

Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Danksagung

VII

I. FOURIER-OPTIK 1

1. Grundlagen der Wellenoptik 3

- 1.1. Hintergrund und Motivation, Huygenssches Prinzip und Fourier-Zerlegung 3
- 1.2. Darstellung realer Wellen 6
- 1.3. Maxwell-Gleichungen, Wellengleichung, Fresnelsche Formeln 7
 - 1.3.1. Maxwellsche Gleichungen und Wellengleichung 7
 - 1.3.2. Fresnelsche Formeln 9
- 1.4. Gaußsche Strahlenbündel/Wellen 19

2. Kirchhoffsches Beugungsintegral, Raumfrequenzen 23

- 2.1. Von der skalaren zur vektoriellen Theorie, Helmholtz-Gleichung 23
- 2.2. Greensches Theorem, Helmholtz-Kirchhoff-Integraltheorem 25
- 2.3. Sommerfeldsche Strahlungsbedingung 27
- 2.4. Fresnel-Kirchhoffsche Beugungsgleichung 29
- 2.5. Feldverteilung im Fernfeld 31

3. Beugung 37

- 3.1. Vorbemerkungen, Fern- und Nahfeld 37
- 3.2. Beugung am Spalt und an anderen Hindernissen 38
- 3.3. Beugungsscheibchen, Beugungsbegrenztheit 42
- 3.4. Fernfeld- versus Nahfeld-Beugung 44
- 3.5. Kohärenz, Kontrast, partiell kohärentes Licht 44
- 3.6. Nanooptische Überwindung der Beugungsbegrenztheit 50
 - 3.6.1. Einordnung der Möglichkeiten nach Beleuchtungs-/Detektionsort . 50
 - 3.6.2. Plasmonen-Sensorik 53

4. Fourier-Transformation 55

- 4.1. Eindimensionale (1D-) Fourier-Transformation 55
 - 4.1.1. Gleichungen 55
 - 4.1.2. Wiener-Khinchin-Theorem 55
 - 4.1.3. FTIR-Spektrometer 56
- 4.2. Zweidimensionale (2D-) Fourier-Transformation in der Optik 57
 - 4.2.1. Gleichungen 57
 - 4.2.2. Eigenschaften der 2D-Fourier-Transformation, wichtige Operationen 58

IX

4.2.3. Einige Beispiele für 2D-Fourier-Transformierte	60
4.3. Dreidimensionale (3D-) Fourier-Transformation	61
4.3.1. Gleichungen	61
4.3.2. Der k -Raum in der Röntgen-Kristallgitter-Strukturanalyse	62
4.3.3. Laue- und Bragg-Beugungsbedingungen; Ewald-Kugel-Konstruktion	62
4.3.4. Laue-, Drehkristall-, Pulververfahren und Röntgen-Diffraktometrie	64
4.3.5. Kristallstrukturanalyse durch Elektronenbeugung	68
5. Kohärente Fourier-optische Filterung	73
5.1. Abbildung versus $4f$ -Aufbau, Raumfrequenzfilterungen	73
5.2. Ergebnisse aus der Theorie linearer Systeme	77
5.3. Optische Transferfunktion	79
5.4. Dunkelfeld-, Phasenkontrast- und Schlierenverfahren	80
II. HALBLEITERLASER	85
6. Überleitung von der Fourier-Optik zu Halbleiterlasern	87
6.1. Kurzer Überblick über die Thematik Halbleiterlaser	87
6.2. Was nützen Fourier-optische Methoden hier?	88
7. Materialien, Verstärkung	91
7.1. Vorbemerkungen	91
7.2. Absorption, stimulierte und spontane Emission	92
7.3. Absorption und Brechung, Kramers-Kronig-Relationen	96
7.3.1. Dielektrische Polarisierbarkeiten	96
7.3.2. Kramers-Kronig-Relationen	100
7.3.3. Absorption in Halbleitern	103
7.4. Energiebänder, Zustandsdichte, Fermi-Verteilung, Ladungsträgerdichte	104
7.5. Ladungsträgerverluste in Halbleitern	106
7.6. Verspannte Halbleiter	109
7.7. AlGaAs, InGaAsP, AlInGaN, AlGaInAsSb, GaInNAs(Sb)	110
7.8. Fabry-Perot-Resonator und Verstärkung	113
7.9. Ladungsträgergeneration/-rekombination in der aktiven Zone	116
7.10. Spontane Photonenerzeugung und Leuchtdioden	118
7.11. Die Laserratengleichungen allgemein	119
7.12. Halbleiterlaser-Ratengleichungen und Verstärkungskoeffizient	123
8. Heteroübergänge und Doppelheterostrukturen, pn-Übergänge	125
8.1. Heteroübergänge	125
8.2. Dotierung und pn-Übergänge	125
8.3. Hetero-pn-Übergänge und Doppelheterostrukturen; Historie	129
8.4. BH-Laser - 'carrier, current, photon confinement'	132
8.5. Satz/Bedingung von Bernard und Duraffourg	134

9. Optische Wellenleitung	137
9.1. Wellenleitung durch Totalreflexion	137
9.1.1. Grundlagen	137
9.1.2. Filmwellenleitung, effektiver Brechungsindex	137
9.1.3. Filmlinsen und Streifenwellenleitung	146
9.1.4. Wellenleiterkrümmungen und -knicke	148
9.2. EIM und FFT-BPM	149
9.2.1. Effektiv-Index-Methode (EIM)	149
9.2.2. 'Fast Fourier transform beam propagation method' (FFT-BPM)	150
9.3. Wellenleitung in photonischen Kristallen (PC)	154
9.3.1. ARROW-Wellenleiter	154
9.3.2. Grundlagen photonischer Kristalle	156
9.3.3. PC-Wellenleitung	164
10. Technologie	167
10.1. Epitaxie (Vertikalstrukturierung)	167
10.1.1. Molekularstrahlepitaxie mit Elektronenbeugung	168
10.1.2. Kritische epitaktische Schichtdicke	169
10.1.3. Reflexionsanisotropie-Spektroskopie	171
10.2. Lithografie (Transversalstrukturierung)	173
10.2.1. Fotolithografie	173
10.2.2. Bemerkungen zur Elektronenstrahlolithografie	175
11. Halbleiterlaser-Resonatoren	177
11.1. Laserresonatorstabilität	177
11.2. Transmissionsmatrix	178
11.3. Laserschwellbedingung	180
11.4. Kanten-/Facettenemittierende Laser	183
11.4.1. Überblick	183
11.4.2. Laser mit verteilter Rückkopplung (DFB- und DBR-Laser)	184
11.5. Oberflächenemittierende DBR-Laser	187
11.5.1. ... mit zwei integrierten Bragg-Spiegeln (VCSEL)	187
11.5.2. ... optisch gepumpt mit einem externen Spiegel (VECSEL)	189
12. Lasereigenschaften	191
12.1. Laserkennlinien und charakteristische Laserparameter	191
12.2. Die „Ingenieursgleichung“ des Laserdesigns	195
12.3. Hinweise zur Modulation von Halbleiterlasern	197
13. Aktive Zonen mit quantenmechanischer Einengung	201
13.1. Schrödinger-Gleichung, Bloch-Theorem, Einhüllende	201
13.2. Quantenstrukturen	204
13.3. Quantenfilme	205
13.4. Fermis Goldene Regel	209

13.5. Übergangsmatrixelement, Impulsmatrixelement	215
13.6. Übergitter und Minibänder	217
13.7. Quantenfilme für eine Ladungsträgerart - Übergitter sonst	222
13.8. Quantendrähte und Quantenpunkte	224
13.9. Stranski-Krastanov-(GaAsSb-)Quantenpunkt-Wachstum	226
14. Quantenkaskadenlaser	235
14.1. Grundidee der Intraband- (Typ I-) Quantenkaskadenlaser	235
14.2. Grundidee der Interband- (Typ II-) Quantenkaskadenlaser	237
14.3. Weitere Details zu (Typ I-) Quantenkaskadenlasern	239
14.3.1. Übergitter für die aktiven Schichten und Injektor-lose Strukturen	239
14.3.2. Terahertz-Emitter und Plasmonen-Wellenleiter	240
15. Hochleistungs-Halbleiterlaser	243
15.1. Überblick	243
15.2. Breitreifenlaser	243
15.2.1. Grundeigenschaften, Verstärkungsfilamentation	243
15.2.2. Fourier-optische Transversalmodenselektion (FO-TMS)	244
15.2.3. Longitudinal-Modenkopplung mit FO-TMS	249
15.3. Einige Hinweise zu Laserdiodenarrays	250
16. Literaturverzeichnis	253
Index	261