

科普新知 光纖通訊

歷史簡介：

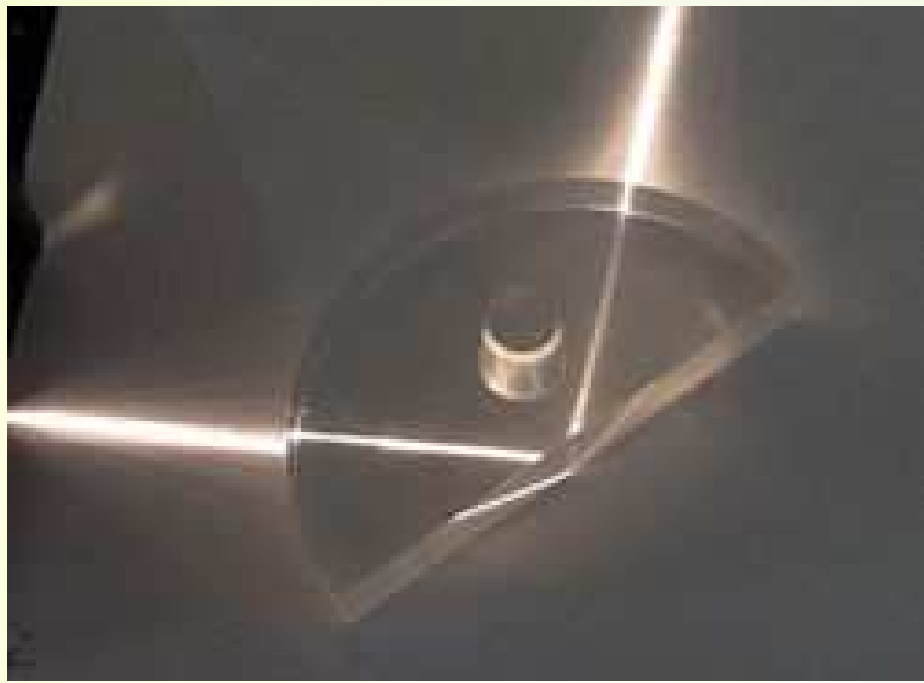
自古以來，人類對於長距離通訊的需求就不曾稍減。隨著時間的前進，從烽火到電報，再到1940年第一條同軸電纜 (coaxial cable) 正式服役，這些通訊系統的複雜度與精細度也不斷的進步。但是這些通訊方式各有其極限，使用電氣訊號傳遞資訊雖然快速，但是傳輸距離會因為電氣訊號容易衰減而需要大量的中繼器 (repeater)；微波 (microwave) 通訊雖然可以使用空氣做介質，可是也會受到載波頻率 (carrier frequency) 的限制。到了二十世紀中葉，人們才了解使用光來傳遞資訊，能帶來很多過去所沒有的顯著好處。

然而，當時並沒有同調性高的發光源 (coherent light source)，也沒有適合作為傳遞光訊號的介質，也所以光通訊一直只是概念。直到1960年代，雷射 (laser) 的發明才解決了第一項難題。(詳見科普新知：雷射)

而第二個難題是如何傳輸光的信號。因此牽涉到光纖的歷史發展。利用介電質來導光可以追溯到維多利亞時代 (1830~1900，圖一：維多利亞女王)，當時利用光的全反射來導引噴泉中水柱的光 (圖二：光的全反射)。而第一個光纖的製作，卻是應用在醫學上所使用的光導內視鏡 (gastroscope)，是在1956年由密西根大學的Basil Hirschowitz, C. Wilbour 和 Lawrence E. Curtiss, 所申請的專利中提到，利用光的全反射為內視鏡提供光源。

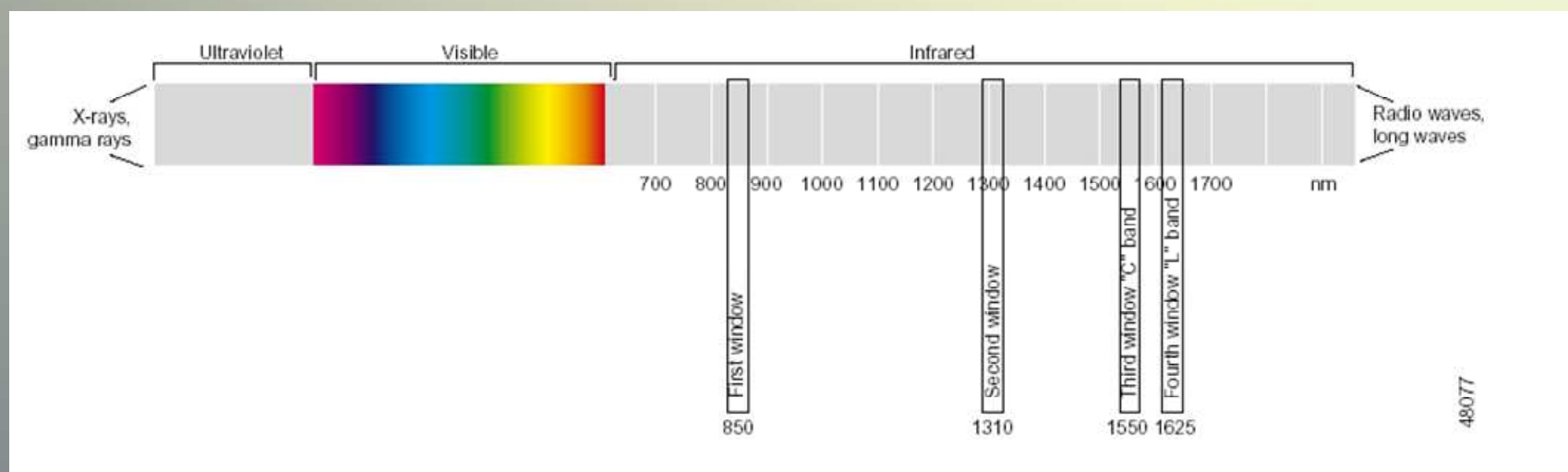


圖一：維多利亞女王的畫像



圖二：光的全反射

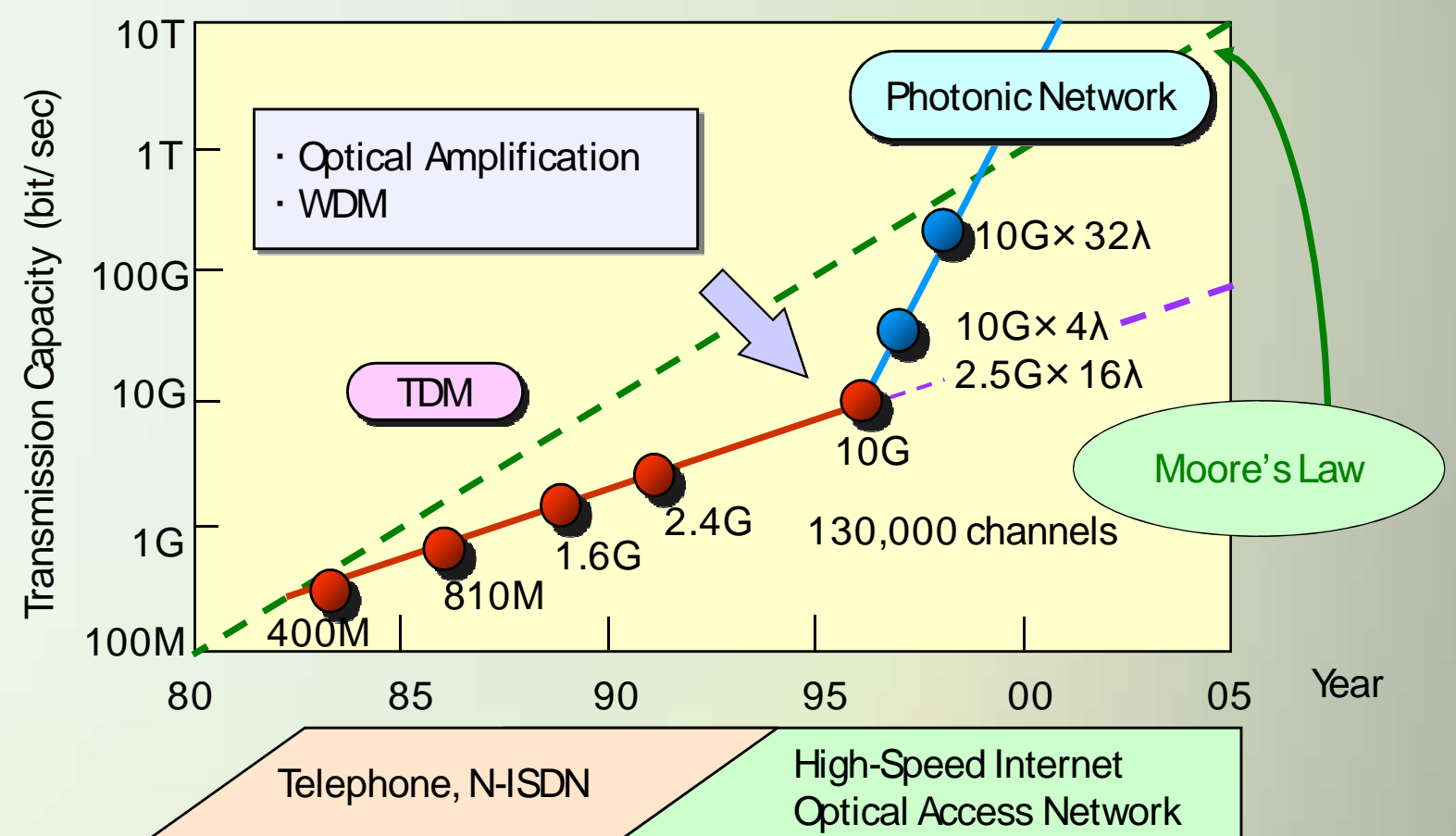
到了1965年，Charles K. Kao和 George A. Hockham第一次體認到光纖中造成光衰減的最大因素是由於雜質的關係，因此是可以經由純化材料加以克服，而非是由於基本的物理現象所限制。他們一起提出並且展示，只要光纖的衰減小於每公里 20 dB (註：20 dB的衰減是指強度只剩下原來的 1%) 在1970年代康寧公司 (Corning Glass Works) 發展出高品質低衰減的光纖則是解決了第二項問題，此時訊號在光纖中傳遞的衰減量第一次低於Charles K. Kao和 George A. Hockham所提出的每公里衰減20分貝 (20dB/km) 關卡。與此同時使用砷化鎵 (GaAs) 做為材料的半導體雷射 (semiconductor laser) 也被發明出來，並且憑藉著體積小的優勢而大量運用於光纖通訊系統中。經過了五年的研發期，第一個商用的光纖通訊系統在1980年問市。這個人類史上第一個光纖通訊系統使用波長800奈米 (nanometer) 的砷化鎵雷射作為光源，傳輸的速率 (data rate) 達到45Mb/s (bits per second)，每10公里需要一個中繼器增強訊號。圖三是在不同世代所用的光通信的對應光波長圖。



圖三：不同世代所用的光通信的對應光波長圖

第二代的商用光纖通訊系統也在80年代初期就發展出來，使用波長1300nm的InGaAsP雷射。早期的光纖通訊系統雖然受到色散 (dispersion) 的問題而影響了訊號品質，但是1981年單模光纖 (single-mode fiber) 的發明克服了這個問題。單模光纖分成Jacket, buffer, cladding和core。其中最常使用的單模態光纖 (single mode fiber) 核心 (core) 的直徑，只有約 8 mm (一般頭髮的直徑約為 80 mm)。因此可以想見在製作上，的確是非常的困難。到了1987年時，一個商用光纖通訊系統的傳輸速率已經高達1.7Gb/s，比第一個光纖通訊系統的速率快了將近四十倍之譜。同時傳輸的功率與訊號衰減的問題也有顯著改善，間隔50公里才需要一個中繼器增強訊號。

第三代的光纖通訊系統改用波長1550nm的雷射做光源，而且訊號的衰減已經低至0.2dB/km。之前使用InGaAsP雷射的光纖通訊系統常常遭遇到脈波延散 (pulse spreading) 問題，而科學家則設計出色散遷移光纖 (dispersion shifted fiber) 來解決這些問題，這種光纖在傳遞1550nm的光波時，色散幾乎為零，因其可將雷射光的光譜限制在單一縱模 (longitudinal mode)。這些技術上的突破使得第三代光纖通訊系統的傳輸速率達到2.5Gb/s，而且中繼器的間隔可達到100公里遠。圖四是圖示出不同世代光通信系統的演進之對應年代與速率圖，我們可以清楚看到一個斜率急遽變化的轉折點。那就是發生在約1995年所發明的摻鉕光纖光放大器。由於光放大器的發明，使得光通信系統由第三代邁入第四世代。第四代光纖通訊系統引進了光放大器 (optical amplifier)，進一步減少中繼器的需求。另外，波長分波多工 (wavelength-division multiplexing, WDM) 技術則大幅增加傳輸速率。這兩項技術的發展讓光纖通訊系統的容量以每六個月增加一倍的方式大幅躍進，到了2001年時已經到達10Tb/s的驚人速率，足足是80年代光纖通訊系統的200倍之多。近年來，傳輸速率已經進一步增加到14Tb/s，每隔160公里才需要一個中繼器。



圖四：不同世代光通信系統的演進之對應年代與速率圖

第五代光纖通訊系統發展的重心在於擴展波長分波多工器的波長操作範圍。傳統的波長範圍，也就是一般俗稱的「C band」約是1530奈米至1570奈米之間，新一帶的無水光纖 (dry fiber) 低損耗的波段則延伸到1300奈米至1650奈米間。另外一個發展中的技術是引進光固子 (optical soliton) 的概念，利用光纖的非線性效應，讓脈波能夠抵抗色散而維持原本的波形。90年代至2000年間，光纖通訊產業受到網際網路的影響而大幅成長。此外一些新興的網路應用，如隨選視訊 (video on demand) 使得網際網路頻寬的成長甚至超過 Moore's Law 所預期積體電路晶片中電晶體增加的速率。我們可以清楚看到在過去短短30年光通信系統的重大變化與演進，以及他對人類生活所帶來的重大衝擊。

撰稿：陳智弘 製作：王超駿、林威廷、陳巍方