

Kurzfassung der Dissertation

Neue Konzepte zur Diagnostik technischer Plasmaprozesse auf Basis der sphärischen und planaren Multipolresonanzsonde

Dennis Pohle, Lehrstuhl für Hochfrequenzsysteme, Ruhr-Universität Bochum

Technische Plasmen werden in zahlreichen Forschungs- und Industrieprozessen zur Beschichtung, Reinigung, Sterilisation sowie für Ätzverfahren oder Oberflächenaktivierungen eingesetzt. Neben dem grundlegenden Forschungsinteresse an den Plasmavorgängen selbst, sind Plasmen insbesondere für deren Anwender aus den Bereichen der Photonik, Halbleiterindustrie, Mikrosystemtechnik, Automobilindustrie, der Luft- und Raumfahrtbranche sowie der Medizintechnik unersetzbare Werkzeuge, die viele innovative Produkte, Anwendungen und Verfahren erst ermöglichen. Um die gewünschte Funktionalität und Qualität der Endprodukte bzw. den Erfolg und Ertrag der Applikationen zu gewährleisten, ist eine Überwachung der inneren Zustandsgrößen der eingesetzten Plasmen während des Prozesses entscheidend. Bereits verfügbare Plasmadiagnostikoptionen erfüllen jedoch die hohen Anforderungen, die seitens Forschung und Industrie vorgegeben werden, nicht oder nur unzureichend. Insbesondere werden minimalinvasive, beschichtungsunempfindliche und echtzeitfähige Konzepte gewünscht, die eine eindeutige, präzise und einfache Auswertbarkeit ermöglichen. Ein geeigneter *In-situ*-Sensor muss dabei insbesondere auch den widrigen Bedingungen innerhalb des Plasmas widerstehen können, wobei je nach Prozess Temperaturen von mehreren hundert Grad Celsius auf diesen einwirken können.

Die vorliegende Dissertation befasst sich mit der Erforschung neuer Plasmadiagnostikkonzepte basierend auf der sogenannten Multipolresonanzsonde (engl.: Multipole Resonance Probe, MRP), mit dem Ziel eine universell einsetzbare, temperaturstabile und hochpräzise Prozessmesstechnik zu realisieren. Neben der Optimierung der MRP mit sphärischem Sondenkopf, liegt der Fokus der Arbeit insbesondere auf der systematischen Analyse der MRP mit planarem Sondenkopf als rückwirkungsfreie Diagnostikoption. Zusätzlich zu umfangreichen Betrachtungen in 3D-elektromagnetischen Vollwellensimulationen, in denen eine Berücksichtigung der Plasmaeigenschaften über das sogenannte Drude-Modell erfolgt, werden alle entwickelten Konzepte in Messungen validiert.

Der erste Teil der Arbeit widmet sich zunächst der Untersuchung neuer Sensorausführungen auf Basis keramischer Substratmaterialien (engl.: Low Temperature Co-fired Ceramics, LTCC). Im Zuge dessen werden neue hochtemperaturresistente Designs der sphärischen sowie der planaren MRP entworfen und in Prototypen überführt. Insbesondere letzteres Design stellt einen neuen, innovativen Ansatz dar, bei dem die Sensorkomponenten vertikal in einem Substratzylinder aus gestapelten LTCC-Lagen integriert werden - die sogenannte gestapelte planare Multipolresonanzsonde. Die neuentwickelten Lösungen erlauben dabei erstmals einen permanenten *In-situ*-Einsatz beider MRP-Varianten unter bislang unmöglichen Prozessbedingungen.

Während für die sphärische MRP bereits ein gut erforschtes und in zahlreichen Untersuchungen bestätigtes mathematisches Modell zur Extraktion von Plasmaparametern aus ihren Messgrößen existiert, ist für die planare MRP bis dato kein in der Praxis nutzbarer Ansatz verfügbar. Zur Identifikation der komplexen Wechselwirkungen werden im zweiten Teil der Arbeit daher zunächst umfangreiche Simulationsreihen mit dem neuentwickelten planaren Design durchgeführt. Auf Basis der simulierten Daten wird im Anschluss ein neues Modell vorgestellt, das es erstmals ermöglicht, wichtige Plasmakenngrößen, namentlich Stoßfrequenz und Elektronendichte sowie die sich an der Grenze zwischen Sensor und Plasma ausbildende Dicke der Plasmarandschicht, anhand der messbaren Resonanzcharakteristik abzuschätzen. Zur finalen Validierung des vorgeschlagenen Ansatzes werden parallele Vergleichsmessungen mit der sphärischen MRP durchgeführt.

Im dritten und letzten Teil der Arbeit werden zwei neue minimalinvasive Messkonzepte auf Basis der planaren Sonde vorgestellt. Hierbei wird zum einen ein innovativer Ansatz zur Plasmaüberwachung dielektrischer Beschichtungsprozesse auf dielektrischen Filmsubstraten präsentiert und zum anderen erstmals eine geeignete Möglichkeit zur Beobachtung von plasmagestützten Oberflächenbehandlungen in PET-Flaschen aufgezeigt. Zusätzlich dazu wird die Unempfindlichkeit der planaren MRP gegenüber dielektrischen Beschichtungen bestätigt. Die im Rahmen der Arbeit erforschten neuen Sensor-, Auswerte- und Messkonzepte tragen somit maßgeblich dazu bei, die Anwendbarkeit des Messprinzips auf bisher unzugängliche Prozesse zu erweitern und ermöglichen insbesondere den Einsatz der planaren MRP als rückwirkungsfreie Diagnostik.