**光電材料與元件期末考試題**

1. 先進國家極力的發展太空雷射武器，以雷射原理說明
其可行性與關鍵問題？

**雷射武器系統**（Laser Weapon System），簡稱**LaWS**，是一種由[美國海軍](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%BE%8E%E5%9C%8B%E6%B5%B7%E8%BB%8D%22%20%5Co%20%22%E7%BE%8E%E5%9C%8B%E6%B5%B7%E8%BB%8D)開發的指向性能量武器。此武器在2014年安裝在[USS Ponce (LPD-15)](https://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=USS_Ponce_(LPD-15)&action=edit&redlink=1" \o "USS Ponce (LPD-15) (頁面不存在))上測試

用途: 雷射武器系統用來反制[無人飛機](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%84%A1%E4%BA%BA%E9%A3%9B%E6%A9%9F%22%20%5Co%20%22%E7%84%A1%E4%BA%BA%E9%A3%9B%E6%A9%9F)與[攻擊小艇](https://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E6%94%BB%E6%93%8A%E5%B0%8F%E8%89%87&action=edit&redlink=1)。現在還不能用於反制[飛彈](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A3%9B%E5%BD%88)、大型的飛機或船隻、水面下的物體。LaWS使用了固體紅外線雷射，它可以調成高輸出用以破壞目標或調成低輸出用以警告或損壞對方的感測器。此武器相對於投射武器是每一發的成本較低。

**雷射的原理**

凡是能「吸收」或「發射」光的物質，都以「介質」稱之，如原子、分子及晶體等，會選擇性地吸收某些波長的電磁波，而進入了「受激態」。假設介質Ａ及Ｂ原處於較低能態的 E1 狀態，若介質Ａ吸收了一部分的光波而升至較高的 E2 狀態，使入射的光波強度減弱，這便是吸收。吸收是機率性的，介質Ａ或Ｂ不一定會吸收光波，但若是能吸收則必定要滿足一項條件，那就是光的頻率ｆ必定滿足 ｆ＝（E2 － E1）／ｈ，ｈ稱為「普郎克常數」，它的值是 6.6 × 10－34 焦耳．秒。
電子的躍遷


**雷射的原理-2.2**

1. 由於吸收和受激放射都是機率的問題，所以如果處在 E2 狀態的介質數 N2 比處在 E1 狀態的介質數 N1 多，即 N2 ＞ N1，那麼受激放射出來的光子，就比被吸收的多，光束就轉強了。所以凡是可能符合 N2 ＞ N1 條件的介質，就可能強化光束。N2 ＞ N1，表示能量狀態居高位的介質數比在底下的多，這是一種反常的現象，我們稱它為「群數反轉」。能進入「群數反轉」的介質有限，所以雷射的介質種類也有限。

為使介質處在 E2 狀態的介質數 N2 比在 E1 狀態的介質數 N1 多，我們必須對介質施加能量，或者說使它「活化」。那麼什麼樣的介質才能活化呢？如果有九個介質原本都處在基態 E0，在施加能量之後，有三個進入了 E1 狀態，有二個進入了 E2 狀態，或表示為 N1 ＝ 3，N2 ＝ 2。只是進入 E1 狀態的介質比較沒有耐性，有二個迅即脫離，但是進入 E2 狀態的就挺得住，於是變成 N2 ＝ 2，N1 ＝ 1，因此達成了群數反轉。這只是介質進入群數反轉的方式之一，其他的方式較難了解，在這暫不敘述。
2. 光束在活化了的介質中傳播愈遠，就會愈強。但是把介質放在很長的容器中終非良策，梅曼想出來的方法，是在介質容器的兩端，各放置一面反射鏡。反射鏡中的一面對受激放射波長，也就是相當於（E2 － E1）的波長高度反射，而另一面部分透射，一些光就由這反射鏡逸出，成為雷射光。於是雷射的主要元件就是「介質」，「能量」輸入裝置，和以兩面反射鏡所構成的「光腔」。光腔使光來回反射通過介質予以強化，每次強化的程度愈高，反射鏡的透光率就可以愈大。

**雷射的原理-2.3**
這兩面反射鏡有如固定琴弦的栓子，限定了振動的波長須滿足鏡間距離是半波長整數倍的條件。這條件可提升輸出光的純色性，但也不好達成，因為光波的波長甚短，且可以振動的波長或頻率如前所述有一範圍，所以隨意設定鏡間距離，就有好幾個波長，可以同時滿足這一距離是它們半波長整數倍的條件。為使雷射只輸出單一波長，還需下一番功夫呢！

雖然輸出了數個波長，但仍不影響純色性，從視覺的觀點來說，這些波長的光色都一樣，並且每一波長都很「純」或集中在狹窄的範圍內，所以雷射光仍是純色的。

此外，這兩面反射鏡局限了雷射光束的方向，這也是造成雷射光方向性的主因。至此我們已經知道為什麼雷射光有方向性、同調性、純色性和高強度性，以下再介紹數種重要雷射及其介質的活化方式。
**一般雷射發產生器有三個基本要素**

1. **「增益介質」（gain medium）**
2. **「激發來源」（pumping source）或稱為光泵(optical pump)**
3. **「共振腔」（resonator）**

****

1. **「增益介質」（gain medium）**

共振腔內「『被激發而釋放光子』的電子所在的原子、分子、晶體」等物質，其物理特性會影響所產生雷射的波長等特性。

1. **「激發來源」（pumping source）或稱為光泵(optical pump)**

在「增益介質」的說明中，我們用到了能階的概念，而不同的雷射會有不同的能階，使用的能階數可能也不只有四階，而光泵的選擇就必須依照增益介質的能階來選擇。光泵不一定是”光”，目前常用的有：電激發、弧光燈、閃光燈、電流、染敏、化學反應、或用其它雷射。光泵的目的只是要”讓電子躍遷至要求的能階”，所以並不一定要用光，後面半導體雷射中所用的”激發源”就是”電流”了！

1. **「共振腔」（resonator）**

要成為雷射，當然不能只依賴光泵，要是只有光泵那就不會有光可以回去產生受激放射了！所以為了讓光可以產生增益，我們就把光先”關起來”，等夠了再”放出來”，而拿來”關”光的就叫共振腔(就像兩面面對面的鏡子)，光會一直在腔內來回跑，直到滿足我們對共振腔壁所設定的條件(通常為光強度)，而物理告訴我們，要讓共振腔內的能量增加的方法就是要讓內部產生駐波(standing wave)，那，要怎麼樣才會產生駐波呢? 由示意圖中可以看到滿足形成駐波的條件是2L=mλ，L為腔長、λ為光的波長、m為任意正整數。而我們知道波速=波長×頻率，所以對光來說c=λν，c為光在真空中之波速、λ為波長、ν為頻率，若用λ=c/代入2L=mλ中可以得到：2L=mc/ν，移項得ν=mc/2L，可以看到頻率的間隔是固定的


另外，事實上在任何的增益介質中，電子的任何能態都並不是很單一的，都會是一個”帶”(band)，同一階中有不同的”小能階”，因此，激發放射的光也不會是很完美的單頻光，而會是一個分佈。這也是另外一個我們需要共振腔的原因，因為共振腔如上面解釋的，具有”挑選”的功能，不對的頻率就不會在共振腔內產生增益就無法產生雷射，因此我們可以利用共振腔對頻率進行篩選，只讓那些我們要的頻率可以在腔內產生駐波。
****
共振腔是兩面互相平行的鏡子，一面全反射，一面半反射。作用是把光線在反射鏡間來回反射，目的是使被激發的光經過增益介質多次以得到足夠的放大，當放大到可以穿透半反射鏡時，雷射便從半反射鏡發射出去。因此，此半反鏡也被稱為輸出耦合鏡（output coupler）。兩鏡面之間的距離也對輸出的雷射波長有著選擇作用，只有在兩鏡間的距離能產生共振的波長才能產生雷射。

1. **總結**

將電子激發至高能階，第一顆會以自發放射的形式回到基態，若放出的光子不滿足共振腔的駐波條件(我們的對光的要求)，則無法產生增益，若自發放射的光子滿足條件則會在共振腔中來回跑，當其通過增益介質時則會誘發激發放射產生更多和它一模一樣的光子，如雪崩般的增加光子數量直到滿足共振腔放出光的條件(超過臨界值)。此時雷射光(部分的光)變會射出共振腔，經過一段(很短)時間，光泵的供應與雷射光的輸出會達成一個平衡的狀態，此時雷射光便可以持續輸出。

**雷射能階躍遷圖**
****
**共振腔內部運作圖**
****

2光纖在現代通訊具有相當重要發展，請說明光纖使用
雷射波長範圍為何限定在近紅外範圍？請從材料、光學
原理說明?

**光纖通訊**

光纖通訊（Fiber-optic communication）也作光纖通訊，是指一種利用光與光纖（optical fiber）傳遞資訊的一種方式。屬於有線通訊的一種。光經過調變（modulation）後便能攜帶資訊。自1980年代起，光纖通訊系統對於電信工業產生了革命性的作用，同時也在數位時代裡扮演非常重要的角色。光纖通訊具有傳輸容量大，保密性好等許多優點。光纖通訊現在已經成為當今最主要的有線通訊方式。將需傳送的資訊在發送端輸入到發送機中，將資訊疊加或調變到作為資訊訊號載體的載波上，然後將已調變的載波通過傳輸媒質傳送到遠處的接收端，由接收機解調出原來的資訊。
根據訊號調變方式的不同，光纖通訊可以分為數位光纖通訊，類比光纖通訊。光纖通訊的產業包括了光纖光纜，光器件，光設備，光通訊儀錶，光通訊積體電路等多個領域。

**利用光纖做為通訊之用通常需經過下列幾個步驟：**以發射器（transmitter）產生光訊號。
以光纖傳遞訊號，同時必須確保光訊號在光纖中不會衰減或是嚴重變形。
以接收器（receiver）接收光訊號，並且轉換成電訊號。

**應用**
光纖常被電話公司用於傳遞電話、網際網路，或是有線電視的訊號，有時候利用一條光纖就可以同時傳遞上述的所有訊號。與傳統的銅線相比，光纖的訊號衰減（attenuation）與遭受干擾[來源請求]（interference）的情形都改善很多，特別是長距離以及大量傳輸的使用場合中，光纖的優勢更為明顯。然而，在城市之間利用光纖的通訊基礎建設（infrastructure）通常施工難度以及材料成本難以控制，完工後的系統維運複雜度與成本也居高不下。因此，早期光纖通訊系統多半應用在長途的通訊需求中，這樣才能讓光纖的優勢徹底發揮，並且抑制住不斷增加的成本。
從2000年光通訊（optical communication）市場崩潰後，光纖通訊的成本也不斷下探，目前已經和銅纜為骨幹的通訊系統不相上下[1]。
對於光纖通訊產業而言，1990年光放大器（optical amplifier）正式進入商業市場的應用後，很多超長距離的光纖通訊才得以真正實現，例如越洋的海底電纜。到了2002年時，越洋海底電纜的總長已經超過25萬公里，每秒能攜帶的資料量超過2.56Tb，而且根據電信業者的統計，這些數據從2002年後仍然不斷的大幅成長中。

**光纖通訊的歷史**
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。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光纖通訊之父高錕所提出的每公里衰減20分貝（20dB/km）關卡，證明了光纖作為通訊介質的可能性。與此同時使用砷化鎵（GaAs）作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。1976年，第一條速率為44.7Mbit/s的光纖通訊系統在美國亞特蘭大的地下管道中誕生。
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。
第二代的商用光纖通訊系統也在1980年代初期就發展出來，使用波長1300奈米的磷砷化鎵銦（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。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。1980年代末，EDFA的誕生，堪稱光通訊歷史上的一個里程碑似的事件，它使光纖通訊可直接進行光中繼，使長距離高速傳輸成為可能，並促使了DWDM的誕生。
第三代的光纖通訊系統改用波長1550奈米的雷射做光源，而且訊號的衰減已經低至每公里0.2分貝（0.2dB/km）。之前使用磷砷化鎵銦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1550奈米的光波時，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。
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。
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孤子（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。
1990年至2000年間，光纖通訊產業受到網際網路泡沫的影響而大幅成長。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莫耳定律（Moore's Law）所預期積體電路晶片中電晶體增加的速率。而自網際網路泡沫破滅至2006年為止，光纖通訊產業透過企業整併壯大規模，以及委外生產的方式降低成本來延續生命。
現在的發展前沿就是全光網路了，使光通訊完全的代替電訊號通訊系統，當然，這還有很長的路要走。

**核心技術**
現代的光纖通訊系統多半包括一個發射器，將電訊號轉換成光訊號，再透過光纖將光訊號傳遞。光纖多半埋在地下，連接不同的建築物。系統中還包括數種光放大器，以及一個光接收器將光訊號轉換回電訊號。在光纖通訊系統中傳遞的多半是數位訊號，來源包括電腦、電話系統，或是有線電視系統。

**發射器**
在光纖通訊系統中通常作為光源的半導體元件是發光二極體（light-emitting diode, LED）或是雷射二極體（laser diode）。LED與雷射二極體的主要差異在於前者所發出的光為非同調性（noncoherent），而後者則為同調性（coherent）的光。使用半導體作為光源的好處是體積小、發光效率高、可靠度佳，以及可以將波長最佳化，更重要的是半導體光源可以在高頻操作下直接調變，非常適合光纖通訊系統的需求。
LED藉著電激發光（electroluminescence）的原理發出非同調性的光，頻譜通常分散在30奈米至60奈米間。LED另外一項缺點是發光效率差，通常只有輸入功率的1%可以轉換成光功率，約是100微瓦特（micro-watt）左右。但是由於LED的成本較低廉，因此常用於低價的應用中。常用於光通訊的LED主要材料是砷化鎵或是砷化鎵磷（GaAsP），後者的發光波長為1300奈米左右，比砷化鎵的810奈米至870奈米更適合用在光纖通訊。由於LED的頻譜範圍較廣，導致色散較為嚴重，也限制了其傳輸速率與傳輸距離的乘積。LED通常用在傳輸速率10Mb/s至100Mb/s的區域網路（local area network, LAN），傳輸距離也在數公里之內。目前也有LED內包含了數個量子井（quantum well）的結構，使得LED可以發出不同波長的光，涵蓋較寬的頻譜，這種LED被廣泛應用在區域性的波長分波多工網路中。
半導體雷射的輸出功率通常在100毫瓦特（mW）左右，而且為同調性質的光源，方向性相對而言較強，通常和單模光纖的耦合效率可達50%。雷射的輸出頻譜較窄，也有助於增加傳輸速率以及降低模態色散（model dispersion）。半導體雷射亦可在相當高的操作頻率下進行調變，原因是其復合時間（recombination time）非常短。
半導體雷射通常可由輸入的電流有無直接調變其開關狀態與輸出訊號，不過對於某些傳輸速率非常高或是傳輸距離很長的應用，雷射光源可能會以連續波（continuous wave）的形式控制，例如使用外接的電吸收光調變器（electroabsorption modulator）或是馬赫·任德干涉儀（Mach-Zehnder interferometer）對光訊號加以調變。外接的調變元件可以大幅減少雷射的「啁啾脈衝」（chirp pulse）。啁啾脈衝會使得雷射的譜線寬度變寬，使得光纖內的色散變得嚴重。

**光纖纖維**
光纖纜線包含一個核心（core），纖殼（cladding）以及外層的保護被覆（protective coating）。核心與折射率（refractive index）較高的纖殼通常用高品質的矽石玻璃（silica glass）製成，但是現在也有使用塑膠作為材質的光纖。又因為光纖的外層有經過紫外線固化後的壓克力（acrylate）被覆，可以如銅纜一樣埋藏於地下，不需要太多維護費用。然而，如果光纖被彎折的太過劇烈，仍然有折斷的危險。而且因為光纖兩端連接需要十分精密的校準，所以折斷的光纖也難以重新接合。

**光放大器**
過去光纖通訊的距離限制主要根源於訊號在光纖內的衰減以及訊號變形，而解決的方式是利用光電轉換的中繼器。這種中繼器先將光訊號轉回電訊號放大後再轉換成較強的光訊號傳往下一個中繼器，然而這樣的系統架構無疑較為複雜，不適用於新一代的波長分波多工技術，同時每隔20公里就需要一個中繼器，讓整個系統的成本也難以降低。
光放大器的目的即是在不用作光電與電光轉換下就直接放大光訊號。光放大器的原理是在一段光纖內摻雜（doping）稀土族元素（rare-earth）如鉺（erbium），再以短波長雷射激發（pumping）之。如此便能放大光訊號，取代中繼器。

**接收器**構成光接收器的主要元件是光偵測器（photodetector），利用光電效應將入射的光訊號轉為電訊號。光偵測器通常是半導體為基礎的光二極體（photo diode），例如p-n接面二極體、p-i-n二極體，或是雪崩型二極體（avalanche diode）。另外「金屬-半導體-金屬」（Metal-Semiconductor-Metal, MSM）光偵測器也因為與電路整合性佳，而被應用在光再生器（regenerator）或是波長分波多工器中。
光接收器電路通常使用轉阻放大器（transimpedence amplifier, TIA）以及限幅放大器（limiting amplifier）處理由光偵測器轉換出的光電流，轉阻放大器和限幅放大器可以將光電流轉換成振幅較小的電壓訊號，再透過後端的比較器（comparator）電路轉換成數位訊號。對於高速光纖通訊系統而言，訊號常常相對地衰減較為嚴重，為了避免接收器電路輸出的數位訊號變形超出規格，通常在接收器電路的後級也會加上時脈及資料回復電路（clock and data recovery, CDR）以及鎖相迴路（phase-locked loop, PLL）將訊號做適度處理再輸出。

**波長分波多工**
波長分波多工的實際做法就是將光纖的工作波長分割成多個通道（channel），俾使能在同一條光纖內傳輸更大量的資料。一個完整的波長分波多工系統分為發射端的波長分波多工器（wavelength division multiplexer）以及在接收端的波長分波解多工器（wavelength division demultiplexer），最常用於波長分波多工系統的元件是陣列波導光柵（Arrayed Waveguide Gratings, AWG）。而目前市面上已經有商用的波長分波多工器/解多工器，最多可將光纖通訊系統劃分成80個通道，也使得資料傳輸的速率一下子就突破Tb/s的等級。

**頻寬距離乘積**
由於傳輸距離越遠，光纖內的色散現象就越嚴重，影響訊號品質。因此常用於評估光纖通訊系統的一項指標就是頻寬-距離乘積，單位是百萬赫茲×公里（MHz×km）。使用這兩個值的乘積做為指標的原因是通常這兩個值不會同時變好，而必須有所取捨（trade off）。舉例而言，一個常見的多模光纖（multi-mode fiber）系統的頻寬-距離乘積約是500MHz×km，代表這個系統在一公里內的訊號頻寬可以到500MHz，而如果距離縮短至0.5公里時，頻寬則可以倍增到1000MHz。

**應用極限**
雖然目前已經出現很多技術降低諸如色散之類的問題，也使得光纖通訊系統的容量已經達到14Tb/s以及160公里的傳輸距離[2]，仍然有些問題需要工程師與科學家的研究與克服。以下是這些問題的簡單討論。

**訊號色散**
對於現代的玻璃光纖而言，最嚴重的問題並非訊號的衰減，而是色散問題，也就是訊號在光纖內傳輸一段距離後逐漸擴散重疊，使得接收端難以判別訊號的高或低。造成光纖內色散的成因很多。以模態色散為例，訊號的橫模（transverse mode）軸速度（axial speed）不一致導致色散，這也限制了多模光纖的應用。在單模光纖中，模態間的色散可以被壓抑得很低。
但是在單模光纖中一樣有色散問題，通常稱為群速色散（group-velocity dispersion），起因是對不同波長的入射光波而言，玻璃的折射率略有不同，而光源所發射的光波不可能沒有頻譜的分布，這也造成了光波在光纖內部會因為波長的些微差異而有不同的折射行為。另外一種在單模光纖中常見的色散稱為極化模態色散（polarization mode dispersion），起因是單模光纖內雖然一次只能容納一個橫模的光波，但是這個橫模的光波卻可以有兩個方向的極化（polarization），而光纖內的任何結構缺陷與變形都可能讓這兩個極化方向的光波產生不一樣的傳遞速度，這又稱為光纖的雙折射現象（fiber birefringence）。這個現象可以透過極化恆持光纖（polarization-maintaining optical fiber）加以抑制。

**訊號衰減**
訊號在光纖內衰減也造成光放大器成為光纖通訊系統所必需的元件。光波在光纖內衰減的主因有物質吸收、瑞立散射（Rayleigh scattering）、米氏散射（Mie scattering）以及連接器造成的損失。雖然石英的吸收係數只有0.03dB/km，但是光纖內的雜質仍然會讓吸收係數變大。其他造成訊號衰減的原因還包括應力對光纖造成的變形、光纖密度的微小擾動，或是接合的技術仍有待加強。

**訊號再生**
現代的光纖通訊系統因為引進了很多新技術降低訊號衰減的程度，因此訊號再生只需要用於距離數百公里遠的通訊系統中。這使得光纖通訊系統的建置費用與維運成本大幅降低，特別對於越洋的海底光纖而言，中繼器的穩定度往往是維護成本居高不下的主因。這些突破對於控制系統的色散也有很大的助益，足以降低色散造成的非線性現象。此外，光固子也是另外一項可以大幅降低長距離通訊系統中色散的關鍵技術。

**最後一哩光纖網路**
雖然光纖網路享有高容量的優勢，但是在達成普及化的目標，也就是「光纖到戶」（Fiber To The Home, FTTH）以及「最後一哩」（last mile）的網路佈建上仍然有很多困難待克服。然而，隨著網路頻寬的需求日增，已經有越來越多國家逐漸達成這個目的。以日本為例，光纖網路系統已經開始取代使用銅線的數位用戶迴路系統。

**與傳統通訊系統的比較**
對於某個通訊系統而言，使用傳統的銅纜作為傳輸介質較好，或是使用光纖較佳，有幾項考量的重點。光纖通常用於高頻寬以及長距離的應用，因為其具有低損耗、高容量，以及不需要太多中繼器等優點。光纖另外一項重要的優點是即使跨越長距離的數條光纖並列，光纖與光纖之間也不會產生串訊（cross-talk）的干擾，這和傳輸電訊號的傳輸線（transmission line）正好相反。
不過對於短距離與低頻寬的通訊應用而言，使用電訊號的傳輸有下列好處：

**較低的建置費用**
組裝容易
可以利用電力系統傳遞資訊
因為這些好處，所以在很短的距離傳輸資訊，例如主機之間、電路板之間，甚至是積體電路晶片之間，通常還是使用電訊號傳輸。然而目前也有些還在實驗階段的系統已經改採光來傳遞資訊。

**在某些低頻寬的場合，光纖通訊仍然有其獨特的優勢：**
能抵抗電磁干擾（EMI），包括核子造成的電磁脈衝。（不過光纖可能會毀於α或β射線）
對電訊號的阻抗極高，所以能在高電壓或是地面電位不同的狀況下安全工作。
重量較輕，這在飛機中特別重要。
不會產生火花，在某些易燃的環境中顯得重要。
沒有電磁輻射、不易被竊聽，對於需要高度安全的系統而言十分重要。
線徑小，當繞線的路徑被限制時，變得重要。

**現行技術標準**
為了能讓不同的光纖通訊設備製造商之間有共通的標準，國際電信聯盟（International Telecommunications Union, ITU）制定了數個與光纖通訊相關的標準，包括：
ITU-T G.651, "Characteristics of a 50/125 µm multimode graded index optical fibre cable"
ITU-T G.652, "Characteristics of a single-mode optical fibre cable"
其他關於光纖通訊的標準則規定了發射與接收端，或是傳輸介質的規格，包括了：
10G乙太網路（10 Gigabit Ethernet）
光纖分散式數據介面（FDDI）
光纖通道（Fibre channel）
HIPPI
同步數位階層（Synchronous Digital Hierarchy）
同步光纖網路（Synchronous Optical Networking）
此外，在數位音效的領域中，也有利用光纖傳遞資訊的規格，那就是由日本東芝（Toshiba）所制定的TOSLINK規格。採用塑膠光纖（plastic optical fiber, POF）作為媒介，系統中包含一個採用紅光LED的發射器以及整合了光偵測器與放大器電路的接收器。

**光纖通訊系統簡介**
取自:http://ykuo.ncue.edu.tw/report/042-Optical%20fiber%20communication%20systems.doc
**一、光纖通訊的歷史**
近代的「光纖通訊」的發展始於1960年代，而使得「光纖」成為現在及未來通訊的主力乃是基於兩個事件的激發：首先是西元1960年美國物理學家梅門（Theodore Harold Maiman）成功地使紅寶石振盪產生「雷射光」。第二則為西元1966年，科學家高錕（Charles Kao）及George A. Hockham，他們預測所製作的「光纖」，能夠讓「光波」在其中傳輸一公里，仍有原來1﹪的光能量，那麼光纖就能夠像電纜一般，來作為傳輸工具。因為在當時，即使是最好的光纖，光波在其中傳輸20公尺就已使光能量降低至原來能量的1﹪。
到了西元1970年，貝爾實驗室成功製造出可於常溫下連續振盪之半導體雷射（Semi-Conductor-Laser），及康寧玻璃工廠（Corning Glass Work）製造出每公里衰滅小於20分貝的低損失石英質（Silica）光纖後，「光纖」技術一日千里。
今日，由於光電科技的發展，每公里衰滅低於1分貝，傳輸頻寬高於800MHZ的光電纜已可大量生產，再配合「高階數位多工」（High Order Digital Multiplex）技術的發展以及高性能「光電元件」（Opto-Electronic Device）的開發，每秒傳播速度高達九千萬「位元（bit）」，甚至到每秒四億「位元」之高速大容量光通訊系統，目前已達實用化的階段。

**二、光纖通訊的原理**
當我們用無線電傳送資訊時，必須先化成一系列的電訊號，由發射站轉換成為「無線電訊號（Radio Signal）」，而接收站接到這些訊號後，再將其轉換成電訊號，之後再解碼轉換成我們需要的資訊。同理，光也可以藉著閃爍光源，如訊號閃光燈的開或關而產生一系列的圖形，我們稱之為「光訊號」。光比電有更大的傳輸資訊能力，也就是說光可以斷成為更短的脈衝，因此在相同的時間裏可形成更高密度且資訊豐富的圖形。在這種速率下，藉著合併圖形單元成為一個個的「堆積（Stack）」，就可在同一條纖維中，同時傳送很多不同的資訊。就如同汽車從交流道進入高速公路一樣，不會撞到其它汽車。這也就是為何「光纖」能同時容納很多資訊在其中傳輸的原因。

**三、光纖通訊的優點**
**(一)長距離通信，減低成本：**
1.譬如1.3微米波長之光纖用於傳輸時，每公里約有0.4～0.5dB的損失；
  而1.5微米之光纖每公里約有0.2～0.25dB之低傳輸損失。
2.和傳統的銅線電纜傳輸系統比較，光纖通信使傳輸的中繼距離增長至
  數十公里，並可大幅度地減少中繼器之數目，降低通信系統的成本。
3. 舉例來說：若從台北至基隆，距離不過二十多公里；若採用光纖連接，
  則基隆地區就不須設大型機房。由於光纖傳輸損失低，增長中繼區間
  的傳輸，減少系統成本及複雜性，更適用於長途傳輸。
**(二)光纖質細、輕並富可繞性，容易集結成束**，故光纖集結成光纜埋設時， 可節省管道空間。有效提高管道使用率，配置空間的經濟性高，適用於 飛行器，衛星及船艦。
**(三)光纖具有極大的通信頻寬**，頻寬可達1～2GHz以上。一般普通同軸電 纜的頻寬約330MHz～550MHz，相較之下，光纖有著極高之載訊容量。
**(四)光纖材料一般皆為石英玻璃，其具有不腐蝕、耐火、耐水及壽命長之特 性**，加上光纖有極佳的柔軟性及應變性，良好的保護外被及抗張物質， 使光纖傳輸可節省經營成本。
**(五)由於光纖介質作成如石英玻璃，即為良好絕緣體，不會受到電磁波等之 干擾**，適用於容易受雷擊或高電場區，可大大提高通信的傳真度。
**(六)保密性高 光信號不會從光纖中幅射出去**，適用於軍事，銀行連線及電 腦網路。
由於光纖系統具有上述諸多之優點，使得各國皆看好光纖通信之前景，並已投入大量財力、人力來研究開發。隨著資訊時代的來臨，容量大、低損失、可靠度佳的通信網路是不可或缺的，而光纖通信系統是最佳的選擇。因此，可預期在不久的將來，大部份的銅線電纜將會被光纖取而代之。

**四、光纖通訊系統的類別**
整體光纖通訊產業包括的範圍相當廣，從局端設備、傳輸設備、傳輸設備中的零組件、及用戶端的網路設備…等都有光纖通訊的專有產品，雖然產品相當繁雜，不過以目前已可商業化量產的產品來分類，其零組件大致可粗分為三大類：光纖及用光纖做成的光纜、光主動元件、及光被動元件等。
所謂光纖，目前仍是以石英玻璃所製成的細微纖維為最主要產品，最近也出現以塑膠為材料的塑膠光纖；數蕊光纖外加包覆材料合併成的纜線則稱為光纜；而光主動元件則包括提供光源的光發送器、接收光源的光接收器、及光放大器…等；在光被動元件方面所包含的產品更是繁多，例如最常見的光纖連接器、光調變器、光隔絕器、光纖耦合器、光衰減器…等。（詳見表一）

表一：光纖通訊系統的類別
類別　說明
光纖可分為3層：核心層（core）、包覆層（clad）、保護層（光纜）。

**依材質可粗分為：** 玻璃光纖（SiO2）與塑膠光纖（PC、PS、mCOC、PMMA、Sol-Gel）。
光纜包括單模光纜（48﹪）、多模光纜（9﹪）、海底光纜（43﹪）。
**依材質可粗分為：**室內（PE）、室外（PVC）。
光主動元件涉及光電之間能量的轉換，包括：光發送器、光接收器、光收發器、光放大器、面射型雷射（VCSEL）、光開關、可調式雷射、L Band放大器。
光被動元件光連接器（比重最大）、光耦合器、光衰減器、光訊號調變器、光偏振器、光隔絕器、濾波器、光源分歧器、光波分歧器。
其他DWDM系統
光通訊材料
光纖區域網路設備
電信光傳輸設備
有線電視光傳輸設備
光纖通訊量測設備

**以下將較重要的幾種零件加以解說：**
光纖：
1.光纖為玻璃SiO2、塑膠等材質抽絲而成的光傳輸媒介，由於光波可透過光纖傳輸數據等資訊，具有傳輸頻帶寬、通訊量大、損耗低、不受電磁干擾、重量輕等特性。
2.光纖構造方面，內層包含一根極細的玻璃柱，稱為軸芯(core)，外圈再以一圈稱為被覆層(cladding)的玻璃包圍，由於被覆層玻璃的折射率較軸芯玻璃柱小，軸芯中傳導的光線如果折射至被覆層，將以全反射的方式折回軸芯內，光波傳導的效率也提高許多。因此，光纖由內而外分為三部分： 1、軸蕊部份 (Core) ：即光纖中傳遞光信號的部份。 2、被覆層部份 (Cladding) ：被覆在軸蕊外圍，為使光線能在核心中傳送。３、保護層 (Jacket)： 被覆層外殼，可防止外力損害光纖之被覆層及軸蕊。
3.光纖實際應用時，可集合多束光纖，再以保護層方式加強外殼防護，即成為所謂的光纜。由於光纖可使用的頻寬極大，現階段使用範圍約在565 Mbps上下，未來透過頻寬切割及分波多工方式，傳輸頻寬可望更進一步擴大
4.光纖類型方面：可概分為單膜、多膜以及特殊用光纖，其中單模光纖因只傳輸一個模態，適用於大容量長距離的光纖通訊，在骨幹光纖佈建之時需求量最大，歷年所佔產值比重約八成，多膜光纖蕊徑較大，可同時傳輸多種模態，傳輸性能雖然較差，然因適用於區域光纖網路佈建使用，未來成長率尤勝單模光纖。特殊光纖則包括塑膠光纖等其他光纖，市場用量相對較小。

**光纜**
1. 光纜則是將光纖集結後加上防水、被覆以及支撐介質，以達到維持原有光纖的傳輸特性，便於施工及保護光纖的功能。一般光纜的結構可分為光纖緩衝層、纜心以及抗張力體、被覆以及防水層等部分。而依其構造差異，可略分為 （1）、鬆帶型光纜（2）、溝槽型光纜（3）、溝槽型帶狀光纜（4）、帶狀光纖光纜四類（5）、光/電混合纜（6）、室內光纜（7）、通訊光纜等幾大類
2. 國內目前真正可自製光纖的廠商並不多，多半由國外買進光纖，加上封管加工製造成光纜。國外光纖廠商以康寧、朗訊、Alcatel、住友等為產業的領導廠商。（見附錄一、附錄二）

**光主動元件：**
在整個光纖通訊系統架構當中，光纖主動元件可謂扮演了「承先啟後」的重要角色，因為光纖主動元件的功能主要有進行光電（或電光）轉換，與光訊號放大等等。
透過電光轉換，可將原本使用電氣訊號傳播資訊的過程，自由地改以光訊號進行之，俟抵達目的地後再進行光電轉換，將光訊號轉換回原先的電氣訊號，再由其他電子設備應用，故使得光纖通訊得以實現。此外，在傳播的過程當中，訊號不免會受到環境以及傳播介質的影響而隨著傳播距離增長而衰減，為了維持資訊的正確性，故在傳播過程當中，必須使用放大器將已衰減的訊號加強後再繼續傳送。正由於光纖主動元件具有轉換與放大等等的功能，使得資訊傳播得以使用較具效率的光纖為之，故光纖主動元件的確具有「承先啟後」的功用。

甲、光收發模組：
i.光收發模組係整合光傳送器(transmitter) 及光接收器(receiver)兩大功能，而形成的單一光訊號收發模組。因此，可將其區分為通訊用光源（發射器）及檢光器兩大部分，其中通訊用光源部分主要採用LED及LD兩種光源，LED單價雖然相對便宜，然而 LD因光源性質較佳，加上新開發的面射型雷射（VCSEL）光源性能優越，採用LD的光收發模組比重有逐年增加趨勢。
ii.而檢光器部分尤為光收發模組最重要的關鍵組件，需具備高靈敏度、高頻寬、高可靠度以及低成本、易製造要求。目前檢光器所採用的元件，主要分為 PIN二極體 及APD二極體兩類，其中又以PIN二極體生產成本較低，所佔比重較大。
iii.未來光纖網路傳輸速率要求將不斷提升，光源及檢光器性能的要求將成為光網路發展的重要關鍵。

乙、光放大器：
i.過去，在光放大器仍未問世之前，必須先將光訊號還原回電子訊號，使用電子訊號放大器放大後，再轉換為光訊號傳送。這樣的過程不但繁複，而且電子訊號放大器的適用傳輸速率與頻寬固定，若光纖通訊系統傳輸速度提升下則必須全部更新，如此使得設備成本大增，然而光放大器則無此困擾。近期高密度分波多工(Dense Wavelength Division Multiplexing， DWDM)系統的問世，使得資料傳輸速率大增，但之所以能夠普及，正是拜光放大器去除傳統光電轉換的障礙所賜。除了作為傳輸過程中的中繼器外，光放大器亦可加在發送器中以提高輸出功率，或者用於接收器中作為前級放大以提高靈敏度。
ii.光放大器是在不經過光電轉換的狀況下，直接將光訊號加以放大的光主動元件，由於長距離的光纖通訊將面臨嚴重的光信號衰減問題，因此光纖網路中每隔適當的距離即需以中繼器或光放大器將訊號加以放大。而光放大器因不需經過光電轉換，在網路升級或調整格式時，便不需像中繼器一般加以更換。
iii.光放大器主要可分為三大類：（1）、光纖放大器 (OFA)；（2）、半導體光放大器(SOA)；以及（3）、拉曼放大器(RA)三大類。光纖放大器乃利用摻稀土離子玻璃的增益特性，在光纖中直接將信號放大；半導體光放大器原理則與雷射二極體近似，可在直流偏壓下將入射於活性層內的光放大；拉曼放大器則是利用光與光纖原子間的非 線性交互作用，以產生的Stoke line達到放大功能。目前技術較成熟的光放大器有摻鉺光纖放大器（EDFA）、摻鐠光纖放大器（PDFA）、半導體光放大器三種。

**光被動元件：**
光纖被動元件的主要功能是對光訊號作接續、分歧、濾波、衰減或隔離，故此類元件包括連接器、耦合器、分波多工器(Wavelength-Division Multiplexer)、光開關、濾波器、隔離器與衰減器等。在整個光纖通訊系統佈建時，整體通訊網路的連結全有賴光纖被動元件來達成，而被動元件的良窳與通訊品質息息相關。舉例來說，良好的被動元件可以使連結時的插入損失(insertion loss)盡可能降低，使得訊號較為清晰，並可確保線路連結的穩定，不致滑落或鬆動而造成通訊不良，因此被動元件可說是光纖通訊的基礎。

甲、光連接器：
i.光纖連接器是一種裝置在光纖終端的機械裝置，可用來作為光纖連接時光路徑的接續零件。依其接續的光纖種類不同，光纖連接器可概括分為單模光纖連接器及多模光纖連接器，而若再依半永久性及永久性光纖接續的用途不同，尚可在區分為光機械式接合以及機器熔接兩類接續方式。
ii.一般衡量光纖連接器性能好壞與否，光訊號傳遞在經過兩個相連的連接器時，其能量耗損所得出的插入損失以及由連接器端面反射計算的反射損失兩項數據將是主要判斷標準。而未來符合線路施工及終端使用便利性的光纖連結器，在光纖網路鋪設人工成本偏高因素下，將是主要成長的產品。〈見表二〉

表二：各種環境對連接器的損耗要求
損耗程度使用環境
0.2dB以下長程通訊系統連接用
02.-0.75dB建築物或工廠內系統連接用
1-3dB在以成本為優先考量下，連接應用產品用

乙、光纖耦合器：
i.光纖耦合器一般又可稱為分歧器，主要用來將光訊號從一條光纖中分至多條光纖中，由於光訊號傳遞並不像銅導線裡電訊號一般的容易分歧，因此欲將光訊號分散至不同管線時，即需要光纖耦合器加以分光。
ii.因此，光纖耦合器廣泛應用於用戶迴路系統、區域網路、有線電視網路系統。組態方面一般可分為雙分支、樹 /星狀及分波多工三類；而依製造方法不同，亦可分為熔接式光纖燒結、微光學及平面波導式三類光纖耦合器。
iii.其中微光學乃採用漸變折射率透鏡棒將光纖傳導的光擴大平行化後，再用半透明的反射鏡將光分成兩部分，分別用透鏡棒聚焦後耦合入光纖中。光纖燒結則是將兩條光纖併在一起熔融拉伸，使核蕊因聚合力而結合，達到光耦合作用，為目前成本最低、可靠性最高且國內業者生產比率最高的耦合器產品。平面波導方法則是採用火焰水解沈積法和光刻蝕，將波導結構製作在矽晶片上，以達到分光耦合作用，國外業者以該項技術生產耦合器比重較高。

丙、分波多工器：
i.分波多工乃是在同一條光纖內同時傳輸數個不同波長的光信號，以倍增光纖傳輸容量所開發的分工技術，由於分波多工可結合EDFA等光訊號放大技術，充分發揮光傳輸的高頻寬特性，將數百個不同波長的光信號同時傳播在同一光纖中，而依其原理開發出來的分波多工器（WDM： Wavelength Division Multiplexing）連帶也成為近年最熱門的光纖被動元件。
ii.分波多工器為雙向性的被動元件，其多工性能可將不同波長光訊號組合入一條光纖中，而其解多工性能則可將一條光纖中傳輸的不同波長光訊號分離出來。

丁、光纖光柵：
光纖光柵是一門新的技術，其所應用的範圍相當的廣，因此不只限用於光纖通訊上，所以在以後的市場上、應用上將有相當看好的市場;光纖光柵其工作原理來自纖核內Bragg光柵之反射機制，以現在最廣泛及最經濟之製成為相位光罩法，製作方法是將光纖剝除被覆後，置於高壓氫氣罐內一段時間後取出，再置於相位光罩(Phase Mask)下，再以準分子雷射(Excimer Laser)曝光約十分鐘即可成為一個反射某一個波長的反射器，而反射波長依相位光罩而定;而所需之主要設備為KrF準分子雷射、相位光罩以及相關光學器具;下圖一便是製做圖示。
光纖光柵的應用相當的廣泛，可用於
•可調波長式雷射(Tunable Laser)
•EDFA的濾波器(增益修飾元件)
•智慧型結構(Smart Structure)
•波長選擇器
•WDM濾波模組的製造
•帶抑濾波器
•搭配光纖耦合器和光纖旋波器可做出塞取多工器(OADM)
•啁啾相位光罩(Chirped Phase Mask)製作啁啾光柵(Chirped Fiber Grating)當做色散補償器(Dispersion Compensator)
　因此光纖光柵是目前光通訊廠商相當重要的研發重點

戊、光開關：
光開關為全光網路中，光纖訊號交互連結的主要元件，其作用主要在於將一光路徑建立或中斷，以決定光信號傳送方向。

己、光衰減器：
i.光衰減器可用於吸收或反射光訊號的餘量，或用於系統損耗的評估與測試。由於光訊號經過各項元件的傳輸，均將引發光源的頻率漂移及線路雜訊，因此，透過光衰減器以吸收相關雜訊將是確保高速光通訊品質的重要元件。
ii.光衰減器目前已廣泛應用在光通訊市場，其產量僅次於連接器、耦合器，市場需求仍穩定成長。

庚、光隔離器：
 光隔離器是一種兩端口的光被動元件，主要功能在於使光訊號在傳輸方向衰減很小，而相反方向的光則不會被反射。主要應用在光發射模組、光放大器以及在高傳輸系統中，用以降低雜訊影響。

辛、高密度分波多工器
高密度分波多工器(Dense Wavelength-Division Multiplexer)為近期通訊上的重大發明，其工作原理與分波多工器相同，但其工作於同一波長頻帶，且不同波長間的間隔低於1nm，正因為其波長間隔甚短，故所使用光源頻寬必須很窄，例如DFB雷射，因為其頻寬最窄可達0.2nm，故相當適合使用。此外由於在解多工部份所使用的濾波器精密度也必須相當高，才能確保輸出端訊號的純淨。DWDM主要使用1550nm波長範圍光源，不同波長間間隔僅約0.8nm，故其光源多採用頻寬窄的DFB雷射，而濾波器的特性更決定DWDM的好壞。〈見附錄三〉

**五、光纖通訊的應用**
在光傳輸不到30年的歷史上，發展初期主要是以電信傳輸為主，不過由於技術的精進與不同需求的增加，近10年光纖應用發展也逐漸擴增到光區域網路及有線電視光傳輸市場，因為光通訊的傳輸必須是相當精確，所以連帶地也帶動了光通訊量測市場的興起。
光纖通訊系統的應用目前大致可分為三大類：電信光傳輸方面、光纖區域網路方面、有線電視方面，底下就一一加以探討。

**1.電信光傳輸方面**
電信光傳輸設備為光通訊產業的最大應用者
在最早期的電信架構上，是由一中央交換機（Centralized Switch，或稱交換所）與各用戶（End User）直接連線，稱為中央交換網路（見圖二），單一線路只服務一個最終用戶，但由於各用戶間所處的距離長短不一，為避免長距離線路侷限於只被一位使用者佔用，造成通訊設備因無效率的運用而形成的浪費，所以階層網路（Hierarchical Network）也就衍生而成。階層網路的架構（見圖三），原則上在地方是由『交換所』及用戶所組成的中央交換網路負責，各中央交換網路再以頻寬較大的『幹線』（Carrier Trunks）相互連接，並用多工（Multiplexing）的方式以增加幹線的傳輸容量，現在使用較多的多工技術是以『分時多工』（Time Division Multiplexing，TDM）為主；在階層網路下，由於地區性的通訊交由各地區的中央交換網路處理，而長途通訊才會經由多工機再透過幹線來傳輸，因此地區性通訊與長途通訊的資源使用都可得到較有效率的分配，並且能夠獲得較大的傳輸容量。

光纖傳輸的頻寬與速度遠優於銅質電纜
在過去的電信架構中，由於單一的語音傳輸管道（voice channel）只需要64Kbps的頻寬即可，所以在各地區交換所間的幹線大多只使用可容納較高傳輸量的銅質電纜作為連接的媒介，例如DS3(或稱T3，44.736Mbps)及E3（34.368Mbps）…等，不過隨著電信傳輸量的增加，過去銅質幹線的頻寬已逐漸不敷使用，因此擁有較高傳輸容量的光纜也就開始運用在幹線上，甚至已經開始取代銅質電纜；在傳統的光纖系統中，光纖的傳輸速度都是銅質電纜的數倍以上，例如在同步光纖網路系統/同步數位階層（SONET/SDH）中，較低光纖傳輸速率的OC-3速率都可達155Mbps，速度將近銅纜E3的5倍，如果以較高光纖傳輸速率的OC-192（10Gbps）來說，其速度更是接近E3的300倍（見表三） 。
隨著光纖技術的應用增加，SONET/SDH的光纖傳輸協定標準也就被制訂出來，SONET（Synchronous Optical Network，同步光纖網路）與SDH（Synchronous Digital Hierarchy，同步數位階層）的基本架構都是以同步傳送模式作為基礎，只是SONET是由美國訂定的光纖傳輸標準（美規），SDH是ITU（International Telecommunication Union）根據SONET為藍本，之後再訂定改編適用於美國以外的全球同步傳輸標準，此標準除了適用於光纖網路外，也適用於其他以『同步傳輸』為標準的傳輸方式。目前在全球許多國家的長途骨幹網路上都已普遍採用SONET/SDH的光纖網路，大多以提供2.5Gbps、5Gbps、或10Gbps的系統為主，在中繼幹線上則是OC-3及OC-12為多數。

ATM架構可使光纖網路更具有彈性與擴充性
不過因為SONET/SDH等同步傳輸技術具有部分先天上的限制及數據資訊傳輸的增加，ATM網路傳輸將會成為未來另一重要的骨幹傳輸架構，未來新一代的骨幹網路許多都會採用ATM架構。ATM（Asynchronous Transfer Mode，非同步傳輸模式）正如其名為一種非同步的傳輸方式，最主要特別的地方即是運用許多固定長度的訊框(Fixed-length Cells) (53 bytes)進行資訊傳輸，此運送方式可提供有時間先後性的資料（如語音及影像）進行高速（2.5Gbps以上）傳輸，並且可以達到『品質服務』（Quality of Service，QoS）的保證。由於ATM具有網路建構彈性、未來設備擴充性、及傳輸速度…等特性，所以ATM的崛起也將助益於光纖網路的發展與盛行，能使光纖傳輸發揮更大的效用。WDM與DWDM等多工技術的出現，可以使光纖傳輸更有效率，大大地提高光纖通訊的應用範圍。
雖然SONET/SDH的光纖傳輸方式為目前較普及的傳輸方式，不過由於SONET架構上的光纖資訊都是只能以單頻率（也就是單色）的方式傳輸，在目前頻寬需求殷切的時代來說似乎較不符合效益，所以也就有了以不同波長作為多工的『分波多工』（Wavelength Division Multiplexing，WDM）技術，WDM的簡單原理就是利用一條光纖傳輸兩個或以上不同波長（顏色）的光訊號以達到增加容量或頻寬的多工效果；最近幾年，光纖多工的技術又更進一步達成了『高密度分波多工』（Dense Wavelength Division Multiplexing，DWDM），所謂DWDM與WDM原理類似，只不過DWDM可以高密度的方法讓八個以上不同波長的光資訊同時透過一條光纖傳輸，以現今的技術最多可將約80筆的資料封包多工放在單一光纖上傳輸，以充分達到寬頻的效果，並且大大地降低光纖通訊的傳輸成本；如果以DWDM的技術再配合摻鉺光纖放大器（EDFA）的運用，現在已成為有線通訊增加傳輸容量的最佳解決方式。

**2.光纖區域網路方面**人們對於頻寬的需求帶動了光纖區域網路的發展

如前所述，由於價格高昂及需求的問題，所以早期光纖發展僅限於長途通訊幹線上的運用，不過近幾年在通訊量的快速增加及網際網路的爆炸性成長下，光纖網路的應用已從過去的長途運輸（Long Haul Transport）的骨幹網路擴展到大城市運輸（Metro Transport）的區幹線，未來一、二年更會因為Datacom流量的增加、技術的進步、及光通訊成本的下降，而使光通訊的應用再度向接取端傳輸（Edge Transport）的中繼幹線（如Fiber to the Building…等）發展。
雖然光纖產品的售價快速下降，但由於光纖產品價格要降到一般消費者可以接受的範圍及實際工程架設的困難，所以在短期內光纖到桌（Fiber to the Desk，FTTD）應仍是不多見，不過在光纖區域網路的骨幹上卻是未來一年內即可見到。目前在光纖區域網路的主流是Fast Ethernet（100Mbps以上）及Gigabit Ethernet（1Gbps以上），由於光區域網路在成本的考量上比電信骨幹網路較為重要，所以其光源大多使用成本低廉的LED及新發展的VCSEL（Vertical Cavity Surface Emitting Laser、垂直共振腔表面放射雷射），將增加光纖區域網路的普及性。
目前區域光纖網路的普及僅限於骨幹上，不過根據評估此市場就不遜於電信骨幹網路的市場，如果未來因光纖產品價格的下降而可達到FTTD，則相關的主、被動元件市場的龐大將是無可言語。

**3.有線電視光傳輸方面**

有線電視的雙向傳輸帶動了HFC的興起，也增加了對於光纖光纜的需求

早期有線電視傳輸的介質是採用同軸電纜（Coaxial Cable）傳輸，整個同軸電纜所運用的頻帶也只有從50MHz到550MHz，大約可放送100個頻道，其他剩餘的頻帶卻因沒有使用而形成浪費，之後因為HFC（Hybrid Fiber Coaxial、光纖同軸電纜）架構及雙向傳輸的出現，因此有線電視系統也可運用在數據資料的傳輸。HFC主要是用光纖將訊號從頭端（Head-end）傳送到在用戶附近的光投落點（Optical Network Unit、ONU），之後再用同軸電纜以串接的方式將高品質的射頻訊號送到500~1000個用戶處。
HFC用50~550MHz的頻帶下載電視節目，另運用550~750MHz的頻帶以調變的方式進行數據、影像、或電話…等數位的下載服務，此外再用5~35MHz的頻帶作為訊號的上行使用。
由於這兩年運用同軸電纜作雙向傳輸的市場呈現倍數的成長，過去舊型的傳統線纜架構都必須重新鋪設HFC，所以有線電視傳輸市場也將成為光纖傳輸設備與零組件快速成長的另一動力。

**六、結論**
綜合以上所述，在未來頻寬需求仍不斷成長下，光纖通訊的趨勢已然形成，台灣廠商自然不能放棄此一龐大商機。就整體來看，通訊設備市場仍為歐美主要廠商的天下，在掌握規格制定與既有的市場基礎下，國內廠商所能著墨的範圍不大，因此台商的主要商機仍然在光通訊零組件的製造上。
在光通訊零組件中，我國廠商從事被動元件的時間較長，發展也較為成熟，加上目前生產自動化的程度不高，仰賴人力較多，故承接歐美廠商的外包訂單較為容易。特別是未來需較為低廉的通訊零組件，包括各式連接器、耦合器與濾波器等被動元件與低功率的主動元件，此部份產品的要求不若長距離傳輸嚴苛，注重的是成本的低廉，且需求量龐大，此部份正好適合台灣廠商來發展，因此，我國廠商目前應留意此塊市場的發展。
台灣目前由於只有少數廠商自行生產光纖，所以產值仍小，不過光纜業卻是相當發達，大多數的光纖都是自國外進口，然後國內在將其加工成光纜，初期光纜業者是以滿足台灣的內需為主，不過隨著產能的開發及許多業者的投入，目前各光纜廠商也積極地投入國際市場
總之，在現今光纖通訊蓬勃發展之際，國內廠商若能積極投入產品與製造技術的研發，加上適當的策略結盟，未來商機將是十分龐大，而光纖產業也將成為未來台灣股市中的明星產業。

3. **LED在高亮度的發展上， 從內部與外部效率有那些作
 法， 從學理上，LED亮度的最大極限為何？**

 LED光源，在近代有著突破性的進展，除了環境保護的意識抬頭，相對環保、省電同時具備高發光效率的LED光源，就成為全球尋求替代光源的關注焦點，但LED因為發光方式的物理特性限制，為採取點狀光源的發光設計，必須透過光學方法轉換成合宜照明應用的面光源，同時在散熱過於集中的單點，利用更好的主/被動散熱技術，解決元件的高溫光衰問題...
照明應用佔全球的能源消耗極大的比例，因此，要追求更趨向環保理念的能源使用方式，勢必要大幅改善現有的照明應用模式，透過技術或是方法減少不必要的能源浪費，而在全球化的節能、減碳、綠化潮流下，觀察目前使用最廣泛的光源，以白熾燈(incandescentlamp)、螢光燈(CFL)為主，白熾燈的好處是製造成本低廉，但卻因為耗能、高溫、壽命短等諸多限制，各國朝向逐步減用、甚至停用的目標進行調整。

|  |
| --- |
| LED光源應用不只生活照明受青睞，車用照明大量使用LED技術，  |

|  |  |
| --- | --- |
|    | [http://mms.digitimes.com/tw/x/img/enlarge_icon.gif放大](http://mms.digitimes.com/NewsImg/2011/0310/222818-2-31JO7.jpg?201563081027" \o "<span style=float:left;margin-left:5px;width:490px;>LED具備高亮度、高能源使用效益優勢，圖為9瓦LED光源嵌燈模組。<br><br><a style=float:left;padding-bottom:10px;color:#ffffff;cursor:pointer; onclick=window.open('/tw/showimg_fusion2-1.asp?news_key=222818&filename=222818-2-31JO7.jpg','IMG',config='height=562,width=630,scrollbars=no'); style=color:#ffffff;cursor:pointer;>預覽列印</a></span><span style=float:right;>2/3</span><br> )[http://mms.digitimes.com/imageCH_4.aspx?img=/NewsImg/2011/0310/222818-2-31JO7.jpg&W=250&201563081027](http://mms.digitimes.com/NewsImg/2011/0310/222818-2-31JO7.jpg?201563081027" \o "<span style=float:left;margin-left:5px;width:490px;>LED具備高亮度、高能源使用效益優勢，圖為9瓦LED光源嵌燈模組。<br><br><a style=float:left;padding-bottom:10px;color:#ffffff;cursor:pointer; onclick=window.open('/tw/showimg_fusion2-1.asp?news_key=222818&filename=222818-2-31JO7.jpg','IMG',config='height=562,width=630,scrollbars=no'); style=color:#ffffff;cursor:pointer;>預覽列印</a></span><span style=float:right;>2/3</span><br> ) |
| LED具備高亮度、高能源使用效益優勢，圖為9瓦LED光源嵌燈模組。 |


**LED應用現況**
以現況評估，(Light Emitting Diode；LED)是目前多數業者積極發展的替代光源技術，從2008年開始，LED持續發展替代白熾燈的多種解決方案，自2011年起則以逐步取代螢光燈、白熾燈為目標。
以發展照明光源必備的關鍵元件白光LED為例，高功率白光LED專利，為日本日亞化(Nichia)、美國Cree、歐洲的Philips Lumileds Lighting Company、Osram等5大廠掌握，處於生產製造中游的模組設計，目前礙於LED光源的相關設計無可遵循的技術標準，模組技術則由National、Laminar、Osram、Lumiled、Vishay積極參與規格主導與制定，透過積極參與能源標準組織，共同制定照明應用安規及相關規範。
歐盟自2007年起已逐步淘汰白熾燈泡，而澳洲也宣示，將自2010年起，全面禁用白熾燈泡，除了日常的照明光源應用外，未來5年的市場應用，還將LED光源發展至3C、IT、車用電子等領域，像是採取LED技術的電子看板、顯示器的背光光源、車用晝行燈，發展速度與一般日常光源的進展速度相較，實不遑多讓。
**LED的節能效益**
採行LED，有不同的導入需求，有基於環保立場與節約能源的應用訴求，也有為了提升終端產品的發光效率。多數應用方式，大多著眼於LED節能特性帶來的經濟效益，附加的環保訴求更是採行此類光源的額外效益，廠商亦看好此次照明革命商機而爭相投入。
觀察顯著的社會活動不難理解，政策面的大力限制耗能光源，也是推動這波LED光源快速發展的關鍵助力！例如，歐盟、美國國會已透過立法與政策實施，進行禁用白熾燈泡使用的多階段政策，美國加州等多個州政府，計畫在2012年禁止白熾燈泡，澳洲則開始限制或禁止銷售白熾燈泡，德、日、大陸也有多樣性的LED獎勵政策驅動整個光源應用生態，朝更節能、省電的方向轉型。
而在LED之前，風行一時的另一種節能燈具─螢光燈管(Compact Fluorescent Lamp；CFL)，由於採取高頻氣體放電式的發光原理，其用電效能要比傳統加熱鎢絲的白熾燈泡更具效率，但在應用環境下，螢光燈會有燈管製程含汞問題，會對環境造成一定程度的毒害，而在使用螢光燈的現場，亦會發現螢光燈的啟動會較傳統白熾燈慢、無法調整光源輸出大小，影響整體的使用滿意度。
相較之下，LED具備更多的節能效益！藉由技術方面的提升，LED的發光亮度已達到令人滿意的程度，但元件的成本與控制電路單價高昂，是普及化應用的一大阻力，但未來在國家節能政策推動與市場需求帶動下，LED廠商的量產速度將加快，屆時價格降低後，定可加速LED生活照明燈具的快速普及。
**高亮度LED光源發展趨勢**
目前高亮度白光LED光源，是現階段美、歐、日LED大廠競相研發的光源類產品重點，預估2011年LED將可在一般照明市場中逐漸普及，雖然LED現階段相對較大的應用量在於手機按鈕、控制鍵的背光提示光源，甚至是各種電子展品的指示燈號，但現在也因其單元件的光通量、耗能、體積等優勢，逐漸進入大型戶外電子看板、液晶螢幕背光源等應用中。
預估在全球持續利用政策行動促成高能耗白熾燈全面停用的趨勢之下，未來可以看到更多LED產品推出市面，加上各國政府積極應用LED，設置諸如公共光源、路燈、指示號誌等應用，其動機不只著眼於高能源應用效率所帶來的效益，在公共事業大量使用LED光源，還可享有低維護率的導入優勢，LED未來可產生的經濟效益、節能效益將十分可觀。
**LED光源與省電燈泡的應用差異**
LED與省電燈泡(CFL)，雖同樣具省電、節能特性，但兩者的技術原理完全不同，且有著截然不同的節能差異！現階段LED在路燈、街燈等公共設施照明應用方面，能見度有逐步提高趨勢，尤其是大陸各個地方政府，積極發展LED路燈設置，就是著眼於減少能源耗用。多數室內照明，主要仍以白熾燈與省電燈泡為主，大量導入LED光源的應用相當少見。在此，觀察市場上可買到的LED燈泡，作為規格、效率、使用成本的比較基礎。
在亮度表現方面，比較白熾燈、省電燈泡與LED燈具，以LED燈具的發光效率最好！每瓦的發光效率均可達到80至90流明，其次則是省電燈泡(CFL)，多數採取螢光燈技術的省電燈具，每瓦能源可達到57流明的照明效果，反而是白熾燈的發光效率表現最差，其發光效率實際檢測僅有每瓦12流明表現。
在使用壽命方面的比較，白熾燈的使用壽命約為1,200~1,500小時，CFL技術的省電燈具可達到5,000~6,000小時的表現，至於LED光源燈具，LED發光元件至少都有15,000~20,000小時的使用壽命，燈具模組也至少會有10,000小時的使用壽命，相較之下，LED的光源燈具壽命至少為CFL省電燈炮的2倍以上，而白熾燈的差距更為懸殊，單就省電議題觀察，LED燈具是目前諸多生活光源中最節省能源者。
再觀察電費開銷表現，若以1萬小時為計算基準，會發現不同光源之間的差異更為懸殊！一般25W的CFL省電燈泡若運行1萬小時，將花費新台幣500~600元電費，反觀相近亮度表現的10W LED燈具，1萬小時的電費約為200~250元，LED燈具的省電效益約為CFL省電燈具的40~41%，簡單的更換燈具動作，可讓碳排放量減少一半、電力耗費更少，也避免無謂的電費開銷。

就使用成本觀察，目前LED燈具購置成本雖仍居高不下，但實際上進行比較換算會發現，相同光效率的CFL與LED燈具，兩者的採購成本，LED燈具必須用3倍成本購置，但兩種燈具的使用壽命，卻有近3倍的差異，加上LED比CFL燈具省電近1倍，若以燈具加上耗用電費來計算整體擁有成本，而不計燈具的更換人工成本(LED燈具更長壽，不需經常更換)，如此換算下來，LED燈具雖然初購的單價較高，但長期仍具備較佳的成本效益。

4從近代物理的理論，雷射的發現是必然還是偶然？先
解釋愛因斯坦的受激輻射理論?

 偶然

愛因斯坦預測了受激輻射〈stimulated emission〉

（譯自 APS News，2005 年 8/9 月）

雷射的發明帶來了數十億美元的商機，它可用來

去除不要的刺青，眼睛的雷射手術可矯正視力的缺

陷，工廠的生產線可用它來切割鋼材和其他的材料，

超市和百貨公司用它來掃瞄價格；它可用於光學通訊 和光學資料的儲存，並可用於如 CD 和 DVD 播放機

等的電子裝置中。所有這些科技創意的根源都植基於 物理的基礎研究，尤其是 1917 年愛因斯坦所提出的 輻射量子理論的論文。

 “Laser”（雷射）是英文 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation〈受激輻射式光波放

大器〉的縮寫，它是指任何一種由相干光子所組成的

狹窄聚光束，並加以放大的裝置。在雷射裝置中，發

出雷射光的媒介物，不管是如紅寶石或石榴石的晶

體、或氣體、亦或是液體，其中的原子或分子都被「打

上來」，使得它們在高能階的數目都比在基態時來的 多。

當原子以快速的連鎖反應射出時，所造成的結果

便是放出一道相干光束，此過程稱之為「受激輻射」。

愛因斯坦在 1917 年的一篇論文中首次探討受激輻射

的可能性，當時他才於一年前將研究重心由廣義相對

論轉到物質與輻射的相互影響，以及兩者間如何達到

熱平衡的議題上。在加入「能量應該量子化」的想法

 後，愛因斯坦提出了一個熱學統計基礎的改良理論。

5.從光纖的特性，如果你從美國加州矽谷發一封mail回
台灣，訊號傳遞在光纖中光走的模式(single,multi)轉
換情況?

[光纖](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E7%BA%96)常被電話公司用於傳遞[電話](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E8%A9%B1)、[網際網路](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%B6%B2%E9%9A%9B%E7%B6%B2%E8%B7%AF)，或是[有線電視](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%9C%89%E7%B7%9A%E9%9B%BB%E8%A6%96)的訊號，有時候利用一條[光纖](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E7%BA%96)就可以同時傳遞上述的所有訊號。與傳統的[銅線](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%8A%85)相比，光纖的訊號衰減（attenuation）與遭受干擾 interference）的情形都改善很多，特別是長距離以及大量傳輸的使用場合中，光纖的優勢更為明顯。然而，在城市之間利用[光纖](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E7%BA%96)的通訊基礎建設（infrastructure）通常施工難度以及材料成本難以控制，完工後的系統維運複雜度與成本也居高不下。因此，早期光纖通訊系統多半應用在長途的通訊需求中，這樣才能讓光纖的優勢徹底發揮，並且抑制住不斷增加的成本。

從2000年[光通訊](https://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E5%85%89%E9%80%9A%E8%A8%8A&action=edit&redlink=1)（optical communication）市場崩潰後，光纖通訊的成本也不斷下探，目前已經和銅纜為骨幹的通訊系統不相上下

對於光纖通訊產業而言，1990年[光放大器](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E6%94%BE%E5%A4%A7%E5%99%A8)（optical amplifier）正式進入商業市場的應用後，很多超長距離的光纖通訊才得以真正實現，例如越洋的[海底電纜](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B5%B7%E5%BA%95%E9%9B%BB%E7%BA%9C)。到了2002年時，越洋海底電纜的總長已經超過25萬公里，每秒能攜帶的資料量超過2.56Tb，而且根據電信業者的統計，這些數據從2002年後仍然不斷的大幅成長中。