

P 20: Simulationsverfahren / Theorie/Modellierung II

Zeit: Donnerstag 10:30–13:00

Raum: HS H

Hauptvortrag

P 20.1 Do 10:30 HS H

Zeitliche Struktur der Elektronenheizung in kapazitiven Entladungen — ●DENNIS ZIEGLER — Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, 44801 Bochum

Trotz ihres großen industriellen Anwendungspotenzials und langjähriger intensiver Forschung ist die zeitliche Dynamik von technischen Hochfrequenzplasmen noch immer nicht vollständig verstanden. Insbesondere die Frage nach den Mechanismen zur Einkopplung der elektrischen Energie in das Plasma, und die unmittelbar damit verbundene Frage nach der Heizung des Plasmas, kann bis heute nicht vollständig beantwortet werden. Speziell die bei niedrigem Gasdruck von einigen Pascal auftretenden selbsterregten kollektiven Resonanzen sind durch klassische lineare Modellansätze nicht zu erklären. Auf der Basis eines nichtlinearen globalen Modells für kapazitiv gekoppelte asymmetrische Mehrfrequenzentladungen wird zunächst ein Experiment nachgebildet und anschließend ein gemessener Hochfrequenzstrom approximiert. Ausgehend von der bestmöglichen Approximation eines im Experiment fließenden Hochfrequenzstroms, kann die zeitliche Dynamik der gesamten Entladung auf der Skala der Hochfrequenzanregung und dabei insbesondere die Elektronenheizung untersucht werden. Die Anregung der sogenannten Plasmaserienresonanz und die damit verbundene nichtlineare Elektronenresonanzheizung stehen dabei im Zentrum der Betrachtungen.

Hauptvortrag

P 20.2 Do 11:00 HS H

First Principle Simulations of Strongly Correlated Classical and Quantum Plasmas — ●PATRICK LUDWIG — Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Kiel

Due to the tremendously fast development of digital computers in the last decades, particle-based bottom-up approaches such as Molecular Dynamics or Monte Carlo methods have become standard tools, which allow to treat interactions and strong many-body correlations without mathematical simplifications - from first principles.

In my talk I will consider two types of strongly correlated multi-component plasmas: (i) spherically confined complex (dust) plasmas, and (ii) two-component quantum plasmas in semiconductors and warm dense matter (WDM). By changing the plasma parameters (temperature, density, mass-ratio of the different plasma constituents) or the effective range of the pair interaction both considered systems can be tuned from a weakly coupled state to a strongly coupled, crystal-like phase.[1,2] Despite their completely different nature and their occurrence on completely different length and energy scales both systems are found to share various collective structural, spectral, as well as dynamical features which is due to the governing role of Coulomb interaction and finite size effects.[3]

But also the effect of dynamical screening and the formation of wake field potentials, which is a well known effect in streaming classical dusty plasmas[4], is recovered in two-component electron-ion plasmas with strong impact on the structure formation in strongly correlated WDM. A scheme which allows to compute the dynamics of strongly correlated classical ions embedded into a partially ionized quantum plasma by first principles molecular dynamics is presented.[5]

[1] Introduction on Complex Plasmas, M. Bonitz, N. Horing, and P. Ludwig (eds.), Springer 2010 [2] Ludwig et al., Plasma Phys. Control. Fusion 52, 124013 (2010) [3] Ludwig et al., New Journal of Physics 10, 083031 (2008) [4] Lampe et al., IEEE Trans. Plasma Sci. 33, 57 (2005) [5] Ludwig et al., J. Phys. Conf. Series 220, 012003 (2010)

P 20.3 Do 11:30 HS H

Numerische Simulation von Metall-Schutzgas-Schweißen unter Berücksichtigung des Metaldampfes — ●ANDREAS SPILLE-KOHOFF¹, MICHAEL SCHNICK² und MARTIN HERTEL² — ¹CFX Berlin Software GmbH, Berlin, Deutschland — ²TU Dresden, Dresden, Deutschland

Die numerische Simulation des Schweißlichtbogens, also der Strömung und der Verteilung von Temperatur, elektrischem Strom und Gaskonzentrationen unter Berücksichtigung von Strahlung, Lorentzkraft, Entmischung und Fallgebietsvorgängen hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Dabei stimmen die Ergebnisse von Wolfram-Schutzgas-Schweißen im allgemeinen sehr gut mit experimentellen Messungen, z.B. der Temperaturverteilung im Lichtbogen mittels Spektroskopie,

überein.

Beim Metall-Schutzgas-Schweißen konnten allerdings noch erhebliche Abweichungen zwischen Messungen und Simulation festgestellt werden, die im wesentlichen aus der variablen Elektrodenform (abschmelzender und abtropfender Draht) und aus einer hohen Metaldampfkonzentration im Lichtbogen resultieren. Der Vortrag gibt einen Einblick in die Schweißprozesssimulation mit einem kommerziellen CFD-Programm und zeigt aktuelle Ergebnisse der Simulation von Metall-Schutzgas-Schweißen unter Einbeziehung des entstehenden Metaldampfes. Hierdurch konnten aus Messungen bekannte Besonderheiten wie die niedrigere Temperatur im Lichtbogenkern nachvollzogen und physikalisch begründet werden.

P 20.4 Do 11:45 HS H

Monte Carlo Simulation of the Breakdown in Copper Vapor at Low Pressure — DIRK UHRLANDT¹, DETLEF LOFFHAGEN¹, and ●KAI HENCKEN² — ¹Leibniz Institute for Plasma Science and Technology e.V. (INP), Felix-Hausdorff-Str. 2, D-17489 Greifswald — ²ABB Switzerland Ltd, Corporate Research, Segelhof 1, CH-5405 Dättwil, Switzerland

The breakdown conditions of copper vapor at low pressure are studied in a Monte Carlo simulation of electrons, copper ions and atoms. This is of interest for the dielectric breakdown strength of a vacuum interrupter after current zero, where hot vapor is still evaporated from the electrodes. In a one dimensional simulation the movement and the multiplication of electrons, ions and fast atoms in inelastic collisions and ionization processes are followed taking into account the atomic cross sections to excited atomic states, as well as, the ionization cross section to single and double charged ions. The secondary electron emission due to the heavy particles is calculated by following them until they reach the cathode and taking into account energy and charge state. By scanning a large range of gas densities and electric voltages, the boundary of the breakdown region has been determined. A lower limit for the critical voltage is found corresponding to the usual Paschen curve. In addition an upper limit was found, which is due to the increase of runaway electrons, which at high energies cross the whole gap without collisions with the atoms. In addition the simulation allows studying detailed energy distributions of both electrons and ions across the gap.

P 20.5 Do 12:00 HS H

Evaporation cooling of electrons in the argon afterglow — ●TSANKO TSANKOV¹, YUSUF CELIK¹, DIRK LUGGENHÖLSCHER¹, UWE CZARNETZKI¹, and MITSUTOSHI ARAMAKI² — ¹Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44780 Germany — ²Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University, 464-8603, Japan

In various investigations of the afterglow of noble gas plasmas effective cooling by “evaporation” of hot electrons across the boundary sheath potential has been identified. In our recent experiments on the afterglow of a planar ICP discharge in Argon at low pressure (1 Pa) enhanced recombination indicates electron temperatures in the range of 0.1 eV. Cooling has been verified experimentally by measurements of the decay of the ion energy at the wall. A 2D fluid-dynamic simulation and an analytical model are in good agreement and identify clearly “evaporation cooling” as the dominant effect. The time scale of the effect is obtained to be of the order of 10 μ s, well in agreement with the experimental results.

P 20.6 Do 12:15 HS H

Plasma walls beyond the perfect absorber approximation for electrons — ●FRANZ X. BRONOLD, RAFAEL L. HEINISCH, and HOLGER FEHSKE — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 17489 Greifswald, Germany

Plasma walls accumulate electrons more efficiently than ions leading to wall potentials which are negative with respect to the plasma potential. Theoretically, walls are usually treated as perfect absorber for electrons and ions implying perfect sticking of the particles to the wall and infinitely long desorption times for particles stuck to the wall. For electrons we question the perfect absorber model and calculate, specifically for a planar dielectric wall, the electron sticking coefficient s_e and the electron desorption time τ_e . For the uncharged wall [1][2] we find $s_e \ll 1$ and $\tau_e \approx 10^{-4}$ s. Thus, in the early stage of the build-up

of the wall potential, when the wall is essentially uncharged, the wall is not a perfect absorber for electrons. For the charged wall [3] we find $\tau_e^{-1} \approx 0$. Thus, τ_e approaches the perfect absorber value. But s_e is still only of the order of 10^{-1} . Calculating s_e as a function of the wall potential and combining this expression with the quasi-stationary balance equations for the electron and ion surface densities we find the self-consistent wall potential, including surface effects, to be 30% of the perfect absorber value.

- [1] R.L. Heinisch *et al.*, Phys. Rev. B **81**, 155420 (2010)
- [2] R.L. Heinisch *et al.*, Phys. Rev. B **82**, 125408 (2010)
- [3] F.X. Bronold *et al.*, IEEE Trans. Plasma Science, accepted (2010)

P 20.7 Do 12:30 HS H

Funktionalanalytische Lösung des fluiddynamischen Modells der Multipolresonanzsonde — •JENS OBERRATH, MARTIN LAPKE, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

Aktive Resonanzspektroskopie stellt eine industriekompatible Plasma-diagnostik dar und wurde in der Vergangenheit in vielen unterschiedlichen Bauformen realisiert [1]. Mit Hilfe funktionalanalytischer Methoden kann eine allgemeine mathematische Lösung für beliebige Bauformen hergeleitet werden. Die Analyse erlaubt eine Interpretation dieser Lösung als elektrische Ersatzschaltung und zeigt zum einen die allgemeine Resonanzfähigkeit des Systems und zum anderen eine komplizierte Resonanzstruktur, die eine einfache und eindeutige Auswertung einer Messung bei unterschiedlichen Bauformen erschwert.

Die Multipolresonanzsonde stellt ein optimiertes Konzept der aktiven Resonanzspektroskopie dar, indem die Probleme der schwierigen und nicht eindeutigen Auswertung durch Symmetrie in der geometrischen Bauform und der elektrischen Ansteuerung behoben sind [2]. Für eine einfache Auswertung der Resonanzstruktur ist eine analytische Beschreibung der Systemantwort nötig. Dieser Beitrag zeigt die Herleitung der Systemantwort auf der Basis funktionalanalytischer Me-

thoden. Aufgrund der besonderen Symmetrien kann ein vollständiges Orthonormalsystem aufgestellt und die benötigte Systemantwort berechnet werden.

- [1] Braithwaite *et al.*, Plasma Sources Sci. Technol. **18**, 014008 (2009)
- [2] Lapke *et al.*, Appl. Phys. Lett. **93**, 051502 (2008)

P 20.8 Do 12:45 HS H

Simulation elektromagnetischer Effekte in kapazitiv gekoppelten Plasmen — •DENIS EREMIN, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF-PETER BRINKMANN — Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44801, Bochum

Industrielle Forderungen führen zu immer größeren Abmessungen und höheren Betriebsfrequenzen von kapazitiv gekoppelten Entladungen. Die dadurch entstehenden elektromagnetischen Effekte verursachen Inhomogenitäten, die industrielle Prozesse erheblich beeinträchtigen können. Da solche elektromagnetische Effekte sehr nah mit der komplexen Plasmadynamik in Plasmabulk und Plasmarand verbunden sind, kann man sie am besten im Rahmen eines selbst konsistenten Modells behandeln, das gleichzeitig die Evolution von Feldern und Teilchen beschreibt. Bislang hat es in der Literatur kein solches Modell gegeben.

In diesem Beitrag demonstrieren wir ein mögliches Verfahren, die elektromagnetischen Effekte zusammen mit kinetischen Prozessen in Plasmen vollkommen selbst-konsistent zu simulieren. Dafür benutzen wir eine Particle-in-cell Methode mit Monte-Carlo Stößen (PIC/MCC), wobei die elektromagnetischen Felder im Rahmen der Darwin-Näherung berechnet werden. Diese Näherung setzt voraus, dass die Anlagen klein gegen die Vakuumwellenlänge der eingekoppelten Hochfrequenz sind, was in technischen Plasmen in meisten Fällen gut eingehalten ist. Die Randbedingungen in unserem Verfahren sind einfach zu implementieren und erlauben auch ein externes Netzwerk direkt anzukoppeln. Erste Ergebnisse des parallelisierten auf GPU PIC/MCC Codes werden präsentiert.