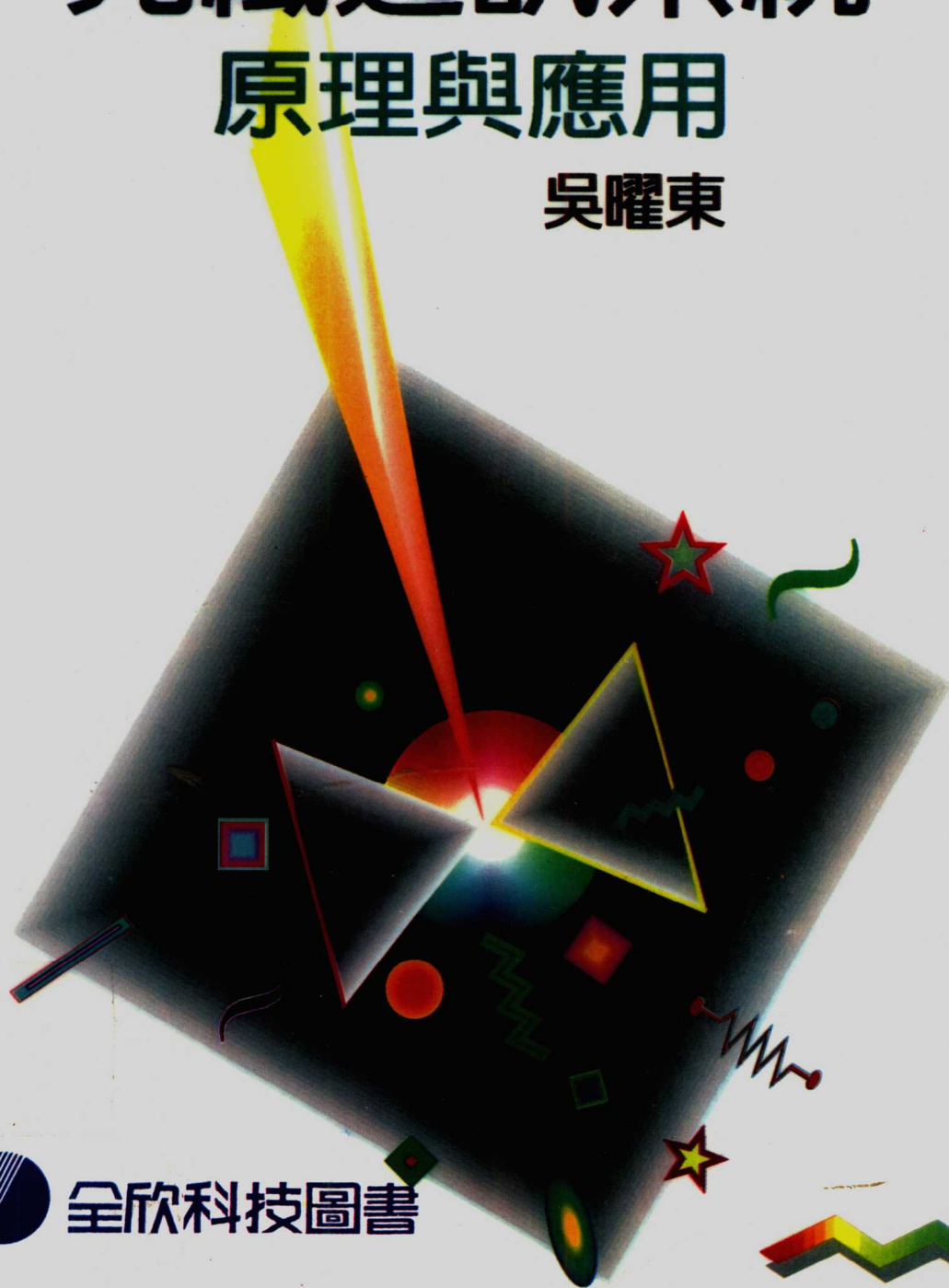


21世紀光電科技主流

光纖通訊系統 原理與應用

吳曜東



全欣科技圖書

21世紀光電科技主流

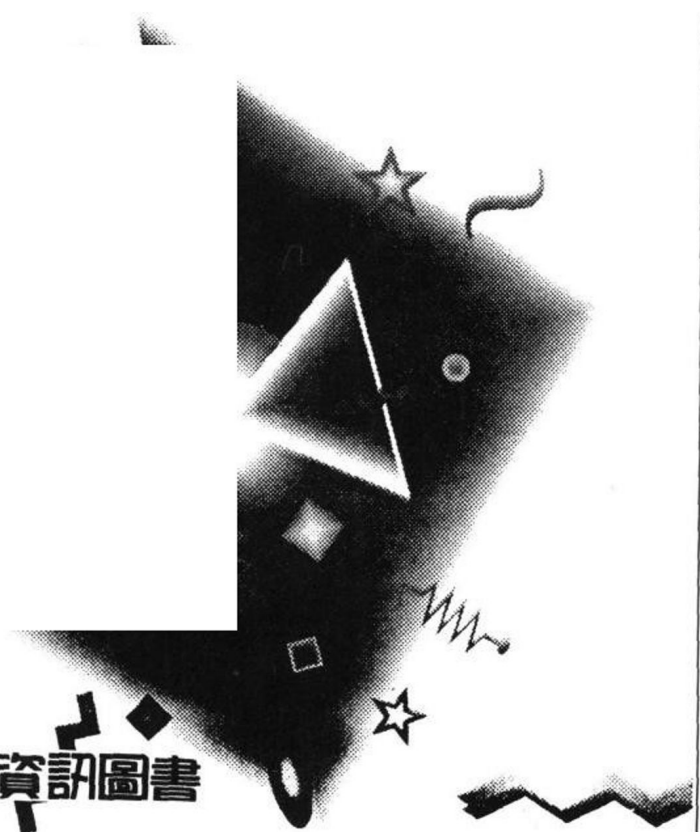
光纖通訊系統

原理與應用

吳曜東



全欣資訊圖書





全欣資訊圖書

圖書編號：376

21世紀光電科技主流 ——
光纖通訊系統原理與應用

吳曜東 編著(平裝)

定價 / 200 元

發行人 張國雄
出版者 全欣資訊圖書股份有限公司
行政院新聞局核准登記
／局版台業第4459號
地址 台北市南京東路五段202號10樓
電話 (02)753-4538 · 753-4539
傳真 (02)761-9458
法律顧問 張靜律師
經銷零售 全省各大書局 電腦資訊廣場

郵撥帳戶 全欣資訊圖書股份有限公司
帳號 0781701-2
門市部 全友書局股份有限公司
地址 台北市重慶南路一段49號7樓
電話 (02)361-2532 · 361-2534
教學用書 請洽 全欣資訊圖書公司業務部
地址 台北市南京東路五段202號10樓
業務專線 (02)753-4538 · 753-4539
FAX: (02)761-9458

國立中央圖書館出版品預行編目資料

光纖通訊系統原理與應用：21世紀光電科技主流
／吳曜東編著．-- 初版．-- 臺北市：全欣資訊
，民83
248面：23公分
ISBN 957-726-097-7
(平裝)新台幣：200元

1. 光纖通信
448.733

83002155

83年5月2日 初版
ISBN 957-726-097-7

0376-0911-4625
0392-1000-8305



序

廿一世紀將是光電科技的世紀，傳統工業逐漸光電化是未來必然的趨勢，而光纖通訊又是光電科技應用中極為重要的一環，將來各種聲音、影像及數據等資訊都將數位化，藉由光纖通訊將其傳送到每個家庭中。

v

1998/1/07

光纖通訊是未來通訊的主流，光纖是目前光通訊應用最佳的光波導，由於它具有許多優點如：低損失、高頻寬、高保密性、重量輕及體積小等，這些都是傳統通訊電纜所缺少的優點，因此，在不久的將來，光纜將全面取代電纜而成爲通訊業的新寵。

此書撰寫盡量深入淺出，詳細地介紹了光纖通訊的原理與應用，非常適合作爲大專電機、電子及光電等相關科系的教材使用。對於實際從事光纖通訊系統研究及設計的人員，也具有相當的參考價值。

本書倉促付梓，雖經詳細審校，內容仍恐有疏漏或不妥之處，若有任何疏漏或尚待改進之處，尚請先進與讀者惠予指正，則不勝感激之至！

吳曜東 謹識
民國 83 年 5 月

相關圖書簡介

#341

TCP/IP 網路技術

主要在介紹 TCP/IP 電腦網路架構及其各種技術，由淺入深的安排進度，使學習者能夠熟悉電腦網路的技術應用。不僅適用於將 TCP/IP 當作通訊協定來學習的人，而且也適用於營運管理網路或使用網路的人學習之用。從網際網路的系統構成要素到進一步理解網際網路系統，以及 TCP/IP 的未來動向等，均有相關的資料以加強每一位學習者的學習效果。
張詩言 著 定價 180 元

#318

ARJ 檔案壓縮工具 BBS 必備工具程式 (附磁片)

ARJ 是最近廣為流行的一種檔案壓縮方法，其特點是壓縮效率高、速度快、指令完整、功能繁多，而本書詳細說明了 ARJ 壓縮的使用方法，所列之功能及指令均以最新的 ARJ 版做說明，每一個指令及功能亦以詳細範例來解釋使用方法，因此是 BBS 使用者及檔案管理負責人之必備參考書籍。
杜弘偉 著 定價 230 元



相關圖書目錄

#127
數據通訊與網路原理
劉賢忠 著 定價 320 元

#340
分散處理與分散式資料庫系統
張詩言 著 定價 290 元

#218
人工神經網路
張維哲 著 定價 290 元

#190
專家系統方法應用與實作
(附磁片)
葉怡成·郭耀煌 著
定價 390 元

#159
最新整合服務數位網路
黃崇冀 著 定價 220 元

#274
進入BBS無限空間(附磁片)
杜弘偉 著 定價 220 元

#402
BBS入門與操作實務(附磁片)
陳丁銘·楊廷毅 著
定價 230 元

#414
輕輕鬆鬆當站長—BBS建站
技術實務
張逸雲·方子維 著
定價 320 元

金欣資訊公司
INFOWIDE BOOK COMPANY

台北市南京東路五段 262 號 303 樓
TEL:(02)753-4538



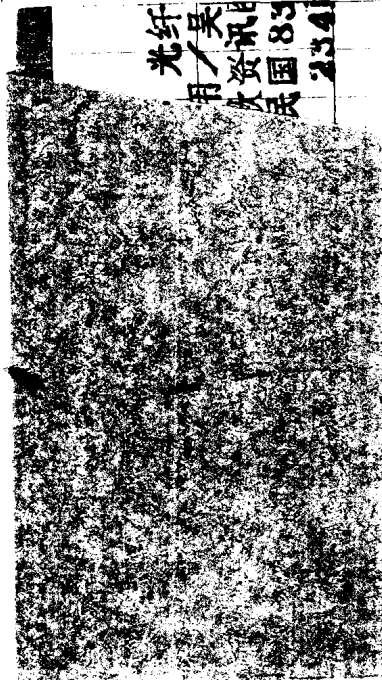
FAX:(02)761-9458

經銷商補書單

●書號: 376 / 作者: 吳曜東

●書名: 光纖通訊系統原理與應用

●定價: 200 元 / 售價: 元





目錄

1	光纖通信系統簡介	1
1-1	光纖通信發展沿革	1
1-2	光通信方式之演進	4
1-2.1	自由光束在大氣中傳播方式	4
1-2.2	透鏡組波導傳輸方式	5

- 1-2.3 光纖傳輸方式 6
- 1-3 光纖通信之優點 9

2 光學及電磁波基本原理 15

- 2-1 光的雙重性 16
- 2-2 基本光學特性與原理 17
- 2-3 基本電磁波理論 32
- 2-3.1 馬克斯威爾方程式 (*Maxwell's Equation*) 32
- 2-3.2 波動方程式 (*Wave Equation*) 35

3 基本波導原理 41

- 3-1 平面波導的傳播模態 42
- 3-1.1 以波動方程式來解析平面波導中的模態 42
- 3-1.2 以線光學來解析平面波導的模態 49
- 3-2 光纖波導的傳播模態 55
- 3-2.1 階變式光纖中的實際模態 55
- 3-2.2 階變式光纖中的線性極化模態 70

4 光纖的傳輸損耗 75

- 4-1 本質材料的吸收損失 78
- 4-2 雜質的吸收損失 79

4.3	散射所造成的損失	81
4.3.1	線性散射損失	82
4.3.2	非線性散射損失	84
4.4	彎曲損失 (<i>Bending Loss</i>)	86
4.5	接合損失	88

5 光纖的色散特性 93

5-1	色散的分類	94
5-1.1	模態間色散 (<i>Intermode Dispersion</i>)	95
5-1.2	內模態色散 (<i>Intramode Dispersion</i>)	98
5-1.3	極化色散 (<i>Polarization Dispersion</i>)	102
5-2	傳輸延遲之分析	108
5-2.1	單模態光纖中的傳輸延遲	108
5-2.2	多模態光纖中的傳輸延遲	108

6 光纖的製造 117

6-1	預型體的製造	119
6-1.1	外部氣相沈積法	119
6-1.2	改良式化學氣相沈積法	126
6-1.3	電漿式化學氣相沈積法 (<i>Plasma-Activated Chemical Vapor Deposition : PCVD</i>)	129
6-1.4	軸向氣相沈積法 (<i>Vapor Axial Deposition : VAD</i>)	130

- 6-2 光纖之抽絲 135
- 6-3 光纖成之纜 (*Cabling*) 139

7 光源與光偵測器 145

- 7-1 半導體的基本原理與特性 146
- 7-2 光電半導體材料的吸收與放射 151
- 7-3 光纖通信的光源 154
 - 7-3.1 光纖通信光源的特性 154
 - 7-3.2 發光二極體 (*LED*) 156
 - 7-3.3 雷射二極體 (*LD*) 161
 - 7-3.4 發光二極體與雷射二極體之比較 169
- 7-4 光偵測器 (*Photo Detector*) 172
 - 7-4.1 光纖通信光偵測器的特性 172
 - 7-4.2 *PIN* 光二極體 174
 - 7-4.3 累崩光二極體 (*Avalanche Photo Diode: APD*) 177
 - 7-4.4 *PIN* 光二極體與累崩二極之比較 179

8 光纖通信系統 181

- 8-1 系統設計之考量 181
- 8-2 光纖通訊的多工方式 183
- 8-3 光纖通訊的調變方式 187
 - 8-3.1 數位調變方式 (*Digital Modulation*) 187

x

8-3.2 類比調變方式 (*Analog Modulation*) 190

8-4 光纖通訊的網路結構 194

9 光纖通訊系統之應用 201

9-1 數位化光纖有線電視 (*CATV*) 系統 202

9-2 光纖海纜通訊系統 204

9-3 光纖通訊在軍事上之應用 207

9-4 同步光纖網路
(*Synchronous Optical Network : SONET*) 211

9-5 光纖區域網路與光纖分散式數據界面 217

9-6 用戶迴路光纖通訊系統與寬頻整體服務數位網路 220

9-7 同調光纖通訊系統 223

9-8 無中繼光纖通訊系統 225

9-9 光固子光纖通訊系統 229

參考文獻 232

附錄 233



1 光纖通信系統簡介

1-1 光纖通信發展沿革

光纖通訊在光電科技應用中，佔有極重要的地位，光纖維是目前通訊應用最佳的光傳輸介質。由於光纖維有許多傳統電線電纜所沒有之優點，諸如：低損耗，高頻寬，體積小，重量輕，不受電磁干擾，保密性高...，等等，因此非常適合作為通訊的傳輸媒介。隨著相關科技的日益進步，光纖製造技術的不斷改進，可以預期的即將帶起通信的新革命，光纖即將全面性地取代電纜，而成為通信業的新寵。

光纖通訊之所以能夠實用化，半導體製造技術的發展與雷射的發明有著很大的貢獻。其實早在古時候，人類就已知利用光來作簡單的訊息傳達，例如：烽火示警，狼煙傳信，鏡子反射陽光傳達訊息及船隻利用信號燈來發送摩斯通信碼等等。由於當時無法找到很好的光源及導引光的波導介質，因此只能作簡單且短距離的光通訊。直到一九三〇年左右，才有科學家利用玻璃纖維作為導光介質，但由於技術尚無法克服，其每公里損耗都在一千分貝（dB）以上，訊號的衰減實在太快了，因此當時人們認為玻璃纖維並不適宜用來作為傳送光的波導介質。

隨著科技的不斷進步，半導體製程技術也日益成熟，一九六〇年美國科學家梅曼（Maiman）發明了紅寶石雷射，此雷射所發出來的光，不僅同調性好，指向性亦佳且接近於單色光，其頻率約為電波訊號頻率之數萬倍至數十萬倍，理論上其所能載送的資訊量亦可提高此倍數。一九六二年霍爾（Hall）及南森（Nathan）等人研究成功了砷化鎵（GaAs）半導體雷射。由於好的光源不斷地研究開發成功，因此再度燃起以光作為通訊的希望，只要吾人能找到導引光波的波導介質，那麼光通訊即可實現。一九六六年，華裔科學家高錕博士（現任中央研究院院士及香港中文大學校長）在英國標準電通實驗室（Standard Telecommunication Laboratory）從事研究時，提出了一篇有關於光纖維研究非常著名的報告，報告中指出光纖傳輸損耗的主要因素是玻璃中含有過渡金屬離子（如： Cr^{3+} ， Cu^{2+} ， Fe^{2+} ， Fe^{3+} ， Ni^{2+} ， Mn^{3+} ...等）及水分子中的氫氧離子（ OH^- ）等雜質的吸收作用所造成。文中並指出，只要吾人能夠改良製造及純化的技術，精確地控制玻璃中過渡金屬離子及氫氧離子的含有率在 10^{-7} 以下，即可使光在光纖中的傳輸損耗減低至每公里二十分貝（20 dB/Km）以下，如此光纖即可用來作為光通訊的傳輸媒介。自從此篇研究報告提出之後，世界各國科技發達的研究機構紛紛再投入研究，當時半

導體製程的技術已相當成熟，研究者即利用半導體元件製程的技術加以改進，用來改良光纖材料純化的製造技術，也因此低損耗的光纖才得以問世。直至一九七〇年美國康寧玻璃公司（Corning Glass Work）利用外加氣相沈積（Outside Vapor-phase Oxidation Deposition：OVD）製造方法純化石英玻璃材料，並成功地製造出損耗僅為每公里 20 分貝的光纖維；同年能在室溫下操作的砷化鎵半導體雷射亦被開發成功，以上這兩項重大的發明，使得光纖通訊的理想逐漸邁向實用化。此後光纖製造技術可謂「一日千里」，一九七二年康寧公司發展出每公里 7 分貝損耗的光纖，一九七三年康寧公司再改進到光纖的損耗僅每公里 4 分貝。一九七四年美國貝爾實驗室（Bell Laboratory）發展出改良式化學氣相沈積（Modified Chemical Vapor Phase Deposition：MCVD）的方法，成功地製造出每公里僅 1.2 分貝損耗的光纖。一九七六年貝爾實驗室更製造出損耗僅每公里 0.6 分貝的光纖，同時 GaAlAsP 的半導體雷射亦被開發出來。一九七七年日本電話與電報公司（NTT）發展出軸向氣相沈積（Vapor Phase Axial Deposition：VAD）的方法，此方法所製造出來的素體（Soot）較大，沈積速率快，使得光纖的產能大為提高。在各國科學家不斷研究之下，終於在 1978 年開發出在波長為 1.55 微米時，光纖損耗僅為每公里 0.2 分貝，此損失值已相當接近於玻璃材質光纖的最低理論損失值。1980 年起，研究人員更開始投入中紅外線（操作波長約為 2~10 微米）區新光纖材質之研究，目前已開發出損耗僅為每公里 0.001 分貝的光纖，亦即每一千公里光纖的損耗僅為 1 分貝，幾乎是零損失值了。在 1970 年代，由於光源、光偵測器、耦合、接續的技術尚未成熟，因此所使用的光纖均為多模態光纖，直到 1982 年單模態光纖通訊系統才正式開始使用，這也象徵著高容量，高品質的光纖通訊時代即將來臨，未來的區域網路（Local Area Network：LAN）、有線電視網路及大都會的通訊網路均將是光纖通訊網路。將來用戶迴路光纖通訊系統（The Subscribers Loop of Optical Fiber Communica-

tion System) 完成之後，屆時寬頻的整體服務數位網路 (Broad Band Integrated Service Digital Network: B-ISDN) 時代必將來臨。

1-2 光通信方式之演進

光通訊有各種不同的傳輸方式，由於光的頻率非常高 (約 $10^{14} \sim 10^{15}$ Hz)，理論上如果能夠控制並利用光來作為通訊的載波，那麼通訊容量可以比傳統電波通訊大大地提高，因此吾人一直希望能利用各種不同方式來局限光束，並設法加以利用。以下將簡單介紹光傳輸的各種方式。

1-2.1 自由光束在大氣中傳播方式

早期曾利用白熾燈做為光源，在自由空間中作短距離的傳輸，由於白熾燈光束的聚焦性與指向性均不佳，因此傳輸的效果不好。後來雷射發明之後，便改用雷射光束作為傳輸的光源，因為雷射所發出的光束，同調性，聚焦性及指向性均相當好，在自由空間中可以較精確地傳播到遠方。然而在地球的大氣層中傳播，會受空中的微粒子、雲、霧...等所造成的散射與吸收，雷射光束之能量會因吸收、散射所造成的損耗而逐漸減弱。吸收所造成的損耗隨著光源波長不同而有所不同，如圖 1-1 所示，因此要選擇適當波長的光源作為通訊所使用的光源。在惡劣的天候下，損耗約增加 20 到 30 分貝；在晴朗的天候下，由於溫度上升造成大氣層折射率的變動，因此也會造成光束傳播路徑的變動與色散現象的產生，足以影響光束的傳播。此外發射端與接收端的透鏡組易受到震動而使得角度改變，造成訊

號的失真。此種利用自由光束在大氣中傳送訊號的方式並不適合用來作為較長距離的通信，僅適於數十公尺之內的短距離通信。

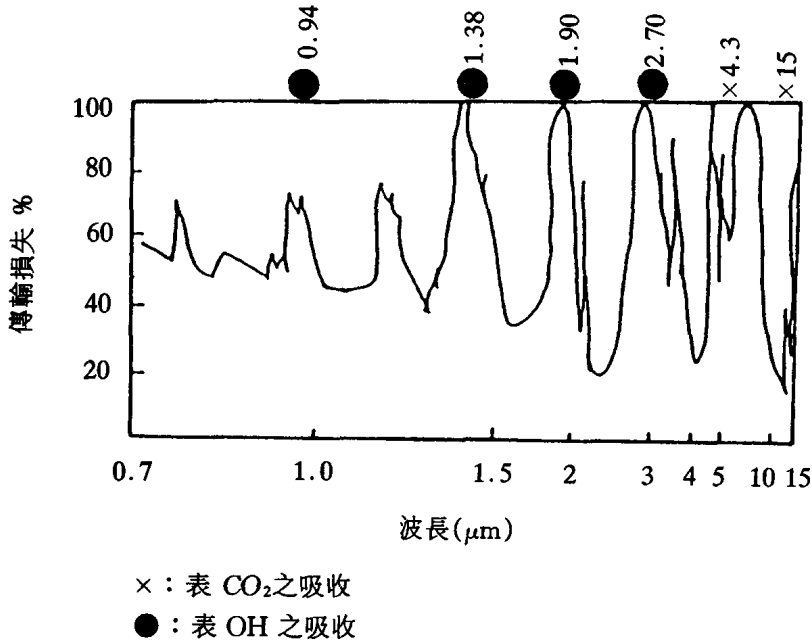


圖 1-1 光在大氣層中的損失光譜

1-2.2 透鏡組波導傳輸方式

如圖 1-2 所示，此方式是利用透鏡來聚光，控制光束不致於擴散太大，以利於達到光束的傳輸作用，由於透鏡裝置於導管之中，因此不受天候改變之影響。但由於此系統是由一系列的透鏡所組合而成的，很容易受地層變動而致使透鏡的位置偏移，造成光束不能集中而影響導光的成效，使