

Fachverband Plasmaphysik (P)

Ralf Peter Brinkmann
 Ruhr-Universität Bochum
 Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik
 Universitätsstr. 150
 44801 Bochum
 ralf-peter.brinkmann@tet.rub.de

Übersicht der Hauptvorträge und Fachsitzungen (Hörsäle V55.01, V57.01, V57.02 und V57.03; Poster.III)

Hauptvorträge

P 3.1	Mon	14:00–14:30	V57.01	Equilibration of Strongly Coupled Ultracold Plasmas — •THOMAS KIL- LIAN
P 3.2	Mon	14:30–15:00	V57.01	Short-Time Dynamics of Dust Clusters in Plasmas — •ANDRE MELZER, TOBIAS MIKSCH, ANDRE SCHELLA, JAN SCHABLINSKI, DIETMAR BLOCK, ALEXANDER PIEL
P 3.3	Mon	15:00–15:30	V57.01	Shell Formation Dynamics of a Spherical Yukawa Plasma — •HANNO KÄHLERT, MICHAEL BONITZ
P 4.1	Mon	14:00–14:30	V57.02	Novel First-Principles Simulation Methods for Hot, Dense Plasmas — •BURKHARD MILITZER
P 6.1	Mon	16:30–17:00	V57.01	Investigation of high power impulse magnetron sputtering (HIPIMS) discharge using fast ICCD camera — •ANTE HECIMOVIC, TERESA DE LOS ARCOS, VOLKER SCHULZ-VON DER GATHEN, MARC BÖKE, JÖRG WINTER
P 6.2	Mon	17:00–17:30	V57.01	Negative ions and mode transitions in oxygen cc-rf plasmas — •KRISTIAN DITTMANN, CHRISTIAN KÜLLIG, JÜRGEN MEICHSNER
P 7.1	Tue	10:30–11:00	V57.01	Implanted noble gas atoms as a tool for structure determination of plasma-deposited thin films using X-ray photoelectron spectroscopy — •TERESA DE LOS ARCOS, ANDREAS WILL, MARINA PRENZEL, ACHIM VON KEUDELL, JÖRG WINTER
P 8.1	Tue	10:30–11:00	V57.02	Simulations of FEL-excited matter — •NIKITA MEDVEDEV, BEATA ZI- AJA, CHRISTOPH BOSTEDT, HENRY CHAPMAN, TIM LAARMANN, THOMAS MOELLER, ROBIN SANTRA, FENGLIN WANG, EDGAR WECKERT
P 8.2	Tue	11:00–11:30	V57.02	Magnetic Fields and Strong Correlations in One-Component Plasmas — •TORBEN OTT
P 9.1	Tue	14:00–14:30	V57.01	Kinetische Simulationen von technischen Plasmen — •DENIS EREMIN
P 10.1	Tue	14:00–14:30	V57.02	Kontrolle von Edge Localised Modes - eine Herausforderung für ITER und den Fusionsreaktor — •WOLFGANG SUTTROP, ASDEX UPGRADE TEAM
P 10.2	Tue	14:30–15:00	V57.02	Studies of pure electron plasmas and partially neutralized plasmas in the CNT stellarator — •THOMAS S. PEDERSEN, XABIER SARASOLA, ERIC WINKLER
P 16.1	Thu	10:30–11:00	V57.01	RF-Heizszenarien am WEGA Stellarator — •MATTHIAS OTTE, HEINRICH LAQUA, TORSTEN STANGE
P 18.1	Thu	14:00–14:30	V57.01	ESTELL: ein quasi-toroidalsymmetrischer Stellarator — •MICHAEL DREVLAK
P 18.2	Thu	14:30–15:00	V57.01	Struktur, Entstehung und Zeitentwicklung von Zonal Flows und geoakustische Moden — •KLAUS HALLATSCHKEK, MARKUS DAFINGER, NIELS GÜRTLER, ROBERT HAGER, ANDREAS KAMMEL
P 19.1	Thu	14:00–14:30	V57.02	Dreidimensionale Strukturen und Dynamik in staubigen Plasmen unter Schwereelosigkeit — •BIRGER BUTTENSCHÖN, MICHAEL HIMPEL, ANDRÉ MELZER, KRISTOFFER O. MENZEL, DAVID CALIEBE, OLIVER ARP, ALEXAN- DER PIEL

P 23.1	Fri	10:30–11:00	V57.01	Modellierung der Ionenquelle für ITER NBI: Von der Erzeugung negativer Wasserstoffionen bis zur Extraktion — ●DIRK WÜNDERLICH, NNBI-TEAM
P 23.4	Fri	11:40–12:10	V57.01	Plasma based deposition of functional nanocomposites — ●FRANZ FAUPEL
P 24.1	Fri	10:30–11:00	V57.02	Untersuchung der Doppler-Reflektometrie mit Fullwave-Simulationen — ●CARSTEN LECHTE, GARRARD CONWAY, TOBIAS GÖRLER
P 24.2	Fri	11:00–11:30	V57.02	Hα Spektroskopie an Wasserstoffatomen in Fusionsplasmen: eine Herausforderung der Atomphysik — ●OLEKSANDR MARCHUK
P 25.1	Fri	14:00–14:30	V57.01	Plasma processes in high voltage circuit breakers — ●MARTIN SEEGER
P 26.1	Fri	14:00–14:30	V57.02	Erste Erfahrungen im Plasmabetrieb mit metallischer Wand in JET — ●SEBASTIJAN BREZINSEK
P 26.2	Fri	14:30–15:00	V57.02	Wolfram-Spektroskopie an Fusionsplasmen - Wertvolle Information aus komplexen Spektren — ●T. PÜTTERICH, R. NEU, R. DUX, C. BIEDERMANN, S. BREZINSEK, J.W. COENEN, G.J. VAN ROOIJ, ASDEX UPGRADE TEAM

Hauptvorträge des fachübergreifenden Symposiums SYGP

Das vollständige Programm dieses Symposiums ist unter SYGP aufgeführt.

SYGP 1.1	Mon	10:30–10:55	V55.22	Gemeinsame Forschungsprojekte in Fusions- und astrophysikalischen Plasmen — ●SIBYLLE GÜNTER, SAMI K. SOLANKI
SYGP 1.2	Mon	10:55–11:20	V55.22	Liquid metal experiments on the creation and action of cosmic magnetic fields — ●FRANK STEFANI, GUNTER GERBETH, ANDRE GIESECKE, THOMAS GUNDRUM, MARTIN SEILMAYER, AGRIS GAILITIS, MARCUS GELLERT, GÜNTHER RÜDIGER
SYGP 1.3	Mon	11:20–11:45	V55.22	The thermal noise of the universe — ●REINHARD SCHLICKEISER, PETER H. YOON
SYGP 1.4	Mon	11:45–12:10	V55.22	The role of magnetic fields in core collapse supernovae — ●EWALD MUELLER
SYGP 1.5	Mon	12:10–12:35	V55.22	Magnetic instabilities in stars — ●RAINER ARLT
SYGP 1.6	Mon	12:35–13:00	V55.22	Small-scale vortices and shocks in the solar atmosphere — ●MANFRED SCHÜSSLER, ROBERT H. CAMERON, RAINER MOLL

Hauptvorträge des fachübergreifenden Symposiums SYPD

Das vollständige Programm dieses Symposiums ist unter SYPD aufgeführt.

SYPD 1.2	Thu	10:40–11:20	V57.03	Fortschritte in den optischen Dünnschichttechnologien — ●NORBERT KAISER
SYPD 1.3	Thu	11:20–11:50	V57.03	Entwicklung neuer optischer Funktionsschichten durch hochionisierte Sputterprozesse — ●MICHAEL VERGÖHL, RALF BANDORF, STEFAN BRUNS, VOLKER SITTINGER, BERND SZYSZKA, OLIVER WERNER
SYPD 1.4	Thu	11:50–12:20	V57.03	Plasma unterstützte Prozesse zur Herstellung anspruchsvoller Interferenzfilter — ●HARRO HAGEDORN, WALTER LEHNERT, JÜRGEN PISTNER, HOLGER REUS, MICHAEL SCHERER, ALFONS ZÖLLER
SYPD 2.1	Thu	14:00–14:30	V57.03	Charakterisierung von Plasmaprozessen zur ionengestützten Abscheidung (PIAD) von optischen Schichten — ●JENS HARHAUSEN, RALF PETER BRINKMANN, RÜDIGER FOEST, ANDREAS OHL, BENJAMIN SCHRÖDER, HARTMUT STEFFEN
SYPD 2.2	Thu	14:30–15:00	V57.03	Prozessüberwachung und Kontrolle mit der Multipol-Resonanz-Sonde — ●RALF PETER BRINKMANN, MARTIN LAPKE, JENS OBERRATH, CHRISTIAN SCHULZ, ROBERT STORCH, TIM STYRNOLL, PETER AWAKOWICZ, THOMAS MUSSENBRÖCK, THOMAS MUSCH, ILONA ROLFES, CHRISTIAN ZIETZ
SYPD 2.3	Thu	15:00–15:30	V57.03	Gepulste Hochleistungsplasmen zur Synthese nanostrukturierter Funktionsschichten (SFB TR 87) — ●PETER AWAKOWICZ
SYPD 2.4	Thu	15:30–16:00	V57.03	Phase stability of TiAlNO (SFB TR 87) — ●JOCHEN SCHNEIDER

Fachsitzungen

P 1.1-1.1	Mon	10:30-12:30	V57.01	Tutorial: Kalte Atmosphärendruckplasmen - Heißes Thema
P 2.1-2.3	Mon	10:30-12:00	V47.03	Correlation dynamics in plasmas and clusters I
P 3.1-3.6	Mon	14:00-16:15	V57.01	Correlation dynamics in plasmas and clusters II
P 4.1-4.5	Mon	14:00-15:40	V57.02	Astrophysikalische Plasmen
P 5.1-5.8	Mon	14:00-16:00	V57.03	Niedertemperaturplasmen
P 6.1-6.7	Mon	16:30-18:55	V57.01	Grundlegende Phänomene
P 7.1-7.7	Tue	10:30-12:30	V57.01	Diagnostik (von Niedertemperaturplasmen)
P 8.1-8.6	Tue	10:30-12:30	V57.02	Dichte Plasmen, Schwerionen- und Laserplasmen
P 9.1-9.7	Tue	14:00-16:20	V57.01	Simulationsverfahren/Theorie/Modellierung
P 10.1-10.6	Tue	14:00-16:00	V57.02	Magnetischer Einschluss I
P 11.1-11.8	Tue	16:30-19:00	Poster.III	Poster: Magnetischer Einschluss
P 12.1-12.3	Tue	16:30-19:00	Poster.III	Poster: Plasma-Wand-Wechselwirkung
P 13.1-13.30	Tue	16:30-19:00	Poster.III	Poster: Niedertemperaturplasmen
P 14.1-14.19	Wed	16:30-19:00	Poster.III	Poster: Plasmatechnologie
P 15.1-15.23	Wed	16:30-19:00	Poster.III	Poster: Theorie/Modellierung
P 16.1-16.7	Thu	10:30-12:40	V57.01	Magnetischer Einschluss II/Plasmalichttechnik
P 17.1-17.7	Thu	10:30-12:15	V55.01	Laserplasmen und innovative Anwendungen
P 18.1-18.6	Thu	14:00-16:00	V57.01	Theorie/Modellierung
P 19.1-19.6	Thu	14:00-15:55	V57.02	Komplexe und staubige Plasmen
P 20.1-20.15	Thu	16:30-19:00	Poster.III	Poster: Diagnostik
P 21.1-21.17	Thu	16:30-19:00	Poster.III	Poster: Staubige Plasmen
P 22.1-22.6	Thu	16:30-19:00	Poster.III	Poster: Sonstiges
P 23.1-23.6	Fri	10:30-12:40	V57.01	Plasmatechnologie I (Niederdruckkonzepte)
P 24.1-24.5	Fri	10:30-12:25	V57.02	Diagnostik (von Hochtemperaturplasmen)
P 25.1-25.5	Fri	14:00-15:50	V57.01	Plasmatechnologie II (Hochdruckkonzepte)
P 26.1-26.6	Fri	14:00-16:00	V57.02	Plasma-Wand-Wechselwirkung

Mitgliederversammlung Fachverband Plasmaphysik

Donnerstag 12:45-13:15 Raum V57.01

P 1: Tutorial: Kalte Atmosphärendruckplasmen - Heißes Thema

Time: Monday 10:30–12:30

Location: V57.01

P 1.1 Mon 10:30 V57.01

Kalte Atmosphärendruckplasmen - Heißes Thema — ●ACHIM VON KEUDELL — Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Physik und Astronomie, 44780 Bochum

Niedertemperatur- und Niederdruckplasmen werden seit Jahrzehnten sehr erfolgreich für unzählige Fertigungsschritte der Hightech-Industrie eingesetzt. Ein Großteil der Produkte unseres täglichen Lebens kommen mit diesen Plasmen in Berührung, seien es Bauteile der Mikroelektronik, Elemente moderner Autos oder Kunststoffe der Verpackungsindustrie. Alle Anwendungen basieren auf der geschickten Ausnutzung eines Nicht-Gleichgewichtes zwischen heißen Elektronen und kalten Ionen und Neutralteilchen. Diese Eigenschaft des Plasmas erkaufte man sich mit dessen Betrieb bei niedrigem Druck in großen Vakuumanlagen, was Plasmaprozesse teuer und technisch kompliziert macht. Eine Übertragung solcher Plasmaprozesse auf neuere Anwendungen ist deshalb oft schwierig. Seit Anfang der 90er Jahre hat sich dieses Bild aber geändert. Inzwischen gibt es zahlreiche Plasmen, die bei Atmosphärendruck betrieben werden können, sich aber trotzdem noch im Nicht-Gleichgewicht befinden, d.h. der Übergang zu einem heißen Plas-

ma bogen wie beim Plasmaschweißen wird geschickt umgangen. Solche Plasmen stoßen auf sehr großes Interesse der Industrie, da man mit ihnen neue Anwendungsfelder erschließen kann und sie sich einfach in bestehende Produktionslinien integrieren lassen. Für dieses Ziel müssen aber noch zahlreiche physikalische Hürden überwunden werden, die derzeit im Zentrum der weltweiten Forschungsaktivitäten stehen: Wie lassen sich die Instabilitäten dieser Atmosphärendruckplasmen beherrschen? Wie realisiert man die Ein- und Auskopplung von Teilchen, Strahlung und Energie in diesen Systemen? Wie verknüpft man Plasma, Chemie und Gasströmung in der Modellierung möglichst selbstkonsistent? Wie lassen sich klassische Messgrößen eines Plasmas wie die Elektronendichte und -temperatur überhaupt zuverlässig bestimmen? Bei all diesen Fragen stößt man zurzeit an die Grenzen der Möglichkeiten von Experiment, Theorie und Simulation. Genau deshalb bleibt dieses Gebiet noch für viele Jahre ein hoch attraktives Thema und eine hervorragende internationale Herausforderung für die theoretische und experimentelle Plasmaphysik. In diesem Tutorial werden die Grundkonzepte und Fragestellungen des sehr heißen Themas der kalten Atmosphärendruckplasmen erläutert und an einigen ausgewählten Beispielen illustriert.

P 2: Correlation dynamics in plasmas and clusters I

Time: Monday 10:30–12:00

Location: V47.03

Invited Talk

P 2.1 Mon 10:30 V47.03

Many-electron dynamics triggered by strong FEL pulse — ●ULF SAALMANN — Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme · Dresden

Intense pulses at extreme-ultraviolet or X-ray wavelengths — as available from short-wavelength free-electron laser sources like FLASH in Hamburg/Germany, SACLA at Spring8/Japan or LCLS in Stanford/California — couple a large number of photons into clusters or bio-molecules, or more generally, extended systems. Within femtoseconds many electrons are released through single-photon absorption. The induced many-electron dynamics depends critically on the photon frequency and the pulse duration. We discuss the various regimes, ranging from nano-plasma thermalization [1] to massively parallel ionization [2]. The dynamics can be studied experimentally by measuring electron spectra. We present spectra as obtained by means of a generic model, called Coulomb complexes [3], and from simple analytical considerations.

[1] U Saalmann, I Georgescu, J-M Rost, *New J. Phys.* 10, 025014 (2008).

[2] Ch Gnodtke, U Saalmann, J-M Rost, arxiv.org/abs/1111.6888

[3] Ch Gnodtke, U Saalmann, J-M Rost, *New J. Phys.* 13 013028 (2011).

Invited Talk

P 2.2 Mon 11:00 V47.03

Ignition and dynamics of doped He nanodroplets in intense few-cycle IR pulses — SIVA KRISHNAN¹, LUTZ FECHNER¹, ROBERT MOSHAMMER¹, JOACHIM ULLRICH¹, FRANK STIENKEMEIER², ●MARCEL MUDRICH², ALEXEY MIKABERIDZE³, ULF SAALMANN³, JAN-MICHAEL ROST³, CHRISTIAN PELTZ⁴, and THOMAS FENNEL⁴

— ¹Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg, Germany — ²Physikalisches Institut, Uni Freiburg, Germany — ³Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme, Dresden, Germany — ⁴Physics Institute, University of Rostock, Germany

Doped He nanodroplets are widely used as inert, transparent, and cold matrix for spectroscopy of embedded molecules and clusters [1]. When

exposed to strong laser fields, however, a few dopant atoms are sufficient to "ignite" avalanche-like ionization that turns the whole droplet into a strongly absorbing nanoplasma [2,3]. We present experiments and model calculations on the ignition and dynamics of rare gas-doped He nanodroplets illuminated by few-cycle laser pulses.

[1] J. P. Toennies and A. Vilesov, *Angew. Chem. Int. Ed.* 43, 2622 (2004)

[2] A. Mikaberidze, U. Saalmann, and J. M. Rost, *Phys. Rev. Lett.* 102, 128102 (2009)

[3] S. R. Krishnan et al., *Phys. Rev. Lett.* 107, 173402 (2011)

Invited Talk

P 2.3 Mon 11:30 V47.03

Quantum and classical measures of molecular ultracold plasma dynamics — JONATHAN MORRISON, HOSSEIN SADEGHI, MARKUS SCHULZ-WEILING, DONALD KELLOWAY, NICOLAS SAQUET, and ●EDWARD GRANT — University of British Columbia, Vancouver, Canada

Ultracold plasmas offer laboratory access to an important regime of ionized gases in which moderate densities combine with very low ion and electron temperatures to approach conditions of strong Coulomb coupling. Many examples have been studied in atomic systems under conditions of laser cooling in magneto-optical traps. Work in our laboratory has developed an alternative approach using samples cooled in a seeded supersonic molecular beam. This method yields much higher charged particle densities, and appears to attain comparable or even lower electron and ion temperatures, elevating the prospect of strong coupling. Using a beam, we can readily form plasmas composed of molecular ions. Experiments together with model calculations show that molecular effects play a significant role in plasma evolution. For example, ultracold plasmas show promise as bright sources of electrons. Such utility depends on their properties of expansion and decay. This talk presents new results on the ultracold plasma formed by exciting NO in a molecular beam. Aided by model calculations, we show how molecular processes, including dissociative recombination and collision-induced internal conversion, act to effect the spatial and energetic relaxation of the plasma.

P 3: Correlation dynamics in plasmas and clusters II

Time: Monday 14:00–16:15

Location: V57.01

Invited Talk

P 3.1 Mon 14:00 V57.01

Equilibration of Strongly Coupled Ultracold Plasmas —

•THOMAS KILLIAN — Rice University, Houston, Texas, USA

Ultracold neutral plasmas provide a powerful platform for studying collisional equilibration in strongly coupled systems. They are created by photoionizing laser-cooled atoms at the ionization threshold, and the resulting ion and electron temperatures are orders of magnitude colder than in traditional neutral plasmas. The ions are strongly coupled and equilibrate with Coulomb coupling constant $1 < \Gamma_i < 4$. Because the density is relatively low compared to high-density strongly coupled plasmas, all relevant timescales are much longer, which provides great advantages for experiments.

The creation of the plasma involves a rapid hardening, or quench of the particle interactions. This leads to an exchange of potential and kinetic energy during subsequent thermalization called correlation induced heating. This is followed by oscillations of the kinetic energy at the ion plasma oscillation frequency. It is also possible to perturb the velocity distribution in an equilibrium plasma and observe the relaxation to a Maxwell-Boltzmann distribution. This allows a measurement of the collision rate in the strongly coupled regime, beyond the point where standard Landau-Spitzer theory becomes invalid. Both experiments probe general features of equilibrating strongly coupled systems and can be related to dynamics in other laser-produced plasmas.

Invited Talk

P 3.2 Mon 14:30 V57.01

Short-Time Dynamics of Dust Clusters in Plasmas —•ANDRE MELZER¹, TOBIAS MIKSCH¹, ANDRE SCHELLA¹, JAN SCHABLINSKI², DIETMAR BLOCK², and ALEXANDER PIEL² — ¹Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald — ²IEAP, Christian-Albrechts-Universität Kiel

Dust clusters show a wide variety of fascinating dynamic properties which strongly depend on the exact particle number. For example, they can be heated from an ordered, solid state to a fluid state or perform normal mode oscillations. Moreover, magic number configurations show high structural and dynamical stability.

Dust clusters consist of a small number of microspheres (dust) trapped in a gaseous discharge plasma. There, the particles attain high negative charges due to the inflow of plasma electrons and ions. These dust clusters can be confined in 2D or 3D arrangements depending on the plasma conditions. They are ideally suited to measure the dynamical properties on the kinetic level of individual particles by (stereoscopic) video microscopy.

Here, we like to address the question of solid-liquid phase transitions in these finite systems in both 2D and 3D as well as their normal modes. These allow a detailed insight into the physical mechanisms of dust systems in particular and charged clusters in general.

This work is supported by DFG under SFB-TR24 and DLR under 50WM1138.

Invited Talk

P 3.3 Mon 15:00 V57.01

Shell Formation Dynamics of a Spherical Yukawa Plasma —•HANNO KÄHLERT^{1,2} and MICHAEL BONITZ¹ — ¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel — ²Heinrich-Heine Universität Düsseldorf

Dusty plasmas allow for a fully kinetic investigation of various processes in strongly coupled plasmas—including their dynamics on short time scales. Here, we focus on the time-dependent correlation buildup in spherical dust clusters ('Yukawa Balls'). Starting from a laser-heated initial state, we investigate the time evolution of the dust cloud by Langevin dynamics simulations [1,2]. Due to friction with the neutral gas, the dust particles reach a strongly coupled state in the long-time limit with a well-defined radial shell structure [3]. For short and intermediate times, the simulations show that the cooling process is accompanied by a breathing oscillation of the plasma which manifests itself as a periodic modulation of the dust density. Special attention is paid to the influence of the screening parameter on the order of shell

formation, and comparisons are made between closely related processes in ultracold neutral plasmas [4] and confined ion plasmas.

- [1] H. Kählert and M. Bonitz, Phys. Rev. Lett. **104**, 015001 (2010)
- [2] H. Kählert and M. Bonitz, Contrib. Plasma Phys. **51**, 519 (2011)
- [3] M. Bonitz, C. Henning, and D. Block, Rep. Prog. Phys. **73**, 066501 (2010)
- [4] T. Pohl, T. Pattard, and J. M. Rost, Phys. Rev. Lett. **92**, 155003 (2004)

P 3.4 Mon 15:30 V57.01

Plasma formation and ionization dynamics in laser-irradiated droplets — •TATYANA LISEYKINA and DIETER BAUER — Universität Rostock, Deutschland

We present our recent results on ionization dynamics and plasma formation in intense laser-droplet interaction using three-dimensional, relativistic PIC simulations with ionization included. The numerical simulations show that there exists a broad laser intensity regime for which wavelength-sized targets are not fully ionized. For higher-Z material this applies even to ultra-high intensities. Moreover, the results reveal that there exists an angle of incidence at which oscillating electric fields penetrate into the droplet, ionizing its interior. This leads to the formation of a highly asymmetric density distribution, concentrated mostly in the polarization plane, with the higher charge states not only within the skin layer on the surface but also around a focal point in the droplet interior.

P 3.5 Mon 15:45 V57.01

A collisional-radiative model for ns-pulsed laser ablation of metals — •DAVID AUTRIQUE and BAERBEL RETHFELD — TU Kaiserslautern, 67663 Kaiserslautern, Germany

Laser ablation is nowadays used in a growing number of applications, such as chemical analysis and pulsed laser deposition. Despite the many applications, the technique is still poorly understood. Therefore a model, describing the time dependent material evolution after short pulse laser irradiation, can be a helpful tool during the research quest. The transient behavior in and above a ns-laser irradiated copper target is modeled. Ultrafast phase transitions occur in the liquid, overheated layer. Subsequently a dense mixture of liquid and vapor is ejected above the target. Here a collisional-radiative model accounts for the laser-produced plasma kinetics. Stepwise collisional excitation, ionization, as well as photo processes result in plasma formation in the dense, expanding vapor plume. Calculated transmission profiles are compared with experimental results and similar trends are found.

P 3.6 Mon 16:00 V57.01

Multiscale Approach to Strongly Correlated Two-component Quantum Plasmas in Nonequilibrium — •MICHAEL BONITZ¹, PATRICK LUDWIG¹, and JAMES W. DUFTY² — ¹Universität Kiel — ²University of Florida

A key problem in the description of nonideal, multi-component plasmas is the drastic difference in the r,t-scales which prohibits first-principle simulations, in particular in nonequilibrium. We, therefore, develop a multiscale approach for dense quantum plasmas such as partially ionized Warm Dense Matter, where a full dynamic treatment of the pair correlations of the heavy particles is crucial. To this end the ions are treated exactly by classical Langevin Dynamics simulations, whereas the electrons are treated fully quantum-mechanically on the basis of a quantum kinetic equation. The coupling of the two is performed in linear response and fully includes the dynamical screening of the ion-ion interaction on the basis of a nonequilibrium extension of the Mermin formula extending our recent results [1,2].

- [1] P. Ludwig, M. Bonitz, H. Kählert, and J.W. Dufty, J. Phys. Conf. Series **220**, 012003 (2010) [2] P. Ludwig, H. Kählert, and M. Bonitz, submitted for publication in Plasma Physics and Controlled Fusion (2011)

P 4: Astrophysikalische Plasmen

Time: Monday 14:00–15:40

Location: V57.02

Invited Talk

P 4.1 Mon 14:00 V57.02

Novel First-Principles Simulation Methods for Hot, Dense Plasmas — ●BURKHARD MILITZER — University of California, Berkeley

We develop an all-electron path integral Monte Carlo (PIMC) method for warm dense matter and apply it to study hot, dense water and carbon plasmas. We thereby extend PIMC simulations beyond hydrogen and helium to elements with core electrons. PIMC pressures, internal energies, and pair-correlation functions compare well with density functional molecular dynamics at lower temperatures and enable the construction of a consistent equation of state over the pressure-temperature range of 1 Mbar - 50 Mbar and 10^4 - 10^9 K. PIMC results converge to the Debye-Hückel limiting law at high temperatures.

Topical Talk

P 4.2 Mon 14:30 V57.02

Wasserstoff-Helium Gemische und der innere Aufbau von Jupiter und Saturn — ●NADINE NETTELMANN¹, WINFRIED LORENZEN¹, BASTIAN HOLST^{1,2}, ANDREAS BECKER¹ und RONALD REDMER¹ — ¹Institut für Physik, Universität Rostock, D-18051 Rostock — ²CEA, F-91297 Arpajon, France

Der Plasmaphasenübergang (PPT) in Wasserstoff und das Entmischen von H und He bei hohem Druck sind zwei intensiv diskutierte Prozesse, die einen erheblichem Einfluss auf die innere Struktur und thermische Entwicklung der großen Planeten im Sonnensystem haben können [1]. Obwohl sie seit Jahrzehnten Gegenstand von Untersuchungen sind, ist erst in den letzten Jahren ein großer Fortschritt gelungen [2,3], dank der enormen Leistungsfähigkeit heutiger Rechenzentren. So wurde zum Beispiel in Wasserstoff für den PPT ein kritischer Punkt bei 1500 K und 1.4 Mbar gefunden - viel niedriger als frühere Vorhersagen.

Wir diskutieren die neuen Ergebnisse zum PPT und zur Entmischung von H und He im Zusammenhang mit der Struktur und Evolution von Jupiter und Saturn, und schlagen eine Relation zwischen dem He-Gehalt und der Temperatur der Atmosphäre vor. Die gegenwärtigen Modelle zu Jupiter können durch Messung des Sauerstoffgehalts unterhalb der Wolkendecke (Vorhersage O:H < 4-fach solar) und des Trägheitsmoments (Vorhersage 0.276) geprüft werden, wie bei der laufenden JUNO-Mission geplant.

[1] Fortney J.J. & Nettelmann N., *SSRv* 152 (2010)[2] Morales M.A. et al., *PNAS* 102 (2010)[3] Lorenzen W., Holst B., and Redmer R., *PRB* 82 (2010)

P 4.3 Mon 14:55 V57.02

Phase-space contraction and attractors for ultra-relativistic electrons — ●GÖTZ LEHMANN and KARL-HEINZ SPATSCHEK — Heinrich-Heine Universität, 40225 Düsseldorf

Ultra-short laser pulses today may reach intensities of about 10^{22} W/cm². The motion of electrons in such extreme fields becomes ultra-relativistic and will be accompanied by bremsstrahlung. The emittance of radiation is cause of a dissipative effect which is called radiation reaction force [1]. It has been shown previously that the radiation reaction force causes phase-space contraction when motion of electrons in the laser field is considered [2]. First, we confirm that electrons moving in the same direction as the plane wave are affected less, compared to counter-propagation. Second, we demonstrate, that in the case of two colliding laser beams, when stochastic heating can occur, radiation reaction will cause attractors in phase-space. In certain parameter regimes, electron motion converges on regular attractors and stochastic heating becomes obsolete. We present the general

form of the attractors and provide quantitative results for the speed of phase-space contraction as well as the type of attracted motion [3].

[1] G.Lehmann and K.H.Spatschek, *PRE* 84, 046409 (2011)[2] M.Tamburini *et al.*, *New J. Phys.* 12, 123005 (2010)

[3] G.Lehmann and K.H.Spatschek, submitted (2011)

P 4.4 Mon 15:10 V57.02

Linienprofilberechnung wasserstoffartiger Strahler in dichten Plasmen — ●SONJA LORENZEN¹, AUGUST WIERLING¹, HEIDI REINHOLZ¹, GERD RÖPKE¹, MARK C. ZAMMIT², DMITRY V. FURSA² und IGOR BRAY² — ¹Uni Rostock, 18051 Rostock, Deutschland — ²Curtin University of Technology, Perth WA 6845, Australien

Spektrallinien können in der Plasmadiagnostik eingesetzt werden, da ihre Breite und Verschiebung Aufschluß über Plasmaeigenschaften wie Temperatur, freie Elektronendichte und Ionisationsgrad geben. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Einflüsse der Plasmaumgebung auf Spektrallinien von Wasserstoff und wasserstoffartigen Strahlern über einen Zugang mit thermodynamischen Greensfunktionen untersucht. Dabei werden Ionen quasi-statisch und freie Elektronen in binärer Stoßnäherung, im Rahmen einer 2. Bornschen Näherung, behandelt [1]. Um auch starke Elektronenstöße zu berücksichtigen, werden die elektronischen Anteile der Breite und Verschiebung zum Vergleich über Streuamplituden [2] berechnet. Die Streuamplituden werden im Rahmen einer konvergenten close coupling Rechnung unter Berücksichtigung der Debye Abschirmung [3,4] gewonnen. Für Wasserstoff werden die Ergebnisse bei $T = 10^4$ K und $n_e = 2 \cdot 10^{23}$ m⁻³, sowie für Li²⁺ bei $T = 10^5$ K und $n_e = 4 \cdot 10^{25}$ m⁻³ vorgestellt.

[1] S. Günter et al., *Phys. Rev. A* 44, 6834 (1991).[2] M. Baranger, *Phys. Rev.* 112, 855 (1958).[3] M. C. Zammit et al., *Phys. Rev. A* 82, 052705 (2010).[4] I. Bray, et al., *Phys. Rev. A* 46, 6995 (1992).

P 4.5 Mon 15:25 V57.02

Collision frequency in nanoclusters – Molecular dynamics simulations — ●MATHIAS WINKEL^{1,2}, LUKAS ARNOLD¹, and PAUL GIBBON¹ — ¹Jülich Supercomputing Centre, Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich — ²ExtreMe Matter Institute EMMI, GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, 64291 Darmstadt

With the recent developments in experimental possibilities in creation and diagnostics of metallic nano clusters, the exploration of their interaction with the radiation field gained some importance during the last few years.

Since the quasi free electrons inside the cluster are confined to a very small volume, their collective properties significantly change in comparison to bulk matter. Extending earlier simulations of Raitza *et al.* [1], we examine optical properties of laser-excited nanoclusters. In particular, we study the dynamical collision frequency in a sodium-like material. To cover a broad range from nano- to microscale, the momentum autocorrelation function is evaluated in classical molecular dynamics simulations for systems with less than 200 up to few hundred million electrons. Therefore, we utilize our highly scalable parallel Barnes-Hut tree code PEPC that has been developed at JSC [2].

First results for the collision frequency in metallic nanoclusters are shown and compared to the respective bulk properties.

[1] T. Raitza *et al.*, *Phys. Rev. E* 84 (2011), 036406[2] M. Winkel *et al.*, *Comp. Phys. Comm.* (2012), in press

P 5: Niedertemperaturplasmen

Time: Monday 14:00–16:00

Location: V57.03

P 5.1 Mon 14:00 V57.03

Multifrequenz Plasmen als neuartige Sputterquelle — ●STEFAN BIENHOLZ und PETER AWAKOWICZ — Ruhr-Universität Bochum - AEPT, Bochum, Germany

Kapazitive gekoppelte Plasmen sind seit vielen Jahren fester Bestandteil der Plasmabeschichtungstechnologie. Für industrielle PVD Prozes-

se werden heutzutage meist DC-Magnetrons verwendet, die sich durch eine besonders hohe Sputterrate auszeichnen, jedoch nicht die Möglichkeit bieten die Ionen Energie Verteilungsfunktion und den Ionenfluss unabhängig von einander zu kontrollieren. Multifrequenz CCPs (MFCCP) hingegen bieten die Möglichkeit über Spannungsamplitude und Phaselage mehrerer Frequenzen diese Einschränkung in der Prozesskontrolle aufzuheben.

Die Autoren danken der Deutsche Forschungsgemeinschaft für die Förderung im Rahmen des SFB-TR87 und der Ruhr University Research School.

P 5.2 Mon 14:15 V57.03

Variation of substrate biasing and temperature and their influence on the crystal orientation of γ -Al₂O₃ films — ●MARINA PRENZEL, ANNIKA KORTMANN, and ACHIM VON KEUDELL — AG Reaktive Plasmen, Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Germany

Temperature and substrate bias play a key role in the structural evolution of Al₂O₃ during the deposition process. Firstly, crystallinity depends on the mobility of the particles in the growing film, which is influenced by the substrate temperature. Additionally, correct tailoring of the substrate bias allows to selectively control the energy distribution function of the ions impinging on the substrate (IEDF). Thus, film characteristics such as hardness, adhesion, crystallinity, or wear resistance can be controlled. In this work, manipulation of the substrate bias is performed by variation of the frequency and amplitude. We will show how different bias functions affect the shape of the IEDF while keeping the mean energy constant at 55 eV. Additionally, the influence of temperature (500 °C, 550 °C and 600 °C) will be shown.

The films are deposited in a RF magnetron discharge, driven by 13.56 MHz and 71 MHz. The target is mounted on the powered electrode and a silicon substrate is placed on a biased electrode at the opposite side. Film characterization is performed using FTIR and XRD to determine the orientation/crystallinity of the films. The measurements are correlated with measured and simulated IEDFs. We will show how the tailoring of the IEDF through bias shape manipulation is an excellent tool for controlling film structure. The work is funded by DFG within SFB-TR 87.

P 5.3 Mon 14:30 V57.03

Einfluss einer Propen-Zumischung auf die NO-Oxidation im nicht-thermischen Atmosphärendruckplasma — ●MICHAEL SCHMIDT, RALF BASNER und RONNY BRANDENBURG — INP Greifswald, 17489 Greifswald, Felix-Hausdorff-Str.2

Stickoxide (NO_x) tragen maßgeblich zur Eutrophierung und Versauerung der Meere bei, daher werden dieselmotorische Emissionen von Stickoxiden durch zukünftige Gesetzgebungen streng limitiert. Da die innermotorischen Möglichkeiten an ihre Grenzen stoßen, rücken Abgasnachbehandlungsmethoden in den Fokus der Forschung. Eine Möglichkeit der Verringerung der NO_x-Emissionen ist die Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid mit nachfolgender katalytischer Reduktion zu Stickstoff und Sauerstoff. Da Oxidationskatalysatoren bei niedrigen Temperaturen inaktiv sind, soll die oxidative Wirkung nicht-thermischer Plasmen genutzt werden. Effizienz und Selektivität dieses Prozesses sind von entscheidender Bedeutung für die Applizierung eines solchen Systems. Das Einspritzen eines zusätzlichen Oxidationsmittels beeinflusst diese Parameter signifikant. Untersucht wird der Effekt einer Propenzumischung auf die NO-Oxidation in einer AC-getriebenen dielektrisch behinderten Atmosphärendruckentladung. Hierzu werden Gasmischungen, wie sie von Schiffsdieselmotoren emittiert werden, im Labor behandelt. Erstmals werden Ergebnisse systematischer Messungen hinsichtlich der Abhängigkeit von der in das Plasma dissipierten Energie, der Menge an zugemischtem Propen, der Temperatur und der Gasmischung präsentiert.

P 5.4 Mon 14:45 V57.03

Hydrocarbon film deposition on inner surface of tubes using leader discharge at atmospheric pressure conditions — ●RAMASAMY POTHIRAJA, NIKITA BIBINOV, and PETER AWAKOWICZ — Institute for Electrical Engineering and Plasma Technology, Ruhr-University Bochum, Germany.

Hard hydrocarbon film is deposited on inner surface of glass tubes using leader discharge at atmospheric pressure in Ar/CH₄ mixture. Under similar condition, soft film is deposited with high film growth rate in Ar/C₂H₂ plasma. In order to understand these differences, plasma parameters of leader discharge are determined using OES, V-I measurement, microphotography and numerical simulations. Plasma chemical kinetics is simulated. Using chemical kinetics simulated for different gas mixture, deposition rate and film properties are interpreted as follows, 1. Precursor molecules are ionized and dissociated mainly through charge exchange reaction with argon ions. 2. In both cases, C₂H species is produced very effectively. 3. Because of low quantity of hydrogen in Ar/C₂H₂ mixture, C₂H species dominates in film deposition processes, which facilitates incorporation of sp¹ carbon in

the film. 4. Presence of high quantity of atomic hydrogen in Ar/CH₄ case facilitates i). regeneration of acetylene from the reactive species C₂H, and ii). removal of loosely held sp¹ carbon from the film surface; thus reducing film growth rate and improving film hardness. Influence of hydrogen composition on properties of deposited film is confirmed by obtaining the similar film quality for both methane and acetylene plasma system by external admixing of hydrogen in Ar/C₂H₂ plasma.

P 5.5 Mon 15:00 V57.03

Back and forth directed plasma bullet propagation in a helium atmospheric pressure needle to plane discharge — ●TORSTEN GERLING¹, ANDREI VASILE NASTUTA², RENÉ BUSSIÄHN¹, ECKHARD KINDEL¹, and KLAUS-DIETER WELTMANN¹ — ¹Leibniz Institute for Plasma Science and Technology (INP Greifswald), Greifswald, Germany — ²Faculty of Physics, Alexandru Ioan Cuza University, Iasi, Romania

A sinusoidal driven needle to plane discharge in flowing helium at atmospheric pressure was investigated by means of electrical and optical measurements. 'Bullet-like' behaviour of the discharge was observed and investigated with special interest towards velocities and size. A discharge development within six phases is found. Among these, four types of bullets are observed with respect to the direction of the gas flow and applied voltage polarity. Temporally resolved photography shows the formation of an atmospheric pressure glow discharge subsequently to the propagation of the 'forward bullet'. We conclude that the main movement of the bullets in our setup is not depending on the gas flow but on the electrical field direction.

P 5.6 Mon 15:15 V57.03

Oberflächenladungsmessung und Entladungsentwicklung von He/N₂ Barrierentladungen — ●MARC BOGACZYK und HANS-ERICH WAGNER — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt Universität, Felix-Hausdorffstr. 6, 17489 Greifswald

In Barrierentladungen tritt abhängig von den Betriebsbedingungen (z.B. Gasmischung und angelegte Spannung) der diffuse oder filamentierte Entladungsmodus auf. Um beide Entladungsmodi detailliert zu verstehen, ist es notwendig, Volumenprozesse relevanter Teilchen (z.B. Penning Ionisation) und die Wechselwirkung der Entladung mit den Oberflächen zu untersuchen. Letztere ist mit Sekundärteilchenprozessen (z.B. γ -Prozesse durch Ionen und Metastabile) und der Ausbildung von Oberflächenladungen verbunden. Der Fokus in diesem Beitrag liegt auf der Messung der Oberflächenladung. Sie werden auf einem optoelektrischen BSO-Kristall unter Ausnutzung des Pockels-effekts phasen- und zeitaufgelöst mit einer CCD-Kamera detektiert. Oberflächenladungen begünstigen das Wiederzünden der Entladung an Orten, an denen sich Oberflächenladungen vorheriger Durchbrüche befinden (Memory-Effekt). Vorgestellt werden Oberflächenladungsmessungen für den diffusen (reines Helium) und filamentierten (He/N₂ Gemisch) Entladungsmodus bei Atmosphärendruck, sowie über eine Periode phasenaufgelöste Oberflächenladungsentwicklungen für beide Entladungsmodi, Ladungsverteilungen und entsprechende gaußförmige Ladungsprofile für positive und negative Oberflächenladungen im filamentierten Modus. Gefördert von der DFG im Rahmen des SFB TRR-24, Teilprojekt B11.

P 5.7 Mon 15:30 V57.03

Influence of Water on the Conversion of Methane and Carbon Dioxide in a Plug Flow Reactor Supported by a DBD — ●TORSTEN KOLB and KARL-HEINZ GERICKE — Institut für Physikalische und Theoretische Chemie, Braunschweig, Germany

The conversion of methane and carbon dioxide was studied in a plug flow reactor with a dielectric barrier discharge. A 13.56 MHz power supply generated the atmospheric plasma discharge. Studied concentration of methane ranged from 0 to 100%, with missing part filled up with carbon dioxide. This mixture was diluted with helium partly bubbling through a water tank to 2.5% at a flow rate of 200 sccm. The amount of water was adjusted between 0 and 0.6%. A small part of the product stream was monitored online at a total pressure of 100 mbar by a Fourier transform infrared spectrometer supported by a White-cell and a quadrupole mass spectrometer. This DBD reactor produces hydrogen, carbon monoxide, C₂ hydrocarbons, methanol and formaldehyde with synthesis gas being the major compound. There is a raise of the produced amount of hydrogen from 34% for the reaction without water to 58% if the flow consists of 0.6% water (composition of the undiluted stream: 80% methane and 20% CO₂). The amount of carbon dioxide has a small influence on the added water. The generation of C₂ hydrocarbons is nearly independent of added water. In

contrast, the fraction of methanol increases by a factor of 4.7 with additional water.

P 5.8 Mon 15:45 V57.03

Untersuchung von Oberflächenprozessen bei der Plasmajetbearbeitung von Siliziumkarbid — ●INGA-MARIA EICHENTOPF und THOMAS ARNOLD — Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung, Leipzig, Deutschland

Siliziumkarbid stellt aufgrund seiner hohen Härte, Trägheit bzgl. chemischer Reaktionen, thermischen Leitfähigkeit und großen Bandlücke ein technologisch interessantes Halbleitermaterial dar. Um eine effektive Oberflächenformgebung zu erreichen bietet das plasmachemische Trockenätzen mit Hilfe eines reaktiven atmosphärischen Plasmajets

eine hochpräzise Alternative zu konventionellen mechanisch-abrasiven Verfahren. Mit Hilfe eines RF (13,56 MHz) angeregten atmosphärischen Plasmajets wurden Experimente zum Verhalten des Volumenabtrags an Atmosphäre mittels fluorhaltiger Precursorgase durchgeführt. Als Trägergas diente Helium. Die Reaktivgase CF_4 und O_2 wurden in verschiedenen Verhältnissen in den Plasmajet zugemischt und die resultierende Volumenabtragsrate bei Probertemperaturen im Bereich von 25°C bis 500°C bestimmt. Dabei wurde ein nichtlineares Verhalten der Volumenabtragsrate beobachtet. Unter bestimmten Parametern trat ein charakteristisches Minimum auf, das sich aus konkurrierenden Einzelprozessen bei der Plasma-Oberflächen-Wechselwirkung erklären lässt. Die plasmajet-prozessierten Oberflächen wurden umfangreich mittels XPS ex situ charakterisiert.

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 HECEMOVIC, 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 ~ 10 kms-1 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 μs , only, whereas for low electronegativity, $\alpha < 1$, the relaxation of electron density needs much longer with typical decay time constants up to about 100 μs . 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 α - γ -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_6 in der Hochspannungstechnik zu ersetzen braucht es Gas-

mischungen, 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_2 , CO_2 , SF_6 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 Substratome.

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 DANDL¹, THOMAS HEINDL¹, JOCHEN WIESER² und ANDREAS ULRICH¹ — ¹Physik Department E12, Technische Universität München, James-Franck-Str. 1, 85748 Garching — ²Optimare 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 werden 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. ≥ 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 Ionenlatenzzeit (hier $\sim 1 \mu s$) liegen. Es kommt in diesem Übergangsbereich zur Propagation von unterschiedlich ausgeprägten kathoden- und anodengerichteten Ionisationsfronten.

P 7: Diagnostik (von Niedertemperaturplasmen)

Time: Tuesday 10:30–12:30

Location: V57.01

Invited Talk

P 7.1 Tue 10:30 V57.01

Implanted noble gas atoms as a tool for structure determination of plasma-deposited thin films using X-ray photoelectron spectroscopy — ●TERESA DE LOS ARCOS, ANDREAS WILL, MARINA PRENZEL, ACHIM VON KEUDELL, and JÖRG WINTER — Ruhr-Universität Bochum

Most plasma-based thin film deposition methods employ noble gases, either pure or in mixtures with reactive components. As a consequence, some amount of gas is often implanted within the deposited thin film. Although noble gases will not form chemical bonds with the host matrix atoms, their electronic shells can nevertheless react to their environment according to different effects (compression of electronic orbitals, shielding by conduction band electrons in the host, etc.). We have initiated [1] a systematic study of Ar implanted within different matrix materials (metals, semiconductors and oxides), that shows how the precise determination and correct interpretation of the binding energy levels of core electrons from the implanted gas atoms can provide information about their local environment using X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). An application of particular interest is the ability to distinguish the presence of crystalline or amorphous structure in thin Al₂O₃ deposited by magnetron sputtering. This work is funded by the DFG within the framework of the SFB-TR 87.

[1] A. Rastgoo Lahrood, T. de los Arcos, M. Prenzel, A. von Keudell, and J. Winter, Thin Solid Films 520, 1625 (2011)

P 7.2 Tue 11:00 V57.01

Quantitative determination of ion densities in hydrogen-nitrogen-argon low-temperature plasmas — ●MAIK SODE¹, THOMAS SCHWARZ-SELINGER¹, WOLFGANG JACOB¹, and HOLGER KERSTEN² — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Association, Boltzmannstr.2, D-85748 Garching, Germany — ²Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24098 Kiel

Hydrogen-nitrogen-argon discharges are of interest for radiative cooling in fusion edge plasmas with metal walls. Furthermore, they are also

suitable for technical processes such as plasma nitriding or passivation of metal surfaces. Ion densities are quantified in a hydrogen-nitrogen-argon admixed ICP plasma by energy-dispersive mass spectrometry. For 1.5 Pa and 200 W the nitrogen fraction is increased while the hydrogen fraction is decreased correspondingly. The argon content is fixed at 1 %. For N₂ fractions between 5 % and 60 % the species with the highest ion densities are NH₃⁺, NH₄⁺ and N₂H⁺. The density of primary source gas ions such as N₂⁺, Ar⁺ or H_x⁺ are at least one order of magnitude lower. The experimental data are compared to results from a rate equation model. Input parameters are rate coefficients for 29 species, losses to the wall, n_e from Langmuir probe measurements and the neutral ammonia content from molecular beam mass spectrometry.

P 7.3 Tue 11:15 V57.01

Electron kinetics in 10 Hz pulsed cc-rf plasmas studied by 160 GHz Gaussian beam microwave interferometry — ●CHRISTIAN KÜLLIG, KRISTIAN DITTMANN, and JÜRGEN MEICHSNER — Institute of Physics, University of Greifswald

The line integrated electron density was measured in the bulk plasma of a 10 Hz (50 % duty cycle) pulsed cc-rf plasma in argon and oxygen by means of 160 GHz Gaussian beam microwave interferometry. The on-phase electron density is between 10¹⁵ and 3 × 10¹⁶ m⁻² in argon and is significantly higher compared with the electron density in oxygen which is between 10¹⁴ and 10¹⁶ m⁻². In the oxygen plasma it was observed an overshoot of electron density in the early afterglow phase for low rf power over a wide pressure range from 20 to 100 Pa. In this case it is important to note that the electron density is nearly the same as the density of negative atomic oxygen ions, which was measured by simultaneous laser photodetachment. A 0D model for the afterglow phase was applied considering particle balance equations for six species (O₂⁺, O₂⁻, O⁻, e, O₂(a¹Δg), O) and eight elementary reactions. The measured steady state density of negative ions and electrons as well as plausible assumptions concerning the density of atomic oxygen and metastables are taken into account as initial conditions. The model fits very well the measured temporal behaviour of the electron

density. A main result from the model is that the $O_2(a^1\Delta_g)$ are the dominant species for detachment of the negative oxygen ions and electron production in the afterglow. //Funded by the DFG Collaborative Research Centre TRR24, project B5.

P 7.4 Tue 11:30 V57.01

Wechselwirkung zwischen Staubdichtewellen und Plasma — ●TIM BOCKWOLDT, KRISTOFFER OLE MENZEL, OLIVER ARP und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU Kiel, D-24098

Im staubigen Plasma einer Hochfrequenzentladung entstehen bei niedrigen Neutralgasdrücken und ausreichend hohen Staubdichten selbsterregte Staubdichtewellen. Kann der Einfluss der Gravitation auf den Staub vernachlässigt werden, wie zum Beispiel unter Schwerelosigkeit auf Parabelflügen, bildet sich ein zentraler staubfreier Bereich (Void) mit einem diesen umgebenden Wellenfeld [1]. Die raum-zeitliche Dynamik der Staubdichte wird mittels Videomikroskopie analysiert. Durch Verwendung zweier synchronisierter Kameras mit dem gleichen Beobachtungsfeld kann simultan zur Staubdichte das Plasmaleuchten aufgezeichnet werden. Letzteres gilt als Indikator für Schwankungen der Elektronendichte und -temperatur [2]. Mit Hilfe dieser Diagnostik wurde kürzlich eine Wechselwirkung zwischen Staubdichtewellen und dem Plasma gefunden [3]. In diesem Beitrag werden neue Ergebnisse aus Messungen unter Schwerelosigkeit vorgestellt, die die vorhergehenden erweitern. Durch eine verbesserte raum-zeitliche Auflösung wird eine komplexere Wechselwirkung zwischen den Staubdichtewellen und dem Plasma erkennbar. Wir präsentieren die gefundenen Zusammenhänge und geben Erklärungsansätze. Gefördert durch das DLR unter 50WM1139.

- [1] A. Piel et al., *Phys. Rev. Lett.* **97**, 205009 (2006).
- [2] D. Samsonov and J. Goree, *Phys. Rev. E* **59**, 1047 (1999).
- [3] O. Arp et al., *IEEE Transactions on Plasma Sci.* **38**, 842 (2010).

P 7.5 Tue 11:45 V57.01

Stereoskopie an kleinen Staubwolken vor einer Pixelelektrode in einer Hochfrequenzentladung — ●CHRISTIAN SCHMIDT, OLIVER ARP und ALEXANDER PIEL — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität, 24098 Kiel

In einer Parallelplatten-Hochfrequenz-Entladung wird durch eine zusätzliche "Pixel"-Elektrode ein sekundäres Plasma erzeugt. Diese wird dazu mit einer Gleichspannung positiv vorgespannt und wirkt somit als zusätzliche Anode. Das sekundäre Plasma ist als sphärische Leuchterscheinung mit einem Durchmesser von wenigen Millimetern unterhalb des primären Plasmas sichtbar. Oberhalb des Pixels können kleine dreidimensionale Staubwolken eingefangen werden. Um die Partikelkoordinaten aller Staubpartikel in der Wolke simultan erfassen zu können, wurde zur Struktur der Partikelwolke eine stereoskopische Video-Diagnostik aufgebaut. Diese besteht aus drei CCD-Kameras, die jeweils orthogonal zueinander angeordnet sind. Erste Beobachtungen werden

vorgelegt und diskutiert.

Gefördert durch SFB TR24/A2.

P 7.6 Tue 12:00 V57.01

Phasenübergänge in Yukawa-Balls — ●TOBIAS MIKSCH¹, ANDRÉ SCHELLA¹, JAN SCHABLINSKI², DIETMAR BLOCK² und ANDRÉ MELZER¹ — ¹Universität Greifswald, Institut für Physik, Felix-Hausdorff-Str.6, 17489 Greifswald — ²Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Olshausenstr. 40, 24098 Kiel

Mit Hilfe von elektrostatischen und thermophoretischen Kräften lassen sich in einem staubigen Plasma dreidimensionale, kugelförmige Staubcluster einfangen, so genannte Yukawa-Balls.

Durch die Verwendung zweier Manipulationslaser kann Energie in das System eingebracht werden und die Yukawa-Bälle beginnen zu schmelzen. Da es sich bei dem Cluster um ein finites System handelt, geschieht das Schmelzen als ein kontinuierlicher Übergang.

Zur Charakterisierung dieses Phasenübergangs werden die Interpartikel-Abstands-Fluktuation (IDF) und die Tripel-Korrelationsfunktion (TCF) genutzt.

Diese Arbeit wird gefördert durch den SFB-TR 24, Projekt A3.

P 7.7 Tue 12:15 V57.01

Investigation of Vacuum Arc Thruster properties with an innovative high speed imaging system — MATHIAS PIETZKA, ●MARINA KAUFFELDT, STEFAN KIRNER, and JOCHEN SCHEIN — Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, Deutschland

A high speed imaging system was used to investigate the properties of a Vacuum Arc Thruster (VAT). This kind of electric propulsion was designed for the fine positioning of small satellites for which highly defined thrusts in the order of μN are necessary. The VAT consists of an anode and a cathode insulated from each other. The arc is ignited using an inductive energy storage system. By this a plasma plume with a very high inside pressure is formed, resulting in high particle velocities and therefore the required thrust. The optimal cathode erosion and the improvement of the thrust properties are depending on the electrode and insulator material, the surface texture and the thruster geometry as well as on the applied voltage and the arc current.

An important indicator for the investigation of these matters and the relation between them is the arc spot movement. The high speed imaging system is splendidly qualified for the observation of these arc spots. The essential parts of this diagnostic system are an image intensifier, a CCD camera and a fast rotating mirror. It allows to visualize the dynamic behavior of the arc spots on the surface of the thruster from which the properties of the plasma plume and consequently of the thrust can be concluded. The results of the high-speed imaging correlated with the constructive properties of the VAT are presented and discussed here.

P 8: Dichte Plasmen, Schwerionen- und Laserplasmen

Time: Tuesday 10:30–12:30

Location: V57.02

Invited Talk

P 8.1 Tue 10:30 V57.02

Simulations of FEL-excited matter — ●NIKITA MEDVEDEV¹, BEATA ZIAJA¹, CHRISTOPH BOSTEDT², HENRY CHAPMAN¹, TIM LAARMANN³, THOMAS MOELLER⁴, ROBIN SANTRA¹, FENGLIN WANG¹, and EDGAR WECKERT⁴ — ¹Center for Free-Electron Laser Science at DESY, Notkestr. 85, 22607 Hamburg, Germany — ²LCLS, SLAC, Stanford, USA — ³HASYLAB, DESY, Hamburg, Germany — ⁴TU Berlin, Berlin, Germany

We apply continuum approach to follow the dynamics of irradiated complex samples. First we discuss its advantages and limitations when compared to other modelling methods. We then apply this approach to describe data on irradiated clusters and laser-created plasmas that were recorded at the free-electron-laser (FEL) FLASH facility at DESY Hamburg. We show a good agreement between experimental results and our theoretical estimations. Finally we give an outlook on applying the continuum approach to describe ultrafast transitions within FEL-excited solids.

Invited Talk

P 8.2 Tue 11:00 V57.02

Magnetic Fields and Strong Correlations in One-Component Plasmas — ●TORBEN OTT — Institut für Theoretische Physik und

Astrophysik, Christian-Albrechts-Universität Kiel

The One-Component Plasma (OCP) is a paradigmatic model for a diverse number of plasmas, ranging from the interior of white dwarfs and neutron star crusts to laboratory dusty plasmas. The thermodynamic state of the OCP is fully characterized by a single parameter, the coupling parameter $\Gamma \propto 1/T$. For $1 < \Gamma < 175$, the OCP is in a strongly correlated liquid state in which strong particle interactions modify the behaviour of the plasma and lead, e.g., to the existence of transverse (shear) waves.

The transport properties [1] and the wave spectra [2,3] of a strongly correlated liquid OCP in the presence of a strong magnetic field (i.e., $\omega_c/\omega_p \approx 1$) are relevant to both laboratory and astrophysical plasmas and reveal a number of surprising features. This talk gives a unifying overview of recent theoretical and simulational results for such magnetized OCPs.

- [1] T. Ott and M. Bonitz, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 135003 (2011)
- [2] M. Bonitz *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 055002 (2010)
- [3] T. Ott *et al.*, *Phys. Rev. E* **83**, 046403 (2011)

P 8.3 Tue 11:30 V57.02

Simulation der Fokussierung eines laserbeschleunigten Pro-

tonenstrahls in einem Solenoiden — ●PETER SCHMIDT^{1,2}, OLIVER BOINE-FRANKENHEIM^{1,2}, VLADIMIR KORNILOV¹ und PETER SPÄDTKE¹ — ¹GSI, Beschleunigerphysik, Darmstadt, Deutschland — ²TU Darmstadt, Darmstadt, Deutschland

Im Rahmen des LIGHT Projekts bei GSI werden laserbeschleunigte Protonenstrahlen durch einen Solenoidmagneten für den nachfolgenden Transport kollimiert. In diesem Beitrag werden die Magnetfeldeigenschaften des gepulsten (Pulslänge $\approx 0.7\text{ms}$) Solenoiden unter Berücksichtigung von Wirbelstromverlusten, Skin-Effekt, Störfeldern und Phasenverschiebungen in Anbauteilen durch eine Simulation mit der Software CST EM Studio analysiert. Die optischen Eigenschaften des Aufbaus werden durch particle tracking bestimmt und mit der Approximation durch dünne Linsen verglichen. Insbesondere werden dabei die Einflüsse von Anbauteilen und elektrischen Zuleitungen auf die optischen Eigenschaften herausgearbeitet. Nachfolgend wird die Dynamik eines ladungs- und stromneutralisierten Protonenstrahls in dem Solenoid analysiert. Hierzu werden Particle-In-Cell (PIC) Simulationen mit CST Particle Studio durchgeführt. Als Emissionsmodell für den Strahl wird u.a. das Plasmaexpansionsmodell nach P. Mora verwendet.

P 8.4 Tue 11:45 V57.02

Simulation study for the LIGHT project: Characterization of TNSA from double-layer targets — ●ZSOLT LECZ¹, VLADIMIR KORNILOV², and OLIVER BOINE-FRANKENHEIM^{1,2} — ¹TU Darmstadt, TEMF — ²Darmstadt, GSI

This contribution to the LIGHT (Laser Ion Generation, Handling and Transport) project at GSI is devoted to the numerical investigation of the proton acceleration via the TNSA (Target Normal Sheath Acceleration) mechanism. The protons are accelerated from a thin hydrogen-rich contamination layer deposited on the rear surface of a thin metal foil (few μm) interacting with intense (10^{19} W/cm^2) and short (several 100 fs) laser pulse. The electric field induced by the large hot electron pressure is investigated by using 1D and 2D particle-in-cell (PIC) electro-magnetic simulations. Depending on the thickness of the layer the protons can be accelerated in three different ways: quasi-static acceleration for mono-layers, isothermal plasma expansion for thick layers and there is a combined regime for intermediate thickness which is not well understood yet. The transverse acceleration (divergence) of the protons also depends on the layer thickness and is very different for the two extreme cases. A comparison of analytical models and PIC simulations will be presented.

P 8.5 Tue 12:00 V57.02

Interaction of ultrarelativistic electron and proton bunches with dense plasmas — ●SALTANAT P. SADKOVA¹ and ANRI A. RUKHADZE² — ¹Humboldt-Universität zu Berlin, Germany, Newtonstr. 15, 12489 Berlin, Germany — ²Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences 119991, Vavilov Str., 38., Moscow,

Russia

Here we discuss the possibility of employment of ultrarelativistic electron (UREB) (A. A. Rukhadze, Zhurnal Tekhnicheskoy Fiziki. 31, Nr.10, (1961) 1236) and proton bunches (URPB) for generation of high plasma wakefields (WF) in dense plasmas due to the Cherenkov resonance plasma-bunch interaction. Recently, in the work of A. Caldwell, et al. Nature Phys. 2009 the possibility of generation of high power WFs of terra-watt amplitude using the URPB was introduced. In the present work this idea along with the employment of electron bunch is discussed at the qualitative level. Namely, we make an estimation of plasma parameters, maximum amplitude of the generated WF when the UREBs and URPBs are used and system length at which the maximum amplitude of the WF can be gained. On the basis of the conducted analysis, we can make the following conclusion: the wake amplitude growth produced by the bunches gets saturated with an increase of bunch energy at a quite high level. The amplitude of the electric WF produced in plasma at $n_p = 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ by the UREB is of order 30 G V/m, whereas that produced by the URPB bunch is not higher than 1.3 T V/m. These magnitudes are higher than those gained with the help of contemporary quite powerful pulse lasers (10^{21-22} W/cm^2).

P 8.6 Tue 12:15 V57.02

Sub-femtosecond extremely-intense laser pulse generation — ●MATTEO TAMBURINI¹, CHRISTOPH H. KEITEL¹, ANDREA MACCHI^{2,3}, FRANCESCO PEGORARO^{3,2}, TATYANA V. LISEYKINA⁴, NAVEEN KUMAR¹, ASHUTOSH SHARMA¹, and ANTONINO DI PIAZZA¹ — ¹Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, D-69117 Heidelberg, Germany — ²Istituto Nazionale di Ottica, CNR, Pisa, Italy — ³Dipartimento di Fisica, Università di Pisa, Largo Bruno Pontecorvo 3, I-56127 Pisa, Italy — ⁴Institut für Physik, Universität Rostock, Wismarsche Strasse 43-45, 18057 Rostock, Germany

At the ultrahigh optical laser intensities expected in the foreseen experiments ($I > 10^{23}\text{ W/cm}^2$), a solid-density thin plasma foil can be quickly accelerated up to relativistic energies by the radiation pressure of an impinging laser pulse [1,2]. The very high electron density of such relativistic foil allows to efficiently reflect a second, counter-propagating and intense laser pulse producing a sub-femtosecond extremely-intense laser pulse.

In this contribution, the Doppler intensity increase of a laser pulse with a counter-propagating relativistic foil is studied with particle-in-cell (PIC) simulations including the effect of the so called radiation reaction force [2].

[1] T. Esirkepov, M. Borghesi, S. V. Bulanov, G. Mourou, T. Tajima, Phys. Rev. Lett. **92**, 175003 (2004). [2] M. Tamburini, F. Pegoraro, A. Di Piazza, C. H. Keitel and A. Macchi, New J. Phys. **12**, 123005 (2010).

P 9: Simulationsverfahren/Theorie/Modellierung

Time: Tuesday 14:00–16:20

Location: V57.01

Invited Talk

P 9.1 Tue 14:00 V57.01

Kinetische Simulationen von technischen Plasmen — ●DENIS EREMIN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstrasse 150, 44801, Bochum

Kinetische Effekte spielen eine sehr wichtige Rolle im Verhalten von vielen technischen Plasmen. Es kommt sehr häufig vor, dass in solchen Plasmen unter bestimmten Voraussetzungen mehrere Gruppen von Elektronen entstehen, die unterschiedliche Energien haben, und die miteinander nur gering wechselwirken. In diesem Fall liegt offensichtlich keine Maxwell'sche Verteilungsfunktion der Elektronen vor. Da fluiddynamische Modelle gerade eine solche Verteilung annehmen, ist eine Modellierung nur im Rahmen eines selbstkonsistenten kinetischen Modells zu behandeln, das gleichzeitig die Dynamik von Feldern und Teilchen beschreibt. Kinetischen Modelle sind allerdings sehr rechenaufwändig.

In diesem Beitrag besprechen wir eine neue Methode, kinetische Simulationen mit Hilfe von Graphics Processing Units (GPUs) zu beschleunigen und dadurch solche Simulationen in die Domäne der herkömmlichen numerischen Werkzeuge aufzunehmen. Anschließend demonstrieren wir in mehreren Beispielen Ergebnisse kinetischer Simulationen von Plasmen aus unterschiedlichen Parameterbereichen, die

wesentliche kinetische Effekte aufweisen.

Topical Talk

P 9.2 Tue 14:30 V57.01

Electron surface layer at the interface of a plasma and a dielectric wall — ●RAFAEL L. HEINISCH, FRANZ X. BRONOLD, and HOLGER FEHSKE — Institut für Physik, Universität Greifswald

We study the electron adsorbate formed at the interface of a plasma and a dielectric wall. Assuming that electron trapping occurs in the image potential we calculate electron sticking coefficients and desorption times [1]. Moreover, we study the potential and the charge distribution across the interface of a plasma and a dielectric wall [2]. For this purpose, the charge bound to the wall is modelled as a quasi-stationary electron surface layer which satisfies Poisson's equation and minimizes the grand canonical potential of the wall-thermalized excess electrons. Based on an interface model encompassing the image potential and the surface barrier of the dielectric, we calculate the potential and the electron distribution for MgO, SiO₂ and Al₂O₃ surfaces in contact with a helium discharge. Depending on the electron affinity of the surface, we find two vastly different behaviors. For negative electron affinity, electrons do not penetrate into the wall and a quasi-two-dimensional electron gas is formed in the image potential, while for positive electron affinity, electrons penetrate into the wall and a

space charge layer develops in the interior of the dielectric. We also investigate how the electron surface layer – which can be understood as the ultimate boundary of a gas discharge – merges with the bulk of the dielectric.

[1] R. L. Heinisch et al., Phys. Rev. B 81, 155420 (2010), *ibid* 82, 125408 (2010), *ibid* 83, 195407 (2011) [2] R. L. Heinisch et al., arXiv 1109.5107

Topical Talk

P 9.3 Tue 14:55 V57.01

Modellierung und Simulation von Hochfrequenz-Plasmen bei Atmosphärendruck — ●TORBEN HEMKE — Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, Germany

Die Zahl der Anwendungen von Mikroplasmen bei Atmosphärendruck ist in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen. Um die grundlegenden Phänomene dieser Plasmen zu verstehen, sind Mikroplasmen auch verstärkt in den Fokus der Forschung gerückt. Ergänzend zu experimentellen Untersuchungen ist für die Erklärung grundlegender Phänomene die Modellierung von Mikroplasmen unerlässlich. Dieser Beitrag fokussiert sich auf Mikroplasmen, die durch eine Hochfrequenz-Anregung erzeugt werden, insbesondere HF-Plasmajets. Anhand von Modellierungsansätzen und Ergebnissen numerischer Simulationen werden grundlegende Plasmaphänomene diskutiert und mit experimentellen Daten verglichen.

Gefördert von der DFG im Rahmen der FOR1123 "Physics of Microplasmas".

P 9.4 Tue 15:20 V57.01

Verhalten von L- und R-Moden in Particle-in-Cell Plasmasimulationen — ●CEDRIC SCHREINER, URS GANSE, PATRICK KILIAN und FELIX SPANIER — Uni Würzburg

Niederfrequente Plasmaoszillationen spielen aufgrund der relativ großen Zeitskala, auf der sie sich abspielen, oftmals nur eine untergeordnete Rolle in numerischen Simulationen kinetischer Plasmen. Dies liegt mitunter auch daran, dass hochfrequente Wellenphänomene mit wesentlich geringerer Rechenzeit zu realisieren sind.

In diesem Vortrag soll es speziell um die Niederfrequenzäste von L- und R-Mode in magnetisierten Plasmen gehen. In Particle-in-Cell (PiC) Plasmasimulationen wurden die thermische Anregung dieser Wellenmoden und deren Polarisierungseigenschaften untersucht. Dabei konnten die theoretisch erwarteten Verläufe der Dispersionsrelationen von L- und R-Mode korrekt reproduziert werden. Dies gelang sowohl in 2D- als auch in 3D-Simulationen gleichermaßen gut. Dies ist ein wichtiges Ergebnis, da die verhältnismäßig lange Rechenzeit, die für die Betrachtung niederfrequenter Moden nötig ist, durch die Verwendung von 2D-PiC-Codes erheblich reduziert werden kann.

P 9.5 Tue 15:35 V57.01

Gitterfreie Tree-Code Simulationen des Plasma-Wand Übergangsbereichs — ●BENJAMIN BERBERICH¹, DETLEV REITER¹ und PAUL GIBBON² — ¹Institut für Energie und Klimaforschung-4, Forschungszentrum Juelich, 52428, Germany. — ²Institute for Advanced Simulation, JSC, FZ Juelich,.

Die in Laser-Plasma Anwendungen bereits etablierte gitterfreie Methode der Tree-Codes wird hier für spezielle Probleme der Plasma-Wandwechselwirkung umformuliert. Um die selbstkonsistente elektrostatische Schicht vor materiellen Plasmabegrenzungen in die Teilchensimulation einzubeziehen, verwenden wir ein engmaschiges Netz aus unbeweglichen Ladungsträgern zur Beschreibung der Wand. Zur Ver-

rifikation des Ansatzes werden kinetische Eigenschaften wie etwa Geschwindigkeitsverteilungen im wandnahen Bereich mit existierenden, analytischen Lösungen verglichen. Das Simulationsmodell wird dann eingesetzt, schichtrelevante Größen wie Wärmetransmissionskoeffizienten und Sputter-Raten zu berechnen. Vergleiche zwischen den so erzielten Ergebnissen und Näherungsmodellen zeigen bereits für 1D Probleme signifikante Abweichungen für normierte Sputter-Raten. Dabei ist der Fokus besonders auf den Temperaturbereich nahe der Schwellenenergie für Erosionsprozesse in den hochwärmelasteten Bauteilen von Fusionsexperimenten gerichtet. Beispielsweise liefert die meist angesetzte verschobene Maxwellverteilung an der Kante der elektrostatischen Schicht für das Wasserstoff-Sputtern auf Beryllium eine um etwa das Doppelte gegenüber der vollkinetischen Simulation überschätzte Rate.

P 9.6 Tue 15:50 V57.01

Electron cooling in afterglow plasmas — ●TSANKO VASKOV TSANKOV¹, YUSUF CELIK¹, DIRK LUGGENHÖLSCHER¹, UWE CZARNETZKI¹, MITSUTOSHI ARAMAKI², and SHINJI YOSHIMURA³ — ¹Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44780 Germany — ²Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University, 464-8603, Japan — ³National Institute for Fusion Science, Toki 509-5292, Japan

A number of investigations – both theoretical and experimental – examine the electron temperature drop in the afterglow of low pressure atomic plasmas but a satisfactory self-consistent description of the cooling process is still missing. Here, we present a simple analytical fluid model which provides a consistent description of the diffusional decay of the electron density n_e and temperature T_e . The model predicts not only an exponential behaviour for the inverse of the electron temperature $1/T_e$ but also a drastic change in the cooling process after the electron temperature reaches the gas temperature. These predictions are supported by time-resolved measurements of n_e and T_e and by a 2D simulation for the case of argon afterglow at 1 Pa.

P 9.7 Tue 16:05 V57.01

Ionization by drift and ambipolar electric fields in electronegative capacitive radio frequency plasmas — ●JULIAN SCHULZE¹, ARANKA DERZSI², KRISTIAN DITTMANN³, TORBEN HEMKE¹, JÜRGEN MEICHSNER³, ZOLTAN DONKO², and UWE CZARNETZKI¹ — ¹Ruhr-University Bochum — ²Hungarian Academy of Sciences — ³University of Greifswald

Electron heating dynamics in strongly electronegative CF₄ capacitive radio frequency discharges is investigated by kinetic particle simulations, experimental phase-resolved optical emission spectroscopy, and an analytical model [1]. Unlike α - and γ -mode operation, electrons accelerated by strong drift and ambipolar electric fields in the plasma bulk and at the sheath edges are found to dominate the ionization in such electronegative plasmas under distinct conditions. These fields are caused by a low bulk conductivity and local maxima of the electron density at the sheath edges, respectively. Mode transitions from this novel Drift-Ambipolar (DA) heating mode into classical heating modes are induced by voltage and pressure variations. Analogies to microscopic atmospheric pressure plasma jets and consequences of the discharge operation in the DA mode on the Electrical Asymmetry Effect are discussed [2].

[1] J. Schulze et al. (2011) Phys. Rev. Lett. accepted for publication [2] J. Schulze et al. (2011) Plasma Sourc. Sci. Technol. 20 045008

P 10: Magnetischer Einschluss I

Time: Tuesday 14:00–16:00

Location: V57.02

Invited Talk

P 10.1 Tue 14:00 V57.02

Kontrolle von Edge Localised Modes - eine Herausforderung für ITER und den Fusionsreaktor — ●WOLFGANG SUTTROP und ASDEX UPGRADE TEAM — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, D-85740 Garching

Guter Energie-Einschluss ist in einem Kernfusionsplasma mit steilen Druckgradienten verbunden, die ihrerseits eine zyklisch auftretende Instabilität erzeugen, die sog. Edge Localised Mode (ELM). ELMs führen zu kurzzeitigem, wiederholt auftretendem stark erhöhtem Energieverlust des Plasmas, der durch hohe Leistungsdichte zur schnellen Ero-

sion der ersten Wand führt und damit deren Lebensdauer intolerabel herabsetzt. Die Begrenzung von ELM-Verlusten ist ein Ziel einer Reihe von Experimenten, wobei die zur Zeit aussichtsreichste Methode die Anwendung helikaler Magnetfeldstörungen am eigentlich axisymmetrischen Tokamak-Plasma ist. Das Experiment ASDEX Upgrade in Garching verfügt seit Beginn 2011 über Störfeldspulen, mit deren Hilfe auch tatsächlich die ELM-Verluste stark verringert werden können. Völlig unerwartet hängt dieser Effekt nicht von der Magnetfeld-Konfiguration ab, sondern gelingt sowohl mit Störfeldern, die parallel zu Magnetfeldlinien im Plasma verlaufen (resonante Störungen) als auch nicht-resonanten Störfeldern. Damit scheidet als Erklärung die

Ergodisierung des Magnetfelds am Rand des eingeschlossenen Plasmas aus, zumal das magnetische Störfeld aufgrund Abschirmung durch Spiegelströme im rotierenden Plasma nur sehr schwach eindringt. Im Vortrag wird der gegenwärtige Stand des Wissens aus experimenteller Sicht erläutert.

Invited Talk P 10.2 Tue 14:30 V57.02
Studies of pure electron plasmas and partially neutralized plasmas in the CNT stellarator — ●THOMAS S. PEDERSEN, XABIER SARASOLA, and ERIC WINKLER — Max-Planck Institute for Plasma Physics, Garching and Greifswald, Germany

Non-neutral plasmas have been studied primarily in Penning traps in the past, but toroidal magnetic configurations are also of interest, and allow studies of partially neutralized plasmas, and potentially also electron-positron plasmas. The physics of partially neutralized plasmas is a largely unexplored area of plasma physics. Such plasmas have now been created and studied in the Columbia Non-neutral Torus (CNT), a two-period stellarator devoted to studies of non-neutral plasmas and electron-positron plasmas. Plasmas with any degree of neutralization can be created in steady state, and the whole range from pure electron plasma to quasi-neutral electron-ion plasma has been explored. As one varies the degree of neutralization, the plasma behavior changes significantly. Another recent result is that it is now possible to create pure electron plasmas without internal objects. This is an important step toward creation of the first electron-positron plasma on Earth. In addition to results from CNT, a brief overview of the plans for the electron-positron plasma experiment APEX will be presented.

P 10.3 Tue 15:00 V57.02
Bernsteinwellenheizung am Stellarator TJ-K — ●ALF KÖHN¹, ALEXANDER CHUSOV¹, UDO HÖFEL¹, EBERHARD HOLZHÄUER¹, MIRKO RAMISCH¹, STEFAN WOLF¹ und ULRICH STROTH^{1,2} — ¹Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Garching

Übersteigt die Dichte eines Plasmas die Cutoff-Dichte der eingestrahlten Mikrowelle, so wird sie reflektiert und kann das Plasma somit nicht heizen. Für Elektronen-Bernstein-Wellen (EBW) existiert diese Beschränkung nicht, da sie keinen Cutoff besitzen und zusätzlich an der Elektronenzyklotronresonanz (EZR) und deren Harmonischen effizient absorbiert werden. Sie müssen allerdings an eingestrahlte elektromagnetische Wellen ankoppeln. Eine Möglichkeit stellt der O-X-B Modenkonzversionsprozess dar, dessen Effizienz vom Einstrahlwinkel und der Polarisierung der Mikrowelle abhängt. Der Stellarator TJ-K erlaubt die Untersuchung von Entladungen, in denen Heizung durch EBW eine wesentliche Rolle spielt, wobei das Antennenfeld numerisch optimiert wurde. Mittels einer diamagnetischen Schleife lässt sich die Abhängigkeit der im Plasma gespeicherten Energie vom Einstrahlwinkel zeigen. Weiterhin kann man mit einer Rogowski-Spule einen toroidalen Nettostrom messen, dessen Skalierung mit der Heizleistung und dem Neutralgasdruck auf den Fisch-Boozer-Mechanismus als Antrieb durch die EBW schließen lässt. Die Variation des Hintergrundmagnetfeldes erlaubt die Untersuchung der EBW-Heizung bei Harmonischen der EZR. Damit können bis zur 4. Harmonischen Plasmen hoher Dichte erzeugt werden, die einen ungewöhnlich niedrigen Fluktuationsgrad aufweisen.

P 10.4 Tue 15:15 V57.02
Untersuchung der Wärmeflussabschwächung in TEXTOR Disruptionen mit Gasinjektion — ●N. BAUMGARTEN, H.R. KOSŁOWSKI, M. LEHNEN, V. PHILIPPS, U. SAMM und DAS TEXTOR TEAM — Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich GmbH, Assoziation EURATOM-FZJ, Trilateralles Euregio Cluster, Jülich

Instabilitäten können in einem magnetisch eingeschlossenen Plasma zur Disruption führen, d.h. dem Verlust der thermischen und magnetischen Energie innerhalb von Millisekunden. Die Injektion großer Gas-mengen und die damit verbundene Energieabstrahlung kann Schädigungen von Wandkomponenten vorbeugen.

Messungen an einem sphärischen Limiter in TEXTOR zeigen, dass lokale Wärmeflüsse mit Argoninjektion um das Zehnfache und mit Neon um das Fünffache im Vergleich zu Disruptionen ohne Gasinjektion abgeschwächt werden können. Bei Gasinjektion wurde eine Verbreiterung der Depositionsfläche des Wärmeflusses um mindestens einen Faktor fünf gegenüber der stationären Phase vor der Disruption beobachtet. Dies führt zu einer weiteren Abschwächung der Wärmelasten. Im Gegensatz dazu zeigt sich in Disruptionen, die durch einen zu niedrigen Sicherheitsfaktor hervorgerufen werden, eine asymmetrische Energiedeposition. Hier wurde nur eine einseitige Verbreiterung um lediglich einen Faktor zwei beobachtet. Mit der gegebenen hohen Zeitauflösung von 0.1 ms konnten weiterhin lokale Spitzen im Wärmefluss aufgelöst werden. Diese könnten die an anderen Experimenten beobachteten Wärmelasten auf plasmafernen Wandelementen erklären.

P 10.5 Tue 15:30 V57.02
H-mode edge current density profiles and scaling — ●MIKE G. DUNNE¹, ELISABETH WOLFRUM², PHILIP A. SCHNEIDER², and P.J. MCCARTHY¹ — ¹Department of Physics, University College Cork, Association Euratom-DCU, Cork, Ireland — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Association, D-85748 Garching, Germany

An edge localised mode (ELM) is an instability which causes a large outflux of particles and energy in a tokamak device. These regularly ($\Delta t \approx 10 - 20$ ms in ASDEX Upgrade) occurring events pose a significant issue for next generation devices due to a loss of confinement and large heat loads on plasma facing components. The current understanding of this phenomenon posits critical pressure gradient and current density limits in the edge of the plasma. While measuring the pressure gradient is standard at all tokamaks, measuring the local current density in these plasmas is rather difficult, as physical probes would melt and extremely high accuracy is required for polarimetry based measurements. In light of this, an equilibrium reconstruction of the plasma, based on magnetic measurements, Ampere's law applied to an elongated toroidal plasma, and a requirement of force balance, is used as a quasi measurement of the plasma current density. First results from a database of these reconstructions are presented, including scalings of the peak edge current density with global plasma parameters. Comparisons of different drives of current density in a tokamak plasma are analysed with a view to differentiating ELM regimes and correlating different ELM period lengths.

P 10.6 Tue 15:45 V57.02
Strukturuntersuchung von Wärmeflussmustern auf dem helikalen Divertor am LHD — ●PETER DREWELOW¹, MARCIN W. JAKUBOWSKI¹, SUGURU MASUZAKI², YASUHIRO SUZUKI², ROBERT WOLF¹ und HIROSHI YAMADA² — ¹Max-Planck Institut für Plasmaphysik, Wendelsteinstr. 1, Greifswald — ²National Institute for Fusion Science, Oroshi-chō 322-6, Toki, Japan

Die Feinstruktur des Wärmeflusses von einem magnetisch eingeschlossenen Plasma auf den Divertor wird in erster Ordnung von der magnetischen Randtopologie bestimmt. Stellaratoren zeigen dabei auf Grund ihrer inhärent stochastischen Magnetfelder am Rand eine ausgeprägtere Strukturierung der Strikeline auf dem Divertor als in Tokamaks. Unter Verwendung von externen periodischen Störfeldern konnten in neueren Untersuchungen der Divertoren an TEXTOR und DIII-D ähnliche Verteilungsmuster beobachtet werden. Auch diese ließen sich im Wesentlichen durch die Struktur des Randmagnetfeldes erklären, welches durch Überlagerung der magnetischen Gleichgewichtstopologie mit dem Vakuumfeld von externen Störspulen genähert wurde. Im Rahmen dieser Arbeit wurde nun die Wärmeflussverteilung auf den helikalen Divertor am Large Helical Device (LHD) mit einer hochauflösenden Infrarotkamera gemessen. Experimente mit ähnlichen magnetischen Rand-Topologien aber unterschiedlicher Magnetfeldstärke zeigen, dass die Wärmeflussmuster auch stark vom Verhältnis des senkrechten zum parallelen Transport abhängen.

P 11: Poster: Magnetischer Einschluss

Time: Tuesday 16:30–19:00

Location: Poster.III

P 11.1 Tue 16:30 Poster.III

Untersuchung von Plasmaströmungen in TJ-K mittels laserinduzierter Fluoreszenz — ●RAIMUND WÖRL¹, MIRKO RAMISCH¹, ALF KÖHN¹, GREGOR BIRKENMEIER¹, BERNHARD NOLD¹ und ULRICH STROTH² — ¹Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Garching

Das Stellarator-Experiment TJ-K erlaubt es, die für den Plasmaeinschluss verantwortliche Magnetfeldkonfiguration über Variation des Stromverhältnisses durch die Vertikal- und Helikalfeldspulen zu verändern. In diesem Beitrag wird das Verhalten der Ionen in unterschiedlichen Konfigurationen in TJ-K untersucht. Dazu werden Ionentemperatur, -dichte und Strömungsgeschwindigkeit mit Hilfe laserinduzierter Fluoreszenz (LIF) bestimmt. Besonderes Interesse gilt den toroidalen Ionenströmungen, zu deren Verständnis die Ergebnisse aus den LIF-Messungen mit ExB-Driften verglichen werden. Zu diesem Zweck wurde das Plasmapotential mit Glühsonden vermessen. Daraus kann numerisch die toroidale Projektion der senkrechten Drift bestimmt werden.

Die berechneten Driftgeschwindigkeiten geben den Trend der gemessenen Geschwindigkeitsprofile mit stellenweise sehr guten Übereinstimmungen in den Absolutwerten wieder. Zusätzliche Korrekturen, die z.B. die Ionengrationsbewegung über die diamagnetische Drift oder Pfirsch-Schlüter-Strömungen mit einschließen, sind Bestandteil weiterer Betrachtungen.

P 11.2 Tue 16:30 Poster.III

Einfluss magnetischer Konfigurationen auf globalen Plasmaeinschluss — ●RALF KONNERTH¹, GREGOR BIRKENMEIER¹, EBERHARD HOLZHAUER¹, ALF KÖHN¹, MIRKO RAMISCH¹ und ULRICH STROTH^{1,2} — ¹Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Garching

Die magnetische Topologie in einem Fusionsexperiment kann erheblichen Einfluss auf die Einschlussqualität des Plasmas haben. Dies wird besonders deutlich, wenn die magnetischen Flussflächen durch kleine Störfelder deformiert werden und sich magnetische Inseln ausbilden. Der Stellarator TJ-K der Universität Stuttgart erlaubt die bewusste Erzeugung solcher Inseln, deren Einfluss auf das globale Plasma hier studiert wird. Dazu wird bei ansonsten konstanten Hintergrundparametern wie Gasart, Neutralgasdruck und Mikrowellenheizleistung sowohl die Magnetfeldstärke, als auch die magnetische Konfiguration variiert. Mittels Interferometrie wird dabei die Plasmadichte untersucht und über ein Goldfolienbolometer die von dem Plasma abgestrahlte Leistung aufgenommen. Es zeigt sich, dass bei bestimmten Konfigurationen stark erhöhte Plasmadichten erreicht werden, was auf einen verbesserten Einschluss hinweist. Ziel dieser Arbeit ist es, optimale Operationsbereiche in TJ-K zu finden und das Auftreten solcher Bereiche durch genaue Betrachtungen der magnetischen Konfigurationen zu verstehen.

P 11.3 Tue 16:30 Poster.III

Transportuntersuchungen in der Abschältschicht von TJ-K — ●THOMAS HERZOG¹, GREGOR BIRKENMEIER¹, GOLO FUCHERT¹, BERNHARD NOLD¹, MIRKO RAMISCH¹ und ULRICH STROTH^{1,2} — ¹Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Garching

Am Stellarator TJ-K wird der intermittente Transport in der Abschältschicht untersucht. Dessen Verständnis ist wichtig für magnetisch eingeschlossene Plasmen. Einen wesentlichen Anteil machen quasi-kohärente Dichtestrukturen, sogenannte Blobs, aus. Im Vordergrund der Arbeit steht die Bestimmung der skalenaufgelösten Phasenbeziehung zwischen Dichte- und Potentialstörungen. Die Kreuzphase ist ein Indikator für die Turbulenz treibende Instabilität und ist maßgeblich für den Transport. Frühere Arbeiten am TJ-K zeigten, dass die Kreuzphase im Einschlussbereich nahe Null ist, wie es für die Driftwellenturbulenz erwartet wird. Es wird untersucht, ob in der Abschältschicht Abweichungen von diesem Verhalten auftreten und in welcher Beziehung sie zu Blobs stehen. Als Diagnostik kommt eine Multi-sondenanordnung zum Einsatz, deren Sondenspitzen in konstantem radialen Abstand zur letzten geschlossenen Flussfläche angeordnet sind, sodass ausschließlich die poloidale Dynamik betrachtet wird.

Aus den Messdaten wurde die Kreuzphase sowie die Kreuzkorrelation ermittelt, welche Aufschluss über die Dynamik quasi-kohärenter Ereignisse liefert. Eine von Null abweichende Kreuzphase wurde beobachtet. Es zeigt sich, dass der Transport in der Abschältschicht hauptsächlich auf einer Größenskala abläuft, welche der Blobgröße entspricht.

P 11.4 Tue 16:30 Poster.III

Charakterisierung der 2. Harmonischen Elektronbernsteinwellen-Heizung — ●UDO HÖFEL¹, ALF KÖHN¹, MIRKO RAMISCH¹, STEFAN WOLF¹ und ULRICH STROTH^{1,2} — ¹Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Garching

Elektronbernsteinwellen (EBW) können dazu benutzt werden, ein überdichtetes Plasma effektiv zu heizen, da für sie kein oberes Limit in der Plasmadichte existiert, sie allerdings sehr gut an der Elektronenzyklotronresonanz (EZR) absorbiert werden. Dies gilt nicht nur für die direkte Absorption an der EZR, sondern auch an deren Harmonischen. Die EBW muss dazu allerdings durch Modenkonzentrationsprozesse aus einer von außen eingestrahlten Mikrowelle erzeugt werden, da sie im Vakuum nicht ausbreitungsfähig ist.

Im Stellarator TJ-K der Universität Stuttgart konnten erstmals Plasmen durch EBW-Heizung an der zweiten Harmonischen stabil erzeugt und somit gezielt untersucht werden. Hierzu wird eine Mikrowelle mit einer Frequenz von 8 GHz und einer Leistung von 2,7 kW in ein Plasma mit einer Magnetfeldstärke von ungefähr 300 mT eingestrahlt. Umfangreiche Studien der Plasmamaparameter, wie z.B. des Plasmastromes mittels Rogowski-Spulen, der Elektronentemperatur mithilfe von Langmuir-Sonden und der Plasmadichte deuten auf eine gesteigerte Heizeffizienz im Vergleich mit bisherigen Operationsbereichen in TJ-K hin.

P 11.5 Tue 16:30 Poster.III

Erweiterung des Anwendungsbereichs der Elektron Zyklotron Heizung an ASDEX Upgrade — ●H. HÖHNLE¹, J. STOBER², K. BEHLER², A. HERRMANN², A. KALLENBACH², W. KASPAREK¹, M. REICH², U. STROTH^{1,2}, W. TREUTTERER² und DAS ASDEX UPGRADE TEAM² — ¹Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching

Die Elektron Zyklotron Heizung an ASDEX Upgrade wird standardmäßig in der außerordentlichen Polarisation bei der zweiten harmonischen Resonanz (X2-Mode) verwendet. Der Einsatz dieser Mode ist jedoch bei hohem Plasmastrom und gutem Einschluss vom Cutoff begrenzt. Mit einer Reduzierung des Magnetfeldes (X3-Mode) oder der Änderung der Polarisation (O2-Mode) kann dieser Nachteil überwunden werden. Diese Szenarien sind aber mit unvollständiger Absorption verbunden, die einen sicheren Betrieb behindern.

Durch geschickte Wahl des Magnetfeldes lässt sich bei der X3-Mode eine vollständige, jedoch nicht komplett zentrale Absorption erreichen. Mit dem Ausbau des neuen ECRH-System konnte mit bis zu 3,7 MW in der X3-Mode ohne erhöhte Streustrahlung geheizt werden.

Um eine hohe Absorption bei der Heizung mit der O2-Mode zu bewerkstelligen, werden holographische Spiegel für einen weiteren Plasmadurchgang des Strahls verwendet. Erstmals konnten 2 Spiegel gleichzeitig eingesetzt und mittels Echtzeit-Regelung die Strahlen bei variierenden Plasmamparametern auf den Spiegel zentriert werden.

Die Heizszenarien, die Spiegel, die Echtzeit-Regelung und Experimente werden präsentiert.

P 11.6 Tue 16:30 Poster.III

Plasmaheizung an Harmonischen der Elektronenzyklotronresonanz — ●STEFAN WOLF¹, GREGOR BIRKENMEIER¹, HENDRIK HÖHNLE¹, WALTER KASPAREK¹, ALF KÖHN¹, BURKHARD PLAUM¹, MIRKO RAMISCH¹, DIETMAR WAGNER² und ULRICH STROTH^{1,2} — ¹Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Garching

Eine Möglichkeit zur Heizung überdichteter Plasmen sind Elektronen-Bernstein-Wellen. Als elektrostatische Wellen müssen sie in einem Modenkonzentrationsprozess im Plasma aus von außen eingestrahlten elektromagnetischen Wellen erzeugt werden. Am Stellarator TJ-K können überdichtete Plasmen mittels einer 8 GHz-Mikrowellenheizung erzeugt werden. Bei Parameterstudien wurden Belege für Elektronen-Bernstein-Heizung an der 4. Harmonischen der Elektronenzyklotronreso-

nanz (EZR) gefunden: Entladungen, die bei Magnetfeldstärken auf der magnetischen Achse $B_0 > 200$ mT gestartet wurden, konnten beim Abensen bis $B_0 \approx 60$ mT aufrechterhalten und in stationäre Zustände überführt werden. Bei diesem Feld befinden sich nur höhere als die 3. Harmonische der EZR im Plasma, insbesondere liegt die 4. im überdichten Bereich, sodass auf eine O-X-B-Konversion und Absorption an höheren Harmonischen der EZR geschlossen werden kann. Erste Untersuchungen zeigen außerdem, wie für die O-X-Konversion erwartet, eine Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel.

Des Weiteren wird eine 14 GHz-Mikrowellenheizung aufgebaut. Insbesondere wird auf eine dämpfungsarme Mikrowellenübertragungsleitung Wert gelegt. Erste Messergebnisse werden präsentiert.

P 11.7 Tue 16:30 Poster.III

Zonalströmungen im Stellarator TJ-K — ●BERNHARD SCHMID¹, GREGOR BIRKENMEIER¹, BERNHARD NOLD¹, MIRKO RAMISCH¹ und ULRICH STROTH² — ¹Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Garching

Zonalströmungen sind für die Fusionsforschung von großer Bedeutung, da sie mit der Bildung von Transportbarrieren in Zusammenhang stehen. Für eine detaillierte Untersuchung dieser Strukturen wurden Potential- und Dichtemessungen im gesamten poloidalen Querschnitt am Stellarator TJ-K durchgeführt. Die Niedertemperaturplasmen lassen hierbei den Einsatz von Langmuir-Sonden zu. Durch konditionelle Mittelung konnte die Dynamik quasi-kohärenter Strukturen im Zweidimensionalen sichtbar gemacht werden. Die Untersuchungen zeigen poloidal symmetrische Strukturen nur im Potential. Über die E×B-Drift haben diese eine Scherströmung zur Folge, welche typisch für Zonalströmungen ist. Mit der frequenz aufgelösten Kohärenz lassen sich die Zonalströmungen von den Driftwellen trennen und in den Frequenzbereich unter 10 kHz einordnen. Als Antriebsmechanismus konnte der Reynolds-Stress identifiziert werden, wobei ein Phasenversatz zwischen

dem Antriebsterm und der Poloidalgeschwindigkeit beobachtet wurde. Dieser lässt sich möglicherweise auf den Einfluss der Dämpfung zurückführen. Für die Wechselwirkung mit der umgebenden Turbulenz konnte gezeigt werden, dass diese in einer Räuber-Beute-Beziehung mit der Zonalströmung steht, was sich in Räuber-Beute-Zyklen im Phasenraum zeigt.

P 11.8 Tue 16:30 Poster.III

Analysis of bifurcated stationary zonal flow states in plasmas and planetary atmospheres - predicting climate change on Jupiter? — ●ANDREAS KAMMEL and KLAUS HALLATSCHKEK — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching b. München

Zonal flows are a hot topic in both fusion plasmas and the atmospheres of gas giants as they are closely related to the improvement of confinement (H-barrier!) as well as the understanding of climate changes.

Studies of the interaction between drift waves and flows in a self-consistent resistive drift wave system - representing the highly nonlinear plasma edge - have been undertaken with the help of the two-fluid code NLET. A bifurcation into separate, stationary transport states has been observed, which depends only on a single regime-defining dimensionless parameter, marked by the ion sound Larmor radius and the length of maximal drift wave growth at a given parallel shear length. These states correspond to two different stable density gradients associated with a significant change in the shape of the respective flows, generated by negative turbulence viscosity - all explainable with only local dependencies and mentioned parameter.

The implications of these findings for gas giants such as Jupiter could be severe. Geostrophic modes are the fluid analog to plasma drift waves, making the existence of similar stable states in turbulent planetary atmospheres highly likely. This in turn could lead to a much improved model for the changes of large atmospheric structures in gas giants: a climate forecast for Jupiter, with possible implications for Earth and ITER alike.

P 12: Poster: Plasma-Wand-Wechselwirkung

Time: Tuesday 16:30–19:00

Location: Poster.III

P 12.1 Tue 16:30 Poster.III

Einfluss des Neutralgasdruckes auf die Linienemission von laserinduzierten Plasmen vor Wolfram und Graphitoberflächen — ●A KUBINA, A HUBER, B SCHWEER, V PHILIPPS, M ZLOBINSKI, N GIERSE und Q XIAO — Institut für Energie- und Klimafor-schung - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich GmbH, Assoziation EURATOM-FZJ, Trilaterales Euregio Cluster, Jülich

Die Speicherung von Tritium in den Plasma umgebenden Gefäßwänden ist von kritischer Bedeutung für den Betrieb von ITER. Die laserinduzierte Plasmaspektroskopie (Laser Induced Breakdown Spectroscopy - LIBS) ist eine geeignete Methode zur Bestimmung der lokalen Wandzusammensetzung und der Menge des abgelagerten Wandmaterials in Fusionsanlagen. Hierbei wird mit einem Kurzzeit-Nd:YAG-Laser über Grafit- und Wolframproben ein Laser-induziertes Plasma erzeugt und die absolute Linienintensität der freigesetzten Schichtmaterialien untersucht. Die enthaltenen Informationen lassen Rückschlüsse auf enthaltene Elemente und deren vorhandene Mengen zu. Da sowohl die Eindringtiefe des Lasers in die Probe, wie auch die Parameter des erzeugten Plasmas stark vom Druck und dem umgebenden Neutralgas abhängig sind, werden diese Parameter zuerst in einer autarken Vakuumkammer unter Laborbedingungen bestimmt. Mit einem hochauflösenden Spektrometer wird das Spektrum über einen Bereich von 350nm zeitgleich gemessen. Darüber hinaus wird das Plasmalicht mit einer CCD Kamera und schnellen Photodioden räumlich und zeitlich aufgelöst, um den Einfluss des Gasdruckes auf die Ausdehnung und auf die Lebenszeit des Plasmas zu untersuchen.

P 12.2 Tue 16:30 Poster.III

Energy balance at the substrate during magnetron sputter deposition of ZnO — ●SVEN BORNHOLDT¹, NAHO ITAGAKI², KAZUNARI KUWAHARA², HARM WULF³, MASAHARU SHIRATANI², and HOLGER KERSTEN¹ — ¹Institute of Experimental and Applied Physics, Christian-Albrechts-University of Kiel, D-24098 Kiel, Germany — ²Institute of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University, Fukuoka 819-0395, Japan — ³Institute of Physics, University Greifswald, D-17487 Greifswald, Germany

The improvement of the crystalline structure of ZnO thin films deposited by PVD processes is very important for industrial manufacturing of solar cells. The description of the particle and energy fluxes and their effect on the energy balance at the substrate surface and for the resulting film properties is of essential interest. Calorimetric measurements at the substrate position were carried out in a rf-triode magnetron sputter deposition system with ceramic ZnO targets using different gas mixtures (Ar/N₂ and Ar/H₂). By variation of the probe bias the different contributions originating from the kinetic energy of charge carriers, the recombination of charge carriers at the surface as well as the contributions from impact of neutral sputtered particles and subsequent film growth are determined. Radial scans in the substrate plane were recorded for inhomogeneities in the total energy influx. Film properties like crystalline structure, growth rate and grain size were investigated using XRD and XRR. Especially the growth rate has been found to be sensitively dependent on the substrate temperature.

P 12.3 Tue 16:30 Poster.III

Formation of ammonia during nitrogen seeded discharges at ASDEX Upgrade — ●DANIEL NEUWIRTH, VOLKER ROHDE, THOMAS SCHWARZ-SELINGER, and ASDEX UPGRADE TEAM — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Association, Garching, Germany

The seeding of impurities will be mandatory for ITER to protect the tungsten divertor from local heat loads. Presently the best candidate seems to be nitrogen, but reactions with hydrogen are possible. The formation of ammonia is a serious issue for gas plants, cryo pumps and plasma control. Therefore the residual gases of discharges with and without nitrogen seeding at ASDEX Upgrade have been investigated by mass spectrometry. For the deconvolution of the measured spectra a method was developed that takes into account different protium concentrations in different compounds. The applied absolute calibration of the mass spectrometers allowed a quantitative analysis. A significant formation of ammonia was observed during nitrogen seeded H-mode discharges. Up to 8% of the seeded nitrogen atoms have formed ammonia molecules. Ammonia was present in the residual gas of the nitrogen seeded discharge itself, but also in the residual gases of sub-

sequent non nitrogen seeded discharges. Furthermore a reduced partial pressure of methane during nitrogen seeded discharges was observed. Undeuterated ammonia was injected into the plasma vessel of ASDEX Upgrade without plasma operation. A significant part of the ammo-

nia was retained in the vessel. The simultaneous observation of partly deuterated ammonia indicates an interaction between tungsten wall and ammonia.

P 13: Poster: Niedertemperaturplasmen

Time: Tuesday 16:30–19:00

Location: Poster.III

P 13.1 Tue 16:30 Poster.III

Plasma discharge characterization of medical argon plasma coagulation (APC) system — ●SANDRA KELLER^{1,2}, NIKITA BIBINOV¹, ALEXANDER NEUGEBAUER², KLAUS FISCHER², MARKUS ENDERLE², and PETER AWAKOWICZ¹ — ¹Department of Electrical Engineering and Information Technology, Institute for Electrical Engineering and Plasma Technology, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Germany — ²ERBE Elektromedizin GmbH, 72072 Tübingen, Germany

APC is a surgical technique to treat biological tissue by a transient argon plasma discharge at atmospheric-pressure. The APC plasma discharge is mainly used for devitalisation of residual adenoma and coagulation of pathologic tissues during surgical applications.

Today, the effect of the plasma discharge to the degree of tissue damage (like devitalisation, coagulation, desiccation etc.) is not fully clarified.

To overcome this issue, we characterized the plasma discharge applied to biological tissue by microphotography, current-voltage measurements, and microscopy. A combination of microphotography and current-voltage measurements was used to determine the kind of plasma discharge, whereas microscopy was determine the tissue damage generated by the APC plasma discharge.

Additionally, we combined the results of microphotography, current-voltage measurements, and microscopy to assign the effect of an APC plasma discharge on the biological tissue damage.

P 13.2 Tue 16:30 Poster.III

Räumlich und zeitlich aufgelöste Optische Emissionsspektroskopie an atmosphärischen Plasmoiden — ●SINAN KALAFAT^{1,2}, URSEL FANTZ^{1,2}, ROLAND FRIEDL^{1,2}, MARTIN KAMMERLOHER² und ALEXANDER OSWALD² — ¹Lehrstuhl für Experimentelle Plasmaphysik, Universität Augsburg, 86135 Augsburg — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, 85748 Garching

Durch eine Hochspannungsentladung in einem Wassergefäß entsteht ein autonomes, sich kurzzeitig selbsterhaltendes Plasmagebilde. Diese kugelförmigen Leuchterscheinungen weisen Ähnlichkeiten zu Kugelblitzphänomenen auf, daher hat dieses Experiment auch unter dem Namen Kugelblitzexperiment bereits aufsehen erregt. Ein Versuchsaufbau, welcher in der Lage ist ein solches Plasma zu erzeugen, wurde im Jahr 2002 an der Humboldt-Universität zu Berlin von der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Gerd Fußmann aufgebaut, wobei erste systematische Untersuchungen der Plasmaparameter bereits durchgeführt wurden [1]. Dieses Experiment wurde kürzlich an das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching bei München transferiert. Im Zuge dessen wurde das Experiment um weitere Variationsparameter ergänzt welche u.a. die elektrisch zugeführte Energie beeinflussen. Auswirkungen der Parameter z.B. auf die Größe, Geschwindigkeit und die autonome Phase werden vorgestellt. Die Ortsaufgelöste OES ermöglicht zudem einen Einblick in die zeitliche und räumliche Dynamik des Plasmoids sowie den Ablauf chemischer Prozesse.

[1] A Versteegh, K Behringer, U Fantz, G Fussmann, B Juttner and S Noack, Plasma Sources Sci. Technol. 17 (2008) 024014 (8pp)

P 13.3 Tue 16:30 Poster.III

Secondary electron emission from dielectric surfaces due to de-excitation of impacting meta-stable nitrogen molecules — JOHANNES MARBACH, ●FRANZ XAVER BRONOLD, and HOLGER FEHSKE — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, D-17489 Greifswald, Deutschland

De-excitation of meta-stable molecules at the dielectric covering one of the electrodes of a dielectric barrier discharge is one of the main surface-based secondary electron emission channels controlling, together with wall recombination and various volume-based charge production and destruction processes, the overall charge balance and hence the operation mode of such a discharge. Secondary electrons, entering

simulations of bounded plasmas via various secondary electron emission coefficients γ , strongly affect the results of the such simulations. Yet, little is quantitatively know about the γ coefficients. In our previous work [1] we set up a generic effective model for the underlying molecule-surface collision and used it to theoretically investigate Auger de-excitation of meta-stable nitrogen molecules at metallic surfaces. Now, with an eye on dielectric barrier discharges, we apply this model to dielectric surfaces where we find the de-excitation with subsequent electron release to be mediated by the shape resonance of the negative nitrogen ion. To calculate the associated γ coefficient we combine the Keldysh Green function technique used in [1] with rate equations. Numerical results are presented for Al_2O_3 , MgO , and SiO_2 and discussed with respect to their implications for dielectric barrier discharges.

[1] J. Marbach et al., Phys. Rev. B **84**, 085443 (2011).

P 13.4 Tue 16:30 Poster.III

Gas and vibrational temperatures of a magnetic X-point discharge — ●TSANKO VASKOV TSANKOV and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44780 Germany

Measurements of the molecular hydrogen Fulcher- α bands have been performed in a magnetic X-point discharge. The interpretation of the line intensities provides the rotational and vibrational temperatures in the source and the gas temperature is inferred from the rotational one. The results reveal that the gas temperature is increasing with the RF power, while the vibrational temperature remains relatively constant in the studied range of RF powers.

Further, a concept for existence of an optimum vibrational temperature for the volume negative hydrogen ion production is introduced. Estimations show that this optimum vibrational temperature lies close to the experimentally measured one, supporting the idea that the source design offers certain advantages over the classical ones in terms of negative ion production.

P 13.5 Tue 16:30 Poster.III

Analysis of a HPPMS system — ●SARA GALLIAN, DENIS EREMIN, DANIEL SZEREMLEY, TORBEN HEMKE, THOMAS MUSSENBRÖCK, and RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

The High Power Pulsed Magnetron Sputtering (HPPMS) technique has gained substantial interest in both academic and industrial environments. Its most valuable features are: the high ionization degree of the sputtered material it allows to achieve, and the improved quality of the film deposited even on complex-shaped substrates. Several are the issues related to the modeling of a HPPMS: dense plasma in a strong magnetic field, high ionization degree of the sputtered material, strong gas rarefaction and anomalous electron transport due to instabilities. In this paper, we present a simplified analytic approach to address what we believe are the most fundamental physical phenomena and some preliminary results obtained by means of hybrid models. The authors gratefully acknowledge the support by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) via collaborative research centre SFB-TR 87.

P 13.6 Tue 16:30 Poster.III

V.II - Ein lineares Experiment mit offenen Feldlinien zur Untersuchung magnetischer Rekonexion — ●ADRIAN VON STECHOW¹, OLAF GRULKE¹ und THOMAS KLINGER^{1,2} — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Greifswald — ²Ernst Moritz Arndt-Universität Greifswald

Magnetische Rekonexion ist ein Prozess, bei dem eine topologische Umordnung des Magnetfeldes mit anschließender Freisetzung von Energie auf kleinen Längen- und Zeitskalen stattfindet. Dieser Vorgang findet an der Grenzschicht zwischen entgegengesetzten Magnetfeldern statt, wie sie in z.B. magnetosphärischen Plasmen, aber auch in Fusionsplasmen vorkommen. Das lineare und magnetisierte Plasmaexper-

riment VINETA wurde dahingehend modifiziert, dass in der azimutalen Ebene Reconnexion durch einen Stromtrieb in axialer Richtung ermöglicht wird. Dabei entstehen große axiale elektrische Felder. In offener Feldlinienkonfiguration ist der resultierende Plasmastrom jedoch durch das Bohmkriterium begrenzt. Daher wurde eine Elektronenquelle ("Plasma Gun") entwickelt, die Ladungsträger für den Stromfluss zur Verfügung stellt. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse erster Reconnexionsereignisse in der Anlage vorgestellt und die für die Charakterisierung der Reconnexion entscheidenden axialen Ströme und Felder betrachtet.

P 13.7 Tue 16:30 Poster.III

Charakterisierung einer Plasma Gun zum Stromtrieb in Plasmen — ●MATTHIAS SCHUMANN², OLAF GRULKE¹ und THOMAS KLINGER^{1,2} — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Greifswald — ²Ernst Moritz Arndt-Universität Greifswald

Elektromagnetische Phänomene in Plasmen setzen einen elektrischen Plasmastrom voraus. Grundsätzlich sind Ströme in berandeten Plasmen durch das Bohmkriterium limitiert. Um dennoch einen großen Strom im Plasma zu erzeugen, wurde eine sogenannte „Plasma Gun“ verwendet, die auf der Basis einer Bogenentladung freie Ladungsträger (sekundäre Elektronen) erzeugt. Die Plasma Gun wird mit einem Pulse Forming Network (PFN) betrieben, dessen Charakteristik konsistent mit Ergebnissen einfacher Simulationen ist. Dieses stellt die benötigten Strompulse von bis zu 1 kA und einer Dauer von ca. 60 μs zur Verfügung. In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse der Experimente vorgestellt, die im linearen Plasmaexperiment VINETA durchgeführt wurden. Es werden Messungen der zeitlichen Stromprofile des primären und des sekundären Stromes vorgestellt und deren Abhängigkeiten von den Entladungsparametern charakterisiert. Besonderes Augenmerk wird auf die Maximierung des resultierenden Stroms im Plasma gelegt.

P 13.8 Tue 16:30 Poster.III

Laser Induced Fluorescence measurements of wave phenomena in the VINETA experiment. — ●DAMIAN NIEMCZYK¹, OLAF GRULKE¹, and THOMAS KLINGER^{1,2} — ¹Max-Planck-Institute for Plasma Physics, EURATOM Association, Greifswald — ²Ernst-Moritz-Arndt University, Greifswald

Laser induced fluorescence (LIF) provides a non-intrusive diagnostic method to determine the ion energy distribution function (IEDF) and its perturbations by electromagnetic fields of, e.g., wave phenomena. Temporal changes in the IEDF yield information about the wave's electric field. This method is demonstrated in the experiment VINETA for electrostatic and electromagnetic waves. The used LIF scheme consists of a diode laser with a center wavelength of 668.61 nm, a tuning range of 30 pm, and CW operation power of 40 mW. Temporal resolution can be achieved by using either a digital lock-in-amplifier or a transient recorder built on a digital acquisition card. Further discrimination of the induced fluorescence signal with respect to the phase of the wave, can be achieved if the chopping of the laser signal is done with a frequency much higher than the wave's frequency. Inversion of the Vlasov equation then yields the wave's electric field.

P 13.9 Tue 16:30 Poster.III

Plasmabehandlung bei Atmosphärendruck zur Reduktion von Silbersulfid für die Restaurierung historischer Stickereien — PHILIPP STEINKE, ●BENJAMIN GRAFFEL und FRANK-HOLM RÖGNER — Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik, Dresden

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Auswirkungen einer Plasmabehandlung auf Seide-Silber kombinierte Objekte, wie sie in Form von historischen Silberstickereien und -webereien vorkommen, durchgeführt. Es wurde die Wirkung eines dielektrisch behinderten Entladungsplasmas bei Atmosphärendruck mit H₂ als Reaktivgasbeimischung auf eine Ag₂S-Schicht untersucht. Die Einwirkung sollte thermisch, chemisch und mechanisch möglichst schonend erfolgen. Zunächst wurde ein Referenzsystem hergestellt, welches ähnliche chemische und physikalische Eigenschaften wie das Original aufweist. Dafür wurden Silberrenden in einer temperierten K₂S_x-Lösung mit einer Ag₂S-Schicht versehen. Am Referenzsystem konnte gezeigt werden, dass die Plasmabehandlung zu den gewünschten Reduzierungsergebnissen führt, wobei die thermische Belastung gering gehalten werden kann. Eine Anwendung auf historische Objekte stellte sich jedoch als anspruchsvoller dar. Eine über einen sehr langen Zeitraum und unter atmosphärischen Einflüssen gewachsene Ag₂S-Schicht ist schwieri-

ger zu reduzieren als eine nasschemisch und im Vergleich dazu relativ schnell gewachsene Schicht. Die Ergebnisse der historischen Proben zeigen eine Reduktion, für die jedoch eine intensivere Einwirkung erforderlich ist.

P 13.10 Tue 16:30 Poster.III

Investigation of laterally self-organised structures in DBD using triple correlation functions — ROBERT WILD and ●LARS STOLLENWERK — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald, Felix-Hausdorff Str. 6, 17489 Greifswald

The diffuse mode of a dielectric barrier discharge shows under certain conditions ($p \approx 200$ hPa, $f \approx 10 \dots 200$ kHz, $d < 1$ mm) deviations in the lateral homogeneity of the light emission density. The formation of self-organised structures may then be favoured. In this contribution the transition from a hexagonally patterned discharge to a random distribution of filaments during a voltage reduction is observed and investigated. The patterns are examined by the 2D Fourier transformation as well as with triple correlation functions. Following this, a further quantity is introduced that corresponds to the quality of the pattern. It is shown that this quantity bifurcates supercritically during the transition of the two structures. It is furthermore shown that the bifurcation voltage of the angular order does not coincide with the bifurcation voltage of the radial order. The latter generally occurs at a lower voltage.

This work has been funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft, SFB-TRR 24, B14.

P 13.11 Tue 16:30 Poster.III

Simulation study of capacitive hydrogen discharges using asymmetric voltage waveforms — ●SEBASTIAN MOHR, EDMUND SCHÜNGEL, JULIAN SCHULZE, and UWE CZARNETZKI — Ruhr-Universität Bochum

Capacitive RF-discharges are commonly used for surface treatments like the deposition of thin films. For industrial applications, the independent control of the ion flux to and the mean energy of the ions impinging on the surfaces is desired. Experiments [1] and 1D3v-PIC/MCC-simulations [2] have shown, that this independent control is possible by applying a fundamental frequency and its second harmonic to the powered electrode. This way, even in geometrically symmetric discharges, as they are often used in industrial reactors, a discharge asymmetry can be induced electrically, hence the name Electrical Asymmetry Effect (EAE). The asymmetry and, therefore, the ion energy can be controlled by the phase between the two frequencies. Many industrial processes require gas mixtures containing hydrogen, e.g. hydrogen-silane discharges to deposit silicon films. We simulate electrically asymmetric discharges containing hydrogen using the Hybrid Plasma Equipment Model (HPEM) [3]. First results are presented and unique effects such as field reversals, which may occur in hydrogen discharges, are discussed. Funding by the German Ministry for the Environment (0325210B)

[1] J. Schulze *J. Phys. D* **42** 092005

[2] Z. Donkó *J. Phys. D* **42** 025205

[3] M. Kushner *J. Phys. D* **42** 194013

P 13.12 Tue 16:30 Poster.III

A parallel 2D multigrid method for GPUs — ●CHRISTIAN SCHILLING, DENIS EREMIN, RALF PETER BRINKMANN, and THOMAS MUSSENBRÖCK — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

While Poisson's equation in one dimension can be efficiently solved using the TDMA method, finding a solution for two dimensional problems requires significant computational effort. One widely used approach to solve large multidimensional systems is the iterative multigrid method of which many CPU based implementations are available. The method mainly consists of lots of interpolation operations which are intrinsically parallel and therefore is potentially a good candidate to execute on a GPU. We will show a variant of multigrid that can run on GPUs and is significantly faster than currently available CPU based implementations.

The authors gratefully acknowledge the support by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) via collaborative research centre SFB-TR 87.

P 13.13 Tue 16:30 Poster.III

Time dependent density of metastable nitrogen molecules in barrier discharges — ●SEBASTIAN NEMSCHOKMICHAL and JÜRGEN MEICHSNER — Institute of Physics, University of Greifswald

Barrier discharges at atmospheric pressure are typically filamentary, but under certain conditions a diffuse mode exists, e.g. in pure nitrogen. One reason for the diffuse mode might be the existence of metastables, which can release electrons in the volume or at surfaces by Penning-processes. For a better understanding of the interaction between plasma particles and surfaces a new discharge configuration has been developed with a BSO crystal and a glass plate as dielectrics (1 mm gap width) to investigate the density of metastables together with surface charges and discharge development.

This contribution focuses on the behaviour of the metastable $A^3\Sigma_u^+, v = 0$ state of the nitrogen molecule, whose density has been measured by laser induced fluorescence spectroscopy (LIF). The absolute calibration has been done by the comparison with Rayleigh scattering. Typical densities are about $3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ at 500 mbar in the filamentary mode in pure nitrogen. By focussing and triggering the laser with the driving voltage it was possible to determine the density of metastables phase resolved each 0.2 mm in front of the dielectrics. The measurements show a larger density in front of the anode. Furthermore, the maximum of the density has a delay of several microseconds with respect to the appearance of microdischarges.

P 13.14 Tue 16:30 Poster.III

Magnetic Field and Current Profile Diagnostics for the VINETA II Magnetic Reconnection Experiment — ●HANNES BOHLIN¹, OLAF GRULKE¹, and THOMAS KLINGER^{1,2} — ¹MPI for Plasma Physics, EURATOM Association, Greifswald — ²Ernst-Moritz-Arndt University, Greifswald

Magnetic reconnection is a topological rearrangement of magnetic fields through the breaking and reconnection of magnetic field lines. It plays an important role in many space plasmas, such as solar flares, as well as in some laboratory processes. Essential to the study of reconnection is the ability to characterize the magnetic field and the current density. Diagnostic tools for magnetic field and current measurements, as being used in the VINETA II (V.II) experiment, are presented. An array of induction coils will be used for determining the spatiotemporal evolution of the magnetic field, and hence parameters such as the reconnection rate and current density. Current profile measurements will be done using a small Rogowski coil that can be scanned through the entire plasma cross section using a high precision positioning system.

P 13.15 Tue 16:30 Poster.III

Eigendynamics of Plasma Filled Spherical Microwave Cavity — ●ALI ARSHADI, THOMAS MUSSENBRÖCK, and RALF PETER BRINKMANN — Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, 44780 Bochum

To fully understand and improve resonance based diagnostic techniques for technological plasmas, the knowledge of complex dynamical behavior of bounded plasmas is crucial. In order to find relations between spatially distributed plasma parameters and the resonance modes of the system, an analytical model is set up. The model is based on the cold plasma approximation coupled with the full set of Maxwell's equation. The reactor itself is assumed to be a plasma filled spherical cavity in order to allow for an analytical treatment of the model. In this contribution the eigenvalues and eigenmodes of the system are calculated and their dependence on the plasma parameters is discussed.

Acknowledgment: Financial support by the Ruhr-University Bochum Research School is gratefully acknowledged.

P 13.16 Tue 16:30 Poster.III

Ein Analytisches Randschichtmodell für RF-modulierte CCPs — ●HOMAYOUN HATEFINIA, MOHAMMED SHIHAB, ABD ELFATTAH ELGENDY und RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik- Ruhr-Universität Bochum

Hochfrequenz-modulierte Plasmen spielen in den Materialverarbeitungstechnologien eine zentrale Rolle. Bei den Wechselwirkungen zwischen Plasma und der zu verarbeitenden Oberfläche übernimmt die Ionendynamik die Hauptrolle. Viele Plasma-Prozesse werden beispielsweise in PIC simuliert. Simulationen haben den Vorteil, verlässlich zu sein. Auf der anderen Seite sind sie sehr zeit- und kostenaufwendig. Auch zahlreiche analytische Methoden zur Beschreibung der Plasma-Vorgänge sind bereits entwickelt worden. Diese sind in der Regel mathematisch sehr komplex. Sie sind deshalb nur bedingt brauchbar. Dieser Beitrag handelt von einem einfachen analytischen Randschichtmodell. In Abhängigkeit von den externen Kontrollparametern wie Gesamtstrom, Gasdruck, Elektronentemperatur, Betriebsfrequenz und der Plasma-Dichte erzeugt das Modell das räumlich aufgelöste

Potential, sowie das elektrische Feld, aber auch die Funktionen der Ionen- und Elektronendichte als algebraische Ausdrücke. Die Ladungsspannungscharakteristik der Randschicht wird anhand der gewonnenen Ergebnisse hergeleitet, was es erlaubt, die Randschicht als ein nicht-lineares Schaltungselement mit konzentrierten Parametern in die Berechnungen der Heizungsprozesse im Bulk, wie selbsterregte Plasmaserienresonanzen miteinzubeziehen.

P 13.17 Tue 16:30 Poster.III

Symmetry breaking in high power pulsed magnetron sputtering (HPPMS) discharges - a phenomenological model — ●SARA GALLIAN¹, DENIS EREMIN¹, DANIEL SZEREMLEY¹, THOMAS MUSSENBRÖCK¹, RALF PETER BRINKMANN¹, ANTE HECIMOVIC², TERESA DE LOS ARCOS², VOLKER SCHULZ-VON DER GATHEN², MARC BÖKE², JÖRG WINTER², and WILLIAM N. G. HITCHON³ — ¹Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum — ²Lehrstuhl für Experimentalphysik II, Ruhr-Universität Bochum — ³Department of Electrical and Computer Engineering, University of Wisconsin-Madison

High power pulsed magnetron sputtering (HPPMS) is a recently developed IPVD (ionized physical vapor deposition) technique. In contrast to DC magnetrons, HPPMS discharges are operated with pulsed power sources, characterized by peak power densities of several kW, pulse durations of a few hundred microseconds, and repetition rates of a ten Hertz. Recently, it was found experimentally that HPPMS discharges exhibit pronounced spatio-temporal behavior, notably an instability which breaks the axial system of the setup. In this contribution we present a phenomenological model of that phenomenon, cast as a system of nonlinearly coupled partial differential equations for the plasma density n_e and the neutral gas density n_N . Analytical solutions for the model are presented and a comparison with experimental data is given. The authors acknowledge funding by the Deutsche Forschungsgemeinschaft within the frame of SFB-TR 87.

P 13.18 Tue 16:30 Poster.III

Simulation and measurements of an inductively coupled hydrogen plasma for sterilization processes — ●MAX ENGELHARDT¹, BENJAMIN DENIS¹, TIM STYRNOLL¹, NIKITA BIBINOV¹, THOMAS MUSSENBRÖCK², and PETER AWAKOWICZ¹ — ¹Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik, Ruhr-Universität Bochum — ²Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

Usability of plasmas for sterilization of medical devices is numerously investigated [1]. Especially sterilization of heat-sensitive materials is an advantage of plasma based sterilization. In order to generate a broad VUV spectrum, a hydrogen discharge can be used. Aim of this work is to simulate a hydrogen discharge in a double inductively coupled plasma (DICP) reactor. The simulation computes density distributions and surface fluxes of species in the discharge. This gives insight in not only the quantity of produced radiation, but also allows a calculation of heat flux onto the sterilized object. The simulation is done with the Hybrid Plasma Equipment Model (HPEM) [2]. The results of the simulation are verified with experimental data measured with a Langmuir probe system [3], which can record spatially resolved electron density and electron temperature. Additionally, measurements with optical emission spectroscopy are done and compared to corona model calculations from the simulation. [1] H Halfmann et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 40 (2007) 4145-4154 [2] M Kushner, J. Phys. D: Appl. Phys. 42 (2009) 194013 [3] P Scheubert et al., 2001, J. Appl. Phys. 90 587

P 13.19 Tue 16:30 Poster.III

Spektral-kinetische Simulation der Multipolresonanzsonde — ●WLADISLAW DOBRYGIN, DANIEL SZEREMLEY, JENS OBERRATH, DENIS EREMIN, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

Die Multipolresonanzsonde (Multipole Resonance Probe = MRP) ist eine vielversprechende Umsetzung der aktiven Plasmaresonanzspektroskopie. Messungen mit der MRP zeigen, dass kinetische Effekte im Druckbereich von einigen Pascal und geringer eine wichtige Rolle spielen [1]. Um diese Effekte zu erklären kann eine spektral-kinetische Simulation, die in diesem Beitrag vorgestellt wird, verwendet werden. Diese Simulation ist vorerst aus einem Poisson-Solver und einem Teilchen-Pusher aufgebaut. Aufgrund der kugelförmigen Geometrie der idealisierten MRP und der Annahme einer Punktladungsverteilung kann die Poisson-Gleichung durch eine Entwicklung in Kugelflächen-

funktionen im gesamten Simulationsgebiet analytisch gelöst werden. Mit Hilfe des analytisch berechneten Potentials ergibt sich der Vorteil einer Grid-unabhängigen Berechnung der Kraft auf jedes Teilchen. Mit der Kraft wird die Geschwindigkeit dieser Teilchen über die Bewegungsgleichung in Kugelkoordinaten ermittelt. Der Abschluss eines Rechenzyklus bildet die Bestimmung der Teilchenpositionen aus den Geschwindigkeiten. Damit ist eine stoßfreie kinetische Simulation der MRP möglich, die mit Messungen verglichen werden soll. [1] T. Styrnoll et al., Bulletin of the APS Vol. 53, No.7, DTP 176 (2010)

P 13.20 Tue 16:30 Poster.III

Experimental study of capacitive discharges used for thin film deposition driven by asymmetric voltage waveforms

— ●EDMUND SCHÜNGEL, SEBASTIAN MOHR, JULIAN SCHULZE, and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum

The application of a voltage waveform consisting of two consecutive harmonics is a promising method for controlling the symmetry of capacitively coupled radio frequency (CCRF) discharges. The key parameter is the phase angle between the two driving frequencies. By changing the phase angle, the sheath widths and voltages as well as the mean ion energies at the electrode surfaces can be varied, while the plasma density and ion flux are kept constant. After detailed fundamental investigations of the Electrical Asymmetry Effect (EAE) in argon [1], its effectiveness has also been proven in electronegative [2] plasmas. Here, we show an experimental study of the EAE in the regime of CCRF discharges typically used for silicon thin film deposition purposes, e.g. in solar cell manufacturing. First results in hydrogen and hydrogen-silane gas mixtures at total gas pressures of several hundred Pascal will be discussed.

Funding by the German Federal Ministry for the Environment (0325210B) is gratefully acknowledged. [1] U. Czarnetzki et al. Plasma Sources Sci. Technol. 20 (2011) 024010 [2] J. Schulze et al. Plasma Sources Sci. Technol. 20 (2011) 045008

P 13.21 Tue 16:30 Poster.III

Mikroplasma unterstützte Metamaterialien — ●JAN TRIESCHMANN und THOMAS MUSSENBRÖCK — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum

Im Bereich der Hochfrequenztechnik und Photonik sind künstlich strukturierte Materialien, sog. Metamaterialien, wegen ihrer außerordentlichen elektromagnetischen Eigenschaften ein sehr spannendes Forschungsfeld mit interessanten Anwendungen. In photonischen Kristallen mit (üblicherweise dielektrischen) periodischen Strukturen auf Skala der Wellenlänge erlauben elektromagnetische Bandlücken, die Wellenausbreitung in bestimmten Bereichen zu unterdrücken. Weiterhin ermöglichen gezielt eingebrachte Defektstellen Wellenleitereigenschaften. In dieser Arbeit wird der Einfluss von Mikroplasmen auf die photonische Struktur mittels FDTD Simulationen und nachfolgender Fourieranalyse untersucht. Mikroplasmen innerhalb der Kristallstruktur ermöglichen es, die Ausbreitungseigenschaften von Wellen signifikant zu verändern und sogar die Wellenausbreitung dynamisch zu unterbinden. Durch Simulationen wird die entsprechende Wechselwirkung der elektromagnetischen Wellen mit Mikroplasmen weiter charakterisiert und verifiziert.

P 13.22 Tue 16:30 Poster.III

Numerische Simulation von industriellen DC-Magnetron-Sputteranlagen — ●SVEN DIRKMANN, DANIEL SZEREMLEY, TORBEN HEMKE, RALF PETER BRINKMANN und THOMAS MUSSENBRÖCK — Lehrstuhl Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität-Bochum

Die DC-Magnetronentladung stellt seit vielen Jahren eines der wichtigsten Werkzeuge der Beschichtungsindustrie dar. Der Vorteil gegenüber alternativen Konzepten liegt in der hohen Beschichtungsrate von Metallen und Oxiden begründet.

Die hohe Beschichtungsrate ist indirekt das Ergebnis des hohen Ionisationsgrades und dem damit verbündenden effizienten Sputtern. Obwohl DC-Magnetronentladungen schon lange etabliert sind, ist die experimentelle Charakterisierung des Plasmas und der während der reaktiven Sputterphase an der Targetoberfläche stattfindenden Prozesse nur sehr eingeschränkt möglich.

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der numerischen Fluid-Simulation einer industriellen DC-Magnetron-Sputteranlage mit dem Ziel, den Sputterprozess in geeigneter Weise in den einzelnen Phasen zu beschreiben.

P 13.23 Tue 16:30 Poster.III

Particle-In-Cell Simulation magnetisierter Hochfrequenzplasmen — ●JAN TRIESCHMANN, SARA GALLIAN, DENIS EREMIN, RALF PETER BRINKMANN und THOMAS MUSSENBRÖCK — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum

Kapazitive Hochfrequenzplasmen spielen im Zusammenhang mit Plasmaätzen, Deposition und Oberflächenmodifikation im Allgemeinen eine wichtige Rolle. Die Plasmen, die häufig als Mehrfrequenzplasmen ausgelegt sind, werden typischerweise bei Gasdrücken im Pascal- und sogar im Sub-Pascal-Bereich betrieben. Um trotz der sehr niedrigen Gasdrücke hohe Plasmadichten zu gewährleisten, werden statische Magnetfelder eingesetzt. Diese haben implizit auch Einfluss auf die Ionenenergieverteilungsfunktionen (IEDFs) und die Möglichkeiten ihrer Einstellung. Auf der Basis von selbstkonsistenten kinetischen Simulationen beschäftigt sich der Beitrag mit der Frage, inwieweit es möglich ist, die IEDF bei magnetisch unterstützten Hochfrequenzplasmen einzustellen und bestimmten Anforderungen anzupassen.

Diese Arbeit wird im Rahmen des SFB-TR 87 durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert.

P 13.24 Tue 16:30 Poster.III

Numerische Simulation des Bounce-Resonanz-Effekts in kapazitiven Hochfrequenzplasmen — ●SEBASTIAN WILCZEK, JAN TRIESCHMANN, DENIS EREMIN und THOMAS MUSSENBRÖCK — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum

Kapazitive Hochfrequenzplasmen werden zur Oberflächenmodifikation häufig bei extrem niedrigen Gasdrücken betrieben. Die Gasdrücke liegen nicht selten im Bereich zwischen 1 und 5 Pa, wo die Heizung der Elektronen nicht mehr durch Stöße mit den Atomen des neutralen Hintergrundgases (Ohmsche Heizung), sondern durch die stochastische Heizung getragen wird. Hierbei kommt es zum Impulsübertrag von der oszillierenden Randschicht auf die Elektronen. Die jetzt energetischen Elektronen bewegen sich nahezu stoßfrei durch die Entladung und treten mit der Randschicht vor der gegenüberliegenden Elektrode in Wechselwirkung. Für eine bestimmte Kombination von Oszillationsfrequenz der Randschichten und Elektrodenabstand kommt es nun erneut zu einem Impulsübertrag von der Randschicht auf die Elektronen. Die Elektronen gewinnen erneut Energie und bewegen sich zurück. Dieser Effekt, der als Bounce-Resonanz-Effekt bezeichnet wird, wird mittels selbstkonsistenter kinetischer Simulation des Bounce-Resonanz-Effektes beschrieben. Der Beitrag diskutiert den Zusammenhang zwischen Plasmaparametern und dem resonanten Elektrodenabstand.

Diese Arbeit wird im Rahmen des SFB-TR 87 durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert.

P 13.25 Tue 16:30 Poster.III

Time dependent charge-voltage characteristic for RF modulated sheath — ●MOHAMMED SHIHAB¹, ABD ELFATTAH ELGENDY¹, IHOR KOROLOV², ARANKA DERZSI², JULIAN SCHULZE³, DENIS EREMIN¹, ZOLTAN DONKO², THOMAS MUSSENBRÖCK¹, and RALF PETER BRINKMANN¹ — ¹Ruhr-University Bochum, Institute for Theoretical Electrical Engineering, D-44780 Bochum, Germany — ²Research Institute for Solid State Physics and Optics, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary — ³Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, Germany

Low pressure capacitively coupled plasmas are widely used in plasma processing and microelectronics industry. Understanding the dynamics of the boundary sheath is a fundamental problem. In this contribution, we investigate the nonlinear dynamics of modulated RF plasma boundary sheath employing a self-consistent kinetic boundary sheath model termed "Ensemble In Spacetime", Particle In Cell (PIC) model, and an analytical model. Asymmetric sheath dynamics is observed for the intermediate RF regime, i.e., when the ion transit time is of the order of the RF period. The ion inertia causes an additional phase difference between the expansion and the contraction phase of the plasma sheath leading to a hysteresis relation for the charge-voltage characteristics. The financial support from the Federal Ministry of Education and Research within the frame of the project "Plasma Technology Grid" and the support of the DFG via the SFB TRR87 is gratefully acknowledged.

P 13.26 Tue 16:30 Poster.III

Dichte metastabiler Argon-Atome in Niederdruck-N₂-Ar-Bogenentladungen — ●DAVID ERTLE¹, ROLAND FRIEDL^{1,2} und URSSEL FANTZ^{1,2} — ¹Lehrstuhl für Experimentelle Plasmaphysik, Universität Augsburg, Universitätsstraße 1, 86135 Augsburg — ²Max-Planck-

Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Boltzmannstraße 2, 85748 Garching

Die Strahlungscharakteristik molekularer Stickstoffs in Niederdruck-Bogenentladungen im mbar-Bereich unter Verwendung von Argon als Hintergrundgas hängt entscheidend von der Konzentration metastabiler Argon-Atome im Plasma ab. Grund hierfür ist die Anregung der Emission des zweiten positiven Systems von N_2 durch Ar-Metastabile im untersuchten Druckbereich von 0,3 mbar bis einige mbar. In einer zylindrischen Entladungsröhre (Elektrodenabstand 280 mm, Durchmesser 26 mm, Betriebsfrequenz 20 kHz) werden N_2 -Ar-Bogenentladungen für Anteile von N_2 in Ar von 0% bis 90% auf die Dichte der Ar-Metastabilen hin untersucht. Die experimentelle Dichtebestimmung wird mittels Weißlicht-Absorptionsspektroskopie entlang eines axialen Sichtstrahls durchgeführt. Es erfolgt eine vergleichende Diskussion experimenteller Resultate mit anhand eines Stoß-Strahlungs-Modells berechneten Werten, um relevante An- und Abregungskanäle zu identifizieren.

P 13.27 Tue 16:30 Poster.III

Numerische Simulation von kapazitiven Mehrfrequenzentladungen für Sputter-Anwendungen — •DANIEL SZEREMLEY¹, STEFAN BIENHOLZ², PETER AWAKOWICZ², RALF PETER BRINKMANN¹ und THOMAS MUSSENBRÖCK¹ — ¹Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik Ruhr-Universität Bochum — ²Lehrstuhl für allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik Ruhr-Universität Bochum

Auf Grund ihrer besonderen Eigenschaften sind kapazitive Mehrfrequenzentladungen ein wichtiges Werkzeug für die Beschichtungstechnik. Insbesondere die Möglichkeit, die Ionenenergieverteilungsfunktion über einen großen Bereich nahezu frei einstellen zu können macht diese Entladungen zu einem vielversprechenden Kandidaten zur Abscheidung nanostrukturierter Funktionsschichten. In kleineren Laboranlagen konnte effizientes Sputtern gezeigt werden. Eine Hochskalierung bzgl. Größe, Frequenz und Leistung, sowie das Erreichen einer Sputterausbeute vergleichbar mit der von Magnetron-Sputterquellen wirft allerdings Fragen auf, die nur mittels adäquater Experimente und angepasster Simulationen beantwortet werden können.

In diesem Beitrag werden erste numerische Simulationsergebnisse präsentiert, die mittels eines selbstkonsistenten Hybrid-Codes berechnet wurden. Im Mittelpunkt steht dabei die Ionenenergieverteilungsfunktion, die mittels des elektrischen Asymmetrieffektes eingestellt werden kann. Die numerischen Ergebnisse werden schließlich mit experimentellen Daten verifiziert.

P 13.28 Tue 16:30 Poster.III

Auf dem Weg zum Verständnis von Plasma-Plasma Wechselwirkung: ein einfaches Modell eines Mikroplasmas — •ALEXANDER WOLLNY, TORBEN HEMKE, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

Eine neue Atmosphärendruck-Plasma-Quelle stellen die von J. Gary Eden entwickelten Micro Cavity Plasma Arrays (MCPA) dar. Diese in einer Matrix angeordneten Hohlkathodenentladungen haben eine Strukturgröße von einigen 10 μm . Ein Siliziumsubstrat mit Vertiefungen bildet eine Elektrode - die Gegenelektrode ist in ein Dielektrikum, das das Substrat bedeckt, eingebettet. Bei einer Anregung mit einer Frequenz im Bereich von 100 kHz zeigen sich in Abhängigkeit von Druck und Geometrie verschieden Wechselwirkungen mit unterschiedlichen Charakteristiken. Um einen Einblick in die Wechselwirkungen

zwischen einzelnen Mikroplasmen untereinander in diesem messtechnisch schwer zugänglichen System zu erhalten, wurden Simulationen des Arrays durchgeführt. Die gewonnenen Ergebnisse werden hier vorgestellt.

Diese Arbeit wird im Rahmen der Forschergruppe 1123 *Physics of Microplasmas* von der DFG unterstützt.

P 13.29 Tue 16:30 Poster.III

Ein räumlich aufgelöstes Modell für die Plasmaserienresonanzen in Niederdruckplasmen — •SCHABNAM NAGGARY, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

HF-Ströme weisen eine komplizierte Elektronendynamik auf, welche als Plasmaserienresonanz bezeichnet wird. Diese wird selbst erregte hervorgerufen durch die Zusammenschaltung aus einem nicht-linearen Plasmarandschichtmodell und einem linearen Plasmabulkmodell. Bei asymmetrischen kapazitiv gekoppelten RF-Entladungen tritt dieser Effekt verstärkt auf. Durch die räumliche Ausdehnung des Plasmas hat der HF-Strom eine komplexe multimodalen Struktur. Diese führt zu einer hohen Anzahl von Plasmaserienresonanzen. Um die Beeinflussung der Energieeinkopplung in das Plasma durch die selbsterregte Plasmaserienresonanz zu verstehen, ist eine Analyse des HF-Stromes notwendig. Zur möglichst genauen Rekonstruktion des HF-Stromes wird in diesem Beitrag ein Multimodenmodell für das Plasmabulk entwickelt, welches mit zahlreichen Mikrorandschichtmodellen in Reihe zusammengeschaltet ist. Der rekonstruierte HF-Strom für einen kugelsymmetrischen Plasmareaktor und eine homogene Dichteverteilung der Elektronen weist mit steigender Modenzahl eine deutlich komplexere Struktur auf. Die berechneten Ergebnisse werden mit gemessenen Daten verglichen.

P 13.30 Tue 16:30 Poster.III

Globale Modelle für den Doppel-ICP-Plasma-Jet — •ALI ARSHADI¹, DENIS EREMIN¹, THOMAS MUSSENBRÖCK¹, RALF PETER BRINKMANN¹, PETER AWAKOWICZ², HORIA-EUGEN PORTEANU³, ROLAND GESCHE³ und KLAUS WANDEL⁴ — ¹Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum — ²Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik, Ruhr-Universität Bochum — ³Ferdinand-Braun-Institut, Berlin — ⁴SENTECH Instruments GmbH, Berlin

Für viele technische Anwendungen bilden mikrowellenbetriebene Plasmajets eine mögliche Alternative zu konventionellen großvolumigen Hochfrequenzreaktoren. Zu ihren vorteilhaften Eigenschaften gehören die geringen Abmessungen und ein hoher elektrischer Wirkungsgrad. Der Doppel-ICP-Plasma-Jet ist eine kürzlich entwickelte Variante, bei dem die Einkopplung der Feldenergie im Wesentlichen induktiv erfolgt. Kernstück des Jets ist ein auf einer Grundfrequenz von etwa 2 GHz schwingender Hohlraumresonator, der in guter Näherung als eine Parallelschaltung zweier zylindrischer Spulen (der Windungszahl eins) mit einem flachen Plattenkondensator aufgefasst werden kann. Durch das Innere der "Spulen" führen jeweils gasdurchströmte Keramikröhrchen, in denen das Plasma brennt. Der Beitrag stellt zwei einfache globale Modelle der Konfiguration vor. Ein "Zündmodell" setzt das Vorliegen des ungestörten Vakuumfeldes voraus und erlaubt eine Untersuchung der Zündbedingungen. Ein komplementäres "Betriebsmodell" basiert auf einer approximativen Darstellung des durch das Plasma veränderten Feldes und beschreibt das Verhalten des Jets im stationären Betrieb. Für beide Modelle wird ein Vergleich mit numerischen Simulationen sowie mit vorliegenden experimentellen Daten durchgeführt.

P 14: Poster: Plasmatechnologie

Time: Wednesday 16:30–19:00

Location: Poster.III

P 14.1 Wed 16:30 Poster.III

Variation of the cluster size distribution with target aging measured in planar DC magnetron sputtering source — •MARINA GANEVA¹, ANDREI V. PIPA², and RAINER HIPPLER¹ — ¹Institute of Physics, University Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 6, 17487 Greifswald, Germany — ²Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V., Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald, Germany

Magnetically confined magnetron discharges are frequently used as a source of nanoparticles [1,2]. Most applications require a stable cluster

beam with a well-defined size distribution. The peculiarity of the planar magnetron operation is a non-uniform (V-shaped) target erosion due to the sputtering by ions from the plasma. Normally the target is replaced when the depth of the erosion groove reaches the target thickness. Our systematic investigations show that the cluster size distribution and intensity changes continuously during the target lifetime. For reproducible measurements target erosion has to be taken into account. The cluster ion intensity abruptly drops to zero, once a critical point is reached. This happens long before the end of the target's lifetime is reached. We interpret this behavior as being caused

by the changing angle of ion incidence as function of the erosion time [3].

[1] S.R. Bhattacharyya et. al., J. Phys. D: Appl. Phys. 42 (2009) 035306

[2] I. Shyjumon et. al., Eur. Phys. J. D 37, (2006), p. 409

[3] M. Ganeva, R. Hippler (2011) Verhandl. DPG(VI) 46, 4, p. 45.

P 14.2 Wed 16:30 Poster.III

Untersuchung zur Abscheidung von Siliziumoxid- und Zinkoxidschichten mittels MW-PECVD — ●STEFAN MERLI, MORITZ SCHOLZE, ANDREAS SCHULZ, MATTHIAS WALKER und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaforschung, Pfaffenwaldring 31, 70569 Stuttgart, Deutschland

Die Abscheidung optisch transparenter Schichten mittels plasmagestützter Gasphasenabscheidung (PECVD) ist von besonderem Interesse in vielen Anwendungsgebieten, wie zum Beispiel in der Optik oder der Automobilindustrie. Neben der guten Reproduzierbarkeit der optischen Schichteigenschaften ist oft auch der Schutz des Substrates gegen Witterung, Korrosion, Abrasion und UV-Strahlung gefragt.

In diesem Beitrag werden Untersuchungen zur Hochoberflächenabscheidung von dünnen, transparenten Siliziumoxid- und Zinkoxidschichten mittels eines Mikrowellen-PECVD Verfahrens bei 2,45 GHz im Niederdruckbereich vorgestellt. Die Siliziumoxidschicht, welche aus einer Mischung aus Hexamethyldisiloxan (HMDSO) und Sauerstoff abgeschieden wird, dient hierbei vor allem als Abrasions- und Kratzschutz, während die Zinkoxidschicht, gewonnen aus Diethylzink und Sauerstoff, das Substrat vor UV-Strahlung schützen soll.

Das Abscheideverhalten sowie die optischen Eigenschaften beider Schichttypen werden bezüglich der Beschichtungsparameter untersucht und mithilfe von FTIR-Spektroskopie in Zusammenhang mit der chemischen Schichtzusammensetzung gebracht.

P 14.3 Wed 16:30 Poster.III

Maßgeschneiderte Ionen-Energie Verteilungsfunktionen online berechnen für Jedermann — ●MARTIN PREDKI, MOHAMMED SHIHAB, ALEXANDER WOLLNY, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

Plasmaprozesse, insbesondere Plasmaätz- und Plasmaabscheideprozesse sind die Grundlage für eine Vielzahl von industriellen Fertigungsprozessen. In diesen Prozessen spielt die Kenntnis der Energieverteilung der Ionen eine entscheidende Rolle: diese entscheidet maßgeblich über die Qualität der Prozesse und damit über die Wirtschaftlichkeit. Allerdings ist eine Messung der Verteilungsfunktionen schwierig und in industriellen Prozessen in-situ unmöglich. Eine Alternative dazu bieten Modelle.

Mit diesem Beitrag wird ein selbstkonsistentes Modell vorgestellt, dass online für Interessierte bereit steht. Die Simulation der Ionen-Verteilungsfunktion wird über eine Weboberfläche, welche unter *sheath.tet.rub.de* zugänglich ist, gestartet. Die Verteilungsfunktion wird nach erfolgreicher Simulation im Browser angezeigt.

Diese Arbeit wird im Rahmen der D-Grid-Initiative des BMBF im Rahmen des PT-Grid-Projekts unterstützt.

P 14.4 Wed 16:30 Poster.III

Spektroskopische Charakterisierung eines Mikrowellen-Mikroplasmabrenners für die lokale Oberflächenbehandlung — ●INGRID WEINRAUCH, MARTINA LEINS, ANDREAS SCHULZ, MATTHIAS WALKER und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 31, 70569 Stuttgart

Die vielseitige Verwendbarkeit von kalten Plasmen in der Medizin und in der industriellen Anwendung treibt die Forschung an, diese Systeme ständig weiter zu entwickeln. Am Institut für Plasmaforschung der Universität Stuttgart wurde ein Mikrowellen-Mikroplasmabrenner konzipiert, der unter Atmosphärendruck bei einer Magnetronleistung von ca. 10 W ohne Zündhilfe zündet.

Das System beruht auf einem $\frac{\lambda}{4}$ -Koaxialresonator, dessen Innenleiter galvanisch mit dem Innenleiter der koaxialen Speiseleitung verbunden ist. Die Entwicklung erfolgte mithilfe der Simulationssoftware CST Microwave StudioTM, mit der die elektrische Feldverteilung der Brennergeometrie berechnet wurde. Die geometrischen Parameter wurden variiert, um bei einer Frequenz von $f = 2,41$ GHz ein möglichst hohes elektrisches Feld an der Spitze des Innenleiters zu erzeugen.

Die Vermessung des Mikrowellen-Mikroplasmabrenners mit Hilfe eines Netzwerkanalysators gab eine sehr gute Übereinstimmung mit den simulierten Ergebnissen. Der Brenner wird mit Argon als Arbeitsgas betrieben, sodass an der Spitze des Innenleiters ein Nichtgleichgewichts-

plasma zündet. Präsentiert werden spektroskopische Untersuchungen, die durch Anwendung unterschiedlicher Methoden Aussagen über die Temperatur und Elektronendichte des Plasmas treffen.

P 14.5 Wed 16:30 Poster.III

Vergleichende Untersuchung zur Abscheidung quarzähnlicher Schichtsysteme aus Siloxanen in einem ECR-Plasma — ●SANDRA GAISER, ANDREAS SCHULZ, MATTHIAS WALKER und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 31, 70569 Stuttgart

Bei Kunststoffverpackungen für Lebensmittel oder Medikamente sind gute Barriereigenschaften gefragt. Um zu verhindern, dass eine Permeation von Gasen wie CO_2 , Sauerstoff oder Wasserdampf in eine Verpackung hinein oder aus ihr heraus stattfindet, können die Verpackungen mit einer plasmapolymersierten Barrierschicht versehen werden.

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Herstellung und Charakterisierung von Barrierschichten, die aus den Gasen HMDSO (Hexamethyldisiloxan) und OMCTS (Octamethylcyclotetrasiloxan) jeweils zusammen mit Sauerstoff auf einer Polyethylenterephthalat-Folie (PET) abgeschieden wurden. Die Herstellung der Schichten erfolgte in einem Elektron-Zyklotron-Resonanz-Plasma. Bei der Beschichtung wurden die Schichtdicke sowie das Mischungsverhältnis zwischen HMDSO bzw. OMCTS und Sauerstoff variiert.

Die Schichten wurden auf ihre Barriereigenschaften bzgl. Sauerstoffpermeation untersucht. Mithilfe der Infrarot-Absorptionsspektroskopie konnte die genaue Zusammensetzung der Schichten und mit einem Rasterelektronenmikroskop deren Morphologie untersucht werden.

P 14.6 Wed 16:30 Poster.III

Spektroskopische Temperaturbestimmung an einem atmosphärischen Mikrowellenplasma — ●MARTIN BAUER, MARTINA LEINS, ANDREAS SCHULZ, MATTHIAS WALKER und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 31, 70569 Stuttgart

Um eine verbesserte Anhaftung von z.B. Lacken oder Klebstoffen auf unterschiedlichen Oberflächen zu erzielen, unterzieht man das Material einer Oberflächenbehandlung. Bei einer Oberflächenbehandlung mit einem atmosphärischen Mikrowellenplasma an temperaturempfindlichen Materialien wie zum Beispiel Gummi oder teflonartige Kunststoffe ist die Kontrolle über die Gastemperatur von großer Bedeutung. Im Rahmen der vorgestellten Arbeit wird untersucht, inwieweit die Gastemperatur eines atmosphärischen Mikrowellenplasmas durch das Gasmanagement wie beispielsweise einer Vorkühlung des verwendeten Gases beeinflusst werden kann. Das untersuchte Mikrowellen-Plasmabrennersystem beruht auf einem Resonatorprinzip, ist selbstzündend und gewährleistet einen stabilen Betrieb des Plasmas. Das Plasma ist in ein Quarzglasrohr eingeschlossen und das zugeführte Gas wird durch eine tangentielle Anordnung der Einlässe in Rotation versetzt, was zu einer Stabilisierung des Plasmas beiträgt. Mithilfe optischer Emissionsspektroskopie wird das Plasma untersucht und die Gastemperatur bestimmt.

Erste Ergebnisse der spektroskopischen Untersuchung werden vorgestellt.

P 14.7 Wed 16:30 Poster.III

Mikrowellengestützte Abscheidung von dünnen amorphen Siliziumschichten aus einem Silan-Wasserstoff-Plasma — ●PATRIC BÜCHELE, JOCHEN KOPECKI, EVELYN RAMISCH, ANDREAS SCHULZ, MATTHIAS WALKER und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 31, 70569 Stuttgart

An dünne amorphe hydrogenisierte Siliziumschichten (a-Si:H) für photovoltaische Anwendungen werden in der Industrie hohe Ansprüche gestellt. Die intrinsischen Schichten übernehmen dabei die wichtigste Aufgabe in der Dünnschicht-Photovoltaik, da sie Licht absorbieren und daraus Strom produzieren. Durch großflächiges Abscheiden der intrinsischen amorphen Siliziumschichten mittels einem HF-PECVD Verfahren entstehen qualitative Mängel durch bspw. stehende Wellen auf den Kondensatorplatten. Diese Arbeit zeigt das große Potential einer Abscheidung mittels mikrowellengestütztem PECVD Verfahren bei einer hohen Depositionsrate. Als Plasmaquelle wird die Duo-Plasmaline verwendet, welches sich der Mikrowellenkopplung einer Frequenz von $f = 2,45$ GHz bedient. Die Charakterisierung der a-Si:H-Schichten erfolgt durch Photo- und Dunkelheitfähigkeitsmessungen, Defektbestimmung durch die Ermittlung der Aktivierungsenergie sowie der Transmissions- und Absorptionsuntersuchungen. Bei einer Schichtdicke

von 0,5 μm werden Photo-Dunkelleitfähigkeitsverhältnisse von $> 10^3$ erreicht mit einer Aktivierungsenergie bei der Hälfte des kubischen Bandenabstands.

P 14.8 Wed 16:30 Poster.III

Nonlinear dynamics of sheath voltage characteristics for arbitrary waveforms in capacitive discharges — ●ABD ELFATTAH ELGENDY, MOHAMMED SHIHAB, DENIS EREMIN, THOMAS MUSSEN-BROCK, and RALF PETER BRINKMANN — Institute for Theoretical Electrical Engineering, Ruhr University Bochum, Center for Plasma Science and Technology, D-44780 Bochum, Germany

The dynamics of capacitively coupled RF discharges (RF-CCPs) is controlled by the sheath voltage characteristics; this characteristic depends itself on the details of the RF modulation. We study this dependence on the basis of a collision-dominated fluid model affected by arbitrary waveforms. Comparison of collisional fluid model with a much more demanding particle-in-cell (PIC) simulation yield good agreement; the nonlinear sheath voltage characteristics at low computational effort are quite reliable and the tailoring of ion energy distribution functions by arbitrary waveforms are less effective in collision regime.

P 14.9 Wed 16:30 Poster.III

Plasma etch challenges for technological fabrication of silicon photonic components — ●HARALD RICHTER¹, MIRKO FRASCHKE¹, RENÉ EISERMANN¹, STEFFEN MARSCHMEYER¹, DAVID STOLAREK¹, KATRIN SCHULZ¹, LARS ZIMMERMANN^{1,2}, and BERND TILLACK^{1,2} — ¹IHP, Im Technologiepark 25, 15234 Frankfurt (Oder) — ²Technische Universität Berlin, HFT 4, Einsteinufer 25, 10623 Berlin

For more than ten years, there has been an increasing interest in silicon as a material for use in integrated optoelectronics. The idea of a compact integration of photonic and electronic components is based on the compatibility of silicon-on-insulator (SOI) photonics with highly integrated microelectronic technologies. The essential building block of every photonic circuit is a waveguide. The transport of light by a waveguide is one main reason for light intensity loss. The minimization of propagation loss is the main goal in waveguide fabrication process development. Silicon roughness, critical dimension stability and side wall slope angles determine the silicon waveguide quality essentially. Finally, all these waveguide characteristics will be influenced by plasma etching performance. The present work is focused on plasma etch process development and optimization for different passive silicon photonic components (rib waveguides, nanowires, ring resonators, coupling structures and photonic crystals). Different hard masks for the several etch processes were tested and optimized. Experiments have shown the mask opening step is significant for preparation of high-quality silicon photonic modules.

P 14.10 Wed 16:30 Poster.III

Optische Charakterisierung eines Mikrowellenplasmabrenners bei 915 MHz — ●JOCHEN KOPECKI, ANDREAS SCHULZ, MATTHIAS WALKER und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 31, 70569 Stuttgart

Für die Deposition dünner Siliziumschichten mittels Plasmaspritzen wurde ein mikrowellenbetriebener Atmosphärendruck-Plasmabrenner verwendet. Der Vorteil gegenüber konventionellen Plasmaquellen liegt in der elektrodlosen Energiezuführung der Mikrowelle, wodurch Verunreinigungen durch Elektrodenmaterial verhindert werden. Um den pulverförmigen Ausgangsstoff aufzuschmelzen und zu verdampfen, benötigt man eine Gastemperatur des Plasmas oberhalb des Siedepunktes des Materials. Diese wurde orts aufgelöst mittels optischer Emissionsspektroskopie aus der Dopplerverbreiterung der H_{α} -Atomlinie bestimmt. Aus der Starkverbreiterung der H_{β} -Linie wurde die Elektrodendichte ebenfalls orts aufgelöst ermittelt. Das Intensitätsverhältnis dieser beiden Linien liefert im pLTE zudem eine gute Abschätzung für die Elektronentemperatur, welche im Plasmakern nahe an der gemessenen Gastemperatur von ca. 7000 K liegt.

Neben der Charakterisierung des Plasmas wurde ein einfaches Modell verwendet, um den Verdampfungsvorgang einzelner Partikel zu berechnen. Der Energieübertrag aus dem Plasma auf die Partikel ist vorwiegend über deren Verweilzeit im Plasma bestimmt. Dies ermöglicht das Einstellen der Morphologie der abgeschiedenen Schichten, welche mittels REM untersucht wurde.

P 14.11 Wed 16:30 Poster.III

Cross-linking of polydimethylsiloxane thin films in hydrogen CCRF plasma — ●VLADIMIR DANILOV, HANS-ERICH WAGNER, and

JÜRGEN MEICHSNER — University of Greifswald, Institute of Physics, Felix-Hausdorff-Str. 6, 17487 Greifswald

The cross-linking of thin composite films from suspension of liquid polydimethylsiloxane (PDMS) and functional nanoparticles, e.g. Ag, TiO₂, in low pressure capacitively coupled RF plasma in hydrogen was investigated. This method exhibits high potential for developing of innovative coatings with antibacterial, anticorrosion or photocatalytic properties. The thin PDMS films were spin-coated on glass substrates covered by aluminium. Their thickness was varied between 10 nm and 600 nm. The plasma modification was performed in CCRF plasma in hydrogen. In this case the main factor affecting the film modification is the VUV radiation, which intensity was studied depending on the total pressure and RF power. The corresponding chemical modification of the thin PDMS films was investigated by FT-IRRAS under variation of the plasma treatment time and initial film thickness. Furthermore, the film shrinkage was determined by spectroscopic ellipsometry. By comparison of all results it was found that the plasma modified films consist of strongly compressed methyl-free SiO_x top layer (10-50 nm), followed by partially demethylated region with moderate film shrinkage, and an underlying weakly-modified PDMS layer.

Funded by the Volkswagen Foundation, Plasma Hybrid Coating, grant no. I/83275.

P 14.12 Wed 16:30 Poster.III

Plasma polymerized ethylenediamine: thin film characterization and long-time stability for adhesion of human osteoblastic cells — ●HOLGER TESTRICH¹, HENRIKE REBL², BIRGIT FINKE³, BARBARA NEBE², and JÜRGEN MEICHSNER¹ — ¹University of Greifswald, Institute of Physics, Felix-Hausdorff-Str. 6, 17487 Greifswald — ²University of Rostock, Centre of Medical Research, Schillingallee 69, 18057 Rostock — ³Leibniz Institute for Plasma Science and Technology, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17487 Greifswald

Low pressure capacitively coupled 13.56 MHz plasma in a mixture of argon and ethylenediamine was applied for deposition of plasma polymerized ethylenediamine (PPEDA) thin films (20-100 nm) on Ti-6Al-4V samples (diameter 11 mm, thickness 2 mm) relevant for endoprosthesis. The molecular structure and chemical composition of the thin PPEDA films were characterized by Infrared-spectroscopy (FT-IRRAS) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). The cell adhesive properties of PPEDA thin films were tested using human osteoblastic cells MG-63 (ATCC). The changes of the molecular structure and chemical composition of the PPEDA films were investigated simultaneously with cell adhesion tests in dependence on the storage time under ambient air over 360 days. Although the PPEDA thin films are altered significantly within the first 30 days after deposition due to reaction with oxygen, the surface of the PPEDA thin film remains its cell adhesive properties compared with the uncoated reference sample. Funded by BMBF collaborative research project "Campus PlasmaMed", grant no 13N9774.

P 14.13 Wed 16:30 Poster.III

Plasma-Technologie-Grid: Serviceplattform für Wissenschaft und Industrie — A. SPILLE-KOHOFF¹, F. SIGENEGGER², A. PFLUG³, R. P. BRINKMANN⁴, T. HARDER² und ●D. LOFFHAGEN² — ¹CFX Berlin Software GmbH, Karl-Marx-Allee 90 A, 10243 Berlin — ²INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald — ³Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik, Bienroder Weg 54e, 38108 Braunschweig — ⁴Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum

Im Rahmen des Projektes Plasma-Technologie-Grid (www.pt-grid.de) wurde auf der Basis der Infrastruktur des D-Grid-Verbundes (www.d-grid.de) eine Serviceinfrastruktur zur Simulation von plasmatechnologischen Anwendungen aufgebaut. In einem öffentlichen Portal (portal.inp-greifswald.de) wird der Zugriff auf diese Serviceinfrastruktur veranschaulicht. Hierzu wurden von den vier Teilprojekten des PT-Grid Demonstratoren zur Simulation von Schweiß- und Schneidprozessen mit ANSYS CFX, zur magnetohydrodynamischen Simulation von Plasmabrenneranwendungen zur Schichtabscheidung, zu PIC-MC-Simulationen von Niederdruck-Plasmaentladungen in Beschichtungsanlagen und zur selbstkonsistenten kinetischen Berechnung von Ionen- und Neutralteilchenverteilungsfunktionen hinter einer Plasmarandschicht entwickelt. Wesentliche Aspekte der Teilprojekte und des Portals werden präsentiert, und Optionen für einen Zugriff von Interessenten aus Wissenschaft und Industrie werden diskutiert.

Die Arbeiten werden vom BMBF unter den Förderkennzeichen 01IG09001A bis 01IG09001I gefördert.

P 14.14 Wed 16:30 Poster.III

Simulation of chemical processes for the deposition of SiO_xC_y and SiO_x films produced by means of atmospheric pressure microplasma jet — ●KATJA RÜGNER, RÜDIGER REUTER, DIRK ELLERWEG, TERESA DE LOS ARCOS, ACHIM VON KEUDELL, and JAN BENEDIKT — Ruhr-Universität Bochum

Atmospheric pressure microplasma jets exist in various designs and had proven to be able to deposit thin SiO_2 films from HMDSO ($(\text{CH}_3)_3\text{SiOSi}(\text{CH}_3)_3$) precursor. Through a modification of an already existing planar microplasma jet and the development of a fluid model of the gas flow and chemical kinetics we try to understand the HMDSO dissociation path in the plasma and in the effluent. To achieve that a quartz tube with variable length has been inserted between the electrodes to guide the gas. The residence time of reactive species in the effluent can be varied by changing the tube length. Using a mixture of He, HMDSO and O_2 thin organic SiO_xC_y and inorganic SiO_x films on silicon substrates has been produced. The dependence of deposition rates, deposition profiles and FTIR data has been used to validate the fluid model. Good agreement with the experimental results can be obtained by fitting the unknown reaction rates and surface reaction probabilities.

P 14.15 Wed 16:30 Poster.III

Teilchentransport und Schichtbildung mittels eines rf-angeregten Plasma-Jets — ●F. SIGENEGGER, J. SCHÄFER, R. FOEST, D. LOFFHAGEN und K.-D. WELTMANN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald

Ein rf-angeregter Plasma-Jet ist Gegenstand experimenteller und theoretischer Untersuchungen. Der Jet besteht aus zwei koaxial angeordneten Kapillaren, durch die Argon bzw. ein Gemisch aus Argon und einem Präkursor strömt. Die Plasmaerzeugung erfolgt mit Hilfe zylindrischer Elektroden, über die eine rf-Spannung bei einer Frequenz von 27.12 MHz eingespeist wird. Die Entladung arbeitet je nach Entladungsparametern in verschiedenen Entladungsmodi. Ein Fluidmodell beschreibt den Transport aktiver Teilchen aus dem aktiven Plasmavolumen in den Effluenten und zum Target. Dabei kommt ein vereinfachtes reaktionskinetisches Modell angeregter Spezies mit den Molekülen des Präkursors zum Einsatz. Mit Hilfe experimenteller Methoden wird das Wachstum der mit dem Jet erzeugten SiO_2 -Schichten in Abhängigkeit von den Durchflussraten der Argon- und Präkursorkomponenten untersucht. Die Schichten werden durch profilometrische und elektronenmikroskopische Analysen charakterisiert. Die daraus resultierenden Radialprofile bzw. die Schichtstruktur sowie örtlich aufgelöste Abscheidungsdaten werden mit den Ergebnissen des Modells verglichen.

P 14.16 Wed 16:30 Poster.III

Interface reactions of plasma polymerized ethylenediamine thin films on metallic substrates relevant for biomedical applications — ●HOLGER TESTRICH, VÍTĚZSLAV STRANAK, RAINER HIPPLER, and JÜRGEN MEICHSNER — University of Greifswald, Institute of Physics, Felix-Hausdorff-Str. 6, 17487 Greifswald

Low pressure capacitively coupled 13.56 MHz plasma in a mixture of argon and ethylenediamine was applied for deposition of plasma polymerized ethylenediamine (PPEDA) thin films (20-100 nm) on different metallic substrate materials relevant for biomedical applications. The metallic Cu, Ti/Cu and Ag layers were prepared by high power pulse magnetron sputtering (HIPIMS). The plasma processing parameters (RF power, pressure) have influence on the cross-linking of PPEDA thin films. Therefore, the plasma polymerized thin films are characterized by free macro-radicals and they may contain oligomers or other low-molecular fractions which can undergo chemical reactions in the interface to the metallic substrate or with the ambient air (thin film ageing). In particular, the molecular structure and chemical composition of the thin PPEDA films were studied with the focus on interface reactions with the metallic substrate by use of Fourier Transform infrared-reflection-absorption-spectroscopy (FT-IRRAS). While the Al-surface reveals no reaction with the thin PPEDA film, new absorption bands are found in the combination Cu-PPEDA. Furthermore a temporal development of these absorption bands was observed within 30 days after deposition. Funded by BMBF collaborative research project "Campus PlasmaMed", grant no 13N9774.

P 14.17 Wed 16:30 Poster.III

Plasmaregeneration mineralischer Adsorbentien zur Formaldehydabscheidung aus Abgasen — KATJA SAULICH¹, SIEGFRIED MÜLLER¹ und JOACHIM SCHOMBURG² — ¹INP Greifswald e.V., Greifswald, D — ²DURTEC GmbH, Neubrandenburg, D

Dieser Beitrag befasst sich mit der Adsorption von CH_2O durch natürlich vorkommende mineralische Adsorbentien. Insbesondere wird hier eine Regeneration mineralischer Gasadsorber mit einem Niedertemperatur-Plasma als ein neuer Innovationsschritt untersucht. Anhand von Voruntersuchungen zur optimalen Adsorptionsfähigkeit wurde für die nachfolgenden Regenerationsversuche das Mineralprodukt P5 (80 % Halloysit, 10 % Fe-Mineral, 10 % Smektit, Spuren von Quarz und Anatas) der Fa. DURTEC ausgewählt. Die Desorptionsversuche erfolgten mit einem DBE-Pelletreaktor. Bei der Plasma-behandlung von mit CH_2O beladenem mineralischem Granulat wird eine Freisetzung des Schadstoffs sowie dessen Zersetzung in CO_2 , CO , CH_3OH , CH_4 und $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ beobachtet. Verglichen mit den detektierten Kohlenwasserstoffen werden CO_x in fünf- bis achtfach höherer Konzentration detektiert. Der Regenerationsgrad des plasmabehandelten Granulats hängt von der spezifisch adsorbierten Schadstoffmenge ab und kann durch Erhöhung von Spannung und Pulsweite-Verhältnis weiter gesteigert werden. Mit abnehmendem N_2 -Trägergas Volumenstrom kommt es ebenfalls zu einer Steigerung des Regenerationsgrades. Bei wiederholter Kombination von Beladung und plasmagestützter Desorption wird das Regenerationsvermögen des Granulats nicht verändert.

P 14.18 Wed 16:30 Poster.III

Bestimmung der optischen Eigenschaften von quarzartigen Hochrate-Plasmapolymerschichten — ●MORITZ SCHOLZE, STEFAN MERLI, ANDREAS SCHULZ, MATTHIAS WALKER und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 31, 70569 Stuttgart

Bei nahezu allen optischen Bauelementen, wie z.B. Linsen, Spiegeln oder auch Fenstermaterialien, werden dünne Schichten bereits vielfältig eingesetzt. Allerdings konnten bisher nur begrenzt Kunststoffmaterialien, mangels ausreichenden Kratzschutzes, zur großflächigen Ver-schiebung in der Architektur eingesetzt werden. Dünne, optisch transparente Siliziumoxidschichten bieten eine optimale Möglichkeit, diese Anforderungen zu erfüllen.

Daher werden in diesem Beitrag die optischen Eigenschaften von quarzartigen Hochrate-Plasmapolymerschichten für großflächige Beschichtungen untersucht.

Die Schichten werden aus dem Monomer Hexamethyldisiloxan in einem Niederdruck-Mikrowellenplasmaprozess abgeschieden und auf ihre Eigenschaften, wie chemische Zusammensetzung und Morphologie untersucht. Da sie für optisch transparente Materialien eingesetzt werden sollen, liegt die Kernaufgabe in der Untersuchung der optischen Eigenschaften, wie Transmission, Reflexion und Absorption, welche mittels Photospektrometrie bestimmt werden. Die Abhängigkeit des daraus bestimmten Brechungsindexverlaufs von den Beschichtungsparametern und der chemischen Zusammensetzung, gemessen mittels FTIR-Spektroskopie, wird untersucht und vorgestellt.

P 14.19 Wed 16:30 Poster.III

Untersuchung der Heißwiederzündung Hochdruck-Gasentladungslampen — ●THOMAS HÖBING, ANDRE BERGNER, CORNELIA RUHRMANN, PETER AWAKOWICZ und JÜRGEN MENTEL — Lehrstuhl Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik (AEPT)

Für eine sichere Zündung von Hochdruck-Gasentladungslampen (HID-Lampen) sind Hochspannungspulse erforderlich, deren Höhe von unterschiedlichen Faktoren abhängt. Während die untersuchten Lampen im Kaltzustand bereits mit 6 kV Pulsen sicher gezündet werden können, stellt die Zündung heißer Lampen deutlich höhere Anforderungen an die Pulshöhe. Es wird ein Messaufbau zur Untersuchung der Heißwiederzündung von HID-Lampen vorgestellt, durch den HID-Lampen automatisiert eingebrannt und zu definierten Zeitpunkten der Abkühlphase wiedergezündet werden können. Mit dem Messstand kann der Einfluss unterschiedlicher Zündhilfsvorrichtungen auf das Heißzündverhalten von HID-Lampen durch die Kombination elektrischer Messungen mit Kurzaufnahmen untersucht werden. Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung durch das CATRENE SEEL project (CA502) und das BMBF (FKZ: 13N11265).

P 15: Poster: Theorie/Modellierung

Time: Wednesday 16:30–19:00

Location: Poster.III

P 15.1 Wed 16:30 Poster.III

Diffusion and growth of metal clusters in nanocomposites: a Kinetic Monte Carlo study — ●LASSE ROSENTHAL¹, ALEXEI FILINOV¹, MICHAEL BONITZ¹, VLADIMIR ZAPOROJTCHEKOV², and FRANZ FAUPEL² — ¹Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, CAU Kiel, Leibnizstrasse 15, 24098 Kiel — ²Institut für Materialwissenschaft - Materialverbunde, CAU Kiel, Kaiserstrasse 2, 24143 Kiel

Metallized polymers offer a broad range of applications in many fields of technology[1], including optical and electronic devices and magnetic recording media. Here we present a Kinetic Monte Carlo approach to simulate the coupled processes of diffusion and growth of metal clusters in nanocomposites[2]. Special emphasis is placed on the cluster growth, cluster size distribution and the penetration of clusters into the polymer matrix under different deposition conditions (deposition of metal atoms on a polymer surface and co-deposition of metal and polymer). Furthermore we also present preliminary results of the simulation of the self-organization of nanocolumns[3] during the co-deposition of metal atoms and the polymer matrix.

[1] F. Faupel, V. Zaporozhchenko et al., *Contrib. Plasma Phys.* 47 537 (2007).

[2] L. Rosenthal, A. Filinov et al., *Contrib. Plasma Phys.* 51, 971 (2011).

[3] H. Greve, A. Biswas et al., *Appl. Phys. Lett.* 88, 123103 (2006).

P 15.2 Wed 16:30 Poster.III

Resilience of quasi-isodynamic stellarators against trapped-particle instabilities — ●JOSEFINE HENRIETTE ELISE PROLL¹, PER HELANDER¹, and JOHN WILLIAM CONNOR^{2,3} — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Wendelsteinstraße 1, 17491 Greifswald, Germany — ²Culham Centre for Fusion Energy, Abingdon OX14 3DB, United Kingdom — ³Imperial College of Science, Technology and Medicine, London SW7 2BZ, United Kingdom

It is shown that one of the most important classes of orbit-optimized stellarators, so-called quasi-isodynamic ones, are immune to all the usual linear trapped-particle instabilities in the electrostatic and collisionless limit. This result, which is valid for frequencies below the electron-bounce frequency, follows from the requirement of positive entropy production and is thus independent of all other details of the magnetic geometry.

P 15.3 Wed 16:30 Poster.III

Proton acceleration by a radially polarized chirped laser pulse — ●JIAN-XING LI¹, YOUSEF I. SALAMIN^{1,2}, BENJAMIN J. GALOW¹, and CHRISTOPH H. KEITEL¹ — ¹Max-Planck-Institute for Nuclear Physics, Saupfercheckweg 1, D-69029 Heidelberg, Germany — ²Department of Physics, American University of Sharjah, POB 26666, Sharjah, United Arab Emirates

Radially polarized light has a number of distinct features that make it uniquely suitable for certain applications, of which particle acceleration is only one. The electric field associated with such light has two components: an axial component E_z , oscillating along the direction of propagation, and a radial component E_r that oscillates transversely towards and away from the beam axis. E_z can be used to efficiently accelerate particles, while E_r helps to confine them to regions close to the beam axis, thus producing a good quality accelerated particle beam. The fact that tight-focusing of a radially polarized beam may be done more efficiently than in the case of a linearly polarized one, makes the former a better candidate for particle acceleration than the latter. Unfortunately, radially polarized light is difficult to produce, except at very low intensity from very low-power beams. Simulations have already been made that qualify such beams, if available in the near future, for the purpose of accelerating protons to energies suitable for applications in radiotherapy. When the frequency of such a beam is also chirped, lower intensities would be needed for the desired applications. Results from single- and many-particle calculations, supported by particle-in-cell (PIC) simulations, will be presented.

P 15.4 Wed 16:30 Poster.III

Modeling Brown Dwarfs using an ab initio equation of state for hydrogen — ANDREAS BECKER, ●NADINE NETTELMANN, and RONALD REDMER — Universität Rostock

Models of the interior of Giant Planets and Brown Dwarfs rely on

the equation of state (EOS) data for hydrogen, helium and water, as a representative of all heavier elements, which have usually considerable uncertainties in the high-pressure domain. We constructed a wide range EOS for hydrogen that consists of fluid variational theory data [1] for the low-density range ($\rho < 0.2 \text{ g/ccm}$), EOS data derived from finite-temperature density functional theory molecular dynamics (FT-DFT-MD) [2] for the intermediate densities ($0.2 \text{ g/ccm} < \rho < 70 \text{ g/ccm}$) and the Chabrier-Potekhin model for the high densities ($\rho > 70 \text{ g/ccm}$) [3]. FT-DFT-MD methods are able to treat the exchange and correlation effects in correlated systems very accurate in such a way that the data reproduce the high-pressure experiments very well, e.g. [2,4,5]. Using these high quality data we model Brown Dwarfs in a fully convective one-layer model. We obtain interior structure profiles and mass-radius relationships and compare our results with those derived using the Saumon-Chabrier-van Horn EOS [6].

References: [1] Holst, B. et al. 2007: *Contr. Plasma Phys.* 47, 368. [2] Holst, B. et al. 2008: *Phys. Rev. B* 77, 184201. [3] Potekhin, A.Y., Chabrier, G., 2000: *Phys. Rev. E* 62, 8554. [4] French, M. et al. 2009: *Phys. Rev. B* 79, 054107. [5] Caillabet, L. et al. 2011: *Phys. Rev. B* 83, 094101. [6] Saumon, D. et al. 1995: *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 99, 713.

P 15.5 Wed 16:30 Poster.III

Ein neuer Zugang zur hydrodynamischen Modellierung von Gasentladungsplasmen — ●MARKUS M. BECKER, FLORIAN SIGENEGER und DETLEF LOFFHAGEN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald

Hydrodynamische Modelle werden häufig zur theoretischen Beschreibung von Gasentladungsplasmen bei mittleren und hohen Drücken verwendet. Das vollständige Gleichungssystem wird dabei vielfach durch die Drift-Diffusionsnäherung für die Teilchen- und Energiestromdichte der Elektronen vereinfacht. Die zugehörigen Beweglichkeiten und Diffusionskoeffizienten der Elektronen werden durch Lösung der stationären, räumlich homogenen Boltzmann-Gleichung bestimmt und fließen als Funktion der mittleren Elektronenenergie in das hydrodynamische Modell ein. In diesem Beitrag wird gezeigt, dass die vielfach verwendeten Teilchen- und Energietransportkoeffizienten der Elektronen erheblichen Beschränkungen hinsichtlich der Beschreibung nichtlokaler Phänomene unterliegen. Ausgehend von einer Entwicklung der Geschwindigkeitsverteilungsfunktion der Elektronen nach Legendre-Polynomen wird ein neuartiger Zugang zur Bestimmung der Transportparameter vorgeschlagen, der die Nachteile des konventionellen Zugangs umgeht. Die Anwendbarkeit der neuen Drift-Diffusions-Methode wird anhand von Ergebnissen von Modellrechnungen für räumlich eindimensionale Argonentladungsplasmen bei Nieder- und Atmosphärendruck sowie dielektrisch behinderte Entladungen verdeutlicht.

Die Arbeit wird von der DFG im Rahmen des SFB-TRR 24 unterstützt.

P 15.6 Wed 16:30 Poster.III

Simulation of atomic-cluster coalescence — ●KENJI FUJIOKA, LASSE ROSENTHAL, MICHAEL BONITZ, and FRANZ FAUPEL — Universität Kiel, Germany

Thin films are often built-up from the deposition of atoms onto a substrate. Often times, the deposited particles are not just single atoms, but clusters of up to several thousands of atoms [1]. Naturally, the formation of these atomic-clusters is a rudimentary process in the framework of nano-fabrication. In particular, the coalescence of two atomic-clusters into a single object is of fundamental importance. In the current study, we look at some dynamical processes involved in the coalescence of two atomic-clusters through molecular dynamics simulations [2]. As a basis for our models, we consider the pair-wise Lennard-Jones (LJ) potential that is often used to describe rare gases. We then extend the simple LJ model to the Baskes-LJ embedded-atom method which includes many-body effects [3]. This simple, two-parameter, embedded-atom method has been shown to reproduce many physical properties of metals with reasonable accuracy [4]. Careful attention is paid to the equilibration times of the various models in vacuum, with the intent of generating and justifying input parameters for kinetic Monte-Carlo simulations of cluster processes on a surface [5].

[1] P. Jensen, *Rev. Mod. Phys.* 71, 1695 (1999) [2] S. Hendy, S. A. Brown, and M. Hyslop, *Phys. Rev. B* 68, 241403 (2003) [3] M. I.

Baskes, Phys. Rev. Lett. 83, 2592 (1999) [4] S. G. Srinivasan and M. I. Baskes, Proc. R. Soc. Lond. A 460, 1649 (2004) [5] L. Rosenthal et al., Contrib. Plasma Phys. 51, 971 (2011)

P 15.7 Wed 16:30 Poster.III

Selbstkonsistente Modellierung einer Mikrowellenentladung in Argon — ●MARGARITA BAEVA, ANDRE BÖSEL, JÖRG EHLBECK und DETLEF LOFFHAGEN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald, Deutschland

Mikrowellenplasmen sind vom besonderen Interesse aufgrund der hohen Dichten der erzeugten Ladungsträger und aktiven Spezies. Durch das oszillierende elektromagnetische Feld ist die direkte Diagnostik im Plasma nicht durchführbar. Stattdessen werden nichtinvasive optische Diagnostik und numerische Modellierung eingesetzt, um die Plasmaparameter zu ermitteln. In dieser Arbeit wird ein zweidimensionales Modell eines Mikrowellenplasmas in Argon bei 2.45 GHz und Atmosphärendruck vorgestellt, das selbstkonsistent die Gasströmung, Energieeinkopplung ins Plasma und Reaktionskinetik der Spezies beschreibt. Das Modell wurde durch Messungen der Gastemperatur und Elektronendichte validiert. Es liefert die räumliche Verteilung der Teilchendichten, der Gas- und Elektronentemperatur und der absorbierten Mikrowellenleistungsdichte. Bei Erhöhung der absorbierten Mikrowellenleistung im Bereich von 2 bis zu 20 W ist eine Kontraktion der Entladung zur Achse zu beobachten, wobei die Elektronendichte maximal etwa $3 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$ erreicht. Im Bereich der Höchsttemperatur des Gases von etwa 3400 K wird die Gasströmung bis zu einer axialen Geschwindigkeit von 15 m/s beschleunigt. In der Plasmasäule ist Ar^+ das dominante Ion und am Säulenrand sind Ar_2^+ und Ar^+ präsent.

Die Arbeit wurde von AIF und DECHEMA (Projektnummer 15964BG) unterstützt.

P 15.8 Wed 16:30 Poster.III

Numerical Simulation of Flux Rope Dynamics — ●THOMAS TACKER¹, JÜRGEN DREHER¹, and RICHARD D. SYDORA² — ¹Institut für Theoretische Physik I, Ruhr-Universität Bochum — ²University of Alberta, Edmonton, Canada

Numerical simulations using an MHD model are made in close cooperation with a magnetized pulsed plasma experiment to investigate the evolution of arch-shaped magnetic flux ropes. Using a force-free coronal loop model by Titov and Demoulin, a kink mode can develop under non-equilibrium conditions. The development and growth rates of these kink modes are investigated. In a changed magnetic field configuration, the flux rope can expand due to the hoop force. The influence of the magnetic field configuration on the expansion velocity is investigated. The variation of the magnetic field strength allows a systematic study of the expansion velocity of the unstable flux rope and an comparison to the experimental observations. The influence of resistivity on the flux rope evolution and structure is also systematically studied to bring the simulation closer to laboratory conditions.

P 15.9 Wed 16:30 Poster.III

Plasma diagnostics applying K-line emission profiles of mid-Z materials — ●YILING CHEN, HEIDI REINHOLZ, and GERD ROEPKE — Institut für Physik, Universität Rostock

Narrow K-line emission of some keV is known as an appropriate light source for Thomson scattering on warm dense matter with solid and even over-solid electron density. However, as the K-spectra are emitted from a warm dense plasma themselves we are also able to infer plasma parameters by studying the line profiles [1]. Theoretical treatment of spectral line shifts is applied to various moderately ionized mid-Z materials. We focus on the opposing influence of ionization/excitation (blue shift) and plasma polarization effects (red shift).

Results on silicon (semi-conductor) are shown in comparison to titanium [1] (metal) and a chlorine [2] (polymere). Different configurations of the emitting Si ion ($1s^1 2s^2 2p^\alpha$, $\alpha = 6, 5, 4$) are considered that contribute components ($K_\alpha L^i$, $i = 0, 1, 2$) to the observed K_α line using codes to calculate the atomic states. Synthetic spectra have been evaluated and compared with experimental data [3].

[1] U. Zastrau, A. Sengebusch et al., *High Energy Density Phys.* **7**, 47-53 (2011), [2] A. Sengebusch, H. Reinholz, and G. Röpke, *Contrib. Plasma Phys.* **49**, 748 (2009), [3] J.Rzadkiewicz, A. Gojska et al., *Phys.Rev.A* **82**, 012703 (2010).

P 15.10 Wed 16:30 Poster.III

New effective absorption coefficients for radiation transport calculations in argon iron equilibrium plasmas — MARTIN WENDT, DIRK UHRLANDT, and ●DETLEF LOFFHAGEN — INP Greif-

swald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald

MHD modelling can be used as a tool to optimize gas metal arc welding (GMAW) processes. In order to improve the quality of the modelling results, it is desirable to describe the radiation transport as correct as possible, because the energy transport due to radiation dominates the energy balance at the arc center. Consequently, it has a strong influence on the radial temperature profile. Recent publications show that in the high current phase of pulsed GMAW processes of iron using argon as shielding gas the arc core filled with iron has a lower temperature than the argon envelope [1,2]. It was suggested that this behaviour may be caused by radiation transport [3]. Using a set of spectral line data of argon and iron with calibrated Stark widths and experimentally determined temperature profiles we compare exact radiation transport calculations in cylindrical symmetry with those of the P_1 model. Different strategies of forming averaged absorption coefficients are discussed. In particular, it was found that the usual method of using bands containing whole spectral lines results in a strong underestimation of the reabsorption of radiation in regions of low temperature.

[1] Rouffet *et al.* J. Phys. D: Appl. Phys. 43 (2010) 434003.

[2] Zielińska *et al.* Plasma Sources Sci. Technol. 16 (2007) 832.

[3] Schnick *et al.* J. Phys. D: Appl. Phys. 43 (2010) 022001.

P 15.11 Wed 16:30 Poster.III

Aktive Plasmaresonanzspektroskopie: Funktionalanalytische Auswertung eines fluiddynamischen Modells der Impedanzsonde — ●MICHAEL FRIEDRICH, JENS OBERRATH, THOMAS MUSSEN-BROCK und RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität-Bochum

Mit der aktiven Plasmaresonanzspektroskopie existiert eine Methode zur industriekompatiblen Plasmadiagnostik, die in unterschiedlichen Bauformen realisiert wurde [1]. Die Impedanzsonde stellt eine einfache Bauform dieser Methode dar [2]. Sie besteht aus einer kugelförmigen Elektrode, über die ein hochfrequentes Signal in das Plasma eingekoppelt wird. Mit Hilfe eines Netzwerkanalysators kann die Impedanz als Systemantwort bestimmt werden und aus der wiederum Plasmaparameter wie z.B. die Elektronendichte.

Für die aktive Plasmaresonanzspektroskopie kann ein allgemeines, fluiddynamisches Modell hergeleitet werden. Auf der Basis funktionalanalytischer Methoden ist dieses Modell allgemein lösbar. Die konkrete Lösung des Modells für eine bestimmte Sondenbauform ist von der Geometrie der Sonde abhängig. Im Fall der idealisierten Impedanzsonde handelt es sich um ein kugelsymmetrisches Problem. Dies erlaubt die Berechnung der Eigenzustände des Systems und damit die analytische Auswertung der Systemantwort.

[1] Braithwaite et al., Plasma Sources Sci. Technol. 18, 014008 (2009) [2] D.N Walker et al., Phys. Plasmas 17, 113503 (2010)

P 15.12 Wed 16:30 Poster.III

Coulomb explosion of uniformly charged spheroids — ●PIERFRANCESCO DI CINTIO¹, MICKAEL GRECH¹, RACHEL NUTER², ALEXEY MIKABERIDZE¹, LAURENT GREMILLET², ERIC LEFEBVRE², ULF SAALMANN¹, JAN MICHAEL ROST¹, and STEFAN SKUPIN^{1,3} — ¹Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems, Nöthnitzer Straße 38, 01187 Dresden, Germany — ²CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon, France — ³Friedrich Schiller University, Institute of Condensed Matter Theory and Solid State Optics, D-07743 Jena, Germany

We propose a semi-analytical model for non-relativistic Coulomb explosion of a uniformly charged spheroid. The model allows to derive the time-dependent particle energy distributions. Simple expressions are given for the characteristic explosion time and maximum particle energies in the limits of extreme prolate and oblate spheroids as well as for the sphere. Our theoretical predictions are found to be in good agreement with particle (both molecular-dynamics and particle-in-cell) simulations. Our results may give simple design guidelines how to optimize target properties; for example, for inertial fusion applications or for ion acceleration from laser-solid interaction characterized by the emission of short, compact, and highly-charged ion bunches. Propagation of these bunches is strongly affected by space charge effects. By approximating the accelerated ion bunches as uniformly charged spheroids, the results presented here allows to derive the conditions required for limited energy and angular dispersions.

P 15.13 Wed 16:30 Poster.III

Wissenschaftliches Dienstleistungsnetz für die Plasmaphysik — ●THOMAS HARDER, MARKUS BECKER, ANDREAS WEGNER, PAUL

ZIEMANN, MARTIN WENDT, SERGEY GORCHAKOV und DETLEF LOFFHAGEN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald

Ergänzend zum Aufbau einer Serviceinfrastruktur zur Simulation von plasmatechnologischen Anwendungen, deren Fokus auf Anwendern aus der Industrie liegt, wurden im Rahmen des Projektes Plasma-Technologie-Grid (www.pt-grid.de) weitere wissenschaftliche Programme für die gridfähige Nutzung über ein öffentliches Portal (portal.inp-greifswald.de) vorbereitet. Die Demonstratoren zur Reduktion komplexer plasmachemischer Reaktionskinetiken, zur Berechnung von Transportparametern in thermischen Plasmen und zur Zusammensetzungsbestimmung in Gleichstromentladungen werden vorgestellt. Anhand dieser Simulationswerkzeuge werden Weiterentwicklungsoptionen der virtuellen Forschungsumgebung, wie Import- und Exportbibliotheken, Datenbanken für physikalische und chemische Stoffdaten, Integration quantenmechanischer Berechnungsmethoden, Werkzeuge für die Steuerung von Parameterstudien, Schulungs- und Beratungsbedarf, diskutiert. Die Vorteile des erarbeiteten Konzeptes und die Anforderungen von Anbietern und Nutzern an die technische und organisatorische Umsetzung werden behandelt mit dem Ziel, die Demonstratoren in nachhaltige Werkzeuge für die Anwendung in Projekten und die alltägliche wissenschaftliche Arbeit zu überführen.

Die Arbeiten wurden vom BMBF unter dem Förderkennzeichen 01IG09001A gefördert.

P 15.14 Wed 16:30 Poster.III

Inductive and Capacitive Coupling in a μN Radiofrequency Ionthruster (RIT) — ●ROBERT HENRICH, MICHAEL BACHMANN, and CHRISTIAN HEILIGER — I. Physikalisches Institut, Justus-Liebig-Universität Giessen, D-35392, Germany

An increasing number of space operations require special thrusters for high precision positioning of spacecrafts. Actually, this demand is even increasing in the near future. Within this research field a very promising concept is that of the μN Radiofrequency Ionthruster (RIT). The advantage is that the basic design of a RIT needs only a slight change going to a miniaturized RIT. The modified thruster produces the ion plasma in a cylindrical vessel surrounded by a coil. In comparison to the original larger system the capacitive coupling of the coil to the plasma increases. In order to compare the size of the capacitive and inductive coupling we perform calculations based on the Particle in Cell method (PIC).

P 15.15 Wed 16:30 Poster.III

Three-dimensional Plasma Discharge Simulation in a μN Radiofrequency Ionthruster (RIT) — ●ROBERT HENRICH and CHRISTIAN HEILIGER — I. Physikalisches Institut, Justus-Liebig-Universität Giessen, D-35392, Germany

The μN Radiofrequency Ionthruster (RIT) is a very promising candidate for a high precision positioning of spacecrafts. In this system the plasma is produced in a cylindrical vessel surrounded by a coil. The typical gas pressure in such a system is in the range of 10^{-3} Pa. Due to the low particle interaction the usual tool to describe the plasma is the Particle in Cell method (PIC). A full three dimensional simulation of a volume with the dimension of a cubic centimeter would require a large amount of calculation time and consequent data generation. Therefore, a common simplification is the treatment of a two dimensional system with rotational symmetry. However the use of this simplified model does not accurately represent the true non-symmetrical system. Furthermore, the simplified method uses a non-uniform grid which can lead to self-acceleration of the charged particles. Thereby, the resulting magnitude of error is unknown in this two dimensional simulation. In this poster we analyze these possible errors and give an assessment of which cases require a full three dimensional simulation rather than the simplified treatment.

P 15.16 Wed 16:30 Poster.III

Configuration path integral Monte Carlo simulation of correlated fermions — ●TIM SCHOOF¹, MICHAEL BONITZ¹, ALEXEJ FILINOV¹, DAVID HOCHSTUHL¹, and ALEXANDER PENNEY² — ¹Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Christian-Albrechts Universität zu Kiel, Germany — ²Department of Physics & Astronomy, University of Calgary, Canada

A novel path integral Monte Carlo (PIMC) approach for correlated many-particle systems with arbitrary pair interaction in continuous space at finite temperatures is presented [1,2]. It is based on a representation of the N-particle density operator in a basis of (anti-)symmetrized N-particle states (configurations of occupation

numbers). Formally exact expressions for the thermodynamic quantities are obtained by a transition from discrete to continuous imaginary time representation [3]. The method is applied to degenerate, correlated fermions in a two dimensional trap. The efficiency of the method (fermion sign problem) is investigated for a broad range of temperatures, coupling parameters and particle numbers and compared to a standard path integral Monte Carlo method and an exact diagonalization method.

[1] T. Schoof, M. Bonitz, A. Filinov, D. Hochstuhl, and J. Dufty, *Contrib. Plasma Phys.* 51, 687 (2011)

[2] T. Schoof, *Thermodynamische Eigenschaften entarteter, korrelierter Fermionen*, Diplomarbeit, Universität Kiel (2011)

[3] N.V. Prokof'ev, B.V. Svistunov, and I.S. Tupitsyn, *JETP Lett.* 64, 911 (1996)

P 15.17 Wed 16:30 Poster.III

Parametrische Verstärkung von Laserpulsen durch relativistische Raman- und Brillouin-Streuprozesse — GÖTZ LEHMANN, ●FRIEDRICH SCHLÜCK und KARL-HEINZ SPATSCHEK — Heinrich-Heine Universität, 40225 Düsseldorf

Im Kontext von Verstärkungs-Konzepten für relativistische Laserpulse erhalten Raman- und Brillouin-Streuprozesse eine neue Bedeutung. Die Wechselwirkung eines Pump-Pulses und eines „Saat-Pulses“ (seed pulse) über eine Langmuirwelle (Raman-Streuung) bzw. eine ionenakustische Welle (Brillouin-Streuung) erlaubt einen Energieübertrag auf den Seed-Puls. In der Literatur wurden dazu Konzepte vorgeschlagen [1] die bei hohen Intensitäten erhebliche Vorteile gegenüber den bisherigen Methoden versprechen. Im Zuge dieser neuen Perspektiven parametrischer Prozesse untersuchen wir Raman und Brillouin Streuung für sehr hohe Intensitäten und Pulse. Wir beginnen mit der Raman- und Brillouin-Streuung von ebenen, monochromatischen Wellen mit relativistischen Amplituden. Analytische Aussagen über die Anwachsraten der Instabilitäten lassen sich zunächst nur im schwach relativistischen Fall machen. Im stärker relativistischen Regime wird die klare Trennung zwischen Raman- und Brillouin Streuung im Frequenzbereich auf Grund der sich ändernden Elektronenmasse aufgelöst. Neue numerische Methoden werden präsentiert, um Anwachsraten und Frequenzen parametrischer Instabilitäten im relativistischen Fall zu bestimmen. Erweiterungen auf experimentell interessante Konfigurationen werden diskutiert.

[1] L.Lancia *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 104, 025001 (2010)

P 15.18 Wed 16:30 Poster.III

Ein Trajektoriencode zur Untersuchung der Beamhomogenität in großen Quellen zur Erzeugung von H^-/D^- — ●BENJAMIN RUF¹, PETER FRANZEN¹, URSEL FANTZ^{1,2} und NNBI-TEAM¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, 85748 Garching, EURATOM Association — ²Lehrstuhl für Experimentelle Plasmaphysik, Universität Augsburg, 86135 Augsburg

Für die ITER Neutralteilcheninjektion werden große Plasmaquellen ($1 \times 2 \text{ m}^2$) zur Erzeugung negativer Wasserstoff/Deuteriumionen benötigt. Die H^-/D^- werden in einem Niedertemperaturplasma an dem cäsiumbeschichteten Plasmagitter erzeugt und dann extrahiert. Zur Unterdrückung der koextrahierten Elektronen wird ein magnetisches Filterfeld benötigt, welches durch eine Drift ein inhomogenes Plasma hervorrufen kann. Für ITER ist wegen der Transmission eine Beamhomogenität von weniger als 10% gefordert. Daher wird die Korrelation zwischen Plasma- und Beamhomogenität untersucht. Zur Rekonstruktion des Beams werden mit dem Trajektoriencode BBC-NI (Bavarian Beam Code for Negative Ions) die Beameigenschaften ermittelt und mit Plasmahomogenitätsmessungen korreliert.

Als Eingabe sind die Geometrie des Extraktionssystems, die vorherrschenden elektrischen und magnetischen Felder und die Stromdichte notwendig. BBC-NI errechnet daraus Beamemissionsspektren und Leistungsdichten auf beliebigen Oberflächen die mit Beamemissionsspektroskopie- und Kalorimetermessungen verglichen werden. Erste Ergebnisse von einem Benchmark des Codes an kleineren Quellen ($0,32 \times 0,59 \text{ m}^2$) werden vorgestellt.

P 15.19 Wed 16:30 Poster.III

Nonlinear dynamics of RF sheath: a kinetic self-consistent boundary sheath model matched to an experiment — ●MOHAMMED SHIHAB¹, MARINA PRENZEL², ACHIM VON KEUDELL², and RALF PETER BRINKMANN¹ — ¹Ruhr-University Bochum, Institute for Theoretical Electrical Engineering, D-44780 Bochum, Germany — ²Research group Reactive Plasmas, Ruhr-University Bochum, D-44780 Bochum, Germany

Fully arbitrary waveforms of the applied RF enable tailoring of the ion energy distribution function (IEDF) for particular purposes, such as etching selectivity, film crystallinity, etc. In this contribution, we match a kinetic self-consistent boundary sheath model to an experiment. However, not the well-known particle-in-cell (PIC) scheme is employed but a novel iterative algorithm termed "ensemble-in-spacetime" (EST). Our code allows to calculate the ion and neutral energy and angle distribution at the substrate behind the sheath (as well as the field distribution within the sheath) in about 1% of the CPU time of a comparable PIC simulation. In the experiment: Al_2O_3 films are biased with arbitrary waveforms and the films growth is studied. During the experiment, the plasma parameters are measured to be used as input parameters for the model. A qualitative comparison between the calculated IEDF and the films growth will be done to reveal the role of the ion energy in the film growth. The financial support from the Federal Ministry of Education and Research within the frame of the project "Plasma Technology Grid" and the support of the DFG via the collaborative research center SFB-TR87 is gratefully acknowledged.

P 15.20 Wed 16:30 Poster.III

Bound states in dense plasmas — •NIELS-UWE FRIEDRICH BASTIAN¹, HEIDI REINHOLZ¹, DAVID BLASCHKE², and GERD RÖPKE¹ — ¹Universität Rostock, Institut für Physik — ²University of Wrocław, Poland

Properties of dense plasmas are strongly influenced by correlation effects, in particular the formation of bound states. A Green's function approach is used to investigate the two-particle problem in a dense fermion system with special account of degeneration effects. Bound states are suppressed by Pauli blocking [1,2].

The equation of state (pressure, chemical potential as function of temperature and density) as well as the current-current correlation function are considered for a partially ionized Hydrogen plasma in the high density, degenerated limit.

[1] W. Ebeling, D. Blaschke, R. Redmer, H. Reinholz, and G. Röpke, in *Metal-to-Nonmetal Transitions*, Eds.: R. Redmer, B. Holst, F. Hensel (Springer, Berlin 2010) pp. 37-59.

[2] W. Ebeling, D. Blaschke, R. Redmer, H. Reinholz, G. Röpke, *J. Phys. A: Math. Theor.* **42**, 214033 (2009).

P 15.21 Wed 16:30 Poster.III

Kinetic effects in an atmospheric pressure RF He-N₂ discharge — •DENIS EREMIN, TORBEN HEMKE, RALF PETER BRINKMANN, and THOMAS MUSSENBRÖCK — Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Deutschland

Recently, the discharges in gases under atmospheric pressure have acquired great interest due to their technological feasibility. However, it is complicated to apply the existing diagnostic techniques to study such discharges due to their small size. Therefore, numerical simulations can be especially valuable in helping to understand the phenomena taking place in the atmospheric discharges. In this work we study a He-N₂ discharge under atmospheric pressure with a novel self-consistent hybrid numerical scheme, whereby ions are accounted for using a fluid model and the electrons are described in the fully kinetic framework.

The code is accelerated using parallelization of the kinetic part on a graphics card (GPU). We discuss the physics of the discharge and pay special attention to its aspects associated with the kinetic behaviour of the electrons.

The financial support by the DFG in the frame of FOR1123 and SFB-TR87 is gratefully acknowledged.

P 15.22 Wed 16:30 Poster.III

Ein globales Modell zur Beschreibung einer HF-Entladung bei Atmosphärendruck — •TORBEN HEMKE, ALEXANDER WOLLNY, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF PETER BRINKMANN — Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, Germany

Mikroplasmen bei Atmosphärendruck sind in den letzten Jahren verstärkt in den Fokus der experimentellen und theoretischen Forschung gerückt. Durch die große Vielfalt möglicher Anwendungen kommt den HF-Entladungen unter den Mikroplasmen - zum Beispiel in der Form von Plasmajets - eine besondere Bedeutung zu. In diesem Beitrag werden ausgehend von einer Skalenanalyse eindimensionale Gleichungen für das elektrische Feld in den charakteristischen Bereichen (quasineutrale, Übergangs-, und Verarmungszone) der HF-Entladung abgeleitet. Durch eine asymptotische Entwicklung kann das elektrische Feld für die gesamte Entladung analytisch dargestellt werden. Auf dieser Basis wird ein globales Modell entwickelt, das bei geringem Rechenaufwand die wesentlichen physikalischen Phänomene von HF-Entladungen bei Atmosphärendruck berücksichtigt.

Gefördert von der DFG im Rahmen der FOR1123 "Physics of Microplasmas".

P 15.23 Wed 16:30 Poster.III

Ein nicht-lokales driftkinetisches Elektronenmodell für eine magnetisch unterstützte DC-Entladung — •BENJAMIN SCHRÖDER und RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

Dieser Beitrag stellt ein kinetisches Modell für eine magnetisch unterstützte DC-Entladung vor, wie sie bei der Advanced Plasma Source (APS) von Leybold Optics vorliegt. Es handelt sich dabei um eine bei sehr niedrigem Druck (typisch 0.02 Pa) betriebene koaxiale DC-Entladung. Eine geheizte LaB₆-Kathode emittiert Elektronen, die sich in einem durch eine Zylinderspule hervorgerufenen magnetischen Feld bewegen. Das Plasma expandiert aus der Quelle in eine Vakuumkammer und enthält hochenergetische Ionen, die für die Unterstützung von Beschichtungsprozessen genutzt werden können. Während für den Expansionsbereich ein Modell erarbeitet wurde, fehlte bislang das Verständnis für die plasmaphysikalischen Eigenschaften der Entladungsregion. Aufgrund der großen freien Weglängen der Elektronen muss das Problem kinetisch betrachtet werden. Dazu lässt sich über eine Skalenanalyse und einen Störungsansatz aus der Boltzmann-Gleichung eine in ihren Variablen reduzierte, nicht-lokale driftkinetische Gleichung in Form einer inhomogenen Diffusionsgleichung herleiten. Die Verteilungsfunktion hängt dabei lediglich von der totalen Energie und einer Flusskoordinate ab. Die Gleichung wird unter der Annahme einer speziellen Form des elektrischen Potentials gelöst und Ergebnisse präsentiert.

P 16: Magnetischer Einschluss II/Plasmalichttechnik

Time: Thursday 10:30–12:40

Location: V57.01

Invited Talk

P 16.1 Thu 10:30 V57.01

RF-Heizszenarien am WEGA Stellarator — •MATTHIAS OTTE, HEINRICH LAQUA und TORSTEN STANGE — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, TI Greifswald, EURATOM Ass., D-17491 Greifswald

Am WEGA Stellarator kommen zwei Radiofrequenzsysteme mit 2,45GHz (26kW, cw) und 28GHz (10kW, cw) zur Erzeugung und Heizung von Plasmen sowie zum Stromtrieb zum Einsatz. Beim gleichzeitigen Einsatz beider Heizsysteme treten dabei Synergieeffekte auf, die Zugang zu sonst nicht erreichbaren Plasmaparametern ermöglichen. Durch Assistenz des 2,45GHz-Systems konnte in einem mittels 28GHz geheizten Plasma bei einem Magnetfeld von 0.5T der Dichte-Cut-Off von $1.0 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ überschritten und elektrostatische Bernsteinwellen über einen mehrstufigen Konversionsprozess angeregt werden. Während dieses Heizprozesses konnte eine überthermische Elektronenkom-

ponente mit Energien im Bereich von bis zu 100keV detektiert werden. Bei geringen Plasmadichten von etwa $2 \times 10^{18} \text{m}^{-3}$, erzeugt durch die 28GHz Heizung, wurde ein Verhalten beobachtet, bei dem die 2,45GHz Wellen an hochenergetische Elektronen koppeln und dabei Teilchenenergien im MeV-Bereich und Plasmaströme mit $>100 \text{A/kW}$ generieren. Experimente weisen darauf hin, dass sich diese hochenergetischen Elektronen auf stabilen Driftbahnen bewegen, die stark zum Rand des Plasmas verschoben sind. Dabei kollidieren sie mit Gefäßeinbauten und erzeugen Gammastrahlung. Simulationsrechnungen stützen die These des magnetischen Einschlusses solcher hochenergetischen Teilchen in eine magnetische Vorzugsrichtung.

Topical Talk

P 16.2 Thu 11:00 V57.01

Impact of zonal potential fluctuations on the formation of isolated turbulent structures — •THOMAS WINDISCH¹, OLAF

GRULKE¹, and THOMAS KLINGER^{1,2} — ¹Max-Planck Institute for Plasma Physics, EURATOM Association, 17491 Greifswald, Germany — ²Ernst-Moritz Arndt University, 17489 Greifswald, Germany

It is well known that radially propagating turbulent structures contribute significantly to the fluctuation induced particle and energy loss across the confining magnetic field of fusion devices. While in the last decade the propagation properties of these structures have been intensively investigated in experiment and simulation, their formation process in the plasma edge region is not well understood due to limitations of the available diagnostics. Numerical simulations suggest that zonal flows play an important role in the formation process of the turbulent structures [1]. Here, if the shear damping rate of zonal flows is small, isolated structures can develop from positive wave crests of interchange filaments. In the other case of high shear damping rates radial streamers are observed.

In this paper the relation between zonal potential perturbations and the formation of isolated turbulent structures is analyzed using experimental data obtained in the linearly magnetized laboratory device VINETA and compared to three-dimensional numerical simulations (CYTO). Simultaneous measurements of local density fluctuation events and azimuthally averaged potential fluctuations are presented.

[1] Russell DA et al. Phys. Plasmas 16 122304 (2009)

P 16.3 Thu 11:25 V57.01

Einfluss der Turbulenz im Einschlussbereich auf Blobeigenschaften in der Abschältschicht — ●GOLO FUCHERT¹, BASTIAN BÄTZ¹, MIRKO RAMISCH¹ und ULRICH STROTH^{1,2} — ¹Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Garching

Intermittente Dichtestrukturen, sogenannte Blobs, welche sich durch eine radiale Auswärtsbewegung auszeichnen, werden in unterschiedlichsten Plasmaexperimenten beobachtet. Dies lässt einen universellen Mechanismus hinter den Blobs vermuten. Unter anderem beobachtet man Blobs in der Abschältschicht toroidal eingeschlossener Fusionsplasmen, wo sie wesentlich zum Transport beitragen. Damit ist das Verständnis der Blobs wichtig für Vorhersagen der Belastung der ersten Wand in Fusionsexperimenten.

Am Stellarator TJ-K werden Blobs beobachtet, welche am Plasmarand entstehen. Frühere Messungen haben gezeigt, dass Dichtestrukturen der im Einschlussbereich vorherrschenden Driftwellen-Turbulenz eine wichtige Rolle bei der Blobentstehung spielen. Die statistischen Eigenschaften der Blobs werden mit Hilfe von Langmuirsonden und einer Hochgeschwindigkeitskamera untersucht, etwa ihre Auftrittshäufigkeit oder mittlere Größe. Es zeigt sich dabei, dass die untersuchten Eigenschaften der Blobs im TJ-K keine unabhängigen Größen zu sein scheinen, sondern im wesentlichen von Eigenschaften der Driftwellenturbulenz im Einschlussbereich bestimmt werden.

P 16.4 Thu 11:40 V57.01

Expanding Structures in Magnetized Plasmas — ●TIMO SCHRÖDER¹, OLAF GRULKE¹, THOMAS KLINGER^{1,2}, ROD BOSWELL³, and CHRISTINE CHARLES³ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Association, Greifswald — ²E.-M.-A. Universität, Greifswald — ³Australian National University, Canberra

Double layers (DL, i.e. localized boundary layers between two plasma regimes of significantly different plasma potential, $\Delta\Phi > k_B T_e/e$) result in strong electric fields. One can distinguish between current-carrying and current-free DLs. Especially the latter can form under various conditions. Although they have been observed in both space and laboratory plasmas the mechanism of their formation is still under debate. Laboratory experiments have shown that current-free DLs usually form due to an expanding magnetic field and/or an expanding device geometry. However, in early experiments Hairapetian and Stenzel (1988) observed an acceleration of ions in the ignition phase of a thermionic discharge due to a propagating DL. The present work uses rf discharges to investigate the mechanisms of the ion acceleration and the DL formation. Static DLs can already be observed in the plasma expansion created by a pulsed rf source. By using a fast valve it is possible to inject the working gas directly into the source region and the expansion chamber can be kept almost at base pressure. It is demonstrated that the combination of a short gas puff and a short rf pulse finally leads to a propagating DL. Measurements on its spatiotemporal dynamic and effect on the ion kinetics will be presented.

P 16.5 Thu 11:55 V57.01

Betrieb von elektrodenlosen HID-Lampen durch plasmageführte Mikrowellen — ●CHRISTOPH KAISER, MOHAN ÖGÜN und RAINER KLING — Karlsruher Institut für Technologie, Lichttechnisches Institut, Karlsruhe, Germany

Die Steigerung der Effizienz, so wie die Erhöhung der Lebensdauer von Hochdrucklampen (HID-Lampen) ist Gegenstand aktueller Forschung. Die Elektroden der Lampen begünstigen einen Wärmetransport zur Außenseite der Lampe und reduzieren so den Wirkungsgrad. Andererseits limitiert die Erosion der Elektroden die Lebensdauer. Beide Mechanismen können unterbunden werden, wenn der Leistungseintrag in die Lampe ohne Elektroden durchgeführt wird. Eine Möglichkeit hierfür ist die Anregung mittels plasmageführter Mikrowellen.

Durch elektrische Feldsimulationen wurden verschiedene auf Indium und Magnesium basierende Entladungskonfigurationen eruiert und experimentell verifiziert. Hierzu wurden die spektral aufgelösten Strahlungsflüsse der unterschiedlichen Konfigurationen und die aufgenommene Leistung ermittelt. Thermographische Messungen an den Plasmen und den Entladungsgefäßen wurden durchgeführt. Die experimentellen Ergebnisse wurden denen der Simulation entgegengestellt.

Ein erheblicher Einfluss des Skineffekts auf die Ausprägung der Hochdruckentladung konnte gezeigt werden. So nimmt die Leitung der Mikrowellen über den Rand der Entladung mit steigender Plasmatemperatur stark zu. Das Verhalten lässt sich durch die starke Abhängigkeit des Skineffekts von den dielektrischen Eigenschaften des Plasmas erklären.

P 16.6 Thu 12:10 V57.01

Untersuchung der Zündung von HID-Lampen für Automobilscheinwerfer durch elektrische und optische Messungen — ●ANDRE BERGNER, THOMAS HÖBING, CORNELIA RUHRMANN, JÜRGEN MENDEL und PETER AWAKOWICZ — Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl AEPT, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

Hochdruckgasentladungslampen (HID-Lampen) werden benötigt, um hohe Lichtströme zu erzeugen. Ein spezielles Anwendungsfeld ist die Verwendung von HID-Lampen in Automobilscheinwerfern. Aus Sicherheitsgründen und wegen gesetzlicher Bestimmungen müssen diese Lampen schnellanlauffähig und heiß zündbar sein. Deshalb sind diese Lampen mit 1,5 MPa Xenon gefüllt. Allerdings führt dieser hohe Kaltfülldruck zu einer deutlichen Erhöhung der Zündspannung (Paschen-Gesetz).

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Analyse und Optimierung des Zündvorgangs durch Kurzaufnahmen und elektrische Messungen. Die Hochgeschwindigkeitsfotografie mittels ICCD-Kamera zeigt die zeitliche Entwicklung des Zündfunken.

Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung durch das CATRENE SEEL project (CA502), das BMBF (FKZ: 13N11265) und die Ruhr University Research School.

P 16.7 Thu 12:25 V57.01

Kombination optischer Emissions- und Absorptions-Spektroskopie an HID Lampen — ●CORNELIA RUHRMANN, ANDRE BERGNER, THOMAS HÖBING, JÜRGEN MENDEL und PETER AWAKOWICZ — Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

Hochdruckgasentladungslampen (HID-Lampen) enthalten seltene Erden, um die Lichtfarbe einzustellen und meistens Quecksilber, um einen hohen Hintergrundgasdruck und dadurch einen geeigneten Leistungseintrag in den Lichtbogen zu gewährleisten. Aufgrund seiner Toxizität, ist der Ersatz von Quecksilber ein wichtiges Ziel innerhalb der Forschung an HID-Lampen.

Derzeit wird der absolut kalibrierte Emissionskoeffizient einer Quecksilber-Doppellinie genutzt, um die Plasmatemperatur und damit Teilchendichten in HID-Lampen zu bestimmen. Die Kombination von optischer Emissions- und Absorptions-Spektroskopie an geeigneten Linien von seltenen Erden erlaubt, unabhängig von Quecksilber-Emissionslinien, eine Bestimmung der Plasmatemperatur. Diese Methode ermöglicht es auch in quecksilberfreien Lampen absolute Dichten von Seltenen-Erd-Atomen und -Ionen zu bestimmen.

Diese Arbeit wurde gefördert durch die Research School der Ruhr-Universität Bochum und Philips Lighting, NL.

P 17: Laserplasmen und innovative Anwendungen

Time: Thursday 10:30–12:15

Location: V55.01

P 17.1 Thu 10:30 V55.01

Ultra-thin polymer foils feature mono energetic multi-ion acceleration — ●BASTIAN AURAND^{1,2,4,5}, JANA BIERBACH^{1,3}, SVEN HERZER^{1,3}, OLIVER JÄCKEL^{1,3}, STEPHAN KUSCHEL^{1,3}, JENS POLZ^{1,3}, CHRISTIAN RÖDEL^{1,3}, HUANYU ZHAO^{2,6}, PAUL GIBBON^{5,7}, ANUPAM KARMAKAR^{5,7}, BENTSJAN ELKIN⁸, GERHARD PAULUS^{1,3}, MALTE KALUZA^{1,3}, and THOMAS KÜHL^{1,2,4,5} — ¹Helmholtz Institute Jena; 07743 Jena; Germany — ²GSI Helmholtz Center; 64291 Darmstadt; Germany — ³Institute for Optic and Quantum Electronics; Friedrich Schiller University; 07743 Jena; Germany — ⁴Johannes Gutenberg University; 55122 Mainz; Germany — ⁵EMMI Extreme Matter Institute; 64291 Darmstadt; Germany — ⁶Institute of Modern Physics; 73000 Lanzou; China — ⁷Research Center Jülich; 50428 Jülich; Germany — ⁸Fraunhofer Institute for Interfacial Engineering and Biotechnology; 70569 Stuttgart; Germany

Recent experiments on laser-ion-acceleration out of ultra-thin plastic foils performed at the JETI laser system in Jena show intriguing new results on collective multi-ion acceleration. We observe a mixed acceleration regime partly based on radiation-pressure acceleration (RPA) and Coulomb-explosion (CE). A detailed 2D PIC simulation supports our observations. Scans on different parameters like ellipticity and intensity allow a detailed understanding of the observed effects. In addition we improve the well known target-normal-sheath acceleration (TNSA) in case of using fully circular polarized light.

P 17.2 Thu 10:45 V55.01

LIGHT: Towards a laser-based accelerator — ●SIMON BUSOLD¹, OLIVER DEPERT¹, CHRISTIAN BRABETZ³, TREVOR BURRIS-MOG⁴, MARTIN JOOST⁴, ABEL BLAZEVIC², BERNHARD ZIELBAUER^{2,5}, VINCENT BAGNOUD², OLIVER KESTER^{2,3}, TOM COWAN⁴, and MARKUS ROTH¹ — ¹Technical University of Darmstadt, Institute for Nuclear Physics, Schlossgartenstraße 9, 64289 Darmstadt — ²GSI Helmholtz Center for Heavy Ion Research, Planckstraße 1, 64291 Darmstadt — ³Goethe University Frankfurt/Main, Institute for Applied Physics, Max von Laue Straße 1, 60438 Frankfurt — ⁴Helmholtz Center Dresden-Rossendorf, Bautzner Landstraße 400, 01328 Dresden — ⁵Helmholtz Institute Jena, Helmholtzweg 4, 07743 Jena

Proton acceleration by ultrashort, high intensity laser pulses has been a fast growing field of research during the last decade. The most intensely investigated acceleration mechanism is the TNSA mechanism (Target Normal Sheath Acceleration), providing protons in the multi-MeV-range.

For many possible applications, however, the full energy spread and large beam divergence are major draw-backs. Therefore, a pulsed high-field solenoid was used for collimation and energy-selection and is now integrated in a full test stand for a laser-based accelerator at GSI Helmholtz Center, Darmstadt, namely the LIGHT project (Laser Ion Generation, Handling and Transport), which is a collaboration between TU Darmstadt, GSI, HZDR, JWGU Frankfurt and HI Jena.

An overview of the new infrastructure, the goals of the LIGHT project and first experimental results are presented.

P 17.3 Thu 11:00 V55.01

Einfluss des Gases bei der Elektronenbeschleunigung mittels Hochleistungslaser — ●ALEXANDER SÄVERT¹, STUART P. D. MANGLES³, MICHAEL SCHNELL¹, MARIA NICOLAI¹, OLIVER JÄCKEL^{1,2}, MARIA REUTER^{1,2}, AJAY K. ARUNACHALAM^{1,2} und MALTE C. KALUZA^{1,2} — ¹Institut für Optik und Quantenelektronik Friedrich-Schiller-Universität, Jena, Germany — ²Helmholtz-Institut Jena, Friedrich-Schiller-Universität, Jena, Germany — ³Department of Physics, Imperial College, London, United Kingdom

Bei der Wechselwirkung von hochintensiven Laserpulsen mit einem Plasma werden periodische Elektronendichteschwankungen erzeugt, mit deren Hilfe Elektronen auf relativistische Energien beschleunigt werden können. Dafür wurde der 30TW Laser am Institut für Optik und Quantenelektronik (Jena) in einen Überschallgasjet aus Helium fokussiert. Es konnten Elektronenpulse mit Energien von bis zu 200 MeV erzeugt werden. Durch Wechsel auf Wasserstoff wurde die Divergenz des Elektronenstrahls reduziert und die Ladung innerhalb des Elektronenpulses erhöht. Mit Hilfe numerischer Simulationen wurden die zu Grunde liegenden physikalische Ursachen identifiziert. Dieses Verständnis ist wichtig um die Qualität der Elektronenpulse für zukünftige

Anwendungen weiter zu verbessern.

P 17.4 Thu 11:15 V55.01

Diagnostik, Simulation und Visualisierung eines Mikrowellenplasmas — ●TIM BRANDT, THOMAS TROTTENBERG und HOLGER KERSTEN — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel

Breitstrahlionenquellen, die für die Plasmaerzeugung das Prinzip der Elektron-Zyklotron-Resonanz (ECR) nutzen, finden heutzutage viele Anwendungen in der Industrie. Zur Optimierung dieser Anwendungen und der Ionenquellen selbst ist ein genaues Verständnis des ECR-Prozesses erforderlich. Theoretische Beschreibung und Simulation von ECR-Plasmen sind sehr anspruchsvoll. Es werden Messdaten benötigt, um das Modell zu verifizieren und zu optimieren.

Die Diagnostik eines ECR-Plasmas stellt allerdings ebenfalls eine große Herausforderung dar. Mikrowellen und das starke statische Magnetfeld erfordern unkonventionelle diagnostische Methoden.

In diesem Beitrag werden sowohl Simulation als auch Diagnostik an einer industriellen ECR-Breitstrahlionenquelle vorgestellt. Es wird dabei deutlich, dass sowohl die theoretische als auch die experimentelle Untersuchung dieses Plasmatisches Stärken und Schwächen haben. Die beiden Zugänge können sich gegenseitig ergänzen und zu einem besseren Verständnis führen. Insbesondere wird der Frage nachgegangen, wie anhand der Messdaten zwischen ECR-Heizung und reiner Mikrowellenheizung unterschieden werden kann. Ergänzend werden Funktionsweise und Anwendungsmöglichkeiten von ECR-Ionenquellen mit animierten Computergraphiken dargestellt, die in Ausbildung und Öffentlichkeitsarbeit verwendet werden können.

P 17.5 Thu 11:30 V55.01

Venus magnetosphere studies under the aspect of modern information technologies in the field of plasma physics — ●FLORIAN TOPF¹, HELMUT O. RUCKER¹, CHRISTIAN JACQUEY², MAXIM KHODACHENKO¹, VINCENT GÉNOT², TAREK AL-UBAIDI¹, NICOLAS ANDRÉ², MICHEL GANGLOFF², and ESA KALLIO³ — ¹IWF/OeAW, A-8042 Graz, Austria — ²CNRS/IRAP, 31028 Toulouse, France — ³FMI, FI-00101 Helsinki, Finland

In today's research environment, the use of advanced information technologies increasingly gains importance, since most of science work relies on different data sources and tools distributed over the Internet. So called "Virtual Observatories" are describing, organizing and interconnecting those resources in a standardized way. As a result, scientific work can be done in homogeneous web-based environments with the possibility to integrate tools and data sources from different scientific fields. This paper will point out two best practice examples coming from the planetary science community. The first solution, the Automated Multi Dataset Analysis (AMDA) was extended during the FP7 project EuroPlaNet with Venus Express data, which can be analyzed and manipulated in this tool. The second solution, the FP7 project Integrated Medium for Planetary Exploration (IMPEX) builds on top of AMDA and integrates modelling tools like the HYBRID code into a standardized environment in order to intercompare observational data with simulation data. Preliminary results and important design aspects of those tools will be presented and put in relation with their advantages and scientific potential in plasma physics.

P 17.6 Thu 11:45 V55.01

Pulsed Electric Fields in Food Processing: Equipment Design and Commercial Applications — ●STEFAN TÖPFL — DIL e.V., Quakenbrück, Germany

Pulsed electric fields allow a short-time, low energy disintegration of plant and vegetable tissue as well as microbial inactivation in liquids. For plant and vegetable tissue an increase of juice or oil yield during pressing or extraction is observed. In addition, the techniques impact on textural properties allows a targeted modification of structural properties, e.g. to enhance cutting performance. Low energy and time requirements are major benefits in comparison to a mechanical grinding or a thermo-break application. To allow a preservation of heat sensitive liquids, the inactivation of target strains as well as naturally occurring microorganisms in orange juice, mango and melon puree as well as smoothies has been evaluated. An inactivation of 4 to 5 log cycles has been achieved, while maintaining the fresh-like

product characteristics. An increase of shelf life from 7 to 21 days has been obtained. Since 2011 the technique is used in an industrial scale. Pulsed power systems for food treatment with an average power of up to 80 kW has been developed. At present a capacity of up to 50 t/h can be achieved. During the presentation application examples will be shown and the technical, commercial and legal framework discussed.

P 17.7 Thu 12:00 V55.01

Plasma sterilization of pharmaceutical products: from basics to production — ●BENJAMIN DENIS¹, SIMON STEVES¹, EGMONT SEMMLER^{1,2}, NIKITA BIBINOV¹, WENZEL NOVAK², and PETER AWAKOWICZ¹ — ¹Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland — ²groninger & co gmbh, Crailsheim, Deutschland

Sterilization is a crucial step in pharmaceutical packaging and filling. Conventional sterilization methods used in pharmaceutical industry

e.g. highly toxic chemicals (e.g. ethylene oxide), autoclaves or gamma radiation are not suitable for all kinds of pharmaceutical products, due to material damaging.

The route from a laboratory plasma reactor to an industry scale plasma sterilization reactor is shown. Absolutely calibrated measurements yield to a knowledge transfer from an experimental set-up to a prototype and a industrial plasma reactor. It was shown that UV and VUV radiation is needed to kill (endo)spores. Langmuir probe measurements reveal that a discharge with a homogeneous distribution of the electron density around large objects is possible. Temperature measurements show that the gas temperature and therefore the energy impact on materials cannot be neglected. With both high power and lowering the duty-cycle it is possible to achieve relatively high UV/VUV dosages, but also keeping the thermal load low.

High sterilization efficiency of 4 log spore count reduction in 10 s of Geob. stearothermophilus and B. subtilis spores prove the applicability of an industrial grade plasma sterilization reactor.

P 18: Theorie/Modellierung

Time: Thursday 14:00–16:00

Location: V57.01

Invited Talk

P 18.1 Thu 14:00 V57.01

ESTELL: ein quasi-toroidalsymmetrischer Stellarator — ●MICHAEL DREVLAK — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Greifswald, Deutschland

Anlagen zur magnetischen Kernfusion müssen energiereiche Alphateilchen ausreichend lange einschließen, um durch die resultierende Heizung des Plasmas die Fusionsreaktion aufrecht zu erhalten. Dies gelingt beispielsweise, wenn der Betrag des Magnetfeldes in magnetischen Koordinaten poloidal, toroidal oder helikal symmetrisch ist.

Der Entwurf ESTELL für einen quasi-toroidalsymmetrischen Stellarator könnte zum ersten Stellarator dieses Symmetrietyps führen und damit eine wichtige Forschungslücke im Spektrum der potentiell reaktortauglichen Stellaratortypen schließen. Eine solche Konfiguration ist in magnetischen Koordinaten einem Tokamak sehr ähnlich.

Der Bau dieses Experimentes wurde durch die Universität Nancy beantragt. Weitere Symmetrietypen werden vorgestellt und diskutiert.

Invited Talk

P 18.2 Thu 14:30 V57.01

Struktur, Entstehung und Zeitentwicklung von Zonal Flows und geoakustische Moden — ●KLAUS HALLATSCHKE, MARKUS DAFINGER, NIELS GÜRTLER, ROBERT HAGER und ANDREAS KAMMEL — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, D-85748 Garching

Globale Strömungen in magnetisierten Plasmen besitzen auf Grund des eingefrorenen Flusses und der Magnetfeldinhomogenitäten eine dreidimensionale Struktur, was den geläufigen zweidimensionalen Vorstellungen widerspricht, die man etwa anhand eines Vergleichs mit den Verhältnissen in den großen Gasplaneten gewinnen kann. Das entstehende komplexe Wechselspiel zwischen den verschiedenen turbulenten Transportgrößen wurde in detaillierten Zweiflüssigkeits- und gyrokinetischen Simulationen erforscht, so dass klare Aussagen über die turbulenzvermittelte Entstehung und Zeitentwicklung der Strömungen gemacht werden können. So lassen sich bei den geoakustischen Moden (GAM) globale Eigenzustände nachweisen, die ohne Turbulenz zerfallen würden und bei der Entstehung der H-Mode, der kürzlich beobachteten pulsierenden GAM-Aktivität in ASDEX Upgrade und bei möglichen Versuchen GAMs extern anzuregen von Bedeutung sein könnten. In toroidalen Turbulenzrechnungen für Zonal Flows können die genauen Mechanismen für die Entstehung einer robusten charakteristischen Längenskala angegeben werden. Bei Zonal Flows in Verbindung mit Driftwellenturbulenz in ebener Geometrie - planetaren Strömungen am ähnlichsten - ergeben sich zwei stabile Verschönerungsraten, deren räumliche Skalenlängen wiederum von der Vorgeschichte abhängen und damit quasi Information speichern können.

P 18.3 Thu 15:00 V57.01

Kinetische Beschreibung der Impedanzsonde — ●JENS OBERRATH, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

Aktive Plasmaresonanzspektroskopie (APRS) stellt eine industriekompatible Plasmadiagnostik dar und wurde in der Vergangenheit in vielen unterschiedlichen Bauformen realisiert. Eine spezielle Bauform ist die Impedanzsonde (Impedance Probe = IP). Die IP besteht aus ei-

ner kugelförmigen Elektrode, an die ein hochfrequentes Signal über ein Koaxialkabel angelegt wird. Mit Hilfe eines Netzwerkanalysators kann die Impedanz des Plasmas bestimmt werden und darüber Plasmaparameter wie z.B. die Elektronendichte. Bei Verwendung der IP im Druckbereich von wenigen Pascal stellt sich die Frage, ob kinetische Effekte relevant sind. Zur Untersuchung dieser Frage wird ein kinetisches Modell der IP benötigt.

Zur Beschreibung der APRS kann ein allgemeines kinetisches Modell hergeleitet werden [1]. In Kugelgeometrie stellt die IP die einfachste Bauform der APRS dar. Aufgrund dieser Geometrie und der Symmetrie der Anordnung kann das kinetische Modell vereinfacht und eine Integro-Differentialgleichung für das Potential hergeleitet werden. Dies erlaubt die Berechnung der Impedanz des Plasmas und damit die Auswertung einer Messung der IP. Mit Hilfe der kinetisch berechneten Impedanz sollen die Einflüsse der kinetischen Effekte auf das Resonanzverhalten der IP untersucht werden.

[1] J. Oberrath et al., Proceedings of the 30th ICPIG, B5-069 (2011)

P 18.4 Thu 15:15 V57.01

Hydrodynamic modelling of oxygen rf discharge — ●IGOR SHEYKIN, MARKUS M. BECKER, and DETLEF LOFFHAGEN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald

Capacitively coupled RF (CCRF) oxygen plasmas are widely used for e.g. etching and sputtering. For a detailed understanding of the plasma behaviour, the influence of negative ions is of interest because of their effect on the charged species transport, plasma sheath conditions and the production of electrons due to detachment processes. In addition, metastable molecules can become important as well because of their large particle densities expected. To describe the spatiotemporal behaviour of CCRF oxygen plasmas in a discharge between plane electrodes with a gap of 2.5 cm, a hydrodynamic model has been used. It consists of the solution of the coupled system of the Poisson equation, of balance equations for the densities of 17 heavy particle species and the electrons as well as of the electron energy density involving about 180 collision processes in the reactive scheme. Assuming radial symmetry of the discharge plasma, a time-dependent, spatially one-dimensional model has been employed. The analysis has been performed for the periodic state at pressures between 50 and 1000 Pa, voltages from 0.2 to 1 kV and a frequency of 13.56 MHz. In particular, it was found that the densities of metastable molecules and atomic oxygen reach about 1% of the background gas density. O^- is the predominant negative ion in the plasma bulk, while the density of O_2^- and of electrons is at best one half of the O^- density in the plasma bulk.

The work was supported by DFG within SFB-TRR 24.

P 18.5 Thu 15:30 V57.01

Numerical studies regarding the new divertor design in ASDEX Upgrade with SOLPS5.0 — ●FELIX REIMOLD, ANDREA SCARABOSIO, MARCO WISCHMEIER, ALBRECHT HERRMANN, DAVID COSTER, and ASDEX UPGRADE TEAM — Max-Planck Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, 85748 Garching, Germany

A new design using solid tungsten tiles for the divertor of ASDEX Upgrade is currently prepared. The possibility of changing the diver-

tor geometry shall be used to increase the conductance between the pump chamber - housing the cryopump - and the volume below the baffle dome in order to increase the pumping efficiency. An increased pumping capability should provide access to lower plasma densities and more effective density control in ASDEX Upgrade discharges.

SOLPS5.0 and EIRENE (version 2001) modeling is used to assess the impact of the divertor geometry change on pumping efficiency, plasma performance and operational space. Results indicate an increase in pumping efficiency of the new divertor with respect to baffle dome neutral pressure of about 50%. Concomitantly, the simulations indicate a reduction of the baffle dome neutral pressure and gas puff achieving the same separatrix densities. Hence, particle throughput via the outer divertor plasma is reduced. The accessibility of low plasma density will be addressed.

P 18.6 Thu 15:45 V57.01

Modellierung von SiH₄-H₂-Plasmen zur Abscheidung von mikrokristallinem Silizium für Solarzellen — ●STEPHAN DANKO¹, DIRK BLUHME¹, OLIVER SCHMIDT¹, WLADISLAW DOBRYGIN² und RALF PETER BRINKMANN² — ¹Robert Bosch GmbH, Stuttgart — ²Ruhr-Universität Bochum

Für die Herstellung von Solarzellen aus Dünnschicht-Silizium wird auf eine chemische Abscheidung aus der Gasphase mit Plasmaunterstützung zurückgegriffen. Der Zusammenhang zwischen Plasmaparametern und Eigenschaften der Solarzellen ist bisher größtenteils unbekannt. Dementsprechend werden in der universitären Forschung verschiedenste Plasmaquellen für die Abscheidung von mikrokristallinem Silizium durch PECVD verwendet. In der Industrie haben sich kapazitiv gekoppelte Plasmaquellen bewährt. Es ist bekannt, dass die Schichteigenschaften stark von den gewählten Prozessbedingungen abhängen, jedoch sind bisher keine genaueren Zusammenhänge etabliert. In dieser Arbeit ist es Ziel, diese Korrelationen intensiver zu beleuchten.

In einem ersten Schritt wird die Silan-Wasserstoff-Chemie in einem eigens entwickelten globalen Modell untersucht. Die effektive Leistung im Plasma wird über einen Abgleich mit Experimenten abgeschätzt und der Einfluss der Zusammensetzung des Plasmas auf Zelleigenschaften wird analysiert.

Um dieses Modell zu ergänzen, wird die kapazitive Entladung in dem kommerziellen Fluidmodell CFD-ACE+ simuliert. Hierbei liegt der Fokus auf den entstehenden Dichteprofilen zwischen den Elektroden und deren Auswirkung auf Staub- und Schichtbildung.

P 19: Komplexe und staubige Plasmen

Time: Thursday 14:00–15:55

Location: V57.02

Invited Talk

P 19.1 Thu 14:00 V57.02

Dreidimensionale Strukturen und Dynamik in staubigen Plasmen unter Schwerelosigkeit — ●BIRGER BUTTENSCHÖN¹, MICHAEL HIMPEL¹, ANDRÉ MELZER¹, KRISTOFFER O. MENZEL², DAVID CALIEBE², OLIVER ARP² und ALEXANDER PIEL² — ¹Institut für Physik, Universität Greifswald, 17489 Greifswald — ²Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Universität Kiel, 24098 Kiel

Unter Mikrogravitationsbedingungen, wie sie beispielsweise auf Parabelflügen erzeugt werden, ordnen sich Staubpartikel in Plasmen in ausgedehnten, dreidimensionalen Systemen an. Die Struktur und die Dynamik dieser Systeme sind bestimmt durch die Wechselwirkung der geladenen Staubpartikel sowohl mit dem Plasma, insbesondere elektrischen Feldern und Ionenströmungen, als auch mit den umgebenden Partikeln. Beispiele für daraus entstehende Strukturen und Prozesse sind das zentrale, staubfreie Void sowie selbsterregte Staubbichtwellen in der Staubbewölke.

Mit einem stereoskopischen Kamerasystem wurden nun die dreidimensionalen Partikelbewegungen in verschiedenen Bereichen einer unter Schwerelosigkeit eingefangenen Staubbewölke rekonstruiert und analysiert. Ergebnisse dieser Untersuchungen werden vorgestellt, wobei insbesondere auf Oszillationen von Staubpartikeln eingegangen wird, die von durch die Staubbewölke propagierenden Staubbichtwellen getrieben werden.

Gefördert durch das DLR im Projekt 50WM1138.

Topical Talk

P 19.2 Thu 14:30 V57.02

Strömungsvorgänge in magnetisierten staubigen Plasmen — ●TORBEN REICHSTEIN, JOCHEN WILMS und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU Kiel

In staubigen Plasmen sind neben statischen Strukturen auch dynamische Prozesse wie Strömungen und Wellen zentrale Forschungsthemen. Hierbei ist der Einfluss externer Parameter wie Magnetfeldern auf die Dynamik der Staubpartikel von großem Interesse. Ziel unserer Untersuchungen ist dabei ein detailliertes Verständnis der zugrundeliegenden Mechanismen. Am Beispiel eines magnetisierten anodischen Plasmas soll dies veranschaulicht werden. Hier bilden sich torusförmige Staubstrukturen aus, die eine komplexe Dynamik aufweisen. Einschluss und mittlere Strömung der Staubteilchen sind dabei in einem hierarchischen Modell beschrieben worden [1]. Durch weitere experimentelle Befunde motiviert haben wir das Modell erweitert und 3D-MD-Simulationen von Partikeln mit Yukawa-Wechselwirkung in einer toroidalen Falle durchgeführt. Die dabei beobachtete Strömung zeigt unerwartete Effekte wie die Ausbildung einer Schalenstruktur innerhalb der Strömung sowie – abhängig von der Stärke der Reibung – das spontane Ausbilden eines Wirbels oder eines stationären Schocks [2]. Vergleiche zwischen diesen Simulationen und experimentellen Beobachtungen mit Hilfe einer stereoskopischen Messung der Partikelbewegung werden vorgestellt.

Gefördert durch SFB-TR24/A2.

[1] I. Pilch et al., Phys. Plasmas **15**, 103706, 2008

[2] T. Reichstein et al., Phys. Plasmas **18**, 083705, 2011

P 19.3 Thu 14:55 V57.02

Grain charging in an intermediately collisional plasma — SERGEY KHRAPAK¹, PANAGIOTIS TOLIAS², SVETLANA RATYNSKAIA², MANIS CHAUDHURI¹, ANDREY ZOBNIN³, ALEXANDER USACHEV³, CHRISTIAN RAU¹, ●MARKUS THOMA¹, OLEG PETROV³, VLADIMIR FORTOV³, and GREGOR MORFILL¹ — ¹Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Garching, Germany — ²Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden — ³Joint Institute for High Temperatures, Moscow, Russia

The charges of micron-size particles in the quasineutral bulk plasma of a dc discharge are determined experimentally in a pressure range between 100 and 500 Pa, spanning the transition between the weakly collisional and highly collisional (hydrodynamic) regimes, where the ion mean free path drops below the plasma screening length. The charge is determined using the force balance condition from the measured particle drift velocities in stable particle flows. A simple interpolation formula for the ion flux to the grain in the transitional regime is shown to fit quite well the experimental results.

P 19.4 Thu 15:10 V57.02

Three growth modes of nanoparticles generated in reactive plasmas — ●KAZUNORI KOGA^{1,2}, KUNIHIRO KAMATAKI¹, SHOTA NUNOMURA³, SHINYA IWASHITA², GICHIRO UCHIDA¹, HYUN-WOONG SEO¹, NAHO ITAGAKI¹, MASAHARU SHIRATANI¹, and UWE CZARNETZKI² — ¹Kyushu University, Fukuoka, Japan — ²Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Germany — ³AIST, Tsukuba, Japan

Nanoparticles formed in reactive plasmas can be employed as building blocks of nanostructures [1]. To study growth kinetics of nanoparticles in reactive plasmas, a diagram of the particle growth modes was obtained as a function of the density ratio of a nanoparticle density to an ion density n_p/n_i and a nanoparticle size d . For $d = 20\text{nm}$, particle growth rate increases with n_p for $n_p/n_i > 20$ by coagulation between nanoparticles. In such positive feedback growth mode, the collision frequency between nanoparticles, most of which are neutral, increases with increasing n_p . For $n_p/n_i < 20$, the coagulation is suppressed by electrostatic repulsive force exerted on nanoparticles. In this case, a main growth process is a deposition of radicals to the nanoparticles. In the n_p/n_i range between 2×10^{-5} and 20, the growth rate decreases with increasing n_p . In such negative feedback growth mode, the flux of radicals to a nanoparticle decreases with increasing n_p because nanoparticles act as a major sink of the radicals. For $n_p/n_i < 2 \times 10^{-5}$, the growth rate is independent on n_p . In this independent growth mode, the radical flux to a nanoparticle is irrelevant to n_p because the chamber wall is the main sink of the radicals.

[1] M. Shiratani, et al., J. Phys. D: Appl. Phys. **44** (2011) 174038.

P 19.5 Thu 15:25 V57.02

Spacecraft-plasma interactions in Saturn's magnetosphere — ●VICTORIA YAROSHENKO¹, WOJCIECH MILOCH², HUBERTUS THOMAS¹, and GREGOR MORFILL¹ — ¹Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik, Garching, Germany. — ²Department of Physics and Technology, University of Tromsø,

Three-dimensional particle-in-cell self-consistent code has been employed to model spacecraft-plasma interactions in the regime relevant for Cassini during the Saturn orbit insertion (SOI) flyby. Plasma parameters derived from Cassini plasma spectrometer measurements at the SOI flyby are used as input data. Modeling includes photoemission due to the solar UV radiation, two populations of ions, plasma flows and the flyby geometry. It is found that in the outer magnetosphere the positive spacecraft potential is primary due to the photoelectron production on the Sun-exposed surface of the orbiter. In the inner plasmasphere the SC charges to a negative potential up to a few electron temperatures. Simulations display different spatial structures of the plasma particle densities and the self-consistent potential surrounding the SC at different distances from Saturn. Three plasma constituents (electrons, water group ions and protons) produce a new kind of plasma wake with a self-consistent separation between the plasma components in the electric field of the orbiter. The obtained results are of importance for studies of the dust-plasma interactions in the planetary rings, and for reliable interpretations of the electric field and plasma parameter measurements.

P 19.6 Thu 15:40 V57.02

Laser heating of finite 2d dust clusters: Simulation results — ●HAUKE THOMSEN, HANNO KÄHLERT, and MICHAEL BONITZ — ITAP, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Leibnizstr. 15, 24098 Kiel

When investigating the temperature behavior of dust clusters, it is essential to have selective control over the dust temperature. Using several laser beams, the dust particles are accelerated due to the momentum transfer by the radiation pressure[1]. The great advantage of this technique is that plasma parameters like temperature, pressure and screening length remain unaffected. A central question is how to achieve a homogeneous heating effect. We performed Molecular Dynamics simulations where the laser spots were implemented as time and space dependent forces. In collaboration with J. Schabliski et. al. from the experimental group of Prof. Piel, we could show that a heating method that uses two pairs of laser beams in perpendicular direction meets all demands[2,3]. Therefore, the spatial cluster structure as well as the velocity distribution were investigated. The spectral analysis showed, that when the lasers are driven with constant frequencies, these frequencies appear as peaks in the velocity power spectrum. On the other hand, randomly changing the laser scanning frequencies with time avoids these effect. As a result, we found a method that is well appropriate to heat a dust cluster without affecting the surrounding plasma and without artifacts from the method.

[1] V. Nosenko and J. Goree, Physics of Plasmas 13, 032106 (2006)
[2] J. Schabliski et al., Physics of Plasmas (2012) [3] H. Thomsen et al., Physics of Plasmas (2012)

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-PIERRE 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 en-

ergy 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 gewonnenen Werte für T_e werden durch Vergleich auf ihre Anwendbarkeit überprüft. Neben der T_e -Auswertung aus der optischen Emissionsspektroskopie wurden Plasmamparameter 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. SRETENOVIC¹, •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, $r = 125 \mu m$, $l = 8 mm$) immersed in the rf plasma reveals the local plasma parameters. But probe measurements 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 (~ 1 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 realizable 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 beobachteten 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.

P 21: Poster: Staubige Plasmen

Time: Thursday 16:30–19:00

Location: Poster.III

P 21.1 Thu 16:30 Poster.III

Dreidimensionale Stereoskopie an Staubigen Plasmen — ●MICHAEL HIMPEL, CARSTEN KILLER, JANA KREDL, BIRGER BUTTENSCHÖN und ANDRÉ MELZER — Institut für Physik, Universität Greifswald, 17489 Greifswald

In diesem Beitrag werden Untersuchungsergebnisse mit einer Dreikamera-Stereoskopiediagnostik gezeigt. Diese ermöglicht es, einzelne

dreidimensionale Partikeltrajektorien von Staubteilchen in ausgedehnten Staubwolken zu rekonstruieren.

Die Messungen für diesen Beitrag fanden im Labor in einer symmetrischen RF-Niederdruckentladung mit Staubpartikeln aus Melamin-Formaldehyd statt. Ein Temperaturgradient zwischen den RF-Elektroden erzeugt eine thermophoretische Kraftkomponente, die eine dreidimensionale Staubwolke gegen die Gravitationskraft levitiert.

Die Diagnostik ist für den Einsatz unter Schwerelosigkeit auf Parabelflügen ausgelegt. Die Messungen an staubigen Plasmen im Labor sind hierbei ein ideales Werkzeug, um die Diagnostik und Auswertung zu testen und weiter zu optimieren. Diese Arbeit wird gefördert durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt im Rahmen des Projektes 50WM1138.

P 21.2 Thu 16:30 Poster.III

Frequenzcluster in Staubbichtwellen - Vergleich zwischen Experiment und Modell — ●KRISTOPFER OLE MENZEL, OLIVER ARP, TIM BOCKWOLDT und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU-Kiel, D-24098

Selbsterregte Staubbichtwellen gehören zu den bekanntesten dynamischen Phänomenen in staubigen Plasmen. Sie beziehen ihre Energie aus der globalen Ionenströmung in der Entladung und können unterhalb eines kritischen Gasdrucks bei genügend hohen Staubbichten beobachtet werden. Die Wellen zeichnen sich durch einen stark nichtlinearen Charakter und eine komplizierte raum-zeitliche Dynamik aus. Bisherige Experimente in HF-Entladungen unter Schwerelosigkeit [1] haben gezeigt, dass die räumliche Frequenzverteilung der dreidimensionalen Wellenfelder eine ungewöhnliche Struktur besitzt. Es bilden sich sogenannte Frequenzcluster aus, innerhalb derer die Wellenfrequenz annähernd konstant bleibt, die sich jedoch von umgebenden Domänen durch einen Frequenzsprung abgrenzen. Die Bildung solcher Cluster wurde ebenfalls in numerisch modellierten Systemen wechselseitig gekoppelter van-der-Pol Oszillatoren gefunden [2,3]. Ein detaillierter Vergleich zwischen einem solchen Modell und den experimentellen Befunden zeigt Übereinstimmungen der wesentlichen topologischen Charakteristika [3]. Die Ergebnisse werden in diesem Beitrag zusammengefasst. Gefördert durch DLR unter 50WM1139. [1] K. O. Menzel, O. Arp, and A. Piel, PRL 104, 235002 (2010) [2] G. V. Osipov, M.M. Sushchik, PRE 58, 7198 (1998) [3] K. O. Menzel, O. Arp, and A. Piel, PRE 84, 016405 (2011)

P 21.3 Thu 16:30 Poster.III

Aufladung und Wechselwirkung eines Partikelpaares in der Plasmarandschicht — ●JAN CARSTENSEN¹, FRANKO GREINER¹, DIETMAR BLOCK¹, JAN SCHABLINSKI¹, WOJCIECH MILOCH² und ALEXANDER PIEL¹ — ¹IEAP, Christian-Albrechts-Universität, D-24098 Kiel — ²Department of Physics, University of Oslo, Norway

In der Randschicht eines Plasmas können attraktive Kräfte zwischen negativ geladenen Teilchen entstehen, die zu einer Kettenbildung parallel zur Ionenströmung führen können. Ursache hierfür ist das Auftreten einer positiven Raumladung im Windschatten der Partikel. In diesem Beitrag wird die Antwort eines parallel ausgerichteten Partikelpaares auf eine externe sinusförmige Störung untersucht. Für kleine Störungen kann dieses Zweipartikelsystem durch gekoppelte harmonische Oszillatoren beschrieben werden, deren dynamische Kenngrößen (Eigenfrequenzen, Reibungskoeffizienten, Kopplungskonstanten) mit hoher Präzision gemessen werden können. Hierbei zeigt sich eine stark ausgeprägte Nichtreziprozität der Interpartikelkräfte und eine teilweise Entladung des stromabwärts befindlichen Partikels.

Diese Arbeit wurde gefördert im Rahmen des SFB-TR24, Projekt A2 und A3.

P 21.4 Thu 16:30 Poster.III

Zur Dynamik des Phasenübergangs finiter 3D-Yukawa-Systeme — ●ANDRÉ SCHELLA, TOBIAS MIKSCH und ANDRÉ MELZER — Institut für Physik, Universität Greifswald, 17489 Greifswald

Yukawa-Bälle, also eine dreidimensionale Ansammlung von einigen wenigen mikrometergroßen Staubpartikeln in einem Plasma, sind ideale Modellsysteme zur Untersuchung der Phänomene starker Kopplung. Vorgestellt werden Experimente zum Schmelzen solcher finiten Systeme mit Hilfe von Lasern. Der große Vorteil in der Verwendung von Lasern liegt darin, dass die Partikel direkt durch den Strahlungsdruck geheizt werden. Die Analyse des Schmelzprozesses erfolgt hierbei mit Fluidmoden [1]. Es konnte bereits gezeigt werden, dass auch finite 3D-Yukawa-Systeme universell in zwei Schritten schmelzen: Erst kommt es zu einem Verlust der Winkelkorrelation, anschließend zu einem Aufweichen der Schalenstrukturen [2]. An dieser Stelle wird die Frage adressiert, inwieweit sich das in [1] vorgestellte Modell der Kontinuumbeschreibung des Yukawa-Systems auch für kleine Teilchenzahlen eignet und in welchem Maße es zu einer Veränderung der Modenstruktur während des Schmelzprozesses kommt. Diese Arbeit wird gefördert durch den SFB TR 24, Teilprojekt A3 und der International Helmholtz Graduate School for Plasma Physics (HEPP).

[1] H. Kählert und M. Bonitz, PRE 83, 056401, 2011

[2] A. Schella et al., PRE 84, 056402, 2011

P 21.5 Thu 16:30 Poster.III

Charakterisierung eines magnetisierten Plasmas zur Erzeugung ausgedehnter Nanostaub-Wolken — ●DAVID GRUNER, JAN CARSTENSEN, FRANKO GREINER und ALEXANDER PIEL — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität, D-24098 Kiel

Im Experiment Dustwheel werden in einem Argon-Acetylen (Ethin)-Plasma einer magnetischen Induktion von bis zu 500mT Nanostaubwolken erzeugt. Die genauen Mechanismen des Nanostaub-Einschlusses in solchen magnetisierten Plasmen ist bisher unverstanden. In diesem Beitrag werde die für den Staubeinschluss geeigneten Argonplasmen mit Hilfe elektostatischer Sonden untersucht. Dabei kommen sowohl Langmuirsonden als auch Emissive Sonden und sogenannte "Plugged Probes" zum Einsatz. Erst mit Hilfe der axialen und radialen Potential- und Dichteprofile kann der Staubeinschluss verstanden werden. Interessant ist insbesondere die Frage, wie der Nanostaub die Potential- und Dichteprofile modifiziert und in wie weit Argon-Acetylen-Plasmen der Sondendiagnostik zugänglich sind.

Diese Arbeit wurde gefördert vom SFB-TR24 Kiel-Greifswald, Projekt A2.

P 21.6 Thu 16:30 Poster.III

Ion-Streaming Induced Order-Disorder Transition in Multi-Component Dusty Plasmas — ●PATRICK LUDWIG¹, HANNO KÄHLERT¹, MICHAEL BONITZ¹, and JAMES DUFTY² — ¹Universität Kiel — ²University of Florida

Dust Dynamics Simulations utilizing a dynamical screening approach are performed to study the effect of ion-streaming on the self-organized structures in a 3D spherically confined complex (dusty) plasma.[1,2] Varying the Mach number M – the ratio of ion drift velocity to the sound velocity, the simulations reproduce the experimentally observed cluster configurations in the two limiting cases: at $M = 0$ strongly correlated crystalline structures consisting of nested spherical shells (Yukawa balls) and, for $M \geq 1$, flow-aligned dust chains, respectively. In addition, our simulations reveal a discontinuous transition between these two limits. It is found that already a moderate ion drift velocity ($M \approx 0.1$) destabilizes the highly ordered Yukawa balls and initiates an abrupt melting transition. The critical value of M is found to be independent of the cluster size. A similar streaming-induced order transition is expected to exist also in unconfined multi-component dusty and quantum plasmas.[3]

[1] Introduction on Complex Plasmas, M. Bonitz, N. Horing, and P. Ludwig (eds.), Springer (2010) [2] P. Ludwig, H. Kählert, and M. Bonitz, submitted to Plas. Phys. Contr. Fus. (2011) [4] P. Ludwig, M. Bonitz, H. Kählert, and J.W. Dufty, J. Phys. Conf. Series **220**, 012003 (2010)

P 21.7 Thu 16:30 Poster.III

Stereoskopie an magnetisierten komplexen Plasmen — ●JOCHEN WILMS, TORBEN REICHSTEIN und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU Kiel

In magnetisierten anodischen Plasmen ist es möglich in einem gewissen Parameterregime torusförmige Staubwolken einzufangen, die um einen staubfreien Bereich (Void) entlang einer Kreisbahn strömen [1]. Deren Dynamik wurde am Experiment MATILDA II bisher in zwei Schnittebenen (horizontal bzw. vertikal) untersucht. Zur Analyse der mittleren Staubströmung wurde „Particle Image Velocimetry“ (PIV) verwendet. Basierend auf diesen Untersuchungen wurde ein Vielteilchenmodell entwickelt, das in MD-Simulationen eine gute Beschreibung der bisherigen Beobachtungen ermöglicht. Darüber hinaus wurden in diesen 3D-Simulationen neue dynamische Effekte entdeckt, wie beispielsweise die Ausbildung eines stationären Wirbels oder das spontane Auftreten eines Schocks [2]. Um diese kleinskaligen dynamischen Prozesse quantitativ untersuchen zu können, haben wir eine Diagnostik entwickelt, die mit zwei synchronisierten Kameras unter verschiedenen Blickwinkeln die stereoskopische Beobachtung eines kleinen Staubvolumens ermöglicht. Dies erlaubt eine vollständige räumliche Rekonstruktion der Partikelbewegungen in diesem Bereich. Dieser Beitrag präsentiert erste experimentelle Ergebnisse der stereoskopischen Untersuchung torusförmiger Staubstrukturen in magnetisierten Plasmen. Gefördert durch SFB-TR24/A2.

[1] I. Pilch *et al.*, Phys. Plasmas 15, 103706 (2008)

[2] T. Reichstein *et al.*, Phys. Plasmas 18, 083705 (2011)

P 21.8 Thu 16:30 Poster.III

Mie Ellipsometrie an magnetisierten nanostaubigen Plasmen

— ●FRANKO GREINER¹, JAN CARSTENSEN¹, IRIS PILCH², DAVID GRUNER¹, NILS KÖHLER¹ und ALEXANDER PIEL¹ — ¹Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24098 Kiel — ²Plasma and Coatings Physics Division, Linköping University, SE-581 83 Linköping, Sweden

Im Experiment Dustwheel können HF-Entladungen bei hohen Magnetfeld ($B=500\text{mT}$) betrieben werden. Bei bestimmten Entladungsbedingungen bilden sich in einem Argon-Acetylen Plasma ausgedehnte vordringende Nanostaub-Wolken. Die Größe und Dichte der Nanoteilchen kann mit Hilfe der Mie-Ellipsometrie bestimmt werden. Im Gegensatz zur Ellipsometrie an Oberflächen, die viele verschiedene Wellenlängen (1000) gleichzeitig einsetzt um die Eigenschaften der Oberfläche bestimmen zu können, verwendet man bei der Mie-Ellipsometrie kleiner Teilchen nur eine oder wenige Wellenlängen, nutzt aber aus, dass die Teilchen beim Wachsen ihre Streueigenschaften ändern. So lassen sich Aussagen über die Größe und die Dichte des Nanostaubes gewinnen. Gelingt es, räumliche Auflösung zu erreichen, ist die Mie-Ellipsometrie bestens geeignet um die vergleichsweise langsame Dynamik (Sekunden-Skala) von Nanostaub-Wolken raum- und zeitaufgelöst zu untersuchen.

Diese Arbeit wurde vom SB-TR24 Greifswald-Kiel im Projekt A2 gefördert.

P 21.9 Thu 16:30 Poster.III

Anisotrope Yukawa-Cluster in staubigen Plasmen

— ●CARSTEN KILLER, ANDRÉ SCHELLA, TOBIAS MIKSCH und ANDRÉ MELZER — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 17489 Greifswald

Mikrometergroße Partikel lassen sich in staubigen Plasmen einfangen, wo sie bei geeignetem Einfangpotential einen sphärischen 3D-Yukawa-Ball aus konzentrischen Kugelschalen bilden. In einem anisotropen Einfangpotential lassen sich hingegen vertikal gestreckte (zigarrenförmige) Yukawa-Cluster einfangen. Diese weisen im Gegensatz zu den sphärischen Bällen mit zunehmender Streckung eine vertikale Ausrichtung der Staubteilchen in kettenartigen Strukturen auf, welche auf den Ionenfokus zurückgeführt wird. Die Auswirkung des Ionenfokus auf gestreckte und sphärische Cluster wurde zudem in Simulationen untersucht und mit dem Experiment verglichen.

P 21.10 Thu 16:30 Poster.III

Wechselwirkung schneller Staubprojekte mit einem dreidimensionalen staubigen Plasma unter Schwerelosigkeit

— ●OLIVER ARP, DAVID CALIEBE und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU-Kiel, 24098 Kiel

Es werden neueste Ergebnisse von Experimenten und Simulationen vorgestellt, die die Wechselwirkung schneller Staubprojekte mit einem dreidimensionalen staubigen Plasma unter Schwerelosigkeit untersuchen. Die Projekteile erzeugen in der Staubwolke einen tropfenförmigen staubfreien Bereich, die sogenannte Cavity, deren Dynamik stark von der Projektilgeschwindigkeit abhängt. [1,2] Es wird ein analytisches Modell vorgestellt, das die Form der Cavity in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Staubwolke und des Projektils beschreibt. Mit Hilfe von Langevin-Dynamics (LD) Simulationen wird die Wechselwirkung zwischen Staubwolke und Projektil im Detail studiert. Dabei zeigt sich eine ausgesprochen komplizierte Dynamik und unerwartete Ordnungsphänomene in der Staubwolke. Diese Arbeit wurde Gefördert durch das DLR unter 50WM0739/50WM1139.

[1] O. Arp, D. Caliebe, and A. Piel, Phys. Rev. E 83, 066404 (2011).

[2] D. Caliebe, O. Arp, and A. Piel, Phys. Plasmas 18, 073702 (2011).

P 21.11 Thu 16:30 Poster.III

Untersuchung der räumlichen Verteilung von Projektilen aus einem Staubbeschleuniger

— ●PHILIPP FREESE, DAVID CALIEBE, OLIVER ARP und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU Kiel

Bewegte Mikropartikel (Staubprojekteile) stellen eine Möglichkeit dar, eine dreidimensionale Staubwolke in einem Plasma punktuell zu manipulieren. Solche Projekteile, erzeugt mit einem mechanischen Zahnrad-Staubbeschleuniger, wurden bereits in Experimenten mit komplexen Plasmen auf Parabellflügen unter Mikrogravitation verwendet [1]. Das detaillierte Studium der Wechselwirkung der Projekteile mit der Staubwolke erfordert eine Kenntnis der Geschwindigkeitsverteilung und der räumlichen Verteilung der beschleunigten Partikel. Die räumliche Verteilung der Projekteile wird mittels Videomikroskopie in einer Schnittebene senkrecht zur Partikelströmung erfasst. Hierbei wird zunächst der Einfluss der Gasreibung ohne Plasma studiert, wobei Stellparameter der Gasdruck und die Drehzahl des Zahnrades sind.

Gefördert durch DLR unter 50WM1139.

[1] D. Caliebe, O. Arp, A. Piel, Phys. Plasmas 18, 073702 (2011)

P 21.12 Thu 16:30 Poster.III

Kettenbildung von Mikropartikeln in Plasmen

— ●ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU-Kiel, D-24098 Kiel

Die Rolle von Ionenreibungskräften bei der Bildung von Ketten aus mikrometergroßen Partikeln in Gegenwart einer Ionenströmung wird diskutiert für den Fall dass die Strömungsgeschwindigkeit der Ionen kleiner als die Ionenschallgeschwindigkeit ist. Hierzu wird ein einfaches Modell nicht-überlappender Stöße herangezogen und numerisch gelöst. Für typische Bedingungen eines staubigen Plasmaexperimentes findet man, dass eine Nettoanziehungskraft entsteht, die größer ist als die Coulombabstoßung in einem Partikelpaar. Für die Ausrichtung der Kette mit der Strömungsrichtung ist hauptsächlich die Transversalkomponente des Impulsübertrages verantwortlich, die bei dem Standardmodell der Ionenreibungskraft infolge der angenommenen Rotationsymmetrie außer Betracht bleibt. Die Ergebnisse werden mit konkurrierenden Modellen verglichen.

Gefördert durch DFG Sonderforschungsbereich TR24/A2

P 21.13 Thu 16:30 Poster.III

The Triple Correlation function as a tool for structural analysis

— ●HAUKE THOMSEN, PATRICK LUDWIG, and MICHAEL BONITZ — ITAP, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Leibnizstr. 15, 24098 Kiel

Dust particles in a plasma allow an analysis of strong correlations effects. The particles usually accumulate high negative charge inside a plasma which results in a strong repulsive interactions. In a parabolic trap, these particles form spherical clusters with a characteristic shell structure. Finite size effects play a major role here.

When analyzing the cluster structure and its temperature behavior, it appears the radial distribution $\rho(r)$ and radial pair distribution $g_2(|\vec{r}_{ij}|)$ are often insufficient to describe the melting process. Therefore, we analyze the Triple Correlation Function (TCF), for which we sample all pairs of three particles and record two distances and one angle. This allows for an analysis beyond the pair distribution[1,2]. In a second variant specifically adapted to the spherical shape of trapped dust clusters, we sample particle pairs and use the trap center as a reference points. This quantity resolves both correlation within one shell and angular correlations between different shells and it is invariant under rotation of the cluster as a whole.

Using the TCF, furthermore, we study how the intra shell structure vanishes at a lower temperature than the radial structure and the dependence of intra and inter shell correlation on the screening length.

[1] P. Ludwig et al., Plasma Phys. Control. Fusion 52, 124013 (2010)

[2] A. Schella et al., Phys. Rev. E., accepted for publication (2011)

P 21.14 Thu 16:30 Poster.III

dust grain charging in the wake of other grains

— ●DIETMAR BLOCK¹, JAN SCHABLINSKI¹, JAN CARSTENSEN¹, FRANKO GREINER¹, ALEXANDER PIEL¹, and WOJCIECH MILOCH² — ¹IEAP der CAU Kiel, 24098 Kiel, Germany — ²University Oslo, Oslo, Norway

The charging of dust grains in sub- and supersonic plasma flows in the wake of other grains is studied by numerical simulations and experiments. Once a particle enters a Mach cone originating from another grain it is exposed to notably different plasma conditions. Thus, a new balance of electron and ion currents establishes which results in a modified grain charge. This contribution uses the DiP3D three dimensional particle-in-cell code with both electrons and ions represented as numerical particles and the phase resolved resonance method to compare experimental observations and simulations of several aligned grains in sub- and supersonic plasmas flows.

P 21.15 Thu 16:30 Poster.III

Stereoskopische In-line Holografie: Strukturanalyse und Modenanregung finiter Plasmakristalle

— ●JAN SCHABLINSKI¹, DIETMAR BLOCK¹, ALEXANDER PIEL¹, ANDRÉ MELZER² und LISA WÖRNER³ — ¹Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Leibnizstraße 19, 24098 Kiel — ²Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Greifswald — ³Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Garching

Die Beobachtung staubiger Plasmen mit Hilfe der digitalen Holografie ermöglicht eine instantane Bestimmung der dreidimensionalen Partikelkoordinaten mit hoher Zeit- und Ortsauflösung. Durch die Erweiterung dieses Prinzips auf einen stereoskopischen Aufbau lassen sich

Struktur und Dynamik finiter Plasmakristalle mit Partikelzahlen bis zu etwa 100 Partikel zuverlässig und präzise analysieren. Dieser Beitrag stellt das Kieler SDIH (Stereoskopische Digitale Inline-Holografie) Experiment vor und zeigt sowohl Messungen zur Strukturanalyse als auch jüngste Ergebnisse zur gezielten Modenanregung finiter, dreidimensionaler Staub-Cluster. Sowohl aus den strukturellen als auch den dynamischen Eigenschaften lassen sich Rückschlüsse auf die Interpartikel-Wechselwirkung in der Plasmarandschicht und die Ausbildung eines Ionenfokus ziehen, der maßgeblich für eine Bildung von vertikalen Partikelketten verantwortlich ist.

P 21.16 Thu 16:30 Poster.III

Struktur superparamagnetischer Staubteilchensysteme — ●MARIAN PUTTSCHER und ANDRÉ MELZER — Institut für Physik, Universität Greifswald, 17489 Greifswald

Die Struktur von Systemen aus makroskopischen Partikeln in Plasmen ist bereits ausgiebig untersucht worden. Die maßgeblichen Energien sind hierbei die Yukawa-Wechselwirkung der Staubteilchen untereinander und das Einfangpotential. Für die Ausbildung fester Strukturen ist außerdem der Kopplungsparameter, der die elektrische Wechselwirkungsenergie und die thermische Energie der Staubteilchen ins Verhältnis setzt, wichtig. In dieser Arbeit werden superparamagnetische Teilchen verwendet und ein äußeres (homogenes) Magnetfeld angelegt um zusätzlich eine magnetische Dipol-Dipol-Wechselwirkung zwischen den Teilchen zu erzeugen und dessen Auswirkungen auf die Struktur des Staubteilchensystems zu untersuchen. Dieser Beitrag zeigt den ex-

perimentellen Aufbau und einige erste Experimente.

P 21.17 Thu 16:30 Poster.III

Control of transport and distribution of dust particles in capacitively coupled plasmas — ●SHINYA IWASHITA¹, GIICHIRO UCHIDA², JULIAN SCHULZE¹, EDMUND SCHUENGEL¹, KAZUNORI KOGA², MASAHARU SHIRATANI², PETER HARTMANN³, ZOLTAN DONKO³, and UWE CZARNETZKI¹ — ¹Ruhr-University Bochum, Germany — ²Kyushu University, Japan — ³Hungarian Academy of Sciences, Hungary

We have developed a novel method to control the transport of dust particles in capacitively coupled plasmas via the Electrical Asymmetry Effect (EAE). The EAE allows controlling both the spatial potential profile as well as the ion density distribution by adjusting the phase angle θ between a fundamental frequency and its second harmonic, resulting finally in control of forces exerted on dust particles, such as electrostatic and ion drag forces. In this study SiO_2 dust particles of $1.5 \mu\text{m}$ were injected into the chamber. Adiabatic change of the phase leaves the particles at their equilibrium position close to the lower sheath edge. However, a sudden phase shift leads to a correspondingly abrupt change of the sheath expansion. This introduces the particles instantaneously to a high potential that accelerates them to high kinetic energies. Eventually, this allows transport and even trapping of particles at the opposite sheath. The mechanisms of the dust particle transport realized experimentally are revealed by a Particle-in-Cell simulation and a model.

P 22: Poster: Sonstiges

Time: Thursday 16:30–19:00

Location: Poster.III

P 22.1 Thu 16:30 Poster.III

The influence of lightnings on VLF/LF signals observed by radiophysical stations — ●BO RAM LEE, CLAUDIA-VERONIKA MEISTER, CHRISTOPH MAURER, and DIETER H.H. HOFFMANN — Institut für Kernphysik, TU Darmstadt, Schlossgartenstraße 9, 64289 Darmstadt, Germany

The theory of cosmic-ray shower-runaway breakdown in thunderclouds predicted by Gurevich et al. (Gurevich, Milikh, Roussel-Dupre, Phys. Lett. A 165, 463, 1992) is reviewed, and estimates of the electrical conductivity and electric fields during the electron avalanche are estimated. It is shown that the critical electric field amounts to a few 100 kV/m, which is below the usual atmospheric breakdown values. With the onset of the breakdown lightnings occur, which may be connected with the generation of radio pulses with frequencies of a few MHz. Besides also lower-frequency waves in the VLF region are excited. An overview on such waves is given. It is shown that lightnings influence the signals received by the TU Darmstadt VLF/LF radiophysical station VADAR constructed to detect possible earthquake precursors in Europe.

P 22.2 Thu 16:30 Poster.III

The Darmstadt VLF/LF radiophysical station VADar — ●CHRISTOPH MAURER, CLAUDIA-VERONIKA MEISTER, STEFFEN HAUF, and DIETER H. H. HOFFMANN — Institut für Kernphysik, TU Darmstadt, Schlossgartenstraße 9, 64289 Darmstadt

Since 2010, based on the knowledge of the Graz and Bari members of the International Network for Frontier Research on Earthquake Precursors INFREP, a new VLF/LF radiophysical receiver called VADar (VLF Antenna Darmstadt), is under construction at Darmstadt University of Technology. VADar uses the UltraMSK software for measuring phase and amplitude of MSK-modulated signals with carrier-frequencies up to 96 kHz. This is double the usual frequency-range of other facilities using UltraMSK. It is planned to add two loop antennas for direction finding. In order to conduct phase-measurements a time standard of sufficient precision is necessary, which is provided by a one-Pulse-Per-Second (PPS) signal of a GPS-station. The VADar data will be used to record short-term electron density variations in the lower ionosphere and atmosphere. This data will be used for comparison of modifications of signals propagating at the same time above seismo-active and non-seismic regions. First Darmstadt VLF data are presented.

P 22.3 Thu 16:30 Poster.III

Expansion Velocity of Arch-shaped Magnetic Flux Tubes — ●JAN TENFELDE¹, JÜRGEN DREHER², PHILIPP KEMPKE³, FELIX MACKEL¹, SASCHA RIDDER¹, HENNING SOLTWISCH¹, RICHARD D. SYDORA⁴, and THOMAS TACKE² — ¹Institut für Experimentalphysik V - AG Laser- und Plasmaphysik, Ruhr-Universität Bochum — ²Institut für Theoretische Physik I, Ruhr-Universität Bochum — ³Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, MPI for Plasma Physics, Greifswald — ⁴University of Alberta, Edmonton, Canada

The arch-shaped flux tubes generated in the FlareLab discharge show constant diameter and apex expansion velocities. The expansion at constant rate is unexpected, as the steeply rising discharge current should cause a continual increase of the hoop force and lead to an accelerated expansion of the plasma arch. This is observed for a wide range of operational parameters and already develops in early stages of the discharge evolution.

Time-dependent numerical MHD-simulations model the flux tube expansion using an approximate arch equilibrium. In the kink-unstable regime, an inward modulation of the apex of the plasma arch is observed, which could lead to a reduction of the observed velocity. The predicted evolution of the flux tube as obtained from the simulations is then compared to measured characteristics from the laboratory experiment.

P 22.4 Thu 16:30 Poster.III

The detector for the PRIOR proton microscope — ●PHILIPP-M. LANG¹, STEFFEN HAUF¹, ALEXANDER HUG², DIETER H. H. HOFFMANN¹, ALEXEY KANTSYREV³, SERGEY KOLESNIKOV³, FESSEHA MARIAM⁴, FRANK MERRILL⁴, DMITRY NIKOLAEV³, LEV SHESTOV³, VLADIMIR TURTNIKOV³, DMITRY VARENTSOV², and SERBAN UDREA¹ — ¹Technische Universität Darmstadt, Institut für Kernphysik, Darmstadt, Germany — ²GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Darmstadt, Germany — ³ITEP, Moscow, Russia — ⁴Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, USA

While the idea to use charged particles for radiography is known since 1960's, the technique was not widely used because scattering in the radiographed sample caused a substantial image blur. A way to overcome this blur was discovered in the 90's at the Los Alamos National Laboratory by using a set of magnetic quadrupole lenses to image the object on the detector, and to correct chromatic aberrations.

Based on this experience, the proton microscope PRIOR (Proton Microscope for FAIR) is currently under construction at GSI. Its spatial resolution of less than $10 \mu\text{m}$ will by far exceed the capabilities of other proton radiography systems available at LANL (Los Alamos)

and ITEP (Moscow).

Here we present a first design of the designated detector system for future dynamic experiments with PRIOR, which consists of a scintillator screen and a high resolution CCD camera. Geant4 Monte Carlo simulations have been carried out for optimizing the detector performance.

P 22.5 Thu 16:30 Poster.III

Numerical Investigation on Complex Target Geometries in the Context of Laser-Accelerated Proton Beams — ●O. DEPPER¹, K. HARRES¹, S. BUSOLD¹, G. SCHAUMANN¹, C. BRABETZ², M. SCHOLLMER³, M. GEISSEL³, V. BAGNOUD⁴, D. NEELY⁵, P. MCKENNA⁶, and M. ROTH¹ — ¹IKP, Technische Universität Darmstadt — ²IAP, Goethe Universität Frankfurt — ³Sandia National Laboratories, NM, USA — ⁴GSI - Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Darmstadt — ⁵Rutherford Appleton Laboratory, UK — ⁶University of Strathclyde, UK

The irradiation of thin metal foils by an ultra-intense laser pulse leads to the generation of a highly laminar, intense proton beam accelerated from the target rear side by a mechanism called TNSA. This acceleration mechanism strongly depends on the geometry of the target. The acceleration originates from the formation of a Gaussian-like electron sheath leading to an electric field in the order of TV/m. This sheath field-ionizes the target rear side and is able to accelerate protons from a hydrogen contamination layer. The Gaussian-like sheath adds an energy dependent divergence to the spatial proton beam profile. For future applications it is essential to reduce the divergence already from the source of the acceleration process. Therefore different target geometries were studied numerically with the help of Particle-In-Cell

(PIC) simulations. Both, the influence of the target geometry as well as the influence of the laser beam profile onto the proton trajectories will be discussed. Furthermore, the first experimental results of a dedicated target geometry for laser-ion acceleration will be presented.

P 22.6 Thu 16:30 Poster.III

Experimente zur Wechselwirkung niederenergetischer Ionenstrahlen mit Gastargets — ●BEHROOZ FATHINEJAD, RUSTAM BEHZOV, JOACHIM JACOBY und OLIVER MEUSEL — Institut für Angewandte Physik, Goethe Universität, Frankfurt am Main

Bei der Wechselwirkung von Ionenstrahlen mit Gastargets können Phänomene wie elastische und/oder inelastische Streuungen, Ladungsaustausch, Ionisation und Photonenemission auftreten. Diese Prozesse werden durch Untersuchungen von Änderungen der Eigenschaften des Ionenstrahls und des Gastargets beobachtbar. Ziel der geplanten Experimente ist eine Validierung der Wechselwirkungsquerschnitte.

Für die Experimente sind eine energetisch variierbare Ionenquelle und ein Gastarget erforderlich. Unter Gastarget versteht man einen homogenen Strahl von Gasatomen mit bekannter Dichte, Impuls und Energie. Dafür wurde eine spezielle Düse entwickelt, die den Gasstrahl auf Schallgeschwindigkeit beschleunigt und die Strahlverteilung homogenisiert. Für das Gastarget wird ein Gasstrahl aus Helium benutzt. Aus der Ionenquelle wird einfach ionisierter He-Strahl extrahiert. Der Strahlstrom beträgt etwa 1 mA und die Energie ist variabel zwischen 5 und 45 keV.

In der Präsentation werden verschiedene Diagnoseverfahren diskutiert, mit denen Informationen über die Wechselwirkungsmechanismen gewonnen werden können.

P 23: Plasmatechnologie I (Niederdruckkonzepte)

Time: Friday 10:30–12:40

Location: V57.01

Invited Talk

P 23.1 Fri 10:30 V57.01

Modellierung der Ionenquelle für ITER NBI: Von der Erzeugung negativer Wasserstoffionen bis zur Extraktion — ●DIRK WÜNDERLICH und NNBI-TEAM — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, 85748 Garching, EURATOM Assoziation

Das für Heizung und Stromtrieb an ITER vorgesehene Neutralteilchen-Injektionssystem basiert auf am MPI für Plasmaphysik in Garching entwickelten HF-Quellen für negative Wasserstoff- oder Deuteriumionen. Die Erzeugung negativer Ionen in diesen Quellen beruht auf der Konversion von Wasserstoffatomen und Protonen an den mit einer dünnen Cäsiumschicht bedeckten Innenwänden des Plasmagefäßes.

Für den Einsatz an ITER werden an die Ionenquellen hohe Anforderungen bezüglich der Dichten von Ionen- und Elektronenstrom, der Pulsdauer sowie der räumlichen und zeitlichen Homogenität des Ionenstrahls gestellt. Das Erfüllen dieser Anforderungen stellt eine große physikalische und technologische Herausforderung dar.

Von besonderer Relevanz ist das kalte ($T_e \approx 1 \text{ eV}$) und dünne ($n_e \approx 10^{17} \text{ m}^{-3}$) Plasma in direkter Nähe der Plasmagitteroberfläche. Mit Unterstützung verschiedener Diagnostikmethoden wurden in den vergangenen Jahren durch experimentennahe Anwendung verschiedener theoretischer Modelle große Fortschritte bezüglich des Verständnisses der bei der Entstehung, dem Transport und der Extraktion der negativen Wasserstoffionen beteiligten komplexen Prozesse erzielt. Die unterschiedlichen Modelle sowie deren aktuellen Resultate werden im Kontext mit dem derzeitigen Stand der Entwicklung der Ionenquellen vorgestellt.

P 23.2 Fri 11:00 V57.01

Laserabsorptionsspektroskopie an zwei Sichtstrahlen zur orts aufgelösten Bestimmung der Cäsiumdynamik in Quellen negativer Wasserstoffionen — ●CHRISTIAN WIMMER¹, URSEL FANTZ^{1,2}, DIRK WÜNDERLICH¹ und NNBI-TEAM¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, 85748 Garching — ²Lehrstuhl für Experimentelle Plasmaphysik, Universität Augsburg, 86135 Augsburg

Für die Neutralteilchenheizung von ITER werden leistungsstarke Quellen negativer Wasserstoffionen benötigt. Eine effiziente Erzeugung kann an einer mit Cäsium bedampften Oberfläche durch Konversion im Plasma dissoziierten Wasserstoffs erfolgen. Aufgrund der hohen chemischen

Reaktivität ist eine kontinuierliche Verdampfung von Cäsium erforderlich, um eine stabile und homogene Schicht niedriger Austrittsarbeit auf der Oberfläche zu erhalten. Die Verteilung von Cäsium innerhalb der gepulst betriebenen Quelle negativer Ionen während Vakuumphasen wird dabei im Wesentlichen von der Geometrie der Verdampfung bestimmt. Gleichzeitig findet während Plasmaphasen eine starke Umverteilung von Cäsium aufgrund der Plasma-Wand-Wechselwirkung statt. Zur Verfolgung der Cäsiumdynamik wurde an der IPP Prototypquelle negativer Wasserstoffionen eine orts aufgelöste Laserabsorptionsspektroskopie der Cs D₂ Linie (852.1 nm) an zwei Sichtstrahlen eingesetzt. Hiermit konnte die räumliche Cäsiumdynamik in Vakuum- und Plasmaphasen für verschiedene Temperierung der Quellwände untersucht werden.

Topical Talk

P 23.3 Fri 11:15 V57.01

The dynamics of pulsed reactive CCP discharges in response to thin film deposition and dust formation — ●BRANKICA SIKIMIĆ¹, ILIJA STEFANOVIĆ¹, NADER SADEGH², and JÖRG WINTER¹ — ¹Institut für Experimentale Physik II, Ruhr Universität Bochum, Germany — ²LIPhy, Université Joseph Fourier & CNRS (UMR5588), Grenoble, France

Hydrocarbon decomposition in plasmas containing reactive gases (e.g. acetylene) leads to the formation of coatings on the reactor surfaces or particles in the plasma bulk. Our previous studies described the influence of the particles presence on various plasma parameters in the pulsed plasmas [1]. The effect of surface coatings is examined in a low-pressure CC discharge driven symmetrically at 13.56 MHz and pulsed with 100 Hz. Microwave interferometry and laser absorption spectroscopy are employed to determine electron and argon metastable (3P₂) densities, respectively. The electrode floating voltage is measured simultaneously by external LC filters. Our results show that the steady-state electron and metastable densities in the power-on phase increase with larger film thicknesses. In the plasma afterglow, the diffusion of electrons and metastable atoms is slower, indicating reduced losses due to the presence of deposited film. Furthermore, the positive ion fluxes are determined from the change of the electrode floating voltage in the plasma afterglow. The estimation of ion densities in the discharge, calculated from ion fluxes, gives a reasonable agreement with measured electron densities and predicted model [1]. [1] I. Denysenko, et al: J. Phys. D, App.Phys. 44 (2011) 205204

Invited Talk

P 23.4 Fri 11:40 V57.01

Plasma based deposition of functional nanocomposites — ●FRANZ FAUPEL — Institute of Materials Science - Multicomponent Materials, Christian-Albrechts University at Kiel, Kaiserstr. 2, 24143 Kiel

Nanocomposites combine favorable features of the constituents on the nanoscale to obtain new functionalities. The present talk is concerned with the plasma based deposition of nanocomposites consisting of metal nanoparticles in a dielectric organic or inorganic matrix and the resulting functional properties. Deposition techniques include magnetron co-sputtering of the matrix and metallic components and the combination of a gas phase aggregation cluster source with magnetron sputtering or plasma polymerization. These methods inter alia allows the incorporation of alloy clusters with well defined composition and tailored filling factor profiles. Computer simulations of the metal aggregation process will also be addressed. Examples of nanocomposites presented range from optical composites with tuned particle surface plasmon resonances for plasmonic applications and magnetic high frequency materials with cut-off frequencies above 1 GHz to antibacterial coatings which benefit from the large effective surface of nanoparticles and the increased chemical potential which both strongly enhance ion release.

Financial support by the DFG within the Collaborative Research Center TR24 "Fundamentals of Complex Plasmas" is acknowledged.

P 23.5 Fri 12:10 V57.01

Double ICP plasma jet source: theory and experiment — ●HORIA-EUGEN PORTEANU¹, ROLAND GESCHE¹, and KLAUS WANDEL² — ¹Ferdinand-Braun-Institut, Berlin, Germany — ²SENTECH Instruments GmbH, Berlin Germany

Microwave plasma jets are intended to replace large volume RF plasma reactors, used in the semiconductor technology, due to less power and material consumption. The plasma jet does not interact with the reactor walls therefore the purity of plasma is higher than in the case of RF reactors. However, the active area is limited by the relatively small diameter of the jet. Therefore the next step is the development of a plasma jet array. After the successful development of the single ICP

jet source for 3 mm and 7mm diameter ceramic tubes we developed a double ICP source. Two one-turn-coils and a common capacitor form the microwave resonator. We performed a simulation using the plasma module of Comsol. The physics combines gas flow, electromagnetics and plasma contributions. The simulation gives the time evolution of the plasma parameters during the ignition and their dependence on microwave power and gas flow. The double ICP source have been experimentally tested with Argon and Oxygen. At a working pressure of 20 Pa and a gas flow of 250 sccm we get an Oxygen plasma jet in both tubes using 20 W microwave power at 2.45 GHz. 80 % of the microwave power is transmitted to plasma; for Argon in similar conditions only 40%.

P 23.6 Fri 12:25 V57.01

Untersuchungen zum Einfluss von Elektronen eines reaktiven Magnetronplasmas im unbalanced mode auf den Energieeintrag am Substrat — ●MAIK FRÖHLICH¹, VIKTOR SCHNEIDER¹, DANIEL LUNDIN², SVEN BORNHOLDT¹ und HOLGER KERSTEN¹ — ¹Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel — ²IFM Material Physics, Linköping University, Linköping, Sweden

Die hohe Flexibilität von Magnetron-Sputter-Prozessen, die durch eine Vielzahl an wählbaren Parametern möglich ist, hat zu einer großen Bandbreite in der Anwendung dieser Technologie geführt. Aufgrund von höheren Beschichtungsraten werden für Abscheidungsprozesse in der Regel Magnetfeldkonfigurationen gewählt, bei denen das äußere Magnetfeld bei größeren Abständen zum Target das dominierende ist, das Plasma sich also nahe der Targetoberfläche ausbildet. Diese Einstellung ist als unbalanced mode bekannt und führt u.a. dazu, dass Elektronen die Entladung verlassen und sich entlang der Magnetfeldlinien in Richtung Substrat bewegen können.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden kalorimetrische Messungen an reaktiven Magnetronplasmen mit dem Ziel durchgeführt, den Einfluss von Elektronen auf den Energieeintrag an der Substratoberfläche in Abhängigkeit des Targetmaterials und des Arbeitspunktes zu charakterisieren. Das unbalanced Magnetron wurde mit Kupfer und Aluminium jeweils unter Zugabe von Sauerstoff als Reaktivgas im DC-Modus betrieben.

P 24: Diagnostik (von Hochtemperaturplasmen)

Time: Friday 10:30–12:25

Location: V57.02

Invited Talk

P 24.1 Fri 10:30 V57.02

Untersuchung der Doppler-Reflektometrie mit Fullwave-Simulationen — ●CARSTEN LECHTE¹, GARRARD CONWAY² und TOBIAS GÖRLER² — ¹Institut für Plasmaphysik, Universität Stuttgart, 70569 Stuttgart — ²MPI für Plasmaphysik, Assoc. Euratom-IPP, 85748 Garching

Doppler-Reflektometrie ist eine Mikrowellen-Diagnostik zur Vermessung von turbulenten Dichtefluktuationen und Hintergrundströmungen in Fusionsplasmen. Die Streueffizienz der Dichtefluktuationen hängt sensibel von der Hintergrunddichte und dem Magnetfeld ab. Derartige Zusammenhänge und ihre Auswirkungen auf die Interpretation des Ausgangssignals werden in diesem Beitrag mit dem eigens entwickelten Fullwave-Code IPF-FD3D [1] studiert. Dazu liefern Daten von Turbulenzsimulationen wohldefinierte Eingangssituationen. Im Allgemeinen sind genaue Kenntnisse der Magnetfeldgeometrie, des Dichteprofiles und der radialen Struktur der Turbulenz nötig, um das turbulente Spektrum aus Reflektometermessungen rekonstruieren zu können. Die Untersuchungen sind an Realbedingungen am Tokamak ASDEX Upgrade angepasst und ermöglichen einen direkten Vergleich mit experimentellen Messungen.

[1] C. Lechte, IEEE Transactions on Plasma Science **37**, 6 (2009)

Invited Talk

P 24.2 Fri 11:00 V57.02

H α Spektroskopie an Wasserstoffatomen in Fusionsplasmen: eine Herausforderung der Atomphysik — ●OLEKSANDR MARCHUK — Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich, 52425 Jülich, Germany

Die Spektroskopie an hochenergetischen Atomstrahlen neutralen Wasserstoffs spielt eine wichtige Rolle in der Diagnostik von Fusionsplasmen, wie z.B. der Messung des lokalen Magnetfelds in Tokamaks und Stellaratoren. In den Plasmen dieser Anlagen befindet sich das Atom

unter dem Einfluss des Magnet- und des elektrischen Feldes (translatorischer Stark Effekt), was die Berechnung der Intensität der einzelnen Linienkomponenten stark erschwert. Eine langjährige Diskrepanz zwischen Messungen des Stark-Effekts in Tokamak-Plasmen (JET, ALCATOR-C, usw.) und deren Interpretation auf der Basis von atomphysikalischen Modellen konnte nun geklärt werden: die Benutzung von parabolischen Zuständen auch für die Anregung der Atome bringt die Lösung und erweist sich für eine widerspruchsfreie Interpretation dieser Messungen als unbedingt notwendig [1, 2]. 1. O. Marchuk et al., J. Phys. B.: At. Mol. Opt. Phys. **43** 011002 (2010) 2. E. Delabie et al., Plasma. Phys. Contr. Fusion. **52** 125008 (2010)

Topical Talk

P 24.3 Fri 11:30 V57.02

Untersuchung von Wellenzahlspektren der Dichtefluktuationen in L- und H-moden im TJ-II Stellarator anhand von Doppler-Reflektometrie — ●TIM HAPPEL¹, TERESA ESTRADA², CARLOS HIDALGO², EMILIO BLANCO², GARRARD CONWAY¹, ULRICH STROTH¹ und DAS TJ-II TEAM² — ¹MPI für Plasmaphysik, Ass. Euratom-IPP, 85748 Garching, Deutschland — ²Lab. Nacional de Fusión, Ass. Euratom-CIEMAT, 28040 Madrid, Spanien

Die Doppler-Reflektometrie hat sich in den letzten 10 Jahren zu einer leistungsfähigen Diagnostik zur Messung von radialen elektrischen Feldern und Dichteturbulenzgraden in Fusionsplasmen entwickelt. Dabei verbindet die Doppler-Reflektometrie die Vorteile der skalenabhängigen Messung von Streudiagnostiken mit der Ortsauflösung der konventionellen Reflektometrie. Die Dopplerverschiebung des Spektrums der zurückgestreuten Welle liefert die senkrechte Geschwindigkeit des Plasmas, die Intensität der dopplerverschobenen Komponente ist proportional zum Dichtefluktuationsgrad.

Das Prinzip eines Doppler Reflektometers und das Design für den TJ-II Stellarator werden dargestellt. Überdies wird die Anwendung zur Untersuchung von Plasmageschwindigkeiten und Wellenzahlspektren

gezeigt. Besondere Aufmerksamkeit wird dem Vergleich zwischen L- und H-mode gewidmet. In der H-mode treten starke ExB Scherströmungen auf, die eine lokale Unterdrückung der Turbulenz bewirken. Die Wellenzahlspektren deuten darauf hin, dass nicht eine Dekorrelation von turbulenten Strukturen, sondern ein Energietransfer zu grossskaligen Strukturen in der Turbulenzreduktion überwiegt.

P 24.4 Fri 11:55 V57.02

Einfluss von Temperaturfluktuationen auf Plasmaturbulenzuntersuchungen mit Langmuir Sonden — ●BERNHARD NOLD¹, MIRKO RAMISCH¹, TIAGO RIBEIRO², ZHOUJI HUANG¹, HANS WERNER MÜLLER², BRUCE SCOTT², ULRICH STROTH^{1,2} und THE ASDEX UPGRADE TEAM² — ¹Institut für Plasmaphysik, Universität Stuttgart — ²Max-Planck Institut für Plasmaphysik, EURATOM Association, Garching

Turbulenz am Rand heißer Fusionsplasmen wird oft mit Langmuirsonden gemessen. Die Zuverlässigkeit solcher Messungen nahe der Separatrix wurde in GEMR gyro-fluid Simulationen und am Tokamak ASDEX Upgrade mit Hilfe einer emissiven Sonde sowie durch konditionelle Mittelung von Sondenkennlinien untersucht. Experiment und Simulation zeigen Dichtefluktuationen nahe der Separatrix kohärent und in Phase mit Plasmapotential- und Elektronentemperaturfluktuationen. Dichtefluktuationen werden relativ gut durch den Ionensättigungsstrom reproduziert. Floatingpotentialmessungen dagegen sind stark von Temperaturfluktuationen beeinflusst und weichen deutlich vom Plasmapotential ab. Ohne Berücksichtigung der Temperatur scheint die Interpretation von Floating- als Plasmapotentialfluktuationen nahe der Separatrix heißer Fusionsplasmen nicht gerechtfertigt zu sein. Die Betrachtung der Floatingpotentiale würde im vorliegenden Fall zu verfälschten Ergebnissen bezüglich der $E \times B$ Dynamik turbulenter

Strukturen führen. Davon betroffen sind der turbulente Transport von Teilchen und Impuls, sowie die Dichte-Potential Phasenbeziehung zur Bestimmung von Plasmastabilitäten.

P 24.5 Fri 12:10 V57.02

Radially resolved K_α spectra of argon using the new W7-X imaging Bragg spectrometer at the tokamak TEXTOR — ●TOBIAS SCHLUMMER¹, OLEKSANDR MARCHUK¹, GÜNTER BERTSCHINGER¹, WOLFGANG BIEL¹, RAINER BURHENN², DETLEV REITER¹, and THE TEXTOR TEAM¹ — ¹Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich, Jülich — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Greifswald

A new compact imaging Bragg spectrometer, developed for the stellarator W7-X and optimized for measuring K_α spectra of He-like impurity ions, has been installed and successfully tested at the tokamak TEXTOR. The high spatial and wavelength resolution of the obtained argon spectra demonstrates an excellent operation performance for future use at W7-X. Six different channels featuring a two dimensional CCD detector chip each provide radial profiles of the ion and electron temperature as well as the poloidal rotation. The measured temperatures are compared to data from charge exchange recombination spectroscopy and electron cyclotron emission. Furthermore the spectrometer is used to study the ionization balance of H-, He-, and Li-like argon in TEXTOR plasmas which is affected by charge-exchange recombination due to neutral heating beams and recycling neutrals*. The comparison between theoretical models and the experimental data are presented and discussed in detail. * G. Bertschinger and O. Marchuk, R. E. H. Clark (Ed.), D. H. Reiter (Ed.), Nuclear Fusion Research, Understanding Plasma-Surface Interactions (Springer, 2004) p. 183.

P 25: Plasmatechnologie II (Hochdruckkonzepte)

Time: Friday 14:00–15:50

Location: V57.01

Invited Talk

P 25.1 Fri 14:00 V57.01

Plasma processes in high voltage circuit breakers — ●MARTIN SEEGER — ABB Switzerland Ltd, Corporate Research, 5405 Baden-Dättwil, Switzerland

High voltage circuit breakers (HVCB) are used in high voltage transmission and distribution networks. They have to safely control the current flow under normal operating conditions and interrupt fault currents under abnormal operating conditions. At transmission voltage levels mostly gas circuit breakers, using SF₆ as insulation and interrupting medium are used. The talk will focus on such type of breakers. During current interruption an electric arc develops between two contacts and the current is interrupted by efficient cooling of the arc. After current interruption the network voltage develops between the contacts of the HVCB. Within a few ten microseconds the gap between the contact has to develop a sufficiently high dielectric withstand to avoid failure of the device. The arc control, cooling and fast development of dielectric withstand are one of the most challenging issues for HVCB. In open contact position the HVCB has to safely withstand the network voltage including transient voltage variations. The complex plasma processes in HVCB and related research activities will be presented. These comprise processes in the arc, at the electrodes, at the walls and during and after current interruption.

Topical Talk

P 25.2 Fri 14:30 V57.01

Pollution control using an atmospheric packed-bed reactor: Plasma surface interaction and species conversion — ●MARKO HÜBNER¹, OLIVIER GUAITELLA², ANTOINE ROUSSEAU², and JÜRGEN RÖPCKE¹ — ¹INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, D-17489 Greifswald, Germany — ²LPP, Ecole Polytechnique, CNRS, 91128 Palaiseau Cedex, France

Over the last decade environmental concerns have increased research activities of pollution destruction using packed-bed reactors. The embedment of dielectric material into the volume can lead to heterogenic catalysis between active sites on the surface and gas fragments i.e. catalyzed plasma reactions at surfaces. Those processes are influenced by the spatial appearance of the active plasma region close to the surface. The gas fragments have to reach the surface before volume reactions, in particular collisions, can take place. Therefore, the dimension of the active plasma volume should be in order of the mean free path. For

several electrode configurations, the appearance of the discharge has been studied using optical imaging techniques. The results show, that the dimension of the discharge region is significantly influenced by the shape of the electrodes. As an example, the destruction of ethylene and toluene in a multi stage packed-bed reactor has been studied in detail. The gas composition has been identified and quantified using IR absorption spectroscopy. The formation of up to 10 by-products, the destruction rate, the carbon balance and the influence of the number of active stages has been analyzed.

Topical Talk

P 25.3 Fri 14:55 V57.01

Diagnostik und gezielte Erzeugung reaktiver Spezies in kalten Atmosphärendruckplasmen für plasmamedizinische Anwendungen — ●STEPHAN REUTER^{1,2}, JÖRN WINTER^{1,2}, MALTE HAMMER^{1,2}, KAI MASUR^{1,2}, KRISTIAN WENDE^{1,2} und KLAUS-DIETER WELTMANN² — ¹ZIK plasmatis, Felix-Hausdorff Str. 2, 17489 Greifswald — ²INP Greifswald Felix-Hausdorff Str. 2 17489 Greifswald

In den letzten Jahren sind kalte Nichtgleichgewichtsplasmen in ihrer Homogenität und Erzeugung reaktiver Komponenten so weiterentwickelt worden, dass sie zur Behandlung in der therapeutischen Medizin eingesetzt werden können. Will man für Behandlungsprozesse gezielt reaktive Plasmaspezies erzeugen, ist ein detailliertes Verständnis der in den Plasmen ablaufenden Mechanismen unerlässlich. Der Vortrag erläutert am Beispiel von zwei Atmosphärendruckplasmaquellen - einem Plasmajet und einer Oberflächen-DBD - optische Diagnostikmöglichkeiten atomarer und molekularer Spezies. Es wird gezeigt, wie eine Korrelation von numerischen mit diagnostischen Methoden wesentliche Erkenntnisse über die Verteilung und Erzeugung reaktiver Spezies in den Plasmen liefert. Die von den kalten Atmosphärendruckplasmen erzeugten Moleküle sind die Moleküle, welche auch im menschlichen Körper selbst als Signalmoleküle agieren. Im Bereich der Medizin sind daher durch maßgeschneidertes Einbringen plasmaerzeugter Spezies neue Therapieansätze zu erwarten. Der Vortrag zeigt zudem, dass für die interdisziplinäre von Biologen und Physikern betriebene plasmamedizinische Forschung eine Standardisierung von Plasmabehandlungsabläufen und diagnostischen Methoden Voraussetzung sein muss.

P 25.4 Fri 15:20 V57.01

Detektion von Ozon in einem MHz-Argon-Plasmajet — ●MARIO DÜNNBIER^{1,2}, JÖRN WINTER^{1,2}, SYLVAIN ISENI^{1,2}, ANS-

GAR SCHMIDT-BLEKER^{1,2}, KLAUS-DIETER WELTMANN² und STEPHAN REUTER^{1,2} — ¹Zentrum für Innovationskompetenz plasmatis, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald, Deutschland — ²Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie (INP Greifswald), Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald, Deutschland

Ein Atmosphärendruck Plasmajet mit Argon als Betriebsgas und geringen Sauerstoffzumischungen (< 2 %) wurde hinsichtlich seiner Ozonproduktionsrate untersucht. Die erste Methode ist die UV Absorptionsspektroskopie im Bereich des Hartley-Bandes. Mit dem experimentellen Aufbau wurde die optische Dichte von Ozon in zwei Dimensionen gemessen und daraus eine dreidimensionale Verteilung von Ozon durch eine Abeltransformation berechnet. Die zweite Methode ist die Quantenkaskadenlaser-Absorptionsspektroskopie im mittleren Infrarotbereich unter Benutzung einer Multipasszelle. Diese Methode ist hoch sensitiv und ermöglicht die Bestimmung einer räumlich gemittelten Ozonkonzentration mit hoher Genauigkeit. Somit ist es möglich die Ozonkonzentration, welche nur durch eindiffundierenden Umgebungssauerstoff und damit ohne aktive Zumischung von Sauerstoff in den Argon-Plasmajet-Effluente entsteht, zu messen. Ein Vergleich beider komplementären Diagnostiken bezüglich der Ozonproduktionsrate zeigt eine exzellente Übereinstimmung [1].

[1] S. Reuter et al., "Detection of Ozone in a MHz Argon Plasma Bullet Jet", PSSST Special Issue Plasma Jets and Bullets (eingereicht)

P 25.5 Fri 15:35 V57.01

Untersuchung plasmagenerierter reaktiver Sauerstoffspezies — ●HELENA TRESP^{1,2}, MALTE UVO HAMMER^{1,2}, KLAUS-DIETER WELTMANN² und STEPHAN REUTER^{1,2} — ¹Zentrum für Innovationskompetenz Plasmatis, Felix-Hausdorff-Straße 2, 17489 Greifswald — ²Leibniz Institute für Plasmaforschung und Technologie (INP) Greifswald, Felix-Hausdorff-Straße 2, 17489 Greifswald

Reaktive Sauerstoffspezies (ROS) spielen in biol. Systemen eine wichtige Rolle, sie sind für oxydativen Stress und einer Reihe von phys. Prozessen verantwortlich. Beispielsweise dienen sie als Signalmoleküle bei der Zellproliferation und -differenzierung. Neben dem Hydroxylradikal und dem Superoxidradikal gehört auch das Stickstoffoxidradikal und nichtradikalische Sauerstoffabkömmlinge zur Gruppe der ROS. Die zu untersuchenden Radikale werden mittels Atmosphärendruck Plasmaquellen (einer Flüssigkeitsentladung und eines Plasmajets) in phys. Flüssigkeiten erzeugt und direkt mittels Elektronen-paramagnetischer-Resonanz (EPR) Spektroskopie quantitativ und qualitativ detektiert. Die Problematik der Detektion besteht in den sehr kurzen Halbwertszeiten der Radikale und in der Untersuchungsbedingungen bei Raumtemperatur in Flüssigkeiten. Für die Messungen werden sogenannte Spin Traps eingesetzt, diese bilden mit dem Radikal einen stabile Addukt, so dass beispielsweise das Hydroxylradikal statt einige Nanosekunden nun 10-15min nachweisbar ist. Verglichen mit anderen Detektierverfahren kann das EPR (abhängig vom verwendeten Spin Trap) zwischen den einzelnen Radikalen unterscheiden. Durch die EPR-Messung erhält man die absolute Konzentration der Radikale.

P 26: Plasma-Wand-Wechselwirkung

Time: Friday 14:00–16:00

Location: V57.02

Invited Talk

P 26.1 Fri 14:00 V57.02

Erste Erfahrungen im Plasmabetrieb mit metallischer Wand in JET — ●SEBASTIJAN BREZINSEK — Institute of Energy and Climate Research - Plasma Physics, Forschungszentrum Jülich, Association EURATOM-FZJ, Jülich, Germany

Nach Installation der ITER-ähnlichen Wand, bestehend aus Beryllium-Wandkomponenten und Wolfram-Divertor-Prallplatten, startete im September 2011 der Divertorbetrieb. Die ersten Experimente wurden in L-mode durchgeführt, und dienten der Untersuchung der Plasma-Wand-Wechselwirkung, der Plasmacharakterisierung und dem Vergleich des Divertorbetriebs mit Wolfram gegenüber Kohlenstoffverbundstoff. Die Zerstäubung von Be durch D im Hauptraum, der Transport von Be in den Divertor, sowie die anschließende Deposition auf W wurde in den ersten 1000s bis zur Einstellung eines Gleichgewichts spektroskopisch beobachtet. Gasbilanzstudien zeigen eine Reduktion des Brennstoffrückhalts von mehr als einer Größenordnung im Vergleich zu der vorhergehenden Kohlenstoffwand. Ebenso wie der nachhaltige Brennstoffrückhalt hat sich mit Austausch der Wand auch der Kohlenstofffluss im Divertor um einen Faktor 5-7 reduziert. Sauerstoff als Verunreinigung ist vernachlässigbar gering. Die Reinheit des Plasmas führte in Abwesenheit von ausreichender Verunreinigungsstrahlung zur signifikanten Erhöhung der Elektronentemperatur im äußeren Divertor auf ca. 50 eV im Niedrigdichtebetrieb. Signifikante Wolframerosion konnte nur hier spektroskopisch nachgewiesen werden. Im sogenannten Hochdichtebetrieb, wie er in ITER vorgesehen ist, liegt die Temperatur dagegen unter 10eV und unter der Nachweisgrenze.

Invited Talk

P 26.2 Fri 14:30 V57.02

Wolfram-Spektroskopie an Fusionsplasmen - Wertvolle Information aus komplexen Spektren — ●T. PÜTTERICH¹, R. NEU¹, R. DUX¹, C. BIEDERMANN², S. BREZINSEK³, J.W. COENEN³, G.J. VAN ROOIJ⁴ und ASDEX UPGRADE TEAM¹ — ¹MPI für Plasmaphysik, EURATOM-Association, Garching — ²MPI für Plasmaphysik, EURATOM-Association, Greifswald — ³FZJ, Association EURATOM-FZJ, Jülich — ⁴FOM Rijnhuizen, Association EURATOM-FOM, Nieuwegein, Netherlands

Wolfram (W) ist ein wichtiger Kandidat für das Material der ersten Wand eines Fusionsreaktors und wird schon heute an JET und ASDEX Upgrade eingesetzt. Die Diagnose von W-Zuflüssen erfordert Spektroskopie von neutralem und niedrig-geladenem W. Zur Interpretation wird dabei die sog. S/XB-Methode verwendet, bei der das Verhältnis von Ionisations- und Anregungskoeffizienten benötigt wird.

Die spektralen Emissionen aus dem eingeschlossenen Plasma stammen vornehmlich aus dem VUV bis Röntgenbereich. In diesem Bereich

emittiert W sehr viele schwache Spektrallinien. Oftmals können die spektralen Strukturen nicht in Einzellinien aufgelöst werden, welche von vielen benachbarten Ionenstufen stammen. Daher müssen sowohl bei der Berechnung dieser Strukturen als auch bei der Interpretation der experimentellen Daten neue Wege beschritten werden, um W-Konzentrationen bestimmen zu können.

Neben dem Vergleich mit heute zugänglichen experimentellen Daten, werden in einem Ausblick die W-Emissionen, wie sie in einem zukünftigen Fusionsreaktor erwartet werden, vorgestellt.

P 26.3 Fri 15:00 V57.02

Analysis of erosion and material migration in a 3D plasma boundary at TEXTOR — ●R. LAENGNER, O. SCHMITZ, A. KIRSCHNER, A. KRETER, S. BREZINSEK, M. LAENGNER, J.W. COENEN, S. MÖLLER, P. WIENHOLD, and U. SAMM — Institute of Energy and Climate Research - Plasma Physics, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Partner in the Trilateral Euregio Cluster, Jülich, Germany

For the mitigation of Edge Localized Modes, magnetic perturbation (RMP) coils are planned for ITER. Modeling shows that ITER strike lines break up into three dimensional structures during RMP application. This has been observed and analyzed at the TEXTOR Dynamic Ergodic Divertor (DED) and other tokamaks as well. Experiments at TEXTOR were performed to quantify erosion and material migration processes in the 3D plasma boundary. Carbon test limiters were exposed to both a non perturbed plasma and one with RMP. During the plasma discharges, methane ¹³CH₄ was puffed through a hole in the limiter, for enlarging the erosion source, where ¹³C acted as a tracer material. The direction of the light emission formed by the injected particles, observed in CII, CIII and CH light, was tilted clearly against the typical flag in the ExB drift direction of the non-RMP case. This was quantified by Nuclear Reaction Analysis (NRA), via measurements of ¹³C deposition patterns. NRA also showed an increase of fuel retention during RMP. This effect is probably caused by a decrease of the surface temperature by 40%. This shows that the 3D topology impacts the plasma parameters and hence the erosion and migration processes.

P 26.4 Fri 15:15 V57.02

Eindringtiepen von injiziertem/zerstäubtem Wolfram im Randschichtplasma von TEXTOR — ●M. LAENGNER, S. BREZINSEK, J.W. COENEN, A. POSPIESZCZYK, D. KONDRATYEV, D. BORODIN, V. PHILIPPS, U. SAMM und DAS TEXTOR -TEAM — Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Trilaterales Euregio Clus-

ter, Jülich

Zur Quantifizierung der W-Erosion und Untersuchung des Verhaltens von W unter unterschiedlichen Plasmabedingungen wurden 2 Experimente am Tokamak TEXTOR durchgeführt. Zum einen konnte durch WF₆-Injektion in das Randschichtplasma eine kontrollierbare W-Quelle realisiert werden mit dem Ziel inverse Photoeffizienzen zur Absolutmessung von W-Flüssen zu bestimmen. Zum anderen wurde ein W-Limiter zur Untersuchung der W-Erosion unter Variation der lokalen Plasmaparameter dem Randschichtplasma ausgesetzt. Für beide Experimente werden die Linienprofile unterschiedlicher WI-Linien und deren Eindringtiefen ins Plasma miteinander verglichen. Dadurch kann eine Aussage darüber getroffen werden, in wie weit injiziertes W hinsichtlich der Energieniveau-Population und der kinetischen Energien mit erodiertem W vergleichbar ist und somit als Simulation für eine W-Quelle dienen kann. Hierbei zeigt die Betrachtung der Eindringtiefen in Abhängigkeit der Plasmaparameter für W beider Freisetzungsprozesse deutliche Unterschiede auf. Darüber hinaus werden die Berechnungen des Stoss-Strahlungs-Codes GKU und des Transport-Codes ERO auf Übereinstimmung mit den experimentellen Befunden hin überprüft.

P 26.5 Fri 15:30 V57.02

Investigations of Porosity Enhanced Removal of Fuel Containing Carbon Codeposits by Thermo-Chemical Removal — ●SÖREN MÖLLER, ARKADI KRETER, HANS GÜNTER ESSER, and ULRICH SAMM — Institute for Energy- and Climate Research - Plasma Physics, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Partner in Trilateral Euregio Cluster, Jülich, Germany

Thermo-chemical removal (TC) of amorphous hydrogenated carbon layers (a-C:H,D,T) with reactive gases is a candidate to reduce tritium retention in fusion devices. A significant scatter of the removal rates at similar wall temperatures and pressures is observed. For a better understanding a model was developed here, showing that the scatter can be explained by layer properties. a-C:H layers can have a substantial amount of porosity, forming an open pore network. The diffusion of gas through this network will enable reactions of the removal gas in the whole layer volume. Based on this porosity and the Arrhenius tem-

perature dependence of removal rates, a reaction-diffusion differential equation is formulated. According to the model, the absolute removal rates are proportional to the layer thickness up to a layer property dependent value. This understanding may contribute to the design of an integral scenario for the T-inventory control in fusion devices. To test the model experimentally, TC experiments with different layer thicknesses were performed in the labfacility PADOS. Other parameters, such as the wall temperature of 350°C, the total oxygen pressure of 10mbar and the initial layer texture were kept constant. The comparison of experiment and model will be presented in the contribution.

P 26.6 Fri 15:45 V57.02

Surface vibrational relaxation of N₂ studied by CO₂ titration with time resolved quantum cascade laser absorption spectroscopy — ●DMITRY LOPATIK¹, DANIL MARINOV², OLIVIER GUAITELLA², MARKO HÜBNER¹, YURY IONIKH³, JÜRGEN RÖPCKE¹, and ANTOINE ROUSSEAU² — ¹INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, Greifswald, Germany — ²LPP, Ecole Polytechnique, Université Paris Sud-11, Palaiseau, France — ³St Petersburg State University, Institute of Physics, Ulianovskaya 1, St Petersburg, Russia

In our study a new method for the determination of the wall de-excitation probability of vibrationally excited N₂ at different surfaces exposed to low pressure plasmas has been developed. A short only few ms long DC discharge pulse was applied to a mixture containing 0.05-1% of CO₂ in N₂ at a pressure of 133 Pa. In these low pressure conditions the main quenching process of N₂(v) is heterogeneous relaxation. Due to a nearly resonant fast vibrational transfer between N₂ and the asymmetric v₃ mode of CO₂ the vibrational excitation of these titrating molecules reflects the degree of vibrational excitation of N₂. In the afterglow the vibrational relaxation of CO₂ was monitored in-situ using quantum cascade laser absorption spectroscopy (QCLAS). The results were interpreted in terms of a numerical model of non-equilibrium vibrational kinetics in CO₂-N₂ mixtures. The values of de-excitation probability were determined for Pyrex, fused silica and TiO₂ from the best agreement between measured and simulated relaxation kinetics. The effect of the CO₂ admixture on the N₂(v) relaxation in the gas phase and on the surface is discussed.