

Die Multipolresonanzsonde: Vom Demonstrator zur industrietauglichen Plasmadiagnostik

Tim Styrnoll

Diese Arbeit entstand im BMBF-Projekt PluTO (Plasma und optische Technologien), welches sich mit der Abscheidung dünner, dielektrischer Schichten in technischen Niederdruckplasmen, sowie deren Charakterisierung, Modellierung und Regelung, befasst. Um komplizierte Vielschichtsysteme abscheiden zu können werden Plasmaprozesse benötigt, die den gewünschten Arbeitspunkt konstant halten können, um Schichtinhomogenitäten zu vermeiden. Hierfür ist es nötig die Informationen über den Plasmaprozess generieren zu können, um auf Instabilitäten mit entsprechenden Modellen reagieren zu können. An der Ruhr-Universität Bochum wurde in PluTO eine neue Plasmadiagnostik entwickelt – die Multipolresonanzsonde (MRP) – welche im Rahmen dieser Arbeit mitentwickelt und verifiziert wurde. Die MRP nutzt die universelle Eigenschaft aller Plasmen aus, bei einer bestimmten Anregungsfrequenz in Resonanz zu geraten. Das MRP-System wertet die Absorption eines Frequenzsweeps aus und ermittelt die Resonanzfrequenz, die mit einem kompakten mathematischen Modell zur Berechnung der Elektronendichte genutzt werden kann. Die messtechnische Charakterisierung der MRP wurde am Lehrstuhl für Allgemeine Elektro- und Plasmatechnik (AEPT), sowie an realen Beschichtungsmaschinen der Projektpartner durchgeführt.

Um die Verifizierung der MRP möglichst umfassend zu gestalten, wurde die Sonde in vielen verschiedenen Messumgebungen eingesetzt. Zum einen konnten an den Reaktoren des AEPT viele Parameterstudien – wie z.B. unterschiedliche Gasflüsse, -arten und -zusammensetzungen, Variation der Leistung, des Prozessdrucks und der Messposition, etc. – durchgeführt werden. Zum anderen wurden Plasmareaktoren mit unterschiedlichen Energieeinkopplungsverfahren zur Generation des Plasmas sowie unterschiedlichen Geometrien und Reaktormaterialien untersucht. Neben kapazitiv gekoppelten Plasmen wurden induktiv gekoppelte Plasmen, sowie Plasmen, die durch die Einspeisung der Leistung via Mikrowellenstrahlung generiert werden, untersucht. In allen Plasmen konnte die MRP zumeist problemlos eingesetzt werden, einzig beim Mikrowellenprozess bedarf es aufgrund der hohen Anregungsfrequenz des Generators von $f = 2,45$ GHz einer speziellen Filterung des Messsignals. Desweiteren wurden Plasmen mit unterschiedlichen Anregungsfrequenzen und auch die Kombination von mehreren Generatoren untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass so lange die Anregungsfrequenz deutlich unterhalb der Eigenresonanz der MRP liegt, die Sonde zuverlässig die Elektronendichte bestimmen kann.

Als kritisch erwies sich jedoch die noch verbesserungswürdige Temperaturstabilität der MRP. Da das verwendete Platinmaterial des Halters bzw. des Symmetrierglieds sowie das Lötzinn, welches Koaxialkabel und Halter verbindet, allesamt ab einer Temperatur von $T_{\text{krit}} \approx 170^\circ\text{C}$ instabil werden, musste für einige Messungen die Leistung entsprechend beschränkt werden, um die MRP nicht zu beschädigen. In Zukunft soll die MRP deshalb aus Keramik gefertigt werden, was in einem neuen BMBF-Projekt umgesetzt werden wird. Die hier präsentierten Ergebnisse zeigen durchweg eine gute Übereinstimmung mit etablierten Diagnostiken wie der optischen Emissionsspektroskopie (OES) sowie der Langmuirsonde (LP). Eine Ausnahme bilden Plasmen, die prinzipiell eine kritische Messumgebung für die Sondensysteme LP und MRP darstellten. Entsprechende Untersuchungen wurden in keramisch und metallisch abscheidenden Plasmen durchgeführt. Hier konnte gezeigt werden das LP und MRP komplementär in beschichtenden Plasmen eingesetzt werden sollten. Während die LP unbeeinflusst von leitfähigen Schichten operiert kann die MRP in dielektrisch beschichtenden Plasmen problemlos eingesetzt werden.

Somit kann die MRP als funktionsfähig und verlässliche Diagnostik eingestuft werden. Dies ist die notwendige Voraussetzung, um in der Industrie zum Monitoring von Plasmaprozessen eingesetzt werden zu können. Unterstützt durch die Lehrstühle TET, HFS und EST der RUB, wurde die MRP in einer Beschichtungsanlage zum Prozessmonitoring erfolgreich eingesetzt. Es zeigte sich dabei, dass das Überwachen eines Beschichtungsprozesses mit Plasmametern innovative Regelungsmodelle und -strategien zulässt, welche im zukünftigen Anschlussprojekt PluTO + untersucht werden sollen.