

Inhaltsverzeichnis

Bezeichnungen und Symbole	11
1 Bedeutung und Inhalte der Mikromechanik	17
2 Werkstoffe der Mikromechanik	21
2.1 Überblick	21
2.2 Kristallstrukturen	21
2.3 Silizium	26
2.4 Quarz	35
3 Reinraumtechnik	45
3.1 Notwendigkeit der Reinraumtechnik bei der Herstellung mikromechanischer Bauelemente	45
3.2 Kontaminationen in Reinräumen	46
3.3 Klassifizierung von Reinräumen	49
3.4 Konzeption von Reinräumen	50
3.5 Partikelzählung	54
4 Technologie der Mikromechanik	56
4.1 Lithographieverfahren	56
4.1.1 Maskenherstellung und Belichtungsverfahren der Photolithographie	57
4.1.2 Prozessschritte bei der Photolithographie	61
4.1.3 Röntgenlithographie	66
4.1.4 Elektronenstrahlolithographie	70
4.2 Dünnschichttechnik	71
4.2.1 Überblick über Eigenschaften und Herstellungsverfahren dünner Schichten	71
4.2.2 PVD-Prozesse	78
4.2.3 CVD-Prozesse	86
4.2.4 Galvanische und außenstromlose Abscheidung	93
4.2.5 Thermische Oxidation von Silizium	94
4.3 Dotierung	97
4.3.1 Diffusion	97
4.3.2 Ionenimplantation	100

4.4	Ätztechnik	102
4.4.1	Grundlegende Begriffe	102
4.4.2	Naßchemisches Ätzen dünner Schichten	103
4.4.3	Naßchemisches Ätzen von Silizium	105
4.4.4	Naßchemisches Ätzen von Quarz und Verbindungshalbleitern	113
4.4.5	Plasmaunterstützte Ätzverfahren	116
4.4.6	Teilchenspur-Ätztechnik	121
4.5	Mikromaterialbearbeitung mit Laserstrahlen	123
4.5.1	Übersicht über laserinduzierte Verfahren	123
4.5.2	Experimentelle Techniken	126
4.5.3	Laserinduzierte Prozesse in der Mikromechanik	127
4.6	Abformung von Mikrostrukturen	131
4.7	Aufbau- und Verbindungstechniken	133
4.7.1	Bedeutung der Aufbau- und Verbindungstechniken für die Mikromechanik	133
4.7.2	Verbindungstechniken	134
4.7.3	Kontaktierungsverfahren	136
4.7.4	Aufbautechniken	138
4.7.5	Gehäusung	142
5	Meßmethoden	144
5.1	Messung von Schichtdicken	144
5.1.1	Tastschnitt-Verfahren	144
5.1.2	Mikrowägung	145
5.1.3	Schwingquarz-Methode	145
5.1.4	Elektrische Verfahren	146
5.1.5	Interferenzverfahren	146
5.1.6	Ellipsometrie	148
5.2	Oberflächenanalytik	149
5.2.1	Photoelektronenspektroskopie	150
5.2.2	Augerelektronenspektroskopie	151
5.2.3	Sekundärteilchen-Massenspektrometrie	153
5.2.4	Elektronenstrahl-Mikroanalyse	154
5.3	Untersuchung der Topographie und der kristallinen Struktur	155
5.3.1	Rasterelektronenmikroskopie	155
5.3.2	Röntgenbeugung	156
5.3.3	Elektronenbeugung	157
5.3.4	Rastertunnelmikroskopie	159
5.4	Untersuchung mechanischer und physikalischer Eigenschaften von dünnen Schichten	160
5.4.1	Härte	160
5.4.2	Haftfestigkeit	160
5.4.3	Mechanische Spannungen	161

6 Anwendungen der Mikromechanik	162
6.1 Sensoren	162
6.1.1 Drucksensoren mit piezoresistiver oder kapazitiver Signalwandlung	163
6.1.2 Beschleunigungssensoren mit piezoresistiver oder kapazitiver Signalwandlung	168
6.1.3 Flußsensoren	171
6.1.4 Strahlungssensoren	173
6.1.5 Gassensoren	174
6.1.6 Miniaturisierte Quarzresonatoren als frequenz- analoge Sensoren	175
6.1.7 Akustische Oberflächenwellenelemente als frequenz- analoge Sensoren	179
6.1.8 Mikromechanische Resonatoren auf Silizium-Basis als frequenzanaloge Sensoren	184
6.2 Aktoren	186
6.2.1 Mikromechanische Schalter	187
6.2.2 Lichtmodulatoren und Anzeigeelemente	189
6.2.3 Mikromechanische Ventile und Pumpen	192
6.2.4 Elemente zur Mikropositionierung	194
6.2.5 Mikromotoren	196
6.3 Sonstige Anwendungen	199
6.3.1 Analysesysteme	199
6.3.2 Justierhilfen für mikrooptische Elemente	203
6.3.3 Optische Gitter	207
6.3.4 Vakuum-Mikroelektronik	209
6.3.5 Düsen für Tintenstrahldrucker	212
6.3.6 Transmissionsmasken	213
7 Mikrosystemtechnik	215
Literaturverzeichnis	221
Sachverzeichnis	233