

工業用書

光纖的實驗與應用

—浩司 編譯—



建興出版社

特價：150 元

光纖的實驗與應用

編著者：浩 司

發行人：姚 國 興

發行所：建興出版社

登 記：局版台業字第一九七〇號

郵政劃撥：0516788-9

門市部：建興圖書企業有限公司

台北市重慶南路一段45號1樓

電 話：(02)3813805・3615890

發行部：永和市信義路87號

電話：(02)9253614

發行日期：民國 75 年 11 月出版

工業用書

光纖的實驗與應用

浩 司 編譯

建興出版社

前 言

光纖通信是一種邁向最尖端科技的產物，而尖端技術一般人的印象是：「僅限於大學教授，或企業界少數人研究理解的東西」。

於實際上也是如此，當您打開市場上為數甚少的光纖通信書籍時，所見到的盡是些困難的數學式子和圖表居多。它對於我們這一群外行人而言，真有如「丈二金剛摸不著邊際」的感受。又何況是業餘興趣者用的光纖通信書籍，在書店裡頭更是難於發現了。

且說，現在日本的電子技術，在世界上實已處於最高水準地位。而其發展的原點，有人認為起源於第二次世界大戰以後所迅速發展起來，在東京秋葉原（舊時神田）區的帆船販賣業者。

當時自行裝製完成只有4～5灯真空管式超大型收音機的人們，現在大部分已成為今日電子業界的主要繼承人了。隨之包括由開帆船店起，轉而販賣家電電器行的大部商店在內，為了提供消費者更便宜商品起見，需要擴大經營範圍，因此促成了各種新產品的不斷開發問世。

同理可以想像得出，對於像有志於光纖通信方面的人材數量提升，即使是從事業餘玩樂性質，也將有助於未來光纖通信的發展才對。

把最尖端的技術，以適於遊玩用加以編寫成書，確實不是一份輕易的工作，但想到多少能對於光纖的今後發展有所助益，因此才進行著手完成。

本書內容構成，考慮以業餘使用者為對象，並且要求對於電子具有少許興趣者，皆能輕易應用光纖為目的。

因為這本書是以業餘者為對象所寫成的入門書，故對於光纖專家而言，可能有不夠深入的感受，在此表示最大歉意。

本書期望對於光纖通信，能有所貢獻而增加更多的興趣者。

還有編寫過程，曾引用了有關各光纖，連接器、光纖元件、半導體零件等製造商所發行的商品目錄資料等，謹向他們表示最誠摯的謝意。

浩司 編譯

目 錄

第 1 章	光纖通信	7
1.1	電氣通信與光纖通信.....	7
1.2	有哪幾種光纖電纜.....	11
第 2 章	進行傳送光線作用	19
2.1	以光纖通光.....	19
2.2	製作發射信號用連接插頭的方法.....	25
第 3 章	輸送與接收簡單型信號	37
3.1	信號本意的表示是「有」和「無」.....	37
3.2	製作光纖發射機的方法.....	39
3.3	如何才能接收光線.....	42
3.4	使蜂鳴器鳴響(1).....	49
3.5	萬能光纖開關接收機.....	54
3.6	電子風琴控制.....	57
3.7	控制 AC 100V	61
第 4 章	快速輸送“H”和“L”信號	67
4.1	快速輸送“H”與“L”信號.....	67
4.2	光纖脈波發射機.....	68
4.3	使蜂鳴器鳴響(2).....	71
4.4	光纖風琴應用.....	76

4.5	用光線驅動輪盤	80
第5章	用光纖傳送人類說話聲	87
5.1	光纖AM發射機	87
5.2	光纖AM接收機	96
5.3	光纖式對講機問題	102
5.4	光纖式對講機裝置	103
第6章	FM信號源裝置	111
6.1	光纖電纜適用於FM	111
6.2	製作光纖式FM發射機的方法	115
6.3	製作光纖式FM接收機的方法	122
6.4	其他的脈波調變	127
第7章	資料通信	129
7.1	資料通信	129
7.2	遙測器	138
第8章	光纖相關資料	147
8.1	光纖電纜	147
8.2	連接器（連接插頭）	159
8.3	LED與受光元件	161
8.4	各電路與電子元件	168
8.5	電子零件購買處	174



1.1 電氣通信與光纖通信

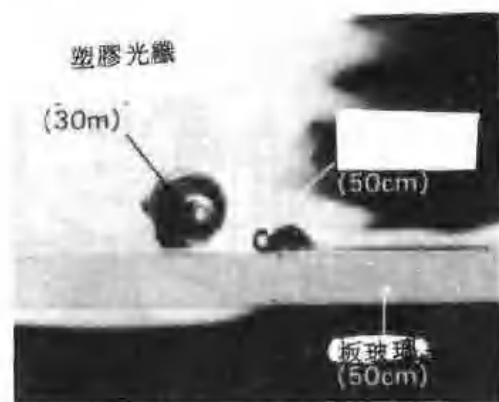
玻璃能通光特性，在今日連小孩子都知道已是不爭的事實，但對於第一次看到板玻璃的人，將是一種衝擊性發現。

隨之目前的玻璃通光特性，可能是第 2 個衝擊波吧！它就是「光纖通信」了。

讀者曾否注視過玻璃窗的切口部分？不錯吧！所見呈綠的顏色，由這種玻璃是看不到對面景色的。玻璃窗所用玻璃，不管如何通光，因其厚度一旦超過 3 公分以上，就開始顯出綠的顏色，甚而玻璃厚度在達 10 公分左右，所見將呈一片漆黑部分。

在像這樣的玻璃上加以通過光信號，而且又能將它輸送至遠離數 10 公里，以致數百公里位置，實在是件不可思議的事（照片圖 1-1）。

通常電氣通信分有兩種傳送信號方式，一種是像電話、有線廣播、有線電視（CATV）所示，用電線把相互間連接起來；另一種即是使用電波，來把像收音機、電視、警察廣播、電報、和民用無線等連



(照片圖 1-1)

試著使光線通過玻璃板和光纖。這時在長度 30 公尺的塑膠光纖與 50 厘米板玻璃的透光率相同。如果改用石英光纖的話，即使穿過 3 ~ 10 公里距離，也能保持同樣亮度。

接起來。這兩種方式現已清楚的被區分為「有線通信」與「無線通信」。

而這裡所說的光纖通信，即是相對於電氣通信中，屬於光通信的「有線通信」了。

可是光通信也有「無線通信」方面。例如，遠從過去在山上起火的「烽火傳輸」，以至現在我們日常家庭所用的電視追控裝置等等皆是。想必讀者曾看過戰爭片中，軍艦與軍艦間，利用裝置在探照燈上的照射快門裝置，來進行兩艦傳送摩爾斯代號信息吧！

不過光的無線通信，具有潛在性受天氣左右的缺陷存在，好天氣時雖易於傳送，但一旦遇到下雨天或有霧的天氣就難了。

而為了克服光無線通信所具有的潛在問題，於是人們開始着手了「光纖通信」的研究工作。

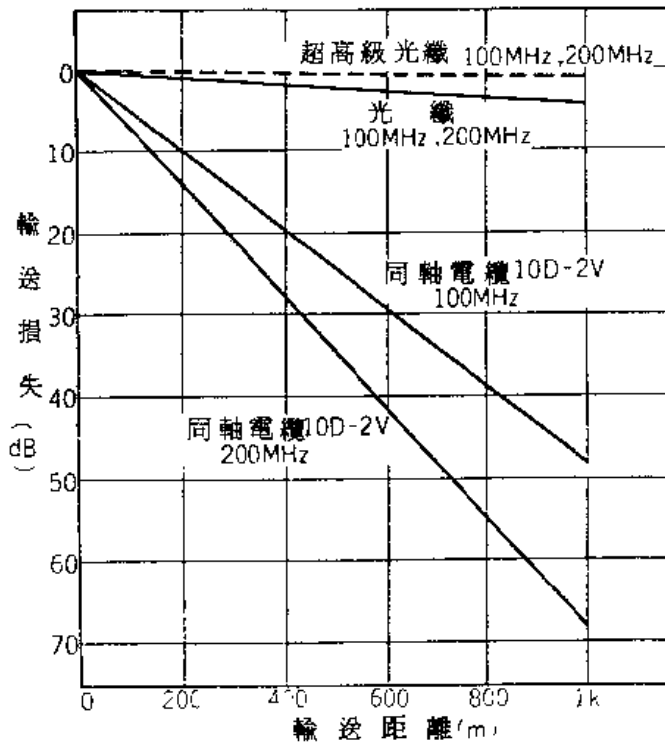
由前面所提玻璃窗的例子也可得知，利用普通玻璃是無法做為通信光纖使用的，故在本書後頭將提到，經過每天不斷進行各種研究工作，積累經驗，然後隨著技術日新月異下，光纖才能做到在先端科技領域占有一席之地。

一般而言，在某種技術不斷前進過程，一定存在有推進該技術的市場需求才對。那麼寄望於光纖的需求，到底又是什麼？下面就來加以分析。

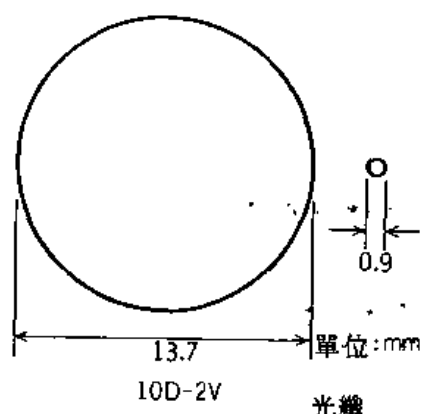
(1)增大通信量 現在無疑是一個情報化社會。在我們的日常生活裡頭，到處洋溢著各種情報。

爲了收集交換這些情報，電波的使用狀態已呈過飽和現象，例如由 10 kHz 的 VLF 頻帶，以至 100GHz 附近的 EHF 頻帶範圍，早已找不到空頻帶了。因此有線通信法也成爲增加情報量的另一種方法。

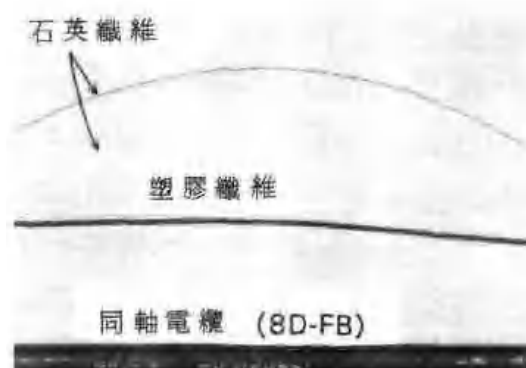
用一條光纖所能輸送的情報數量，據說現已能達使用 20 萬條電話回線數量（在 1 公里範圍），若與過去所用電線相比，爲具有數量上不同位數的裝載能力差距。



(圖 1-1) 光纖和同軸電纜的輸送損失



(圖 1-2) 光纖和同軸電纜 (10D-2V) 的大小粗細比較



(照片 1-2) 同軸電纜與光纖的外形比較

(2) **低損失** 把 100MHz 的信號用同軸電纜輸送的話，即使是使用與 10D-2V (外徑 13.7 mm) 相當大的纜線，在每 1 公里距離，將會出現高達 48 dB 損失。另外使用光纖的情形，於普通纜線每公里僅損失數 dB 而已，甚而對於超低損失者，可低至 1 dB 以下 (請參考圖 1-1) 範圍。而且光纖的線徑又細，僅為 0.9 mm。

因此如果使用與同軸電纜同一大小的光纖纜線，可以想像得出可於低損失下輸送大量情報 (請參考圖 1-2 與照片圖 1-2)。

(3) **省資源** 在資源少的日本，用於電線上的銅大部依賴輸入維持，但光纖所用原料為石英，且包括外皮在內的重量，每公里只有 800 公克而已，單考慮資源效益，就可知道光纖很具有將來性。

(4) **經濟效益** 能一次輸送大量情報，加上質輕擁有高經濟價值，此外不管是裝設電纜與長久使用性等各方面，都能發揮經濟功效。

(5) **較不受感應干擾** 於使用大電力場所，譬如在發電廠或變電所附近，會出現因電磁感應雜訊妨害通信問題，這在使用光纖情況，由於線中所流的信號是光線關係，不會產生問題。另外它又不受雷電雜訊影響，更不會對於電腦等信號構成干擾，永保信號清晰。

(6) **激光** 半導體激光與光纖發展一直保有牽連關係存在。

在幾年前使用時，必需邊靠乾冰冷却的半導體激光，但現已能用室溫加以處理了，而且在價錢方面也便宜許多。由於半導體激光對於光纖通信是一種很理想的光源，因此將會相互利用維持不斷發展才對。

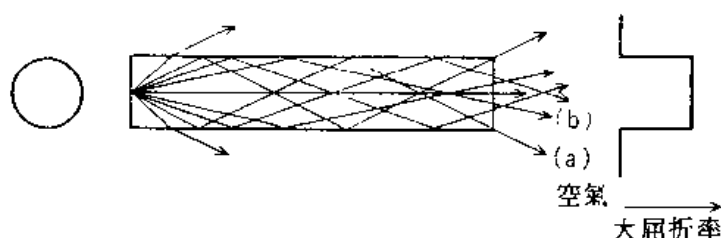
無線通信自誕生以來，至今已將近百年歷史。而在光纖通信方面却才僅擁有10數年的歷史光景。竟能達至這樣輝煌的成果，故可以想像得出，如果再過50年的話，將會達到何種境界，實在不是我們所能預想得出的。

可是話又說回來，光纖的進步發展，皆以專家需要者為中心，而為業餘者所開拓領域，却還處於初期階段。

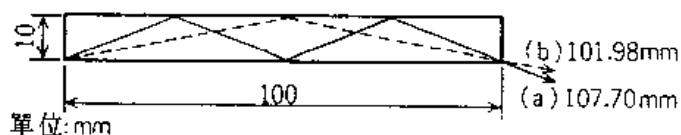
就是當作遊玩性質，讀者若能從現在開始起從事光纖通信工作，將有可能成為光纖通信的開拓者，其具有的意義實在重大。

1.2 有哪幾種光纖電纜

現來稍微具體的說明光纖吧！請看圖1-3，此圖是表示原始性光纖結構。它是最能通光的石英材料做成，由左邊入口所射進來的光信號，在光纖外壁，亦即與空氣交界處發生全反射作用，然後光線進入光纖裡頭，這樣一直至右邊的出口為止。



(圖1-3) 光纖本源



(圖 1-4) 不同屈折角不同通過距離

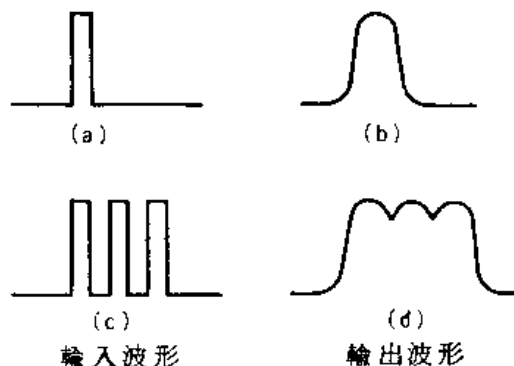
其間在同一時刻進入光纖的(a)與(b)信號，因各反射角度不同，使出現所通過光纖內部的距離也不相同。在圖 1-4，是只把這部分加以放大所得的圖形。當然圖形說明有點過於誇大，但假設會出現此種情況，那要通過 100 mm 光纖長度，於(a)和(b)圖，即需分別穿過 107.70 mm 與 101.98 mm 長的長度了。

這種現象將如圖 1-5 所示情形，於光纖入口，(a)所成的脈波，在輸出會出現(b)形波形。進而若有(c)所示連續脈波輸入時，在輸出即得(d)所示波形，這時所見僅為原波形的片斷而已。

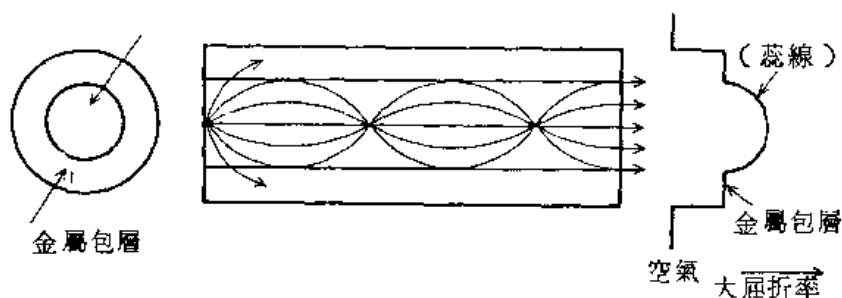
由此得知，光纖不是僅求「很會通光」而已，還要注意其他問題。

圖 1-6 是說明稱之為階段索纖維的光纖結構。其蕊線部分和前面所說的一樣，周圍表皮由所謂金屬包層所覆蓋著。

這種金屬包層材料的折光率小於蕊線材料，因此金屬包層與蕊線交界處的反射，要比和空氣交界處的反射低。



(圖 1-5) 由於屈折角關係使通過距離不同產生輸出波形失真蕊線



(圖 1-6) 階層索纖維

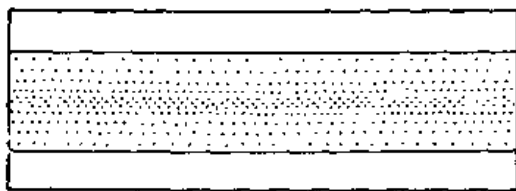
在由左側進入階段索纖維的光信號裡頭，與光纖軸保持某種限度以上角度的信號，因其蕊線與金屬包層折射率之差，小於蕊線與空氣的折射率差，而無法反射，因而將進入金屬包層。相對的，在此限度內角度所入射的光信號，則在蕊線與金屬包層間重覆反射以到達出口處。

與原始性光纖中的光纖相比，這種到達出口處的光線，因在光纖內部具有返覆、反射條件，所以減少了信號波形變形，可把信號傳送到更遠的地方。

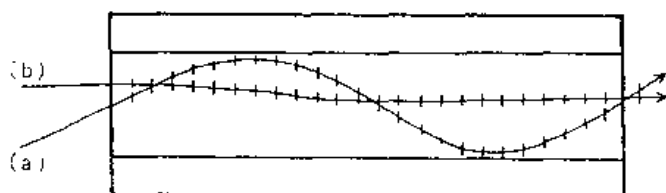
雖說光線在光纖蕊線中的反射角度相同，但事實上並不是這樣，是呈現出異常雜亂現象。

其情形如圖 1-7 所示，越靠近中心部分，光的折射率越大。折射率大即說明通光的的速度減慢。

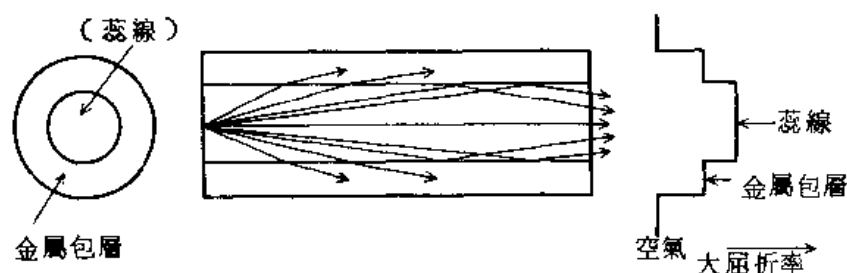
換言之，通過光纖蕊線的光線速度，在中心部分較慢，然後越向外圍則越快。



(圖 1-7) 越靠近蕊線中心部之光纖屈折越大



(圖 1-8) 在這種光纖裡頭，光線行經中間部分和周圍部分的速度幾乎一樣快，因此一起輸入光纖的信號，皆完全以同步速度前進，故能同時輸出。

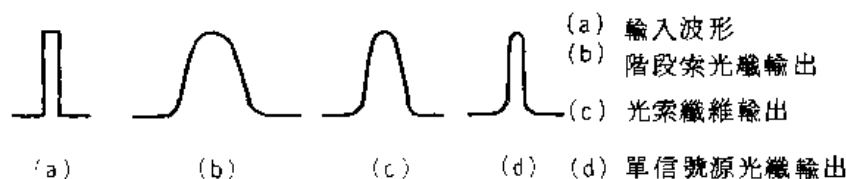


(圖 1-9) 光索纖維

接著請看一下圖 1-8，圖中傾斜射入光纖中的信號(a)，在尚未到達蕊線邊界時，已因折射率不同（不同速度常數）而開始折射，且出現於蕊線中曲行（不反射）。另外直射入光纖的信號(b)，則因蕊線的折射率不同，連由周圍部分所進入的信號，都被集中到中心處。同時在進入周圍部分的光信號，要比進入中心部分者快。因而如於某處切開光纖看看，將發現信號方位對於無論由什麼方向進來的信號都一樣。一般即稱呼這種光纖為“光索纖維”（圖 1-9）。

除此之外，在階段索和光索間的纖維中，也存在有蕊線與金屬包層結構。

如前所述，階段索纖維與光索纖維相比，前者的位相範圍較寬，不易把信號傳到遠處。此外還存在有一重要問題，那就是階段索纖維不能傳送高頻信號。這裡所說的高頻信號，是指“包含著大量情報的



(圖 1-10) 輸入波形與輸出波形

信號”，由此可知光索纖維是比階段纖維較佳（請看圖 1-10）。

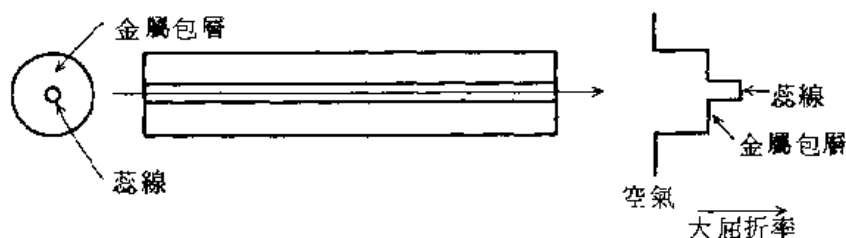
前面講的光纖，蕊線直徑稍微粗一些（話雖如此，但事實上也只有 $60\mu\text{m}$ 左右，仍很細的）。從不同方向進入光纖蕊線的信號，在各處藉由反射，或折射來不斷前進。

若使蕊線再細到 $10\mu\text{m}$ 以下來看看將會變成怎麼樣？在工業上所用的光纖通信光源，是利用紅外線激光，其波長多在 $0.8\sim 1.3\mu\text{m}$ 大小。如果蕊線不斷變細，信號在蕊線與金屬包層交界處的反射，和在蕊線中的折射，都會受到限制，最後變成只能通過沿光軸方向所射入的信號而已。

把能夠通過蕊線光的種類稱為“信號源（mode）”。且對於能通過多種信號源的粗線叫做“多信號源”，相對的把前面所說，只能通過一種光信號的細蕊線光纖叫做“單信號源”（請看圖 1-11）。

單信號源光纖的蕊線結構，一般使用“階段索纖維”。

在上述說明中，也許有人已經注意到，對業餘愛好者來說，像有 $60\mu\text{m}$ 或 $10\mu\text{m}$ 的蕊線直徑實在太小了。



(圖 1-11) 單信號源階段索光纖