

光電業原物料耗用

通常水準

## 前言

光電產品所涵蓋之範圍極廣。依照臺灣光電科技工業協進會2001年對光電產品之界定範圍，可將光電產品分為六大類如下：

### 一、光電顯示器：

液晶顯示器、發光二極體顯示器、真空螢光顯示器、電漿顯示器、電激發光顯示器、數位投影機。

### 二、光儲存：

裝置 — 消費用途、資訊用唯讀型、資訊用可讀寫型等碟機產品。

媒體 — 唯讀型、可寫一次型、可讀寫型等碟片產品。

### 三、光輸出入：

影像掃描器、條碼掃描器、雷射印表機、傳真機、影印機、數位相機等。

### 四、光電元件：

發光元件 — 發光二極體、雷射二極體等。

受光元件 — 光二極體、光電晶體、電荷耦合元件、CMOS 影像感測器二極體等。

複合元件 — 光耦合器、光斷續器。

光學元件 — 透鏡、稜鏡、面鏡、濾鏡、玻璃/塑膠鏡片、球面/非球面鏡片等。

### 五、光通訊：

光通訊零組件 — 光纖、光纜、光主動元件、光被動元件。

光通訊設備 — 光纖區域網路設備、電信光傳輸設備、有線電視光傳輸設備、光通訊量測設備等。

### 六、雷射及其他光電應用：

雷射本體、工業雷射、醫療雷射、光感測器等。

本次調查僅針對第四類，光電元件的發光二極體 (LED) 進行調查及報告。

## 第一章、發光二極體 (LED) 概述

### 一、LED 的發展

LED 發展歷史如下：<sup>[1]</sup>

1955 年，美國 Radio Corporation of America 公司的 Rubin Braunstein 首次發現了砷化鎵 (GaAs) 及其他半導體合金的紅外發光現象。

1962 年，美國通用電氣公司的 Nick Holonyak Jr. 開發出第一種實際應用的可見光發光二極體。

1978 年 R. D. Dupuis, P. D. Dapkus 利用多重量子 (Multi quantum Well) 結構產出 LED 之製作方式。

1993 年，日本日亞化學工業 Nichia Corporation 的中村修二 (Shuji Nakamura) 成功把氮滲入，造出了具有寬禁帶的半導體材料氮化鎵 (GaN) 和銦氮化鎵 (InGaN) 的藍光 LED。有了藍光 LED 後，白光 LED 隨即研發出來。其後 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 60 mW (毫瓦特)。

1999 年，輸入功率達 1W (瓦特) 的 LED 商品化。這些 LED 以特大的半導體晶片來處理高電能輸入的問題，而這些半導體晶片都固定於金屬片上，使易於散熱。

2002 年，市場上有 5W 的 LED 的出現，而其效率大約是 18 lm/W ~ 22 lm/W (流明/瓦特)。

2003 年，美國 Cree 公司展示了新款的藍光 LED，在 20mW 下效率有 35%。他們亦製造了一款達 65 lm/W 的白光 LED，是當時市場上最亮的白光 LED。

2005 年，Cree 公司展示了一款白光 LED 原型，在 350mW 下，效率達 70 lm/W。

2009 年，日本 LED 廠商日亞化工 (Nichia) 發表了效率高達 249 lm/W 的 LED，雖只是實驗室數據，但已是當時最高發光效率的 LED。

2010 年，Philips Lumileds 製造一白色 LED，以標準測試條件及以 350mA 電流推動，發光效率達到 208 lm/W。

2012 年，美國 Cree 公司再領先推出發光效率達 254 lm/W 的 LED。

## 二、LED 特點

相較於傳統光源，LED 有下列優點：

(一) 使用壽命長，通常可達 5 萬小時以上：

在適當的散熱和環境下可達 5 萬小時 (螢光燈為 10,000 ~ 15,000 小時，白熾燈為 1,000 ~ 2,000 小時)。

(二) 驅動電壓低，耗電量少：

在低光度下，電能轉換成光能的效率高，所以比較省電，非常適合在低光度，如手機背光、夜燈等的需求中使用。若提高光度至如桌燈照明時，LED 的效率比鎢絲燈泡高。

(三) 應答速度快：

對於電源開關的應答，亦即亮暗閃爍頻率，LED 遠高於傳統燈泡。

(四) 構造堅固，利於環保：

由於 LED 是固態元件，沒有燈絲、玻璃罩等，相對螢光燈、白熾燈等，能夠承受更大震盪。又 LED 不含汞、鈉等危害健康的物質，所以可回收，避免造成環境污染。

(五) 體積小，可組合成各種形狀：

一顆 LED 本身體積可以造得非常細小（小於 2mm），因此易於組合成各種形狀。

(六) 便於聚焦：

因發光體積細小，所以容易以透鏡的方式聚焦或散焦。LED 的發光角度可藉著改變封裝外形。從大角度散焦到小角度聚焦都可以達成。

(七) 單色性強：

由於是單一能階發出的光子，所以相對大部分人工光源而言，LED 波長比較單一，能在不加濾光器下提供多種純色。

(八) 可提供多種選擇：

選擇包括：發光顏色、亮度、形狀等。

目前的 LED 也有如下缺點，尚待改進：

(一) 高光度下效率較低：

在一般照明用途上仍比螢光燈耗電，有些 LED 燈甚至比省電燈泡耗電。有些設計使用多枚 LED，在保持整體光度下，

讓每枚 LED 可以工作在較低光度來增加效率。但如此使得成本大為提高，售價很難降低。

(二) 效率受高溫影響而急劇下降：

溫度上升，則浪費電力，同時也產生更多熱，使溫度進一步上升。這種惡性循環，不僅浪費電力也縮短 LED 壽命，因此 LED 需要良好的散熱。

(三) 光度與電流是非線性關係：

做光度調節的電路比一般傳統照明電路更複雜。

(四) 照明器具須要光學設計：

因為 LED 光源面積小、光能分佈比較集中，作為照明用途時會刺眼，所以須要有特別的光學設計來分散光源，讓光線柔和。

(五) 演色性仍待加強：

傳統燈泡、鹵素燈演色性極佳，而螢光燈管也容易找到高演色性的產品；演色性低的光源照明不但會有顏色不正常的感覺，對視力及健康也有害。

(六) 每顆 LED 特性上都有些差異：

因生產技術上的高低起伏難以避免，所以 LED 的特性，如：亮度、顏色、**偏壓.....等**，即使是同一批次的 LED 差異也不少。

### 三、LED 原理

發光二極體 (Light-Emitting Diode，簡稱 LED) 是能發光的半導體電子元件。發光原理如下：

LED 的半導體元件(晶粒)由兩部分組成，一部分是 p 型半導體，主要導電載子是帶正電荷的“電洞 (hole)”；另一部分是 n 型半導體，主要導電載子是帶負電荷的“電子 (electron)”。當這兩種半導體連接起來的時候，在 p-n 介面附近區域，由於電子與電洞結合相消而缺少導電載子，形成載子的“空乏區 (depletion region)”。

如 Fig. 1，將外加電源正極 (+V) 接在 p 型半導體，負極 (-V) 接在 n 型半導體時，由於同性相斥的原理，電洞就會被推往負極去，電子被推往正極去，電子和電洞在空乏區 (發光區) 結合相消並放出能量，該電能以光子的形式放出，這就是 LED 發光的原理。

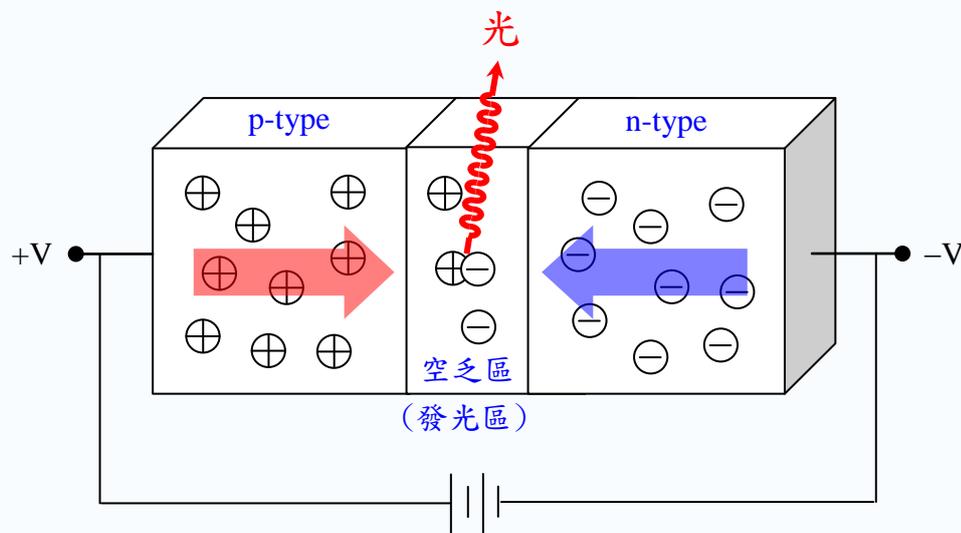


Fig. 1 發光二極體 (LED) 發光原理示意圖 [2]

LED 只能往一個方向加電壓，叫作正向偏壓。當加上電壓 (1.5V~3.8V)，電流流過時，電子與電洞在空乏區結合而發出單色光，這叫“電致發光”效應，而光線的波長、顏色跟其所採用的半導體材料種類與故意滲入的元素雜質有關。不同的半導體

材料中，電子和電洞的能階不同，所以放出光子的能量也不同。能量越大，光的波長越短，常見的 LED 有發紅光、黃光、綠光、藍光、白光等種類，如 Fig. 2。



Fig. 2 紅、綠、藍發光二極體 [3]

若 LED 兩端加反向電壓，則電流小到幾乎為零。但反向偏壓超過耐壓值時，LED 會被擊穿崩潰而損壞。此崩潰電壓一般約為 5V，也有做到崩潰電壓為 20~40V 的。

#### 四、LED 的上中下游

LED 產業主要可以分成上、中、下游三類。

上游是從長晶切割製成單晶片，再以單晶片作為成長用的基板，利用各種的磊晶成長法做成磊晶片。磊晶成長法有：液相磊晶成長法 (liquid phase epitaxy, LPE)、氣相磊晶成長法 (vapor phase epitaxy, VPE)、有機金屬氣相磊晶成長法 (metal organic vapor phase epitaxy, MOPVE 或稱 MOCVD) 等。LED 發光顏色與亮度由磊晶材料決定，且磊晶占 LED 製造成本 70%

左右，對 LED 產業極為重要。磊晶片長相大概是一個直徑 6 到 8 公分寬的圓形，厚度相當薄，就像是一個平面金屬一樣。

中游是在這些磊晶片上製作 LED 的電極，經過蝕刻製作電極後，依各 LED 晶粒的位置切割磊晶片，最後再將磊晶片崩裂成單顆晶粒。通常一片磊晶片可以切割為 2 萬到 4 萬個晶粒。這些晶粒長得很小，所以通常須用特殊膠帶固定之後，再送到下游廠商作封裝處理。

下游對這些晶粒進行封裝。封裝可以保護 LED 晶粒和提高光取出效率。封裝完成的 LED 成品依各種市場需求，包裝成各種應用產品，如指示燈(Lamp)、數字顯示器、點矩陣顯示器、紅外線發射器等產品。

因此如上述，LED 的上中下游廠商分業結構圖，如 Fig. 3。

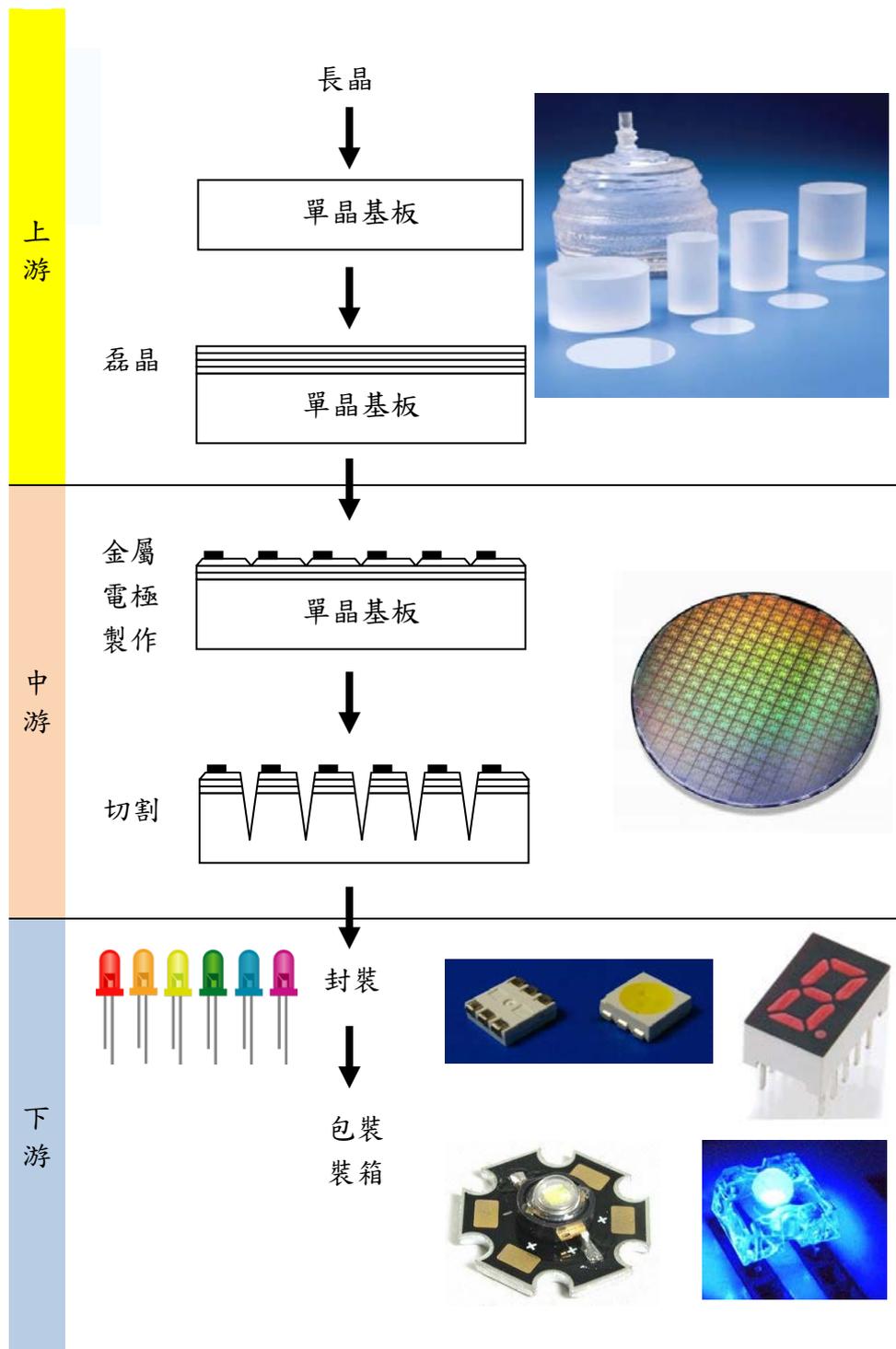


Fig. 3 LED 產業的上中下游分業結構圖<sup>[4]</sup>

## 五、LED 材料

LED 通常由 III-V 族化合物，如 GaAs (砷化鎵)、GaP (磷化鎵)、GaAsP (磷砷化鎵)、GaN (氮化鎵) 等半導體化合物磊晶於基板(substrate)製成的。

目前市面上 LED 晶片的基板材料 (簡稱：基材) 有 3 種：

### (一) 藍寶石 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )：

約占市面的 80% 強。優點是化學穩定性好，不吸收可見光、價格適中、製造技術相對成熟。但缺點是導熱性差。雖然 LED 在小電流工作中沒有明顯暴露此缺點，但功率型 LED 在大電流工作下，導熱問題比較嚴重。

### (二) 矽 (Si)：

只佔市場很小部分。矽晶片是熱的良導體，所以可以改善 LED 的導熱性，從而延長 LED 使用壽命，但目前技術尚未完全成熟。

### (三) 碳化矽 (SiC)：

SiC 作為基材的廣泛程度僅次於藍寶石，優點是化學穩定性好、導電導熱性能好、不吸收可見光等。因為較易解決功率型 LED 的散熱問題，所以在半導體照明技術領域占重要地位。SiC 的缺點是價格太高，晶體品質也很難達到  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和 Si 的等級、機械加工性能比較差，另外，SiC 吸收 380 nm 以下的紫外光，不適合用來生產 380 nm 以下的紫外光 LED。對於 LED 基板上的磊晶半導體材料和摻雜材料在週期表上屬於 III、IV、V 族。列出如下：

III 族：鋁 (Al)，鎵 (Ga)，銦 (In)

IV 族：碳 (C)，矽 (Si)，鍺 (Ge)

V 族：氮 (N)，硼 (B)，砷 (As)

在 LED 發展初期，材料採用砷化鎵 (GaAs)，只能發出紅外線或紅光。隨著材料科學的進步，各種顏色的 LED 現今都已能製造。Table 1 列出各種 LED 的無機半導體原料及發光顏色。

Table 1 各種 LED 的無機半導體原料及發光顏色 <sup>[1]</sup>

顏色	光波長 (nm)	正向偏壓 (V)	半導體
紅外線	>760	< 1.9	砷化鎵(GaAs) 鋁砷化鎵(AlGaAs)
紅	760~610	1.63~2.03	鋁砷化鎵(AlGaAs) 砷化鎵磷化物(GaAsP) 磷化銦鎵鋁(AlGaInP) 磷化鎵摻雜氧化鋅(GaP:ZnO)
橙	610~590	2.03~2.10	砷化鎵磷化物(GaAsP) 磷化銦鎵鋁(AlGaInP) 磷化鎵摻雜其他(GaP:)
黃	590~570	2.10~2.18	砷化鎵磷化物(GaAsP) 磷化銦鎵鋁(AlGaInP) 磷化鎵摻雜氮(GaP:N)
綠	570~500	2.18~4.0	銦氮化鎵/氮化鎵(InGaN/GaN) 磷化鎵(GaP) 磷化銦鎵鋁(AlGaInP) 鋁磷化鎵(AlGaP)
藍	500~450	2.48~3.7	硒化鋅(ZnSe) 銦氮化鎵(InGaN) 碳化矽(SiC) 矽(Si：研發中)
紫	450~380	2.76~4.0	銦氮化鎵(InGaN)
紫外線	<380	3.1~4.4	碳(C：diamond) 氮化鋁(AlN) 鋁鎵氮化物(AlGaN) 氮化鋁鎵銦(AlGaInN)

磊晶片經過中游製程切割成晶粒。晶粒是 LED 的主要發光源。按晶粒組成中所含有效元素的數目可將之分為：二元(例如：磷、鎵)、三元(例如：磷、鎵、砷)、四元(例如：磷、鋁、鎵、銦) LED。三元 LED 之可見光亮度一般較四元 LED 低，全彩螢

幕所用的紅光晶粒大部分是四元 LED，因為亮度比較高。雖然三元與四元的材質不同，四元亮度較高，但四元 LED 的電性不良比三元多，要防靜電，較難作業。

LED 本身是單色光源，而自然界的白光（陽光）的光譜是寬頻段的，所以 LED 本身不可能做到。白光 LED 是通過發出三原色的單色光（藍、綠、紅）或以螢光劑把 LED 發出的單色光轉化，使整體光譜含有三原色的光譜，令人有看見白光的感覺。

如 Table 2 所示，結合藍光 LED、紅光 LED 和綠光 LED 便可做出白光 LED，這樣產生的白光 LED 有較廣的色域，而且發光效率最好，但成本相當高。近年在生產技術的改進下，越來越多產品採用這方法。

Table 2 多原色（寬頻段）的 LED 的構成 <sup>[1]</sup>

多原色（寬頻段）			
紫(purple)		白(white)	
正向偏壓 (V)	構成	正向偏壓 (V)	構成
2.48 ~ 3.7	紅 LED + 藍 LED 藍 LED + 紅磷 白 LED + 紫色濾光器	2.9 ~ 3.5	藍 LED 或紫外線 LED + 黃磷 紅 LED + 綠 LED + 藍 LED

現在普及的白光 LED 都採用單一發光晶粒發出波長較短的光，如藍或紫外光，再用包覆的螢光物質把部分或全部光轉化成含有綠、紅光等波長較長的光。在轉化過程中，有部分能量化成熱能，造成能量損耗，因此發光效率較低。

例如：日亞化工開發並從 1996 年開始生產的白光 LED 採用藍光 LED 晶粒，波長 450 nm ~ 470 nm，包覆的螢光物質通常是摻雜了鈣的鈮-鋁-鎵 ( $Ce^{3+}:YAG$ )。LED 晶粒發出的部分藍光由螢光物質轉換成黃光為主的較寬光譜（光譜中心約為 580nm），由於黃光能刺激人眼中感測紅光和綠光的錐狀體細胞，加上原有餘下的藍光刺激人眼中感測藍光的錐狀體細胞，所以藍色 LED 晶片與黃色螢光物質一起發出的光，看起來就像白色光。但是這種 LED 的光譜特性與太陽光譜差別相當大，因此紅色和綠色的物體在這種 LED 照射下看起來就不像鎢絲燈、汞燈等寬頻譜光源照射時那麼鮮豔。另外由於生產技術精度控制的困難，這種 LED 的成品的色溫不易均一，所以在生產過程中會以其發光特性作出區分。

另一種白光 LED 是採用紫外光 LED 晶片，外面包著兩種螢光混合物：一種是發紅光和藍光的鎘，另一種是發綠光的銅和鋁摻雜了硫化鋅。紫外光 LED 晶片發出的紫外光被外層的螢光物質轉換成紅、藍、綠三色光，混合後就成了白光。但由於紫外線會使黏合劑中的環氧樹脂劣化變質，所以生產難度較高，而壽命也比較短。

紫外光 LED 晶片與藍光 LED 晶片做成的白光 LED 特性相比較，前者在光波轉化過程中有較多被化成熱能，因此效率較低，但好處是光譜的特性較佳，照射在物體時，顏色比較不會失真。因為紫外光的 LED 消耗功率較高，所以效率雖然比藍光 LED 低，但出來的亮度卻可以相近。

另一種較新的白光 LED 的製法，就沒再用螢光物質。方法是在基板上生長硒化鋅的磊晶層，通電時 p-n 介面的發光區會發出藍光而基板會發黃光，混合起來便是白色光。

價錢方面，紫外線、藍色、純綠色、白色、粉紅色和紫色 LED 是較紅色、橙色、綠色、黃色、紅外線 LED 貴的，所以前者在商業用途上比較遜色。

發光二極體是封裝在塑膠透鏡內的，比使用玻璃的燈泡或日光燈更堅固。而有時這些外層封裝會被上色，但這只是為了裝飾或增加對比度，實質上並不能改變發光二極體發光的顏色。

## 六、LED 晶粒的型式

LED 依晶粒的型式可分兩種：單電極與雙電極。

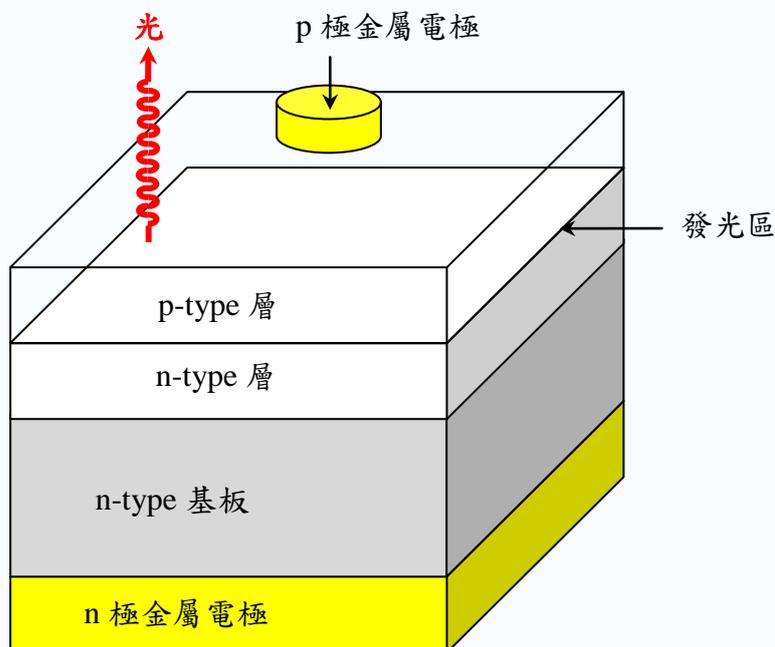


Fig. 4 單電極型式的 LED 構造簡圖 [2]

單電極型式的 LED 構造簡圖，如 Fig. 4。在 n-type 基板上，做 n-type 層及 p-type 層的磊晶，並做 p 極金屬電極，故基板上部只有單電極。n 極金屬電極則做在基板下方。

雙電極型式的 LED 構造簡圖，如 Fig. 5。在 n-type 基板上，做 n-type 層及 p-type 層的磊晶。再利用蝕刻方法，讓一個 n-type 小區塊露出，以便製作 n 極金屬電極，接著再製作 n 極和 p 極的金屬電極，故基板上部有雙電極。

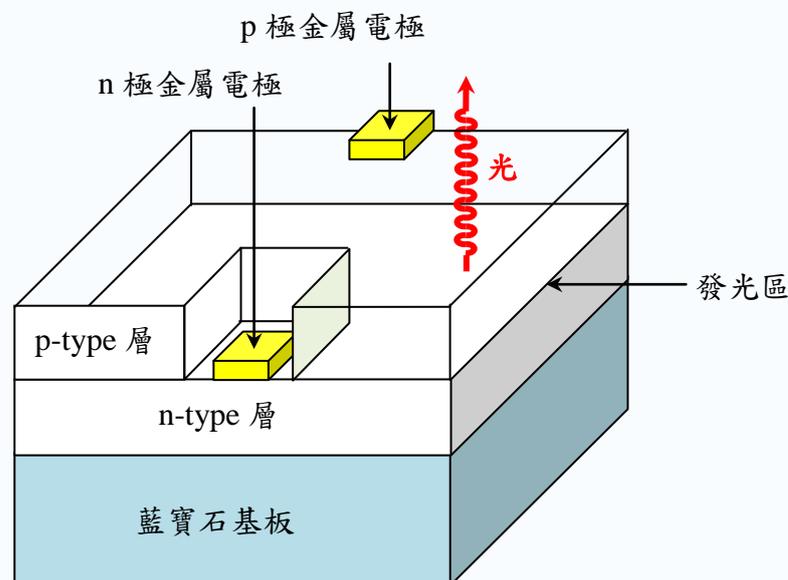


Fig. 5 雙電極型式的 LED 構造簡圖 [2]

上述 Fig. 4 及 Fig. 5 是 LED 的簡略構造。實際上的 LED 晶片構造，由於考慮各種功能及效率，可有多樣的變化。例如：可在 p-type 層與 n-type 層接觸的發光層，設計為多重量子井 (multiple quantum well 簡稱 MQW) 層，以調整發光波長及增加發光效率。

## 七、LED 晶粒封裝

LED 晶粒經過封裝才能成為最終產品。封裝的目的如下：

- (一) 引出電極接腳：便於使用者施加驅動電壓。
- (二) 保護晶片：使晶片不易受外界侵蝕。
- (三) 提高發光效率：晶片與空氣的折射率相差太大，光很難輸出。使用折射率匹配的環氧樹脂封裝 LED 則光較易輸出，故可提高發光效率。
- (四) 得到預期的發光強度的角分佈：使封裝的環氧樹脂產生透鏡或散射透鏡的作用，則可控制光的發散光形。
- (五) 產生預期的色光：在環氧樹脂中，摻雜適當的螢光材料，使封裝後的 LED 發出需要的色光。

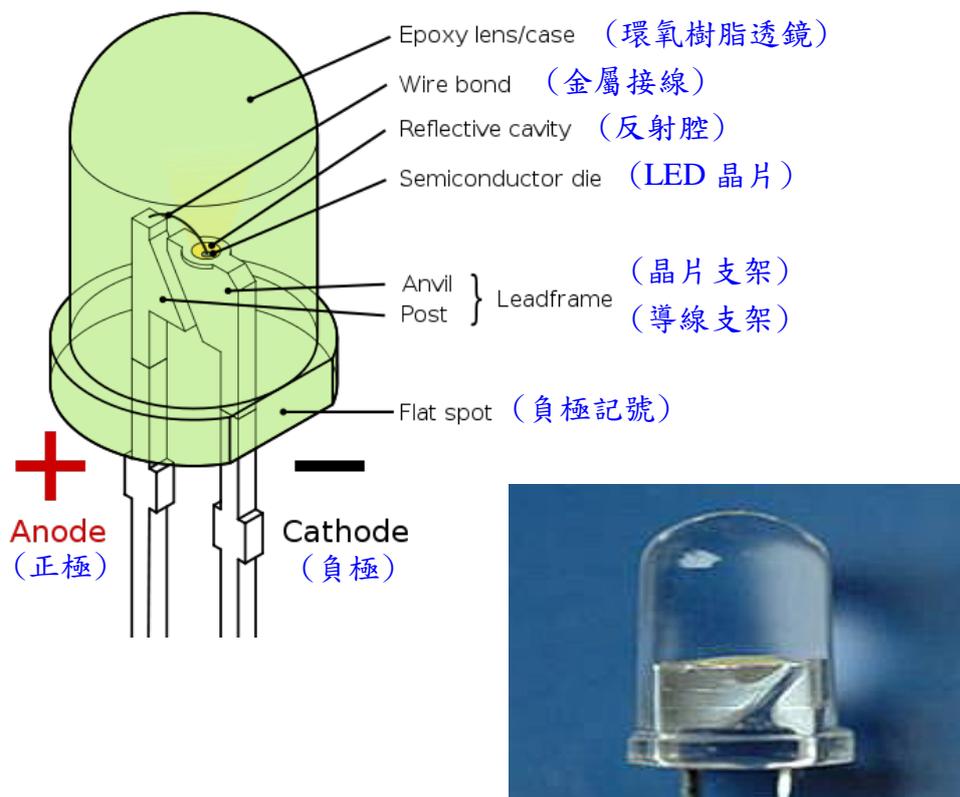


Fig. 6 Lamp LED 外型圖示及照片 (圖取自 Wikipedia)<sup>[1]</sup>

依目前 LED 的封裝型態，可作如下分類：

(一) 垂直 LED (Lamp LED)：

外型如 Fig. 6。封裝採用灌封的形式。在 LED 成型模腔內注入液態環氧樹脂，再插入 LED 支架，放入烘箱中讓環氧樹脂固化後，將 LED 從模腔中脫離成型。製造技術比較簡單、成本低，有較高的市場佔有率。

(二) 表面黏著 LED (surface mount device LED, 簡稱 SMD LED)：

LED 貼於線路板表面，採用了更輕的 PCB 板和反射層材料，改進後去掉了直插 LED 較重的碳鋼材料支架，使顯示反射層需要填充的環氧樹脂更少，目的是縮小尺寸，降低重量。這樣，表面貼裝 LED 可輕易地將產品重量減輕一半，最終使應用更加完美。

在 SMD LCD 中又有分側發光 LED (Side LED)及頂部發光 LED (TOP LED)兩種：

1. 側發光 LED

發光面在側面。例如，LCD (液晶顯示器) 的 LED 背光源。Lumileds 公司發明反射鏡的設計，將表面發光的 LED，利用反射鏡原理來發成側光，成功的將高功率 LED 應用在大尺寸 LCD 背光模組上。使用導線架的設計，也可以達到側面發光的目的，此種 LED 晶片是從最上層面發光，但可將發光面旋轉一個面焊接。側面發光直角 LED 有超小型和高亮度兩種，超小型是用於 LCD 背光源、呼叫器、行動電話；高亮度型是用作汽、機車第三剎車燈和戶外顯示器。

2. 頂部發光 LED

是比較常見的貼片式發光二極體，如 Fig. 7。主要應用於多功能超薄手機和 PDA 中的背光和狀態指示燈。

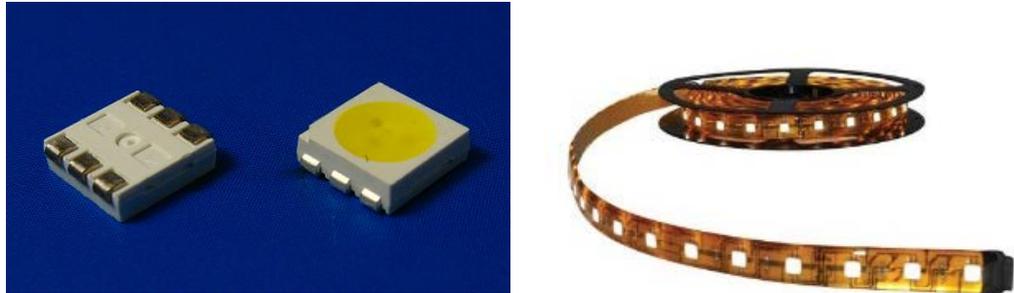


Fig. 7 (a) SMD LED 正反面外型 (b) 製成卷帶形式的 SMD LED [4, 5]

### 3. 食人魚 LED (Super Flux 或稱 Piranha)：

食人魚 LED 是正方形的，透明樹脂封裝，四個引腳，負極處有個缺角，散光型的 LED。若將有斜角的地方擺在右上角，右側的兩隻腳就是負極，左側的兩隻腳就是正極，但只要正負極各接一隻腳就會亮了。封裝後形狀像食人魚，如 Fig. 8。由於食人魚 LED 所用的引腳是銅製的，散熱面積比較大，因此傳熱和散熱快。LED 點亮後，pn 介面產生的熱量很快就可以由引腳導出到 PCB 的銅帶上，因此可以延長 LED 的使用壽命。食人魚 LED 用於車用燈泡分為 3mm 及 5mm，平頭及圓頭，操作電流一般為 70 mA，也因為封裝結構的特殊，所以單顆亮度勝過 Lamp LED，現今流行的光棒多以此製作。



Fig. 8 幾種食人魚型的 LED [6]

#### 4. 高功率 LED (High Power LED) :

為了獲得高功率、高亮度的 LED 光源，廠商們在 LED 晶片及封裝設計方面向大功率方向發展。目前，能承受數 W 功率的 LED 封裝已出現。比如 Norlux 系列大功率 LED 的封裝結構為六角形鋁板作底座(使其不導電)的多晶片組合，如 Fig. 9。底座直徑 31.75mm，發光區位於其中心部位，直徑約  $0.375 \times 25.4\text{mm}$ ，可容納 40 個 LED 晶片，鋁板同時作為散熱片。這種封裝採用常規晶片高密度組合封裝，發光效率高，熱阻低，在大電流下有較高的光輸出功率，也是一種有發展前景的 LED 固體光源。可見功率型 LED 的熱特性直接影響到 LED 的工作溫度、發光效率、發光波長、使用壽命等，因此，對功率型 LED 晶片的封裝設計、製造技術十分重要。

#### 5. 覆晶 LED (Flip Chip LED) :

LED 覆晶封裝就是將晶片倒裝於電路板，讓晶片背面出光的結構。在完成晶片製作後，將晶片覆設於覆晶轉接板上(凸塊製程)，並利用金球、銀球、錫球等焊接製程

以高週波方式焊接，然後做成 LAMP 或 SMD 進行膠體封裝，最後再將成品焊設於印刷電路板上，而完成其光源結構與製程。



Fig. 9 幾種高功率 LED <sup>[7]</sup>

## 第二章、 LED 的市場分析及產業動向

### 一、 LED 應用及產業動向

過去的 LED 多使用於數位顯示器，但近年也用於代替照明或標誌顯示的白熾燈與螢光燈。由於相關材料科技的快速進步，LED 也跟著亮度提高、價格降低及色彩多樣。目前產品除了有單個元件，也有數位顯示器、雙色、三色 LED、紅綠藍 LED、白光 LED、閃光 LED、紅外光 LED、紫外光 LED 等。

以亮度而言，市場上的大功率 LED 已有 105 lm/W，目前世界尖端科技已可達到 254 lm/W，未來科技發展的目標是 360 lm/W。以可見光 LED 而言，是以 1cd (燭光) 做為一般發光強度 LED 與高發光強度 LED 的分界點。

就發光光譜來說，除了已經有各種可見光的 LED，紅外光 LED 也有 850 nm、880 nm、940 nm 等波長的光。紫外光 LED

有 385 nm、405 nm、415 nm 等多種波長。

LED 應用的市場非常廣，包括資訊、通訊、醫療、消費性電子、汽車市場、號誌、看板、面板背光源、戶外照明以及一般照明等。產品所需驅動電流-電壓關係，如 Fig. 10 所示。

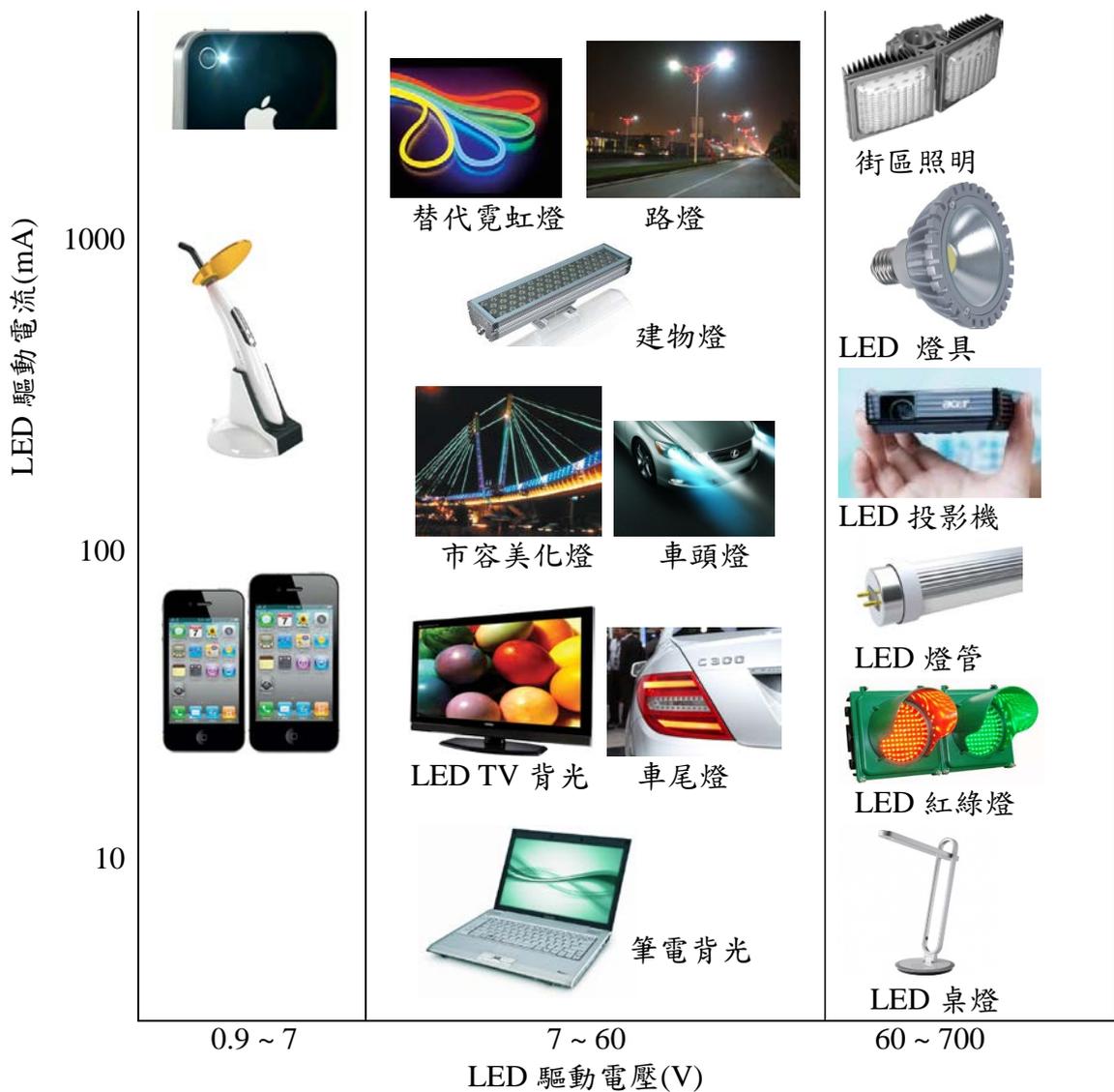


Fig. 10 LED 應用的市場<sup>[2,8]</sup>

目前較熱門的應用市場主要是：1.通訊產業的手機背光源及按鍵光源，2. LCD 顯示器背光光源，3.汽車產業的第三煞車燈、方向燈、尾燈、側燈、車內指示燈、閱讀燈及儀表板，4.各種產品、設備的狀態指示燈，5.交通、道路等的號誌，6.公共場所的廣告看板，7.照明用 LED。

## 二、LED 市場分析及前景

### (一) 國內企業

臺灣上游 LED 晶棒多仰賴進口。藍寶石晶棒 7 成依賴國外進口，3 成則由國內自製。國際大廠包括美國 Rubicon、俄羅斯 Monocrystal、日本京瓷(Kyocera)等，而國內有越峰旗下的臺聚光電、尚志、鑫晶鑽、佳品等，另外中美晶、合晶光長晶則主要以自用為主。

藍寶石基板廠的部分，目前國內基板廠的營運模式大體可分 2 種模式，合晶光、中美晶是從長晶、切片、研磨、拋光至圖案化藍寶石的一貫化垂直整合的廠商；兆晶、兆遠)和晶美則是以切片為主，晶棒則是外購或是由策略廠商供應，如長晶廠的鑫晶鑽。

LED 中游的晶粒產業有：光磊、億光、鼎元、晶電、璨圓、及華上等。其中多家公司除了 LED，也導入 LED 應用設計，生產 LED 顯示看板、光纖收發模組、DVD 讀寫頭、背光模組及照明產品。

LED 下游的封裝產業有：光寶科、億光、一詮、東貝、佰鴻、峯典、李洲、華興、宏齊、臺積電、艾迪森、光鼎、

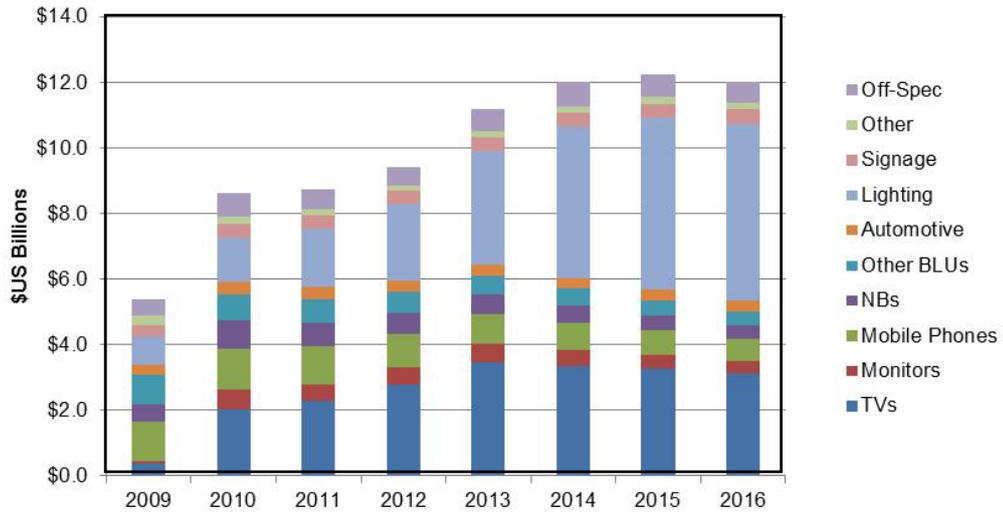
立碁、福華等。生產 LED 相關產品有：光電零組件、傳統型 LED、高亮度 LED 燈、電路板指示燈、SMD LED 燈、晶片型 LED、PLCC LED、LED 顯示器、7 字節 LED 顯示器、字母型 LED 顯示器、點矩陣 LED 顯示器、內建 IC driver LED 顯示器、圖型 LED 顯示器、白光 LED、晶片型白光 LED、PLCC LED、側向式 PLCC LED、LED 閃光燈、光源模組、高功率 LED、紅外光產品、光耦合器、紅外線發射元件、可見光、紅外線及照明系統模組等。

## (二) 全球市場

LED 全球市場約略逐年升高，如 Fig. 11，其中又以照明應用增長最為顯著。根據 SEMI 全球電子報預測：2012 年全球 LED 晶圓產能躍升 27%，臺灣產能全球第一，設備投資達 3.21 億美元。報告並指出 2012 年，全球 LED 製造產能將比 2011 年成長 27%，預計達 200 萬片，LED 製造設備支出 2012 年則預計將下滑 18%。其中，2012 年臺灣產能將占全球 25%，蟬連第一，臺灣設備支出則預計達 3.21 億美元，占全球第二。臺灣廠商在大陸地區的投資約占大陸設備支出四分之一，加上臺灣本地的投資金額，可達 5 億美元，顯見臺灣廠商在 LED 設備市場的影響力。臺灣 LED 產業產量雖是全球第一，但產值卻在 2009 年被韓國超過，成為全球第三，落後日、韓。2011 年全球 LED 銷售值依地區之分佈，如 Fig. 12 所示。

### 2009 - 2016 Packaged LEDs by Application

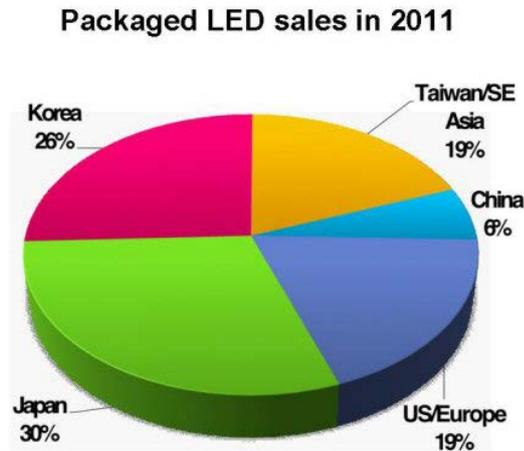
Revenues By Segment; Billions of Dollars



Source: IMS Research's Quarterly GaN LED Supply/Demand Report

Aug. 2011

Fig. 11 統計 2010 年全球 LED 的總產值及應用比重。 TVs (電視)， Monitors (監視器)， Mobile Phones (手機)， NBs (筆電)， Other BLUs (其他背光元件)， Automotive (車用)， Lighting (照明)， Signage (招牌)， Other (其他)， Off-Spec (非制式應用)。<sup>[9]</sup>



Source: Strategies Unlimited

Fig. 12 統計 2011 年全球 LED 銷售值依地區之分佈。<sup>[10]</sup>

受惠於 LED 背光電視的普及以及中國政府的補貼政策與刺激經濟方案的資金奧援下，近年全球高亮度發光二極體的產能擴充大幅成長，但隨著政策的調整與大環境的變動，2012 年全球的有機金屬化學氣相沉積系統(MOCVD)的機臺採購金額預計將下滑 40%，新機臺的採購數量將較去年大幅減少，部分投資將轉向現有機臺的升級，這也使得整體 LED 相關的設備支出將呈現五年來的首次下滑。至於非 MOCVD 的設備支出則預計 2012 年將呈現增長態勢，主要因為製造商須達生產最佳化，並提升產品設計品質，特別在微影、蝕刻、測試和封裝設備上的支出最為明顯。

目前 LED 的照明市場規模約為 25 億美元，預計在 2020 年將超過 300 億美元。臺灣政府在 2012 年投入約新臺幣 24.24 億元實施 LED 路燈示範計畫，包括 LED 路燈示範城市計畫、LED 路燈節能示範計畫、擴大設置 LED 路燈節能

專案計畫，預計帶動新臺幣 44.81 億元產值。

從地區來看，2012 年臺灣產能預計將以 25% 的占有率蟬連全球第一，其次是中國的 22%。設備支出方面，2012 年中國設備支出預估將以 7.19 億美元居全球之冠，其次是臺灣 3.21 億美元，而日本和韓國緊接在後，分別為 3 億美元和 2.6 億美元。至於新晶圓廠興建部分，SEMI 估計 2011 年全球有 29 家新 LED 晶圓廠，2012 年則預測將有 16 家新晶圓廠上線。

依 2010 年的統計，全球 LED 應用比重，如 Fig. 13 所示。

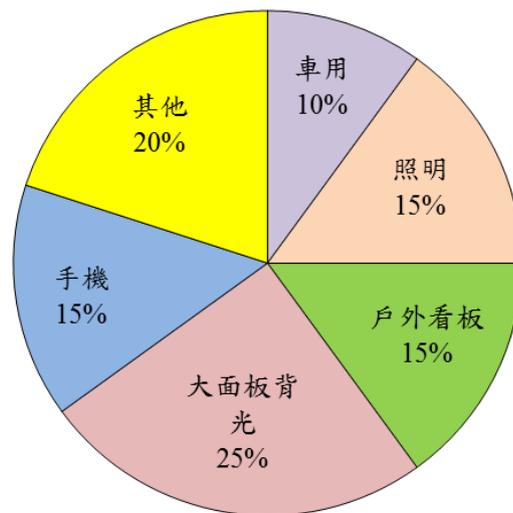


Fig. 13 統計 2010 年全球 LED 的應用比重(SEMI) [2]

對於其中照明的部分，統計過去幾年並預測未來的應用分佈，如 Fig. 14 所示。LED 照明的應用，主要包括建築照明、景觀照明、室內與戶外照明等。由於照明應用的持續成長，高亮度 LED 的市場也持續擴大，其市場預測如 Fig. 15 所示。根據 Digitimes Research 最新統計，如 Fig. 16，高亮

度 LED 市場規模將由 2010 年 82.5 億美元，成長至 2011 年的 126 億美元，年成長率將高達 53%，其中，LED 照明使用顆數由 2010 年 48 億顆，將增至 2011 年 124 億顆，主因為 2011 年 LED 燈炮取代傳統白熾燈效應開始顯現。

在 2005 年美國已將所有交通號誌以 LED 取代，同時也計畫在 2010 年 LED 燈取代目前 55% 的白熾燈與螢光燈。日本方面則在 2006 年已實現全國過半照明系統改為 LED 照明。美國能源局預測 2020 年傳統光源，如路燈、車燈等都將被 LED 取代。另外，較新型的液晶顯示器 (LCD) 背光、手機背光等，均已由 LED 光源取代。大陸也將全面採用 LED 照明，市場需求量十分可觀。

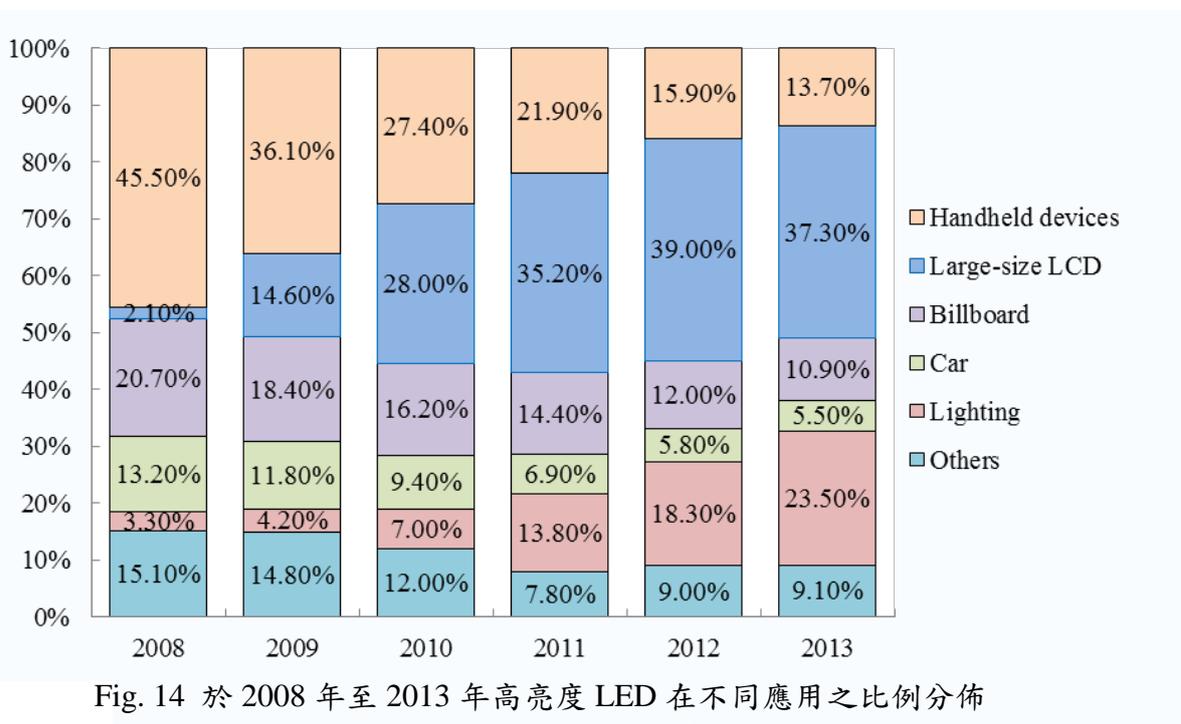


Fig. 14 於 2008 年至 2013 年高亮度 LED 在不同應用之比例分佈  
(Source : Digitimes, 2010 年 12 月) <sup>[11]</sup>

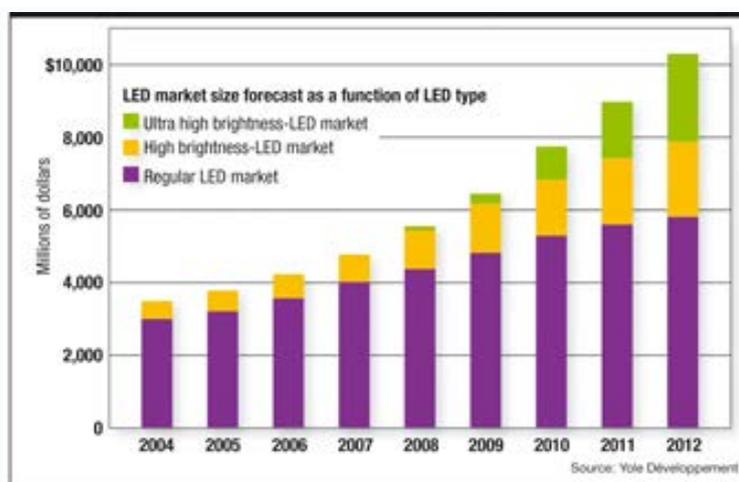


Fig. 15 於 2004 年至 2012 年，一般亮度、高亮度與超高亮度之 LED 市場增長趨勢。<sup>[12]</sup>

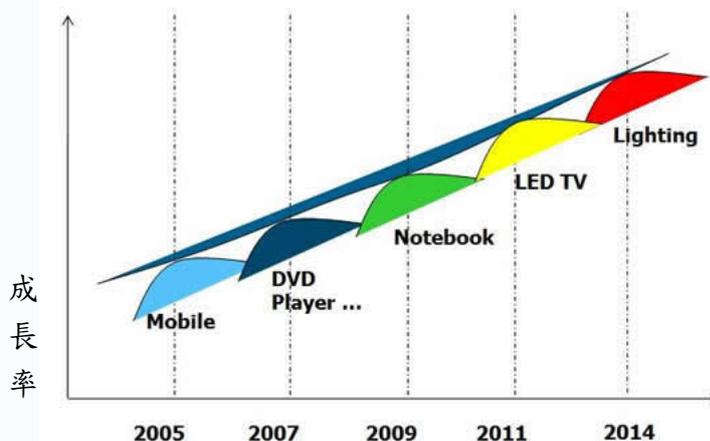


Fig. 16 於 2005 年至 2014 年，LED 帶動 LED 產業高度成長的應用產品。<sup>[13]</sup>

根據 IEK 報告，2008 年全球 LED 照明燈具市場規模約 19 億美元，佔全球照明市場比例僅約 2% 左右。應用領域多，多屬於導入市場初期，其中又以建築照明為初期最大的應用市場，包括建築照明、消費者掌上型照明（如手電筒等

等)、緊急照明等應用，合計約占全球 LED 照明市場 76% 比例。地區以歐洲和北美使用較多，占全球達 70% 以上，中國大陸、日本正快速成長中。

工研院 IEK 預期，在亞太地區國家市場新興需求帶動下，全球 LED 照明市場，從 2007 年到 2012 年的年複合成長率將達 28.5%。其中，2011 年起全球 LED 照明市場將加速成長，預估 2011 年和 2012 年的全球 LED 照明市場規模年成長率，都分別將達 40% 以上水準。預期到 2012 年，全球 LED 照明市場規模將達 52.9 億美元，占全球照明市場比例將達 4%-5%。又以商業/工業、戶外、住宅照明等應用市場，成長速度最快。根據 IEK 預估，從 2007 年到 2012 年，全球商業/工業用 LED 照明市場規模之年複合成長率將達 58%，戶外應用 LED 照明之年複合成長率更將達 99%，住宅應用之 LED 照明市場年複合成長率更達 102%。

LED 路燈方面，根據拓璞統計，全球路燈光源分佈以高壓鈉燈及水銀燈分別居第一、二，各占 62% 及 30% 市場占有率，由於主流高壓鈉燈相較 LED 路燈特性相比，LED 路燈明顯優勢在於省電、壽命長及演色性佳，但發光效率仍不及高壓鈉燈，以及散熱問題仍需克服。

### 第三章、 LED 的製造程序

臺灣 LED 產業的上中下游分工結構如 Table 3 所示。下面將分節介紹上中下游詳細製造程式。至於 LED 的應用方面產品種類繁多，製程則不在此處介紹。

Table 3 臺灣 LED 產業的上中下游分工結構

產業	成品	製程項目
上游 (晶片製造)	晶棒 單晶片 磊晶片	1.長晶 2.單晶片(晶圓)：將長好的晶棒切片，作為磊晶用的基板 3.結構設計：設計磊晶結構 4.磊晶成長：利用液相磊晶成長法(LPE)、氣相磊晶成長法(VPE)、有機金屬氣相成長法等
中游 (晶粒製造)	晶粒	1.金屬蒸鍍 2.光罩蝕刻 3.熱處理製作金屬電極 4.晶粒切割
下游 (晶粒封裝)	1.垂直 LED (Lamp LED) 2.表面黏著 LED (SMD LED) 3.食人魚 LED (Super Flux) 4.高功率 LED (High Power LED) 5.覆晶 LED (Flip Chip LED)	1.晶粒黏著 2.打線 3.樹脂封裝 4.剪腳 5.測試
應用	1.顯示應用：資訊看板、家電儀表、交通號誌、汽車用燈（第三煞車燈、儀表板）... 2.光源應用：掃描器讀取光源、LCD 背光源... 3.自動量控：遙控器、物體檢測、煙霧感測、滑鼠、光電耦合器... 4.通訊應用：無線、光纖資料傳輸模組... 5.醫療衛生殺菌、生物檢測控制...	

## 一、LED 上游製程

上游製程分兩部分：長晶及磊晶。

單晶生長方法有：焰熔法(Verneuile Method)、泡生法(Kyropulos Method)、導模法(EFG Method)、提拉法(Czochralski Method)、熱交換法(HEM Method)、水準傳動法(Bagdasarov

Method)等。在此，我們只介紹其中的提拉法。方法為將晶種浸入裝了熔湯的坩堝中，藉著轉動晶體攪拌熔湯，由熔湯提拉成長單晶。該長晶製作流程，如 Fig. 17 所示。

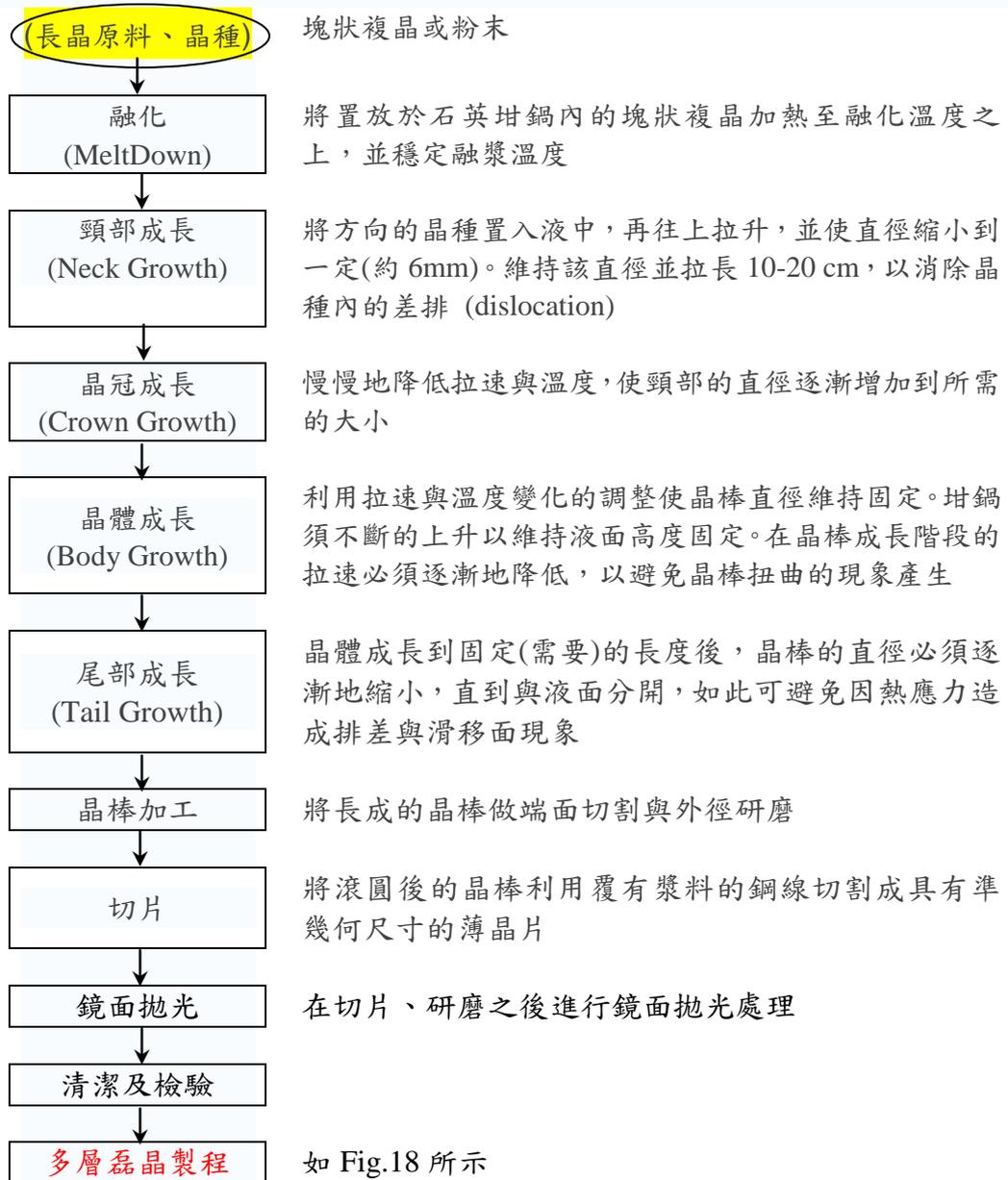


Fig. 17 LED 上游晶圓片製程。( )：表示需要耗材 [2]

有機金屬氣相磊晶製作流程如 Fig. 18 所示。

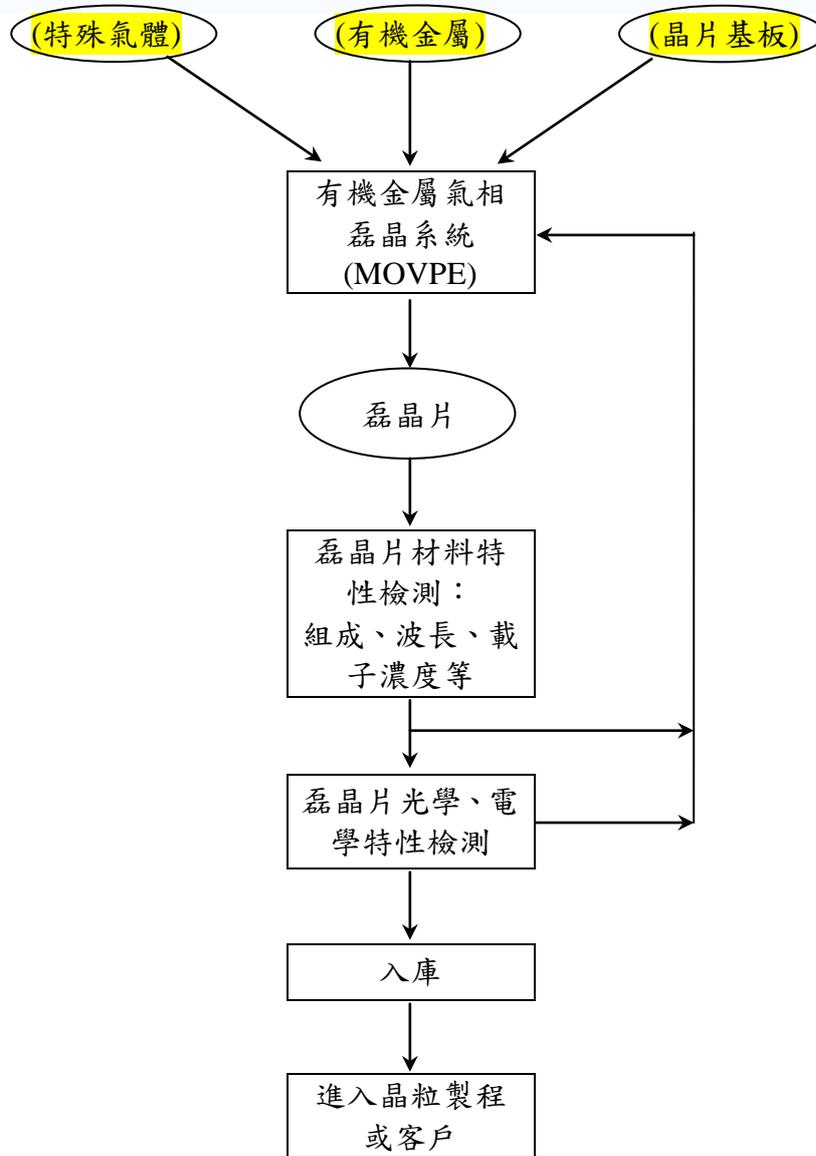


Fig. 18 LED 上游之有機金屬氣相磊晶製程。

( )：表示需要耗材 [2]

## 二、LED 中游製程

中游製程主要是以磊晶片來製作品粒，製程如 Fig. 19。

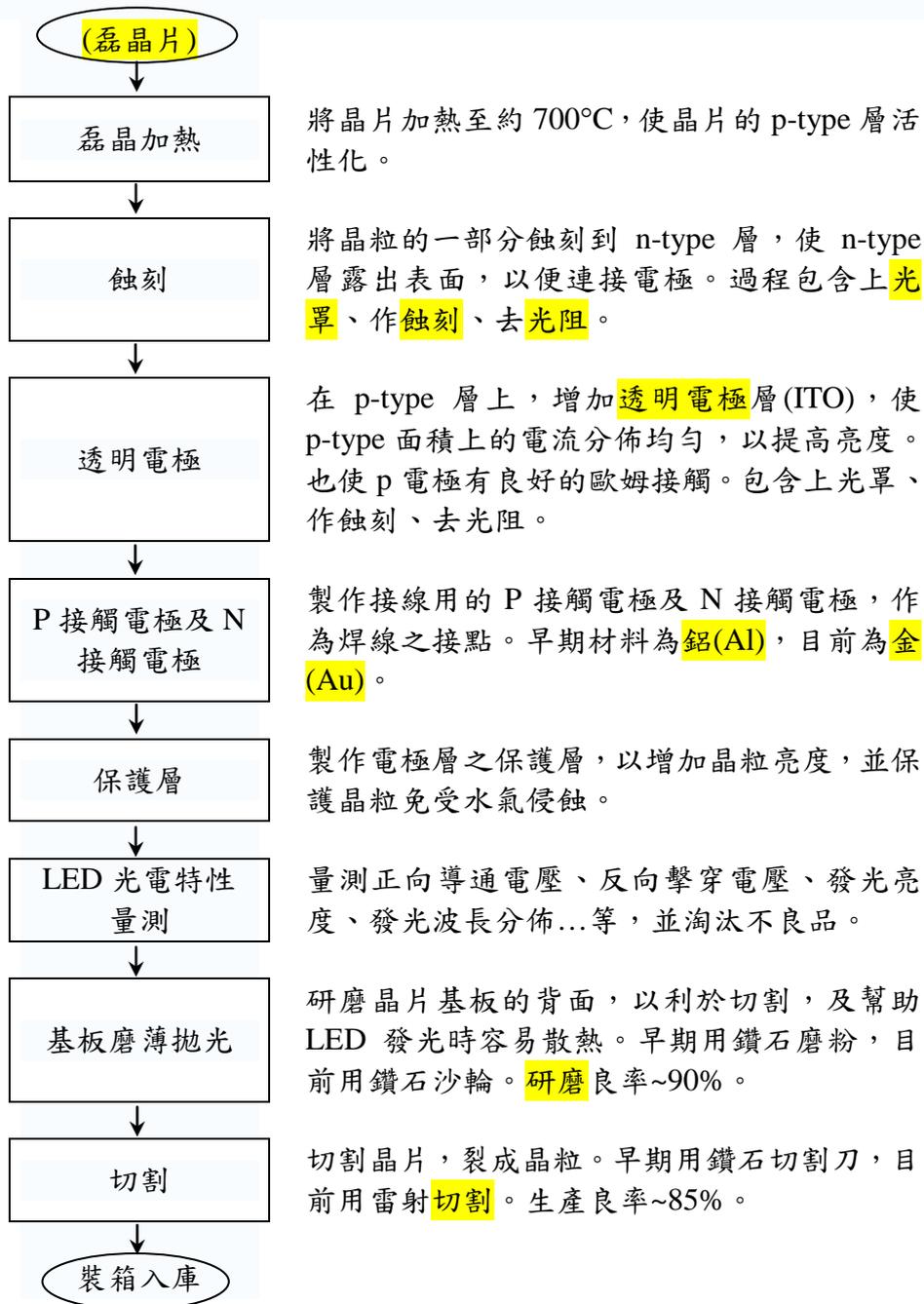


Fig. 19 LED 中游晶粒製作流程。( )：表示需要耗材<sup>[2]</sup>

### 三、LED 下游製程

LED 下游製程是封裝。如前所述，LED 有不同的封裝形式，如 Lamp-LED、SMD-LED、High-power LED 等，因此有不同的封裝製程。即使封裝形式，各廠家量產線上也會因機器、要求品質、規格不同而製程稍有不同。

歸納較重要的製程名稱，及其內容如下：<sup>[14]</sup>

#### (一) 晶粒檢驗：

檢查 LED 晶粒材料表面是否有機械損傷及細微的坑洞。

#### (二) 擴晶：

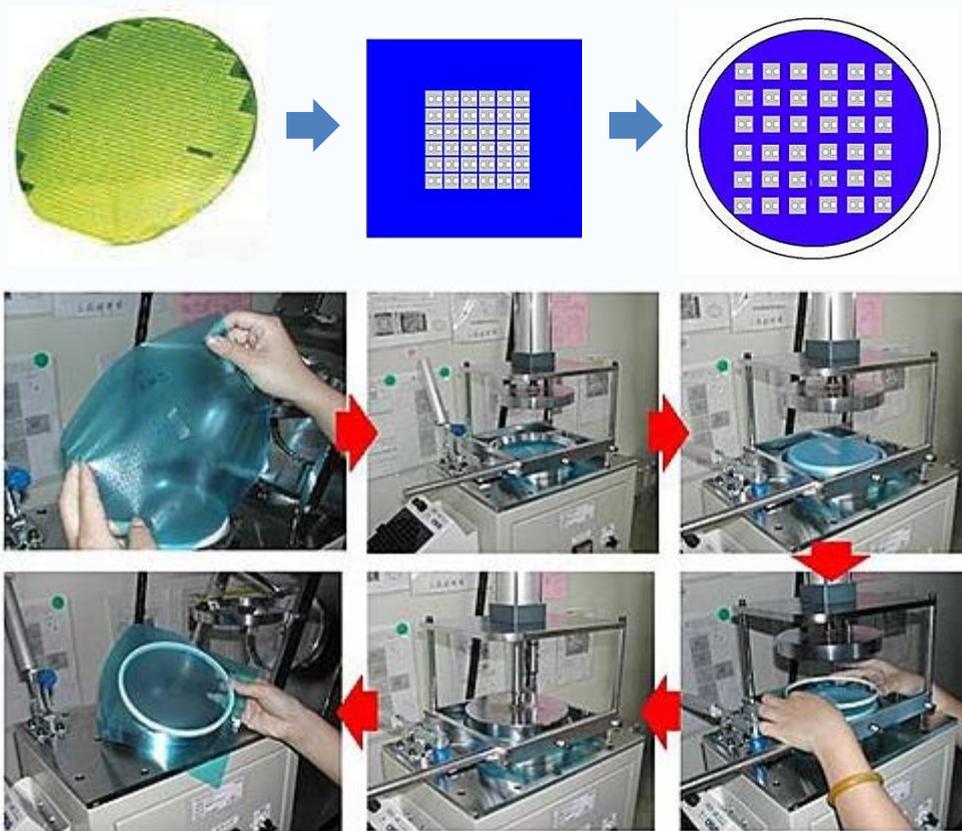


Fig. 20 擴晶製程圖示及實況<sup>[15]</sup>

由於 LED 晶粒在切割後依然排列緊密間距很小（約 0.1mm），不利於後製程的操作。故採用擴片機對黏著晶粒的膜進行擴張，將 LED 晶粒的間距拉伸到約 0.6mm，如 Fig. 20。也可以採用手工擴張，但很容易造成晶粒掉落浪費等不良問題。

### (三) 固晶(Die bonding)：

將晶粒固在支架(Leadframe)上，程式，如 Fig. 21。包含取晶粒、點膠、背膠、自動裝架、烘烤等步驟，分別敘述如下：

#### ● 取晶粒：

將擴張後的 LED 晶粒（背膠或未背膠）安置在取片臺的夾具上，LED 支架放在夾具底下，在顯微鏡下以手動方式將 LED 晶粒一個一個放置到相應的位置上。手動裝架和自動裝架相比有一個好處，就是便於隨時更換不同的晶粒，適用於需要安裝多種晶粒的產品。

#### ● 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。

#### ● 背膠：

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

- 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。

- 烘烤：

使銀膠固化，烘烤要求對溫度進行監控，以防止批次性不良。銀膠烘烤的溫度一般控制在  $150^{\circ}\text{C}$ ，烘烤時間 2 小時。根據實際情況可以調整到  $170^{\circ}\text{C}$ ，1 小時。絕緣膠一般  $150^{\circ}\text{C}$ ，1 小時。

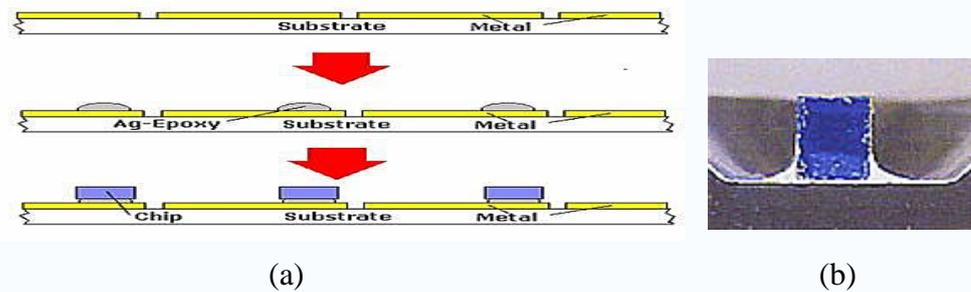


Fig. 21 (a)固晶製程圖示 (b)固晶後之晶粒上視照片<sup>[15]</sup>

#### (四) 鐳線(Wire bonding)：

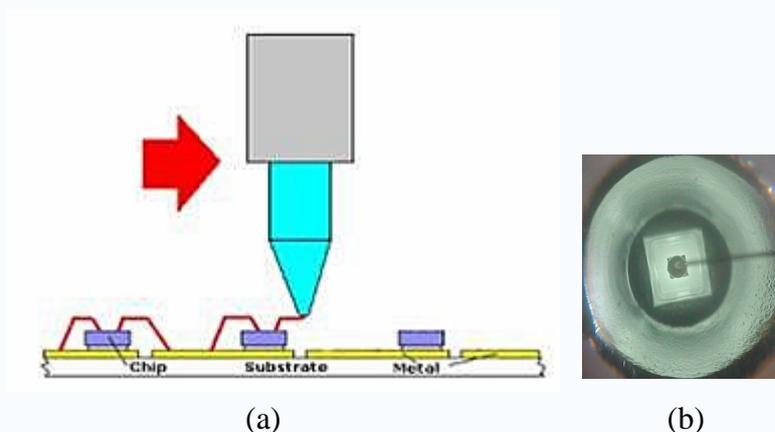


Fig. 22 (a) 鐳線製程圖示 (b) 鐳線後之晶粒上視照片<sup>[15]</sup>

如 Fig. 22，將電極引到 LED 晶片上，完成產品內外引線的連接工作。LED 的銲線技術有金絲球焊和鋁絲壓焊兩種。銲線是 LED 封裝技術中的關鍵環節，技術上主要需要監控的是銲線金絲（鋁絲）拱絲形狀，焊點形狀，拉力。

#### (五) 封膠(Encapsulation)：

封膠製程主要有點膠、灌封、模壓三種，如 Fig. 23 所示。基本上技術控制的難點是氣泡、多缺料、黑點。設計上主要是對材料的選型，選用結合性良好的環氧樹脂和支架。

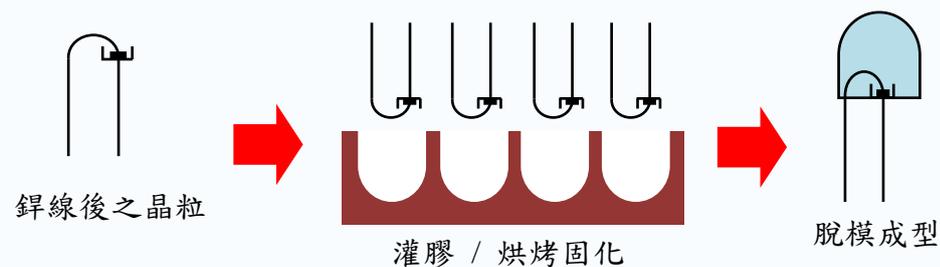


Fig. 23 灌膠、烘烤固化後即可脫模成型<sup>[2]</sup>

#### ● 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，因為環氧樹脂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。

#### ● 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樹脂，然後插入壓焊好的 LED 支架，放入烘箱讓環氧樹脂固化後，將 LED 從模腔中脫出即

成型。

- **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，將固態環氧樹脂放入注膠道的入口加熱用液壓頂桿壓入模具膠道中，環氧樹脂順著膠道進入各個 LED 成型槽中並固化。

- **固化與後固化：**

固化是指封裝環氧樹脂的固化，一般環氧樹脂固化條件約為 135°C，1 小時。模壓封裝一般約為 150°C，4 分鐘。後固化是為了讓環氧樹脂充分固化，同時對 LED 進行熱老化。後固化對於提高環氧樹脂與支架（PCB）的粘接強度非常重要。一般條件約為 120°C，4 小時。

(六) 切腳或切片：

由於 LED 在生產中是連在一起的（不是單個），Lamp 封裝 LED 須切斷 LED 支架的連接。SMD-LED 則是在一片 PCB 板上，需要切片機來完成分離工作。

(七) 測試：

測試 LED 的光電參數、檢驗外形尺寸。

(八) 分光：

同時根據客戶要求對 LED 產品進行分選。

(九) 包裝：

將成品進行計數包裝。超高亮度 LED 需要防靜電包裝。

以 Lamp-LED 封裝為實例，流程如 Fig. 24。

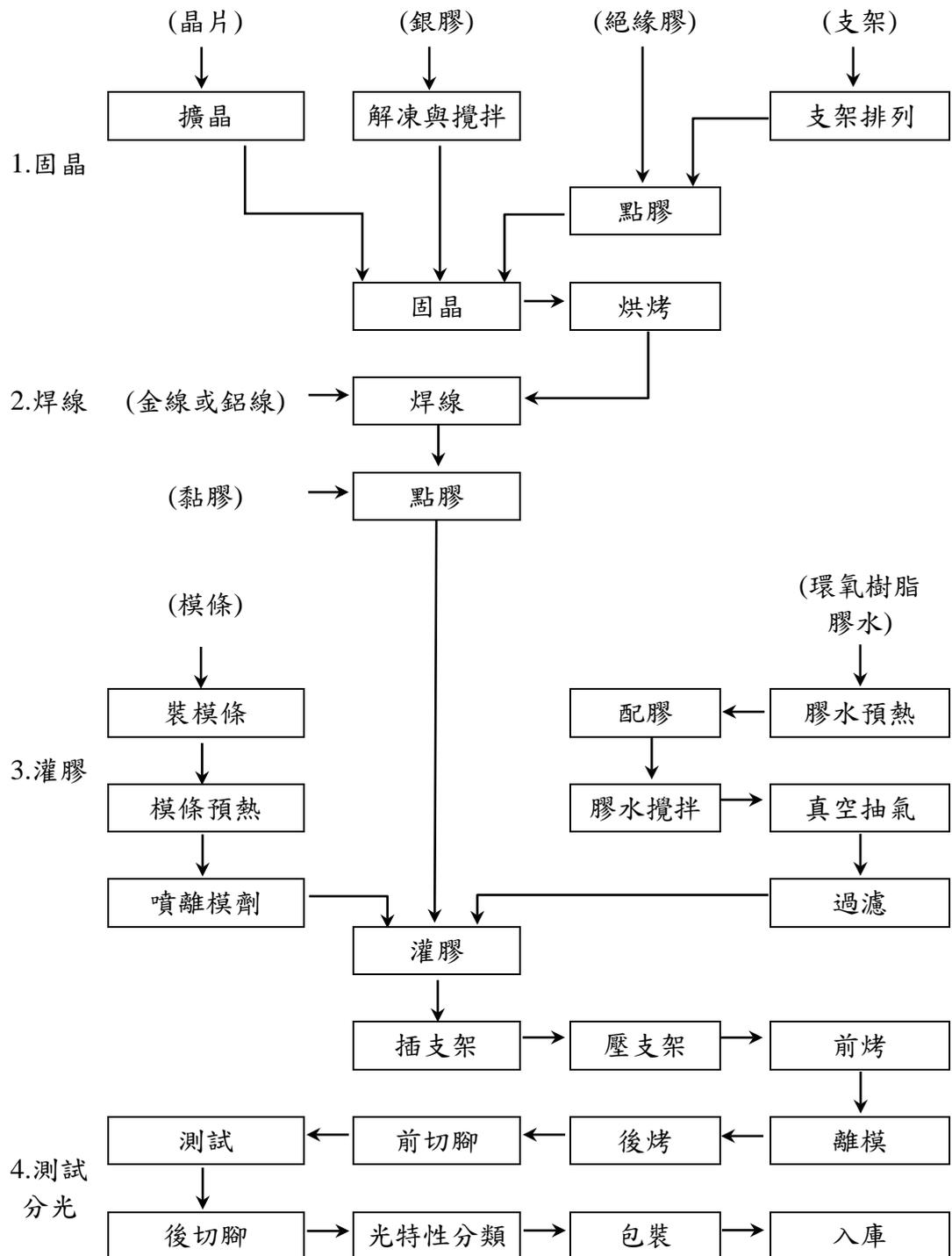


Fig. 24 Lamp-LED 封裝流程圖。 ( ) : 表示所需材料 [2]

#### 第四章、 LED 原物料耗用情形

綜合上述製程可知 LED 上、中、下游之原物料分別如 Table 4。原物料耗用情形則如 Table 5。

Table 4 LED 上、中、下游之原物料<sup>[2]</sup>

	原物料
上游：長晶	長晶原料、晶種
上游：磊晶	晶片基板、有機金屬、 特殊反應氣體(MOCVD 磊晶法)、摻入雜質
中游：晶粒	磊晶片、光阻、顯影液、蝕刻液、透明電極 材料、金(或鋁)線
下游：封裝	晶粒、銀膠或絕緣膠、支架、 金線或鋁線、環氧樹脂膠水

Table 5 原物料耗用情形 [2]

	原物料 名稱	來源	單位	損耗率
上游 (長晶)	長晶原料	臺灣、日本、中國	克(g)	10 %
	晶種	臺灣、日本、中國	個	0 %
上游 (磊晶)	晶片基板	臺灣	片	0 %
	有機金屬	臺灣、日本、美國	克(g)	90 %
	反應氣體 (MOCVD)	臺灣、日本、美國、 德國	瓶	90 %
	乘載氣體	臺灣、日本	瓶	90 %
	摻入雜質	臺灣、日本	克	90 %
中游 (晶粒)	磊晶片	臺灣、日本	片	0 %
	光阻液	臺灣	升(l)	50 %
	蝕刻液	臺灣	升(l)	無法估(一天換一次)
	清洗液	臺灣	升(l)	無法估(洗完倒掉)
	透明電極 材料	臺灣、日本、美國	克(g)	40 %
	金(電極用)	日本	克(g)	40 %
	研磨液	臺灣、日本	升(l)	無法估(一天換一次)
	研磨沙輪	臺灣	個	0 %
	藍膜	臺灣	捲、片	0%
下游 (封裝)	晶粒	臺灣、日本	個	0.20 %
	印刷電路 板(PCB)	臺灣	片	0.16 %
	支架(接腳)	臺灣	組	0.16 %
	金屬導線	日本	捲	0.16 %
	銀膠	臺灣、日本	克(g)	0.01 %
	金線	日本	捲	0.01 %
	樹脂	日本	公斤 (kg)	0.1 %

損耗原因：

上游：

**長晶原料**：長晶後的殘留。

**有機金屬、反應氣體、乘載氣體、摻入雜質**：反應後殘餘為耗損。

中游：

**光阻液**：旋轉塗布製程中，甩出之光阻液為耗損。

**透明電極材料(ITO)**：蒸鍍殘餘氣體耗損。

**金(電極用)**：點焊剩餘。

下游：

**晶粒**：在固晶製程中，自動插入時，機器吸嘴與晶粒未能對準。晶粒破損、晶粒位置不準確、lamp 黏晶站吸不起來導致損耗...等。

**印刷電路板(PCB)**：電路板金屬層蝕刻不良、電路板裁剪不良。

**支架**：封膠站試膠，造成支架損耗。

**銀膠**：置久未用，使銀與膠分離。取出一天未用完即丟棄。

**金線**：試線耗損。斷線、點焊不良。

**環氧樹脂膠水**：封膠站試膠、用剩餘丟棄。

下腳之處理：

剩餘金線，全部回收，送回廠商。

集中下腳廢料，於一定數量後再出售給資源回收廠商帳列下腳收入。

## 參考資料：

- [1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting\\_diode#Discoveries\\_and\\_early\\_devices](http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode#Discoveries_and_early_devices)
- [2] 本調查研究整理繪製
- [3] <http://cn.engadget.com/2010/05/15/led-can-wifi/>
- [4] <http://www.jinyuejituan.cn/show.asp?id=109>  
[http://www.led-ics.com/zh-tw/pddetaildate/image/20091214\\_8023131.html](http://www.led-ics.com/zh-tw/pddetaildate/image/20091214_8023131.html)  
<http://skincarebylouisia.com/skin-treatment/dpl-therapy-system/why-infrared-light-emitting-diodes-can-help-your-skin/>  
<http://big5.made-in-china.com/showroom/tony20070626/product-list/catalog-1.html>  
<http://optoelectronics.liteon.com/zh-tw/product/category.aspx?c=16B02578306C4885905D407C8F586F0D>  
<http://www.p-wholesale.com/subcat/5/114/active-component-p13.html>  
<http://www.cnledw.com/free/product.asp?id=1039982>
- [5] <http://www.amazon.com/exec/obidos/ASIN/B005OSRYZ2/newcodeaz-20>
- [6] <http://www.ys-led.com/prod/prod-zz1.htm>  
<http://www.hiwtc.com/products/5mm-super-flux-led-piranha-17040663-18068.htm>  
<http://cn.made-in-china.com/showroom/hengyled/product-detailseBJXqHEAncN/LED%E9%A3%9F%E4%BA%BA%E9%B1%BC.html>
- [7] [http://www.maxlitech.com/cn/Products\\_more.asp?cla=2](http://www.maxlitech.com/cn/Products_more.asp?cla=2)  
<http://www.led-display.cc/High-Power-LED/1D/LP1W-80-SERIES:-1-watt-high-power-LED.htm>
- [8] <http://redsnows.com/silight-tweak-to-turn-on-led-flash-with-siri/>  
<http://www.sokq.com/qicai/Product.aspx?pid=766>  
[http://www.cnii.com.cn/zd/content/2011-02/16/content\\_839573.htm](http://www.cnii.com.cn/zd/content/2011-02/16/content_839573.htm)  
<http://www.led889.com/business/info.asp?id=37011>  
<http://ledlights.net.cn/zhishi/LEDludengzhibian.html>  
<http://www.ecat.lighting.philips.com.tw/l/urban/architectural-flood/led-dynaflood-bcs835-845-855/57940/cat/>  
<http://www.mvp.url.tw/viewthread.php?action=printable&tid=682>  
<http://big5.cnfol.com/big5/blog.cnfol.com/dingjuled/article/6683315.html>  
<http://socialbarrel.com/global-tv-shipments-drop-in-second-quarter/18444/>  
<http://chinese.engadget.com/2008/10/18/toshiba-keeps-em-coming-with-tecra-r10-portege-a600/>  
[http://szhq.b2b.ledth.com/LP508\\_1\\_.htm](http://szhq.b2b.ledth.com/LP508_1_.htm)  
<http://big5.made-in-china.com/showroom/led188/product-detailSeVxdnMOhfYm/%E5%A4%A7%E5%8A%9F%E7%8E%87LED%E7%85%A7%E6%98%8E%E7%81%AF+-+3.html>

<http://iservice.libertytimes.com.tw/3c/news.php?no=2538&type=3>  
[http://www.chinazsgd.com/products\\_detail/&productId=635002e9-1962-4884-a93a-2042746bbd39&comp\\_stats=comp-FrontProducts\\_list01-1300759386997.html](http://www.chinazsgd.com/products_detail/&productId=635002e9-1962-4884-a93a-2042746bbd39&comp_stats=comp-FrontProducts_list01-1300759386997.html)  
<http://www.leader.web66.com.tw/web/N?postId=350786>  
[http://www.eupa.cn/product\\_brand\\_detail.asp?n=310](http://www.eupa.cn/product_brand_detail.asp?n=310)

- [9] IMS research's report quarterly GaN LED supply/demand report (2011).
- [10] Strategies Unlimited's report (2011)
- [11] Digitimes research's report (December, 2010)
- [12] [http://www.semiconductor-today.com/news\\_items/NEWS\\_2007/NOV\\_07/YOLE.jpg](http://www.semiconductor-today.com/news_items/NEWS_2007/NOV_07/YOLE.jpg)
- [13] Tech up 科技網報告 “LED market continues to grow rapidly, transitioning to lighting applications” <http://nebook.com.tw/?p=25471>
- [14] <http://www.ledinside.com.tw/knowledge/20070724-472.html>
- [15] <http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1511032903592>