

## P 6: Grundlegende Phänomene

Time: Monday 16:30–18:55

Location: V57.01

## Invited Talk

P 6.1 Mon 16:30 V57.01

**Investigation of high power impulse magnetron sputtering (HIPIMS) discharge using fast ICCD camera** — ●ANTE HEČIMOVIĆ, TERESA DE LOS ARCOS, VOLKER SCHULZ-VON DER GATHEN, MARC BÖKE, and JÖRG WINTER — Research Department Plasmas with Complex Interactions, Institute for Experimental Physics II, Ruhr-Universität Bochum, 44801 Bochum, Germany

High power impulse magnetron sputtering (HIPIMS) combines impulse glow discharges at power levels up to the MW range with conventional magnetron cathodes to achieve a highly ionised sputtered flux. The dynamics of the HIPIMS discharge was investigated using fast Intensified Charge Coupled Device (ICCD) camera. In the first experiment the HIPIMS plasma was recorded from the side with goal to analyse the plasma intensity using Abel inversion to obtain the emissivity maps of the plasma species. Resulting emissivity maps provide the information on the spatial distribution of Ar and sputtered material and evolution of the plasma chemistry above the cathode. In the second experiment the plasma emission was recorded with camera facing the target. The images show that the HIPIMS plasma develops drift wave type instabilities characterized by well defined regions of high and low plasma emissivity along the racetrack of the magnetron. The instabilities cause periodic shifts in the floating potential. The structures rotate in ExB direction at velocities of  $\sim 10$  kms<sup>-1</sup> and frequencies up to 200 kHz. The high emissivity regions comprise Ar and metal ion emission with strong Ar and metal neutral emission depletion.

## Invited Talk

P 6.2 Mon 17:00 V57.01

**Negative ions and mode transitions in oxygen cc-rf plasmas** — ●KRISTIAN DITTMANN, CHRISTIAN KÜLLIG, and JÜRGEN MEICHSNER — Ernst-Moritz-Arndt-University of Greifswald, 17489 Greifswald

The formation and presence of negative ions have a strong influence on plasma kinetics in low-temperature reactive plasmas. In particular, negative ions significantly determine the charged species balance and the electron energy distribution function. Laser photodetachment and microwave interferometry at 160 GHz is combined for the analysis of negative atomic oxygen ions in the bulk plasma of an oxygen cc-rf discharge. Two modes are measured characterized by different electronegativity  $\alpha = n_-/n_e$ . High electronegativity with  $\alpha > 2$  is associated with low decay time constant of few  $\mu$ s, only, whereas for low electronegativity,  $\alpha < 1$ , the relaxation of electron density needs much longer with typical decay time constants up to about 100  $\mu$ s. With increasing rf power the mode transition show a step-like behavior. Additionally, phase resolved optical emission spectroscopy measurements combined with particle-in-cell simulations show a strong influence of the negative atomic oxygen ions on the  $\alpha$ - $\gamma$ -mode transition of the discharge. Finally, the role of the negative ions related to the attachment-induced ionization instability in oxygen cc-rf plasmas will be discussed. This work was supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) in the framework of the Sonderforschungsbereich Transregio 24 'Fundamentals of Complex Plasmas'.

## Topical Talk

P 6.3 Mon 17:30 V57.01

**Elektronenschwärme in elektronegativen Gasmischungen** — CHRISTIAN M. FRANCK und ●DOMINIK A. DAHL — High Voltage Laboratory ETH Zürich

Um SF<sub>6</sub> in der Hochspannungstechnik zu ersetzen braucht es Gasmischungen, welche ein oder zwei Elektronen anlagernde Species mit ein oder zwei Inertgasen kombinieren. Wegen der vielen Kombinationsmöglichkeiten muss die Suche geleitet werden von einem physikalischen Verständnis elektrischer Entladungen in solchen Gasmischungen. Die Phänomene können derzeit nicht berechnet werden, vor allem weil fundamentale Daten über alternative Elektronen anlagernde Gase fehlen.

Wir messen die Schwarmparameter von Elektronen und Ionen in einer Townsend-Entladung. Mit einem Laserpuls von 1.5 ns FWHM wird an einer Photokathode aus 15 nm Goldfilm ein Elektronenschwarm erzeugt. Die Drift des Schwarms im homogenen elektrischen Feld durch die Gasprobe zur Anode erzeugt einen Verschiebestrom, der mit hoher zeitlicher Auflösung aufgezeichnet wird. Aus einem Modell der Bewegung der Ladungsträger werden die Schwarmparameter gewonnen. Unser Experiment ist besonders geeignet für Gasmischungen, da Serien von Messungen und Auswertungen automatisiert laufen. Messreihen wurden mit Ar, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub> und deren binären und ternären

Mischungen durchgeführt. Die gemessenen Schwarmparameter werden mit den bekannten Querschnitten der Moleküle für Vibrationsanregung und für Anlagerung von Elektronen in Beziehung gesetzt. Aus den Ergebnissen werden Kriterien für günstige Gasmischungen abgeleitet.

P 6.4 Mon 17:55 V57.01

**SPIN: Impulsmessung gesputterter Atome** — ●JAKOB RUTSCHER, THOMAS TROTTEBERG und HOLGER KERSTEN — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel

Das SPIN (Sputtering-Propelled INstrument) ähnelt einem Windrad, bei dem die Rotorblätter aus ebenen Substraten bestehen. Bringt man das SPIN in einen vertikal orientierten Ionenstrahl, so wird es in Rotation versetzt. Ist sein Trägheitsmoment bekannt, kann die antreibende Kraft experimentell bestimmt werden. Dazu dient der momentane Drehwinkel des SPIN als Messgröße. Die Auswertung bedient sich dabei einfacher mechanischer Grundgleichungen. Die antreibende Kraft setzt sich zusammen aus dem Impulsübertrag durch die reflektierten Ionen, die nicht in das Substrat implantiert werden und aus dem Impulsübertrag durch die gesputterten Substratatome.

Das Phänomen des Sputterns wurde außerdem mit SRIM (The Stopping and Range of Ions in Matter) simuliert. SRIM ist ein Simulations-Code für die quantenmechanische Behandlung von Stoßkaskaden, die von den auf das Substrat treffenden energiereichen Ionen ausgelöst werden. Für Argonionen der Energie 700 eV und einem Einfallswinkel auf ein Kupfersubstrat von 56° besteht, der Simulation zufolge, der Großteil der antreibenden Kraft (ca. 90 %) durch den Impulsübertrag gesputterter Kupferatome und lediglich der Rest durch die am Substrat reflektierten Argonionen. Experiment und Simulation werden miteinander für unterschiedliche Ionenmassen, Ionenenergien, Einfallswinkel der Ionen sowie für verschiedene Substratmaterialien verglichen.

P 6.5 Mon 18:10 V57.01

**Lichtemission von Edelgasen bei kombinierter Elektronenstrahl- und Hochfrequenzanregung** — ●THOMAS DANDL<sup>1</sup>, THOMAS HEINDL<sup>1</sup>, JOCHEN WIESER<sup>2</sup> und ANDREAS ULRICH<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Physik Department E12, Technische Universität München, James-Frank-Str. 1, 85748 Garching — <sup>2</sup>Optimare Analytik GmbH & Co KG, Emsstr. 20, 26382 Wilhelmshaven

Durch eine sehr dünne Siliziumnitridmembran (300nm) werden Elektronen mit einer Teilchenenergie von 12keV in Edelgase eingeschossen. Dies führt zur Anregung und Ionisierung der Targetgasatome und somit zur Emission der für die Gase charakteristischen Linienstrahlung im VIS-IR-Bereich, sowie der Excimer-Kontinuumsstrahlung im VUV-Bereich. Aufgrund der Vorionisierung des Gases durch den Elektronenstrahl, ist es selbst bei Atmosphärendruck möglich, zusätzlich Leistung durch eine Hochfrequenzanregung (2,45GHz) in das Gas einzukoppeln ohne dabei eine eigenständige HF-Entladung zu zünden. Dies hat eine erhebliche Veränderung der beobachteten Emissionsspektren zur Folge. Für verschiedene Edelgase bzw. deren Mischungen werden ausgewählte Effekte beschrieben. Neben der Veränderung der Form der Excimerkontinua sowie der Intensität der Linienstrahlung wird die Entstehung eines breiten Kontinuums beobachtet, welches sich über den gesamten UV-VIS-IR-Bereich erstreckt. Durch die beiden unterschiedlichen Anregungsmechanismen eröffnet dieser Versuchsaufbau eine neue Herangehensweise bei der Untersuchung von Niedertemperaturplasmen.

Gefördert durch das BMBF Förderkennzeichen 13N9528 und 13N11376.

P 6.6 Mon 18:25 V57.01

**Untersuchung selbstorganisierter lateraler Strukturen in DBE mittels Tripel-Korrelationsfunktionen** — ●ROBERT WILD und LARS STOLLENWERK — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald, Felix-Hausdorff Str. 6, 17489 Greifswald

Im diffusen Modus einer dielektrisch behinderten Entladung werden unter gewissen Bedingungen ( $p \approx 200$  hPa,  $f \approx 10 \dots 200$  kHz,  $d < 1$  mm) Abweichungen von der lateralen Homogenität in der Leuchtdichteverteilung beobachtet. Dabei kommt es zur Bildung von selbstorganisierten Strukturen. In diesem Beitrag wird der Übergang von einer hexagonal organisierten Struktur zu einem ungeordneten Gefüge von Filamenten unter Variation der anliegenden Spannung beobachtet und untersucht. Für die Beschreibung der Strukturen wer-

den dabei sowohl die 2D Fourier-Transformation als auch die Tripel-Korrelationsfunktion genutzt. Anschließend wird eine Größe eingeführt, die als Maß für die Qualität der hexagonalen Struktur dient. Es wird gezeigt, dass diese Größe eine superkritische Bifurkation während des Überganges zwischen den beiden Strukturen beschreibt. Weiterhin wird gezeigt, dass der Bifurkationspunkt in der azimutalen Anordnung nicht mit dem der radialen Ordnung der Struktur übereinstimmt, da letztere bei einer geringeren Spannung auftritt.

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, Sonderforschungsbereich SFB TRR-24, Teilprojekt B14.

P 6.7 Mon 18:40 V57.01

**Einfluss des gepulsten Betriebs auf den Durchbruch von dielektrisch behinderten Mikroentladungen** — •HANS HÖFT, MANFRED KETTLITZ, TOMAS HODER, RONNY BRANDENBURG und KLAUS-DIETER WELTMANN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald

Es werden Experimente zum Durchbruchverhalten von filamentierten

Mikroentladungen in Stickstoff-Sauerstoff-Gemischen bei Atmosphärendruck präsentiert. Die untersuchte symmetrische, dielektrisch behinderte Entladung mit einem Elektrodenabstand von 1 mm wird mit einer unipolaren Rechteckspannung betrieben (Amplitude 10 kV mit variabler Pulsbreite, Wiederholfrequenz 10 kHz, Anstieg 250 V/ns). Die Aufnahme der raum-zeitliche Mikroentladungsentwicklung erfolgt simultan mit Hilfe einer schnellen iCCD- sowie einer Streakkamera ( $\Delta t \geq 2$  ns bzw.  $\geq 50$  ps). Außerdem werden elektrische Größen zur Charakterisierung der Mikroentladung mit schnellen Sonden gemessen. Über die Pulsbreite kann die Zeit zwischen den Mikroentladungen an steigender und fallender Flanke verändert werden. Diese Variation zeigt einen massiven Einfluss auf die Entladungsphysik. Es ergeben sich Unterschiede im Entladungsstrom, in der räumlichen Struktur und der zeitlichen Entwicklung bei einem asymmetrischen Spannungspuls; bis hin zur einer - erstmalig dokumentierten - signifikanten Änderung des Durchbruchverhaltens bei Pulsbreiten, die in der Größenordnung der Ionentranslationszeit (hier  $\sim 1 \mu\text{s}$ ) liegen. Es kommt in diesem Übergangsbereich zur Propagation von unterschiedlich ausgeprägten kathoden- und anodengerichteten Ionisationsfronten.