

Kurzfassung der Dissertation

Innovative Sondenkonzepte für die Plasmadiagnostik

Dipl.-Ing. Christian Schulz, Lehrstuhl für Hochfrequenzsysteme, Ruhr-Universität Bochum

In der aktuellen Forschung, Entwicklung und Herstellung neuer und innovativer Produkte stellen plasmaunterstützte Verfahren eine Schlüsseltechnologie dar. Das Spektrum der Einsatzbereiche erstreckt sich von der Optik, der Luft- und Raumfahrt, dem Automobilbereich, den Materialwissenschaften, bis hin zur Medizintechnik. Zur Herstellung hochwertiger dünner Schichten sind Plasmen ein unverzichtbares Arbeitsmittel, welches die Abscheidung neuartiger Oberflächen sowie multifunktionaler Schichtsysteme insbesondere auf Glas und Kunststoffen ermöglicht. Darüber hinaus ist ein zunehmender Einsatz plasmagestützter Sterilisationsprozesse zur effektiven Inaktivierung multiresistenter Keime festzustellen.

Auf Grund der hohen Bedeutung der Plasmatechnik in Forschung und Entwicklung, stellt die Untersuchung innovativer Sondenkonzepte zur präzisen Bestimmung der inneren Plasmaparameter einen bedeutenden Pfeiler für die gesamte Branche dar. Die hohen Anforderungen an das entsprechende Messsystem lassen die Entwicklung geeigneter minimal-invasiver Messkonzepte und –systeme in den Fokus aktueller Forschungsprojekte rücken. Bedingt durch ihre Funktionsweise bzw. Bauart, können existierende SONDENSYSTEME häufig nur indirekte Größen des Plasmas bestimmen und nur limitiert in dielektrischen Beschichtungsprozessen eingesetzt werden, da sie während der Messung im Plasma ebenfalls beschichtet werden. Die Folge ist eine teils dramatische Verschlechterung der Messung, die bis zum vollständigen Versagen des Messsystems führen kann. Die effektive, schnelle und zuverlässige Regelung eines Plasmaprozesses kann jedoch nur bei exakter Kenntnis der inneren Plasmaparameter gewährleistet werden. Hierzu ist eine orts aufgelöste Charakterisierung des Prozesses entscheidend. Die rückwirkungsfreie Bestimmung der relevanten Parameter hat eine deutliche Steigerung der Qualität plasmagestützter Prozesse zur Folge.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die Wechselwirkung hochfrequenter Sonden mit technischen Plasmen untersucht, um hochpräzise Messkonzepte für die Charakterisierung und Überwachung des prozessrelevanten Plasmazustandes zu erforschen. Hierbei steht die Entwicklung der sogenannten Multipolresonanzsonde (engl.: Multipole Resonance Probe - MRP) im Fokus, welche den hohen Anforderungen der Prozessmesstechnik gerecht wird und mit Hilfe eines existierenden mathematischen Modells eindeutig ausgewertet werden kann. Somit ermöglicht die MRP die direkte und simultane Erfassung kritischer Größen des Plasmas mittels einer einzigen in-situ Messung. Darüber hinaus wird die Überführung in einen planaren, kompakten Wandsensor, sowie die Diskretisierung des sphärischen Sondenkopfes zur Erhöhung der Temperaturstabilität vorgestellt. Abschließend wird ein parallelmessendes Multisensorkonzept auf Basis der MRP untersucht, welches die Homogenität des Plasmas sowie Mehrzonen- und Mehrkammerreaktoren effektiv überwachen sowie Schwankungen im Prozess detektieren kann. Die resultierenden Konzepte können sowohl für die Charakterisierung als auch für die stationäre, minimal-invasive Überwachung von Plasmaprozessen eingesetzt werden.

Schwerpunkt aller Untersuchungen bilden 3D elektromagnetische Feldsimulationen, die eine umfassende und realitätsnahe Wechselwirkungsbetrachtung sowie zugleich eine effektive und kostengünstige Entwicklung der Sonden ermöglichen. Hierzu werden zunächst die Funktionsweise und Eignung kommerzieller Simulatoren diskutiert, sowie mögliche Auswirkungen und Grenzen für verlässliche Resultate herausgearbeitet. Mit Hilfe des sogenannten Drude-Modells werden die dielektrischen, frequenzabhängigen Materialeigenschaften des Plasmas in den Simulationen berücksichtigt. Zur Beurteilung der Auswirkungen spezifischer Einstellungen zur Unterteilung des Simulationsvolumens in sogenannte Gitterzellen, werden umfangreiche Parameterstudien durchgeführt. Auf Basis dieser Untersuchungen wird ein vereinfachtes abstraktes Modell der Sonde detailliert untersucht. Hierbei werden Wechselwirkungen mit dem Plasma spezifiziert und die Dimensionierung der Sonde vorgenommen. Weiterhin werden eigens erforschte Auswertemethoden und notwendige Kompensationstechniken angewandt. Anschließend werden verschiedene Sondengeometrien optimiert und hinsichtlich ihrer Eignung zur Überwachung und Regelung der Plasmaprozesse unter Berücksichtigung der Einflüsse von zusätzlichen Beschichtungen untersucht. Anhand von Simulationen und Messungen unter realen Bedingungen wird die Funktionalität der einzelnen Sonden und Messkonzepte verifiziert und die vielseitigen Möglichkeiten für die industrielle Nutzung präsentiert. Hierbei ist besonders die Eignung der MRP zur Überwachung von plasmagestützten dielektrischen Beschichtungsprozessen herauszustellen. Insgesamt können somit Plasmaprozesse sowohl orts aufgelöst charakterisiert als auch kostengünstig in-situ überwacht werden.