

Volkmar Brückner

Optische Nachrichtentechnik

Grundlagen und Anwendungen



B. G. Teubner Stuttgart · Leipzig · Wiesbaden

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	11
2	Glasfasern	16
2.1	Lichtübertragung in Glasfasern, Multi-Mode- und Single-Mode-Fasern	16
2.1.1	Lichtausbreitung in der Glasfaser, Akzeptanzwinkel, numerische Apertur	16
2.1.2	Transversale Moden in Glasfasern, Modenmischung	19
2.1.3	Ein-Moden-Bedingung, Cut-off-Wellenlänge in Glasfasern	25
2.1.4	Modenfelddurchmesser	25
2.2	Dämpfung in Glasfasern	27
2.2.1	UV-Absorption	27
2.2.2	Rayleigh-Streuung	27
2.2.3	Absorption an Wasser	29
2.2.4	IR-Absorption	30
2.2.5	Dämpfungsverlauf in Glasfasern	30
2.3	Dispersion und Dispersionskompensation in Glasfasern	31
2.3.1	Begriff und Auswirkung der Dispersion	31
2.3.2	Mechanismen der Dispersion	34
2.3.2.1	Modendispersion	34
2.3.2.2	Materialdispersion	36
2.3.2.3	Wellenleiterdispersion	37
2.3.2.4	Chromatische Dispersion	38
2.3.2.5	Bandbreite-Länge-Produkt	40
2.3.2.6	Polarisations-Moden-Dispersion (PMD)	40
2.3.2.7	Dispersionskompensation	42
2.3.3	Glasfasertypen	45
2.4	Messtechnik an Glasfasern	47
2.4.1	Messung des Brechzahlprofils	47
2.4.1.1	Nahfeld-Abtastmethode (near field scanning)	47
2.4.1.2	Strahlbrechungsmethode (refracted near field technique)	48
2.4.2	Dämpfungsmessungen	49
2.4.2.1	Abschneide- und Einfügeverfahren	49
2.4.2.2	Rückstreuungsmessung, OTDR-Methode	50
2.4.3	Dispersionsmessungen	54
2.4.3.1	Messung im Zeitbereich	55
2.4.3.2	Messung im Frequenzbereich	56



3	Optische Sender	57
3.1	Hauptelemente des Halbleiterlasers	57
3.2	Aktives Element	58
3.2.1	Bandstruktur von Halbleitern, direkte und indirekte Übergänge	58
3.2.2	Materialauswahl	60
3.2.3	Doppelheterostruktur-Laser (DH-Diode)	62
3.2.4	Multi-Quantum-Well-Struktur (MQW)	64
3.3	Resonator	65
3.4	Lasereigenschaften	65
3.4.1	P-I-Kennlinie, Temperaturverhalten, Degradation	66
3.4.2	Spektrum von Halbleiterlasern	67
3.4.3	Abstrahlcharakteristik	68
3.5	Halbleiter-Lasertypen	68
3.5.1	Fabry-Perot-Laser	68
3.5.2	Dynamischer Single-Mode-Laser (DSM)	71
3.6	Ausgewählte Lasertypen für optische Netze	74
3.6.1	MQW-Laser mit DFB-Resonator als Kantenstrahler	74
3.6.2	Vertical Surface Emitting Laser (VCSEL) als Flächenstrahler	78
4	Optische Verstärker	79
4.1	Erbiumdotierte Faserverstärker (EDFA)	79
4.1.1	Verstärkung in erbiumdotierten Glasfasern	79
4.1.2	Rauschen in EDFA's, ASE	83
4.1.3	Dichtes Wellenlängenmultiplexing (DWDM) und EDFA	85
4.1.4	Experimentelle Realisierung von EDFA's	86
4.1.5	Weitere mit seltenen Erden dotierte Verstärker	87
4.2	Raman-Verstärker	88
4.2.1	Der Raman-Effekt	88
4.2.2	Stokes-Verschiebung, Verstärkungsspektrum	89
4.2.3	Experimentelle Realisierung	92
4.2.4	Probleme im Raman-Verstärker	92
4.2.5	Rauschen im Raman-Verstärker	93
4.3	Halbleiterverstärker (SOA)	94
5	Koppler und Schalter in der optischen Nachrichtentechnik	97
5.1	Funktionsweise von Koppler, Schalter, Multiplexern und Demultiplexern	97
5.1.1	Koppler	97
5.1.2	Schalter	99
5.1.3	Multiplexer und Demultiplexer	100

5.2	Grundaufbau von Schaltern	101
5.2.1	Mechanisches Schalten	101
5.2.2	Elektrooptisches Schalten ..	101
5.2.3	Mechanooptisches Schalten	106
5.2.4	Thermische Schalter	110
5.3	Grundaufbau von Multiplexern und Demultiplexern	111
5.3.1	Interferenzfilter	111
5.3.2	Fabry-Perot-Filter	112
5.3.3	Faser-Bragg-Gitter	112
5.3.4	Phased-Array-Anordnungen	113
5.4	Stecker und Spleiße	114
5.4.1	Spleiße	115
5.4.2	Stecker	116
5.5	Anwendungen von Kopplern und Schaltern	119
5.5.1	Optischer Add-Drop-Multiplexer	119
5.5.2	Optischer Cross-Connector	120
6	Modulation von Laserlicht	123
6.1	Aufgabe und Problemstellung der Lasermodulation	123
6.2	Modulationsverfahren der optischen Nachrichtentechnik	124
6.2.1	Amplitudenmodulation, Intensitätsmodulation (AM, PM)	124
6.2.2	Puls-Amplituden-Modulation (PAM)	124
6.2.3	Puls-Position-Modulation (PPM)	125
6.2.4	Puls-Code-Modulation (PCM)	126
6.3	Direkte Modulation von Halbleiterlasern	127
6.4	Externe Modulation von Halbleiterlasern	135
6.4.1	Phasen- und Frequenzmodulation	135
6.4.2	Intensitätsmodulation	136
7	Optische Empfänger	139
7.1	Empfängerprinzip	139
7.2	pin-Diode	142
7.3	Lawinenphotodiode (APD)	143
7.4	Rauschen in Empfängern, Bit-Fehler-Rate (BER)	146
7.4.1	Schrotrauschen	148
7.4.2	Intensitätsrauschen	148
7.4.3	Thermisches Rauschen (Nyquist-Rauschen)	148
7.4.4	Multiplikationsrauschen	150
7.4.5	Bitfehlerrate	151
7.5	Optisches Heterodyn	153



8	Nichtlineare Effekte in Glasfasern und deren Anwendung	157
8.1	Nichtlinearitäten in der Optik	157
8.2	Nichtlineare Effekte in Glasfasern	159
8.2.1	Nichtlineare Streueffekte in Glasfasern	159
8.2.2	Nichtlineare Effekte dritter Ordnung in Glasfasern	160
8.3	Chirp in Glasfasern	162
8.4	Polarisations-Dispersions-Management (PDM) mit Nichtlinearitäten	164
8.4.1	Reduzierung des Chirps	165
8.4.2	Nutzung des Chirps	166
8.5	Aktive Kompensation der Dispersion	168
8.6	Solitonen	171
	Literaturverzeichnis	173
	Sachwortverzeichnis	175