

光纖通信的光源 (二)

雷射

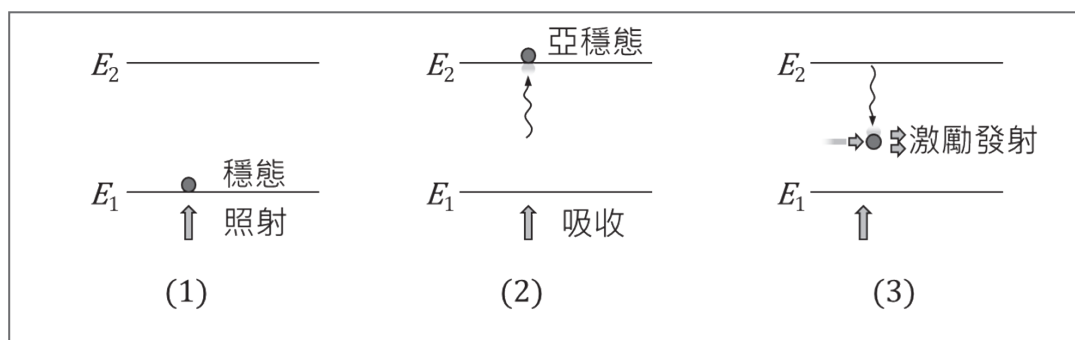
交通部中華技術服務社 顧問 劉時森老師
兼台灣區電信工程工業同業公會 技術諮詢顧問

在光纖通信的光源（一）文中提到LED將成為“明日黃花”，是指在電信線路外線的部份不再使用LED。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，很難耦合到單模態光纖，而且功率不大無法做長距離通信，於是電信光纖鏈路的光源全被雷射取代。

雷射的概念來自愛因斯坦在1917年提出的“激勵發射（Stimulated Emission）”理論。一個充滿能量的電子，在釋放能量時被其他光子激勵時會放出和激光一樣性質的光子，光的能量因而加強。

吾人把能量用位階或能階（Energy Level）來區分，假設有E1和E2兩個能階。在熱平衡的條件下，即E1和E2之間的溫度相同的狀態下，電子會待在低能階E1，這情形稱為“穩態（Steady State）”，圖一（1）。

如果用一種叫做“光泵浦”的元件照射這個在E1的電子，電子因吸收光的能量上昇到E2，此過程叫做“吸收（Absorption）”，圖一（2）。此時能量飽飽的，一心只想回到E1，在E2只是暫留，此情形稱為“亞穩態（Metastable）”，即暫態的意思。之後釋放所吸收的光能量，再回到E1。在回到E1的途中的時候若被激勵光子照射，那麼這個電子除了釋放剛才吸收的光能量之外，加上照射它的光子就釋放了兩個光子而且這兩個光子的波長相同，此過程稱為“激勵發射（Stimulated Emission）”，圖一（3）。激勵發射俱有光放大的機制，雷射的英文全名是Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation，取英文單字的字首變成LASER，其中的A就是放大的意思。

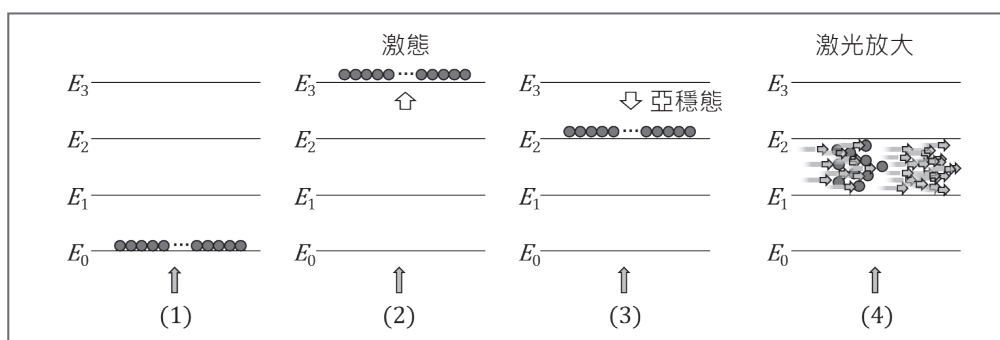


圖一 激勵發射概念

真正用在光纖鏈路的雷射則複雜得多了。因為兩層能階的機制無法使留在亞穩態的電子數量多到在被激勵發出足夠的光功率，而且所發的光波雜亂無法使用。因此把能階設為四層讓積在亞穩態的電子達到一個數量且時間長久一點，加上激光不斷，如此才能連續發光。

電子受到光泵浦強力的照射，圖二（1），能量被推上第四層，此動作稱為“素子轉

換（Population Inversion），電子處在“激態（excited state）”，圖二（2）。然後立即落到第三層，圖二（3），是亞穩態。這時這些電子吸收的光能量還在肚子裡，但急著要落到E1再回到穩態E0。在經過E1到E0時被激勵光子照射激勵，被激勵的電子釋放光子加上激勵光子產生大量的光子，此過程稱為“激光放大”，圖二（4）。



圖二 雷射發光原理

不過，圖二的激勵發射出來的光顯得過於散亂，不能用於光纖鏈路，必須把這些光集縮成光束及震盪出所要的波長才能夠耦合到光纖傳輸光信號。集縮的過程如下圖所示。

把圖二的四個能階想像成一個半導體的發光區（又叫做雷射腔）內有看不見的四個能

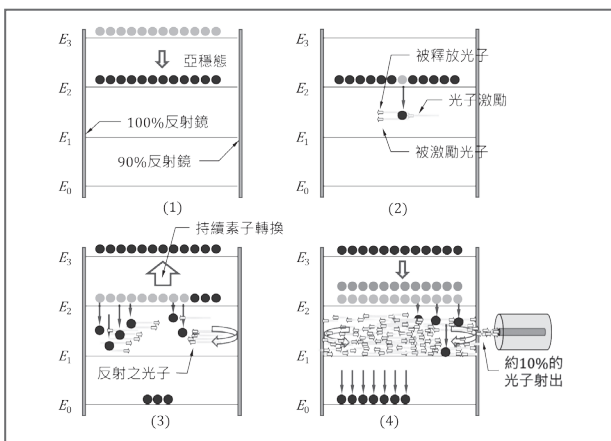
量層，在這個半導體的兩端加上反射鏡，左邊的100%反射，右邊的90%反射。反射鏡的距離是雷射發出光波波長一半的倍數，如圖三。

這時激態的電子正落下去到E2，進入亞穩態，圖三（1）。E2的電子持續的落到E1釋放

剛才吸收的光能量，同時被激勵光子照射產生激光放大，放大的光子射到左邊的反射鏡，圖三（2），此時全數被反射回來。

從左邊反射鏡回來的途中的光子又照射到剛從E2落下來的電子，又發生激光放大，再射到右邊反射鏡，有90%被反射回來再照射到其他E2落下來的電子，再產生激光放大後跑到左邊鏡子，全數又被反射，再照到其他落下來的電子…此過程反覆的發生，叫做“震盪（Oscillation）”，圖三（3）。沒被激勵光子照射到的落網之魚就直接的回到E0，好不容易進入穩態又被光泵照射推到E3再進入激態後再往下掉，因為素子轉換必須持續雷射才能長時間發光。

此時雷射腔內已經有滿滿的光子來回飛竄，在右邊的鏡子10%的光子會射透鏡子，集縮成一條光束，可以對著核心直徑極小的單模態光纖耦合，圖三（4），這就是光通信雷射光源的發光及光鏈路的耦合機制。

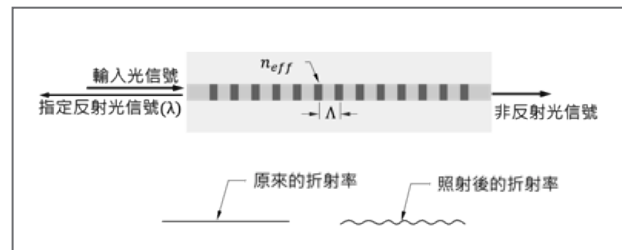


圖三 利用反射鏡震盪出光通信所用的光

但是，這還不足以讓雷射發光滿足電信網路的需求！因為這面反射鏡可以反射各種不同的波長，只要某個波長的一半是鏡子距離

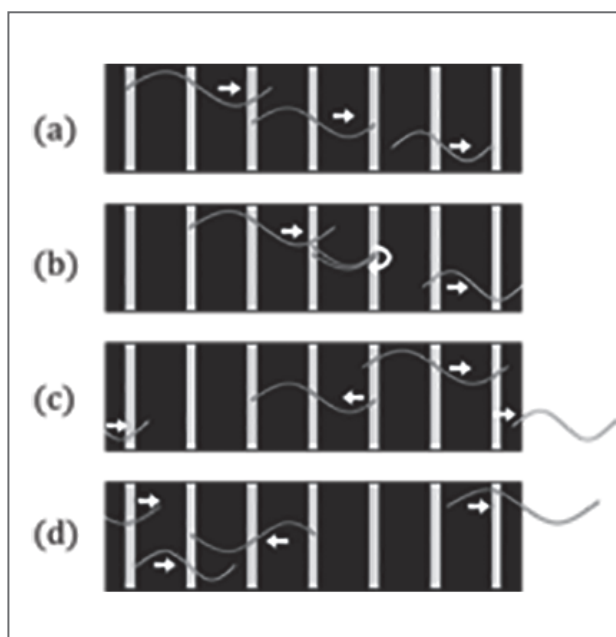
因數就會來回反射。例如數字10就可以被1、2、4、5、8、10等，還有其他帶小數點的數字除得盡。表示這個雷射能同時發出好個波長，發光頻寬很大，雖然比LED小許多，但不同的波長在脈衝會造成色散，傳輸效果不是很理想。這種雷射叫“FP（Fabry Perot）雷射”，是光纖通信初期使用的雷射。

在光纖通信，雷射發出的波寬越窄越好，色散就越小，傳輸距離可以很遠。有一種光元件叫“光柵（Grating）”可以用來選擇波長，找一塊和光纖材質一樣的石英玻璃，用紫外線照該玻璃會改變其折射率形成紋路，如圖四。光在通過這些紋路時會折射或甚至反射，紋路間距可以數百倍於波長或小於波長。圖中的 n_{eff} 是照射後變化的折射率，是 Λ 想要的間距（即波長的因數）。未經紫外線照射之前的折射率值是平坦的，照射後其數值以週期性變大呈波浪起伏。



圖四 光柵

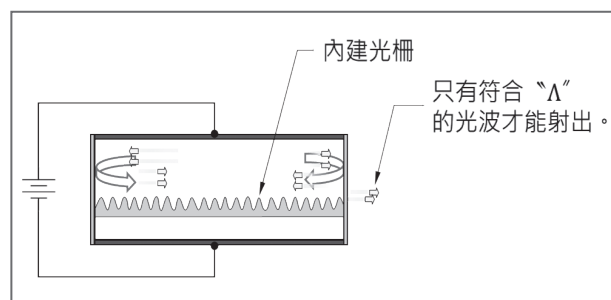
其運作機制如圖五。現有一束光含有藍、綠、橘色等光波。從左邊進入，如果紋路間距符合綠色波長的反射條件，則綠色光波被反射回來，其他的則以極小的衰減通過，通過的光可以被處理掉。被反射回來的光波是我們想要的波長，該波長稱為“布拉格波長”（通常是反射波段的中央波）。



圖五 光柵運作機制

如果想要的波長是1310nm，那麼圖四的“Λ”就以1310nm波長的因數（除得盡1310的數字）之間隔照射，間隔越細光波越純。此時只有1310nm附近的波長可以被反射，把這個光柵串接在雷射的後面就有

1310nm波長的光源。但是把雷射串接光柵又顯得笨拙，技術上可以直接把光柵長在雷射腔內，如圖六。其實這個技術不難，因為光子能夠在雷射腔內來回反射，表示雷射腔內一定有折射率，是可以改變的。依照圖四的原則把雷射腔內折射率像光柵這樣排列，就可以不用外接光柵還是可以很精確發出所要的光波。這種雷射稱為“DFB（Distribution Feedback Laser）雷射”是當今使用最普遍的雷射。



圖六 DFB雷射