

# 黑夜的精靈 螢光體

你可曾見過黑夜中如精靈起舞的光芒，  
帶著一絲絲的神秘色彩。它，就是螢光體。

從古代的夜明珠到夏夜裡的螢火蟲，

都發出令人難以抗拒的光芒。

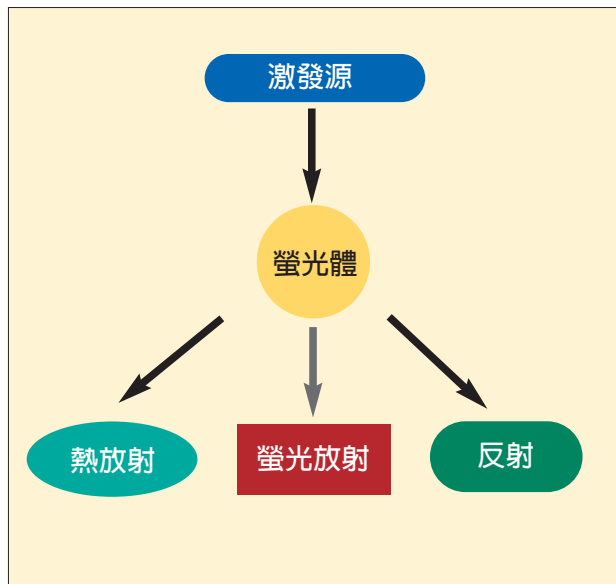
這些光芒的背後，埋藏著什麼樣的秘密？

如此誘人……

■ 高逢時

## 螢光體

簡單地說，螢光體就是經過激發源激發之後，能放出螢光的一種物質。當螢光體受紫外光激發，部分的紫外光會被螢光體表面反射；另一部分則被螢光體吸收、轉變為螢光放射，或是以晶格振動等方式，將吸收的能量轉為熱能消耗。

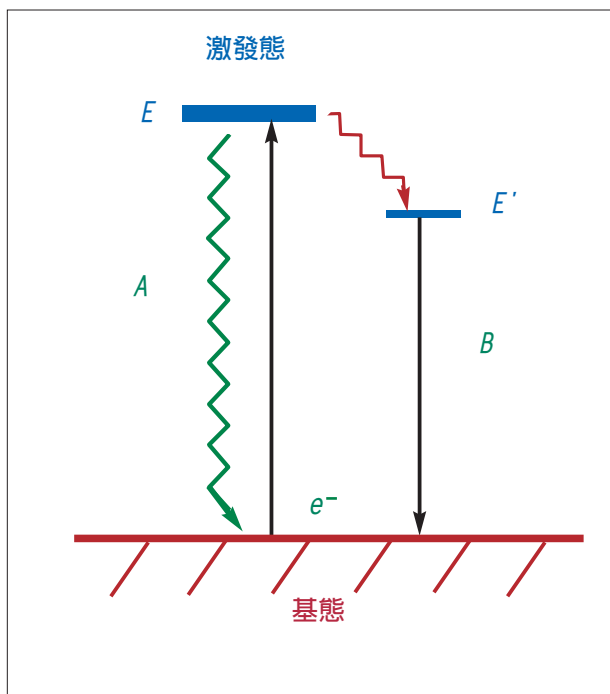


螢光體受紫外光激發時，部分能量被反射或以熱能方式消耗；另一部分能量則被螢光體吸收、轉變為螢光放射。

## 激發與放射

所謂的「激發」，是指在螢光體上加上一些能量，讓螢光體內的電子從基態獲得足夠的能量，躍遷到較高能量的激發態。位於激發態的電子，因為具有較高的能量，通常不太穩定，有放出能量、回到較低能態的趨勢。這種高能量電子放出能量的過程，稱為「緩解」。

電子從激發態返回基態的緩解過程有兩種，一種是所謂的「輻射緩解」；另一種則是「非輻射緩解」。輻射緩解的過程，就是當電子從激發態返回基態時，放出的能量是以電磁輻射的方式呈現。如果輻射緩解放出的電磁輻射是可見光，例如演唱會用的螢光棒，放出紅色、藍色或綠色的可見光，我們的肉眼就可以看見。至於非輻射緩解的過程，電子從激發態回到基態，所放出的能量是以「熱」的方式消耗掉，例如晶格振動等，而不放出電磁輻射，這種緩解過程不會產生螢光。



電子能量釋放示意圖

A：當電子受激發後，多餘的能量以非輻射緩解的方式釋出。  
B：激發態的電子先以非輻射緩解的方式，釋放部分能量到較低能量的能態  $E'$ ，再放出可見光，返回基態。

發光方式	發光原理
光致發光	以電磁輻射(例如紫外光等)為激發源 例如日光燈管；電漿顯示器
電致發光	利用外加電場誘發螢光體放光 例如有機發光二極體顯示器
陰極射線發光	以高壓電子束激發螢光體 例如電視機映像管(CRT)
化學發光	利用化學反應產生的能量激發螢光體 例如螢火蟲；演唱會螢光棒

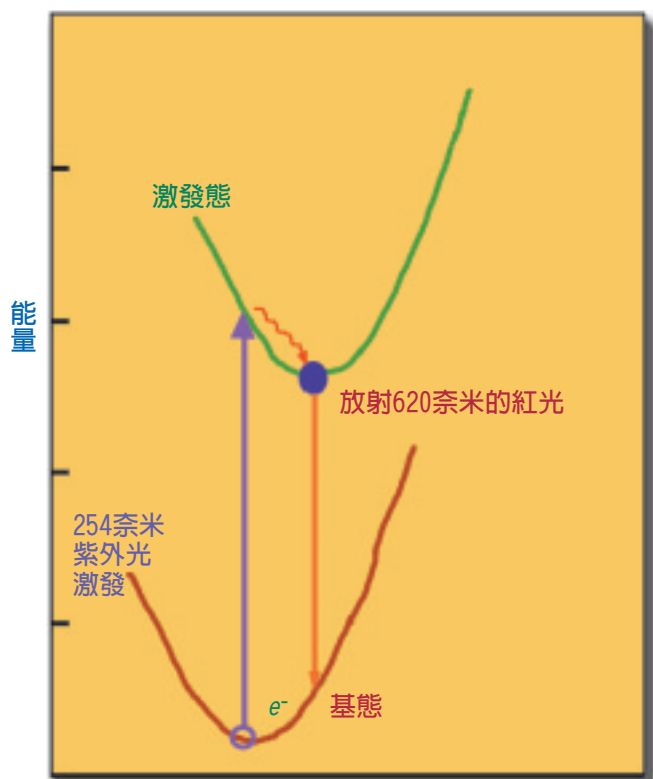
## 化學發光

演唱會中使用的螢光棒，是利用化學發光的原理，利用化學反應產生的能量來激發螢光體。一般的螢光棒，外層是由塑膠製成，裏面套著一根密封玻璃管；塑膠管與玻璃管之間填充著苯基草酸酯，與玻璃管內的過氧化氫 ( $H_2O_2$ ) 隔開。當我們將裏面的玻璃管折斷後，管內的過氧化氫會釋放出來，與苯基草酸酯混合、產生化學反應，生成二氧化碳 ( $CO_2$ ) 雙體中間物。當二氧化碳雙體分解成二氧化碳時，會放出能量，激發螢光棒內

的螢光體、讓螢光體發光。除了用在演唱會、晚會等等活動，帶動氣氛，由於螢光棒發光不會產生火花，而且易於攜帶，在礦坑或是密閉空間、以及具有可燃氣體的危險場所，螢光棒是非常重要的照明工具。

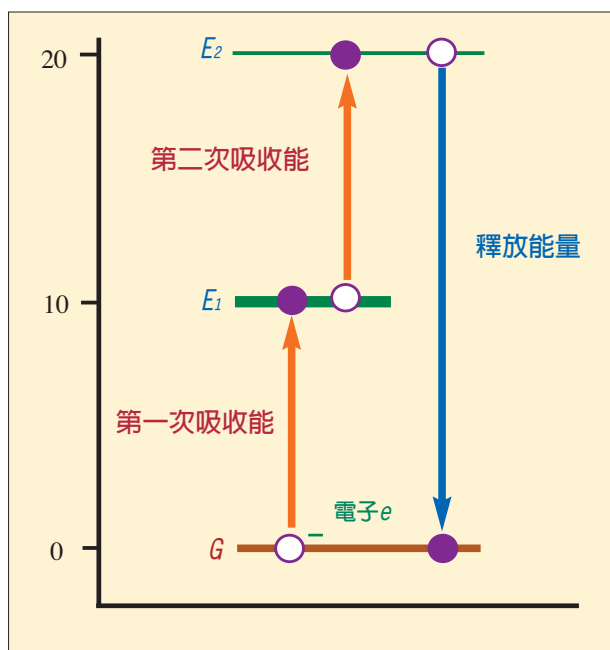
## 上轉換

通常我們以高能量的光束激發螢光體，螢光體放射出來的螢光的能量會比激發光能量低、波長會較長。例如，當我們用波長 254 奈米的紫外光激發螢光體，螢光體內的電子吸收激發能量後，會躍遷到高能量的激發態，經過一連串的非輻射緩解過程，電子會釋放部分能量、下降到另一個能量較低的激發態，最後放出紅光返回基態。紅光的能量比紫外光低、波長比紫外光長。螢光體因為經過一些非輻射緩解的過程，所以放出的光能量會比原來吸收的能量低。



以高能量的紫外光激發螢光體，電子經過非輻射緩解過程釋放部分能量，使得螢光放射的能量比紫外光低。

所有螢光體放出的螢光，能量一定會比原來吸收的能量低？波長一定會比激發光波長長嗎？答案是不一定。其實，有一種很有趣的物質，它可以放出能量比激發光高、波長比激發光短的螢光。這種現象我們把它叫



**上轉換原理** 基態電子吸收能量躍遷至  $E_1$  後，再吸收能量躍遷至  $E_2$ 。從  $E_2$  返回基態  $G$ ，放出的能量為激發能量的二倍。放射光波長為激發光波長的二分之一，頻率為激發光的二倍。

做「上轉換」。

當我們用能量一萬波數的紅外光來激發這類螢光體，基態電子會吸收激發光的能量躍遷到激發態  $E_1$ ，如果電子不會立刻釋放出所吸收的能量，也就是說位於  $E_1$  態的生命期夠久，當電子再吸收來自激發光的能量，會繼續往更高能量的  $E_2$  態躍遷。經過兩次吸收，此時電子具有二萬波數的能量，是激發光能量的兩倍。當位於  $E_2$  態的電子釋放能量返回基態，會放出波長是原本紅外光的一半的綠色螢光。利用這種原理，我們可以藉由觀察螢光體的綠色螢光，來偵測肉眼無法看見的紅外光。

## 有機螢光體

我們可以把螢光體分成有機螢光體及無機螢光體兩類。很多的有機分子，本身就具有放射螢光的能力。

近年來大眾對平面顯示器的需求日益增加。值得一提的是，位於美國新澤西州的 Universal Display Corporation 公司，開發一種可繞曲性有機發光元件 (FOLED) 顯示器技術，將螢光體塗布在塑膠或是金屬薄片上，做成薄片型的顯示幕。由於這類顯示器使用的是具有繞曲性的材質，相較於其他以玻璃為基材的平面顯



示器，不但重量輕，而且耐用、不易碎裂，可以用在飛機或是汽車擋風玻璃上、顯示相關資訊；如果應用在筆記型電腦上，可以大幅減輕顯示幕的重量。最特別的是，這種顯示幕可以任意捲曲成各種形狀，這種極具特色的顯示器產品，未來應該會有相當的市場規模。

## 無機螢光體

無機螢光體，顧名思義，就是組成的成分內包含無機分子。無機螢光體通常是由主體化合物、及活化劑組成；主體化合物本身通常不會發光，而是靠活化劑活化之後才會發光。另外，也有一些化合物，不需要藉活化劑的幫助、自己就能發光。這類螢光體我們叫做「自身活化螢光體」。

無機螢光體的一項優點，就是可以精確地控制主體化合物與活化劑的比例。利用活化劑含量的改變，我們可以改變螢光發光的亮度，甚至發光的光色。另外，有些時候，只要非常少量的活化劑，就能整個地改變主體化合物，讓主體化合物從不能發光，變得能夠放射明亮的螢光。除此之外，如果我們改變主體化合物的組成，螢光發光的光色也會改變。

同一種螢光體，不一定可以用各種不同的激發方法來激發。例如，可以用紫外光激發放光的螢光體，在高壓電子束的激發下，就不一定能發光；即使能激發放光，可能發光效率很差（也可能更好），或是光色與紫外光激發時不同。

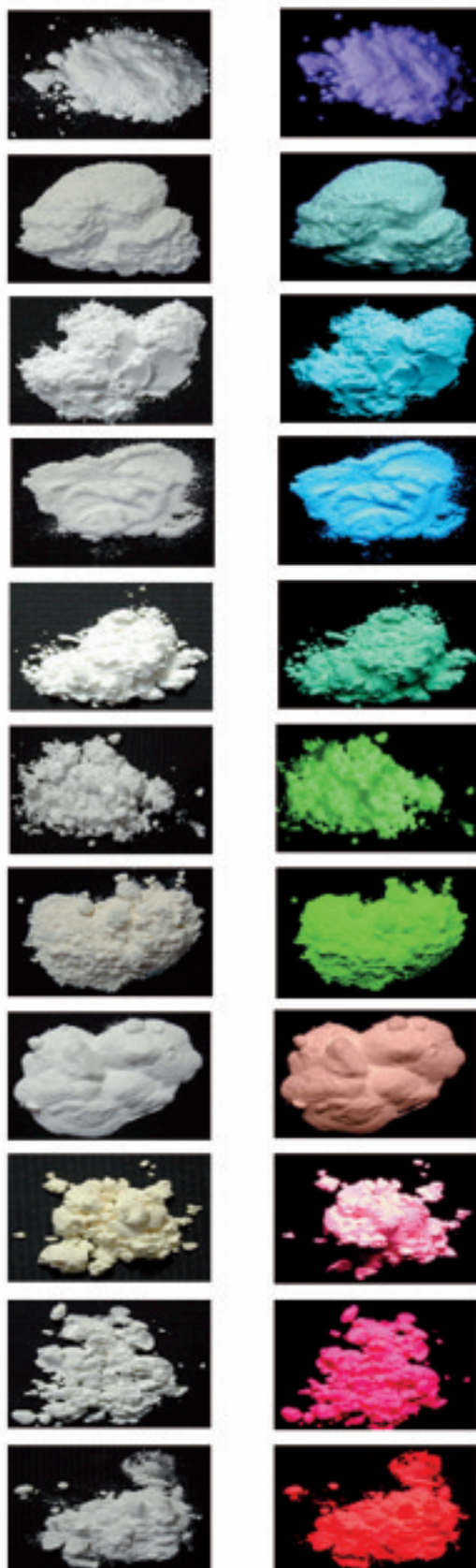
螢光體的用途十分廣泛，舉凡日常生活中使用的日光燈管、演唱會螢光棒、電視機到新穎平面顯示器，甚至生物科技，都不能缺少它。螢光體以各種不同的形式存在於我們的生活中，儼然是我們生活中的一部分，它的重要性不言可喻。其中有三種重要的螢光體：照明用螢光體、顯視器用螢光體和生物螢光體。

## 照明用螢光體

日光燈管能夠發光，是利用燈管內的汞原子激發管內的螢光體放光。一般日光燈的燈管內，會填充一些水銀，當汞原子被激發再返回基態時，會發出紫外光；其中有大約 85% 是波長 254 奈米的紫外光，12% 是 185 奈米的紫外光，其他大約 3% 則是長波長紫外光和可見光（例

激發前

發光顏色



各種不同發光顏色的螢光體

如365奈米、405奈米、546奈米等等)。

燈管內的汞原子放出的紫外光，會照射並激發管內的螢光體、讓螢光體發光。我們可以藉由塗布不同的螢光體，改變燈管放出的光的顏色；例如，如果我們想要得到像日光一樣的白色光，我們可以將紅、藍、綠等三種顏色的螢光體，依適當比例混合，就可以得到白色光。日光燈幾乎是每個人每天都必須用到的照明工具，而螢光體是日光燈發光最重要的關鍵，也因此螢光體顯得特別重要。但是，國內目前從事相關螢光體研發的工作相當有限，幾乎所有的螢光體都必須從國外購買。

## 顯示器用螢光體

顯示器是現代生活的資訊媒介。不但可以用來傳遞資訊、娛樂、甚至還有軍事用途，例如雷達。顯示器發出的各種光色，其實就是利用螢光體發出的色光混光而來，液晶顯示器的背光源，也是利用螢光體發光；因此，螢光體是顯示器的關鍵材料之一，占有非常重要的地位。

由於各種顯示器的原理不同，對螢光體性質的要求也不同；舉例來說，電視機映像管用的螢光體，必須能夠承受高壓電子束的衝擊，並且具有良好的發光效率；新一代的電漿顯示器用螢光體，必須能夠在真空紫外光激發下發光；而有機發光二極體顯示器用的螢光體，則必須能通電流激發。另外，像是場發射式顯示器，爲了

避免在低壓時電荷堆集在螢光體表面，除了在絕緣的螢光體上加一層導電層，最根本的方法就是使用導電性螢光體。

顯示器產業通常會隨著螢光體的發現或改良而有新的進展，例如，彩色電視機能夠出現在民生市場，成爲人們最重要的資訊及娛樂媒介之一，就是因爲開發出新穎高發光效率的紅光螢光體。科學家曾經預測，彩色電視機要能夠呈現足夠的亮度，就必須使用放光波長在 610 奈米附近的紅光螢光體。

對顯示器而言，螢光體如同顯示器的靈魂，要在生產技術、品質，尤其是新穎顯示器的開發上領先世界各國，關鍵螢光體的研發顯得非常迫切，且確有其必要性。面對未來顯示器的發展，我們可以說，誰掌握了螢光體的關鍵技術，就能主導顯示器產業的發展。隨之而來的，將是極大的商業利益。

國內學術界從事螢光體研究的不多，尤其是新穎螢光體的研發。以無機螢光體來說，要從數以萬計，甚至上百萬的化合物中找出可能的主體化合物，再與不同的活化劑搭配，產生明亮的螢光，如同大海撈針一般。目前螢光體理論還不完整，選擇主體化合物與活化劑，只能靠化學家或材料學家多年累積的經驗，與不斷的努力。

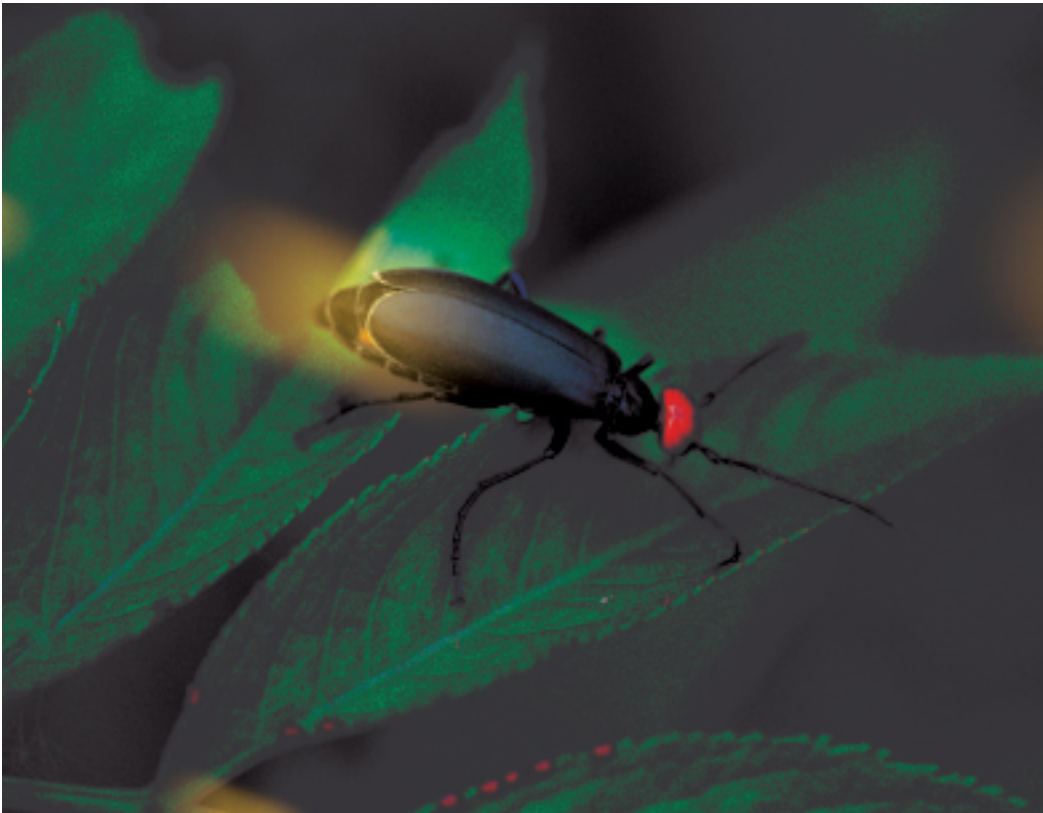
## 生物螢光體

**子宮頸癌整合式篩檢** 子宮頸癌是我國婦女健康的殺手之一，其實，只要早期檢出、儘早治療，子宮頸癌仍然有相當大的治癒希望。由於癌症初期，低度病變細胞沒有脫落、或是不會脫落，容易造成患者傳統抹片檢查偽陰性的健康假象，因而造成病患延誤就醫，甚至失去寶貴生命。

一九九八年底，美國食品及藥物管理局核准「子宮頸癌螢光檢測」，零期癌或癌前病變細胞可以提早檢出。配合傳統抹片檢查，子宮頸癌的檢出率可以從原先 40~60%，提升至90%，對婦女健康提供更高的保障。子宮頸癌螢光







膜上，經藍光照射後，病變區域內的光感物質會發出紅色螢光，幫助醫師診斷癌症細胞。一旦發現病變區域，再以紅光照射，光感物質會造成細胞毒性，讓細胞壞死。未來經過臨床實驗及衛生署核准，光感物質價格降低，這套口腔癌光動力療法，將對口腔癌患者帶來新希望。

### 螢光生物晶片

生物晶片是生物科

檢測相當容易，醫師先在受檢者的子宮頸及周圍塗抹稀醋酸，病變細胞會與稀醋酸產生白化反應；再利用特製的螢光棒發出的藍白螢光照射，病變區域會呈現不透明白斑，只要兩分鐘內就可以完成檢查，可以在罹病最初期檢出。目前，許多的醫療院所都在積極推廣這種靈敏度極高的檢測法。

**光動力療法** 利用感光物質或螢光體及光照射來治療疾病，就稱為光動力療法。臨床實驗發現，腫瘤細胞可能因為代謝機能異常，或是因為細胞核比正常細胞核大，會比正常細胞累積較多的感光劑，在光的照射下，如雷射光照射，感光劑會發生光化學反應，產生一種有毒物質，造成細胞毒性，讓癌細胞機能發生變化甚至壞死，因而達到殺死癌症細胞的目的。

光動力療法的最大優點，就是它能夠選擇性地殺死腫瘤細胞，而不傷害到周圍的正常組織。傳統的口腔癌必須用組織病理切片檢查，通常發現的時間已經很晚。國內口腔癌患者很多都是屬於第三、四期的晚期病患，術後五年存活率大約只有三成，是第一、二期的一半。臺大醫院光電生物醫學中心陳進庭副教授，正在開發一套口腔癌光動力療法。先將一種感光物質塗抹在口腔黏

技研究最有效率的工具之一。因為它可以同時間、大量地進行與生物體有關的生化實驗。我們開發了一套新穎的螢光生物晶片系統，運用螢光阻斷技術，利用具螢光標籤的螢光阻斷分子，對DNA進行選擇性結合並阻斷。螢光阻斷分子是我們特別設計的一種螢光體，它可以跟特定的DNA片段結合。當螢光阻斷分子與特定的DNA片段結合之後，螢光會發生可觀測的變化。這種具選擇性的變化，可以顯示特定的DNA片段的的存在。未來的應用包括：DNA診斷或修復、基因解碼、疾病篩檢、新藥開發、遺傳病學研究等。

螢光體是用途廣泛的重要物質，除了學術研究範疇之外，更具有極高的商業潛力。亞洲的日、韓及中國大陸，不但已有自製螢光體的能力，更不斷投入新穎螢光體的開發。目前國內螢光體的相關研究相當缺乏，有待政府、學界及產業界積極投入。隨著各種螢光應用的不斷開發，我們可以預見在不久的將來，結合奈米的螢光體技術，將對光電及生物科技產業帶來重大的影響。螢光技術在未來的幾年內，將成為重要的材料技術之一。□

### 高逢時

崇裕科技股份有限公司