

P 20: Poster: Diagnostik

Time: Thursday 16:30–19:00

Location: Poster.III

P 20.1 Thu 16:30 Poster.III

entfällt — ●N N —

P 20.2 Thu 16:30 Poster.III

Experimente zur Plasmadiagnostik mittels optisch manipulierten Mikropartikeln. — ●VIKTOR SCHNEIDER, HORST R. MAURER und HOLGER KERSTEN — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel

Die Idee, Mikropartikel als elektrostatische und thermische Sonden zur Diagnostik von komplexen Plasmen zu verwenden, wird ständig weiterverfolgt. Allerdings sind die experimentellen Untersuchungen unter regulären Bedingungen auf die Randschichtregion des Plasmas begrenzt, in der die Mikropartikel aufgrund eines Kräftegleichgewichtes eingefangen werden. Eine Änderung der Teilchenposition ohne Beeinflussung des Plasmas ist nur mit erheblichem Aufwand verbunden. So wurden bisweilen Experimente durchgeführt, in denen Mikropartikel durch zusätzliche Zentrifugalkräfte oder durch Laserbeschuss in die Randschicht gedrückt wurden.

Im vorgestellten Experiment wurde erstmals eine optische Pinzette in einem Plasma realisiert. Es konnten Mikropartikel einzufangen und durch einen Teil der Plasmarandschicht bewegt werden. Besonders wichtig ist dabei, dass die Methode der Lasermanipulation nichtinvasiv ist. Dies bedeutet, dass mit der Pinzette flexible Untersuchungen mit den Teilchen durchgeführt werden können, ohne die Entladungsbedingungen zu verändern. Dadurch sollen Informationen über die an einem ausgewählten Ort herrschenden elektrischen Felder und die auf die Teilchen wirkenden Kräfte (im pN-Bereich) erhalten werden.

P 20.3 Thu 16:30 Poster.III

Time-resolved diagnostics of advanced pulsed magnetron sputtering discharges at low pressures — ●STEFFEN DRACHE¹, VITEZSLAV STRANAK¹, ANN-PIERRA HERRENDORF¹, MARTIN CADA², ZDENEK HUBICKA², and RAINER HIPPLER¹ — ¹Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Institut für Physik, Felix-Hausdorff-Str. 6, 17489 Greifswald, Germany — ²Institute of Physics v. v. i., Academy of Science of the Czech Republic, Na Slovance 2, 182 21 Prague, Czech Republic

The properties of electrons and ions in a Ti-Cu high power impulse magnetron sputtering (HiPIMS) discharge combined with pulse operated mid-frequency excitation were studied. The setup allows operation at pressures one order of magnitude lower than in conventional systems. A Langmuir Probe (LP) was used to obtain the electron energy probability function (EPPF) and information regarding the time development of electron density and mean electron energy. Optical emission spectroscopy (OES) was employed to identify active plasma species and differences regarding the ionization of plasma constituents in different pressure regimes. Optical emission imaging (OEI) was used to investigate the temporal and spatial behavior of excited particles. Time-averaged as well as time-resolved measurements with a retarding field energy analyzer (RFA) were performed to determine the ion velocity distribution function (IVDF) at the substrate position during the discharge. The IVDF is an important parameter, since the thin film properties are strongly influenced by the energy of sputtered and deposited metal ions.

P 20.4 Thu 16:30 Poster.III

Identifizierung geeigneter Emissionslinien von Edelgasen zur Elektronentemperaturbestimmung in Niederdruckplasmen — ●UWE KURUTZ¹ und URSEL FANTZ^{1,2} — ¹Lehrstuhl für Experimentelle Plasmaphysik, Universität Augsburg, 86135 Augsburg — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, 85748 Garching

In vielen plasmaphysikalischen Anwendungen kommen Edelgase als Diagnostikgas zum Einsatz. So ist unter anderem die Bestimmung der Elektronentemperatur aus der Emissionslinie von Helium bei 728,1 nm über Stoßstrahlungsmodell wie z.B. ADAS ein etabliertes Verfahren. Auch für Argon kann über ein Stoßstrahlungsmodell (hier Yacora Argon) unter anderem aus der 750,5 nm Linie T_e bestimmt werden. Um die Bandbreite an Diagnostikgasen zu erweitern, werden geeignete Emissionslinien für die Edelgase Neon und Krypton zur Elektronentemperaturbestimmung in einem planar induktiv gekoppelten HF-Experiment (27,12 Mhz) identifiziert. Die Auswertung der geeigneten

Emissionslinien erfolgt dabei über ein um den Einfluss der Metastabilendichte erweitertes Koronamodell. Die in den Mischplasmen bei Drücken zwischen 4 und 20 Pa gewonnen Werte für T_e werden durch Vergleich auf ihre Anwendbarkeit überprüft. Neben der T_e -Auswertung aus der optischen Emissionsspektroskopie wurden Plasmaparameter wie die EEDF, die Elektronendichte und die Elektronentemperatur orts aufgelöst über eine Langmuirsonde gemessen. Die Gültigkeit der Annahme einer Maxwell'schen Elektronenenergieverteilung wird somit ebenfalls überprüft.

P 20.5 Thu 16:30 Poster.III

Charakterisierung von Impaktplasmen mit elektrostatischen und optischen Methoden — ●MARTIN LANGE, FRANK SCHÄFER und MARTIN SCHIMMEROHN — Fraunhofer EMI, Freiburg, Deutschland

Kleinste Partikel von Raumfahrtmüll können aufgrund ihrer Geschwindigkeiten von mehreren km/s beim Auftreffen auf Satelliten Plasmen erzeugen, die signifikante Störfälle verursachen. Mit Lebensdauern von wenigen Mikrosekunden lassen sich Impaktplasmen nicht mit üblichen Plasmasonden untersuchen. Es werden Dreifachlangmuirsonden benutzt um zeitaufgelöste Messungen von Elektronentemperatur und -Dichte zu erzielen. Unter der Annahme einer maxwellverteilten Elektronengeschwindigkeit und unter Berücksichtigung der Plasma-Wand-Interaktion lassen sich so über die Messung des Plasmopotentials an der floatenden Sondenspitze die Elektronentemperatur und parallel dazu über den Strom durch die geladenen Sondenspitzen die Elektronendichte messen. Bei Impaktversuchen am Fraunhofer EMI wurden zwei Dreifachsonden eingesetzt um Richtungs- und Entfernungsabhängigkeit der Plasmaparameter zu ermitteln. Hierfür wurden Aluminiumprojekte mit Geschwindigkeiten von bis zu 8 km/s und Sondenspannungen von 36 V genutzt. Damit wurden Elektronentemperaturen von 15-20 eV und Elektronendichten von $10^{16-20}/m$ bestimmt. Die Plasmaausbreitung wurde außerdem mit einer Hochgeschwindigkeitskamera aufgenommen, deren Mikrokanalplatten-Bildverstärker und schnelle Verschlüsse Belichtungszeiten von weniger als 100 ns mit Bildabständen von einer Mikrosekunde ermöglichen.

P 20.6 Thu 16:30 Poster.III

Zeitaufgelöste Emissionsspektroskopie von Impaktplasmen — ●DOMINIC HEUNOSKE, FRANK SCHÄFER und MARTIN SCHIMMEROHN — Fraunhofer EMI, Freiburg, Deutschland

Bei Einschlägen von Weltraumschrott auf Raumfahrtkomponenten entsteht aufgrund der hohen Geschwindigkeiten von mehreren km/s ein kurzzeitiges Impaktplasma. Dieses Plasma hat eine Lebensdauer von wenigen Mikrosekunden und wurde bisher wenig untersucht. Am Fraunhofer EMI werden Impaktversuche an verschiedenen Materialien durchgeführt. Mittels eines Leichtgasbeschleunigers werden Aluminiumkugeln mit einem Durchmesser von wenigen Millimetern auf bis zu 8 km/s beschleunigt. Ein Messsystem bestehend aus Spektrograph und Streak-Kamera ermöglicht es zeitaufgelöste Spektroskopie am Impaktplasma durchzuführen. In den ersten Mikrosekunden der Plasmaausbreitung ist das Plasma optisch dicht. Hier wurde ein eindimensionales Strahlungsmodell, das den Temperatur- und Dichtegradient im Plasma berücksichtigt, gemäß der Messdaten adaptiert und so die Elektronendichte und -temperatur bestimmt. Im späteren Verlauf der Plasmaausbreitung wurde die Elektronentemperatur über relative Intensitäten verschiedener Spektrallinien bestimmt. Die Elektronendichte lässt sich über die Linienverbreiterung auf Grund des Starkeffekts bestimmen. So ist es gelungen Elektronentemperatur und Elektronendichte des Plasmas mit einer zeitlichen Auflösung von 500 ns über einen Zeitraum der Ausbreitung von 10 μ s zu bestimmen. Es zeigte sich, dass die Temperatur während dieser Zeit von 30000 K auf 5000 K absinkt. Analog dazu fällt die Elektronendichte von $10^{19} cm^{-3}$ auf $10^{17} cm^{-3}$.

P 20.7 Thu 16:30 Poster.III

On the plasma chemistry of low-pressure Ar/N₂/CH₄ microwave discharges using an external cavity quantum cascade laser — ●DMITRY LOPATIK, HENRIK ZIMMERMANN, and JÜRGEN RÖPCKE — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald, Germany

The volume chemistry of low-pressure molecular plasmas containing hydrocarbon precursors has been of great interest over the past decade.

This type of plasmas offers a wide field of applications but however a number of processes and properties are far from being fully understood. In this case, the analysis of the fragmentation of the precursors and the monitoring of plasma reaction products can lead to a better understanding of plasma chemistry and kinetics. Absorption spectroscopy in the mid infrared spectral range provides a means to measure molecular species concentrations in the ground state. The recent availability of continuous wave external cavity quantum cascade lasers, (cw EC-QCL), which are widely tunable infrared radiation sources, has opened up a new approach for plasma chemistry studies and offers a great advantage for simultaneously detection of multiple absorption features within available spectral regions. In the present study we focus on the high resolution diagnostics of Ar/N₂ microwave plasmas containing methane performed by an EC-QCL operating at 1300-1450 cm⁻¹. Four stable molecules: CH₄, C₂H₂, HCN and H₂O were detected and its concentration behaviour systematically investigated. The influence of process parameters, like gas mixture, pressure and power of the plasma on the chemical processes was in the center of interest.

P 20.8 Thu 16:30 Poster.III

Townsend-like and glow-like diffuse discharge mode in barrier discharges in helium — GORAN B. SRETENOVIĆ¹, ●MARC BOGACZYK², and HANS-ERICH WAGNER² — ¹Faculty of Physics, University of Belgrade, Studentski trg 12, 11000 Belgrade, Serbia — ²Institute of Physics, Ernst-Moritz-Arndt University, Felix-Hausdorff-Str. 6, 17489 Greifswald, Germany

The dielectric barrier discharge (DBD) in helium was studied by means of temporal and phase resolved surface charge measurements using the Pockels effect, spatio-temporally resolved cross-correlation spectroscopy (CCS) and electrical measurements. In this study, the diffuse mode was investigated. Depending on the discharge cell configuration, e.g. gap distance, dielectrics and applied voltage signal, the discharge can operate either in the Townsend-like mode or in the glow-like mode. In small gaps (less than 1 mm) with a sinusoidal applied voltage, only the Townsend-like mode can be generated. But, in dependence on the shape of the applied voltage signal, the glow-like mode can be realized, too. In case of a rectangle voltage signal, the discharge operates in the glow-like mode, probably due to the fast rise and fall time of the voltage signal. Using a sawtooth voltage signal, both modes appear separately in one period. The presented results show clearly the correlation between transported and deposited charge and the optical emission.

The work was supported by "Deutsche Forschungsgemeinschaft, SFB TRR 24, complex plasmas".

P 20.9 Thu 16:30 Poster.III

Advanced diagnostics for the FlareLab experiment — ●FELIX MACKEL¹, SASCHA RIDDER¹, THOMAS TACKE¹, PHILIPP KEMPKES², JAN TENFELDE¹, and HENNING SOLTWISCH¹ — ¹Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum — ²MPI für Plasmaphysik, 17491 Greifswald

The FlareLab experiment is a pulsed power discharge that produces plasma filled arch-shaped magnetic flux tubes evolving on a microsecond timescale. An ionisation gauge has been developed to investigate the distribution of neutral gas density before gas breakdown. The results are compared to numerical simulations with a fluid dynamical model and are related to photographs of the ignition of the discharge. A CO₂ laser interferometer setup has been modified to extend the accessible space for measurements. The evolution of the line integrated electron density in the apex of the flux tube is studied for several experimental parameters. Simultaneously, the current density has been measured by a small Rogowski coil in close vicinity to the interferometer beam. There is a spatial correlation of electron and current density. As the measured plasma density is of the same order of magnitude compared to the neutral gas density, the degree of ionisation is expected to be high.

P 20.10 Thu 16:30 Poster.III

Electron density measurement in cc-rf argon plasma by 160 GHz microwave interferometer and electric probe — ●THOMAS WEGNER, CHRISTIAN KÜLLIG, KRISTIAN DITTMANN, and JÜRGEN MEICHSNER — Institute of Physics, University of Greifswald

The applied non-invasive Gaussian beam microwave interferometry (mwi) at 160 GHz (beam waist 5 mm, confocal length of about 10 cm) provides immediately line integrated electron density in cc-rf plasma at 13.56 MHz. On the other hand, the cylindrical Langmuir probe (passive rf-compensated, platinum, $r = 125 \mu\text{m}$, $l = 8 \text{mm}$) immersed in the rf plasma reveals the local plasma parameters. But probe mea-

surements are combined with a disturbance of the plasma and specific assumptions for determination of electron density and electron energy distribution function. For an argon plasma both diagnostics are used for the deconvolution of the line integrated electron density of the mwi by spatially resolved electron density by means of probe measurement. Vice versa, it is possible to calculate the line integrated electron density from the probe data. It is shown that both diagnostics provides comparable results within the limit of factor two. Moreover, it was measured the ion saturation current in the whole plasma volume for selected rf power and total gas pressure. Thereby, it could be shown that the mean sheath thickness s in front of the powered rf electrode depends on the pressure p according to $s \propto p^{-\kappa}$. Whereby, κ is in the range of 0.27 to 0.40 which is in good agreement with standard collisional sheath models. // Funded by the DFG Collaborative Research Centre TRR24 "Fundamentals of Complex Plasmas", project B5.

P 20.11 Thu 16:30 Poster.III

Spatio-temporal diagnostics of instabilities in cc-rf oxygen plasma — ●CHRISTIAN KÜLLIG, THOMAS WEGNER, KRISTIAN DITTMANN, and JÜRGEN MEICHSNER — Institute of Physics, University of Greifswald

Instabilities in low density oxygen cc-rf plasmas driven at 13.56 MHz appear in a wide range of processing parameters rf power and pressure. The instabilities can be observed by characteristic fluctuations of plasma parameters measured by microwave interferometry, Langmuir probe diagnostics or optical emission spectroscopy. At the total gas pressure higher than 70 Pa the investigated cc-rf plasma is completely unstable within the studied rf power range from 10 to 100 W. The measured peak to peak values of the line integrated electron density fluctuations by 160 GHz microwave interferometry are between 0.2×10^{15} and $3.5 \times 10^{15} \text{m}^{-2}$, which can be in the same order of magnitude as the time-averaged line integrated electron density. The fluctuations are characterized by periodical non-harmonic functions with frequencies from 0.1 to 3 kHz [1]. The instabilities are also observed in the variation of the floating potential, the ion and electron saturation current in Langmuir probe diagnostics. The spatio-temporal mapped plasma volume by Langmuir probe measurements reveals that the fluctuations may have the origin in the rf plasma sheath and they appear as an oscillation in contrast to wave phenomenon in similar investigation of the positive column of DC glow discharge in oxygen. // Funded by the DFG Collaborative Research Centre TRR24, project B5.

[1] C. Küllig *et al.*; IEEE Trans. Plasma Science, 39 Part I, 2564 (2011)

P 20.12 Thu 16:30 Poster.III

Plasma Density Measurement via THz Time Domain Spectroscopy — ●STEFFEN MARIUS MEIER, SARAH SIEPA, TSANKO VASKOV TSANKOV, DIRK LUGGENHÖLSCHER, and UWE CZARNETZKI — Institute for Atomic and Plasma Physics, Ruhr-University Bochum, Germany

Terahertz Time Domain Spectroscopy (THz-TDS) is a spectroscopic method which combines the advantages of short ps electromagnetic pulses providing high temporal resolution and a broad spectrum in the THz range. With these properties it is possible to determine the plasma density and the collision frequency via the complex dispersion function of the plasma. Furthermore THz-TDS gives the opportunity to investigate higher density plasmas in comparison to e.g. conventional micro-wave interferometry.

In this work a THz Time Domain Spectrometer is set up to measure plasma densities. The investigations are performed in a magnetic multi-pole ICP-discharge [1,2] where high density plasmas are easily sustained. Results in argon plasmas at low pressures ($\sim 1 \text{Pa}$) are presented. Further, the opportunity to study pulsed plasmas temporally resolved is investigated.

[1] Maurmann, S. *et.al.*, *A magnetic multipole plasma source for the investigation of electron-atom collision processes*, Contrib. Plasma Phys. **40**, (2000), S. 152-157

[2] Babkina, T. M., *Generation of hyperthermal atoms through surface neutralisation*, Dissertation, Ruhr-University Bochum (2006)

P 20.13 Thu 16:30 Poster.III

Comparison of collisional-radiative models for electron density and temperature determination by OES in ICP and CCP discharges — ●SARAH SIEPA, YUSUF CELIK, BEILEI DU, STEFFEN MARIUS MEIER, TSANKO VASKOV TSANKOV, DIRK LUGGENHÖLSCHER, and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44780 Germany

Optical emission spectroscopy (OES) is a non-intrusive and easily real-

izable method but requires collisional-radiative (CR) models to extract the plasma parameters from the measured spectra. For argon several CR-models exist in the literature ranging from rather simple coronal-like to more complex models with variable EEDFs. In this work two distinct models have been used to determine the electron density and temperature in a capacitively and inductively coupled argon discharge in a GEC RF reference cell as well as in a dense magnetic multipole ICP discharge, thus covering a wide range of plasma densities. The results are compared to those of Langmuir probe measurements and Terahertz spectroscopy. The applicability and the validity of the investigated models are discussed.

P 20.14 Thu 16:30 Poster.III

Einfluss der geometrischen Dimension auf die Wechselwirkung von Kavitäten mikro-strukturierter Plasmaarrays

— MUKESH KUSLRESHATH¹, HENRIK BÖTTNER², REMI DUSSART¹ und VOLKER SCHULZ-VON DER GATHEN² — ¹GREMI, Université d'Orléans, 14 rue d'Issoudun, F-45067 Orleans Cedex 2 — ²Institut für Experimentalphysik II, Ruhr-Universität Bochum, Bochum

Zwei-dimensionale Mikroplasmaarrays können mit Hilfe von Mikrostrukturtechniken hergestellt werden. Die hier untersuchten Arrays basieren auf einem planen, geerdeten Siliziumwafer auf dem eine isolierte Nickel-Gitterelektrode aufgebracht ist. Diese dielektrisch behinderten Entladungen werden bei einigen 10 kHz mit Spannungen von einigen hundert Volt betrieben. In sub-arrays auf dem wafer angeordnete Einzelkavitäten wurden hier rechteckig ausgelegt mit Breiten von 25 bis 150 μm und Längen bis zu 500 μm . Wir berichten von Untersuchungen des zeitabhängigen Zündverhaltens in Edelgasen zwischen 200 und 1000 mbar. Strom-Spannungscharakteristiken dieser Arrays wurden in Kombination mit phasen-aufgelösten Aufnahmen untersucht. Die Anordnung der Kavitäten erlaubt den Vergleich der Charakteristik der ersten Zündung unter ansonsten identischen Verhältnissen mit derjenigen im repetierenden Betrieb zu vergleichen. Die beobach-

teten Abweichungen können auf die komplexen Transport- und Wechselwirkungsmechanismen zurückgeführt werden. Zusätzlich wurde die Abhängigkeit der Ausbreitung von Ionisationswellen von der Kavitätdimension untersucht. Gefördert von der DFG im Projekt A1 der Forschergruppe FOR 1123.

P 20.15 Thu 16:30 Poster.III

Determination of electron density using the multipole resonance probe as a monitoring- and diagnostic system in different types of technological plasmas — TIM STYRNOLL¹ and THE MRP-TEAM² — ¹Institute for Electrical Engineering and Plasma Technology, Ruhr-University Bochum, Universitätsstrasse 150, Building ID, Room 1/517, 44801 Bochum, Germany

— ²Department for electrical engineering, Ruhr-University Bochum

The MRP was recently proposed as an economical and industry-compatible plasma device. The MRP belongs to the family of active plasma resonance spectroscopy, which uses the general ability of plasmas to resonate on or near the electron plasma frequency. The probe consists of two metallic hemispheres, mounted on a thin holder that also serves as balancing unit for an unbalanced signal. A network analyzer feeds the probe with an rf-signal and measures the absorption spectra (S11-parameter) in the range of 100 MHz to 10 GHz. The probe is encased in a quartz-tube. Due to spherical and electrical symmetry we are able to obtain algebraic expressions for the resonance frequencies and thus evaluation schemes for electron density and -temperature. This work shows MRP measurements in different technological plasma applications, which all show clearly interpretable absorption spectra, independent of the excitation type (icp, ccp, micro-wave, aps-pro), gas mixture or dielectric deposition layer on the encapsulation. Furthermore two concepts are implemented: i) MRP used as a monitoring system, mounted at a fix position for time-resolved measurements and ii) used as a diagnostic system, to measure spatial-resolved profiles.