

Dipl.-Ing. Martin Hoffmann, Hemer

**Plasmaabgeschiedene
integriert optische
Wellenleiter auf Silizium
für die faseroptische
Kommunikationstechnik**

Reihe **10**: Informatik/
Kommunikationstechnik Nr. **469**

1 Einleitung	1
2 Integrierte Optik für die optische Kommunikationstechnik	4
2.1 Integrierte Optik in der faseroptischen Kommunikationstechnik	4
2.2 Materialsysteme der integrierten Optik	8
2.3 Planare Lichtwellenleiter auf SiO ₂ für die optische Übertragungstechnik	10
2.4 Silizium als Substratmaterial	12
3 Plasmaabgeschiedene dielektrische Schichten auf Siliziumsubstraten	14
3.1 Plasmaunterstützte Abscheidung von dielektrischen Schichten	14
3.2 PECVD-Schichtsysteme für integriert optische Komponenten	15
3.3 Eigenschaften	17
3.3.1 Brechungsindex	17
3.3.2 FTIR-Untersuchungen der Schichtzusammensetzung	21
3.3.3 Homogenität und Reproduzierbarkeit von Brechungsindex und Schichtdicke	24
3.3.4 Mechanische Spannungen und Doppelbrechung	25
3.4 Auswirkungen des Temperns auf die Schichtparameter	29
3.4.1 Brechungsindex und Schichtdicke	30
3.4.2 Mechanische Spannungen	31
3.4.3 Zusammenfassung des Temperverhaltens	33
4 Dimensionierung und Charakterisierung von Lichtwellenleitern	33
4.1 Konzepte faseringepaßter integriert optischer Lichtwellenleiter auf Silizium	33
4.2 Dimensionierung von faseringepaßten Wellenleitern mit großem Indexhub	37
4.2.1 Die Methode der Geraden	38
4.2.2 Erweiterung der Methode der Geraden zur Berechnung von Kopplern	39
4.2.3 Optimierung des Faser-Koppelwirkungsgrades	40
4.2.4 Zusammenfassung der Simulationsergebnisse	46
4.3 Herstellung von plasmaunterstützt abgeschiedenen Lichtwellenleitern	47
4.3.1 Substratmaterial und Abscheidung der Kernschicht	48
4.3.2 Fotolithografie	49
4.3.3 Reaktives Ionenätzen der Kernschicht	50
4.3.4 Deckbeschichtung	52
4.3.5 Endflächenpräparation	53
4.4 Eigenschaften von plasmaunterstützt abgeschiedenen Wellenleitern	56
4.4.1 Weißlichtmessungen	56
4.4.2 Bestimmung des Nahfeldes und des Koppelfaktors	58
4.4.3 Polarisationsabhängigkeit	63

5 Passive integriert optische Schaltungen	65
5.1 2D-BPM-Simulationen integriert optischer Komponenten	65
5.2 Gekrümmte Lichtwellenleiter	68
5.3 Richtkoppler	73
5.4 Mach-Zehnder Interferometer	77
5.5 Wellenlängenmultiplexer für 1310 nm / 1550 nm	80
5.6 Sternkoppler	81
6 Thermooptische Schalter	87
6.1 Der thermooptische Effekt	88
6.1.1 Der thermooptische Effekt in Siliziumdioxid	88
6.1.2 Auswirkungen des thermooptischen Effektes auf Lichtwellenleiter	89
6.2 BPM-Simulation thermooptischer Komponenten	89
6.3 Thermische Eigenschaften des SiO ₂ -Si - Verbundes	91
6.3.1 Temperaturgradient im planaren Aufbau	93
6.3.2 Steuerung des Temperaturgradienten durch mikromechanische Strukturierung	94
6.3.3 Folgerungen für thermooptische Schalter	97
6.4 Technologien zur Herstellung thermooptischer Schalter	97
6.4.1 Heizelemente für thermooptische Schalter	97
6.4.2 Auswahl geeigneter Verfahren zur mikromechanischen Strukturierung	100
6.4.3 Strukturierung dicker Oxidschichten im Trockenätzverfahren	103
6.4.4 Unterätzen von Oxidfilmen im CMOS-kompatiblen Plasmaprozeß	105
6.5 Richtkoppler-Schalter	107
6.5.1 Realisierung von Richtkoppler-Schaltern	108
6.5.2 Zusammenfassung der Eigenschaften	109
6.6 Mach-Zehnder Schalter	109
6.6.1 Realisierung von Mach-Zehnder Schaltern	110
6.6.2 Zusammenfassung der Eigenschaften	111
6.7 Thermooptischer Digitaler Schalter	112
6.7.1 Unsymmetrische Schalter mit definiertem Schaltzustand	113
6.7.2 Optimierung des Wellenleiterlayouts	115
6.7.3 Thermische Optimierung des Schaltverhaltens	120
6.7.4 Zusammenfassung der Simulationsergebnisse	121
6.7.5 Messungen an leistungsoptimierten thermooptischen Schaltern	124
6.7.6 Zusammenfassung der Eigenschaften	128

7 Aufbau- und Verbindungstechnik	129
7.1 Koppelwirkungsgrad	129
7.1.1 Axialer Versatz	130
7.1.2 Radialer Versatz	130
7.1.3 Winkelversatz	131
7.1.4 Zulässige Toleranzen	132
7.2 Faserkopplung mit V-Gruben in Silizium	133
7.2.1 Herstellung und Justierung von V-Gruben zur Faserkopplung	133
7.2.2 Aktiv justierbare Fasergruppen	134
7.3 Schaltungsarrays	137
8 Zusammenfassung	139
9 Anhang - Wichtige Materialparameter	141
Literaturverzeichnis	143