

P II: Poster: Niedertemperaturplasmen, Plasmatechnologie

Zeit: Dienstag 11:00–13:00

Raum: Poster C3

P II.1 Di 11:00 Poster C3

Comparison of NO concentration and UV emission in a N₂/O₂ RF discharge. — ●MAALOLAN RAMANUJAM^{1,2}, JAKOB BARZ¹, MICHAEL MUELLER¹, and HERWIG BRUNNER^{1,2} — ¹Fraunhofer Institute for Interfacial Engineering and Biotechnology, Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart, Germany. — ²Institute for Interfacial Engineering (IGVT), Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart, Germany.

Low temperature Plasmas have been used for microbial sterilization and depyrogenization applications. This effect is due to reactive species and UV radiation. This way, in principle, a broad range of thermolabile materials used for food packaging or microsurgical instruments can be sterilized. An effective source of UV radiation in the plasma is excited Nitric oxide (NO*), which is formed using Nitrogen and Oxygen as precursors in the plasma. A study was carried out to maximize the NO concentration and the determination of the UV emission intensity. The maximization of NO from N₂/O₂ plasma is determined using laser induced fluorescence. The UV emission was measured using optical emission spectroscopy. A Design of Experiments (DoE) study was performed to maximize the concentration of NO and UV emission by varying several plasma parameters like pressure, power and flows of the precursors. It was found that the NO concentration was maximum around 50% partial pressures of N₂ and O₂. Contrarily, the UV-C emission was maximum at a significant lower partial pressure of O₂ (less than 20%). It is understood that at higher O₂ concentrations the formation of NO is limited by a more pronounced formation of other Oxygen containing species like NO₂ or O₃

P II.2 Di 11:00 Poster C3

Plasmagestützte Schichtabscheidung mittels bipolarem Substratbiasing — ●EVELYN HÄBERLE, JOCHEN KOPECKI, ANDREAS SCHULZ, MATTHIAS WALKER und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart, D-70569 Stuttgart

Mikrowellen bilden in vielen Gebieten der Plasmatechnologie eine weit verbreitete Technik zur Erzeugung von Plasmen. Die am IPF entwickelte "Duo-Plasmaline" ist eine linear ausgedehnte Plasmaquelle, die auch großflächige Beschichtungen (> 1 m²) ermöglicht. Sie wird in dieser Arbeit genutzt, um isolierende und diffusionshemmende SiO_x-Barrierschichten für Solarzellen herzustellen, die auf ein flexibles Metallsubstrat aufgebracht werden sollen.

Dabei wird durch Substratbiasing das Aufwuchsverhalten der Schicht und deren Eigenschaften beeinflusst, indem durch einen negativen Puls am Substrathalter die schichtbildenden Ionen aus dem Plasma kontrolliert beschleunigt werden. Da Quarz ein isolierendes Material ist und somit keine Ladung über das Substrat abfließen kann, muss auf der Schichtoberfläche ein vollständiger Ladungsausgleich stattfinden. Dies wird durch einen zusätzlichen positiven Spannungspuls realisiert. Um eine größtmögliche Effektivität im Schichtwachstum zu erreichen, wird das Substrat unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Masse der Ionen und Elektronen bipolar gepulst.

Ziel ist es, durch geeignetes Biasing die Schicht an Stellen mit Vertiefungen im Substrat homogen und glättend aufwachsen zu lassen, so dass sich hier keine Defektstellen in der Barrierschicht bilden können. Vorgestellt werden erste Ergebnisse dieser Arbeit.

P II.3 Di 11:00 Poster C3

Entwicklung einer mikrowellenbasierten Atmosphärendruck-Mikroplasmaquelle — ●CHRISTIAN LANGBEIN, ULRICH SCHWEITZER, ANDREAS SCHULZ, MATTHIAS WALKER und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart, D-70569 Stuttgart

In vielen Bereichen der industriellen Produktion und der Medizin werden zunehmend Plasmen für lokale Behandlungen eingesetzt. Um auch sehr kleine Gebiete behandeln zu können, ist es daher nötig, Plasmen mit geringer Ausdehnung zu erzeugen, die das zu behandelnde Material so wenig wie möglich erhitzen.

Es wurden verschiedene Realisierungen einer solchen Plasmaquelle untersucht. Im ersten Schritt erfolgte dies mit Hilfe von FEM-Simulationen, insbesondere bezüglich der maximal auftretenden elektrischen Feldstärke zur Zündung und den Möglichkeiten zur Abstimmung der Anordnung. Besondere Anforderung an die Mikroplasmaquelle war hierbei, dass ein Betrieb mit einer geringen HF-Leistung bei Atmosphärendruck möglich sein soll. Bei der Behandlung von hitzeempfindlichen Werkstoffen ist es nötig, die Erwärmung durch das

Plasma zu minimieren. Aufgrund dessen wurde ein im MHz-Bereich pulsbarer 2,45 GHz-Generator entwickelt, womit eine Reduzierung der Plasmatemperatur erreicht wird.

Präsentiert werden Messergebnisse an ausgewählten Geometrien, die unter anderem durch optische Emissionsspektroskopie gewonnen wurden.

P II.4 Di 11:00 Poster C3

Untersuchungen zur Skalierbarkeit eines Mikrowellenplasma-brenners bei Atmosphärendruck von 2,45 GHz auf 915 MHz — ●DENNIS KIESLER, MARTINA LEINS, MATTHIAS WALKER, ANDREAS SCHULZ und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart, D-70569 Stuttgart

Plasmen bei Atmosphärendruck sind für die Plasmatechnologie eine interessante Alternative zu den oft gebräuchlichen Niederdruckplasmen. Für 2,45 GHz wurde bereits ein selbstständig zündendes System auf Resonatorbasis entwickelt und erfolgreich bei Anwendungen eingesetzt. Der Einsatzbereich ist aber über die Größe des Resonators und die zur Verfügung stehende Leistung der Mikrowellenquelle bei 2,45 GHz begrenzt. Die Größe des Resonators und damit des Plasmas kann durch Verwenden einer kleineren Frequenz von 915 MHz erweitert werden.

Mit FEM-Simulationen der Feldverteilung wurde überprüft, ob eine lineare Skalierung auch bei den komplizierteren realen Geometrien anwendbar ist. Es konnte gezeigt werden, dass es sich nicht nur um einen reinen Zylinderresonator handelt, sondern dass für die Zündung vor allem die Resonanz im koaxialen Teil am Boden des Brenners entscheidend ist. Während die Felder linear skalieren, muss untersucht werden wie sich die Eigenschaften des Plasmas verändern. Hierzu werden Kenntnisse über Gastemperatur sowie Elektronendichte und -temperatur benötigt. Es werden erste Messungen mit optischer Emissionsspektroskopie vorgestellt. Bei diesem Projekt handelt es sich um einen Forschungsauftrag des Landes Baden-Württemberg, der aus Mitteln der Landesstiftung Baden-Württemberg gGmbH finanziert wird.

P II.5 Di 11:00 Poster C3

Entwicklung und Charakterisierung einer Mikrowellen-Plasmaquelle bei Atmosphärendruck — ●MARTINA LEINS¹, KLAUS-MARTIN BAUMGÄRTNER², ANDREAS SCHULZ¹, MATTHIAS WALKER¹, UWE SCHUMACHER¹ und ULRICH STROTH¹ — ¹Universität Stuttgart, Institut für Plasmaforschung, D-70569 Stuttgart — ²Muegge Electronic GmbH, D-64385 Reichelsheim

Mikrowellen-Plasmaquellen bei Atmosphärendruck finden unter anderem in vielen Bereichen bei der Behandlung und Umsetzung von unterschiedlichen Gasen eine Anwendung. Als Beispiel wäre der Abbau von für die Umwelt kritischen halogenierten VOC-haltigen Abgasen zu nennen. Die vorgestellte Plasmaquelle beruht auf einem Resonatorprinzip. Mikrowellen der Frequenz von 2,45 GHz werden so effektiv in einen zylinderförmigen Hohlraum eingekoppelt, dass eine lokale hohe elektrische Felderhöhung entsteht und eine Zündung ohne Zündhilfe herbeigeführt werden kann. Ausführliche Simulationen der elektrischen Feldverteilung mit der Simulationssoftware Comsol Multiphysics[®] führten zu einer sehr guten Übereinstimmung zwischen Simulation und Messergebnissen. Die Charakterisierung des Plasmas erfolgt mittels der optischen Emissionsspektroskopie. Übersichtsspektren von Luftplasmen zeigen ein breites Kontinuum sowie N₂⁺-, NO- und OH-Banden. Der A²Σ⁺ - X²Π-Übergang des freien OH-Radikals wurde herangezogen, um die Gasrotationstemperatur von ca. 3600 K im Zentrum des Plasmas zu messen. Weitere spektroskopische Untersuchungen wurden an Argon-Propan-Plasmen vorgenommen.

Diese Arbeit wurde teilweise von BMWi/AiF gefördert.

P II.6 Di 11:00 Poster C3

Untersuchung von plasmapolymersierten Barrierschichten für flexible Dünnschichtsolarmodule mittels in-situ-FTIR — ●JOCHEN KOPECKI, EVELYN HÄBERLE, ANDREAS SCHULZ, MATTHIAS WALKER und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart, D-70569 Stuttgart

Die plasmagestützte Abscheidung von Barrierschichten ist, u. a. in der Photovoltaik, von großer technologischer Bedeutung. In dieser Arbeit wurden isolierende, diffusionsunterdrückende Schichtsysteme für flexible Dünnschichtsolarmodule mit Mikrowellenplasmen hergestellt.

Zur nicht-destruktiven, kostengünstigen Analytik von Schichtsys-

temen eignet sich die FTIR-Spektroskopie. Eine solche wurde an einen modularen Beschichtungsreaktor adaptiert, so dass mittels In-situ-FTIR die molekulare Zusammensetzung der Schichtsysteme in Abhängigkeit der Prozessparameter während des Abscheideprozesses beobachtet werden kann. Dies ist wichtig, da die Zusammensetzung maßgeblich für Haftung, Flexibilität und Diffusionswirkung der Schicht verantwortlich ist. Unter anderem wurden SiO_x - (SiN_x -) Schichten bei Mischungsverhältnissen $\text{HMDSO}:\text{O}_2$ ($\text{SiH}_4:\text{NH}_3$) von 1:20 bis zu 1:0 untersucht. Bei dünnen Schichten bis zu einigen 100 nm wurde der Berreman-Effekt beobachtet, welcher die Bestimmung makroskopischer Größen wie z. B. der dielektrischen Funktion ermöglicht. Neben der Intensität einzelner Banden spielen Halbwertsbreite und Position eine entscheidende Rolle in der Auswertung der gewonnenen Spektren, da hieraus auf die Struktur der gewachsenen Schicht geschlossen werden kann.

P II.7 Di 11:00 Poster C3

Particle-in-Cell simulations of a Double-Plasma Device — ●FARAH AZIZ, SEBASTIAN ENGE, and ULRICH STROTH — Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart, 70569 Stuttgart

Particle-in-Cell simulations are widely used as a computational technique to understand and predict plasma behaviour. In this simulation technique, the motion of a large number of charged particles in their self-consistent electric and magnetic fields is followed. PIC simulations of a Double-Plasma device are carried out, with the objective to study sheaths, plasma waves and soliton dynamics under the influence of a negative ion admixture to an Argon plasma. It is planned to compare calculated ion-velocity-distributions with LIF measurements. A Double-Plasma Device consists of two separate plasmas i.e. source and target plasma, in a common vacuum chamber, but separated from each other by a negatively biased grid. The target plasma is well suited for detailed study of the above phenomena. First PIC simulations of the plasma sheath based on the actual measurements of the parameters will be presented.

P II.8 Di 11:00 Poster C3

Selbstorganisierte Strukturen in dielektrischen behinderten Glimmentladungen — ●LARS STOLLENWERK¹, HANS-GEORG PURWINS² und ULRICH STROTH¹ — ¹Institut für Plasmaforschung, Pfaffenwaldring 31, 70569 Stuttgart — ²Institut für Angewandte Physik, Corrensstraße 2/4, 48149 Münster

Es wird ein Gasentladungssystem mit dielektrischer Barriere untersucht, das aus einem schmalen Entladungsspalt zwischen zwei großflächigen, planaren Elektroden besteht. Die Systemparameter werden so gewählt, daß eine Glimmentladung und keine Funkenentladung gezündet wird. Die Entladung wird in Stromflußrichtung beobachtet, so daß die laterale Strukturierung der Entladung als Leuchtdichte-Verteilung beobachtet werden kann. Zu den wichtigsten beobachteten Strukturen gehören filamentäre Muster, wobei die einzelnen Filamente als teilchenhafte Objekte aufgefaßt werden können, die sich selbständig bewegen oder miteinander wechselwirken können. Das Poster gibt einen Überblick über die wichtigsten Strukturen, deren Zusammenhang im Parameterraum und das bisher gewonnene Verständnis, vor allem im Rahmen numerischer Untersuchungen. Außerdem werden weitergehende Modellansätze zur Musterdynamik gezeigt und neue Meßmethoden und Anwendung in zukünftigen Experimenten vorgestellt.

P II.9 Di 11:00 Poster C3

Langmuir probe measurements in an inductively coupled radio frequency plasma — ●YUSUF CELIK, BEILEI DU, DIRK LUGGENHÖLSCHER, and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr University Bochum, 44780 Bochum, Germany

Langmuir probe measurements in an inductively coupled radio frequency plasma in a modified GEC cell in argon and in hydrogen were performed. A double spiral three turn antenna embedded in a quartz cylinder replaces the standard GEC antenna. The electron energy distribution function (EEDF) is inferred via the Druyvesteyn method. Radial profiles of the mean energy and the density of electrons at various pressures and input powers were obtained. The toruslike structure of the poloidal electrical field induced by the antenna is recovered in the energy profiles whereas the density profiles illustrate a Bessel shape.

Furthermore, the variation of the plasma parameter with the exposure time, when a voltage to the probe tip is applied, is shown in order to investigate the perturbation of the plasma by the probe. The plasma potential and the mean energy of electrons increase by increasing the exposure time from 100 microseconds to 100 milliseconds while the

density decreases.

Radial scans of the EEDF allow calculating the spatial distribution of the Balmer- α emission in hydrogen using a corona model. The calculations show a very good agreement with results obtained by a novel optical probe for spatially resolved emission spectroscopy.

P II.10 Di 11:00 Poster C3

Numerical Modeling of Electron Heating in the Plasma Boundary Sheath — ●BRIAN G. HEIL¹, JULIAN SCHULZE¹, THOMAS MUSSENBRÖCK², RALF PETER BRINKMANN², DIRK LUGGENHÖLSCHER¹, and UWE CZARNETZKI¹ — ¹Institut für Experimentalphysik V, Ruhr-Universität Bochum, D-44780 Bochum, Deutschland — ²Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, D-44780 Bochum, Deutschland

The stochastic heating of electrons by the RF plasma boundary sheath is not fully understood and is a current research topic. A conceptually simple Monte-Carlo simulation has been developed as an aid in interpreting experimental studies of electron kinetics in the sheath. Energetic electron beams accelerated by the sheath have been observed both experimentally, through the measurement of phase resolved plasma emissions, and with this simulation. At lower pressures, the sheath current and hence the effective sheath edge velocity is modulated by the PSR (Plasma Series Resonance) effect. This non-linear modulation affects the electron beams and is important in understanding stochastic heating.

This research has been supported by: SFB 591, GK 1051.

P II.11 Di 11:00 Poster C3

Electric field reversals in single- and dual-frequency capacitively coupled radio frequency discharges at various pressures — ●J SCHULZE¹, Z DONKO², B HEIL¹, D LUGGENHÖLSCHER¹, T MUSSENBRÖCK³, R P BRINKMANN³, and U CZARNETZKI¹ — ¹Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum — ²Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary — ³Institute for Theoretical Electrical Engineering, Ruhr-University Bochum

The spatio-temporal excitation in asymmetric single and symmetric dual-frequency discharges is investigated experimentally by Phase Resolved Optical Emission Spectroscopy and theoretically by simulations. The single frequency discharge is operated at 13.56 MHz and low pressures (< 1 Pa) in rare gases as well as molecular gases. The dual-frequency discharge is operated at 1.94 MHz + 27.12 MHz and 65 Pa in He-O₂ with small rare gas admixture. In both cases maxima of the excitation rate during sheath contraction are observed indicating a reversal of the electric field. In the dual-frequency case a Particle in Cell (PIC) simulation is performed that reproduces the experimentally observed excitation profiles. It explicitly shows a reversed field at distinct phases. A fluid model using input parameters from the PIC simulation reproduces this scenario. Based on this fluid model the mechanisms leading to a field reversal can be understood. Depending on pressure those are either electron collisions with the neutral background gas, electron inertia, or a combination of both.

Funded by the DFG through SFB591, GRK1051, the Hungarian Scientific Research Fund and supported by Andor Technology.

P II.12 Di 11:00 Poster C3

Investigations on Self-excited Plasma Series Resonance — ●CHRISTOPHER KNIER, JULIAN SCHULZE, DIRK LUGGENHÖLSCHER, KOSTYANTYN POLOZHII, and UWE CZARNETSKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum

Self-excited Plasma Series Resonances (PSR) are observed in capacitively coupled discharges as high frequency oscillations superimposed on the normal RF current. The high frequency oscillations are generated by a series resonance between the capacitive sheath and the inductance and resistivity of the bulk caused by electron inertia and elastic collisions with the background gas. The non-linearities of the sheath capacities cancel out for symmetric discharges. However, this is not the case for asymmetric discharges, leading to a very complex behaviour and increased power dissipation at low pressures.

A global model using a one-dimensional geometry has been derived. In order to realize one-dimensional discharge conditions experimentally, a cylindrical chamber with a coaxial powered electrode has been setup. Applied diagnostics include different types of current (e.g. SEERS), voltage and Langmuir probes. The measured data are compared to numerical simulations and data from non-cylindrical geometries.

P II.13 Di 11:00 Poster C3

Phase resolved Thomson scattering on an inductively coupled radio-frequency plasma discharge — ●DRAGOS LIVIU CRINTEA, DIRK LUGGENHÖLSCHER, and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, CPST, Ruhr-University Bochum, Germany

In radio-frequency (RF) discharges the electron energy distribution function is expected to be temporally oscillating. This applies to the homogeneous as well as the inhomogeneous part. The oscillation in the homogeneous part, which is of second order, can be observed by monitoring the phase-resolved emission from highly excited states. The observation of the oscillation of the inhomogeneous part is more difficult to probe. Here, for the first time we demonstrate such a measurement by phase-resolved Thomson scattering in an inductively coupled RF at 13.56 MHz in Argon at pressures of 0.5 Pa and 2 Pa. A displaced Boltzmann distribution is measured, where the displacement oscillates with the RF frequency. The displacement corresponds to a collective drift oscillation with velocity amplitudes of the order of 10^5 m/s. It can be fitted well to a sinus at the RF frequency. Further, the time independent plasma density is inferred from the Thomson spectra and so the local current density can be derived. In addition to the oscillatory drift also a small DC drift is observed with velocities in the range of a few 10^4 m/s. This drift increases with decreasing pressure and vanishes effectively at pressures of about 10 Pa. This work is supported in the framework of SFB 591, GK 1051

P II.14 Di 11:00 Poster C3

Die stoßbestimmte Schicht: Stufenmodell vs. exakte Lösung — ●RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

Der rasche Übergang von Elektronenverarmung zu Quasineutralität in einer Plasmarandschicht wird oft durch die Annahme einer un stetigen Sprungfunktion idealisiert. Formelmäßig: $n_e(x, t) = n_i(x)\theta(x - s(t))$, dabei bezeichnet $\theta(x - s(t))$ den Einheitssprung an der Stelle $s(t)$. Die Auswirkung dieser Approximation wird am Beispiel der HF-modulierten stoßbestimmten Randschicht nach Lieberman untersucht [1]. Im Vergleich zu der numerisch gefundenen exakten Lösung (ohne Stufenapproximation) weist das Modell von Lieberman (mit Stufenapproximation) eine unphysikalische Divergenz der Dichten am Übergang zum Plasmabulk auf. Die abfallenden Spannungen werden nur im Grenzfall starker Modulation korrekt beschrieben, für kleine Modulationen ergeben sich erhebliche Differenzen.

Diese Arbeit wurde gefördert durch SFB 591 und GK 1051.

[1] M.A. Lieberman, IEEE Trans. Plasma Sci. 17, p. 338 (1989)

P II.15 Di 11:00 Poster C3

Electron heating in asymmetric capacitively coupled RF discharges at low pressures — ●J. SCHULZE¹, B. HEIL¹, D. LUGGENHÖLSCHER¹, T. MUSSENBRÖCK², R. P. BRINKMANN², and U. CZARNETZKI¹ — ¹Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum — ²Institute for Theoretical Electrical Engineering, Ruhr-University Bochum

Despite its enormous relevance for applications, the phenomenon of stochastic electron heating in capacitively coupled RF discharges is not fully understood. A detailed experimental and theoretical investigation of electron heating in such discharges is performed at low pressures (< 10 Pa). Various diagnostics in combination with analytical models and numerical simulations are applied: The electric field in the sheath is measured space and time resolved by Fluorescence Dip Spectroscopy in Krypton. The excitation is investigated using Phase Resolved Optical Emission Spectroscopy. Radially resolved Langmuir probe measurements of electron density, mean energy and energy distribution function are performed. RF voltage and current waveform are measured. The measured electric fields are compared with the results of a fluid sheath model. The spatio-temporal excitation is calculated by a hybrid Monte Carlo simulation. The RF current at low pressures is non-sinusoidal due to the Plasma Series Resonance (PSR), but well described by an analytical model. The generation of energetic electron beams during sheath expansion is observed and described by another analytical model. It is concluded that stochastic heating is closely related to electron beams and the PSR effect.

P II.16 Di 11:00 Poster C3

Anregung von Harmonischen in kapazitiven Hochfrequenzentladungen: Ein räumlich aufgelöstes nichtlineares Modell — ●MARKUS GEBHARDT, DENNIS ZIEGLER, MARTIN LAPKE, MUSTAFA BAYRAK, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF PETER BRINKMANN — Ruhr Universität Bochum

Die Anregung von Harmonischen in kapazitiven Hochfrequenzentladungen ist ein Phänomen hervorgerufen durch die Wechselwirkung zwischen linearem Plasmabulk und nichtlinearer Plasmarandschicht. Dieses Phänomen wurde analytisch bisher auf der Basis globaler und räumlich aufgelöster Modelle unter Berücksichtigung einer quadratischen Näherung der Spannungs-Ladungs-Kennlinie der Plasmarandschicht untersucht. In diesem Beitrag wird ein räumlich aufgelöstes Modell für beliebige Entladungsgeometrien vorgeschlagen, das eine realistische Randschichtdynamik auf der Basis eines konsistenten Randschichtmodells berücksichtigt.

P II.17 Di 11:00 Poster C3

Nichtlineare Ohmsche und stochastische Heizung in kapazitiven Hochfrequenzentladungen — ●THOMAS MUSSENBRÖCK¹, DENNIS ZIEGLER¹, RALF PETER BRINKMANN¹, MICHAEL A. LIEBERMAN² und ALLAN J. LICHTENBERG² — ¹Ruhr Universität Bochum — ²University of California at Berkeley

In kapazitiven Hochfrequenzentladungen sind im Niederdruckbereich (< 10 Pa) zwei Heizprozesse von besonderer Bedeutung: Ohmsche Heizung auf Grund elastischer Stöße von Elektronen mit Neutralen des Hintergrundgases und stochastische Heizung durch Impulstransfer von der hochfrequent oszillierenden Plasmarandschicht auf Elektronen. In diesem Beitrag zeigen wir, dass die Selbsterregung von Harmonischen im HF-Strom auf Grund der nichtlinearen Wechselwirkung zwischen Plasmabulk und Plasmarandschicht starken Einfluss auf die Heizung der Elektronen nimmt. Wir kommen zu dem Ergebnis, dass für eine vollständige Beschreibung der Elektronenheizung die Berücksichtigung nichtlinearer Effekte maßgeblich ist.

P II.18 Di 11:00 Poster C3

An influence of the skin effect on plasma impedance in an inductively coupled RF discharge — ●KOSTYANTYN POLOZHIY¹ and DMYTRO RAFALSKYI² — ¹Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Germany — ²Kharkiv National V. Karazin University, Kharkiv, Ukraine

The phenomenological model of the plasma impedance in an inductively coupled RF discharge with cylindrical geometry is presented. The model takes into account an influence of the skin effect on a distribution of the electromagnetic fields in plasma for both cases of low- and high-density plasmas. Using an approximate formula for the electrical field distribution in the plasma bulk, an analytical solution and the basic expressions for the general electrical characteristics of the inductively coupled RF discharges are obtained. It is shown that a consideration of the plasma as a conductive loop with thickness of a skin-depth order reduces an obtained plasma impedance by factor 2. A preliminary experimental verification of the model results has been done. The results can be useful for further development of the existing models of the plasma impedance in the inductively coupled RF discharges.

P II.19 Di 11:00 Poster C3

Dynamics of E to H Mode Transitions in Inductively Coupled Discharges — ●PHILIPP KEMPKES, JAN TENFELDE, and HENNING SOLTWISCH — Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44780 Bochum, Germany

In order to investigate the dynamics of E to H mode transitions, they are periodically triggered via amplitude modulation of the discharge input power and a range of different diagnostic techniques, such as Langmuir probes, current and voltage probes and induction loop probes, is applied. Measurements are performed at high temporal resolution to match the ten-microsecond timescale the mode transitions typically occur on. We present the evolution of the electron energy distribution function (EEDF) during the E to H and the reverse H to E mode transition together with electrical characteristics and measurements of the rf magnetic field. The EEDF shows an enhanced low-energy part at the onset of both transitions, which is consistent with results, reported earlier [1,2]. The findings are compared to a time-resolved global model, which is supplemented by a semi-analytic calculation of the electromagnetic fields after Turner et. al. [3]. The results indicate that the power coupling efficiency between the power supply and the induction antenna changes considerably during the mode transitions, which might be a reason for the accompanying hysteresis effects, reported frequently.

- [1] P. Kempkes et. al, Plasma Sources Sci. Technol. 15 (2006) 378-83
- [2] S. V. Singh et. al, Appl. Phys. Lett. 89 (2006) 161501
- [3] I. M. El-Fayoumi et. al, J. Phys. D: Appl. Phys. 31 (1998) 3082-94

P II.20 Di 11:00 Poster C3

A retarding field analyzer for arbitrarily biased substrates in reactive plasmas — ●TIM BALONIAK and ACHIM VON KEUDELL — Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Germany

Thin film deposition is one important application of modern plasma physics. Plasma ions are accelerated in the plasma sheath and impinge onto a growing film surface. The ion energy distribution function (IEDF) is of key importance for the properties of the deposited films. The IEDF can be manipulated by applying an external bias voltage to the substrates. In this work, the interplay of a non-sinusoidal biasing, the ion energy distribution and the resulting film properties is under investigation. Measurements are performed in a capacitively coupled plasma which is heated by 13.56 MHz. The substrates are placed on an arbitrarily biased electrode. A miniaturized floating retarding field energy analyzer (RFEA) allows for IEDF measurements on the biased electrode. First results obtained for non-reactive argon plasmas are compared to measurements performed by a commercially available floating RFEA and to modeling.

P II.21 Di 11:00 Poster C3

Plasma-deposition of low stress a-Si:H/a-C:H multi-layers — ●AZADEH HOSSEINI BADAQSHANI, JANINE SCHAUER, BENEDIKT NIERMANN, and JÖRG WINTER — Ruhr - Universität Bochum, Institut für Experimentalphysik II, Universitätsstraße 150, Gebäude NB, 44801 Bochum

Because of its hardness and wear resistance diamond-like carbon (DLC) has the desired properties of a good protective coating. But these films possess high intrinsic stresses which can lead to film delamination especially when thick DLC films are considered. It has been shown that the adhesion of DLC can be improved by depositing a thin interlayer of amorphous-hydrogenated silicon (a-Si:H) between DLC film and substrate. In this work properties of multi-layers of a-Si:H and DLC have been studied. Depositing thin layers of a-Si:H and DLC on each other enables depositing thick a-Si:H /DLC film systems with low intrinsic stress. These multi-layers have been deposited via PECVD. The behaviour of intrinsic stresses in multi-layers with varying thickness has been investigated. Fatigue properties of these films deposited on nickel titanium have been qualitatively tested by cavitation erosion admission. In this test the substrate comes to contact with periodical shock waves produced in water.

P II.22 Di 11:00 Poster C3

Pulsed Low Frequency Inductively Coupled Plasma Source — ●CHRISTIAN TESKE, JOACHIM JACOBY, WALDEMAR SCHWEIZER, and JÖRG WIECHULA — Institut für Angewandte Physik, Johann-Wolfgang-Goethe Universität, 60438 Frankfurt am Main, Germany

An inductively coupled pulsed plasma source with an operating frequency of 29kHz is introduced. Using a series resonance circuit with large diameter induction coils surrounding a spherical discharge vessel, a plasma was produced and investigated in the pressure range from 0,1Pa to 100Pa. Pulsed coil currents reached a maximum value of 9,6kA while achieving an energy coupling efficiency of 80% between the driving circuit and the plasma. Pulsed power peak values reached more than 1MW. Moreover the spectroscopic diagnostic revealed a high fraction of ionized particles and an emission spectrum in the near UV range. By using a fast shutter camera system the initiation of the discharge was investigated. The ignition of the discharge along an azimuthal path was documented, showing evidence of an inductive plasma initiation without capacitive coupling.

P II.23 Di 11:00 Poster C3

Investigation of an RF ICP — ●JÖRG WIECHULA, MARCUS IBERLER, CHRISTIAN TESKE, WALDEMAR SCHWEIZER, and JOACHIM JACOBY — Johann Wolfgang Goethe-Universität, Institut für Angewandte Physik, Max von Laue Straße 1, 60438 Frankfurt

In the present study, an experiment with an electrode less inductively coupled plasma (ICP) is under investigation. The main section of the experimental setup is a discharge tube of glass wrapped with a cylindrical induction coil. The RF power is coupled into the plasma by transformer action. Driven at a fixed frequency of 13.56MHz the generator used in this experiment can deliver up to 10kW of RF power. For diagnostic purposes Ar and He is used as a working gas. A main interest of this experiment is the influence of the coil geometry on the coupling efficiency between the external circuitry and the plasma. Therefore, measurements of the electrical parameters are performed to determine the coupling efficiency and monitor the capacitive-to-inductive transi-

tion, which occurs at higher power levels. The electron temperature of the discharge plasma is measured by spectroscopic means where else the electron density is determined using a langmuir probe.

P II.24 Di 11:00 Poster C3

A New Dry Etch Chemistry in Deep Trench Silicon Plasma Etching For Sub-100nm Technologies — ●HARALD RICHTER¹, SIEGFRIED GÜNTHER¹, STEPHAN WEGE², SVEN BARTH², IOAN COSTINA¹, GÜNTER WEIDNER¹, STEFFEN MARSCHMEYER¹, and HEIKE SILZ¹ — ¹IHP Frankfurt (Oder) — ²Qimonda Dresden

An essential market share of today's DRAM production is covered by devices using a trench capacitor cell. The technology and productivity driven shrink of lateral dimensions at approximately constant capacity specifications lead to an increased deep trench (DT) aspect ratio (depth/width) requirement. For sub-100nm technologies and a given capacitance and cell size the requirement for DT etching results in aspect ratios of 60 to 80. In this paper, we describe DT process developments driven by the following motivation: To realise aspect ratio requirements a high selectivity to hard mask is needed. Therefore, process conditions which lead to minimized hard mask consumption during Si DT etching are necessary. A new DT plasma etch chemistry was introduced using CO₂ as a successful alternative to the standard passivation component O₂ in the common gas mixture HBr/NF₃/O₂. Investigations were focused on a non conventional hard mask material containing a TiN/Ti sandwich structure. In former investigations TiN/Ti works only as a stop layer for DT etch. Approx. 3.5 micron deep trenches over a 200nm TiN/Ti hard mask can be realized using HBr/NF₃/CO₂ processes. During Si etching a passivation layer is formed on the hard mask regions protecting TiN and ensures the requested high selectivity.

P II.25 Di 11:00 Poster C3

Population Inversion of Excited Hydrogen Atoms in a Recombining Hydrogen Plasma Jet — ●ONNO GABRIEL, SULEIMAN ELHAMALI, JEROEN VAN DEN DUNGEN, DAAN SCHRAM, and RICHARD ENGELN — Department of Applied Physics, Plasma & Materials Processing, Technische Universiteit Eindhoven, Postbus 513, 5600 MB Eindhoven, The Netherlands

The densities of hydrogen ions and atoms in an expanding thermal hydrogen plasma jet can be strongly increased by applying an axial magnetic field. This well known technique of confinement is used for the generation of large ion flows. Our research is focused on hydrogen plasma-surface interactions, for which we use the magnetized plasma jet as an atom source. Under certain plasma conditions an interesting feature is visible: The emission of the plasma jet, dominated by H α lines at the first centimeters, changes to the blue spectral region due to higher Balmer lines ($n > 4$). Moreover, these higher electronic states of H atoms become stronger populated than the lower states. A possible reaction route resulting in the formation of these high excited hydrogen atoms is via mutual recombination of positive and negative ions. The latter are formed by dissociative attachment of electrons with rovibrationally-excited hydrogen molecules, which we measured spatially and internal state resolved by laser induced fluorescence in the VUV. TALIF on ground state hydrogen atoms completes the picture. These measurements indicate the high degree of excitation of these expanding plasmas, and the possible importance of rovibrational-excited molecules and negative ion formation.

P II.26 Di 11:00 Poster C3

Simulationen zur Entstehung und Extraktion negativer Wasserstoffionen an HF-Ionenquellen für ITER — ●RAPHAEL GUTSER, DIRK WÜNDERLICH, URSEL FANTZ und NNBI -TEAM — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, 85748 Garching, EURATOM Assoziation

Quellen für negative Ionen (H^- , D^-) sind für die Neutralteilchenheizung von zukünftigen Fusionsexperimenten wie ITER von hoher Relevanz. Ein Verständnis der physikalischen Prozesse, welche bei der Entstehung und Extraktion negativer Wasserstoffionen beteiligt sind, ist unerlässlich für die Optimierung einer derartigen Quelle. Numerische Modellrechnungen spielen hier eine sehr wichtige Rolle. Neben Rechnungen zur Ionenoptik mit dem kommerziellen KOBRA3 Code, wird ebenfalls ein Monte-Carlo Trajektorien Code vorgestellt, der die Berechnung der Extraktionswahrscheinlichkeit und räumlichen Verteilung der oberflächenproduzierten negativen Ionen gestattet. Um die Ionenausbeute zu erhöhen wird Cäsium verwendet, wobei die Austrittsarbeit der Oberfläche durch die dünne Cs Schicht sinkt. Das Cs wird durch Verdampfen in die Quelle injiziert. Dadurch bedingte dyna-

mische Effekte werden mit einem Cs Transport Code berechnet. Erste Ergebnisse der simulierten Cs-Verteilung unter den Vakuum Bedingungen der Ionenquelle werden gezeigt und diskutiert.

P II.27 Di 11:00 Poster C3

Untersuchungen an HF-angeregten Metallhalogenidplasmen
— •STEFAN BRIEFLI, URSEL FANTZ, PATRICK STARKE, STEPHAN DIETRICH und JOSEF GRIESBAUER — Lehrstuhl für Experimentelle Plasmaphysik, Universität Augsburg, 86135 Augsburg

Herkömmliche Leuchtstofflampen werden mit Quecksilber betrieben, das im nahen UV-Bereich emittiert. Durch Leuchtstoffe werden die UV-Quanten (ca. 250 nm) in sichtbares Licht konvertiert, wobei relativ viel Energie aufgrund des Stokes-Shifts verloren geht. Wegen diesem Verlust und der Umweltbelastung von Quecksilber sucht man nach Alternativen. Eine Option sind dabei die Metallhalogenide, die im Bereich von 300 bis 420 nm Licht emittieren, wodurch der Energieverlust aufgrund des Stokes-Shifts verringert wird. In heizbaren, abgeschlossenen Glasröhren mit definiertem Inhalt (Edelgas und Metallhalogenid) wurde über eine induktive Einkopplung eine HF-Entladung (13.56 MHz, $P_{Generator} = 0$ bis 300 W) gezündet und untersucht. Dabei wurde der Fülldruck, das Hintergrundgas sowie die Metallhalogenidmenge in den Entladungsgefäßen variiert, und die Strahlung mittels optischer Emissionsspektroskopie charakterisiert. Um einen detaillierten Einblick in Besetzungsmechanismen zu erhalten, wurde zusätzlich die Weißlicht-Absorptionsspektroskopie angewendet. Die Interpretation der Ergebnisse wird außerdem durch eine Modellierung der Mo-

lekülspektren unterstützt. Die erhaltenen Resultate werden dargestellt und diskutiert.

P II.28 Di 11:00 Poster C3

Plasmaparameterprofile in einer Quelle für negative Ionen
— •STEPHAN DIETRICH¹, SINA CHRIST-KOCH² und URSEL FANTZ^{1,2}
— ¹Lehrstuhl für Experimentelle Plasmaphysik, Institut für Physik, Universität Augsburg, 86135 Augsburg — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, 85748 Garching

Bei der Entwicklung der Neutralteilchenheizung für ITER ist eine Optimierung der Quellen für negative Ionen notwendig. Da die Entstehungs- und Vernichtungsprozesse der negativen Wasserstoff-/Deuteriumionen stark von den Plasmaparametern (n_e , T_e) abhängen, wurden diese Parameter mit Hilfe einer Janussonde von der Anregungszone bis kurz vor den Extraktionsbereich bestimmt. Bei der untersuchten Quelle handelt es sich um ein induktiv gekoppeltes Plasma, in dem bei einer HF-Leistung von ca. 80kW und einem Druck von 0.3Pa Wasserstoffplasmen erzeugt wurden. Dabei wurde zum einen die an dem Plasmagitter angelegte Biasspannung variiert und zum anderen der Einfluss eines zusätzlichen Magnetfeldes auf die Plasmaparameter bestimmt. Eine spezielle Anordnung der Elektroden auf dem Sondenkopf ermöglicht es hierbei nicht nur aus den Sättigungsströmen n_e und n_i , sondern auch die Strömung der positiven Ionen zu bestimmen. Die Elektronenenergieverteilungsfunktion wurde dabei sowohl aus der zweiten Ableitung der U/I Kennlinie als auch direkt mit Hilfe eines aufmodulierten Signals bestimmt (Boyd-Twiddy-Methode).