

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Elektromagnetische Materialparameter	1
1.2	Einteilung der Messverfahren zur Materialcharakterisierung im Mikrowellenbereich	5
1.2.1	Nicht-resonante Messverfahren	5
1.2.2	Resonante Messverfahren	9
1.2.3	Messverfahren in geschlossenen Strukturen	11
1.2.4	Messverfahren im Freiraum	11
1.3	Motivation und Gliederung der Arbeit	12
2	Robuste Bestimmung der komplexen Permittivität mit der Transmissions/Reflexions-Methode	17
2.1	Grundlagen und Stand der Technik der Transmissions/Reflexions-Methode	17
2.1.1	Berechnung des Transmissions- und Reflexionskoeffizienten	18
2.1.2	Direkte und iterative Berechnung der Materialeigenschaften	21
2.2	Neues Verfahren zur Bestimmung der komplexen Permittivität	26
2.3	Einführung einer effektiven Hohlleiterbreite für die Transmissions/Reflexions-Methode	30
2.3.1	Berechnung der effektiven Hohlleiterbreite	32
2.3.2	Messtechnische Bestimmung der effektiven Hohlleiterbreite	34
2.3.3	Komplexe Permittivität von Vespel unter Berücksichtigung der effektiven Hohlleiterbreite	38
2.4	Entwurf von Adaptern für den Übergang Koaxialleiter-Rechteckhohlleiter im Frequenzbereich von 3,7 GHz bis 8,2 GHz	38
2.4.1	Design der dielektrisch gefüllten Adapter für den WR-90 Standard	39
2.4.2	Design der Adapter für den WR-137 Standard	42

3	T/R-Messverfahren zur Bestimmung der komplexen Permittivität von zylindrischen Proben	45
3.1	Einleitung	45
3.2	Numerische Berechnung der Streuparameter des Messaufbaus	46
3.2.1	Vergleich der Simulationswerkzeuge Microwave Studio und MAFIA	46
3.2.2	Realisierung einer Schnittstelle zwischen CST Microwave Studio und Matlab	52
3.3	Messergebnisse des Teflonhalters ohne eingesetzte zylindrische Materialprobe	56
3.3.1	Teflonhalter mit versetzter Aussparung	56
3.3.2	Exakt angefertigte Teflonhalter mit der zylindrischen Aussparung in transversaler und axialer Richtung	58
3.3.3	Bestimmung des Realteils der Permittivität eines „Luftzylinders“ bei Verwendung der nominellen und effektiven Hohlleiterbreite	60
3.4	Messtechnische Bestimmung der komplexen Permittivität einer zylindrischen Vespelprobe	61
4	Theorie der gekoppelten Moden zur Analyse eines inhomogen gefüllten Hohlleiters	63
4.1	Allgemeine Formulierung des Eigenwertproblems	63
4.2	Eigenwellenanalyse eines inhomogen gefüllten Rechteckhohlleiters	68
4.3	Streumatrix für einen inhomogen gefüllten Hohlleiterabschnitt	73
4.3.1	Analyse der Diskontinuität zwischen einem leeren und einem inhomogen gefüllten Hohlleiter	73
4.3.2	Streumatrix der Diskontinuität zwischen leerem und zum Teil mit einem Dielektrikum gefüllten Hohlleiter	75
4.3.3	Streumatrix der gesamten Struktur	77
5	Resonante Messverfahren zur Bestimmung der komplexen Permittivität	81
5.1	Einleitung	81
5.2	Resonante Bestimmung der komplexen Permittivität mit Hilfe eines Hohlraumresonators	83
5.2.1	Partialgüten des Hohlraumresonators	83
5.2.2	Besonderheiten beim Entwurf des Resonators	84
5.2.3	Vergleich der gemessenen und simulierten Güten	86
5.2.4	Iterative Bestimmung des Realteils der Permittivität ϵ'_r	93
5.2.5	Bestimmung der dielektrischen Verluste	95
5.2.6	Messergebnisse für die Dielektrika PTFE und AK4	98
5.3	Bestimmung der komplexen Permittivität mit Hilfe eines dielektrischen Resonators	102

5.3.1	Charakteristische Gleichung des Resonators bei Anregung des TE-Modes	102
5.3.2	Bestimmung des dielektrischen Verlustfaktors	106
5.3.3	Ersatzschaltbild für die Kopplung des Resonators mit zwei Koaxialleitern	110
5.3.4	Messaufbau und Messergebnisse	113
5.4	Zusammenfassung	115
6	Anwendung des SAR-Prinzips zur Bestimmung des Realteils der Permittivität im Freiraum	117
6.1	Einleitung	117
6.2	Eingangreflexion und Richtcharakteristik der verwendeten Standard Gain Horn Antenne	118
6.3	Analyse im Zeitbereich	120
6.4	Implementierung des SAR-Verfahrens	124
6.4.1	Erweiterung des Modells zu einer SAR-Anordnung	124
6.4.2	Experimentelle SAR-Anordnung	126
6.4.3	Ermittlung der Referenzposition der Antenne	128
6.4.4	Bestimmung des Realteils der Permittivität einer PVC-Probe	134
7	Anwendung eines Multimode-Verfahrens zur eindeutigen Bestimmung der komplexen Permittivität und Permeabilität	137
7.1	Einleitung	137
7.2	Unabhängige Anregung und Messung der beiden entarteten Eigenwellen	138
7.2.1	Transformation des koaxialen Super-Tores	140
7.2.2	Transformation des koaxialen Super-Tores bei belastetem Hohlleiterausgang	143
7.3	Optimierung des Multimode-Adapters mit Hilfe von Microwave Studio	145
7.4	Analyse zur eindeutigen Bestimmung der Permittivität und Permeabilität	149
7.5	Messergebnisse des angefertigten Adapters im Vergleich mit den simulierten Ergebnissen	154
7.6	Weitere Vorgehensweise zum Aufbau eines T/R-Messsystems	155
8	Zusammenfassung und weiterführende Forschungsarbeit	157
	Literaturverzeichnis	159