Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen xiii

1 Einleitung 1

1.1 Stand der Forschung 3

1.2 Ziel der Arbeit 6

2 Praktische Aspekte der Meßtechnik 9

2.1 Überblick Gerätetechnik 10

2.1.1 Frequenzbereichsverfahren 10

2.1.2 Zeitbereichsverfahren 15

2.1.3 Vergleich Zeit- und Frequenzbereichsmeßverfahren 16

2.2 Verwendeter Meßaufbau 17

2.3 Teststrukturen 24

3 Theoretische Grundlagen 31

3.1 Signalausbreitung auf leitenden Substraten 31

3.2 Streuparameter-Definition bei komplexen Bezugswellenwiderständen 36

3.2.1 Normalisierung der Feldgrößen 37

3.2.2 Netzwerkbeschreibung von Wellenleitern 40

3.3 Kalibrierverfahren 44

3.3.1 Konventionelle On-Wafer-Kalibrierung 45

3.3.2 Das Multiline-TRL-Verfahren 49

3.3.3 Die Kalibrierungsvergleichsmethode 50
3.4 Mehrleitersysteme 55

4 Meßverfahren für Einzelleitungen 61
4.1 Verfahren für nichtleitende Substrate 61
4.2 Die konventionelle Methode für leitende Substrate 62
4.3 Das Zwillings-Referenzleitungsverfahren 64
4.4 Die erweiterte Kalibrierungsvergleichsmethode 65

5 Experimentelle Ergebnisse für Einzelleitungen 71
5.1 Ergebnisse für nichtleitende Substrate 71
5.2 Ergebnisse für halbleitende Substrate 73
5.2.1 Numerische Validierung 73
5.2.2 Typische Ergebnisse verschiedener Verfahren bei hoher Substratleitfähigkeit 75
5.2.3 Einfluß der Substratleitfähigkeit und der Leiterbreite . . . 78
5.3 Ergebnisse für aktuelle 0.25-μm-CMOS-Technologien 85

6 Meßverfahren für gekoppelte Zweileitersysteme auf halbleitenden Substraten 91
6.1 4-Tor-Kalibrierung 91
6.2 Extraktion der Leitungsbeläge 94
6.3 Experimentelle Ergebnisse 98
6.4 Ergebnisse für Teststrukturen mit einer Metallisierungslage 98
6.5 Ergebnisse für asymmetrische Zweileitersysteme in CMOS-Technologie 101
6.5.1 Untersuchungen zur Leistungs-Orthogonalität der beiden Fundamentalmoden 104
6.5.2 Einfluß der Metallisierungslage 107

7 Zusammenfassung 111

Literaturverzeichnis 114

Anhang 123

A Leistungswellen und klassische Definition der S-Parameter 125

B Der Gauß-Markov-Schätzer 127

C Zur Schätzung von γ beim Multiline-TRL-Verfahren 129

Lebenslauf 133