

由於反應速率、亮度、視角、壽命等諸多優點及較低的製造成本，加上技術的純熟，陰極射線管已主宰顯示器及電視機的市場幾十年，不管是在電腦的螢幕或家庭視聽娛樂器材上，依然具有競爭優勢。惟陰極射線管一年的使用量在全世界雖已超過 2 億個，但是重量過重、體積龐大的缺點已成為它的致命傷。為因應視覺享受的大面積化要求及可攜帶性的輕便化要求，短短十年間，新的平面顯示器技術陸續被開發出來，例如液晶顯示器、電漿顯示器、場發射顯示器、真空螢光顯示器、發光二極體、電激發光等。

何謂平面顯示器？以傳統的陰極射線管而言，它是利用電子加速去撞擊屏幕上的螢光粉發光，隨著大面積化，陰極射線管也要越大，電子才有足夠的能量去激發螢光粉，相對地電視機的體積也會變得很大很笨重。而平面顯示器就是當顯示器大面積化時，其體積不會像一般陰極射線管產生顯著的改變。彩色液晶顯示器已經成功地應用於攜帶型顯示器，且正逐步取代陰極射線管在桌上型電腦螢幕的市場。

另一方面，電漿顯示器製造過程中，大尺寸面板厚膜印刷關鍵技術已逐漸成熟，被視為最有可能獨占 40—70 吋產品市場的技術。以 42 吋螢幕為例，電漿顯示器厚度只有 10 公分，重量僅 40 公斤，但陰極射線管厚度超過 60 公分，重量更高達 100 公斤以上。縱然如此，高科技研發人員還是絞盡腦汁，竭盡心力地開發新技術，不時地展示新產品。

### 有機電激發光

材料的化學結構式中，含有碳、氫元素的通常是有機材料，反之則為無機材料。目前無機材料發光二極體製作技術成熟且已商品化。

近幾年，有機電激發光的研究有了突破性的發展，



# 電激發光新視界

有機電激發光為一自發性發光元件，正朝現有之液晶顯示器及陰極射線管相同應用領域開發中。而隨處可見的液晶顯示器，其發光機制需藉助液晶下方的背光源，粉體電激發光即為一重要背光源。

蘇水祥 橫山明聰 朱健慈 江俊德

引起國內創投及光電產業界投資熱潮。有機電激發光的發光原理和無機材料的發光二極體相似，大體上分為二類：小分子有機發光二極體及大分子有機發光二極體。小分子有機發光二極體是以小分子染料或顏料為元件材料主體，而大分子發光二極體則是以共軛性高分子有機材料為主。小分子有機發光二極體起源於1963年波普 (Pope) 等人在20毫米厚的蒽 (anthracene) 單晶上施加電壓時，產生發光現象，因而被稱為電激發光。

由於單晶成長大面積化困難，施加電壓值太高(大於400伏特)，元件結構尚未最佳化及有機材料本身特性等問題，一直不能應用在發光二極體的元件上。

到了1982年，柯達實驗室的鄧青雲先生，利用兩種不同材料的有機薄膜形成一雙層元件結構，藉由一般無機材料發光二極體P-N界面電洞、電子重新結合的原理，才有所突破。從此，這個電激發光技術逐漸受到肯定，尤其當柯達實驗室1996年在國際資訊顯示協會上，公布一個亮度1,400燭光/平方公尺，在20毫安培/平方公分的電流驅動下，連續操作的半壽命已長達7,000小時的元件後，小分子有機發光二極體總算從一個研究室裡的新發現，朝實用化、商品化的顯示技術邁進。

至於大分子有機發光二極體的發展，1990年英國劍橋大學的研究群，發表了第一個利用共軛高分子所製作的電激發光元件，引發另一波的研究熱潮。有機電激發光顯示技術之所以獲得廣大的青睞，是因為此平面顯示器滿足人類對顯示器嚴格的要求，其主要的特性是：

(1) 薄膜元件，可製作在大面積基板上。

- (2) 低溫製程，可製作在任何基板上(包括塑膠基板)。
- (3) 快速反應時間(約為0.000001秒)、高應答速度(為液晶顯示器的百倍以上)。
- (4) 紅、綠、藍三原色元件皆可製作，也可得到白光。
- (5) 低操作電壓(小於10伏特)；(4伏特時亮度可達300燭光/平方公尺)。
- (6) 高流明效率(大於10流明/瓦)。
- (7) 高亮度(可大於100,000燭光/平方公尺)。
- (8) 自發光，廣視角(幾乎可達180度，約160度)，液晶顯示器無自發光，視角約120度。
- (9) 可撓曲性。
- (10) 製造程序較簡單，具有低成本的潛力。

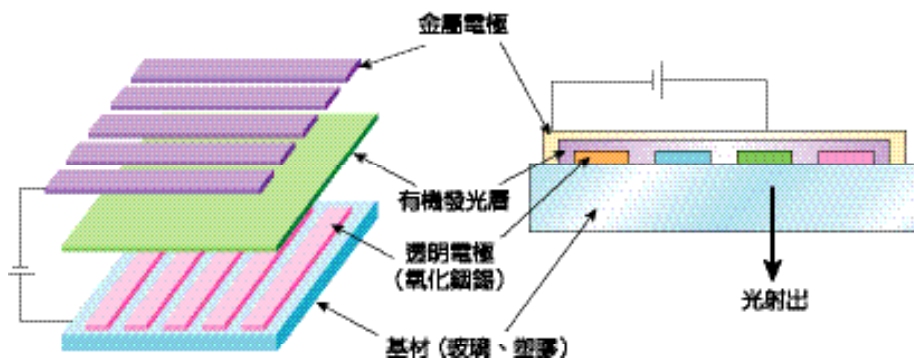
#### 結構及原理

有機發光二極體的發光原理和無機材料發光二極體的發光原理相似。當此元件受到一順向偏壓時，外加電壓能量將驅動電子與電洞分別由負極與正極注入到此半導體元件，當兩者在傳導中相遇，會互相結合而形成所謂的電子-電洞複合，此時電子的狀態位置將由激態高能階回到穩態低能階，而其能量差異將分別用光子或熱量的方式放出，其中可見光的部分可被利用當作顯示功能。因為是利用材料能階差，釋放出來的能量轉換成光子，所以我們可以選擇適當的材料當作發光層或是在發光層中摻雜染料以得到我們所需要的發光顏色。

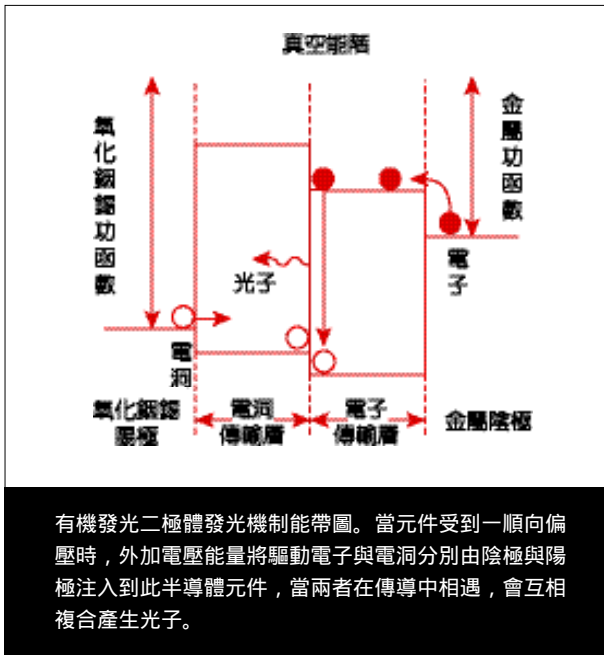
從研究中，我們逐漸了解到有機材料的特性深深地影響元件光電特性表現，元件的結構也從雙層發展到多層，新的結構包含了氧化銻錫透明玻璃基板、電洞注入層、電洞傳輸層、發光層、電子傳輸層及金屬電極。

為了增加發光效率，我們必須增加電子、電洞的注入，所以在陰極通常選擇低功函數的金屬(鎂，鈣)，以利電子的注入。但是低功函數的金屬相對地活性也較大，容易跟水氣產

生氫氧化物的反應，所以通常會在金屬表面塗上一層保護層。此外，為了提高電洞的注入效率，通常會在陽極與發光層之間加入電洞傳輸層。目前，有機發光二極體的結構已發展到多層結構，其基本結構如圖所示。



有機發光二極體的基本結構，其組成包括氧化銻錫透明陽極，有機發光層以及金屬陰極，當電子和電洞複合產生光子時，光將由透明的陽極射出。



生氧化，造成陰極的破壞。此時可採用複合金屬陰極（如鎂：銀，鋁：鋰），或是在陰極和有機層之間加入一層極薄的氟化鋰，而氟化鋰可以有效地降低電子從陰極注入到有機層的能障。在陽極部分，則使用高功函數的金屬材料，目前皆採用氧化銻錫透明導電膜，因為具有良好的導電性及在可見光範圍的高透明性，而被廣泛應用在影像技術上當作電極使用。

在有機材料中還有一個特點，一個適合傳遞電子的材料不一定適合傳遞電洞，所以有機發光二極體的電子傳輸層和電洞傳輸層必須選用不同的有機材料。

目前最常使用的電子傳輸層材料為氫氧奎寧鋁，是一發綠光的材料，發光波長為  $520 \times 10^{-9}$  公尺左右，而電洞傳輸層的材料為雙三嗪雙酚苯，是一發藍光的材料，發光波長為  $450 \times 10^{-9}$  公尺左右。因為電洞在雙三嗪雙酚苯的移動率比電子在氫氧奎寧鋁快，所以如果使用兩者組合的簡單雙層結構，電子 - 電洞的結合大都發生在電子傳輸層（氫氧奎寧鋁層），只會產生綠光，此時我們可以利用多層的結構使得電

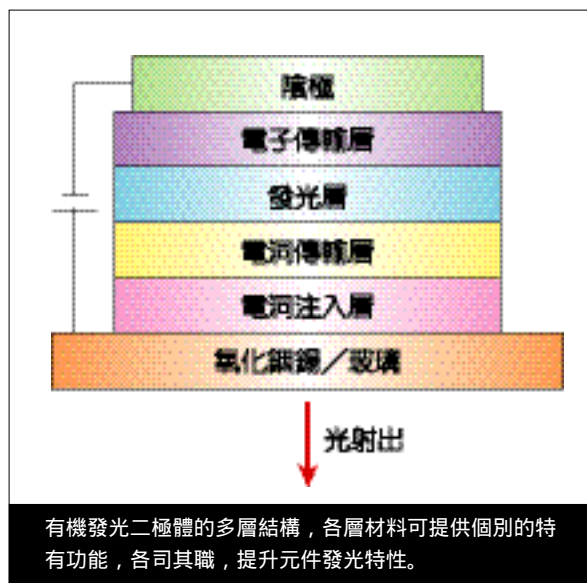
子和電洞在電洞傳輸層（雙三嗪雙酚苯層）再結合產生藍光，而紅光目前沒有適合的材料，所以研究上一般是利用摻雜染料的方式產生紅光。

由結構上，我們可以很明顯的知道，綠光的發光效率最佳，而藍光及紅光因為經過能量轉移，發光效率較低。所以，如何提高藍光及紅光的發光效率是目前各界極力突破的重點。

### 全彩化

接下來就是朝向全彩化發展，目前主要的技術有三種。

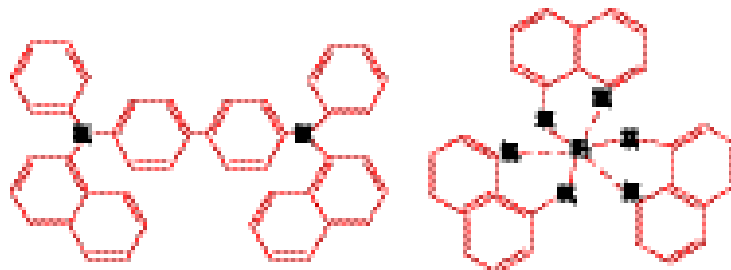
- (1) 三色發光層法：這是最常使用的技術，就是將三種發光層排列在一起，加入不同的偏壓產生全彩的效果，此技術重點在於發光材料光色純度與效率的掌握。以小分子有機發光二極體技術而言，所面臨的重大問題就是紅色材料的純度、效率與壽命，而大分子有機發光二極體方面，則是在於紅、綠、藍三原色定位等問題。
- (2) 白色 + 彩色濾光片法：此法是將三種發光層疊在一起，使紅、綠、藍混色產生白光，或是互補色產生白光。此全彩化技術最大的優點是可以直接應用液晶顯示器現有的彩色濾光片技術，但是元件發光時必須多經過一層彩色濾光片，導致亮度衰減，因此在透光率與成本上必須再深入研究。
- (3) 色轉換法：就是在藍色發光層中加入能量轉移的中心，使短波長、能量較大的藍光以能量轉移方式，



轉換成其他顏色的光，因此在材料的選擇與技術開發上較容易，惟須先產生一個發光效率、色純度極佳的藍光，否則經過能量轉換後，整體的發光效率會很差。小分子有機發光二極體和大分子有機發光二極體的比較這兩種主要的差別可從材料、製程、設備、元件特性、專利授權等來探討。

在材料方面，小分子有

機發光二極體與大分子有機發光二極體材料共同的特性是，都有共軛之化學結構，具有高的螢光效率，但兩者的分子量差異相當大，小分子有機發光二極體所用小分



雙苯雙酚苯與氫氧奎寧鋁化學結構。一般而言，雙苯雙酚苯功用是傳輸電洞，而氫氧奎寧鋁是傳輸電子並充當發光層，電子-電洞在氫氧奎寧鋁中複合並放出光子，顏色為綠光。

子材料的分子量約數百個，而大分子有機發光二極體所用高分子材料分子量約數萬個到數百萬個。就材料的特性來看，小分子的合成及純化較高分子容易，但是相對地，熱穩定與機械性質則以高分子較佳。

在製程設備上，小分子是以熱蒸鍍系統，而且必須要在真空的腔體中蒸鍍有機材料，而高分子都是以溶液旋轉塗布的方式成膜，不需要在真空的環境下，所以設備成本較低。從上述兩者的製程方式可以知道，小分子的成膜性較佳，適合發展高階的產品，而大分子則適合大面積化，而且具有可撓性。

在元件特性上，兩者效率皆可達 15 流明 / 瓦以上，大分子有機發光二極體甚至可到達 20 流明 / 瓦。因為在材料與製程的方式上不同，大分子有機發光二極體可以在比較高的電流密度與溫度下操作，但操作壽命比較短。

在專利上，小分子有機發光二極體主要是由柯達公司所研發出來的，而大分子有機發光二極體的專利則是

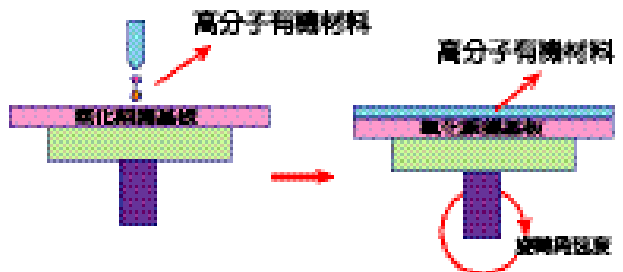
由劍橋顯示器技術單位 (Cambridge Display Technology) 所研發出來的。

產業近況

有機電激發光從 1987 年柯達公司及 1990 年英國劍橋大學分別發表小分

子有機發光二極體與大分子有機發光二極體之技術後，短短十年間，進展迅速，主要是因為投入研究開發的廠商眾多，而且不需要長晶的製程，較無機材料發光二極體容易。

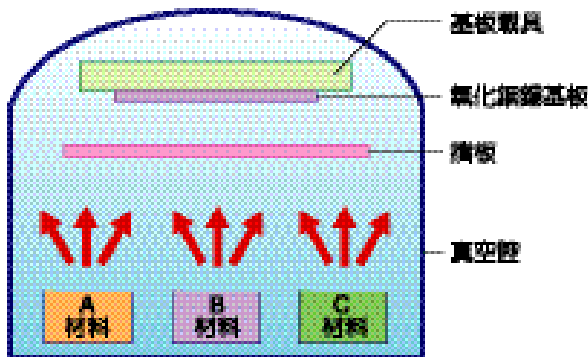
目前國際上約略分為兩大發展方向，一個是以小分子有機發光二極體為主，如美國的柯達、日本的先鋒、三洋、TDK、日本電氣、東芝、日本精機等公司，其中大部分的公司都是得到柯達公司專利授權開發主動式或被動式之單色、多色或全彩顯示器。



大分子有機發光二極體旋轉塗佈系統示意圖。將大分子有機材料溶解於溶劑中，滴置於旋轉塗佈機上的氧化銦錫基板，利用離心力的原理，使有機材料均勻分佈於氧化銦錫透明玻璃基板上。

另一個則是以大分子有機發光二極體為主，如英國的劍橋顯示器技術單位、Seiko-Epson、飛利浦、Dow Chemical、日本 DNP 等公司，它們或取得劍橋顯示器技術專利授權，或與之合作開發顯示器。

第一個商品化的產品是日本先鋒公司於 1997 年推出單色 (綠色) 小分子有機發光二極體被動式顯示器，主要應用於汽車音響面板。2000 年初，該公司提供摩托羅拉公司手機用的小分子有機發光二極體顯示器，使它正式進攻手機市場。



小分子有機發光二極體蒸鍍系統示意圖。以加熱蒸鍍的方式在真空腔體內對有機材料加熱，使粉末材料變為氣態，蒸鍍於氧化銦錫透明玻璃基板上。

在國內，除了工研院外，目前約有十幾家廠商宣稱進行有關有機電激發光顯示器之開發及試產，其中包括唯讀式光碟片族群的鈺寶、國碩、激態等公司，液晶顯示器業者包括聯宗光電、勝園、瀚立光電、達 科技、悠景科技、東元激光等公司。上述中除了瀚立光電引進英國劍橋顯示器技術，投入大分子有機發光二極體研發外，其餘的皆投入小分子有機發光二極體研發與試產。除了產業界爭相投入外，在學術界也引發一波研究的熱潮，希望能夠為產業界注入一股新血。

目前筆者所在的顯示器實驗室即專注此研究主題，已能研製紅色、綠色、藍色以及白色的單色元件，上圖為小分子有機發光二極體元件樣品，發光亮度已達商品化的要求，惟元件壽命部分還待改進。目前本實驗室除了繼續研發新的封裝技術，也朝向多彩化目標邁進。

不過，在台灣廠商競相投入有機電激發光製造的同時，尚須克服一些問題，例如：材料專利授權的取得，材料及設備供應上需依靠國外進口，材料單價高昂，驅動積體電路成本偏高，甚至相關研發人才來源不足等；再者，多數業者還處於研發階段，上下游產業結構尚未建立完整。所以，台灣有機電激發光產業之路急待衝刺。

#### 遠景

有機電激發光顯示器被喻為下一代最有機會的顯示器，研究領域包括了合成、結構與物性關係、元件製程及元件物理，是一個典型的跨化學、物理及電機工程領域的研究，也是一個基礎與應用互相影響的研究。雖然歐美是最早投入研發的國家，掌握許多基本結構專利，日本是商品化開發成功的國家，但是近兩年來，我國學界及光電界在此領域之研究已投入顯著人力，也有相當多的成果，況且有機電激發光還有很多地方值得進一步改進，如發光效率及壽命等。展望未來，只要我們繼續努力，台灣有機電激發光顯示器技術一定在世界上扮演一重要角色。



義守大學英文縮寫「ISU」字樣之小分子有機發光二極體元件。

## 粉體電激發光

此一技術主要是顆粒狀電激發光螢光材料的應用，可分為直流電粉體電激發光與交流電粉體電激發光。粉體直流電激發光是在 1954 年提出，因使用直流電，在螢光粉體外層需覆蓋一層以硫化銅為主的導電膜，同時粉體粒徑大小差異不可太大，需在 0.0002 ~ 0.0003 公分之間，另外粉體材料內的添加物，即活化劑的選擇與含量也會影響其發光效率，這些都是粉體直流電激發光較難製作的地方。

由於製作成本高，再加上粉體直流電激發光原先便以顯示器應用為主，卻只能表現簡單的字母與數字，導致粉體直流電激發光的發展未能在市場上奪得機先。

特色

#### (1) 均勻的面光源

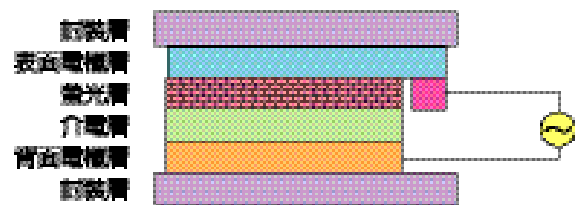
從傳統的燈泡到目前普遍使用的無機材料液晶顯示器，是屬於點光源；從隨處可見的日光燈到筆記型電腦上使用的背光源冷陰極射線管，是屬於線光源；而屬於平面光源的，則寥寥可數。

#### (2) 重量輕、厚度薄

一般光源往往有重量的問題，厚度更是無法克服，而粉體交流電激發光完全符合高科技時代輕、薄的功能。

#### (3) 可彎曲、易裝配、耐振動

粉體交流電激發光看起來就像將一些粉末壓平放置於塑膠膜內的產品，因此可以彎曲，不怕破碎，比其他光源更方便攜帶、更容易裝配。



粉體交流電激發光結構圖。當交流電壓加在表面與背面兩電極時，螢光層即可發光，而外表之封裝層可作為絕緣保護，並延長元件壽命。

(4) 冷光、不發熱

很多光源都有不可避免的熱輻射現象，而粉體交流電激發光卻有不發燙的特色，因此有人稱之為冷光片或冷光。

(5) 耗電量低

地球能量有限，資源環保成為科學家追求的目標，低耗能便是粉體交流電激發光的特色之一。當我們以 100 伏特 400 赫茲的電源驅動點亮粉體交流電激發光時，平均每平方公分消耗電量約為 0.1 ~ 0.2 毫安培，而消耗功率約為 2.5 ~ 5.0 毫瓦。

用途

(1) 液晶背光

舉凡液晶背光都有可能使用粉體交流電激發光，例如計算機、掌上型遊樂器、電子字典、電話機、電子秤、音響，甚至在手機、個人數位助理等。

(2) 商品光源

有廠商直接用來充當光源，例如安全背心、安全腰帶、鐘、冷光表、相框、聖誕裝飾、文具禮品 等。

(3) 廣告標示

可以使用在標示上，例如飛機上緊急逃生標示、門牌路標、進出口標示、交通標示、道路分隔線等，也可運用在廣告上，例如海報、廣告幻燈片、廣告箱 等。

(4) 汽車工業

可以運用在汽車零配件上，例如冷光儀表面板、腳踏板、警示燈、車牌框 等。

驅動

粉體交流電激發光的驅動點亮是使用正弦波型式的交流訊號電源，其電壓範圍約 30 ~ 200 伏特，頻率範圍約 50 ~ 3000 赫茲。一般而言可區分為二類：

(1) 定壓電源

由電源供應器提供一個固定電壓、固定頻率的交流訊號就可驅動粉體交流電激發光，使其

產生發光現象。不過，電源供應器的體積龐大，通常是生產粉體交流電激發光廠家或大型廣告看板才可能使用。而使用定壓電源驅動時，無論驅動之粉體交流電激發光面積大小，其發光輝度一定。

(2) 驅動器

驅動器是一種改變電壓、改變頻率的電子驅動線路。一般可區分為使用變壓器與使用積體電路線路的驅動器。使用變壓器的驅動器，有直流與交流兩種輸入方式，方便使用者依需求運用。而使用積體電路線路的驅動器，則只有直流一種輸入方式，不過由於其體積縮小，已逐漸成為趨勢，尤其是在冷光表、手機與個人數位助理上。值得注意的是，驅動器輸出功率有限，若以驅動器來驅動，當粉體交流電激發光面積變大時，其發光輝度會隨之變弱。

而且，驅動器與粉體交流電激發光之間的匹配性非常重要，倘若搭配不好，可能會產生發光輝度變差、使用壽命短暫的不良效果；但若搭配得宜，由於電子線路對粉體交流電激發光之補償作用，可使電激發光的使用壽命比定電壓源驅動者高。

光電特性

從研究中發現，當外加驅動電源之電壓或頻率增大時，粉體交流電激發光的發光輝度、消耗電流、消耗功



目前市面上常見的粉體交流電激發光產品，台灣已有許多新車款儀表面板使用。圖下半部為目前手機面板之背光源。

率會隨之變大。因此，如何適當地使用驅動電源使發光輝度達到需求，同時又可有較小的消耗電流與消耗功率，便需好好斟酌。

**產業概況與研發瓶頸**

目前生產粉體交流電激發光的廠商，國外有美系、日系與韓系，國內則有勝光、鈹德、精邁、鎮毓等公司。雖然基本螢光粉體材料大同小異，但由於各家配方與製作條件不同，品質自然有很大的差異。國內液晶顯示器模組廠商欲以粉體交流電激發光做為背光板時，基於品質、價格成本、交貨期的考量，會依所需購買加以組裝。然而國內廠商規模仍小，想投入日趨龐大的液晶顯示器背光面板產業，在品質、單價上仍有待改進。尤其，粉體交流電激發光本身還有一些問題必須克服。

#### (1) 原物料

就螢光粉體而言，製程具有高污染性，合成過程也極為困難，再加上生產廠家的壟斷，以及專利權的限制，其價格居高不下，使得國內廠商無法自主生產。

就介電樹脂而言，由於製造技術門檻高，而廠商需求量又不多，國內一般樹脂廠都不願研發生產，因此現今仍多數仰賴國外進口。

就護背塑膠膜而言，由於其所需防水耐候的特性要非常好，對產品的保護才會足夠，普通的護背塑膠膜是無法有效提供的，因此，目前還要進一步研發出更優質的膠膜。

#### (2) 發光輝度

發光輝度不夠一直是粉體交流電激發光主要的問題，在應用上，由於無法有效突破，只能用在液晶背光與其他需求光度不強的場合。以普通的日光燈管而言，其輝度大概是幾千到幾萬燭光/平方公尺，而粉體交流電激發光卻只有幾十，頂多到百級數，相形之下，其輝度顯然差異很大。因此，在液晶背光最大的應用 - 筆記型電腦上，它只能拱手讓給冷陰極射線管。至於要如何開發出更高輝度，則

義守大學 電子系

顯示器實驗室

以粉體交流電激發光背光之標示。粉體交流電激發光顏色多樣，可依需要做適當選擇，其亮度亦可由外加電壓源大小及頻率做調變。

有賴螢光粉體製造商與粉體交流電激發光製造商共同努力。

#### (3) 壽命

粉體交流電激發光另一個大問題就是使用壽命，雖然有些廠家製作的元件，其使用半衰減期可達一萬小時，但和其他光源相比，像無機材料發光二極體可達十萬小時，顯然還是有段距離，更何況無機材料發光二極體只需簡單的直流電源。因此，無機材料發光二極體占有目前絕大部分的背光源市場。當然，使用壽命長短，最主要決定因素是螢光粉體，粉體研發刻不容緩，但如何有效突破現有封裝技術也是另一個可以思考的方向。

#### (4) 聲音干擾

高科技時代的來臨造成通信商品的崛起，手機與個人數位助理上液晶螢幕的背光需求擴增，粉體交流電激發光已逐漸流行。尤其是個人數位助理，這樣的尺寸說大不大，說小又不會太小，並不適合使用冷陰極射線管或無機材料發光二極體，只有粉體交流電激發光應用起來最恰當。但元件的驅動需要交流訊號，與驅動器搭配往往會產生音頻的問題，如果個人數位助理想要具備手機功能，就得想辦法解決聲音干擾的問題。

#### 遠景

發光元件日新月異，所有研發人員都在工作崗位上全力以赴，誰也無法預知下一刻又有什麼新的材料會被發掘，又有什麼新的結構會被建立，又有什麼新的技術會被突破。尤其像粉體交流電激發光技術結合了複雜的固態化學、材料科學、印刷技術與電學。惟有持續地研發，才能使產品在市場上屹立不搖，而符合人性化的需求，呈現視覺之美才是產品最終的目標。

蘇水祥 橫山明聰 朱健慈

義守大學電子工程系

江俊德

聯銓科技公司