**LED與OLED的比較**

學號:4A23A043

姓名:林郁翔

**摘要**

古代的時候，人們晚上讀書總是靠著點蠟燭、抓螢火蟲來維繫一點光明，而現代

路上、汽機車上的燈，居家的燈具，電視的螢幕、平板的螢幕……等，這些帶給人類光明的物品，讓我們看見了”光”，從我們出生的那天起漸漸的出現在我們的生活中，LED、ØLED與我們的生活息息相關，但我們卻不了解它們的原理與用處，藉著這次報告讓我們能曉得它們的歷史發展，也了解到LED與OLED的原理和製造過程，然後藉著應用與優缺點，來比較兩者之間的差異。

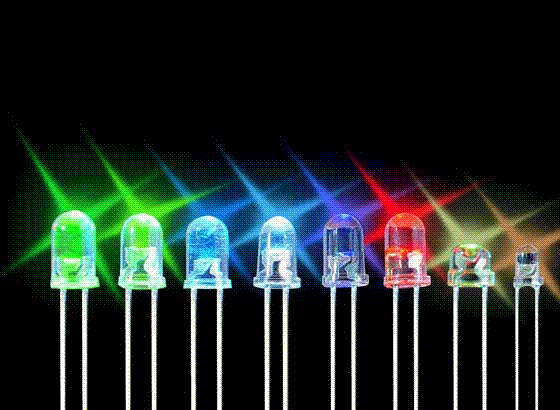
**關鍵詞**

LED、OLED、LED比較、OLED比較

1. **前言**

1-1什麼是LED?

LED為 Light Emitting Diode的縮寫，中文名子為發光二極體，是一種以半導體為發光的材料的電子元件如圖(一)，一般是作為指示燈、顯示板，但目前隨著技術增加，已經能作為光源使用，它不但能夠高效率地直接將電能轉化為光能，而且擁有最長達數萬小時～10 萬小時的使用壽命，同時具備不若傳統燈泡易碎，並能省電，同時擁有環保無汞、體積小、可應用在低溫環境、光源具方向性、造成光害少與色域豐富等優點。



圖(一)不同顏色的發光二極體元件[1]

1-2 LED的發展歷史

發光二極體(Light Emtting Diode)的歷史起源於 1907 年，當時對於材料的掌握，發光的機制都尚未明確，H. J.Round 發現 SiC 的微晶結構具有發光的能力，隨即公開發表 在《電子世界》期刊，這是第一顆發光的 LED，Round 在文中指出第一顆 LED 是一種蕭基特二極體，並非 PN 接面二極體。1936 年，Destriau 公開發 表 ZnS 為 II-VI 半導體材料的 LED，此後 SiC 及 II-VI 族半導體已是廣為人知的發光材料。1952-1953 期間，Heinrich Welker 第一次展示出使用 III-V 族 半導體做為發光材料，此後 III-V 族半導體材料引起大量的注意，III-V 族半 導體材料如GaAs，相繼被應用在波長 870-980 nm 的紅外光 LED 及被用來 做為 Laser 的材料。

1962 年，Holonyak 和 Bevacqua 在應用物理期刊發表了使用 GaAsP 為 發光材料的紅光 LED，這是第一顆可見光 LED，使用氣相磊晶法（VPE） 在 GaAs 基板上成長出 GaAsP 二極體 PN 接面，其優點為磊晶方法簡易及低 成本花費，但是由於 GaAsP 與 GaAs 並非晶格匹配的材料系統，在 GaAsP 與 GaAs 薄膜界面因為晶格不匹配的緣故，造成種種缺陷，導致發光效率不 良，估計約為 0.11 m/W。由於先天上的問題，GaAsP/GaAs 系統直到 1969 年，才由 Nuese 發現經由磊晶一定厚度 GaAsP 緩衝層，可以提高其發光效率，此為不匹配材料系統一重要發現，其觀念沿用至今。[2]

1993年，日本日亞化學工業（Nichia Corporation）工作的中村修二成功把鎂摻入，造出了基於寬能隙半導體材料氮化鎵和氮化銦鎵（InGaN）、具有商業應用價值的藍光發光二極體。有了藍光發光二極體後，白光發光二極體也隨即面世，之後LED便朝增加光度的方向發展，當時一般的LED工作功率都小於30至60mW（毫瓦）。1999年輸入功率達1W（瓦）的發光二極體商品化。這些發光二極體都以特大的半導體晶片來處理高電能輸入的問題，而半導體晶片都是被固定在金屬片上，以助散熱。[3] 材料技術、晶片尺寸和外形工藝的進一步發展使商用化LED燈的光通量提高了幾十倍。曾經微弱發光的LED現在正預示著LED燈新時代的來臨。

1-3什麼是OLED?

**有機發光二極體**（英文：**Organic Light-Emitting Diode**，縮寫：**OLED**）又稱**有機電激發光顯示**（英文：**Organic Electroluminesence Display**，縮寫：**OLED**）與薄膜電晶體液晶顯示器為不同類型的產品，前者具有自發光性、廣視角、高對比、低耗電、高反應速率、全彩化及製程簡單等優點，有機發光二極體顯示器可分單色、多彩及全彩等種類，而其中以全彩製作技術最為困難，有機發光二極體顯示器依驅動方式的不同又可分為被動式（Passive Matrix，PMOLED）與主動式(如圖二)。



圖(二)OLED分為主動式與被動式[4]

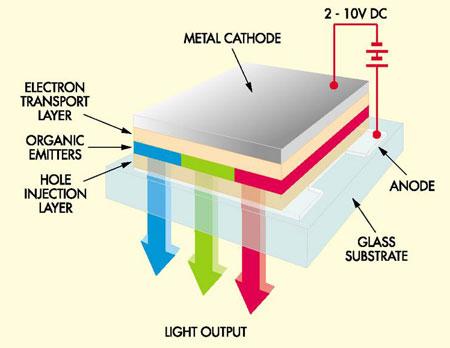
有機發光二極體可簡單分為有機發光二極體和聚合物發光二極體（polymer light-emitting diodes, PLED）兩種類型，目前均已開發出成熟產品。聚合物發光二極體主要優勢相對於有機發光二極體是其柔性大面積顯示。但由於產品壽命問題，目前市面上的產品仍以有機發光二極體為主要應用。[5]



圖(三)  SAMSUNG「Youm」軟性 OLED 螢幕軟性螢幕技術[6]

1-4OLED的發展歷史

最早在1963年時，Pope發表了世界上第一篇有關OLED的文獻，當時使用數百伏特的電壓通過Anthracene晶體時，觀察到發光的現象，但由於其過高的電壓與不佳的發光效率，在當時並未受到重視。一直到1987年美國柯達公司的C.W.Tang 及 Steve Van Slyke等人發明以真空蒸鍍法製成多層式結構元件(圖四)的小分子OELD元件後，可使電洞電子侷限在電子傳輸層與電洞傳輸層之界面附近再結合，大幅提高了元件的性能，其低操作電壓與高亮度的商業應用潛力吸引了全球目光。自此之後，OLED便在業界、學術界掀起了一股無法阻擋的旋風與魅力。而1990年英國劍橋大學的Friend等人成功的開發出以塗佈方式將多分子應用在OLED上，即Polymer LED，亦稱為PLED。不但再次引發第二次研究熱潮，更確立OLED在二十一世界產業中所佔有的重要地位。[8]



圖(四)OLED結構元件[7]

**二、發光理論**

2-1 LED發光理論

發光二極體只是一個微小的電燈泡。但不像常見的白熾燈泡，發光二極體沒有燈絲，而且又不會特別熱，它單單是由半導體材料裏的電子移動而使它發光。因為發光二極體沒有燈絲會燒壞，所以壽命就更長。並且發光二極體的小小塑性燈泡使得發光二極體更持久耐用，再加上LED可以更加容易適合現在的電子電路。傳統白熾燈的發光過程包含了產生大量熱量，這完全是浪費能源。發光二極體所發出的熱非常少，相對來說，越多電能直接發光就是越大程度上減少對電能的需求。

光是能量的一種形式，一種可以被原子釋放出來。是由許多有能量和動力但沒品質的微小粒子似的小捆組成的。這些粒子被叫做光子，是光的最基本單位。光子是因為電子移動才釋放出來。在原子中，電子在原子的四周圍以軌道形式移動。電子在不同的軌函數有著不同等的能量。通常來說，有著更大能量的電子以軌道移動遠離了核子。當電子從一個更低的軌道跳到一個更高的軌道，能量水準就增高，反過來，當從更高軌函數跌落到更低的軌函數裏時電子就會釋放能量。能量是以光子形式釋放出來的。更高能量下降釋放更高能量的光子，它的特點在於它的高頻率。

自由電子從P型層通過二極體落入空的電子空穴。這包含從傳導帶跌落到一個更低的軌函數，所以電子就是以光子形式釋放能量。這在任何二極體裏都會發生的，當二極體是由某種物質組成的時候，你只是可以看見光子。在標準矽二極體的原子，比如說，當電子跌落到相對短距離原子是以這樣的方式排列。結果，由於電子頻率這麼低的情況下人的眼睛是無法看得到的。

可見光LED，比如用在數位顯示式時鐘的，間隙的大小決定了光子的頻率，換句話說就是決定了光的色彩。當所有二極體都發出光時，大多數都不是很有效的。在普通二極體裏，半導體材料本身吸引大量的光能而結束。發光二極體是由一個塑性燈泡覆蓋集中燈光在一個特定方向。[9]

2-2 LED發光原理

LED是一種可以將電能轉化為光能的電子零件，並同時具備二極體的特性，也就是具備一正極一負極，LED最特別的地方在於只有從正極通電才是會發光，故一般給予直流電時，LED會穩定地發光，但如果接上交流電，LED會呈現閃爍的型態，閃亮的頻率依據輸入交流電的頻率而定。[10]

當PN接面加入順向偏壓時，P型區的多數載子電洞會往N型區移動，而N型區的多數載子電子則往P型區移動，最後電子與電洞兩載子會在PN接面之空乏區復合，此時因電子由傳導帶移轉至價電帶後喪失能階，同時以光子的模式釋放出能量而產生光。而LED之能量是以散射光的方式釋放，屬於冷性發光，另外，有些LED之發光原理則是藉由電子加速後之撞擊、游離化過程釋出能量而發光。

## 發光顏色與材料有關，不同材料的能隙有不同顏色的光

∴

### 可見光之波長範圍約為400nm~700nm，故反推其發光二極體之能隙須介於1.77eV~3.1Ev之間

#### **LED工作於順向偏壓，若外加順向偏壓越大，則順向電流越大，發光亮度越強**

2-3O LED發光理論

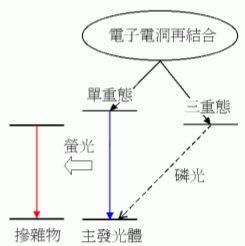
OLED元件係由n型有機材料、p型有機材料、陰極金屬及陽極金屬所構成。電子(電洞)由陰極(陽極)注入，經過n型(p型)有機材料傳導至發光層(一般為n型材料)，經由再結合而放光。一般而言，OLED元件製作的玻璃基板上先濺鍍ITO作為陽極，再以真空熱蒸鍍之方式，依序鍍上p型和n型有機材料，及低功函數之金屬陰極。由於有機材料易與水氣或氧氣作用，產生暗點(Dark spot)而使元件不發亮。因此此元件於真空鍍膜完畢後，必須於無水氣及氧氣之環境下進行封裝製程。

在陰極金屬與陽極ITO之間，目前廣為應用的元件結構一般而言可分為5層。，從靠近ITO側依序為：電洞注入層、電洞傳輸層、發光層、電子傳輸層、電子注入層。就OLED元件演進歷史中，1987年Kodak首次發表之OLED元件，係由兩層有機材料所構成，分別為電洞傳輸層及電子傳輸層。其中電洞傳輸層為p型之有機材料，其特性為具有較高之電洞遷移率，且其最高佔據之分子軌域(Highest occupied molecule orbital，HOMO)與ITO較接近，可使電洞由ITO注入有機層之能障降低。

而至於電子傳輸層，係為n型之有機材料，其特性為具有較高之電子遷移率，當電子由電子傳輸層至電洞電子傳輸層介面時，由於電子傳輸層之最低非佔據分子軌域(Lowest unoccupied molecule orbital，LUMO)較電洞傳輸層之LUMO高出甚多，電子不易跨越此一能障進入電洞傳輸層，遂被阻擋於此介面。此時電洞由電洞傳輸層傳至介面附近與電子再結合而產生激子(Exciton)，而Exciton會以放光及非放光之形式進行能量釋放。以一般螢光(Fluorescence)材料系統而言，由選擇率(Selection rule)之計算僅得25%之電子電洞對係以放光之形式做再結合，其餘75%之能量則以放熱之形式散逸。近年來，正積極被開發磷光(Phosphorescence)材料成為新一代的OLED材料[11]，此類材料可打破選擇率之限制，以提高內部量子效率至接近100%。  
 在兩層元件中，n型有機材料－即電子傳輸層－亦同時被當作發光層，其發光波長係由HOMO及LUMO之能量差所決定。然而，好的電子傳輸層－即電子遷移率高之材料－並不一定為放光效率佳之材料，因此目前一般之做法，係將高螢光度的有機色料，摻雜(Doped)於電子傳輸層中靠近電洞傳輸層之部分，又稱為發光層[12]，其體積比約為1%至3%。摻雜技術開發係用於增強原材料之螢光量子吸收率的重點技術，一般所選擇的材料為螢光量子吸收率高的染料(Dye)。由於有機染料之發展源自於1970至1980年代染料雷射，因此材料系統齊全，發光波長可涵蓋整個可見光區。在OLED元件中摻雜之有機染料，能帶較差，一般而言小於其宿主(Host)之能帶，以利exciton由host至摻雜物(Dopant)之能量轉移。然而，由於dopant能帶較小，而在電性上係扮演陷阱(trap)之角色，因此，摻雜層太厚將會使驅動電壓上升；但若太薄，則能量由host轉移至dopant之比例將會變差，因此，此層厚度必須最佳化。  
 陰極之金屬材料，傳統上係使用低功函數之金屬材料(或合金)，如鎂合金，以利電子由陰極注入至電子傳輸層，此外一種普遍之做法，係導入一層電子注入層，其構成為一極薄之低功函數金屬鹵化物或氧化物，如LiF或Li2O，此可大幅降低陰極與電子傳輸層之能障[13]，降低驅動電壓。  
 由於電洞傳輸層材料之HOMO值與ITO仍有差距，此外ITO陽極在長時間操作後，有可能釋放出氧氣，並破壞有機層產生暗點。故在ITO及電洞傳輸層之間，插入一電洞注入層，其HOMO值恰介於ITO及電洞傳輸層之間，有利於電洞注入OLED元件，且其薄膜之特性可阻隔ITO中之氧氣進入OLED元件，以延長元件壽命[14]。

2-4O LED發光原理

加入一外加偏壓，使電子電洞分別經過電洞傳輸層與電子傳輸層後，進入一具有發光特性的有機物質，在其內發生再結合，形成”激發光子”後，再將能量釋放出來回到基態，而這些釋放出來的能量當中，通常由於發光材料的選擇及電子自旋的特性，只有25%單重態的能量可以用來當作OLED的發光，其餘的75%(三重態到基態)是以磷光或熱的形式回到基態，由於所選擇的發光材料能階的不同，可使這25%的能量以不同的顏色的光的形式釋放出來，而形而OLED的發光現象(圖五)。



(圖五)二極體發光原理[15]

**三、製程說明**

3-1 LED製程初步介紹

在LED工廠生產中主要步驟是：清洗－裝架－壓焊－封裝－銲接－切膜－裝配－測試－包裝。

一、晶片檢驗   
鏡檢：材料表面是否有機械損傷及細微的坑洞。

二、擴片   
由於LED晶片在劃片後依然排列緊密間距很小（約0.1mm），不利於後工序的操作。我們採用擴片機對黏結晶片的膜進行擴張，是LED晶片的間距拉伸到約0.6mm。也可以採用手工擴張，但很容易造成晶片掉落浪費等不良問題。

三、點膠  
在LED支架的相應位置點上銀膠或絕緣膠。（對於GaAs、SiC導電襯底，具有背面電極的紅光、黃光、黃綠晶片，採用銀膠。對於藍寶石絕緣襯底的藍光、綠光LED晶片，採用絕緣膠來固定晶片。）製程難點在於點膠量的控制，在膠體高度、點膠位置均有詳細的製程要求。

四、備膠   
和點膠相反，備膠是用備膠機先把銀膠塗在LED背面電極上，然後把背部帶銀膠的LED安裝在LED支架上。備膠的效率遠高於點膠，但不是所有產品均適用備膠製程。

五、手工刺片   
將擴張後LED晶片（備膠或未備膠）安置在刺片台的夾具上，LED支架放在夾具底下，在顯微鏡下用針將LED晶片一個一個刺到相應的位置上。手工刺片和自動裝架相比有一個好處，便於隨時更換不同的晶片，適用於需要安裝多種晶片的產品。

六、自動裝架   
自動裝架其實是結合了沾膠（點膠）和安裝晶片兩大步驟，先在LED支架上點上銀膠（絕緣膠），然後用真空吸嘴將LED晶片吸起移動位置，再安置在相應的支架位置上。自動裝架在工藝上主要要熟悉設備操作編程，同時對設備的沾膠及安裝精度進行調整。在吸嘴的選用上儘量選用膠木吸嘴，因為鋼嘴會劃傷晶片表面的電流擴散層。

七、燒結   
燒結的目的是使銀膠固化，燒結要求對溫度進行監控，防止批次性不良。 銀膠燒結的溫度一般控制在150℃，燒結時間2小時。根據實際情況可以調整到170℃，1小時。絕緣膠一般150℃，1小時。銀膠燒結烘箱的必須按工藝要求隔2小時（或1小時）打開更換燒結的產品，中間不得隨意打開。燒結烘箱不得再其他用途，防止污染。

八、壓焊  
壓焊的目的將電極引到LED晶片上，完成產品內外引線的連接工作。LED的壓焊工藝有金絲球焊和鋁絲壓焊兩種。壓焊是LED封裝技術中的關鍵環節，工藝上主要需要監控的是壓焊金絲（鋁絲）拱絲形狀，焊點形狀，拉力。

九、封膠  
LED的封裝主要有點膠、灌封、模壓三種。基本上工藝控制的難點是氣泡、多缺料、黑點。設計上主要是對材料的選型，選用結合良好的環氧和支架。  
1.點膠：  
TOP-LED和Side-LED適用點膠封裝。手動點膠封裝對操作水準要求很高，主要難點是對點膠量的控制，因為環氧在使用過程中會變稠。白光LED的點膠還存在螢光粉沉澱導致出光色差的問題。  
2.灌膠封裝  
Lamp-LED的封裝採用灌封的形式。灌封的過程是先在LED成型模腔內注入液態環氧，然後插入壓焊好的LED支架，放入烘箱讓環氧固化後，將LED從模腔中脫出即成型。  
3.模壓封裝   
將壓焊好的LED支架放入模具中，將上下兩副模具用液壓機合模並抽真空，將固態環氧放入注膠道的入口加熱用液壓頂桿壓入模具膠道中，環氧順著膠道進入各個LED成型槽中並固化。

十、固化與後固化  
固化是指封裝環氧的固化，一般環氧固化條件在135℃，1小時。模壓封裝一般在150℃，4分鍾。 後固化是為了讓環氧充分固化，同時對LED進行熱老化。後固化對於提高環氧與支架（PCB）的粘接強度非常重要。一般條件為120℃，4小時。

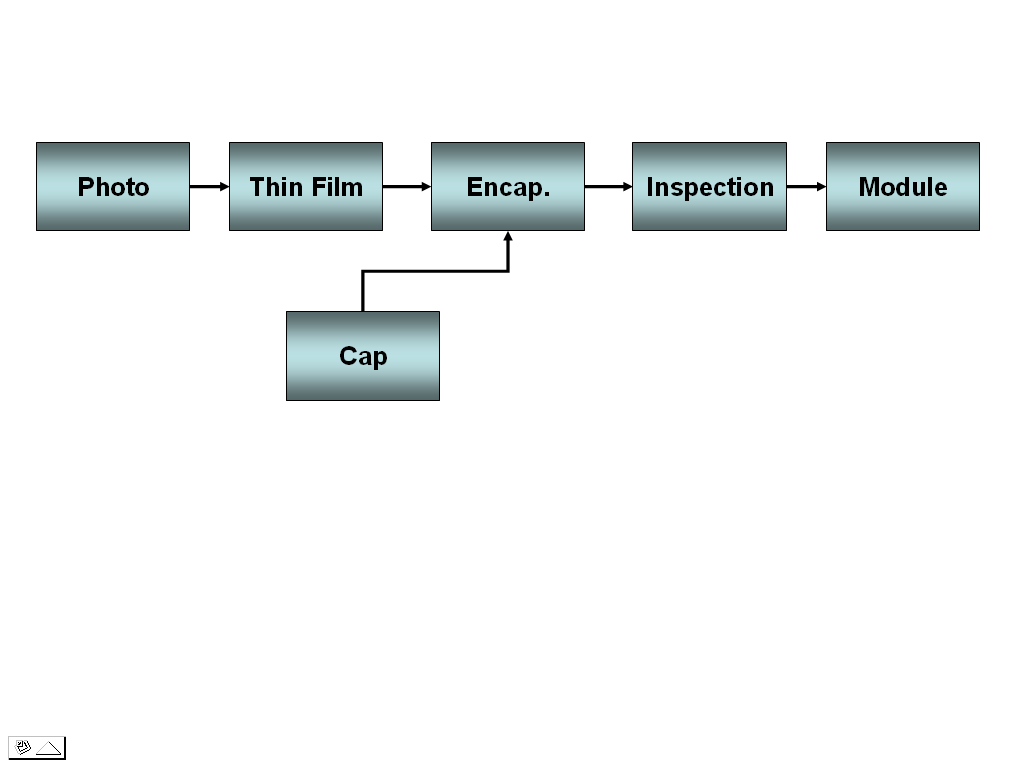
十一、切筋和劃片   
由於LED在生產中是連在一起的（不是單個），Lamp封裝LED採用切筋切斷LED支架的連筋。SMD-LED則是在一片PCB板上，需要劃片機來完成分離工作。

十二、測試   
測試LED的光電參數、檢驗外形尺寸，同時根據客戶要求對LED產品進行分選。

十三、包裝  
將成品進行計數包裝。超高亮LED需要防靜電包裝。[16]

3-2 OLED製程初步介紹

OLED的製程基本上可以分成黃光(photo), 薄膜(thin film), 蓋板(cap), 封裝(encapsulate), 檢測(inspection), 以及模組(module), 六個作業區. 使用的基板(substrate)與LCD所用的類似, 幾本上都是所謂透明導電玻璃(ITO glass), 只是OLED所用的要再多鍍上一層鉻(Chromium; Cr), 這層Cr負責陰極層對外線路的部分, ITO則是陽極層的部分. 目前基板尺寸大部分仍是370mm\*470mm。



**黃光區:**

黃光製程主要在於Pattern的製作, 一般分成 **Cr, ITO, PI, Rib**四個layer, Cr, ITO layer為蝕刻的製程, PI, Rib layer則是用塗佈的方式, 通常我們說”吃”兩層, 再“長”兩層。

Cr, ITO layer基本上分成**清洗,** **上光阻, 曝光, 顯影, 蝕刻, 去光阻**等步驟. Cr layer完成後會保留下未來每個pixel陰極層所需對外連結的線路, ITO layer則在完成每個pixel陽極層的部分。PI, Rib layer基本上分成**上光阻, 曝光, 顯影, 烘烤**等步驟; PI layer在於阻隔層(insulator)製作, 它是介於pixel和pixel之間的絕緣體, 而Rib則在製作邊牆(side wall), 用來分隔各pixel的陰極層(cathode separator)的部分(陰極層會在後續製程中用蒸鍍的方式鍍上來)。

黃光製程是目前OLED生產中較穩定的部分, 一般都採用In-Line機台的生產方式, 因為ITO電洞注入效率會受到ITO表面的污染影響, 如何達到高潔淨度ITO表面是比較需要注意的.

**薄膜區:**

鍍膜製程主要分成兩階段, 第一段在鍍上有機分子, 第二段則在鍍金屬陰極層,一般而言, OLED是用真空蒸鍍的方式, PLED則採用旋塗(spin-coating)的方式, 蒸鍍的層數, 在於產品的要求, 單色, 多彩或全彩層數各不同. 至於陰極層的部分一般都是採用蒸鍍的方式, 用鋁(aluminum, AL)作材料。

蒸鍍機有採獨立機台的模式, 機台間用真空推車來串聯, 如錸寶; 或是採用Multi-Chamber的模式, 利用機器手臂負責各chamber間串聯, 如悠景。

鍍膜製程是現階段OLED生產最critical的部分, 主要的瓶頸點在於Mask與基板的對位, 特別是高解析度, 全彩或大型面板, 而大尺寸, 高解析度Mask的製作也是影響量產的一大瓶頸, 此外如何穩定控制蒸鍍速度, 以及維持長時間連續蒸鍍, 期間Mask的儲存與交換, 都是影響良率的主要原因。

**蓋板區:**

蓋板的主要製程在於吸水劑的貼附, 吸水劑貼附後, 必須立刻與基板進行封合, 由於有機分子最怕受潮, 會影響產品壽命, 所以防潮是OLED很重要的一個議題。

**封裝區:**

主要製程是蓋板與基板的封合, 切割, 裂片, 完成後大片的基板已被切割成數片至數百片較小的面板(Panel). 蓋板與基板必須在限定的時間內完成封合, 否則會有受潮的可能性, 而如何防止水氣侵入是封合製程最重要的考量。

由於蓋版製程的時程較短, 所以蓋板的下線時機與生產的數量必須配合著基板的生產速度, 太快太慢, 過多過少, 都可能會造成蓋板或是基板因受潮而報廢。

**檢測區:**

主要步驟有點亮測試(Light On Inspection; LOI), 等級判定, 到此, 可以算是已經完成了OLED面板的製作。

**模組區:**

模組區在因應不同的產品應用需求, 將周邊的零組件安裝上去如圖(六), PCB, Driver IC, 邊框等….。[18]



(圖六)OLED模組零件[17]

**四、結論**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 應用產品 | 優點 | 缺點 |
| LED | 壁燈、燈條、家電產品、汽機車燈頭、光通信模組、條碼讀取頭…等 | 點滅速度快、耗電量低、元件壽命長、體積小、低電壓/電流、發冷光 | 不利於高溫環境、成本高、光源需方向性、演色性需加強、不利於回收 |
| OLED | 醫療用顯示器、平面電視、車用顯示器、筆記型電腦顯示器、手機面板..等 | 重量輕、厚度薄、構造簡單、低成本、廣視角、高亮度、全彩化、可撓性、大尺寸 | 色彩純度不足、發光元件壽命仍短、量產技術不足、大尺寸開發技術加強 |

在我們探討LED與OLED的時候，發現兩者發光原理很相似，都是利用電子電洞再發光區在結合時，使電子釋出能量，能量或以光的形式顯示，也就產生了光。

但兩者的結構卻相差了很多，LED 的結構大致上就是一塊半導體，其中一邊是 P 型半導體，另一邊是 N 型的半導體，兩者之間的介面就是發光區。OLED 雖然跟 LED 只差一個英文字，但是它的結構比較像 LCD 兩側有玻璃基板，中間有發光材料，而且發光材料是有機材質而非半導體，而OLED的電極至少有一邊必須是可以透光！

LED 以其光電轉換效能高著稱，使用 LED 燈具時幾乎 70% 的電能可轉化為光能，這聽起來很吸引人，但是對於普通用戶來說，這只是一個次要方面，重要的是 LED 的製造成本相當高！相應地，LED燈具也相當昂貴，也許這就是目前它無法取代螢光燈的主要原因。

現在讓我們來看看 OLED照明設備，它解決了 LED 燈具的主要問題：成本。同樣，這對於OLED 也只是一個次要問題，它的主要問題是效能太低，一份研究報告顯示，只有25%的電能被轉化為了光能，也就是說，它非常耗電。當然，它的價格很便宜而且有非常好的色域。

所以在每個時代，兩者都有它的技術，都有它可以應用的地方，我們並不能說哪一種比較好，但是我們都必須了解他們的價值與未來趨勢。

**參考文獻**

[1] LED圖片，<http://www2.nsysu.edu.tw/physdemo-kh/2012/C1/C1.php>

[2] 發光二極體發展歷史與半導體概念

<http://www.wunan.com.tw/www2/download/preview/5D91.PDF>

[3] 維基百科，發光二極體，

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%99%BC%E5%85%89%E4%BA%8C%E6%A5%B5%E7%AE%A1>，

[4] 簡金雄，國立交通大學OLED碩士班，"新世紀的 ”鑫” 科技──有機電激發光二極體平面顯示器技術"論文，P3頁

[5] 維基百科，有機發光二極體，<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%9C%89%E6%A9%9F%E7%99%BC%E5%85%89%E4%BA%8C%E6%A5%B5%E9%AB%94>

[6] SAMSUNG「Youm」軟性 OLED 螢幕軟性螢幕技術的 Windows Phone 8 原型機，

<http://www.engadget.com/2013/01/09/samsung-names-flexible-oled-display-series-youm-shows-prototype/>

[7] OLED結構元件，<http://www.jpgcs.com/post/2010/06/11/e7a094e7a9b6e4babae59198e7a094e58f91e587bae9ab98e69588e69c89e69cbae58f91e58589e6958fe699b6e4bd93e7aea1.aspx>

[8] 彰化師大藍光實驗室OLED網，OLED簡介，<http://ykuo.ncue.edu.tw/oled/oled_intro.htm>

[9]東曜LED科技股份公司，LED發光理論，<http://www.dytc.com.tw/hot_cg4452.html>

[10]LEDinside，什麼是LED?，發光原理，

<http://www.ledinside.com.tw/knowledge/20100108-27.html>

[11] M. A. Baldo et al., Nature, vol. 395, 151-154, 1998.

[12] C. W. Tang et al., J. Appl. Phys. 65, 3610(1989).

[13] L. S. Hung et al., Appl. Phys. Lett., 70, 152(1997).

[14] S. A. VanSlyke, C. W. Tang, L. C. Robert, US 4, 720, 1988, 432.

[15] 彰化師大藍光實驗室OLED網，OLED簡介，二極體發光原理，

<http://ykuo.ncue.edu.tw/oled/oled_intro.htm>

[16] LEDinside，LED製成初步介紹

<http://www.ledinside.com.tw/knowledge/20070724-472.html>

[17]RAYSTAR，OLED模組<http://www.raystar-optronics.com/products-category.php?lang=tw&CID=3>

[18]劉益群，新能科技經理，OLED簡介.doc