

814131

3855

5117

最新科技用書

光 纖 工 學

大越孝敬・岡本勝就・保立和夫等博士 原著

Optical Fibers

賴耿陽 編譯



復 文 書 局

3375

814131

5117

3
5
5117

最新科技用書

光 纖 工 學

大越 孝敬 岡本勝就 保立和夫等博士原著

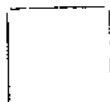
賴耿陽 編譯

復 文 書 局

光 纖 工 學

著作權執照台內著字第 號

版權所有



翻印必究

中華民國七十三年十月初版發行

平裝200元 精裝240元

著 者：大越孝敬・岡本勝就・
保立和夫等博士

編 譯 者：賴 耿 陽

發 行 者：吳 主 和

發 行 所：復 文 書 局

地址：臺南市東門路421巷28號

門市：台南市林森路二段63號

電話：(06) 2370003・2386937

郵政劃撥帳戶 0032104-6號

No.28, LANE421 DONG-MEN
ROAD TAINAN TAIWAN REPUBLIC
OF CHINA

TEL:(06)2370003・2386937

本書局經行政院新聞局核准登記發給
出版事業登記證局版台業字第0370號

序

筆者3人約6年前在歐姆社出版「光纖維的基礎」(大越編、大越、岡本、保立共著, 1977年刊), 幸獲再版, 擁有數千讀者, 甚感光榮。但是, 舊著原稿的主要部份寫於1976年, 此分野在最近6年進步神速, 最近連筆者本身都發現很多不理想的部份。

本書全面改訂上述舊著的內容, 大幅增補, 也曾考慮沿用舊名, 稱為「光纖維的基礎(改訂版)」, 但因加全新的四章, 其他各章也幾乎全失原貌, 內容由解析的基礎理論擴大到光纖維的設計問題, 所以改稱「光纖維」。舊著執筆時, 岡本勝就、保立和夫兩人都是大學研(博士課程)的學生, 在三人共著上加冠「大越孝敬編」, 如今兩人都已成為先進的研究者, 本書不再沿用「大越孝敬編」。

執筆時, 是先充分協調後, 互相連絡, 如下分擔, 作成第一次原稿, 第二階段由大越精讀, 再檢討全文, 貫通論旨與文脈, 並統一記號和文體, 各人分擔的內容如下:

- | | |
|------------------|-------|
| 1 章「概說」 | 大越 |
| 2 章「基礎概念」 | 大越 |
| 3 章「光線理論」 | 大越 |
| 4 章「波動理論(均勻芯部)」 | 大越 |
| 5 章「波動理論(不均勻芯部)」 | 大越 |
| 6 章「非軸對稱纖維」 | 大越、岡本 |
| 7 章「多模態光纖維」 | 岡本 |
| 8 章「單一模態光纖維」 | 岡本、大越 |
| 9 章「有不均勻的纖維」 | 保立 |
| 10 章「折射率分佈的測定」 | 保立 |
| 11 章「分散特性的測定」 | 岡本 |

12 章「傳送損失的測定」

保立、岡本

本書 2 章～ 5 章有些部份類似大越的英文著作「T. Okoshi : Optical Fibers, Academic Press, New York (1982)」。

最後謹向始終支援筆者研究活動、提供貴重資料的 NHK 技術研究所小山田公之博士，深致謝意。並感謝出版社支持本書的發行。

編者

日文版 1983 年 4 月 30 日出版

中文版 1983 年 7 月 22 日完稿

目 錄

1 章 概說	1
1.1 前 言	1
1.2 從烽火到光纖維通信	1
1.2.1 利用視認的光通信	1
1.2.2 電氣通信技術的高周波化	3
1.2.3 光傳送路的摸索	4
1.2.4 光纖維的問世	6
1.3 光纖維的特色	8
1.4 結 語	9
1.5 本書的目的與構成	9
練習題	10
2 章 基本概念	11
2.1 前 言	11
2.2 波動光學的基礎	11
2.2.1 Maxwell 的方程式	11
2.2.2 波動方程式	12
2.2.3 傳播常數	13
2.2.4 在 Z 方向前進的平面波	14
2.2.5 導波路的分類 (表面波的概念)	15

2.2.6	傳送功率	17
2.2.7	相位速度與群速度	18
2.2.8	$k - \beta$ 圖表	18
2.2.9	偏光 (偏波)	19
2.3	光纖維的種類與分散特性	21
2.3.1	多模態光纖維與單一模態光纖維	21
2.3.2	在光纖維的分散	22
2.3.3	各種分散大小的比較	24
2.3.4	不均勻芯光纖維	24
2.3.5	在單一模態光纖維的材料分散與導波路分散的抵銷	26
2.3.6	紐旋單一模態光纖維	26
2.3.7	單一偏波單一模態光纖維	26
2.4	光纖維的傳送損失	27
2.4.1	損失的原因	27
2.4.2	實際光纖維損失的波長特性	28
2.5	光纖維的製造法	28
2.5.1	製造法的種類	29
2.5.2	二重坍塌法	29
2.5.3	MCVD 法	30
2.5.4	VAD 法	30
練習題		31

3 章 以光線理論解析光纖維 32

3.1	前 言	32
3.2	以光線理論討論均勻芯部光纖維	33
3.2.1	均勻芯部光纖維中的光線種類	33
3.2.2	子午光線的解析	34

3.2.3	開口數	35
3.2.4	子午光線的分散	35
3.2.5	斜光線的解析	36
3.2.6	Goos-Hanchen 偏移	37
3.3	光線理論的基本方程式	38
3.3.1	不均勻媒質中的光線理論	38
3.3.2	Eikonal 方程式	39
3.3.3	光線方程式	41
3.4	以光線理論討論不均勻芯部光纖維	43
3.4.1	不均勻芯部光纖維中的光線種類	43
3.4.2	基本方程式	44
3.4.3	解的實例 (I) ——子午光線	45
3.4.4	與均勻芯部的場合比較	48
3.4.5	解的實例 (II) ——螺旋光線	48
3.5	結語	49
	練習題	50

4 章 以波動論理解析均勻芯部光纖維 51

4.1	前言	51
4.2	基本方程式的導出	51
4.2.1	在直角座標系的波動方程式	52
4.2.2	圓筒座標系的波動方程式	53
4.3	slad 光導波路中的波動	54
4.3.1	均勻芯部光纖維與slad 光導波路的對應	54
4.3.2	波動方程式的一般解	55
4.3.3	core 及 clad 中之解 (TE 模態)	56
4.3.4	傳播特性	58
4.3.5	依據光線理論的解析	58

4.3.6	波動理論與光線理論結果比較	60
4.4	均勻芯部光纖維中的波動	60
4.4.1	波動方程式的一般解	60
4.4.2	芯部及覆層中電磁場的解	62
4.4.3	模態的分類	64
4.4.4	固有方程式 (嚴密解)	65
4.4.5	固有方程式 (弱導波近似解)	67
4.4.6	固有方程式的統一形式	68
4.5	均勻芯部光纖維的性質	69
4.5.1	傳播模態、放射模態、洩漏模態	69
4.5.2	各模態傳播特性的決定	70
4.5.3	模態編號 l 的意義與遮斷周波數	71
4.5.4	LP 模態	72
4.5.5	分散曲線	74
4.5.6	多模態光纖維與單一模態光纖維	76
4.5.7	電磁場分佈	77
4.6	均勻芯部光纖維的分散特性	81
4.6.1	分散的要因	82
4.6.2	表示群遲延的式子	82
4.6.3	多模態分散	84
4.6.4	波長分散	84
4.6.5	導波路分散	85
4.6.6	材料分散	86
4.6.7	偏波分散	88
4.6.8	各種分散的大小比較	88
4.7	結語	89
練習題		90

5 章 以波動理論解析不均勻芯部光纖維 91

5.1 前 言	91
5.2 在不均勻芯部光纖維的基本方程式與模態的概念	92
5.2.1 基本方程式的導出	92
5.2.2 向量波動方程式與無向量波動方程式	94
5.2.3 在圓筒座標系的無向量波動方程式	95
5.2.4 對各模態的波動方程式與其解	96
5.2.5 無向量波動方程式與LP模態的概念	104
5.2.6 軸方向及橫方向電磁場函數的關係	104
5.2.7 邊界條件	106
5.2.8 無向量波解析	107
5.2.9 向量波解析	108
5.3 以WKB法解析不均勻芯部光纖維	108
5.3.1 基本概念	108
5.3.2 以WKB法解析傳播模態	111
5.3.3 WKB近似解的精度	114
5.3.4 在轉回點附近的解	114
5.3.5 解的連接與固有方程式的導出	116
5.3.6 以WKB法解析洩漏模態	117
5.4 依據WKB法解析計算多模態光纖維的傳播特性	119
5.4.1 傳播模態數	119
5.4.2 群遲延與 α 的最適值	123
5.4.3 脈衝響應	124
5.5 以Rayleigh-Ritz法解析不均勻芯部光纖維	127
5.5.1 變換為變分問題	127
5.5.2 固有方程式	129
5.5.3 固有方程式的數值解析	131

5.5.4	群遲延	133
5.6	以冪級數展開法解析 α 次方分佈光纖維	135
5.6.1	概 說	135
5.6.2	溝形或階形的 α 次方分佈	135
5.6.3	固有方程式的導出	136
5.6.4	遮斷條件	138
5.6.5	群遲延	139
5.6.6	傳播特性的計算結果	139
5.7	多模態光纖維最適折射率分佈的啓示	144
5.7.1	α 及 ρ 的最適值	144
5.7.2	在芯部—覆層交界的折射率分佈之溝形效果	145
5.8	以有限要素法解析不均勻芯部光纖維	147
5.8.1	概 說	147
5.8.2	往變分形式的定式化	147
5.8.3	變分問題用有限要素法的解法	149
5.8.4	無向量波近似	152
5.8.5	無向量波近似法造成的誤差	153
5.9	以階段近似法解析不均勻芯部光纖維	155
5.9.1	概 說	155
5.9.2	基本方程式	155
5.9.3	固有方程式	158
5.9.4	電磁場成分的計算	159
5.9.5	群遲延	160
5.10	結 語	160
	練習題	160

6 章 非軸對稱光纖維的解析

6.1	前言	163
-----	----------	-----

6.2 單一偏波纖維的種類與特性	163
6.2.1 單一直線偏波纖維	164
6.2.2 單一圓偏波纖維	166
6.3 橢圓芯部光纖維的解析	167
6.3.1 各種解析法	167
6.3.2 解析法的概觀	167
6.3.3 解析結果之例	167
6.4 有非軸對稱折射率分佈的光纖維之有限要素法解析	169
6.4.1 概 說	169
6.4.2 二次元有限要素法的定式化	169
6.4.3 固有方程式	171
6.4.4 數值計算例 (計算精度的檢討)	174
6.4.5 亂真模態	176
6.4.6 非軸對稱折射率分佈的計算例	177
6.5 有非軸對稱內部應力分佈的光纖維之有限要素法解析	177
6.5.1 基本方程式	177
6.5.2 非軸對稱光纖維的模態複折射率	179
6.5.3 橢圓芯部光纖維的導波構造複折射率與應力誘起 複折射率	180
6.5.4 side-pit 光纖維的偏光特性與應力解析	182
6.6 扭曲單一模態光纖維中的光波傳播	185
6.6.1 概 說	185
6.6.2 無扭曲的狀態	185
6.6.3 施加扭曲的狀態 (不計旋光性的定式化)	186
6.6.4 考慮扭曲所致之旋光性的定式化	188
6.6.5 表示偏波狀態的解與計算結果	188
6.7 結 語	192
練習題	192

7 章 多模態光纖維的特性與設計 193

7.1	前 言	193
7.2	α 次方分佈形多模態的群遲延	194
7.2.1	對 α 次方折射率分佈的群遲延	194
7.2.2	α 的最適值	194
7.3	折射率分佈與脈衝響應	196
7.3.1	有任意折射率分佈之多模態光纖維的脈衝響應	197
7.3.2	理論與實測特性的比較	199
7.3.3	折射率凹陷的影響	201
7.3.4	脈理的影響	201
7.4	最適折射率分佈的合成	204
7.4.1	束縛條件	204
7.4.2	以變分法解析光纖維的傳播特性	205
7.4.3	多模態分散的指標	207
7.4.4	以 Newton-Raphson 法修正折射率分散	207
7.4.5	合成的結果	209
7.5	廣波長域低分散多模態光纖維的設計	213
7.5.1	基本方程式	213
7.5.2	$\text{GeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系	216
7.5.3	$\text{GeO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-SiO}_2$ 系	219
7.6	結 語	221
	練習題	221

8 章 單一模態光纖維的特性與設計 222

8.1	前 言	222
8.2	光纖維的單一模態條件	224

8.2.1	一般式的導出	224
8.2.2	規格化遮斷周波數的近似式	225
8.3	單一模態光纖維的分散	227
8.3.1	材料分散與導波路分散	227
8.3.2	零分散波長	228
8.4	W形光纖維	229
8.4.1	W形光纖維的觀念	229
8.4.2	固有方程式	230
8.4.3	分散特性	232
8.5	1.55 μm 帶零分散單一模態光纖維	233
8.5.1	構造參數與零分散波長	233
8.5.2	考慮彎曲及連接損失的最適設計	234
8.6	廣波長域低分散單一模態光纖維	235
8.6.1	設計用的基本方程式	235
8.6.2	各種單一模態光纖維的導波路分散	237
8.6.3	高折射率差均勻芯部形纖維	238
8.6.4	Ω 形光纖維	239
8.6.5	Ω 形光纖維的分散特性	241
8.7	單一偏波纖維	242
8.7.1	概 說	242
8.7.2	Side pit 形纖維	242
8.7.3	Side-tunnel 形纖維	245
8.7.4	內部應力形複折射纖維	247
8.7.5	單一圓偏波纖維	248
8.7.6	單一直線偏波纖維與單一圓偏波纖維的優劣比較	248
8.8	結 語	249
	練習題	250

9 章 有不均勻性的光纖維之理論 251

9.1	前 言	251
9.2	電力結合方程式	252
9.3	兩個模態間的模態變換	254
9.3.1	基本式	254
9.3.2	對單一偏波光纖維的要求	255
9.4	藉多模態光纖維中的模態變換改善分散特性	256
9.4.1	藉模態變換改善分散特性	256
9.4.2	模態的縮退	257
9.4.3	結合方程式	258
9.4.4	脈衝響應	261
9.4.5	脈衝的遲延與脈衝寬度	264
9.5	結 語	266
	練習題	266

10章 光纖維折射率分佈的測定法 268

10.1	前 言	268
10.2	多模態光纖維的折射率分佈測定法	268
10.2.1	縱方向干涉法	270
10.2.2	橫方向干涉法	273
10.2.3	開口數掃描法	276
10.2.4	端面反射法	278
10.2.5	集束法	280
10.3	單一模態光纖維的折射率分佈測定法	282
10.3.1	散射圖形法	283
10.3.2	遠方出射圖形表	287

10.4	預成形體的折射率分佈測定法	289
10.4.1	空間濾光法	290
10.4.2	橫方向干涉法的應用	292
10.5	二次元折射率分佈測定法	295
10.5.1	用三角mask法測定預成形體的二次元折射率分佈	296
10.5.2	用開口數掃瞄法測定預成形體的二次元折射率分佈	298
10.5.3	用散射圖形法測定單一模態光纖維的二次元折射率分佈	299
10.6	結語	301
	練習題	301

11章 光纖維分散特性的測定

11.1	前言	303
11.1.1	分散的種類	303
11.1.2	分散大小的表示法	304
11.2	分散特性測定法的分類	304
11.3	脈衝法	307
11.3.1	測定系的構成	307
11.3.2	impulse 響應的表示	307
11.3.3	impulse 響應的簡單表示	308
11.3.4	impulse 響應的正確計算法—Fourier 變換法	309
11.3.5	多模態分散分離測定法	309
11.3.6	梭脈衝法	311
11.3.7	依模態群別測定多模態分散的方法	313
11.4	拂掠調變法	316

11.4.1	測定系的構成	316
11.4.2	全分散測定的實例	317
11.4.3	多模態分離測定法	318
11.5	光譜分析法	318
11.6	用纖維 Raman 雷射的分散測定法	319
11.6.1	測定系的構成	320
11.6.2	多模態光纖維傳送帶域的波長依存性測定法	321
11.7	單一模態光纖維的分散測定法	322
11.7.1	波長拂掠測定法	322
11.7.2	用差分法測定分散特性	323
11.7.3	單一偏波纖維的傳播常數差 $\Delta\beta$ 測定法	325
11.7.4	單一偏波纖維的偏波模態分散測定法	327
11.8	結語	330
	練習題	330

12章 光纖維傳送損失的測定法 與關連測定技術331

12.1	前言	331
12.2	光纖維傳送損失的測定法	332
12.2.1	損失特性測定法的分類	332
12.2.2	分光特性測定法	334
12.2.3	$1/\lambda^4$ 線圖表示法	335
12.3	光纖維的單一模態條件測定法	337
12.3.1	測定法的原理與分類	337
12.3.2	彎曲損失法	338
12.4	光纖維的障礙點及損失分佈的測定法	340
12.4.1	利用反射光的障礙點及損失分佈測定的原理	340
12.4.2	Fresnel 反射與後方 Rayleigh 散射的強度	342
12.4.3	SN 比的改善法與測定例	344