

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Problembeschreibung und Lösungsansatz	4
2.1	Elektro-optische Leiterplatte mit integrierten optischen Kanalwellenleitern	4
2.2	Eigenschaften des LP-integrierten optischen Kanalwellenleiters	6
2.3	Simulationstechnik für LP-integrierte optische Kanalwellenleiter	8
2.3.1	Anforderungen an das Analyseverfahren	8
2.3.2	Lösungsansatz - Hybride strahlenoptische Analyse	10
3	Wellenausbreitung hochfrequenter elektromagnetischer Felder	12
3.1	Maxwellsche Gleichungen	12
3.2	Geometrische Optik zur Beschreibung hochfrequenter Wellenfelder	14
3.2.1	Anforderungen an die Materialeigenschaften	14
3.2.2	Lösungsansatz - Luneberg-Kline Entwicklung	16
3.2.3	Grundgleichungen der geometrischen Optik	16
3.3	Zentrale strahlenoptische Gleichungen hochfrequenter Wellenfelder	19
3.3.1	Konzept des räumlich kohärenten Strahls	19
3.3.2	Geometrischer Strahlenpfad	20
3.3.3	Physikalische Eigenschaften eines Strahlenpfades	21
3.4	Zusammenfassung	27
4	Reflexion und Brechung an glatten dielektrischen Grenzflächen	28
4.1	Reflexion und Brechung ebener Wellen	29
4.2	Reflektivität und Transmittivität	34
4.2.1	Verlustfreier dielektrischer Halbraum	35
4.2.2	Verlustbehafteter dielektrischer Halbraum	37
4.3	Tunnelverluste bei Reflexion an gekrümmten Grenzflächen	39
4.4	Energieerhaltung	43

5	Streuung an nanorauen dielektrischen Grenzflächen	44
5.1	Klassifizierung rauher Oberflächen	45
5.2	Mechanische Beschreibungsformen nanorauer Oberflächen	46
5.2.1	Deterministische Beschreibung und Kenngrößen	47
5.2.2	Stochastische Beschreibungsform	48
5.3	Vektorielle Feldbetrachtung der Streuung an nanorauer Grenzfläche	50
5.3.1	Vektorieller Streufeldansatz ebener Wellen	50
5.3.2	Störungstheoretischer Ansatz erster Ordnung	52
5.3.3	Randbedingungen innerhalb einer nanorauen Grenzfläche	54
5.3.4	Integralgleichungen der Streufeldvektoren	56
5.3.5	Vektorielle Streufeldbeschreibung mit Hilfe von Jonesmatrizen	66
5.3.6	Skalare Streufeldbeschreibung für 2-D Oberflächenrauigkeiten	69
5.4	Leistungsbetrachtung der Streuung an nanorauen Grenzflächen	70
5.4.1	Streurefektivität und Streutransmittivität	70
5.4.2	Energiekorrektur der spekularen Teilwellen	75
5.4.3	Modifizierte Reflektivität und Streuverluste	76
5.5	Streuverhalten exemplarisch ausgewählter Nanorauhigkeiten	76
5.5.1	Winkeldiskrete Streurefektivität	77
5.5.2	Modifizierte Reflektivität	83
5.5.3	Zusammenfassung	86
6	Hybrides strahlenoptisches Analyseverfahren	88
6.1	Hybride Strahlenoptik zur Beschreibung der Modenausbreitung	89
6.1.1	Anwendbarkeit der Strahlenoptik in optisch vielmodigen Wellenleitern	90
6.1.2	Strahlenoptisches Modenäquivalent	91
6.2	Quellen- und Detektormodell	93
6.2.1	Strahlenoptisches Quellenmodell	93
6.2.2	Virtuelles Detektormodell	94
6.3	Modularer Entwurf LP-integrierter optischer Kanalwellenleiter	98
6.3.1	Modulare Entwurfsstrategie	98
6.3.2	Entwurf eines einzelnen Kernsegments	99
6.3.3	Entwurf einer modular aufgebauten Kernstruktur	104
6.3.4	Beispiel eines Entwurfsprozesses	105
6.3.5	Effiziente Algorithmen zur Schnittpunktsuche	107
6.4	Echtzeitbasierte, hybride, semi-sequentielle Strahlverfolgung	111
6.4.1	Wellenoptische Klassifizierung von Strahlenpfaden	113
6.4.2	Geometrische, semi-sequentielle Strahlverfolgung	114
6.4.3	Echtzeitbasierte, wellenoptische Strahlverfolgung	118
6.5	Verifikation des Verfahrens	125
6.5.1	Wellenoptisches Referenzverfahren	126
6.5.2	Strahlenoptische Analyse der Modenkopplung	127
6.5.3	Verifikationsergebnisse zur Modenkopplung	128

7	Numerische Simulationen und Analyseergebnisse	133
7.1	Strahlenoptische Analyse der Wellenführung	133
7.1.1	Stationäre Übertragungseigenschaften	134
7.1.2	Transiente Übertragungseigenschaften	141
7.1.3	Zusammenfassung	148
7.2	Strahlenoptische Analyse der Modenkopplung	149
7.2.1	Modenkopplung in Wellenleiterkrümmungen	149
7.2.2	Modenkopplung aufgrund nanorauer Kernrenzflächen	154
7.2.3	Zusammenfassung	164
8	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	166
A	Anhang	169
A.1	Physikalische Konstanten	169
A.2	Umformung zwischen Neper und Dezibel	169
A.3	Liste der verwendeten Formelzeichen	170
A.4	Koordinatentransformation	173
A.5	Vektoridentitäten	173
A.6	Orthogonalität trigonometrischer Funktionen	174
A.7	Modenkoppelkoeffizienten eines symmetrischen Schichtwellenleiters	174
A.8	Variablentransformation in Flächenintegralen	176
A.9	Integralbeziehungen	176
A.10	Wiener-Khintchine Theorem	177
	Literaturverzeichnis	179