

Forschen und Wissen - Elektrotechnik

Berthold Koch

**Experimentelle Untersuchungen an
neuartigen kompakten
Mikrowellenresonatoren zur elektrodenlosen
Anregung von Hochdruckentladungslampen**

D 90 (Diss. Universität Karlsruhe)

**GCA-Verlag
Herdecke 2003**

Berthold Koch

**Experimentelle Untersuchungen an
neuartigen kompakten
Mikrowellenresonatoren zur elektrodenlosen
Anregung von Hochdruckentladungslampen**

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt neuartige Mikrowellenresonatoren, die für kompakte Hochdruckentladungen einsetzbar sind. In der Anfangsphase meiner Arbeit am LTI (im Rahmen eines Teilvorhabens eines BMBF-Projektes) wurden Untersuchungen mit konventionellen Zylinderhohlraumresonatoren durchgeführt. Dabei stand im Vordergrund geeignete Füllsubstanzen aufzufinden und deren lichttechnische Eigenschaften zu untersuchen. Am Ende dieses erwähnten Teilprojektes konnten eine Reihe von chemischen Substanzen, mit hervorragenden lichttechnischen Eigenschaften bei elektrodenloser Anregung benannt werden. Da bisherige mit Mikrowellen angeregte Hochdruckentladungslampen sehr große Abmessungen aufweisen und nur bei hoher Leistung sehr gute Effizienz besitzen, lag es nahe sich Gedanken über andere, besser geeignete Formen von Mikrowellenapplikatoren zu machen.

Für sehr viele Anwendungen sind kleine Lampenabmessungen und niedrigere Betriebsleistungen gefordert. Diese Anforderungen erzwingen andere, neuartige Mikrowellenresonatorkonzepte als die bisher bekannten Hohlraumapplikatoren. Mikrowellenleistung kann nicht nur in Hohlräumen resonieren, sondern auch auf Leitungsstrukturen. Diese Möglichkeit zeigt die vorliegende Arbeit mit den darin diskutierten und experimentell untersuchten Steg- und Wendelresonatoren auf. Im Kapitel 3 wird kurz auf die historische Entwicklung der hochfrequenten, elektrodenlosen Anregung eingegangen. Es werden die physikalischen Mechanismen von Plasmen im Mikrowellenfeld besprochen. Im Anschluß daran werden die prinzipiellen Anregungsarten und die Theorie der Resonanzschwingkreise vorgestellt. Im Kapitel 4 werden die klassischen Konzepte besprochen, die zur Mikrowellenanregung von Gasentladungen bekannt sind. Zunächst wird kurz auf die Grundlagen der Hohlraumresonatoren und derer Ankopplung eingegangen. Da bei den früheren Untersuchungen der anzuregenden Füllstoffe zylindrische Hohlraumresonatoren verwendet wurden, sind somit reichhaltige Erfahrungen für Anwendungen diesen Typs vorhanden. Neben dem zylindrischen Hohlraumresonator werden auch kurz die Sonderformen, sowie das SWD (Surface Wave Discharge) zur Anregung von Gasentladungen mit Mikrowellen angesprochen. Im Kapitel 5 werden die unterschiedlichen neuartigen Stegresonatoren vorgestellt. Es wird die gedankliche Entwicklung vom Magnetron hin zum planaren Stegresonator dargestellt. Die Berechnungen, sowie die Simulation und die experimentellen Ergebnisse werden im Anschluß daran dargestellt und diskutiert.

Einen weiteren Fortschritt der während der Arbeit erzielt werden konnte, stellen die vertikalen Stegresonatoren dar. Sie sind sehr kompakt im Vergleich zur planaren Ausführung.

Mehrere Konzepte dieser vertikalen Stegresonatoren werden vorgestellt. Es wird jeweils ein vertikaler Vier-, Drei- und Zweistegresonator berechnet, simuliert und experimentell untersucht. Da die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) sehr häufig im Umgang mit Mikrowellen angesprochen und gefordert wird, werden in der Arbeit auch Wege aufgezeigt um unerwünschte Mikrowellenstrahlung zu vermeiden oder zu reduzieren. Im letzten Abschnitt des fünften Kapitels wird ein weiterer Typ eines Stegresonators vorgestellt. Diese wendelförmige Struktur ergibt eine weitere erhebliche Reduktion der Bauhöhe.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Vorarbeiten und Motivation	3
3	Elektrodenlose Anregung von elektrischen Gasentladungen	7
3.1	Historische Entwicklung	7
3.2	Grundlagen von Plasmen in Mikrowellenfeldern	8
3.3	Möglichkeiten der elektrodenlosen Plasmaanregung	12
3.3.1	Anregung mit elektrischen Feldern	12
3.3.2	Anregung mit magnetischen Feldern	12
3.3.3	Die Mikrowellenanregung	13
3.4	Theorie der Resonanzschwingkreise	15
3.4.1	Arten von Schwingkreisen	16
4	Bekannte Konzepte der Anregung von Plasmen mit Mikrowellen	21
4.1	Der Hohlraumresonator	21
4.1.1	Grundlagen der Hohlraumresonatoren	22
4.1.2	Einkoppelarten	22
4.1.3	Rechteckhohlraumresonatoren	24
4.1.4	Zylinderhohlraumresonatoren	25
4.1.5	Güten und Koppelkoeffizienten in Hohlraumresonatoren	30
4.2	Anregung eines Plasmas mit Oberflächenwellen	32
5	Neuartige Mikrowellenresonatoren zur Anregung kompakter Hochdruckgasentladungen	33
5.1	Magnetron	33
5.2	Der Weg vom Magnetron zum planaren Stegresonator	35
5.2.1	Planare Stegapplikatoren	36

5.3	Vertikale Stegresonatoren	50
5.3.1	Kopplungsarten der Stege	51
5.3.2	Vertikale Vierstegeresonatoren	51
5.3.3	EMV-Maßnahmen	57
5.3.4	Reduzierung der Tiefe bei vertikalen Stegresonatoren	62
5.3.5	Applikatoren mit zwei oder drei vertikalen Stegen	64
5.4	Mikrowellenapplikatoren mit Wendelleiterstruktur	73
5.5	Quellen zur Ansteuerung der Stegresonatoren	78
5.5.1	Der Wanderfeldröhrenverstärker (TWTA)	78
5.5.2	Halbleiterverstärker	79
6	Zusammenfassung und Ausblick	82
	Literaturverzeichnis	86