

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	iv
Abstract	v
Zusammenfassung	vii
Abbildungsverzeichnis	xvii
Tabellenverzeichnis	xix
Abkürzungsverzeichnis	xxi
Symbolverzeichnis	xxv
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	5
1.2 Ziel dieser Arbeit	5
1.3 Aufbau dieser Arbeit	6
2 Grundlagen der BAW-Komponenten	9
2.1 Akustische Wellen	9
2.1.1 Volumenwellen in homogenen und unendlich ausgedehnten Medien	10
2.1.2 Volumenwellen in piezoelektrischen Medien	13
2.1.3 Lamb-Moden und Dispersion	14

2.2	BAW-Resonatoren	18
2.2.1	Vertikales Einfangen der akustischen Wellen	21
2.2.2	Laterales Einfangen und gebundene Moden	27
2.2.3	Unterdrückung von parasitären Moden	29
2.2.4	Charakterisierungsmerkmale von BAW-Resonatoren	31
2.3	BAW-Filter	35
2.3.1	Entwurfsverfahren	35
2.3.2	Charakterisierungsmerkmale von BAW-Filtern	36
2.4	Multiplexer	37
3	Analysemethoden	41
3.1	Bestimmung von Schichtdicken	41
3.1.1	Ellipsometrie	41
3.1.2	Pikosekunden-Ultraschall-Methode	42
3.2	Elektrische Charakterisierung	44
3.2.1	Zufällige Messabweichungen	44
3.2.2	Systematische Messabweichungen	45
3.3	Charakterisierung bei homogener Erwärmung	46
3.3.1	Messtechnischer Aufbau	47
3.3.2	Entwurf geeigneter Teststrukturen	47
3.4	Charakterisierung der Eigenerwärmung	49
3.4.1	Infrarotthermografie	49
3.4.2	Charakterisierung unter hohen Leistungen	51
3.5	Nichtlineare Netzwerkanalyse	55
3.5.1	Poly-Harmonisches-Verzerrungs-Modell	55
3.5.2	Kalibriermethodik	57
3.5.3	Messplatzentwicklung	58

4	Temperaturverhalten	61
4.1	Modellierung des Kleinsignalverhaltens	62
4.1.1	1D-Transfer-Matrix-Methode	62
4.1.2	Elektromagnetische 3D-Modellierung	64
4.1.3	Linearer Schaltungssimulator	66
4.2	Temperaturabhängige Modellierung	67
4.2.1	Methode	68
4.2.2	Vergleich mit Messergebnissen	68
4.3	Bestimmung der Temperaturkoeffizienten	70
4.3.1	Methode der Obertöne und Linearisierung im Arbeitspunkt	71
4.3.2	Verifikation der erarbeiteten Modelldaten	77
4.4	Temperaturkompensation	78
4.4.1	Erhöhung des SiO ₂ -Anteils	78
4.4.2	Dreiviertel-Wellenlänge-Methode	80
5	Modellierung und Reduzierung der Eigenerwärmung	83
5.1	Bestimmung und räumliche Verteilung von Verlusten	85
5.1.1	Laterale akustische Verluste	85
5.1.2	Elektromagnetische Verluste	86
5.1.3	Viskose Verluste	87
5.2	Thermische 3D-Modellierung	89
5.3	Berücksichtigung der Temperaturverteilung	90
5.4	Verifikation durch Simulations- und Messergebnisse	92
5.4.1	Resonatoren	92
5.4.2	Filter	103
5.5	Reduzierung der Eigenerwärmung	107

6 Nichtlineares Verhalten	111
6.1 Poly-Harmonisches-Distortion-Modell eines Resonators	112
6.1.1 Leistungsabhängige S-Parameter	112
6.1.2 Vektorielle Charakterisierung von Harmonischen	113
6.1.3 Beziehungen zwischen den Harmonischen unterschiedlicher Ordnung	114
6.2 Parametrisierte Modellierung	115
6.2.1 Parametrisierte Modellierung der Nichtlinearitäten	115
6.2.2 Auswirkungen der Nichtlinearitäten auf die Resonanzfrequenz	120
6.3 Kompensationsmethoden	121
6.3.1 Erhöhung der Resonatorfläche	121
6.3.2 Serielles und anti-serielles Kaskadieren	122
7 Schlussfolgerungen und Ausblick	125
Literaturverzeichnis	128