

Markus Glück

MEMS in der Mikrosystemtechnik

**Aufbau, Wirkprinzipien,
Herstellung und Praxiseinsatz
mikroelektromechanischer
Schaltungen und Sensorsysteme**

Mit 92 Abbildungen und 6 Tabellen



Teubner

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	11
1.1 Historische Entwicklung der MEMS.....	12
1.2 Rasant wachsende Märkte mit enormen Potenzialen	15
1.2.1 Mikrosysteme für die Mobilität	17
1.2.2 Prozess- und Anlagensicherheit im Maschinenbau.....	18
1.2.3 Medizintechnik und Pharmazie	18
1.2.4 Umwelt- und Klimatechnik.....	19
1.2.5 Haushaltsanwendungen, Facility Management	20
2 Grundlagen	21
2.1 Grundlagen der Sensorik.....	21
2.1.1 Messwerterfassung und dynamisches Schaltverhalten.....	23
2.1.2 Fehlerangaben und Fehlerkenngrößen	26
2.2 Grundlagen der Werkstofftechnik	27
2.2.1 Aggregatzustände	27
2.2.2 Chemische Bindungen	27
2.2.3 Elektrische Eigenschaften der Festkörper.....	29
2.2.4 Halbleitermaterialien und Bändermodelle	30
2.3 Kristalline Festkörper.....	38
2.3.1 Elementarzellen und Gitter.....	39
2.3.2 Kristallrichtungen und Ebenen	41
2.3.3 Kristallstrukturen.....	43
2.4 Grundlagen der Halbleiterphysik	48
2.4.1 Elektrische Leitfähigkeit und Stromfluss in Halbleitern.....	48
2.4.2 PN Übergang	57
2.5 Silizium – wichtigster Basiswerkstoff der Mikrosystemtechnik.....	62
3 Herstellungsverfahren der MEMS Fertigung	65
3.1 Herstellung von Siliziumscheiben.....	66
3.1.1 Kristallziehen – Czochralski Tiegelziehverfahren	67
3.1.2 Zonenreinigung und Scheibenherstellung.....	68
3.2 Herstellung von MEMS und mikroelektronischen Schaltungen.....	69
3.2.1 Strukturierung mittels Fotolithographie.....	69
3.2.2 Dotierung und Ionenimplantation	72
3.2.3 Oxidation und Passivierung	74
3.2.4 Ätztechnik	77

3.2.5 Reinigungsprozesse.....	80
3.2.6 Metallisierung	82
3.2.7 LIGA Verfahren und Mikrogalvanik	84
3.2.8 Aufbau- und Verbindungstechnik, Packaging	87
4 Temperatursensoren	93
4.1 Thermoelemente	93
4.2 Thermowiderstände	95
4.2.1 Ohmsche Temperatursensoren aus metallischen Leitern	95
4.2.2 Halbleiter Temperatursensoren	98
4.2.3 Heißeleiter (NTC Widerstände).....	102
4.2.4 Kaltleiter (PTC Widerstände)	102
4.3 Thermiodioden	103
4.4 Ohmsche Widerstandsmessungen der Materialmesstechnik	104
5 Magnetfeldsensoren.....	107
5.1 Hall-Effekt, Magnetowiderstandseffekt, Feld- und Rasterplatte.....	108
5.2 Einfache Mikrosensoren zur Magnetfeldbestimmung	115
5.2.1 Hall-Spannungsbetrieb.....	115
5.2.2 Hall-Strombetrieb	116
5.2.3 Doppelelektrodenanordnungen als Magnetfeldsensor	117
5.2.4 Corbino Scheibe.....	118
6 Strahlungssensoren und Fotodetektoren	119
6.1 Grundlagen der Strahlungsmessung.....	121
6.2 Fotodioden.....	122
6.2.1 Aufbau und Wirkungsweise von Fotodioden	122
6.2.2 Verbesserung der Quantenausbeute, PIN Diode	125
6.2.3 Lawinenfotodioden (APD).....	128
6.2.4 MOS Diode als Fotodetektor	129
6.3 Infrarotmesstechnik	131
6.4 Fotoleiter	133
6.5 Materialien für die Detektion von Licht	136
7 Mikro-Elektro-Mechanische Sensorsysteme	139
7.1 Piezowiderstandseffekt, Dehnungsmessstreifen	141
7.2 Piezoelektrischer Effekt.....	144
7.3 Druckmesstechnik	145
7.4 Beschleunigungssensoren	149
7.5 Mikrofone.....	152
7.6 Strömungs- und Flussensoren	153

7.7 Mikromechanische Aktuatoren.....	156
7.7.1 Grundprinzipien mikroelektromechanischer Aktuatoren	156
7.7.2 Lichtmodulatoren und Spiegel.....	157
7.7.3 Mikromotoren.....	160
8 Chemische Sensoren.....	163
9 Systemintegration und Datenübertragung	169
9.1 Bussysteme in Sensorik und Automatisierungstechnik.....	169
9.2 Innovative Funksensorik	172
9.3 RFID Technik (Radio Frequency Identification).....	179
10 Energieversorgung.....	185
10.1 Batterien.....	185
10.2 Solarzellen	188
10.3 Energieautarke Sensorsysteme	192
Anhang	
Symbolverzeichnis	195
Literatur- und Quellenverzeichnis	201
Stichwortverzeichnis	207