

Plasmaforschung und -lehre an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel ist die einzige Volluniversität in Schleswig-Holstein. Sie wurde 1665 gegründet und ist nach ihrem Gründer, Herzog Christian Albrecht von Schleswig-Holstein-Gottorf, benannt. Die Institute IEAP (Institut für Experimentelle und Angewandte Physik) und ITAP (Institut für Theoretische Physik und Astrophysik) sind seit vielen Jahren auf folgenden Forschungsgebieten tätig:

- Festkörperphysik
- Physik der Oberflächen
- Plasmaphysik
- Extraterrestrische Physik
- Theoretische Physik
- Astrophysik

In der Arbeitsgruppe Plasmatechnologie des IEAP werden die Themen Komplexe Plasmen, Gasentladungen und Plasma-Wand Wechselwirkungen behandelt. Ein wichtiger Arbeitsschwerpunkt ist auch die nichtkonventionelle Plasmadiagnostik mit Hilfe von Energiestrommessungen, Kraftmessungen und mikroskopischen Partikelsonden.

Derzeit sind folgende Schwerpunkte aktuell:

Plasmaquellen zur Modifizierung nano- und mikrodisperser Materialien

Forschungsthemen sind die Oberflächenmodifizierung von Pulvern, Fasern und Schüttgütern, die Entwicklung von Plasmaverfahren zur Pulverbehandlung unter Nieder- und Atmosphärendruck (z. B. HKGE, DBE) und die Abscheidung partikelhaltiger Schichten. Ziele sind die Veränderung der optischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften von Partikel- und Festkörperoberflächen, die Herstellung von Nano- und Mikropartikeln mit maßgeschneiderten Oberflächen durch Veränderung der Benetzbarkeit oder Funktionalisierung und die Beschichtung von Oberflächen. Anwendungsbeispiele sind z. B. Füllstoffe für Lacke und Farben, der Verschleiß- und/oder UV-Schutz von partikelverstärkten Kunststoffen, polymorphe Solarzellen, neuartige Verbundwerkstoffe oder Medikamente mit gezielter Wirkstoffabgabe.

Diagnostik und Modellierung der Plasma-Partikel-Wechselwirkung

In diesem DFG-Projekt werden Mikropartikel als elektrostatische, thermische und chemische Sonden im Plasma verwendet, das Aufladungsverhalten von Partikeln untersucht und minimalinvasive, nichtkonventionelle Randschichtdiagnostik und Simulation betrieben. Erarbeitet werden soll die für eine reproduzierbare Oberflächenbearbeitung mit Prozessplasmen (Beschichten, Ätzen, Modifizieren) erforderliche Charakterisierung von Plasma und Randschicht mittels Thermosonden (aktiv, passiv), Langmuir-Sonden und Mikropartikeln. Anwendungen sieht man zur Beeinflussung von Partikelablagerungen (EUV-Lithographie, Chipherstellung, Fusion), der Sortierung und Fragmentierung von Teilchengemischen sowie der Quellenentwicklung (Visualisierung und Optimierung von Partikelfläßen).

Diagnostik und Optimierung von Ionenstrahlquellen

In diesem DLR-Projekt liegen die Forschungsschwerpunkte bei Ionenstrahlquellen mit Extraktionsgittersystemen, der Modellierung und Simulation relevanter Plasmaquellen, der Diagnostik des Ionenstrahls und des Quellenplasmas, der Ionen-Partikel Wechselwirkung und der Entwicklung neuartiger Konzepte zur Aufladung für Partikeltriebwerke. Ziele sind die Charakterisierung und Diagnostik von Ionenstrahlquellen und Neutralisatoren mittels Langmuir-Sonden, Gegenfeldanalysatoren, Thermosonden und mikroskopischen Partikelsonden, die Optimierung der Gittersysteme und der Strahlneutralisation sowie die Bestimmung der Energie- und Impulsbilanz der Teilchen. Anwendungsmöglichkeiten bestehen für Raumfahrtantriebe beim mN- und μ N-Bereich (Lageregelung), die Bestimmung des Thrusts mittels Schubwaage oder für steuerbare Ionenstrahlquellen zur Oberflächenbearbeitung (IBAD).

Nachfolgend werden einige Beispiele für Forschungsarbeiten aus den verschiedenen Bereichen vorgestellt.

Mikropartikel für die Plasmadiagnostik

μ PLASMA (microParticles in a Discharge with Laser Assisted Manipulation) ist ein Experiment, in dem Mikropartikel mit einer sogenannten Laserfalle oder Laserpinzette eingefangen und manipuliert und so zu diagnostischen Zwecken eingesetzt werden.



Anlage zur Partikelmanipulation in der Plasmarandschicht mit einer Laserpinzette (Foto CAU)

Die Micropartikel (SiO_2 , $\sim 7\mu\text{m}$ Durchmesser) werden mit Hilfe eines Staubdispensors in das Plasma eingebracht und durch das Plasma elektrisch aufgeladen. Die geladenen Partikel schweben aufgrund eines Kräftegleichgewichtes in der Plasmarandschicht. Um sie sichtbar zu machen, werden sie mit einem Laser (650nm) beleuchtet. Mit einem optischen System aus Linsen und Spiegeln wird ein Infrarotlaser (1070nm) zum Einfangen der Partikel benutzt. Dabei wird der Impulsübertrag durch das Ablenken von Photonen am Partikel ausgenutzt (optische Falle) und so diese Mikrosonde gegen die äußeren Kräfte (z.B. Schwerkraft oder elektrostatische Kräfte im Plasma) zur Levitation gebracht. Durch das Absenken oder Anheben einer HF-Elektrode können so Mikropartikel beispielsweise in die Plasmarandschicht oder in den Plasmabulk eingebracht werden. Dabei wirkt die optische Pinzette wie eine Art Sprungfeder, so dass durch die Auslenkung des Partikels aus der Gleichgewichtsposition eine Rückstellkraft (Hookesches Gesetz) wirkt, die gleich der extern wirkenden Kraft ist. Sie wird aus der „Federkonstanten“ der Laserfalle und der Partikelauslenkung bestimmt. Zusätzliche Elemente, wie eine UV-Lampe oder ein Plattenkondensator ermöglichen es, die Partikelladung außerhalb des Plasmas zu verändern und zu studieren.

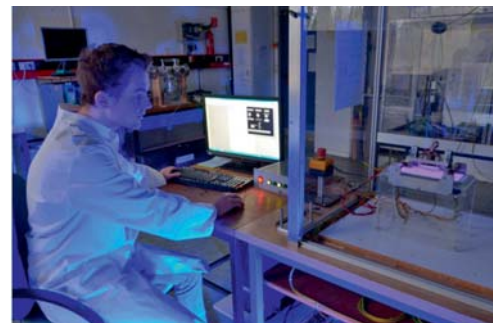
Plasmajet für die Oberflächenbehandlung

Der Plasmajet erzeugt im Inneren der Düse eine gepulste Atmosphärendruckentladung. Durch den hohen Leistungsumsatz kann er zur Bearbeitung großer Flächen eingesetzt werden. Allerdings muss bei temperaturempfindlichen Materialien auf die Zerstörungsschwellen Acht gegeben werden. Ziel der Untersuchungen an der CAU ist die Charakterisierung des Plasmajets und seines Einflusses auf die behandelten Oberflächen zur Optimierung des Verfahrens für verschiedene Anwendungen. Dazu werden kalorimetrische Sonden und das Q-MACS System genutzt.



Der Plasmajet PFW10 der Firma Plasmatreteat wird für Reinigungs-, Aktivierungs- und Beschichtungsprozesse eingesetzt (Foto: CAU Kiel)

Für die Oberflächenbehandlung von Polymeren wird auch die ebenfalls bei Atmosphärendruck betriebene Dielektrische Barriereentladung (CSDBD, coplanar surface dielectric barrier discharge) eingesetzt.



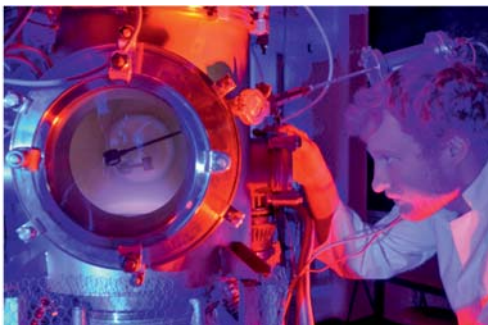
CSDBD-Anlage

(Foto: CAU Kiel)

Partikelbildung, Schichtabscheidung und Diagnostik

Der ATILA-Reaktor ist ein Plasma-CVD-Aufbau zur Untersuchung chemisch reaktiver Plasmen, zur Synthese von Nanopartikeln und zur Schichtabscheidung (Plasmapolymerisation). Es kann mit unterschiedlichen Precursoren gearbeitet werden, die auch über ein Heizsystem in die Kammer eingebracht werden können. Typischerweise werden HMDSO $[\text{Si}_2\text{O}(\text{CH}_3)_6]$, ATI $[\text{Al}(\text{OC}_3\text{H}_7)_3]$ oder Chlorparacyclophan im Heizer verdampft. In einer stark asymmetrischen Entladung wird ein kapazitiv gekoppeltes Hochfrequenzplasma (13,56 MHz) erzeugt. Je nach Arbeitsgas, meist Argon, bildet sich darin eine komplexe Plasmachemie aus, es entstehen reaktive Zwischenprodukte wie Molekülionen und freie Radikale. Diese können entweder in Volumenpolymerisationsreaktionen zur Bildung makroskopischer Partikel oder zu einer Schichtbildung bzw. Plasmapolymerisation auf Oberflächen führen. Auch die Reinigung, Reduzierung oder Modifizierung von Oberflächen ist möglich.

Die plasmapolymerisierten Nano- und Mikropartikel können in-situ durch optische Techniken oder elektrische Messungen nachgewiesen werden. Ebenso besteht die Möglichkeit, die chemische Zusammensetzung mittels Massenspektroskopie zu erforschen. Die Abscheidung homogener Partikelschichten ermöglicht post-situ-Untersuchungen der gebildeten Partikel z. B. mittels Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS). Auf diese Weise lässt sich die chemische Zusammensetzung der Partikelschichten bestimmen. Mithilfe von

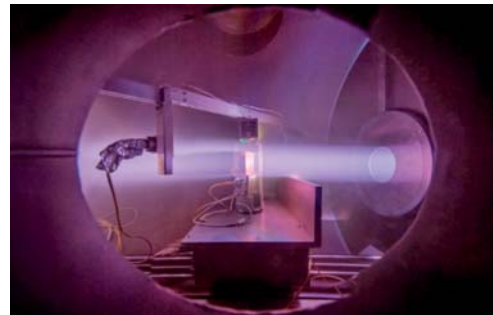


ATILA Reaktor zur Synthese von Nanopartikeln, Plasmapolymerisation und andere chemisch reaktive Plasmen
(Foto CAU)

Atomkraftmikroskopie (AFM) kann die Größe der Partikel ermittelt werden. Zur Evaluierung der Dicke von abgeschiedenen Polymerschichten wird ein Profilometer verwendet. Ziel der Experimente ist ein besseres Verständnis der Partikelbildung und Schichtabscheidung durch die Betrachtung mit möglichst vielen diagnostischen Methoden und die gezielte Beschichtung von Partikeloberflächen.

Diagnostik an Ionenstrahlquellen

Beim Vertical Ion Beam Experiment (VIBEX) wird zur Erzeugung eines Ionenstrahls eine vom Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung (IOM Leipzig) für industrielle Nutzung entwickelte Breitstrahlionen-



Diagnostiken an Ionenstrahlquellen (Foto CAU)

quelle verwendet, die nach dem Prinzip der Elektronen-Zyklotron-Resonanz (Electron Cyclotron Resonance (ECR)) arbeitet.

Die Erzeugung eines ECR-Plasmas basiert auf der Kombination eines statischen Magnetfeldes und elektromagnetischen Feldern einer Mikrowelle. Durch das statische Magnetfeld werden freie Elektronen aufgrund der Lorentzkraft in eine Gyrationbewegung mit der Zyklotronfrequenz versetzt. Durch die Gyrationbewegung ist eine längere Aufenthaltsdauer der Elektronen in der Reaktionskammer gewährleistet, wodurch Stöße zwischen Elektronen und Atomen häufiger auftreten. Ionisiert wird das Gas durch die Übertragung der kinetischen Energie der Elektronen an die Gasatome. Diese Art der Ionenerzeugung ist besonders effektiv, sodass Ionendichten bis zu $n_i = 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ erreicht werden können. Durch die Orientierung der Quelle ist der erzeugte Ionenstrahl vertikal nach oben gerichtet. Die Untersuchungen dienen hauptsächlich der Diagnostik des Ionenstrahls. So wird beispiels-

weise mit Hilfe kleinster Partikel oder Kraftsonden der von energiereichen Ionen und Neutralen erzeugte Impuls gemessen.

Gastgeber für PlasmaGermany

Im Rahmen der Frühjahrssitzung des deutschen Kompetenznetzes für Plasmatechnologie Plasma Germany, die diesmal an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) stattfand, hatten die Teilnehmerinnen

und Teilnehmer die Gelegenheit, auch die Labors der Arbeitsgruppe Plasmatechnologie zu besuchen. Die in Kiel laufenden Aktivitäten haben die Teilnehmer stark beeindruckt. Prof. Kersten fasste die Kompetenz am Kieler Standort in einem Satz zusammen. „Wir sind eine der wenigen Universitäten in Deutschland, die Forschung und Ausbildung im Bereich Plasmaphysik und Plasmatechnologie mit zwei eigenen Professuren und Arbeitsgruppen fördern“. -R. Suchentrunk-

Zur Info

Neues aus der Forschung

Ein nanometergroßer Quantensensor aus Diamant

Mit einem winzigen Quantensensor aus Diamant wurde das Fraunhofer IAF in Freiburg in der Kategorie „Wissen schafft Gesundheit“ zu einem von



Mit dem Projekt „Winziger Quantensensor für neue Messverfahren“ konnte das Fraunhofer IAF überzeugen. Gewachsen wird der Diamant am IAF mit Hilfe eines ellipsoiden Reaktors © Fraunhofer IAF

100 „Ausgezeichneten Orten im Land der Ideen“ 2018. Der jährlich vergebene Preis zeichnet Inspiration, Offenheit und mutiges Handeln aus und prämiiert innovative Antworten auf gesellschaftliche Fragen. Unter dem Motto „Welten verbinden – Zusammenhalt stärken“ stellt der Wettbewerb Projekte vor, die Leuchtturmcharakter haben. Im Zentrum stehen dabei Qualitäten wie Experimentierfreude, Neugier und Mut zum Umdenken. Unter 1500 Einreichungen hat das Fraunhofer IAF die Experten mit dem Projekt des „Winzigen Quantensensors für neue Messverfahren“ fasziniert und überzeugt.

Mit seinem Quantensensor verbindet das Fraunhofer IAF die unsichtbare Welt kleinster Teilchen mit Anwendungen aus unserem Alltag. Er kann in vielen Bereichen eingesetzt werden, unter anderem in der Medizin. Mit seiner Hilfe wird es beispielsweise möglich, Gehirnströme bei Raumtemperatur in hoher Auflösung zu messen. Ein künstlicher Diamant bildet dabei die Basis der Innovation: Dessen Spitze wird durch das Einsetzen eines Elektrons in einer so genannten „Stickstoff-Fehlstelle“ zu einem winzigen Magneten, der auf kleinste Ladungen in seiner Umgebung reagiert. Die Empfindlichkeit des