

P 24: Theory and Modelling III

Zeit: Donnerstag 10:30–12:40

Raum: HZO 50

Fachvortrag

P 24.1 Do 10:30 HZO 50

Modellierung von dielektrisch behinderten Atmosphären-druckentladungen in Argon und Ar-HMDSO-Gasgemischen — ●MARKUS M. BECKER und DETLEF LOFFHAGEN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, D-17498 Greifswald

Dielektrisch behinderte Atmosphärendruckentladungen werden zunehmend zur Behandlung von Oberflächen eingesetzt. Hier ist Argon ein häufig genutztes Trägergas, das z. B. zum Aufbringen siliziumhaltiger Schichten mit Hexamethyldisiloxan (HMDSO) als Präkursorgas gemischt wird. Zur Optimierung derartiger technologischer Anwendungen wurde ein zeitabhängiges, räumlich eindimensionales Fluid-Modell entwickelt, das eine gegenüber herkömmlichen Modellen verbesserte Beschreibung des Teilchen- und Energietransports der Elektronen beinhaltet. In dem Beitrag wird das raumzeitliche Verhalten unterschiedlicher Entladungsanordnungen diskutiert. Für eine einseitig behinderte Einzelfilamententladung in reinem Argon wird gezeigt, dass mit steigender Spannungsamplitude der Einfluss metastabiler Argonatome auf das Entladungsverhalten zunimmt. Insbesondere die Chemionisation spielt bei Spannungsamplituden $> 2\text{ kV}$ eine entscheidende Rolle. Weiterhin wird für eine symmetrische Entladungsanordnung der Einfluss geringer Beimischungen von HMDSO auf das Entladungsverhalten untersucht. Hier zeigt sich, dass die Penning-Ionisation in Stößen von HMDSO-Molekülen mit metastabilen Argonatomten eine bedeutende Rolle einnimmt.

Die Arbeiten wurden durch die DFG im Rahmen des SFB-TRR 24 sowie unter dem Geschäftszeichen LO 623/3-1 unterstützt.

P 24.2 Do 10:55 HZO 50

Comsol hybride Plasma-Simulation: Ergebnisse und Experimente — ●HORIA-EUGEN PORTEANU — Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik, Berlin, Germany

Das Ziel einer neu entwickelten mikrowellengetriebenen ICP-Quelle ist die energetisch sparsame Erzeugung von hochreinen Plasmastrahlen. Sie wird bereits in PEALD-Prozessen angewendet. Die Optimierung der Quelle erfordert neben experimentellen Untersuchungen eine verlässliche und schnelle Simulation der plasma-chemischen Reaktionen im Detail. Dazu wurde eine hybride Simulationsmethodik entwickelt, bestehend aus einem Boltzmann-Solver und einem Fluid-Modell-Solver. Die einzelnen Module sind Teile der kommerziellen Software COMSOL Multiphysics® und in Matlab als iteratives Programm implementiert. Das Programm berechnet einen Mittelwert der Elektronendichte und Gastemperatur. Der Zwei-Term-Boltzmann-Solver berechnet mit Hilfe dieser Werte die Verteilungsfunktion der Elektronenenergie und wichtige Transportparameter wie Beweglichkeit und Diffusion. Es wird angenommen, dass die Verteilung und die Transportparameter im ganzen Plasmavolumen homogen sind. Die Simulation zeigt für Ar und experimentelle Daten wie Mikrowellenleistung 10 W, Druck 100 Pa, Gasfluss 100 sccm eine stabile Lösung 1ms nach der Zündung, mit einer Elektronendichte von ca. 10^{18} m^{-3} und eine afterglow-Verteilung der metastabilen Atome von einigen mm. Diese Werte entsprechen im Wesentlichen mit dem Experiment. Die eingesetzte Drude-Leitfähigkeit, basierend auf dem berechneten Transportparameter, ist aber fast zwei Größenordnungen kleiner als im Experiment.

P 24.3 Do 11:10 HZO 50

Das elektrische Feld in kapazitiv gekoppelten HF-Plasmen: Eine Erweiterung der Advanced Algebraic Approximation — ●RALF PETER BRINKMANN — Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

Das elektromagnetische Feld ist eine zentrale Größe in der Dynamik hochfrequenzgekoppelter Plasmen. Auf fundamentaler Ebene ist es als Lösung der Maxwell-Gleichungen durch die im Plasma vorhandenen Ladungen und Ströme sowie die externen Randbedingungen bestimmt. Allerdings macht das Selbstkonsistenz-Problem – bewirkt durch die Kopplung der Felder an die Bewegungsgleichungen – die konkrete Berechnung oft schwierig. Dieser Beitrag analysiert das dynamische elektrische Feld in einem planarer kapazitiv gekoppelten Reaktor (CCP) unter der Annahme, dass die angelegte Hochfrequenz zwischen der Plasmafrequenz der Ionen und der Elektronen liegt, und die Debye-Länge kleiner ist als die Skalenlänge des Plasmas. Als Resultat ergibt sich eine Erweiterung der bislang nur für statische Fälle verfügbaren "Advanced Algebraic Approximation". Der Vergleich mit numerisch

berechneten exakten Lösungen fällt zufriedenstellen aus.

P 24.4 Do 11:25 HZO 50

Analyse der Elektronentrajektorien in magnetisierten Hochleistungsplasmen — ●DENNIS KRÜGER, SARA GALLIAN, JAN TRIESCHMANN, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF PETER BRINKMANN — TET, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland

High Power Pulse Magnetron Sputtering (HPPMS) ist neben anderen Anwendungen ein wichtiges Beispiel technischer magnetisierter Plasmen. Weitere Beispiele sind z.B. Hall Thruster, oder die Advanced Plasma Source (APS). Der Fokus bei HPPMS liegt auf der Erzeugung eines hochdichten Plasmas mit sehr hohem Ionisationsgrad. In der Fusionsforschung, die im Gegensatz zu den aufgezeigten Beispielen im Regime der Hochtemperaturplasmen angesiedelt ist, ist die Gyrokinetik eine seit Jahrzehnten erfolgreich etablierte Theorie. Im Hinblick auf die Verwendung dieser Theorie im Regime magnetisierter Niedertemperaturplasmen, im Speziellen bei HPPMS, bestehen einige fundamentale Unterschiede. Diese betreffen insbesondere den Grad der Magnetisierung und die zugrundeliegende B-Feld Konfiguration (Wand-Wechselwirkung). Somit besteht die Notwendigkeit zur Prüfung einiger essentieller Annahmen, wie z.B. die Isotropie der Verteilungsfunktion. Zur Validierung dieser Annahmen wird im Rahmen dieser Arbeit die Einzelteilchenbewegung von Elektronen in einer Zone über dem Target, welche durch das statische, extern vorgegebene Magnetfeld dominiert wird, untersucht. (Diese Arbeit wird im Rahmen des SFB/Transregio 87 durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert.)

P 24.5 Do 11:40 HZO 50

Collisionless electron heating in periodic arrays of inductively coupled plasmas — ●UWE CZARNETZKI¹ and KHRISTO TARNEV² —

¹Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44780 Bochum, Germany — ²Department of Applied Physics, Technical University-Sofia, BG-1000 Sofia, Bulgaria

A novel mechanism of collisionless heating in large planar arrays of small inductive coils operated at radio frequencies is presented. In contrast to the well-known case of non-local heating related to the transversal conductivity, when the electrons move perpendicular to the planar coil, we investigate the problem of electrons moving in a plane parallel to the coils. Two types of periodic structures are studied. Resonance velocities where heating is efficient are calculated analytically by solving the Vlasov equation. Certain scaling parameters are identified. The concept is further investigated by a single particle simulation based on the ergodic principle and combined with a Monte Carlo code allowing for collisions with Argon atoms. Resonances, energy exchange, and distribution functions are obtained. The analytical results are confirmed by the numerical simulation. Pressure and electric field dependences are studied. Stochastic heating is found to be most efficient when the electron mean free path exceeds the size of a single coil cell. Then the mean energy increases approximately exponentially with the electric field amplitude.

P 24.6 Do 11:55 HZO 50

To the self-forces on structured nonuniform orthogonal grids in Particle-in-cell Codes. — ●DENIS EREMIN and THOMAS MUSSENBRÖCK — Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Deutschland

A popular approach for kinetic simulation of low-pressure technical plasma behavior is the particle-in-cell method. Bounded nature of technical plasmas leads to several different spatial scales which need to be resolved during a simulation. Additionally, it is often convenient to use non-Cartesian coordinates which conform to the problem's geometry. As a result, the logical coordinates used for discretization of the fields in the simulation have a non-uniform metric tensor. The downside of using such coordinates is the emergence of unphysical self-forces acting on the particles, which arises due to the inaccuracies between the extrapolation of a particle's charge to the grid and the consequent reciprocal interpolation of the resulting fields back to the particle's location. In this work we discuss how such self-forces can be avoided in case of orthogonal logical coordinates.

P 24.7 Do 12:10 HZO 50

A comparative study of pulsed multi-source RF CCP discharges — ●SCHABNAM NAGGARY¹, FRANK ATTELN¹, THOMAS

MUSSENBRÖCK¹, RALF PETER BRINKMANN¹, and MUSTAFA MEGAHED² — ¹Ruhr-University Bochum — ²ESI Group

Pulsed multi-frequency CCP reactors provide additional means to manipulate the plasma characteristics and in particular the ion energy distribution. The interaction of the plasma with the pulse duty cycle and frequency is not fully understood yet, due to complex excitation and de-excitation of the rf and pulsing signals. Numerical models were demonstrated to accurately capture the transient behavior of the pulsed plasma. The high computational effort, however, makes these models very inaccessible to the community and do not allow for systematic study of the different parameters of interest to system designers. This work presents an efficient model that allows the characterization of the main plasma properties including the ion energy distribution functions within seconds. The zero dimensional model allows the analysis of the reactor operation parameter space and it provides the boundary conditions for more details, spatially resolved models that are used to fine tune the design including the resolution of wafer edge and wave effects.

P 24.8 Do 12:25 HZO 50

Jet formation and multi-fluid effects in dynamic magnetic flux tubes — •THOMAS TACKE and JÜRGEN DREHER — Theoretische Physik I, Ruhr-Universität Bochum

As part of a collaboration with the coronal loop experiment FlareLab at Bochum university, different aspects of the dynamics of arch-shaped current-carrying magnetic flux tubes are investigated. The equations of magnetohydrodynamics are solved numerically using an initial cylindrical configuration in radial force equilibrium with an axial pressure gradient. The following formation of a plasma jet and its evolving structure within the simulation is then compared to phenomena observed in the electrode region in FlareLab. In a second study, the dispersion relation of an ion acoustic-type instability is derived from fluid equations including collisions between charged and neutral particles. The instability is first investigated numerically in one dimension and its growth compared to the analytical growth rate. Two-dimensional initial equilibrium configurations are derived, resulting in the collisional equivalent of the Harris-sheet and the Bennett pinch. The existence and growth of the instability in these configurations is then investigated and discussed as possible candidates for explaining small density bulges observed in the early phase of numerous discharges in FlareLab.