

## P 6: Niedertemperaturplasmen, Plasmatechnologie I

Zeit: Dienstag 17:00–19:00

Raum: 2G

P 6.1 Di 17:00 2G

**Räumliche und zeitliche Relaxation metastabiler Moleküle und negativer Ionen in Sauerstoffplasmen** — ●GORDON K. GRUBERT und DETLEF LOFFHAGEN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald, Germany

Sauerstoffentladungen werden in einer Reihe technologischer Anwendungen wie der Ozonerzeugung und der Abscheidung von Sauerstoffschichten verwendet. Für das Verständnis derartiger Plasmen ist das Verhalten der metastabilen Moleküle  $O_2(a^1\Delta_g)$  und  $O_2(b^1\Sigma_g^+)$  sowie der negativen Ionen  $O^-$  von grundlegender Bedeutung. Zur Analyse und theoretischen Beschreibung des raum-zeitlichen Verhaltens dieser Spezies wird eine selbstkonsistente Modellierung für Entladungen in einer planparallelen Elektrodenanordnung durchgeführt. Im Rahmen des numerischen Modells wird das System aus hydrodynamischen Gleichungen zur Beschreibung der neutralen und geladenen Spezies gekoppelt mit der Poisson-Gleichung zur Bestimmung des elektrischen Potentials bzw. Feldes im Plasma gelöst. Die hydrodynamische Beschreibung erfolgt mittels eines Zwei-Momenten-Modells, das die zeitabhängigen Teilchendichten und Teilchenstromdichten umfaßt und Raten- sowie Transportkoeffizienten verwendet, die vom lokalen elektrischen Feld abhängen. Erste Ergebnisse von Untersuchungen für Gleichstrom- und RF-Entladungen mit einem Elektrodenabstand von 2.5 cm bei Drücken zwischen 10 und 100 Pa werden vorgestellt und diskutiert. Wesentliche Aspekte der Analyse sind dabei der Einfluß der Wandverluste der Spezies und die Auswirkung der negativen Ionen auf das elektrische Raumladungsfeld.

P 6.2 Di 17:15 2G

**Verstärkungsmessungen an einer kapazitiv gekoppelten HF-Entladung eines CO<sub>2</sub>-Laserplasmas** — ●DENNIS SOYSAL<sup>1</sup>, NICOLE EBERSOHL<sup>2</sup>, JOACHIM SCHULZ<sup>2</sup>, CHRISTOPH HERTZLER<sup>2</sup> und ULRICH STROTH<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — <sup>2</sup>TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH, Ditzingen

Der CO<sub>2</sub>-Laser ist von großer Bedeutung in der metallbearbeitenden Industrie. Diese stellt hohe Anforderungen an Strahlqualität und Wirkungsgrad des Lasersystems. Im Rahmen dieser Arbeit soll beides aus plasmaphysikalischer Sicht untersucht und weiter verbessert werden. In diesem Zusammenhang betrachtet man u. a. die Elektronendichte und die EEDF, welche für die Anregung des Plasmas verantwortlich sind. Die Gaszusammensetzung mit unterschiedlichen Streuquerschnitten, Partialdrücken und den Schwingungs-Rotationsübergängen des Plasmas bestimmen die Effizienz der Energieübertragung. Diffusion und Turbulenz des axial-strömenden Gases sind zusammen mit der Geometrie der Elektroden ausschlaggebend für die räumliche Temperaturverteilung. Sämtliche Faktoren wirken sich auf die Besetzungsinversionsdichte (BID) des laseraktiven Mediums aus. Diese ist, u. a., im Laserbetrieb ausschlaggebend sowohl für die Energieeffizienz, als auch für den sich ausbildenden Mode des Lasers. In diesem Beitrag wird der Messaufbau zur halbautomatischen, ortsaufgelösten Messung der volumengemittelten BID vorgestellt. Außerdem werden FE-Simulationen zum Vergleich mit den Messungen herangezogen. Als Ergebnis werden die Auswirkungen der unterschiedlichen Parameter auf die räumliche Verteilung der BID erläutert.

P 6.3 Di 17:30 2G

**Messung der Ionengeschwindigkeitsverteilung in der Schicht eines thermionischen Ar/O<sub>2</sub>-Plasma.** — ●SEBASTIAN ENGE, FARAH AZIZ, ALF KÖHN, EBERHARD HOLZHAUER und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart, 70569 Stuttgart

In vielen Technologischen Anwendungen spielt die Auftreffenergie der Ionen auf dem Substrat eine bedeutende Rolle. Diese Energie gewinnen die Ionen im Potential der Plasmarandschicht vor dem Substrat. In einigen Prozessen werden elektronegative Gase wie zum Beispiel Sauerstoff benötigt. Diese können negative Ionen bilden, welche den Potentialverlauf beeinflussen, und somit auch die Prozessqualität. Durch die Messungen der Argonionen-Geschwindigkeitsverteilung in der Schicht lässt sich der Potentialverlauf ermitteln. Dazu wurde eine laserinduzierte Fluoreszenz-Diagnostik (LIF) aufgebaut, welche einen Diodenlaser mit einer optische Leistung von 25 mW bei 668,6 nm, und einen modensprungfreien Abstimmbereich von 20 GHz verwendet. Im ersten Schritt wurde in einer thermionischen Entladung das Schichtpotential bestimmt. Als Arbeitsgase wurden Argon/Sauerstoff-Gemische mit

unterschiedlichen Anteilen verwendet. Die Messungen werden mit Ergebnissen aus PIC-Simulationen verglichen. In diesem Beitrag werden der experimentelle Aufbau und erste Ergebnisse vorgestellt.

P 6.4 Di 17:45 2G

**Charakterisierung der optischen Emissionsprozesse von Mikroplasma-Arrays** — JOCHEN WASKÖNIG<sup>1</sup>, ●VOLKER SCHULZ-VON DER GATHEN<sup>2</sup>, DEBORAH O'CONNELL<sup>2</sup> und JÖRG WINTER<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Centre for Plasma Physics, Queen's University Belfast — <sup>2</sup>Cener for Plasma Science and Technology, Ruhr-Universität Bochum

Mikroplasmen existieren in vielen unterschiedlichen Konfigurationen und sind insbesondere hinsichtlich ihrer vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von grossem Interesse. Die hier untersuchten Mikroplasma-Arrays wurden von der Gruppe von G. Eden [1] entwickelt und bestehen aus 50 · 50 pyramiden-förmigen Mikroentladungen von jeweils 50 µm Kantenlänge, die parallel geschaltet sind. Als Trägergas werden Edelgase und Edelgasmischungen nahe Atmosphärendruck benutzt. Typische Betriebsleistungen liegen bei unter 10 W, bei Anregungsfrequenzen im Bereich von 20 kHz.

Vorgestellt werden hier emissionspektroskopische Untersuchungen elektronischer Anregungsphänomene während der Zündphase einzelner Entladungen und des gesamten Arrays mit Hilfe von zeitaufgelösten Messungen von Strom und Spannung. Die Ergebnisse werden mit phasen aufgelöster optischer Emissionsspektroskopie (PROES) korreliert. Die Ortsauflösung des optischen Systems erlaubt es phasen-synchron zur Anregung die Reaktionen des Systems und einzelner Mikroentladungen auf die Variation von Anregungsspannung, Anregungsfrequenz und Pulsform zu untersuchen.

[1] J G Eden and S-J Park, Plasma Phys. Control. Fusion 47 (2005) B83 - B92

P 6.5 Di 18:00 2G

**Nichtlineare Kopplung von Drift- und Alfvénwellen** — ●STEFAN ULLRICH<sup>1</sup>, OLAF GRULKE<sup>1,2</sup> und THOMAS KLINGER<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Greifswald — <sup>2</sup>Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Greifswald

Driftwellen treten in Dichtegradienten magnetisierter Plasmen als Instabilität auf. Sie haben eine räumliche Ausdehnung in der Größenordnung  $k_{\perp}\rho_s = 0.5 \dots 5$  und propagieren mit Geschwindigkeiten im Bereich der elektrondiamagnetischen Driftgeschwindigkeit  $v_{De}$ . In der raumzeitlichen Entwicklung der Driftwelleninstabilität kommt Strömen parallel zum äußeren Magnetfeld eine tragende Bedeutung zu. Diese können unter Umständen an Alfvénwellen koppeln, sogenannte Drift-Alfvén-Wellen. Die Kopplung von Drift- und Alfvénwellen wird in der Niedertemperaturentladung des Helikonexperimentes VINETA untersucht. Aufgrund der hohen Plasmakollisionsalität entwickeln sich die Driftwellen als elektrostatische Driftwellen. Eine Kopplung kann gezielt durch Anregung einer Alfvénwelle nahe der Driftwellenfrequenz herbeigeführt werden. Die raumzeitliche Entwicklung von Driftwellen wird durch hochaufgelöste Messungen der Fluktuationen der Plasmadichte und des Plasmapotenzials diagnostiziert. Poloidal aufgelöste Messungen der Magnetfeldfluktuationen erlauben es, auf das parallele Stromprofil zu schließen und damit experimentell Einblick in den Kopplungsmechanismus zu erhalten.

P 6.6 Di 18:15 2G

**An optical probe for spatial resolved emission spectroscopy** — ●BEILEI DU, YUSUF CELIK, DIRK LUGGENHÖLSCHER, and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr University Bochum, 44780 Bochum, Germany

An inherent problem of all emission spectroscopic measurements in plasmas is the line of sight integration, which averages over local variations of the emission. Abel inversion allows only in case of radial symmetry to determine radial emission profiles. Alternatively and without this restriction, we have developed a novel optical probe that allows spatial resolved measurements and is applicable to a wide range of emission spectroscopic techniques.

Basically, the probe consists of a ceramic tube with a lens at one end that images light emitted by the plasma from within a small solid angle onto an optical fiber. By taking measurements at different radial positions of the tube within the plasma, a line of sight profile is obtained. Differentiating with respect to the position then directly reveals the

spatial emission profile.

First measurements of the spatial distribution of Balmer-alpha emission in an inductively coupled hydrogen discharge will be shown and compared to other diagnostics.

P 6.7 Di 18:30 2G

**Electron dynamics in dual-frequency capacitively coupled RF discharges** — •JULIAN SCHULZE<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 Sciences, Budapest, Hungary

Particle in Cell simulations of a symmetric dual-frequency capacitively coupled RF discharge are performed in conjunction with experimental investigations of electron dynamics using Phase Resolved Optical Emission Spectroscopy [1]. In the experiment the discharge is operated at 1.94 MHz and 27.12 MHz in He-O<sub>2</sub> with small rare gas admixture. In the simulation Helium and Argon discharges are investigated. The simulation reproduces the measured spatio-temporal excitation profiles well. It shows that the ion density in He discharges is time modulated and that the electric field in the vicinity of the electrodes is reversed at distinct phases of sheath collapse. Maximum excitation is observed at phases of collapsing low and expanding high frequency sheath, when the sheath oscillates in a region of low ion density causing a large oscillation amplitude. Depending on the operating conditions the discharge can be operated in  $\alpha$ - or  $\gamma$ -mode. If it is operated in  $\gamma$ -mode secondary electrons dominate the ionisation, but not the excitation.

[1] J Schulze, T Gans, D O'Connell, U Czarnetzki, A R Ellingboe, M M Turner 2007 J. Phys. D 40 7008-7018

Funded by the DFG through SFB591, GRK1051, the Hungarian Scientific Research Fund (OTKA, Grants T-48389 and IN-69892) and supported by Andor Technology.

P 6.8 Di 18:45 2G

**Nichtlineare Resonanzeffekte auf die Heizung von kapazitiv gekoppelten Zweifrequenzentladungen** — •DENNIS ZIEGLER, THOMAS MUSSENBROCK und RALF PETER BRINKMANN — Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, 44780 Bochum

Ausgangspunkt für die Betrachtung von Heizeffekten in kapazitiv gekoppelten Zweifrequenzentladungen ist ein räumlich aufgelöstes Modell, das die Elektronenbewegungsgleichung an eine nichtlineare Randschichtbeschreibung koppelt. Durch Konzentration auf die räumliche Grundmode wird ein nichtlineares, globales Modell hergeleitet.

Die Analyse des Modells verrät, dass die Dynamik der Entladung durch die Interaktion von Plasmaserienresonanz und nichtlinearer Randschicht bestimmt ist und sich daher als weitaus komplizierter darstellt, als in traditioneller linearer Theorie angenommen wird. Sowohl die niedrige Frequenz als auch die hohe Anregungsfrequenz tragen zur Elektronenheizung und damit zur Generation des Plasmas bei. Eine Analyse der phasenaufgelösten Randschichtspannung, der Bulkspannung und des HF Stromes ermöglicht eine genaue Untersuchung der dissipierten Leistung und damit der Heizung des Plasmas.