光纖通信的光源（上），LED

交通部中華技術服務社 顧問 劉時淼老師
兼台灣區電信工程工業同業公會 技術諮詢顧問

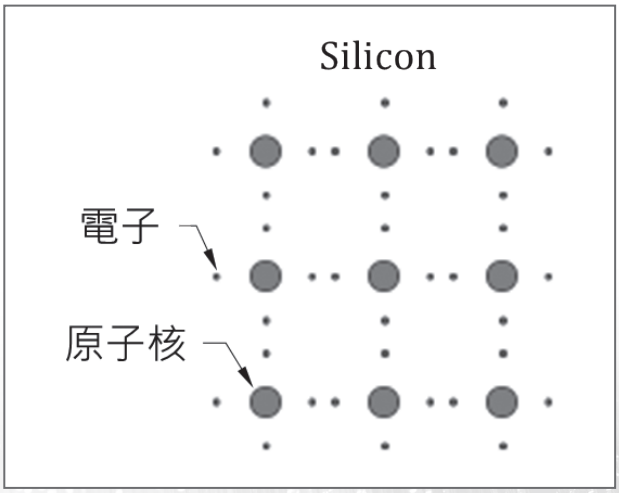
「光纖」只是光纖通信的系統的一部份，沒有「光源」光纖通信就無以成事。早期光纖通信的光源是〝發光二極體（light-Emitting Diode，LED）〞，因發光功率不高傳輸距離不遠，若用於電信線路則中途需加裝「幫電器」，成本甚高。而且所發出的光譜純度不高容易色散，隨著通信速率不斷的提高，LED漸漸的不敷使用，後來雷射（Light Amplification Stimulated Emission Radiation，LASER）商用，其發光效率與光純度遠高於LED，一直被使用迄今，而且還不斷的進步。

本文擬就LED光源和雷射光源分兩次做簡明的敘述，先談LED。

一、半導體

在我們日常生活中會導電的稱為〝導體〞，不導電的稱為〝絕緣體〞，界於這兩種之間的物質稱為〝半導體〞。導體只要碰觸就會導電，如金屬和水。絕緣體不讓電流通過，如塑膠和木頭。半導體平常呈絕緣狀態，通上適當電壓就變成導體，更奇妙的是流過半導體的電子會變成光子。

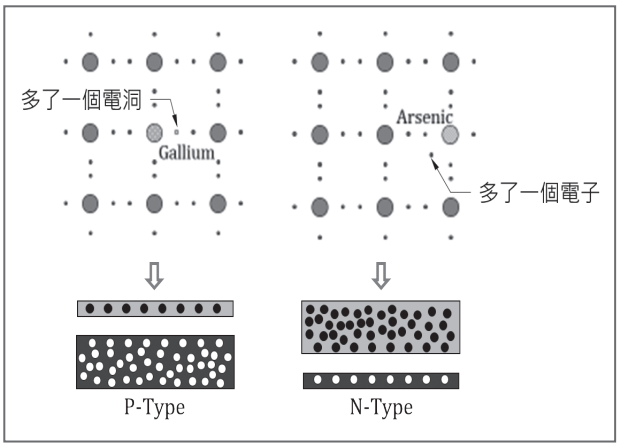
最典型的半導體是矽（Silicon），其原子結構如下圖，每一個原子有四個電子，彼此間穩定的固定著，電子不會移動，所以呈絕緣狀態。



圖（一）矽原子結構示意圖

二、摻雜

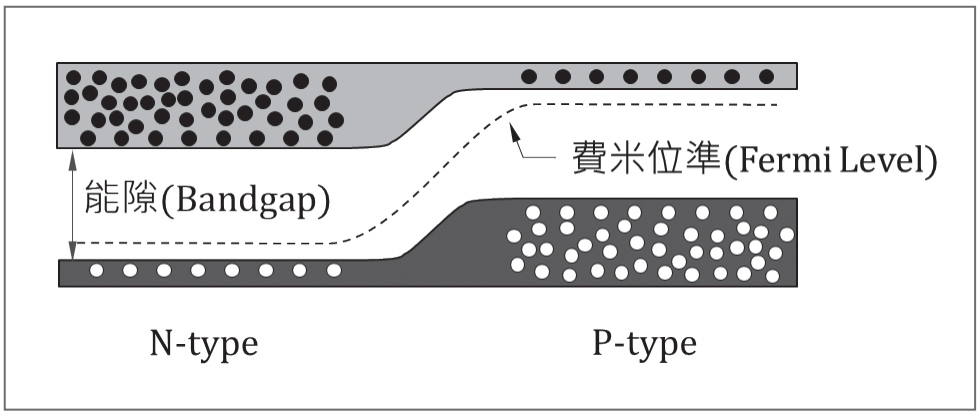
但是人類很聰明會改變這個結構，這個改變的動作稱為摻雜（Doping）。在矽半導體摻入鎵（Gallium）原子，因鎵少了一個電子，等於多了一個電洞（如圖二左），相對於電子，電洞帶正電（Positive）。因為一次摻雜了很多的鎵，使這個半導體帶了很多的電洞，又叫做P-Type半導體；加了砷（Arsenic）原子，因砷多了一個電子形成下圖右的情形，因為一次摻雜了很多的砷原子，使這個半導體帶了很多的電子，電子帶負電（Negative），又叫做N-Type半導體。



圖（二）摻雜結果

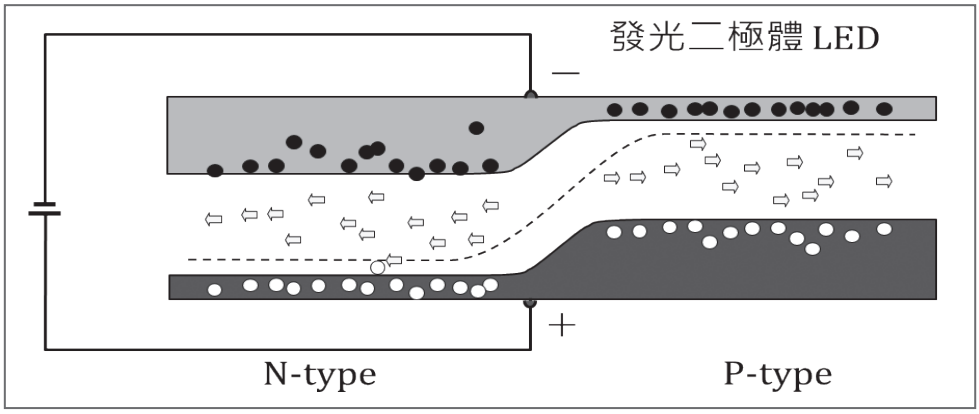
三、接合（Conjunction ）

N-type和P-type半導體可以接合在一起，如圖（三）。根據庫倫定律，正電荷和負電荷會相吸，同性的電荷會相排斥。但是摻雜後半導體內的電子和電洞之間有一個間隙，稱為費米位準（Fermi Level），電子或電洞的能量必須大到足以跨過這個間隙才能相吸結合。



圖（三）P-N接合半導體

要使電子或電洞跨過費米位準，最簡單的方法是加電壓。用一個電池，載負極接到N-type，正極接到P-type，如圖四。這個電池施加在半導體上的電壓叫「偏壓」。依庫倫定律N-type半導體的電子會被電池的負極往間隙推，P-type的電洞會被電池的正極也往間隙推，兩者因此在間隙內結合。奇妙的是，當電子被推往間隙時釋放能量，這個能量就是「光子」。偏壓不斷，光子不斷。這就是LED發光的原理。

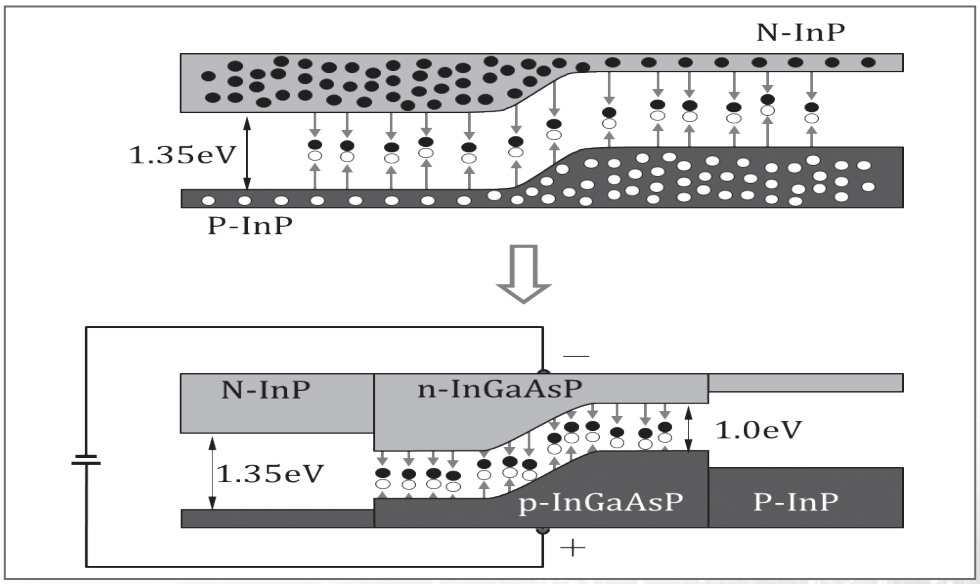


圖（四）LED的運作示意圖

四、異質接合（Heterogeneous Conjunction）

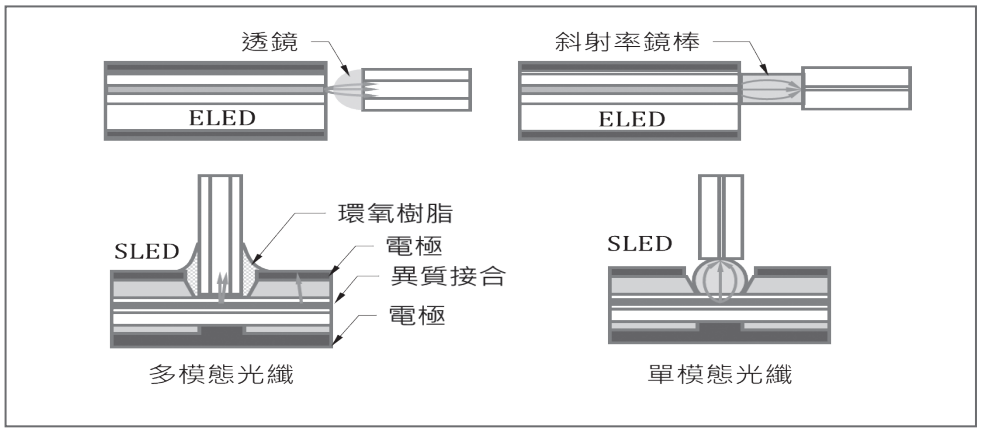
圖四的LED，除了N-type和P-type的結構極性不同之外，其他都是均勻的相同且對稱，稱為同質接合（Homogeneous Conjunction）。加上偏壓後，光子朝四面八方發射無法集中射入光纖核，即不能耦合（Coupling）進入光纖內傳輸，當然不能用於光纖通信。光纖的口徑很小，所以必須想辦法把這光子集中成一條光束（Beam）朝光纖核心發射。

如果在半導體摻入鋁、鉀、砷、磷等物質，同樣的有N-type和P-type，在把此半導體長在同質的半導體內（如圖五），半導體內間隙的準中間部位兩邊更窄，電子和電洞會找最短的途徑結合，所以集中在中間部位發光形成一條光束可對準光纖口徑，這種結構叫做〝異質接合〞。



圖（五）異質接合示意圖

LED雖然可以發射光束，但是光纖與LED本身有一間隙，光束必須跨過這個間隙射入光纖。這間隙充滿了空氣，空氣的折射率不同於光纖，如果沒有媒介降低折射率差，光束仍然無射入光纖。因此，用於光纖通信的LED必須靠「透鏡」或「斜射率棒鏡」把光耦合進入光纖，各種方式如下圖所示。ELED（Edge LED）從半導體邊緣發光，SLED（Super-luminescent LED）超級亮LED。但LED只能用在多模態斜射率光纖。



圖（六）異質接合的光纖耦合

五、LED於電信網路

1980年代LED雖然商用了，其通信波長在850nm，而且使用多模態斜射率光纖。但業界發現，波長越長能量越高，光纖通信必須往長波長發展才能傳得更遠。日本NTT和藤倉纜線（Fujikura Cable）製造出長波長低損失光纖，波長1.2微米，損失0.47dB/km。LED一直朝長波長發展，在此同時雷射也在發展，但雷射的可靠度及壽年始終無法滿足電信公司的需求。LED的功率雖比不上雷射，但不需要溫控（低成本），衰減也算小。DS3（45Mbps）信號在斜射率光纖內可傳輸10公里，和短波長雷射不相上下，可以滿足業界的需求，因此美國AT&T執意在多模態斜射率光纖內送三個波長：825nm、875nm、和LED 1300nm，主要原因是不相信1.3微米雷射的壽年。

也是在1980年代，英國電信公司（British Telecom）的工程師在檢視1980年光纖新技術時，發現多模態斜射率光纖在結構上〝超級複雜（Exceedingly Complex）〞，製造成本很高。英國光纖通信團隊在想：140Mbps的信號，如果用1.3微米在單模態光纖，能傳多遠？經試驗，答案為49公里，是多模態斜射率的五倍。這結果相當震撼，使歐、美、日的光纖通信轉向單模態發展。

朝向單模態光纖發展的趨勢釋放出一個信訊息，即LED將成為〝明日黃化〞。因為單模態光纖的核心直徑只有8微米，LED射出的光束會擴散，不適於對單模態光纖耦合。1980年代的雷射不斷的進步，在常溫下已經可以連續發出1.31微米的波長，波寬極窄且功率大，可用於單模態長距離光纖通信系統。接著下一期「光纖通信的光源（下）」，本文將談雷射的發展及其運作機制。