



# 發光二極體

■ 曾信榮 · 許千樹

「甚麼？連發光二極體也講求有機？這比較健康嗎？」



我們的生活中一直不乏各樣的光源來點綴，辦公室裡需要桌燈及室內燈來確保工作的品質並保護視力，在商店裡需要招牌及各式各樣的燈光來宣傳產品及營造各種情境的氣氛，在家裡需要柔和的光源來增加溫暖舒適的感覺，甚至交通工具及號誌都需要透過燈光來照明。不只如此，提供我們娛樂與資訊的電視、電影螢幕及顯示器，背後也都有個光源。

現今人類已經脫離不了燈光，各式各樣的光源如日光燈、白熾燈泡充斥在我們的生活裡。由於環保意識抬頭，每個人都了解到「節能減碳」的重要。而目前白光LED的效率在二、三年內會由每瓦120流明提高到每瓦240流明，全球將因此節省150座核能電廠的發電量，並減少二氧化碳的排放。因此在21世紀，耗電量低及壽命長的發光二極體就成了時代的新寵兒。

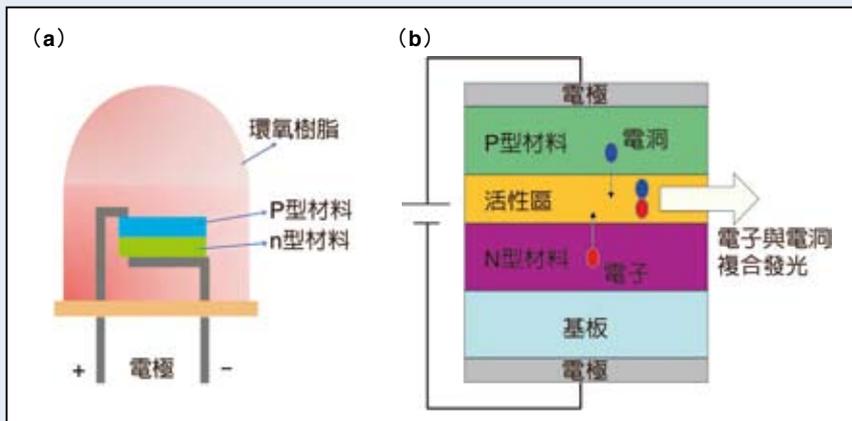
發光二極體的應用產品眾多，如交通號誌、路燈、手電筒，甚至汽車的頭燈。隨著材料的不同，發光二極體可以分為無機發光二極體及有機發光二極體。你或許會問「甚麼？連發光二極體也講求有機？這比較健康嗎？」其實此機非彼機，本文會針對這兩種發光二極體做一個介紹。

## 無機發光二極體

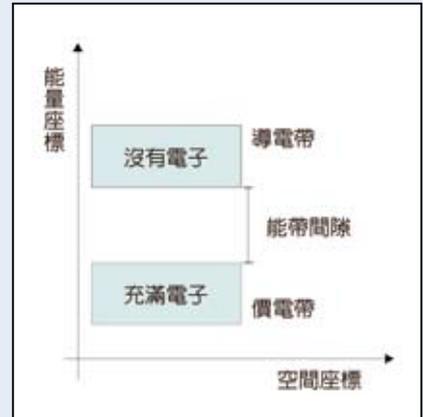
無機發光二極體使用無機化合物，如砷化鎵、氮化鎵等為材料。先透過摻雜的方式使這些材料成為p型與n型，再把它們接合在一起形成pn界面。與其他二極體一樣，電子及電洞可以很容易地從n型及p型的材料注入，而當電子與電洞相遇而結合，就會以光子的形式釋放出能量。



現有的發光二極體產品已經在生活中隨處可見，可用於照明或顯示面板及廣告看板等。



(a) 發光二極體透視圖及 (b) 發光二極體結構與發光原理示意圖。



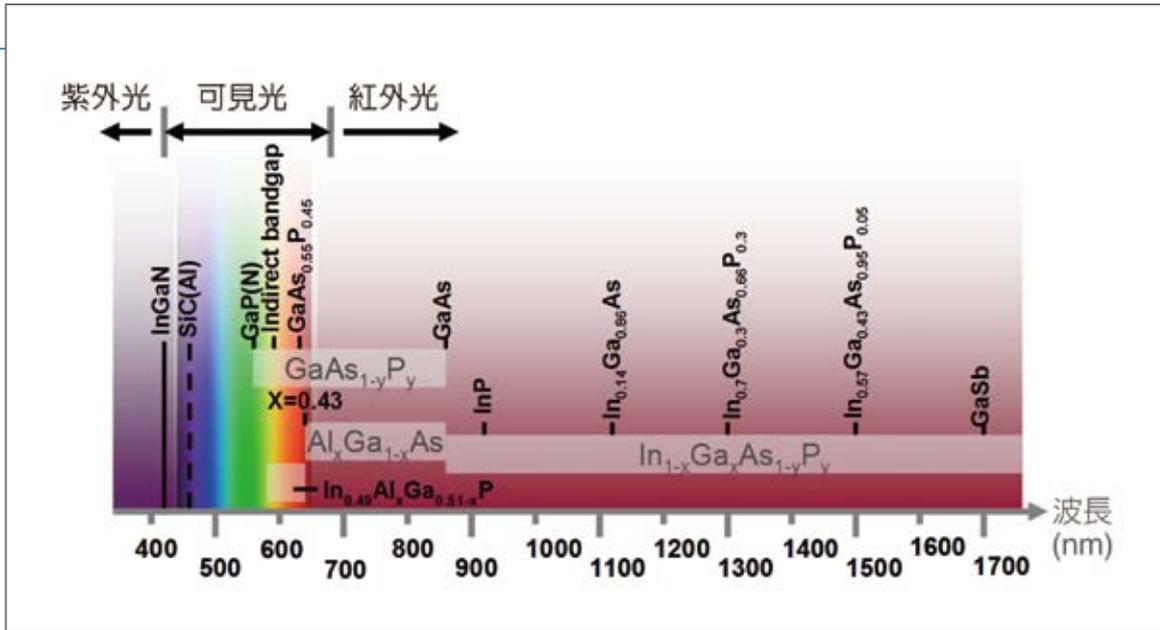
以載子（電子或電洞）能量對空間座標做圖的半導體能帶圖。

**光電半導體能帶原理與材料** 波耳的氫原子模型有二大假設：電子繞原子核運動的向心力等於電子與原子核間的庫倫靜電力；電子的角動量量子化。據此，他推導出氫原子的能量並不是連續分布的，而是以能階的方式存在。

光電半導體材料是由一種或多種原子作周期

性排列所構成的，當原子與原子互相靠近時，因其作用力互相影響造成能階分裂。隨著距離越來越近，原子間的作用力越來越大，最後這些分裂的能階就逐漸結合形成能帶。我們從中定義導電帶與價電帶，導電帶與價電帶之間是能帶間隙，能帶間隙中沒有能階存在。

由於環保意識抬頭，每個人都了解到「節能減碳」的重要，因此在21世紀，耗電量低及壽命長的發光二極體就成了時代的新寵兒。



光電半導體材料與發光波長的關係圖

### 發光二極體的種類與應用

LED分類	材料	應用	
可見光 LED (450~780nm)	一般亮度LED	GaP、GaAsP、AlGaAs 3C家電 資訊產品 通訊產品 消費性電子產品	
	高亮度LED	AlGaInP (紅、橙、黃)	戶外全彩看板 交通號誌
		InGaN (藍、綠)	背光源 車用照明
不可見光 LED (350~400nm)	白光LED	GaInN+螢光粉 (白光) 背光源 照明	
不可見光 LED (850~1,550nm)	短波長紅外光 (850~950nm)	GaAs、AlGaAs 白光照明 生化檢測 高密度光儲存 無線傳輸	
	長波長紅外光 (1,300~1,550nm)	AlGaAs IRDA模組 遙控器	
		光通訊光源	

(資料來源：http://www.icdf.org.tw/web\_pub/20060331181749LED產業報告.doc)

對於半導體而言，室溫下的熱能可以提供價電帶的電子足夠的能量，使它得以躍遷到導電帶，這時價電帶少了一個電子，導電帶則多了一個電子。若再對半導體施加電壓，就可以產生電流，這就是半導體導電的原理。

光電半導體發光的原因，是導電帶的電子與價電帶的電洞結合，而把多餘的能量以光子的形式釋放出來。這機制發生的多寡與半導體材料有很大的關係，也與電子及電洞的動量守恆有關。如果材料特性越好又越遵守動量守恆，發光效率就會越佳。

半導體可分為元素半導體及化合物半導體二類。元素半導體如矽、鍺，是由同一種四價元素所構成；而化合物半導體可分成四四族化合物半導體（如SiC）、三五族化合物半導體（如GaN、InAs、AlGaAs、GaInP、InGaAsP等）及二六族化合物半導體（如CdS、ZnS等）。一般常用的光電半導體材料有GaAs、GaP、AlGaIn、InGaIn、AlGaInP等，其中元素的組成若改變，LED的發光波長也會跟著變化。

**無機發光二極體的發展** 1997年，在日本Nichia化學公司任職的Nakamura博士發表了一篇震撼全球的論文，提出以InGaIn半導體為活性區材料的雷射，其中InGaIn多量子井結構是成長在ELOG（*exptaxially laterally overgrown GaN*）的基板上。這種雷射不只性能大幅提升，其生命期更超過了10,000小時。這意味三五族半導體的成果遠勝於二六族半導體，因此許多科技人把三五族半導體做為日後研究的重心。

發光二極體依發光波長分為可見光與不可見光兩大類。一般而言，高亮度發光二極體是以四元

化合物及GaIn系化合物所製成的二極體，一般亮度發光二極體則是以GaIn系以外的二元及三元化合物所製成的。

值得一提的是白光LED的發展，白光LED如果能順利解決燈具模組的散熱問題，傳統的日光燈會走入歷史。目前製作白光LED主要的方式有：以藍光LED激發螢光粉，使其發出黃光，利用藍光和黃光混合形成白光，或以UV LED激發紅色、綠色、藍色螢光粉，利用紅綠藍3種色光混合形成白光。上述兩種方法是藉由色光混合以產生白光，因此製程上必須精確設計3種色光的比例，導致LED晶片設計頗為複雜。

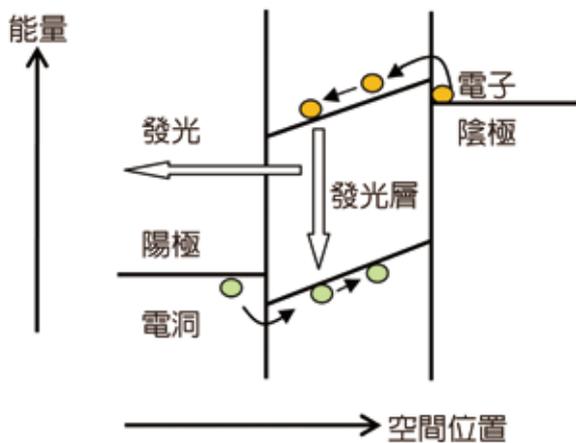
在2008年，香港大學的研究群在GaIn LED上覆蓋一層綠色及橘紅色螢光的奈米球，藉由藍光激發螢光奈米球，成功製造出均勻的白光LED。因為染料的種類很多，所以在混色上較容易，這是目前最新的白光LED製造方法。

## 有機發光二極體

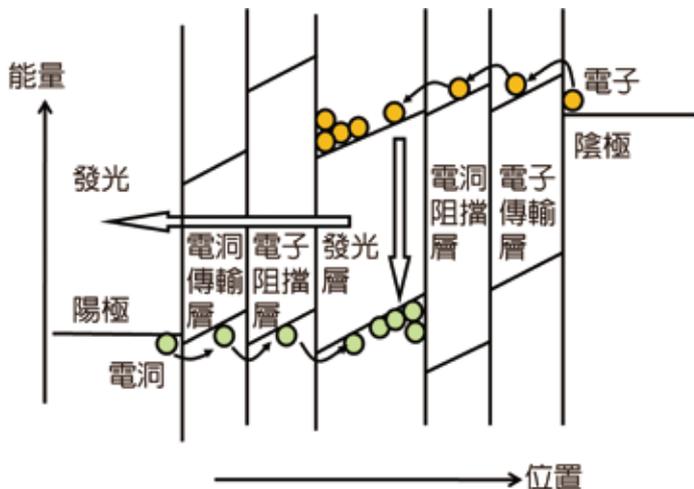
相對於無機發光二極體，有機發光二極體屬於整面發光形式的面光源，使用的是有機半導體材料。發光原理則與無機一樣靠著外加電壓的驅使，電子與電洞分別從陰極與陽極注入，經由各輔助層（如傳輸層、阻擋層）的幫助，電子與電洞可輕易傳輸至發光層結合而放光。

有機發光二極體的發光過程大致可分為3個步驟：當施加一正向偏壓，電子、電洞克服界面能障後，分別由陰極與陽極注入；在電場作用下，電子與電洞相向移動，並在發光層形成激子；電子、電洞在發光層結合，激子消失並放出光。

有機材料依照分子量的大小可分為小分子與



單層有機發光二極體的發光原理

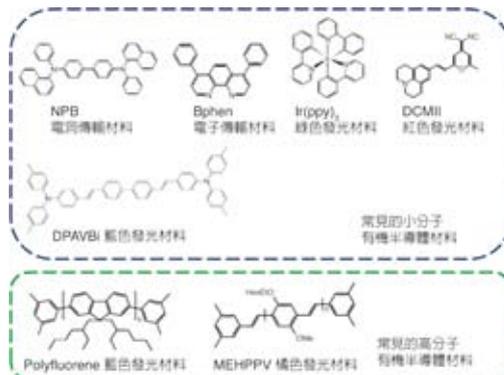


多層結構有機發光二極體示意圖 有機發光二極體可利用這結構，使載子傳輸後在發光層做有效率的結合放光。

高分子材料，有機小分子材料的多層膜結構須利用高真空的熱蒸鍍設備製備，高分子材料則可由有機溶劑溶解後，利用各種塗布方法成膜。

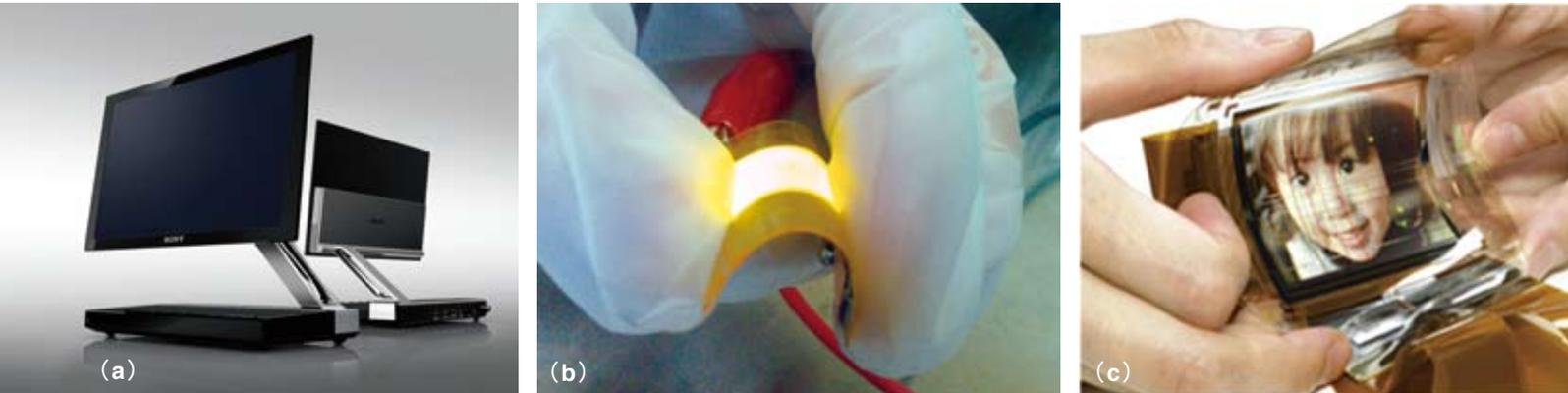
一般而言，有機小分子發光二極體需要多層結構，除了發光層外，還需要電子及電洞傳輸層與電子及電洞阻擋層。這些多層材料的設計可以使電子及電洞由電極注入後，因被阻擋層擋下而局限在發光層，因而有利於結合放光。這樣的設計是考慮到材料的能帶結構及材料的特性。

當電子被傳輸層傳進發光層後會遇到阻擋層，這時要繼續傳輸時需要跨越一個很大的能量障礙，電子因很難跨越而在發光層累積。同樣地，電洞也累積在發光層中，這時它們相遇的機會就變多，會摩擦出更多的火花而發光，因此小分子有機發光二極體能達到很高的效率。



有機半導體材料的化學結構式

以光源的應用而言，有機半導體與無機半導體最大的差異，在於前者所發出的光波頻率分布較寬，後者非常地窄，因此有機半導體的光色較柔和。



有機發光二極體的元件及產品：(a) 有機發光二極體電視，(b) 軟性有機發光二極體光源，(c) 軟性有機發光二極體顯示器。

接著讓我們來看看有機發光二極體有甚麼產品，並且了解這些產品到底有多吸引人！

和無機發光二極體一樣，有機發光二極體也可以應用在照明及顯示器上，那「為什麼有了無機發光二極體還要來個有機呢？有機發光二極體到底有甚麼過人之處？」其實除了發光形式不同外，無機發光二極體類似單點的發光，有機發光二極體則是面發光形式。我們不妨來看看有機發光二極體發展的現況及其現有的產品。

日本一家公司在2007年底發表了一款利用有機小分子發光二極體所製作的顯示器，它的厚度僅有3公釐，而且對比度高達1,000,000：1。相較之下，液晶螢幕的厚度大約2公分，而對比度是1,000：1，只有有機發光二極體顯示器的千分之一。這樣高對比度的顯示器可以模擬非常真實的色彩，而且相當輕薄。

以光源的應用而言，有機半導體與無機半導體最大的差異，在於前者所發出的光波頻率分布較

寬，後者非常地窄，因此有機半導體的光色較柔和，更貼近人類眼睛的感覺。一般而言，無機半導體的光色較純，但會令人感覺較緊張，且看久了眼睛也會不舒服。有機半導體則有較柔和的光色，即使看久了也不會不舒服。

除此之外，有機發光二極體因為材質較柔軟，可以製作在塑膠的基板上，因此產品非常輕薄易於攜帶，而且可與任何形狀的表面結合，應用的範圍更大更廣。這是無機發光二極體或現今顯示器無法達到的境界，也難怪為什麼現在的科學家一窩蜂地進行有機發光二極體的研發了！

有機發光二極體目前的產品都是以小分子半導體為主，那高分子半導體呢？相較於小分子有機半導體須在高真空環境下，利用熱蒸鍍的方式成膜，高分子半導體在常壓室溫下就可以製作，它可以溶解於有機溶劑，並利用塗布或印刷的方式成膜，就像印報紙一樣地製作發光二極體，如此一來成本就可以降得很低。

有機發光二極體因為材質較柔軟，可以製作在塑膠的基板上，因此產品非常輕薄易於攜帶。

高分子發光二極體與小分子一樣是面光源，具有輕薄可攜的特性，也可以製作在可撓性的基板上，形成柔軟的光源或顯示器，且其可撓曲性較小分子有機半導體更強，更適合製作成可撓性的產品。

既然高分子發光二極體較小分子特性更好，為什麼發展會比較慢呢？其原因有二，第一是材料方面。因為高分子材料較複雜，合成不易，且純化時會造成大量的浪費，因此材料的研究是現今化學家努力的方向。另外則是結構問題，高分子半導體雖然可以在常溫常壓下進行大面積塗布成膜，但因為在塗布第二層膜時，有機溶液會溶解第一層薄膜，因此無法像小分子般做成含有傳輸層或阻擋層的多層結構，只能進行單層元件結構的製作。發展利用溶液製作多層結構的技術，就成為現今科學家的一大挑戰。

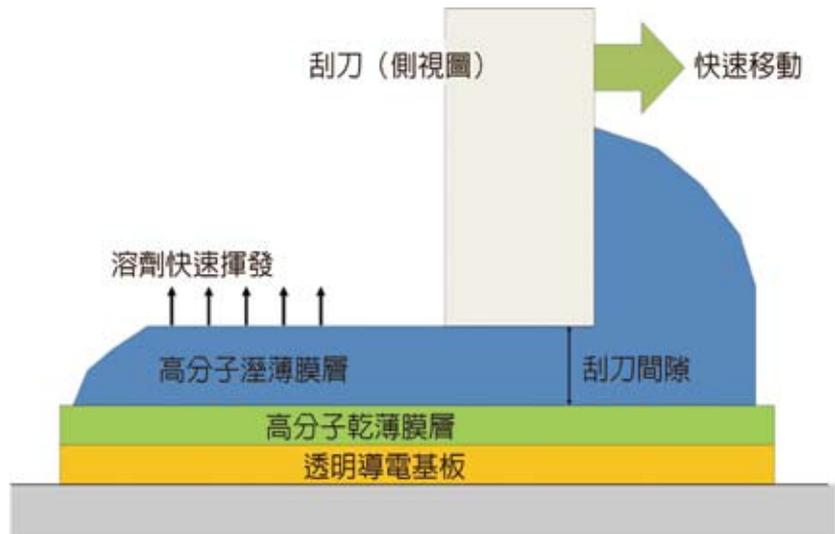
目前交通大學研發出利用刮刀製作多層結構的技術，已能有效克服高分子發光二極體層與層間的互溶性問題，也製作出較大面積的高分子發光二極體。還需要克服的瓶頸在於利用刮刀所產生的薄膜均勻度問題，至今可以均勻製作的發光面積只約為30平方公分大小。

交通大學團隊也利用溶液塗布的方法，進行各種不

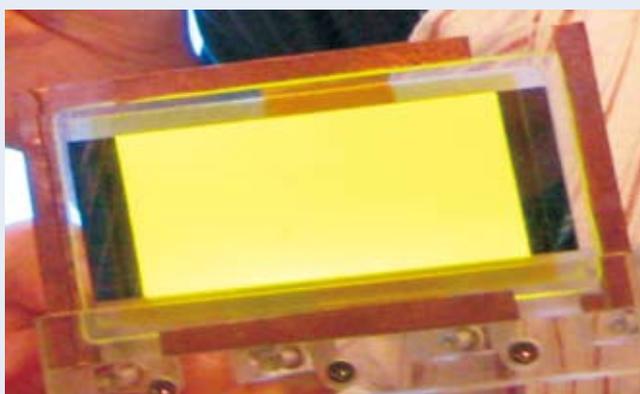
同色光的多層結構有機發光二極體研究。在藍光方面，利用多層結構可使效率由原本2.7 cd / A 提升至9.1 cd / A，而亮度的提升更為明顯，由原本的6,000 cd / m<sup>2</sup> 提升至26,000 cd / m<sup>2</sup>。

另外，在綠光的部分，利用多層結構也可達到48 cd / A 的效率。若再加入紅光染料及藍光層，更可以製作出高效率的白光有機發光二極體，最高效率可達8cd / A。

除了純粹的發光二極體以外，發光二極體結合光偵測器就可製成距離感測器。其原理有點像蝙蝠發出超音波以偵測物體遠近一般，也就是藉由偵測發光二極體發射出的光波被接近中的物體反射的光強度，就可以知道物體的遠近。這部分交通大學團隊以不易被散射的紅外



利用刮刀製作多層結構示意圖



色彩豐富的高分子發光二極體光源，圖中的發光面積是7公分× 4.5公分。

波段的光波進行實驗，並成功製作出全有機的接近感測器元件，可以偵測的距離範圍最大達20公分！

由以上的介紹，大家對發光二極體的原理及應用是否已有較多的認識了呢？以無機半導體製作的發光二極體具有發光效率高的優點，但若製作成較大面積，所耗費的成本也很高。使用有機半導體，則可以利用類似印刷的方法做大面積的塗布，降低製作的成本。若搭配柔軟的基板，在不久的將來應該可以看到各式各樣形狀且不同於現有的有機軟性

光源。再搭配各式設計風格，我們生活中的光源將有更多元化的選擇了！

---

曾信榮

交通大學物理研究所

許千樹

交通大學應用化學系

---