

Kurzfassung der Dissertation

**Analyse und Optimierung der Multipolresonanzsonde
als industrietaugliches Plasmadiagnostiksystem**Dipl.-Ing. Martin Lapke
Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik
Ruhr-Universität Bochum

Die Überwachung und zielgerichtete Beeinflussung technischer Plasmen erfordert die messtechnische Bestimmung ihrer inneren Zustandsgrößen, vor allem der Elektronendichte und der mittleren Elektronenenergie. Der Begriff *Plasmadiagnostik* umfasst alle Einrichtungen und Verfahren, die für eine solche Messung der Zustandsgrößen eines Plasmas herangezogen werden können. Von den bekannten Methoden sind jedoch nur wenige für den Einsatz in einem industriellen Umfeld geeignet. Eine industriekompatible Plasmadiagnostik muss robust und stabil sein, soll eine eindeutige und kalibrationsfreie Auswertung ermöglichen und darf den zu überwachenden Prozess weder elektrisch noch chemisch stören. Im Hinblick auf Anschaffung, Unterhalt und Platzbedarf müssen ihre Kosten vertretbar sein. Im Falle schichtabscheidender Plasmaprozesse sind diese Forderungen besonders schwer zu erfüllen. Nahezu alle bekannten Diagnostiken scheiden aus: Optisch-spektroskopische Verfahren (optical emission spectroscopy, optical absorption spectroscopy) sind zu aufwendig und liefern nur indirekte Aussagen; Massenspektroskopie scheitert an dem unzureichenden Zugang sowie an den Kosten, konventionelle elektrische Diagnostik (mittels Langmuir-Sonden) wird durch die abgeschiedenen dünnen Schichten erheblich verfälscht.

Ein attraktives Konzept für eine industriekompatible Diagnostik schichtabscheidender Plasmaprozesse ist hingegen die *aktive Plasmaresonanzspektroskopie*. Dieses Konzept beruht auf der universalen Eigenschaft aller Niederdruckplasmen, bei Anregung mit einem Hochfrequenzsignal in der Nähe der Elektronenplasmafrequenz ω_{pe} in Resonanz zu geraten. Ist durch die spektrale Analyse der gemessenen Systemantwort $S(\omega)$ die Plasmafrequenz bekannt kann die Elektronendichte analytisch bestimmt werden.

Neben der Modellierung bzw. Simulation experimentell verifizierter Methoden wie die *Plasma Absorption Probe* und die *Hairpin Probe* zeigt eine abstrakte Analyse der plasmaresonanzspektroskopischen Diagnostikmethoden, dass ein höchstmögliches Maß an Symmetrie zum einen ein lokales Messen ermöglicht und zum anderen eine analytische Beschreibung des Resonanzspektrums erlaubt. Aufbauend auf den gewonnenen Einsichten wurde die *Multipol Resonanz Sonde* (MRP) als innovative Realisierung des skizzierten Grundkonzeptes der aktiven Plasmaresonanzspektroskopie entwickelt. Das Konzept der MRP beruht auf einem neuartigen Sondendesign, das sowohl elektrisch wie geometrisch eine hohe Symmetrie besitzt. Der Kopf der Sonde besteht aus einer dielektrisch umhüllten Anordnung von zwei voneinander isolierten Halbkugeln, die bezüglich der Phase eine elektrische Symmetrie aufweisen. Aufgrund des sehr symmetrischen Aufbaus kann die Sonde und ihre Wechselwirkung mit dem Plasma weitgehend analytisch beschrieben werden.

In einem BMBF-geförderten Projekt wurde ein Sonden-Prototyp entwickelt und erste Messergebnisse mit denen einer Langmuirsonde verglichen. Es zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung der gemessenen Elektronendichten. Die MRP stellt somit als innovatives, kostengünstiges Plasmadiagnostikkonzept, das auch in reaktiven, industriellen Plasmaprozessen nutzbar ist, eine neuartige industriekompatible Diagnostik dar.