

Dipl.-Phys. Frank Werner, Berlin

**Großvolumige 2,45-GHz-  
Mikrowellenplasmaquelle  
nach dem Schlitzantennen-  
prinzip (SLAN)**

Reihe **21**: Elektrotechnik

Nr. **221**

## Inhaltsverzeichnis

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Formelzeichen</b> .....  | <b>VIII</b> |
| <b>Kurzfassung</b> .....  | <b>XIII</b> |
| <b>1 Einleitung</b> .....   | <b>1</b>    |
| <b>2 Grundlagen mikrowellen-angeregter Plasmen</b> .....                  | <b>4</b>    |
| 2.1 Der Plasmazustand .....   | 4           |
| 2.2 Teilchenwechselwirkungen im Plasma .....                              | 5           |
| 2.2.1 Elastische Kollisionen .....  | 5           |
| 2.2.2 Inelastische Kollisionen .....                                      | 6           |
| 2.3 Mikrowelleneinkopplung in das Plasma .....                            | 8           |
| 2.3.1 Mikrowelleneinkopplung ohne äußeres statisches Magnetfeld .....     | 8           |
| 2.3.2 Elektrische Eigenschaften des Plasmas .....                         | 10          |
| 2.3.3 Mikrowelleneinkopplung mit äußerem statischem Magnetfeld .....      | 13          |
| 2.3.4 Mechanismus der Elektronzyklotron-Resonanz (ECR) .....              | 14          |
| 2.4 Transportprozesse im Plasma .....                                     | 16          |
| 2.4.1 Die freie Diffusion .....   | 16          |
| 2.4.2 Die ambipolare Diffusion .....                                      | 17          |
| 2.4.3 Diffusionsbestimmte räumliche Verteilung der Elektronendichte ..... | 19          |
| 2.4.4 Die Diffusion in magnetisierten Plasmen .....                       | 20          |
| 2.5 Der Plasmadurchbruch .....  | 21          |
| <b>3 Spezielle Mikrowellenplasmaquellen</b> .....                         | <b>23</b>   |
| 3.1 Überblick .....   | 23          |
| 3.2 Lisitano-Strahler .....   | 25          |
| 3.3 Oberflächenwellen-angeregte Plasmaquellen .....                       | 27          |
| <b>4 Die Mikrowellenplasmaquelle SLAN</b> .....                           | <b>30</b>   |
| 4.1 Beschreibung der Versuchsanordnung .....                              | 30          |
| 4.2 Die Standard-SLAN .....   | 32          |
| 4.2.1 Die beidseitig offene Version .....                                 | 37          |

|   |            |
|---|------------|
| 4.2.2 Die "downstream"-Version .....                                | 39         |
| 4.3 Die ECR-SLAN .....  | 40         |
| 4.3.1 Motivation .....  | 40         |
| 4.3.2 Konstruktion der ECR-SLAN .....                               | 41         |
| 4.4 Simulation der SLAN .....                                       | 42         |
| 4.4.1 Die SLAN als Schlitzantennenstrahler .....                    | 43         |
| 4.4.2 MAFIA-Simulationen .....                                      | 48         |
| <b>5 Charakteristische Messungen an der Standard-SLAN .....</b>     | <b>54</b>  |
| 5.1 Elektromagnetische Feldvermessungen .....                       | 54         |
| 5.1.1 Methoden der elektromagnetischen Feldvermessung .....         | 54         |
| 5.1.2 Feldvermessungen mit der Ringantenne .....                    | 56         |
| 5.1.3 Bolometrische E-Feldmessungen .....                           | 58         |
| 5.2 Untersuchung des Plasmadurchbruches .....                       | 61         |
| 5.3 Doppel-Langmuir-Sondenmessungen .....                           | 65         |
| 5.3.1 Leistung und Grenzen der Doppel-Langmuir-Sondentechnik .....  | 65         |
| 5.3.2 Einfluß des Druckes .....                                     | 68         |
| 5.3.3 Einfluß der eingekoppelten Mikrowellenleistung .....          | 72         |
| 5.3.4 Radiale Verteilung der Plasmaparameter .....                  | 74         |
| 5.3.5 Axiale Verteilung der Plasmaparameter .....                   | 76         |
| 5.3.6 Einfluß der Resonatoroptimierung .....                        | 84         |
| <b>6 Charakteristische Messungen an der ECR-SLAN .....</b>          | <b>86</b>  |
| 6.1 Vergleich der Magnetfeldkonfigurationen .....                   | 86         |
| 6.2 Doppel-Langmuir-Sondenmessungen .....                           | 89         |
| 6.2.1 Einfluß des Druckes auf die Plasmaparameter .....             | 89         |
| 6.2.2 Radiale Verteilung der Plasmaparameter .....                  | 90         |
| <b>7 Die Plasmopolymerisation von HMDSO .....</b>                   | <b>94</b>  |
| 7.1 Theorie der Plasmopolymerisation .....                          | 94         |
| 7.2 Stand der Technik .....   | 97         |
| 7.3 Die Plasmopolymerisationsverfahren unter Einsatz der SLAN ..... | 99         |
| 7.3.1 Experimenteller Aufbau .....                                  | 99         |
| 7.3.2 Ergebnisse der HMDSO-gestützten Abscheidung .....             | 101        |
| <b>8 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>                         | <b>109</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>A Anhang</b> .....  | <b>112</b> |
| A.1 Die Feldverteilung in zylindrischen Schlitzantennenstrahlern ..... | 112        |
| <b>Schrifttum</b> .....  | <b>116</b> |