

Kurzfassung der Dissertation

Modellierung und Simulation nichtlinearer Effekte in kapazitiv gekoppelten Hochfrequenzplasmen

Dennis Ziegler, Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik

Die Plasmatechnik nimmt als Querschnittstechnologie eine wichtige Stellung ein. Neben der klassischen Anwendung bei der Herstellung mikroelektronischer Schaltungen ergeben sich zunehmend neue Einsatzgebiete in der Oberflächentechnik, der Automobil-, Textil- und Nahrungsmittelindustrie sowie in der Medizintechnik. Insbesondere Hochfrequenzplasmen sind in diesem Zusammenhang von großer Bedeutung.

In dieser Arbeit wird das nichtlineare Verhalten von kapazitiv gekoppelten Hochfrequenzplasmen untersucht. Nach einer kurzen Einführung werden zunächst allgemeine Konzepte zur Beschreibung von kapazitiv gekoppelten Plasmen vorgestellt. Ausgehend von der mikroskopischen Betrachtung der Einzelteilchendynamik und einer darauf aufbauenden kinetischen Theorie, wird zu einer makroskopischen Betrachtung einzelner Teilchensorten im Sinne des Formalismus der Fluidodynamik übergegangen.

Aus den fluiddynamischen Gleichungen lässt sich das kalte Plasmamodell ableiten und ein verallgemeinertes Ohmsches Gesetz formulieren, das dem in der Arbeit entwickelten Plasmabulkmodell zu Grunde liegt. Im Anschluss an die Analyse typischer Längen- und Zeitskalen liegt ein Ansatz zur Modellierung von kapazitiv gekoppelten Hochfrequenzplasmen vor. Die Plasmarandschicht und der Plasmabulk können separat modelliert und anschließend zu einem räumlich aufgelösten Gesamtmodell zusammengesetzt werden.

Das räumlich aufgelöste Modell liefert den Ausgangspunkt für die Formulierung eines globalen Modells zur Beschreibung der Hochfrequenzdynamik. Mit Hilfe des Modells werden eine Vielzahl von Simulationen durchgeführt. Dabei wird sowohl die Rekonstruktion eines experimentell gemessenen Entladungsstroms, als auch eine darauf aufbauende Untersuchung der Hochfrequenzdynamik von Zweifrequenzentladungen vorgenommen. Die Anregung der Plasmaserienresonanz steht dabei im Zentrum der Analyse.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird der Effekt der nichtlinearen Elektronenresonanzheizung erläutert. Immer wenn durch die Anregung der Plasmaserienresonanz ein Anstieg des Entladungsstroms beobachtet werden kann, steigt die ins Plasma dissipierte Leistung an. Die genauen Zusammenhänge zwischen Plasmaserienresonanz, ihren auslösenden Faktoren und den Auswirkungen auf die Leistungsbilanz durch die nichtlineare Elektronenresonanzheizung werden eingehend untersucht.

In Experimenten ist nahe der Randschicht vor getriebenen Elektroden eine gerichtete, strahlförmige Ausbreitung von energetischen Elektronen in Richtung des Plasmabulks beobachtet worden. Basierend auf den Simulationsergebnissen kann ein Erklärungsansatz für dieses Verhalten geliefert werden. Die genauen Zusammenhänge werden an Hand von Vergleichen zwischen Simulationsergebnissen und Messungen erläutert.

Zum Abschluss der Arbeit wird der Einfluss einer variablen Differenzphase zwischen den Anregungsquellen auf die Dissipation in Zweifrequenzentladungen untersucht. Es wird gezeigt, dass eine Erhöhung der Dissipation ohne eine gleichzeitige Veränderung der Selbstspannung erreicht werden kann. Dies hat zur Folge, dass über die Variation der Differenzphase innerhalb bestimmter Grenzen eine nahezu unabhängige Steuerung des Ionenflusses und der mittleren Ionenenergie ermöglicht wird. Für viele Prozesse der Industrie ist dieser Umstand von großer technologischer Bedeutung.