

## P 23: Theorie und Modellierung von Niedertemperaturplasmen II

Zeit: Freitag 9:45–12:10

Raum: HS 3

P 23.1 Fr 9:45 HS 3

**Green function of electric field in a three-layered plasma structure** — ●ALI ARSHADI, RALF PETER BRINKMANN, and THOMAS MUSSENBRÖCK — Theoretical Electrical Engineering, Ruhr University Bochum, D-44780 Bochum

Reactive plasmas are widely used for materials processing, especially in etching and deposition applications. The electron density is an important parameter for the understanding of plasma sources and plasma processing. Of the many available Plasma diagnostics techniques, only few are suitable for an industrial and commercial setting. Typical methods to measure the electron density are the Langmuir probe and the microwave interferometer. As is well known, the Langmuir probe has certain problems in processing plasmas and radio frequency plasma sources.

In this contribution we study the radiation of an electric dipole in a three-layered structure (dielectric, sheath and bulk plasma) as the simplest microwave (but still complicated to analyse) probe and as the fundamental part of a real microwave probe. In fact the electromagnetic field of a dipole can be considered as the Green function of a real system.

We compute this Green function in the form of an integral whose integrand oscillates very fast and as a result some special mathematical techniques have to be applied in order to obtain the electromagnetic fields of dipole in a layered system of plasma.

P 23.2 Fr 10:00 HS 3

**Analyse der Ausbreitung von Mikrowellen in einem Plasma** — ●DANIEL SZEREMLEY, RALF PETER BRINKMANN und THOMAS MUSSENBRÖCK — Lehrstuhl Theoretische Elektrotechnik Ruhr-Universität Bochum

Auf Grund ihrer besonderen Eigenschaften sind Mikrowellenentladungen ein wichtiges Werkzeug für die Beschichtungstechnik. Insbesondere die Möglichkeit, durch eine zusätzliche Bias-Spannung Ionen Energieverteilungsfunktionen vor Substraten über einen großen Bereich nahezu frei einstellen zu können, macht diese Entladungen zu leistungsstarken Werkzeugen zur Abscheidung nanostrukturierter Funktionsschichten. Eine weitreichende Analyse der Moden und Ausbreitungseigenschaften elektromagnetischer Wellen in einem Plasma entlang einer Antenne ist von besonderem Interesse. Diese Informationen sind notwendig, um einen Plasmareaktor den Ansprüchen der jeweiligen Anwendung optimal anpassen zu können. In diesem Beitrag werden numerische Simulationsergebnisse einer Mikrowellenentladung in einem Plasma präsentiert, die mittels eines selbstkonsistenten Hybrid-Codes berechnet wurde. Im Mittelpunkt steht dabei die Charakterisierung der Entladung und der sich ausbreitenden Oberflächenwellen entlang der Antenne.

Die Autoren danken der Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB-TR 87

P 23.3 Fr 10:15 HS 3

**Untersuchungen zur Homogenität eines negativen Wasserstoff-Ionenstrahls in großflächigen Ionenquellen** — ●BENJAMIN RUF, PETER FRANZEN, URSEL FANTZ und NNBI-TEAM — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, 85748 Garching, EURATOM Association

In der Ionenquelle für die ITER-Neutralteilcheninjektion werden negative Wasserstoff- oder Deuteriumionen an dem cäsiumbeschichteten Plasmagitter erzeugt, dann extrahiert und in einem Gittersystem auf bis zu 1 MeV beschleunigt. Für die Homogenität der extrahierten Stromdichte negativer Ionen direkt an den Extraktionsaperturen wird von ITER ein Wert von über 90% gefordert. Eine direkte Messung dieser Homogenität ist jedoch wegen der Unzugänglichkeit mit Diagnostiken nicht möglich. Sie ist aber Voraussetzung für einen homogenen Ionenstrahl und damit auch für geringe Transmissionsverluste.

Die Modellierung des Ionenstrahls und der Beamdiagnostiken an den Testständen des MPI für Plasmaphysik mit dem neu entwickelten Code BBC-NI (Bavarian Beam Code for Negative Ions) soll Rückschlüsse auf die Homogenität der extrahierten Ionenstromdichte liefern, um so Betriebsszenarien aufzuzeigen, bei denen die Erzeugung eines ITER relevanten Ionenstrahls möglich ist. Für einen Benchmark des Codes mit Messungen an der Ionenquelle, dessen Ergebnisse vorgestellt werden, stehen als Diagnostiken Strom- und kalorimetrische Messungen, sowie

die Beam-Emissionsspektroskopie (BES), zur Verfügung. Als erstes Resultat zeigt sich, dass die Illumination der einzelnen Gitteraperturen mit negativen Ionen nicht als homogen angenommen werden darf.

P 23.4 Fr 10:30 HS 3

**Kinetische Simulationen kapazitiv gekoppelter Mehrfrequenz-Sputterquellen** — ●DENIS EREMIN, TORBEN HEMKE, RALF PETER BRINKMANN und THOMAS MUSSENBRÖCK — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

Es wurde gezeigt, dass kapazitive Multifrequenzentladungen zur Abscheidung nanostrukturierter Funktionsschichten genutzt werden können. Die Hochskalierung der Entladung hinsichtlich Größe, Frequenz und Leistung, sowie das Erreichen einer Sputterausbeute vergleichbar mit der von Magnetron-Sputterquellen wirft allerdings Fragen auf, die mit derzeit verfügbaren Plasmamodellen nicht geklärt werden können. Von besonderer Bedeutung sind elektromagnetische Effekte, die unerwünschte Inhomogenitäten verursachen und damit die Sputter- und Beschichtungsprozesse erheblich beeinträchtigen. In diesem Beitrag wird ein Modell vorgestellt, dass in der Lage ist, die komplexe Dynamik großer kapazitiver Mehrfrequenzplasmen zu beschreiben. Der entsprechende Simulationscode, der für Graphics Processing Units entwickelt wurde, basiert auf der Particle-In-Cell-Methode mit Monte-Carlo-Stößen, wobei elektromagnetische Effekte im Rahmen der Darwin-Approximation berücksichtigt werden. (Die Arbeit wird gefördert durch die DFG im Rahmen des Sonderforschungsbereichs TRR87.)

P 23.5 Fr 10:45 HS 3

**Theoretische Basis von Plasma- und Schichtmodellierung in optischen Beschichtungsprozessen** — ●BENJAMIN SCHRÖDER<sup>1</sup>, RALF PETER BRINKMANN<sup>1</sup>, MARCUS TUROWSKI<sup>2</sup>, THOMAS FRAUENHEIM<sup>3</sup>, THOMAS KÖHLER<sup>3</sup>, MARC LANDMANN<sup>4</sup>, JENS HARHAUSEN<sup>5</sup>, RÜDIGER FOEST<sup>5</sup>, ANDREAS OHL<sup>5</sup>, NORBERT KAISER<sup>6</sup>, OLAF STENZEL<sup>6</sup> und STEFFEN WILBRANDT<sup>6</sup> — <sup>1</sup>Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum — <sup>2</sup>LZH, Hannover — <sup>3</sup>BCCMS, Universität Bremen — <sup>4</sup>Nachwuchsforscherguppe "Computational Materials Science", Universität Paderborn — <sup>5</sup>INP Greifswald e.V. — <sup>6</sup>IOF, Jena

Die Modellierung von optischen Beschichtungsprozessen mit den Techniken Plasma Ion Assisted Deposition (PIAD) und Ion Beam Sputtering (IBS) wurde im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts "PluTO" untersucht. In diesen Prozessen sind nicht nur dissoziierte Beschichtungsdämpfe und Prozessgase von Bedeutung, sondern auch Plasmen, die entweder zwangsläufig erzeugt werden (IBS-Prozesse) oder gezielt zur Schichtverbesserung genutzt werden (PIAD-Prozesse). Es soll dargestellt werden, welche Möglichkeiten und Techniken zur Modellierung des Plasmas und Schichtwachstums in optischen Beschichtungsprozessen in Entwicklung und Einsatz sind, wobei insbesondere auf die Plasma-Modellierung von PIAD-Prozessen eingegangen wird.

Fachvortrag

P 23.6 Fr 11:00 HS 3

**PIConGPU - A Highly-Scalable Particle-in-Cell Implementation for GPU Clusters** — ●MICHAEL BUSSMANN<sup>1</sup>, HEIKO BURAU<sup>1</sup>, ALEXANDER DEBUS<sup>1</sup>, AXEL HÜBL<sup>1</sup>, THOMAS KLUGE<sup>1</sup>, RICHARD PAUSCH<sup>1</sup>, NILS SCHMEISSER<sup>1</sup>, BENJAMIN SCHNEIDER<sup>1,2</sup>, KLAUS STEINIGER<sup>1</sup>, RENE WIDERA<sup>1</sup>, NIKOLAI WYDERKA<sup>1</sup>, ULRICH SCHRAMM<sup>1</sup>, THOMAS COWAN<sup>1</sup>, FELIX SCHMITT<sup>3</sup>, SEBASTIAN GROTTTEL<sup>2</sup>, STEFAN GUMHOLD<sup>2</sup>, GUIDO JUCKELAND<sup>2,4</sup>, and WOLFGANG NAGEL<sup>2,4</sup> — <sup>1</sup>HZDR, Dresden — <sup>2</sup>TU Dresden — <sup>3</sup>NVIDIA, Austin — <sup>4</sup>ZIH, Dresden

PIConGPU can handle large-scale simulations of laser plasma and astrophysical plasma dynamics on GPU clusters with thousands of GPUs. High data throughput allows to conduct large parameter surveys but makes it necessary to rethink data analysis and look for new ways of analyzing large simulation data sets. The speedup seen on GPUs enables scientists to add physical effects to their code that up until recently have been too computationally demanding. We present recent results obtained with PIConGPU, discuss scaling behaviour, the most important building blocks of the code and new physics modules recently added. In addition we give an outlook on data analysis, resilience and load balancing with PIConGPU.

P 23.7 Fr 11:25 HS 3

**Wiedergabe von Wellenmoden in Particle in Cell Codes**

— ●PATRICK KILIAN<sup>1</sup>, URS GANSE<sup>2</sup>, ANDREAS KEMPF<sup>1</sup>, CEDRIC SCHREINER<sup>1</sup>, STEFAN SIEGEL<sup>1</sup> und FELIX SPANIER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für theoretische Physik und Astrophysik, Universität Würzburg, Deutschland — <sup>2</sup>Fysiikkaan Laitos, Helsingin Yliopisto, Finnland

Kinetische Simulationen mit Particle in Cell Codes erfordern neben der korrekten Wiedergabe der Teilchendynamik eine numerische Lösung der Maxwell-Gleichungen.

Aufgrund der räumlichen Diskretisierung des Simulationsraumes bietet sich eine Approximation über finite Differenzen in Zeit und Raum (FDTD) an. Geschickte Wahl des numerischen Ableitungsoperator erlaubt längere Zeitschritte und erzeugt bessere Isotropie der Wellenausbreitung und Energieerhaltung.

Zusätzlich zur Wellenausbreitung benötigt ein PiC Code die von den Teilchen erzeugten Ströme als Quellterme in den Maxwell-Gleichungen. Unterschiedliche Formfaktoren sowie Filterung der Ströme erzeugen unterschiedliche spektrale Energieverteilungen, die sich mit analytischen Lösungen der Vlasov-Gleichung vergleichen lassen.

P 23.8 Fr 11:40 HS 3

**Yee-Gitter in (semi-) impliziten Particle-in-cell Codes**

— ●ANDREAS KEMPF<sup>1</sup>, URS GANSE<sup>2</sup>, PATRICK KILIAN<sup>1</sup> und FELIX SPANIER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Lehrstuhl für Astronomie, Universität Würzburg — <sup>2</sup>Fysiikkaan Laitos, Helsingin Yliopisto

Implizite Methoden erlauben es, Particle-in-Cell Simulationen auf grö-

ßeren Raum- und Zeitskalen durchzuführen. Um unphysikalische Effekte durch eine nichtverschwindende Divergenz des Magnetfeldes zu unterdrücken, wurde ein bestehender, impliziter Algorithmus [Petrov und Davis, 2011] modifiziert und ein staggered mesh eingeführt. Gegenüber dem ursprünglichen Schema konnte somit die Divergenz um mehrere Größenordnungen verringert werden. Die sonstigen Eigenschaften des Algorithmus bleiben erhalten.

P 23.9 Fr 11:55 HS 3

**Teilchenbeschleunigung an CME-getriebenen Schockfronten**

— ●PATRICK KILIAN<sup>1</sup>, RAMI VAINIO<sup>2</sup>, URS GANSE<sup>2</sup> und FELIX SPANIER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für theoretische Physik und Astrophysik, Universität Würzburg, Deutschland — <sup>2</sup>Fysiikkaan Laitos, Helsingin Yliopisto, Finnland

Durch Rekonfiguration solarer Magnetfelder können große Mengen von Plasma ins umgebende Weltall geschleudert werden. Diese koronalen Masseauswürfe (CMEs) sind mit etwa 1000 km/s schneller als der Sonnenwind und treiben daher eine Schockfront vor sich her. An dieser Schockfront können Teilchen beschleunigt werden. Die Schockfronten sind quasi kollisionsfrei und damit der Modellierung mit kinetischen Simulationen zugänglich. Die deutlich unterschiedlichen Größen von Alfvén-, Schock- und Lichtgeschwindigkeit bergen Herausforderung bei der numerischen Modellierung. Mit massiv parallelen Simulationen und geschicktem Sampling des Phasenraums wurden erste Elektronenspektren bei realistischen Parametern berechnet.