragen.

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

[1] D. Hegemann and U. Schütz, Thin Solid Films 491, 96 (2005).

P 7.6 Di 17:00 Foyer

Simulation of an Inductive Coupled Plasma — ●ROBERT HENRICH¹, LUJING HOU², MARKUS THOMA², DAVAR FEILI¹, and CHRISTIAN HEILIGER¹ — ¹I. Physikalisches Institut, Justus Liebig University Giessen, D-35392, Germany — ²Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik, Garching, D-85748, Germany

Nowadays there are many space missions in planning, which require special thrusters for a high precision positioning of the space crafts. A very promising concept shows the Radiofrequency Ion Thruster (RIT). In this type of ion thrusters the plasma is produced in a gas vessel by inducing a radio frequency discharge. The main values of interest are the ionization degree, electron temperature, plasma density and the losses of the charged particles. The use of a simulation leads to an easy and fast way to optimize the configuration. A further advantage of the simulation is the possibility to predict all plasma parameters without any influence on the system. We investigate the effect of different vessel sizes on the ionization. Furthermore we analyse the influence of the RF-power on the plasma density. Finally we compare the results of our simulations with some experimental data.

P 7.7 Di 17:00 Foyer

Ein räumlich aufgelöstes Modell der Resonanzeffekte in Niederdruck-CCPs — ●SCHABNAM NAGGARY, DENNIS ZIEGLER, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik Ruhr-Universität Bochum, 44801 Bochum, Deutschland

Zur möglichst genauen Rekonstruktion eines in einer kapazitiv gekoppelten Plasmaentladung gemessenen HF-Stroms, wurde bereits ein Plasmamodell mit konzentrierten Parametern entwickelt [1,2]. Dieses Modell ist in der Lage, eine sehr gute Approximation für die Grundmode des HF-Stroms zu liefern. Durch die räumliche Ausdehnung des Plasmas, hat der HF-Strom eine komplexe Multimodenstruktur. Diese bedingt starke selbsterregte Elektronenresonanzeffekte. Zur besseren Auflösung der komplexen Strukturen des HF-Stroms wird ein Multimodenmodell für das Plasmabulk entwickelt. Es wird eine exakte analytische Lösung für die räumlich aufgelöste Impedanzmatrix des Plasmabulks vorgestellt. Diese berücksichtigt eine beliebige Reaktorgeometrie mit beliebiger Dichteverteilung der Elektronen. Anschließend wird explizit die Impedanzmatrix für einen kugelsymmetrischen Plasmare-

aktor und eine homogene Dichteverteilung der Elektronen bestimmt. Der ausgewertete HF-Strom weist mit steigender Modenzahl eine deutlich komplexere Struktur auf. Somit erlaubt das Multimodenmodell eine deutlich verbesserte Rekonstruktion des gemessenen Stroms. [1] D. Ziegler, T. Mussenbrock, and R. P. Brinkmann (2008) Plasma Sources Sci. Technol. **17**, 045011 [2] D. Ziegler, T. Mussenbrock, and R. P. Brinkmann (2009) Phys. Plasmas **16**, 023503

P 7.8 Di 17:00 Foyer

Modellierung der N_2 -Strahlung in Niederdruck-Bogenentladungen mittels Stoß-Strahlungs-Modell — ●ROLAND FRIEDL^{1,2}, URSEL FANTZ^{1,2} und FLORIAN VOGEL¹ — ¹Universität Augsburg, Lehrstuhl für Experimentelle Plasmaphysik, 86135 Augsburg — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, 85748 Garching

Niederdruck-Bogenentladungen mit Stickstoff bzw. N_2 /Ar-Mischungen zeigen über einen weiten Druckbereich eine hohe Emission insbesondere des 1. positiven Stickstoffsystems (B-A-Übergang). Um die relevanten Besetzungsmechanismen der strahlenden Stickstoffniveaus zu identifizieren, wurde die Bandenstrahlung der prominenten N_2 -Systeme (Übergänge $C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$ und $B^3\Pi_g \rightarrow A^3\Sigma_u^+$) mithilfe des Stoßstrahlungsmodells YACORA N_2 modelliert. Experimentell bestimmte Plasmaparameter dienten den Berechnungen als Eingangsparameter. Dabei wurde die Intensität der N_2 -Molekülstrahlung bei Variation der Gasmischung (von 0,1 % N_2 in Argon bis zu 100 % N_2), des Absolutdrucks (10^{-1} bis 10^2 mbar) und des Entladungsstroms (200 bis 500 mA) simuliert. In reinem Stickstoff zeigen die Berechnungen eine gute Übereinstimmung mit den Messwerten, wohingegen zur Anpassung von N_2 /Ar-Entladungen das Modell um Schwerteilchenstöße mit Argon erweitert werden musste, um die gemessene Besetzung des B-Zustandes zu erklären. Die Ergebnisse können dazu dienen, die Emission einer auf Stickstoff basierenden Entladungslampe (als Alternative zum umweltschädlichen Quecksilber) zu optimieren.

P 7.9 Di 17:00 Foyer

Stoß-Strahlungsmodell für molekularen Wasserstoff in Niedertemperaturplasmen — ●DIRK WÜNDERLICH, URSEL FANTZ und NNBI-TEAM — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, 85748 Garching, EURATOM Assoziation

Eine nicht-invasive und einfach anzuwendende Diagnostikmethode zur Bestimmung von Plasmaparametern wie T_e oder n_e ist die optische Emissionsspektroskopie. Um diese in Niedertemperatur-, Niederdruckplasmen zur Bestimmung der Plasmaparameter zu nutzen, sind Stoßstrahlungsmodelle (SSM) nötig. Diese berechnen die Besetzungsdichten der angeregten Zustände im betrachteten Atom oder Molekül und bilanzieren dazu die anregenden und abregenden Prozesse. Die Qualität der Resultate hängt stark von der Qualität der Inputdaten – wie Einsteinkoeffizienten oder Wirkungsquerschnitte für Stoßprozesse – ab. Selbst für das einfachste existierende Molekül H_2 zeigen die für relevante Anregungsprozesse in verschiedenen Literaturquellen verfügbaren Wirkungsquerschnitte starke Abweichungen zueinander.

Mit Hilfe des Solvers Yacora wurde ein SSM für H_2 konstruiert. Dieses Modell löst die Hauptquantenzahl $n=3$ nach den elektronischen Zuständen auf. Zudem sind ausgewählte elektronische Zustände vibratorisch aufgelöst. Yacora ermöglicht es, flexibel zwischen unterschiedlichen Inputdatensätzen zu wechseln. Experimentell bestimmte Besetzungsdichten werden mit auf unterschiedlichen Inputdatensätzen basierenden Resultaten des SSM verglichen. Lücken oder Schwachstellen der vorhandenen Inputdaten werden aufgezeigt und diskutiert.

P 7.10 Di 17:00 Foyer

Modelling of rf excited filaments occurring in a jet plasma — ●F. SIGENEGER, J. SCHÄFER, R. FOEST, and K.-D. WELTMANN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald

Discharge filaments which occur in a miniaturized non-thermal atmospheric pressure plasma jet have been investigated by a self-consistent fluid model. The filaments are generated by an rf voltage at 27.12 MHz applied between two cylindrical electrodes which are attached alongside the outer quartz capillary of the plasma jet. Argon gas flows between the outer and the inner quartz capillary with flow rates between 0.1 and 2 slm. Depending on the applied power and flow rate, stationary or rotating discharge filaments are observed between the upper driven and the lower grounded electrode.

A single stationary filament is investigated using a simplified geometry. The model includes electrons, atomic and molecular argon ions as well as excited argon atoms. The set of equations comprises continu-

ity equations for these species, Poisson's equation, the electron energy balance and balance equations for the charges on the dielectric surfaces. The electron transport and rate coefficients have been prepared as functions of the mean energy and ionization degree by solving the 0D electron Boltzmann equation. A relatively high electron density has been found which qualitatively agrees with results of spectroscopic measurements. Moreover, the results show the structural change of the filament from the dielectric surface through the sheath to the column.

The work was supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft within SFB-TR 24.

P 7.11 Di 17:00 Foyer

Dynamik einer planaren Mikroentladung – Ein globales Modell — ●MARKUS GEBHARDT¹, ALEXANDER WOLLNY¹, MARTIN LAPKE¹, THOMAS KUSCHEL², ILJA STEFANOVIĆ², THOMAS MUSSENBRÖCK¹ und RALF PETER BRINKMANN¹ — ¹Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum — ²Lehrstuhl für Experimentalphysik II, Ruhr-Universität Bochum

Ein globales Modell des dynamischen Verhalten planarer Gleichstrom-Mikroentladungen wird angegeben und analysiert. Die Parameter des Modells werden an das beobachtete Verhalten einer Argon-Entladung mit Plattenabstand $d = 1$ mm und Gasdruck $p = 10$ Torr angepasst, speziell an die Amplitude und die Frequenz der beobachteten selbst-erregten Oszillation. Ein Vergleich mit der Dynamik konventioneller (d.h. makroskopischer) Gleichstrom-Entladungen wird durchgeführt; Abweichungen von der einfachen pd -Skalierung werden untersucht.

P 7.12 Di 17:00 Foyer

Micro Thin Cathode Discharge: eine numerische Parameterstudie — ●ALEXANDER WOLLNY, MARKUS GEBHARDT, TORBEN HEMKE, RALF PETER BRINKMANN und THOMAS MUSSENBRÖCK — Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum, Deutschland

Die Micro Thin Cathode Discharge (μ TCD) besteht aus zwei Elektroden, die durch ein Dielektrikum getrennt sind. Das Dielektrikum sowie die Kathode haben eine Dicke von $100 \mu\text{m}$ während die Anode mit 1 mm deutlich dicker ist. Durch diese Struktur wird ein Loch mit einem Durchmesser von $200 \mu\text{m}$ gebohrt. Die Entladung wird typischerweise in Argon bei Atmosphärendruck betrieben. Mit einer Spannung zwischen -500 und -1000 V an der Kathode wird ein Plasma in diesem Zwischenraum erzeugt. Abhängig vom Druck weist die Entladung verschiedene Charakteristika auf, die durch verschiedene physikalische Effekte hervorgerufen werden. Experimentell lassen sich Elektronendichten von einigen 10^{16} cm^{-3} beobachten [1]. In diesem Beitrag wird ein zweidimensionales Hybridmodell [2] zur Simulation der μ TCD verwendet. Dabei wird die angelegte Spannung und der Druck variiert.

Diese Arbeit wird von der DFG im Rahmen der Forschergruppe FOR1123 *Physics of Microplasmas* unterstützt.

[1] S. Mohr 2010 J. Phys. D: Appl. Phys. **43**, 295201

[2] M. J. Kushner 2003 J. Appl. Phys. **92** 3, 846-59

P 7.13 Di 17:00 Foyer

Particle-in-Cell Simulation eines Mikro-Plasmajets bei Atmosphärendruck — ●MARKUS GEBHARDT, TORBEN HEMKE, ALEXANDER WOLLNY, RALF PETER BRINKMANN und THOMAS MUSSENBRÖCK — Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum, Deutschland

Mikroplasmen sind in den letzten Jahren vermehrt in den Fokus der theoretischen und experimentellen Forschung gerückt. Von besonderem Interesse unter den verschiedenen Mikroplasmaquellen sind die so genannten Plasmajets. Der hier untersuchte Jet weist einen Elektrodenabstand von 1 mm auf und wird bei 13,56 MHz mit einer Generatorleistung von ca. 10 W betrieben. Das Gasgemisch bei einem Druck von 760 Torr besteht aus Helium und einer geringen Beimischung von Sauerstoff (ca. 0,5 %). Ein typischer Ansatz zur Modellierung und Simulation dieser Entladung legt eine fluiddynamische Beschreibung aller relevanten Teilchenspezies zu Grunde, welche durch eine kinetische Betrachtung der schnellen Elektronenkomponente ergänzt werden kann (hybrider Ansatz). Gegenstand dieses Beitrags ist es, mit Hilfe einer vollständig selbstkonsistenten kinetischen Beschreibung (Particle-in-Cell) der Entladung, einerseits kinetische Effekte zu untersuchen und gleichzeitig die Gültigkeit fluiddynamischer Modelle zu überprüfen. Hierbei werden alle für dieses Regime wichtigen Spezies und die dazugehörigen Reaktionen mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation berücksichtigt.