

光導纖維

神奇的光導纖維

「光導纖維」是 20 世紀的新興材料，
由於具有高效率的光電功能，
近年來在通訊傳輸上扮演著重要的角色。

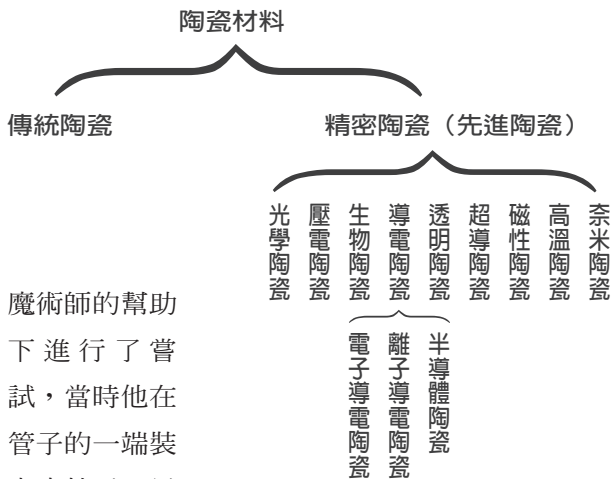
蘇明德

「光導纖維」簡稱「光纖」，
是一種利用全反射來傳導光線的高透明玻璃細絲，其直徑是微米（ 10^{-6} 公尺）級。普通透明玻璃細絲雖然也能傳導光線，但光線在傳輸過程中的損耗很大，不適合

用來傳導光資訊。

「光纖」的發明是百多年前一位外科醫生的無心插柳之作，他認為若能通過病人的咽喉和食道觀察病患的胃部，會有助於診斷。這個構想在一位馬戲團吞劍

陶瓷材料的種類

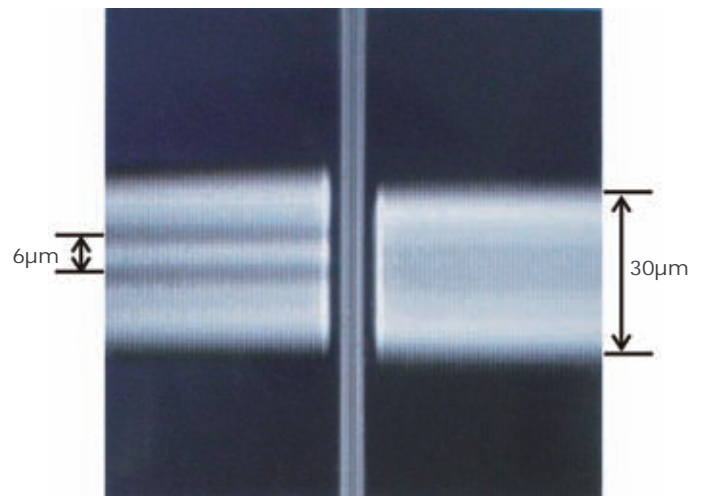


魔術師的幫助下進行了嘗試，當時他在管子的一端裝上小鏡子，另一端裝上小電

燈，然後把這根管子塞到受試者的食管中，果真看到了受試者的胃部狀態。

為什麼透過這根管子就可以看到胃部呢？很顯然，是藉由管子對光線的傳導把胃部的資訊傳遞出來。由此人們大膽設想，利用光來傳遞影像、聲音等資訊是可行的，光導通訊的概念於焉成形。另一方面，工程師也努力尋找適用於光導通訊的材料，「光纖」因而問世。

1966年，英籍華裔科學家高錕提出了光纖通訊的基礎理論。他也因為這項重大突破性的研究，而獲得今年（2009年）的諾貝爾物理獎。1970年，美國康寧玻璃公司拉製出世界上第1根「石英光纖」。1980年，用「光纖」製成的光纜正式啓用。



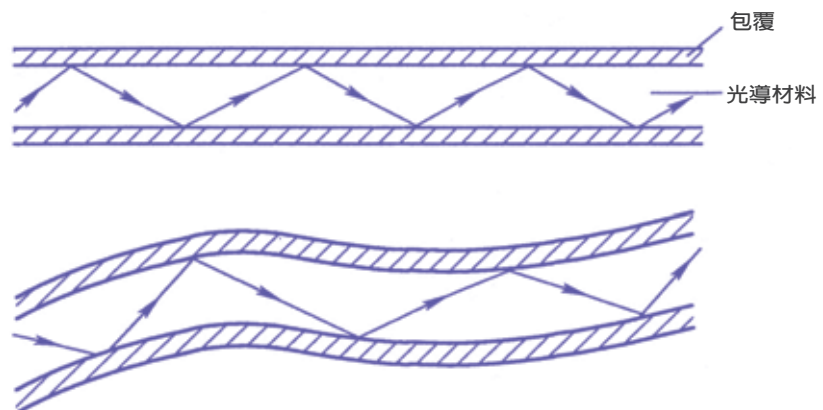
光纖的直徑約數十微米。圖左是內蕊直徑 $6\mu\text{m}$ 的單膜光纖，圖右是直徑 $30\mu\text{m}$ 的多膜光纖。

「光纖」是怎樣製造出來的呢？以石英光纖為例，選用高純度的二氧化矽玻璃（即石英玻璃）為原料，先把它熔化成熔融體，然後把熔融體拉成直徑是微米尺寸的細絲即成。用類似的方法也可以把氟玻璃製成「光纖」。

為了確保光線能保持在光導纖維幾十微米的範圍內傳輸，

「光纖」通常設計成兩層。以對光折射率比較高的玻璃細絲做為內蕊，直徑約數十微米，然後在內蕊的外面包覆一層折射率較低的材料。

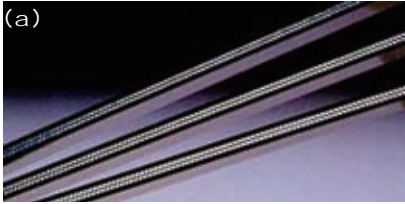
光在「光纖」中可傳輸的距離，與傳送過程中的損耗有關，一般來說，在傳送過程中的損耗越小，可傳送的距離就越長。如



光在纖維中的傳播

普通透明玻璃細絲雖然也能傳導光線，但光線在傳輸過程中的損耗很大，因此不適合用來傳導光資訊。

光在光纖中可傳輸的距離，與傳送過程中的損耗有關，在傳送過程中的損耗越小，可傳送的距離就越長。



圖片來源：劉錦祥

應用於掃描器 (a) 及連結器 (b) 的條狀光纖「柱狀透鏡」。

果以光強度降為原來一半（約3分貝，L分貝表示光強度降為 $10^{-L/10}$ 倍）處為光的傳送距離，則當「光纖」的光損耗是每公里0.1分貝時，光的傳送距離是30公里；若光損耗降到每公里0.001分貝時，則傳送距離可長達3千公里。目前，用氟玻璃製成的「光纖」，可傳送的距離很遠，把光資訊傳送到太平洋彼岸，中途甚至不需設置中繼站。

「光纖」對光的傳送強度與「光纖」的數目有關。把千百根「光纖」組合在一起，做成像電纜一樣的光纜，就可以使光的傳送強度大大增強，通訊容量也隨之增加。

根據傳輸過程中光的損耗，「光纖」的應用可以分成兩類。一類是光損耗較小的，由於可傳送距離長，主要用於遠距離通訊。另一類是光損耗較大的，因為可

傳送的距離短，常使用於近距離用途，尤其適合製成用於人體的內視鏡，如胃鏡、直腸鏡、膀胱鏡、子宮鏡等，對診斷和醫治疾病十分有用。

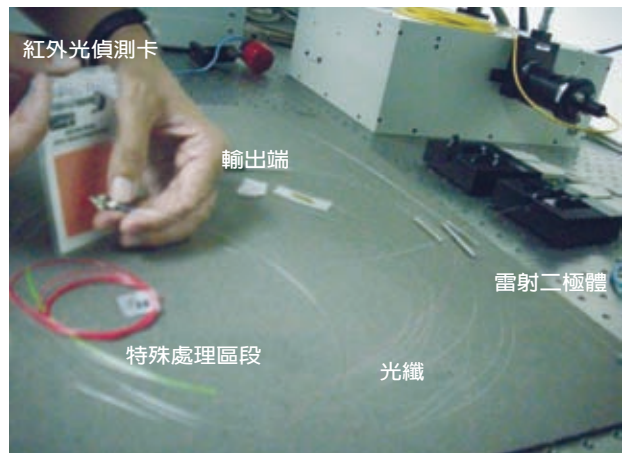
用「光纖」通訊有許多優點。第一是巨大的資訊容量，一根頭髮絲那麼細的「光纖」就能同時傳送100億對電話的資訊。如果把全世界的人口分成兩半，同時通話，所需電話也只二十多億對而已，也就是只用了它總量的四分之一，這是電線通訊無法相比的。如果採用光纜，通訊容量會更大。

第二個優點是傳送速度快。「光纖」的傳送速度是人類有史以來傳送資訊最快的一種方式，每一秒鐘可傳送約9千頁報紙的資訊量。

第三個優點是傳送距離長，可以達到數萬公里。因此現代越洋電話都是採用「光纖通訊」，不僅方便，而且成

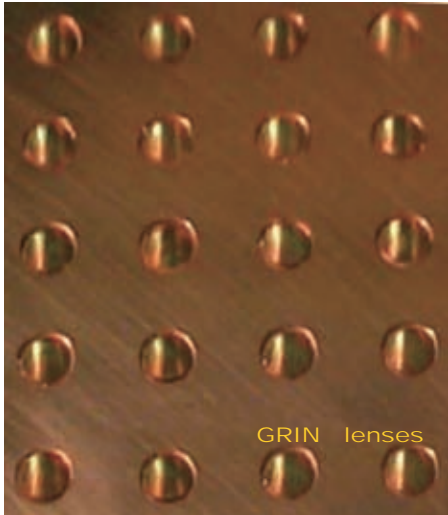
本大幅降低，因為用光纜代替電纜後，會節省大量銅鋁金屬的使用。據估算，每公里「光纖」可以節省銅1.1噸、鋁2噸，其成本的利基是很明顯的。

第四個優點是安全可靠。一般的電波通訊會受到外界的干擾，使通訊品質降低，但「光纖」通訊既不受電磁干擾，也不怕雷擊。一般無線通訊的保密性須借助密碼掩護，被破解的危機總是



經由雷射二極體產生的雷射（波長是980nm的不可見光），並不使一般的光纖發光，但通過圖中特殊處理的區段後發綠光。而在光纖的輸出端，則可使用紅外光偵測卡檢測是否有光源輸出。

光纖對光的傳送強度與光纖的數目有關。
把千百根光纖組合在一起，做成像電纜一樣的光纜，
就可以使光的傳送強度大大增強，通訊容量也隨之增加。



圖片來源：劉瑞祥

可應用於各種光學元件及感測器設計的 GRIN 柱狀透鏡片



圖片來源：劉瑞祥

GRIN 塑膠光纖棒的影像傳送

用來建立大容量國防通訊幹線、高速數據傳輸、衛星和微波信號地面引接，傳遞寬頻帶和高速率的圖像信號，以及應用在情報探測、開軍事會議等方面。例如戰爭期間，只要在邊境陣地安裝攝影裝置，通過光

存在。在電纜通訊中，由於電信號的洩漏比較大，很難防止竊聽。但「光纖」通訊不會洩漏，因此不會被竊聽。另外，電纜有受到腐蝕的危險，光纜則不怕腐蝕。因此，「光纖」通訊一問世就受到了世界各國的青睞。

「光纖」是怎樣進行通訊的呢？一般的光是由紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫 7 種顏色組成，它們的頻率各不相同，當通過

「光纖」時，會因色散作用造成整體訊號的失真。但若用雷射，就不會產生這種現象，因此「光纖」通訊採用的是雷射，而不是普通的光源。

「光纖」通訊的基本設施，是由光纜、光發送機、光中繼站和光接收機組成的。打電話時，聲音進入話筒後會先變成電訊號，經由光發送機中的雷射把它變成光訊號，這訊號通過光纜傳輸到達目的地後，光接收機再把光訊號變成電訊號，還原成聲音。如果需輸送的距離太長導致光訊號減弱，則需在發送端與接收端之間另設光中繼站，把衰減的光訊號放大後，繼續其旅程。

「光纖」通訊的應用非常廣泛，在軍事上，常

對戰場的態勢了然於胸。此外，統帥指揮中心與散布各地的各級指揮部之間，借助光纖聯通可以及時召開電視會議，相互溝通，協同作戰。

光纖通訊用於艦艇，也有利於提升艦艇的作戰能力，因為當艦艇的通訊系統由電纜改成光纖時，重量可大幅減輕。據估計，一艘中型艦艇中通訊電纜的重量達 7 噸，但若改成光纖，重量會減為只有 7 公斤，因此艦艇更為靈活是可以預見的。

光纖在如此眾多的場合中扮演重要的角色，可以想見它在未來的應用會更大放光彩，且讓我們拭目以待吧！ □

蘇明德

嘉義大學應用化學系



圖片來源：劉瑞祥

GRIN 塑膠光纖棒的實體