

Dipl.-Ing. Dieter Zurhelle, Buxtehude

Koppelstrukturen für integrierte optische Schaltungen auf Silizium

Reihe **9**: Elektronik

Nr. **236**

Inhalt

1. Einleitung	1
2. Aufbau von optischen Wellenleitern	5
2.1 Wellenleiter auf Silizium	5
2.2 Glasfasern	8
3. Berechnung von optischen Wellenleitern	9
3.1 Wellenausbreitung ohne Wellenleiter	11
3.1.1 Homogene Medien	11
3.1.2 Grenzflächen	12
3.2 Filmwellenleiter	16
3.2.1 Strahlenoptische Behandlung	16
3.2.2 Wellenoptische Behandlung	18
3.3 Stufenfasern	23
3.4 Streifen- und Wulstleiter	27
3.4.1 Effektiv-Index-Methode (EIM)	27
3.4.2 Finite-Differenzen-Methode (FDM)	31
3.4.3 Beam-Propagation-Methode (BPM)	37
3.5 Koppelverhalten von Moden	44
3.6 Anwendungen der Berechnungsmethoden	45
3.6.1 Charakterisierung des verwendeten BPM-Programmes	46
3.6.2 Führungseigenschaften schwach führender Wellenleiter (EIM, BPM)	48
3.6.3 Dimensionierung von Wulstleitern (EIM, FDM)	50
4. Technologische Grundlagen	54
4.1 Abscheideverfahren	54
4.1.1 Thermische Oxidation	54
4.1.2 LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition)	58
4.1.3 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)	61
4.1.4 Aufdampfen	63
4.1.5 Sputtern (Kathodenzerstäuben)	65
4.2 Strukturierungsverfahren	67
4.2.1 Photolithographie	67
4.2.2 Naßchemie	69
4.2.3 Plasmaätzen	71
4.2.3.1 Grundlagen	71
4.2.3.2 Plasmaätzprozesse für Koppelstrukturen	73

4.2.4 Ionenätzen	76
4.2.5 Lift-Off-Prozeß	78
4.3 Ionenimplantation	79
5. Meß- und Analysemethoden	81
5.1 Mechanische Schichtdickenmessung	82
5.2 Rasterelektronenmikroskopie (REM)	84
5.3 Optische und elektrische Meßtechnik	85
5.3.1 Ellipsometrie	85
5.3.2 Prismenkopplung	88
5.3.3 Wirkungsgradmessungen	90
5.3.4 Grenzfrequenzmeßplatz	94
5.3.5 Meßplatz für wellenlängenselektive Messungen	96
6. Detektor-Koppelstrukturen	97
6.1 Grundlagen von Silizium-PIN-Dioden	98
6.2 Sperrschichtsimulationen an PIN-Dioden	103
6.3 Design und technologische Realisierung	109
6.3.1 Wellenleiter-Detektor-Kopplung	109
6.3.1.1 Stufe im Substrat und Antireflexbeschichtung	111
6.3.1.2 PIN-Diode	114
6.3.1.3 Integriert optischer Wellenleiter	115
6.3.1.4 Kontaktierung der Diode	118
6.3.2 Faser-Detektor-Kopplung	118
6.4 Ergebnisse der Detektor-Koppelstrukturen	123
6.5 Koppelstrukturen mit externen Detektoren	131
7. Verjüngungsstrukturen (Taper) zur Feldtransformation in Koppelstrukturen	136
7.1 Technologische Realisierung und Dimensionierung	137
7.2 Simulierte und gemessene Tapereigenschaften	139
8. Faser-Wellenleiter-Kopplung	142
8.1 Einfluß von Taperstrukturen auf das Koppelverhalten	143
8.2 Technologische Realisierung der Kopplung	145
9. Optische Resonatoren als wellenlängenselektive Koppellemente	148
9.1 Theoretische Grundlagen von Fabry-Perot Resonatoren	150
9.2 Verspiegelung der Resonatoren	152
9.3 Technologische Realisierung und Ergebnisse	154

10. Zusammenfassung und Ausblick	158
Anhang A: Berechnung von Wellenleitern	161
A1 Methode der äquivalenten Transversalleitungen	161
A2 Berechnung einer schwach führenden Stufenfaser	164
Anhang B: Prozeßabläufe	170
B1 Wellenleiter-Detektor-Kopplung mit vertikaler Diode	171
B2 Wellenleiter-Detektor-Kopplung mit horizontaler Diode	172
B3 Faser-Detektor-Kopplung	174
B4 Faser-Wellenleiter-Kopplung	175
B5 Integriert optischer Fabry-Perot Resonator	176
Referenzen	178