

# Inhaltsverzeichnis

1	Einführung .....	11
1.1	Allgemeiner Gegenstand des Lehrstoffes .....	11
1.2	Mikrosystemtechnik.....	13
1.3	Übersicht über die Verfahren der Mikrotechnik .....	15
1.3.1	Schichtbildung .....	15
1.3.2	Strukturübertragung .....	17
1.3.3	Materialentfernung.....	18
1.4	Werkstoffauswahl .....	19
1.4.1	Materialeigenschaften .....	19
1.4.2	Herstellbarkeit und Kompatibilität.....	20
1.4.3	Bewertung der Eignung von Materialien .....	21
2	Züchtung und Bearbeitung von Einkristallen.....	23
2.1	Bedeutung und Gliederung .....	23
2.2	Kristallisation.....	24
2.2.1	Kristallisation als Phasenumwandlung .....	24
2.2.2	Keimbildung .....	26
2.2.2.1	Homogene Keimbildung.....	27
2.2.2.2	Heterogene Keimbildung.....	28
2.2.2.3	Gleichgewichtsformen der Kristallkeime.....	30
2.2.3	Kristallwachstum .....	30
2.3	Kristallzüchtungs-Verfahren.....	32
2.3.1	Kristallisation aus der Gasphase .....	32
2.3.1.1	Übersicht .....	32
2.3.2	Kristallisation aus der flüssigen Phase.....	33
2.3.2.1	Übersicht .....	33
2.3.2.2	Kristallisation der Schmelze im Tiegel.....	34
2.3.2.3	Kristallisation der Schmelze am frei wachsenden Kristall.....	36
2.3.3	Fremdstoff-Einbau bei der Erstarrung von Schmelzen .....	38
2.3.3.1	Segregation .....	38
2.3.3.2	Normalerstarrung .....	40

2.3.3.3	Zonenschmelzen .....	42
2.3.3.4	Selektive Abdampfung .....	44
2.3.4	Kristallisation aus Lösungen .....	45
2.4	Mechanische Kristallbearbeitung .....	48
2.4.1	Grundlagen .....	48
2.4.2	Vorbereitung.....	50
2.4.3	Trennen der Kristalle.....	52
2.4.4	Läppen der Waferoberfläche .....	53
2.4.5	Polieren der Waferoberfläche.....	54
3	Konstruktionswerkstoffe .....	57
3.1	Substrate .....	57
3.1.1	Allgemeines.....	57
3.1.2	Silizium .....	58
3.1.2.1	Qualitätsmerkmale von Silizium-Substraten (Wafer).....	58
3.1.2.2	Herstellung von hochreinem polykristallinen Silizium .....	61
3.1.2.3	Silizium-Einkristallzüchtung und -Dotierung.....	62
3.1.2.4	Herstellung von Silizium-Wafern.....	65
3.1.3	A <sup>III</sup> -B <sup>V</sup> -Verbindungshalbleiter: GaAs, GaP und InP .....	68
3.1.4	Siliziumkarbid SiC und Galliumnitrid GaN .....	70
3.1.5	Saphir.....	73
3.1.6	Quarz .....	74
3.1.7	Lithiumniobat LiNbO <sub>3</sub> , Lithiumtantalat LiTaO <sub>3</sub> und Lithiumtetraborat Li <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .....	77
3.1.8	Glas.....	79
3.1.9	Keramik .....	81
3.2	Leiterplatten.....	83
3.2.1	Träger .....	83
3.2.2	Leiterschicht .....	85
3.2.3	Pressen des Leiterplatten-Basismaterials.....	86
3.2.4	Formabweichungen und Fehler von Leiterplatten .....	86
3.3	Schichten .....	87
3.3.1	Schichten der Dünnschicht- und Silizium-Technik.....	87
3.3.1.1	Passivierungen und dielektrische bzw. isolierende Schichten.....	87
3.3.1.2	Elektrisch leitende Schichten.....	88
3.3.1.3	Polykristalline Silizium-Schichten .....	90
3.3.2	Schichten der Dickschichttechnik .....	91
3.3.2.1	Allgemeines.....	91
3.3.2.2	Leit- und Widerstandsschichten .....	92
3.3.2.3	Lotpasten .....	93

3.3.2.4	Isolations-, dielektrische und Abdeck-Pasten .....	94
3.4	Werkstoffe der Fügetechnik .....	95
3.4.1	Lote .....	95
3.4.2	Kleber .....	98
3.5	Elektrisch leitende Verbindungen zu den Chips .....	101
3.5.1	Übersicht .....	101
3.5.2	Bonddrähte .....	103
3.5.3	Systemträger (Trägerstreifen) .....	104
3.5.4	Trägerfilme (Spider) .....	105
3.5.5	Bond- und Löthügel (Bumps) .....	105
3.6	Gehäuse und Umhüllungen .....	106
3.7	Resistmaterialien und Formkörper der LIGA-Technik .....	108
3.7.1	Resistmaterialien .....	108
3.7.2	Formkörper-Werkstoffe der LIGA-Technik .....	112
4	Funktionswerkstoffe .....	113
4.1	Allgemeines .....	113
4.2	Werkstoffe für die Wandlung mechanisch-elektrisch .....	114
4.2.1	Piezoelektrischer und reziproker piezoelektrischer Effekt .....	114
4.2.1.1	Quarz .....	115
4.2.1.2	Halbleiter .....	118
4.2.1.3	Ferroelektrika .....	118
4.2.1.4	Polymere Piezoelektrika .....	123
4.2.2	Piezoresistiver Effekt .....	124
4.2.3	Werkstoffe für Bimorphe (Bimetalleffekt) .....	128
4.2.4	Formgedächtnis-Legierungen .....	128
4.2.5	Magnetostriktive Werkstoffe .....	131
4.3	Werkstoffe für die Wandlung thermisch-elektrisch .....	133
4.3.1	Resistive Temperaturmessung .....	133
4.3.1.1	Metalle .....	133
4.3.1.2	Halbleiter .....	135
4.3.1.3	Oxidkeramische Thermistorwerkstoffe .....	136
4.3.2	Wärmeerzeugung mittels elektrischem Strom .....	137
4.3.3	Thermoelektrische Effekte .....	139
4.3.3.1	Ursachen .....	139
4.3.3.2	Thermoelektrische Spannungsreihe .....	140
4.3.3.3	Thermoelektrische Gütezahl .....	141
4.3.3.4	Metallische Thermoelemente zur Temperaturmessung .....	142
4.3.3.5	Halbleiter-Thermoelemente als Temperatursensoren .....	143
4.3.3.6	Halbleiter als Thermogeneratoren und für Peltier-Elemente .....	145

4.3.4	Pyroelektrischer Effekt.....	146
4.4	Werkstoffe für die Wandlung magnetisch-elektrisch .....	146
4.4.1	Wandlungen auf der Grundlage des Ferromagnetismus.....	147
4.4.2	Hall-Effekt.....	148
4.4.3	Magnetowiderstand .....	149
4.4.4	Ferro- und ferrimagnetische Werkstoffe für die Datenspeicherung .....	151
4.5	Werkstoffe für die Wandlung optisch-elektrisch.....	152
4.5.1	Innerer Photoeffekt in Halbleitern.....	152
4.5.1.1	Optische Generation und Rekombination von Ladungsträgern.....	152
4.5.1.2	Photoleitung, Photowiderstände und Photodioden .....	153
4.5.1.3	Bandstruktur: direkte und indirekte Halbleiter .....	155
4.5.1.4	Werkstoffauswahl und Werkstoffprobleme.....	158
4.5.2	Elektrooptische Effekte .....	159
4.6	Werkstoffe für die Wandlung chemisch-elektrisch .....	161
4.6.1	Übersicht .....	161
4.6.2	Werkstoffe mit Feuchte-empfindlichen elektrischen Eigenschaften .....	163
4.6.2.1	Kapazitives Sensorprinzip .....	163
4.6.2.2	Resistives Sensorprinzip.....	164
4.6.3	Werkstoffe für die resistive Wandlung chemisch-elektrisch.....	165
4.6.4	Festkörper-Elektrolyte für Gassensoren .....	166
A	Anhang.....	169
A.1	Eigenschaften und Herstellung von Gläsern.....	169
A.1.1	Zur Struktur silikatischer Gläser.....	169
A.1.2	Mechanische und thermische Eigenschaften silikatischer Gläser ..	170
A.1.2.1	Viskosität und Dichte .....	170
A.1.2.2	Entglasung und Glas-Keramik.....	173
A.1.2.3	Thermische Ausdehnung und Temperaturwechselbeständigkeit...	174
A.1.2.4	Elastizität und Festigkeit .....	176
A.1.3	Optische Eigenschaften von Gläsern .....	177
A.1.3.1	Lichtbrechung und Dispersion.....	177
A.1.3.2	Absorption bzw. Transmission (Durchlässigkeit) .....	178
A.1.3.3	Lichtwellenleiter-Glasfasern .....	180
A.1.4	Elektrische Eigenschaften.....	181
A.1.4.1	Elektrischer Widerstand und Durchschlagsfeldstärke .....	181
A.1.4.2	Dielektrische Eigenschaften .....	182
A.1.5	Herstellung von Gläsern .....	182
A.1.5.1	Übersicht, Glasfehler und Glasbearbeitung.....	182

A.1.5.2	Herstellung von Flachglas.....	184
A.1.5.3	Herstellung optischer Glasfasern .....	185
A.2	Polymere Werkstoffe .....	188
A.2.1	Herstellung und Verarbeitung polymerer Werkstoffe.....	188
A.2.2	Ausgewählte polymere Werkstoffe.....	192
A.2.2.1	Polyacrylate.....	192
A.2.2.2	Polyparaxylylen (Parylen).....	192
A.2.2.3	Phenolharze (PF).....	193
A.2.2.4	Epoxidharze (EP).....	194
A.2.2.5	Polyimide (PI).....	196
A.2.2.6	Silikone (SI).....	198
A.3	Tensorielle Darstellung der Kristalleigenschaften .....	200
A.3.1	Der Begriff des Tensors .....	200
A.3.2	Eigenschaftstensoren 0. Stufe (Skalare Eigenschaften) .....	200
A.3.3	Eigenschaftstensoren 1. Stufe (Vektorielle Eigenschaften) .....	201
A.3.4	Eigenschaftstensoren 2. Stufe .....	201
A.3.5	Eigenschaftstensoren 3. Stufe .....	205
A.3.6	Eigenschaftstensoren 4. Stufe .....	209
	 Symbolverzeichnis.....	 213
	 Literaturverzeichnis .....	 219
	 Sachwortverzeichnis.....	 229