

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
0 Formelzeichen und Abkürzungen	
1 Einleitung und Zielsetzung	1
1.1 Historischer Rückblick und Aufgabenstellung der Mikromechanik	1
1.2 Zielsetzung	6
2 Werkstoffe der Mikromechanik	7
2.1 Einteilung mikromechanischer Werkstoffe	7
2.2 Silizium als Grundwerkstoff der Mikromechanik	7
2.2.1 Herstellung von einkristallinem Silizium	9
2.2.2 Elastische Anisotropie von einkristallinem Silizium	11
2.2.3 Thermische Eigenschaften von einkristallinem Silizium	23
2.3 Schichtwerkstoffe in der Mikromechanik	25
3 Mikrostrukturierungsverfahren und Grundstrukturen der Mikromechanik	27
3.1 Einteilung der Mikrostrukturierungsverfahren	27
3.2 Anisotrope Ätztechnik	31
3.2.1 Ätzstopverfahren mit hoch bordotiertem Silizium	32
3.2.2 Dotierungsselektive Ätzverfahren	34
3.3 Grundstrukturen der Silizium-Mikromechanik	37
4 Bestimmung des E-Moduls von mikromechanischen Schichtwerkstoffen mit der Resonanzmethode	42
4.1 Stand der Technik	42

4.2	Theoretische Grundlagen zur Resonanzmethode	46
4.3	Meßplatz für dynamische Untersuchungen an Fein- und Mikrobauteilen	47
4.4	Experimentelle in-situ Bestimmung des E-Moduls von LPCVD-Si _x N _y	51
4.4.1	Präparation der Testzungen	51
4.4.2	Anregungsmethoden	53
4.4.3	Detektion der Zungenschwingung	55
4.5	Meßergebnis und Diskussion	56
4.5.1	Ermittlung des E-Moduls	56
4.5.2	Einfluß der Luftdämpfung	60
4.5.3	Einfluß der Krümmung der Testzungen	62
5	Untersuchung der Eigenspannungen in mikromechanischen Schichtwerkstoffen auf Siliziumsubstrat	65
5.1	Eigenspannungen in mikromechanischen Schichtwerkstoffen	65
5.2	Meßmethoden zur Ermittlung der Eigenspannungen in Schichtwerkstoffen	68
5.2.1	Überblick über die Meßmethoden	68
5.2.2	Modifiziertes Stoney'sches Modell zur Plate-Bending-Technik	72
5.3	Analytische Betrachtung thermischer Eigenspannung im 2-Schichtsystem	74
5.3.1	Superpositionsverfahren	74
5.3.2	Bimetall-Modell	83
5.3.3	Vergleich zwischen beiden Modellen	86
5.4	Experimentelle Ermittlung der Eigenspannungen in Oxid- und Nitridschichten auf Siliziumsubstrat	89
5.4.1	Probenpräparation und Versuchsdurchführung	89
5.4.2	Ermittlung der Eigenspannung mit dem modifizierten Stoney'schen Modell	94
5.4.3	Simulationsrechnung für thermische Oxidschichten auf einem Siliziumsubstrat	95
5.4.4	Ergebnis und Diskussion	96

5.5	Fehlerbetrachtung zur Plate-Bending-Methode	103
6	In-situ Ermittlung der Bruchfestigkeit von Schichtwerkstoffen	105
6.1	Stand der Technik	105
6.2	Mikrozugmaschine (MZM)	107
6.3	Analytische Betrachtung und FEM-Berechnung zur Mikrozugmaschine	109
6.3.1	Analytische Betrachtung zur MZM	109
6.3.2	MZM für siliziumreiches LPCVD-Si _x N _y	112
6.3.3	FEM-Berechnung zur MZM	113
6.4	Experimentell in-situ Ermittlung der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung an LPCVD-Si _x N _y	121
6.4.1	Herstellung der MZM mit dem LPCVD-Si _x N _y	121
6.4.2	Experimentelle Ergebnis mit statistischer Auswertung	122
6.5	Fehlerbetrachtung zur MZM-Technik	126
7	Bruchfestigkeitsuntersuchung an einkristallinem Siliziumwafermaterial	127
7.1	Einleitung	127
7.2	Prüfverfahren zur Ermittlung der Biegefestigkeit vom Siliziumwafermaterial	128
7.2.1	Prüfmethoden für Biegefestigkeitsprüfung	128
7.2.2	Auswahl der Prüfmethode für Siliziumwafermaterial	133
7.3	Kugelring-Methode	133
7.3.1	Experimenteller Aufbau	133
7.3.2	Analytische Formel zur Kugelring-Methode	135
7.4	Probenpräparation und Durchführung der Biegefestigkeitsprüfung	137
7.4.1	Präparation der Siliziumprobe	137
7.4.2	Prüfungsdurchführung	139
7.5	Statistische Auswertung der Prüfungsergebnisse	139
7.5.1	Weibull-Verteilung	139

7.5.2	Statistische Auswertung nach der Weibull-Verteilung	141
7.6	Ergebnisse und Diskussion	143
7.6.1	Bruchvorzugsrichtung und Bruchvorzugsebene	143
7.6.2	Einfluß der Waferorientierung auf die Biegefestigkeit	145
7.6.3	Einfluß der Ziehverfahren auf die Biegefestigkeit	147
7.6.4	Einfluß der Temperung auf die Biegefestigkeit	148
7.6.5	Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit auf die Biegefestigkeit	151
7.6.6	Einfluß der Beschichtung auf die Biegefestigkeit	152
7.6.7	Vergleich eigener Meßwerte mit Festigkeitswerten aus Literaturen	154
8	Zusammenfassung und Ausblick	155
9	Literaturverzeichnis	159

Anhang

A	: Werkstoffeigenschaften von bulkem Quarzsilizium	168
B	: Prozeßparameter bei der Beschichtung von thermischem SiO_2 , LPCVD- Si_3N_4 sowie von siliziumreichem LPCVD- Si_xN_y	169
C	: Parameter und Gasmischung für Plasmaätzen (RIE)	170
D	: Layout und Masken für MZM	171