

第三章 全球 LED 產業現況

發光二極體 (Light Emitting Diode, LED) 具半導體發光特性，擁有低耗電量、元件壽命長、點滅速度快、體積小、耐震等優點，隨著發光效率的提升與綠色能源概念，被視為取代傳統照明光源的最佳選擇。

表 3-1、LED 優點 (本論文整理)

優點特性	說明
點滅速度快	白熾燈泡約 0.2 秒，螢光燈約數秒，LED 只要 100 ns
體積小	LED 發光面積小為點光源，可多顆結合成面光源
光指向性強	傳統光源為全向性，LED 有高指向性的發光角度
無熱輻射	傳統光源有紅外線有具熱效果，LED 則屬冷光源
低電壓/直流電	LED 為半導體元件，可在低電壓和直流電下操作
耐震動/無汞污染	環保光源，相較螢光燈是不含汞

LED 目前受限於成本過高 (lm/dollar 高)、光源轉換成本高，不論推動應用於一般照明設備或高階消費性電子產品 (TFT-LCD)，因價格相較原有產品差距過高可能無法立即普及化，未來市場成熟透過技術提昇及量產壓低價格後，必能有效應用於相關產品。

第一節 LED 市場與應用

(一) LED 全球產值規模

據 Gartner¹市場研究公司與 Daiwa Institute of Research, Ltd.²分析報告，全球 LED 市場將從 2005 年的 53 億美元，增長至 2008 年的 70 億美元，年複合成長率為 15%。

¹ Gartner, Inc. 成立於 1979 年，提供科技、IT 類市場調查與顧問公司。總部於美國 Stamford, Connecticut，在全球擁有 1200 家分析機構與 75 家顧問公司。公司網址：www.gartner.com。

² Daiwa 隸屬於日本大和證券集團，為日本前三大提供市場研究分析的權威機構，分公司遍及於美國、歐洲、亞洲及中東。公司網址：<http://www.dir.co.jp/english/index.html>。

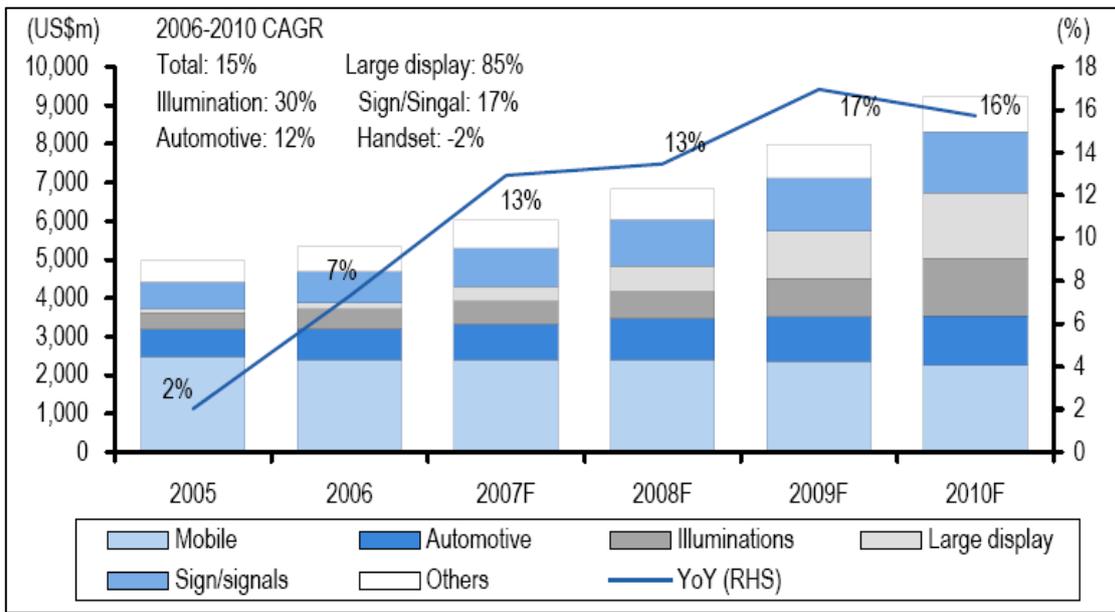


圖 3-1、2005~2010 年全球 LED 市場與應用規模 (Garner & Daiwa)

(二) LED 應用

LED 產品從早期指示型應用進展至現階段照明應用，各應用領域成長動力不同，2006 至 2008 年 LED 成長的主要來源為手機背光源、汽車照明、特殊照明（如景觀照明、戶外看板、交通號誌、路燈等）和 15 吋以下液晶面板的背光源，而在液晶顯示器和液晶電視面板的背光源，預計 2008 年起才有量產產品出現；而在取代傳統照明方面，受限於 LED 價格和發光效率預計至 2010 年後會有較大的替代效應出現。

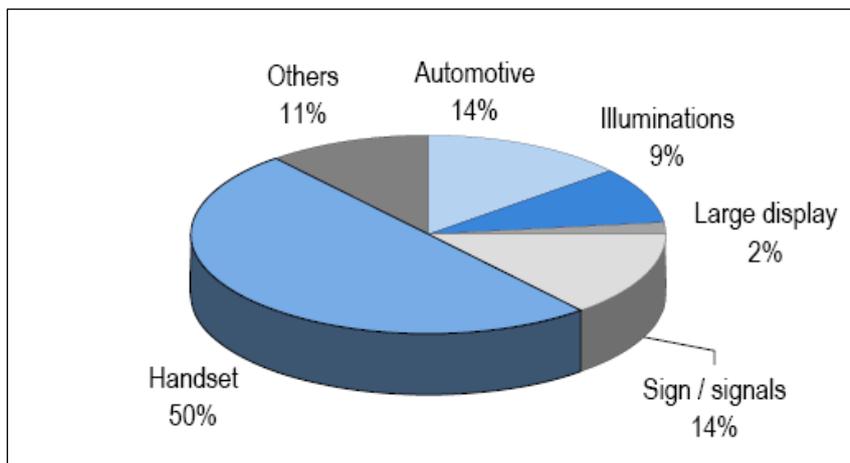


圖 3-2、2007 年 LED 應用領域 (Garner & Daiwa)

彩色螢幕手機需要搭配白光 LED 當背光源，使得白光 LED 在 2003 年具備相當大的成長性。手機上所應用的 LED 包含約需 1 顆的 LED 來電指示燈，2 至 4 顆的螢幕背光源及 6 至 8 顆的按鍵背光源需求，手機上附加照相功能所需的 3 至 4 顆閃光燈用白光 LED，整體來說一台彩色螢幕手機對於 LED 顆粒的需求量，平均將可達 10 到 12 顆之多。雖手機市場有超過半數的 LED 需求，LED 產業的長期發展是以取代目前的照明燈具為主。而目前白光 LED 仍未達到照明要求的技術，且成本過高，但在白光 LED 具有省電的優點和全球能源危機影響下，採用 LED 是一種必然的趨勢。表 3-2，顯示從未來四年 LED 取代現有光源的滲透率，主要大幅成長的三大應用領域在一般照明（取代白熾燈、螢光燈）³、大尺寸 TFT-LCD 背光源（取代 CCFL）與車用照明（取代白熾燈、HID 頭燈）。

表 3-2、LED 於四項應用領域的 2006 與 2010 滲透率 (Daiwa)

	2006			2010		
	Traditional (US\$bn)	LED (US\$bn)	Penetration (%)	Traditional (US\$bn)	LED (US\$bn)	Penetration (%)
General lighting	21.0	2.4	1.8	24.1	1.5	6.2
Large display	1.4	0.1	10.4	4.8	1.7	35.2
Automotive	4.2	0.8	19.2	4.2	1.3	30.4
Mobile	2.7	2.4	89.0	2.3	2.3	98.0

圖 3-3 說明 LED 在一般照明、LCD 背光、車用與手機的量產品出現的時間，與表 3-2 相互對照，最大的成長動能即是一般照明的需求。

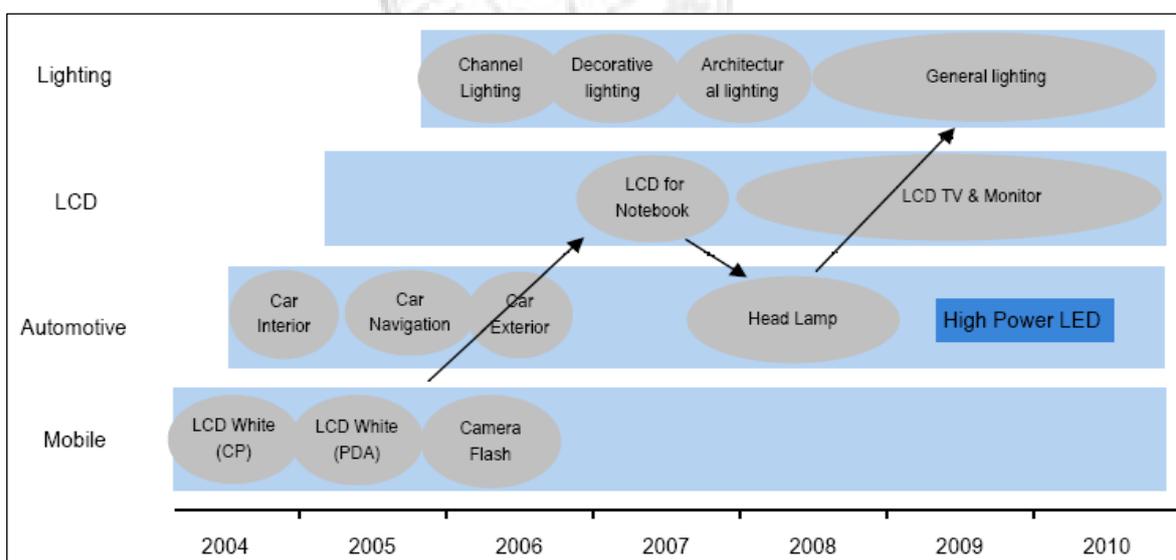


圖 3-3、LED 四項應用領域歷程 (Daiwa)

³一般照明市場中以白熾燈/鹵素燈、螢光燈、緊湊型螢光燈、高強度放電燈最為常用。白熾燈即傳統的電燈自美國愛迪生發明 1879 年發明沿用至今。白熾燈在所有用電的照明燈具中效率最低，只有 7% 至 8%。而緊湊型螢光燈（CFL）比白熾燈節省用電量 75%。白熾燈，是一種透過通電，利用電阻把幼細絲線（現代通常為鎢絲）加熱至白熾，用來發光的燈。電燈泡外圍由玻璃製造，把燈絲保持在真空，或低壓的惰性氣體之下。作用是防止燈絲在高溫之下氧化。資料來源：維基百科。

第二節 LED 技術、成本結構與白光專利

(一) LED 磊晶、晶粒技術⁴

發光二極體 (Light Emitting Diode ; LED) 是由半導體材料製成之發光元件，元件具有兩個電極端子，在端子間施加電壓，通入極小電流，經由電子、電洞結合將剩餘能量以光形式(激發光，electroluminescence)激發釋出，此即LED之基本發光原理。LED發展過程中重要的技術突破，以及LED的被應用與開發，於此過程中將幾各重要階段所產生之發明技術分述如下。

表 3-3、LED 磊晶、晶粒技術沿革 (本論文整理)⁵

Year	Pioneers / Inventors	Discovery / Inventors
1907	H.J.Round	Electroluminescence-blue light emission from SiC crystal
1928	O.W.Losseve	Electroluminescence-blue light emission from SiC metal-semiconductor rectifiers.
1932	W.C. Jonson et.Al.	Gallium Nitride (GaN) synthesized
1936	Destriau	ZnS
1962	J.I. Pankove et.al.	GaAs LED
1962	Holoyak	Coherent visible light emission from GaAsP junctions
1963	J.W. Allen et al	Red emitting GaP visible LED
1965	Thomas Hopefield Forsch(PRL)	Isoelectronic traps due to N in GaP
1969	H.M.Manasevit and W.I.Simpson	MOCVD(GaAs)-initial studies
1971	J.I. Pankove et.al.	Blue light emission from GaN (MIS diode)
1978	R. D. Dupuis, P. D. Dapkus	Multi quantum Well (MQW) laser
1983	Ray et al (JAP)	Properties of ITO thin films prepared

⁴ 直接引用自「將群委託執行國立政治大學研究計畫」-發光二極體(LED)及其專利與半導體照明產業發展之關係研究，計畫主持人：劉江彬，執行單位：國立政治大學智慧財產研究所，2007年。本人參與此研究計畫。

⁵ 同註4。

Year	Pioneers / Inventors	Discovery / Inventors
1986	Amano (JAP)	MOCVD in GaN
1989	Akasaki (JAP)	Low-Energy Electron-Beam Irradiation, LEEBI in GaN
1992	S.Nakamura (JAP)	GaN blue LED
1996	S.Nakamura (JAP)	InGaN blue LED
2001	Erchak Joannopoulos et al (APL)	2D photonic crystal in a semiconductor LED
2001	Jeon (APL)	GaN LED utilizing tunnel contact junctions
2001	Wierer Steigerwald et al (ALP)	Hight-power AlGaInN flip-chip light-emitting diodes
2004	Fischer et al (ALP)	RT DC operation of 290nm LEDs with mW power

1907年美國無線電工程師，Henry Joseph Round 首次發表SiC⁶ LED，對此半導體材料施加10V 偏壓，而此半導體中的電子與電洞結合時，過剩的能量以光的形式放出，並產生微弱的黃光、綠光與橘光。1923年，俄國人O、W、Losseve 將電流注入碳化矽（SiC）半導體材料而發出藍光，被認為是LED始祖。1932年美國W.C. Jonson 成功地合成出 Gallium Nitride (GaN)⁷。1936年法國Destriau 發現了注入電流可以讓ZnS 粉末發光。

1962年J.I. Pankove製作出第一顆商用LED出現（橘色光，640nm）。同年任職於美國GE 公司N. Holoyak Jr (現任University of Illinois, Urbana-Champaign 電子電算工程系與物理系教授)等人製作並發表首顆GaAsP 紅光LED。而1969年H.M.Manasevit and W.I.Simpson 發明一非常重要的技術MOCVD (GaAs)之製程。因此，1970年開始LED 的發光原理才進一步被瞭解，1971年夏天美國RCA 公司Pankove等人製作出第一個電激發光MIS結構GaAs之藍光LED。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

⁶ 碳化矽(SiC)和氮化鎵(SiN)為代表的第三代(高溫寬帶隙)半導體材料。碳化矽目前主要應用領域有 LED 固體照明和高頻率器件，在國防、航空、航太、石油勘探、光存儲、顯示以及白光照明等領域有重要應用前景，市場潛力巨大。日本矢野經濟研究所研究指出，2006 年 SiC 單晶片市場規模為 40 億日圓(3635 萬美元)，預測市場規模到 2010 年將達到 105 億日圓(約 1 億美元)，2015 年將達到 300 億日圓(約 2.7 億美元)。美國的 Cree 公司擁有全球 85%的碳化矽材料市場佔有率，其他還包括使用 HTCVD 製程的 Okmetic、開發碳化矽與矽 hetero-epitaxy 長膜技術的日本 Hoya 或採用 Smart-Cut 與晶片黏合技術的 Soitec 公司等，法國 Yole 研究機構預估年複合成長率為 34%。

⁷ GaN 單晶目前主要用於作為新一代 DVD 鐳射頭使用的藍紫色半導體鐳射器的底板，以及投影機和背投電視等雷射顯示光源所用的藍色半導體雷射器底板。

式。而1983年日本Ray則是用ITO薄膜製作LED。1990年初期美國HP公司的Kuo與日本Toshiba公司的Sugawara 等人使用AlInGaP 材料發展高亮度紅光與琥珀色LED。

1986年Amano 等人 (Isamu Akasaki-赤崎勇教授研究團隊,日本名古屋城大學Nagoya University) 利用MOCVD 磊晶低溫AlN緩衝層,成功地成長出透明、沒有表面崩裂的GaN 薄膜。稍後Akasaki 等人進一步由X-ray 繞射光譜、光激光譜-PL 等量測結果,驗證了加入低溫AlN 緩衝層後所磊晶的GaN 薄膜,具有完美的晶格排列,此外本質缺陷所形成的施體濃度,也因此減少到 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$,電子移動率則提高了一個次級(10 倍)以上,因此低溫緩衝層的加入也改善了GaN 薄膜的電特性。

1989年使用CP2Mg 摻雜源已經可以在低溫緩衝層上,成功地磊晶出p-GaN 薄膜,日本Akasaki 研究團隊利用低能量電子束照射 (Low-Energy Electron-Beam Irradiation, LEEBI) GaN 薄膜,並藉此獲得低電阻特性,同時他們也成功地製作出具有p-n 接面之藍光GaN LED。

1992年日本Nichia 公司的Nakamura (中村修二博士),使用熱退火技術成功地活化磊晶在低溫緩衝層上的GaN 薄膜,並在1995年成功地製作出GaN 藍光與綠光LED。1996年Nakamura 又提出利用InGaN 藍光LED (波長460 nm ~ 470 nm)激發鈮鋁石榴石: 鈮(Yttrium-Aluminum Garnet, YAG:Ce³⁺, 鈮5d 傳輸到4f 軌域)黃色螢光物質之白光LED。發展至2001年分別有幾各重要的技術為: Erchak Joannopoulos 等人之2D光子晶體製作、Jeon 等人將GaN LED利用熱固方式製作以及Wierer Steigerwald 等人製作出高能量四元AlGaInN 之flip-chip LED。而2004年Fischer 等人利用於室溫下之紫外光 (290nm) 製作LED。

LED 基板

欲獲得高品質的發光LED 元件,基板選擇是相當重要的一環。而基板的主要功能為承載之用。因此,基板的品質會直接影響磊晶後的各項特性,包括:發光亮度、發光效率與使用壽命...等產品特性。例如:基板與磊晶材料之間的晶格匹配程度,將直接關係到元件內部缺陷的數量,進一步左右元件的發光效率與使用壽命。

一般在LED 基板材料選擇,主要考量因素為基板晶格係數及熱膨

脹係數與基板上磊晶層材料的相似程度，只要基板晶格係數與磊晶層材料匹配程度愈高，則磊晶層所產生的缺陷 (defect) 愈少。反之，一旦基板的熱膨脹係數與磊晶層材料相似程度愈低，則容易造成磊晶層彎曲或者是破裂情況，使得 LED 晶粒製程不易切割或曝光，造生產良率下降。

現今藍光 LED 常用的基板主要有兩種 (其他應用於藍光 LED 的基板仍屬實驗室研發階段，如 GaN、Si、ZnO)，一是 Nichia 所主張藍寶石，二是 Cree 生產的 SiC⁸，其各自有其優缺點。就成本方面，使用藍寶石的基板成本較使用 SiC 低，其硬度較高不易切割，但在穩定性與晶格配合上則是藍寶石優於碳化矽。雖然 SiC 基板價格較藍寶石基板高，但是其化學穩定性好、導電性能好、導熱性能好、抗 ESD 強等，但缺點是，如價格太高、晶體品質難達到藍寶石基板穩定。儘管如此 Cree 仍是唯一提供高品質的基板廠商。

(二) LED 封裝技術

晶粒脆弱且微小體積通入高電流，需要一結構來包覆晶粒，並提供散熱、光學之效果。早期封裝支架能提供的散熱容量為 250K/W，隨著通入更高電流封裝支架演進為陶瓷、金屬材料的散熱容量為 6K/W。封裝的型式根據不同的應用場合、不同的外形尺寸、散熱方案和發光效果 (參見圖 3-4) 有不同的分類，主要有傳統插件式 Lamp-LED、Cluster-LED、Digit-type 應用於指示性產品，如交通號誌、顯示看板。1980 年後使用於輕薄電子產品指示性用途的表面黏著封裝技術的 SMD-LED (surface mount device)，運用於背光膜組的 TOP-LED、Side-LED。車尾燈用的 Superflux (或稱 Piranha，食人魚) LED 與照明使用的 High-Power-LED 等。

⁸ 90 至 95% 的碳化矽半導體晶圓都使用在光電應用方面，例如使用在藍白 LED 與藍光雷射二極體製造的 Nitride 複晶磊基板。或利用藍寶石、矽或者是獨立 GaN 的方式獲得高品質的 Nitride 層。根據法國 Yole 研究機構預估 2003 年全球碳化矽 (SiC) 半導體晶圓約生產 25 萬片，至 2007 年將可達 80 萬片，年複合成長率為 34%。參考財團法人國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心報告：<http://cdnet.stpi.org.tw/techroom/market/eic/eic024.htm>。

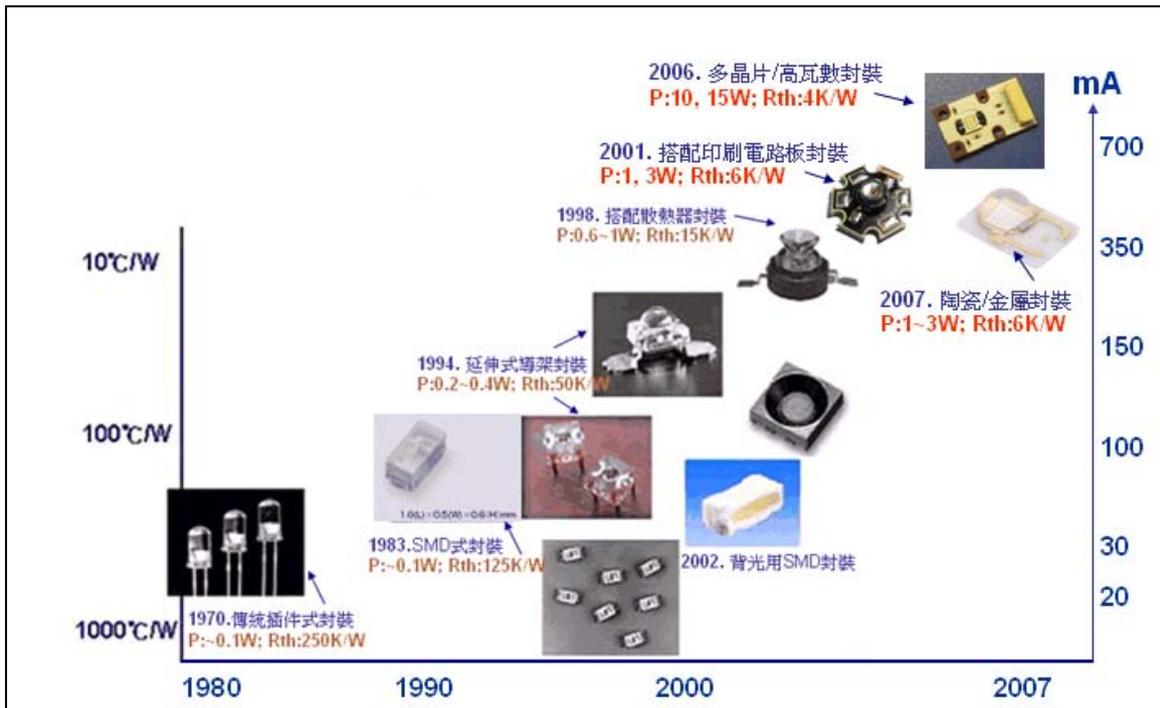


圖 3-4、LED 下游不同封裝型態演進 (本論文整理)

(三) LED 上、中、下游製程

(1) 上游製作過程

LED 上游的主要產品為單晶片與磊晶片。產品的生產製程為：利用砷 (As)、鎵 (Ga)、磷 (P) 等 III-V 族的元素作為原料製造成單晶棒；將單晶棒薄切成 GaAs、GaP 等單晶片；以單晶片作為成長用的基板，再利用各種的磊晶成長法⁹做成磊晶片。磊晶片會經過各種材料信賴性測試、光學測試以及電性測試後，便能進入中游製程。

(2) 中游製作過程

中游主要的產品為晶粒，製造過程為：依 LED 元需求作磊晶片擴散，然後金屬蒸鍍，之後在磊晶片上光罩、作蝕刻、熱處理，製成 LED 兩端金屬電極製做電極，過程包含清洗、金屬薄膜蒸鍍、上光阻、進行曝光、化學蝕刻及清洗。接著將基板磨薄、拋光後在作晶粒切割，也就是將磊晶片崩裂

⁹ LED 的主要磊晶方法有 LPE(Liquid Phase Epitaxy ;液相磊晶法)，作法是以熔融態的液體材料直接和基板接觸而沉積晶膜。VPE(Vapor Phase Epitaxy ;氣相磊晶法)，以氣體或電漿材料傳輸至基板，促使晶格表面粒子凝結或解離。及 MOCVD(Metalorganic Chemical Vapor Deposition;有機金屬氣相磊晶法)將有機金屬以氣體型式擴散至基板，促使晶格表面粒子凝結。

成單顆晶粒，同樣進行測試後再交給下游廠商。

(2) 下游製作過程

下游主要是將晶粒做封裝，製造流程從固晶、打線、點膠、切割、測試到包裝。封裝的型式根據不同的應用場合、不同的外形尺寸、散熱方案和發光效果有不同的分類，主要有 Lamp-LED、TOP-LED、Side-LED、SMD-LED、High-Power-LED、Flip Chip-LED 等。要用哪一種封裝型式主要是要看用在哪一種應用產品上，目前最熱門的是 SMT 型封裝，主要是用在可攜式產品上，如手機、PDA 等產品。

(四) LED 成本結構

由於 LED 封裝形式多種故成本結構差異頗大，以背光使用的側發光型 LED 與高功率 LED 兩種作為 LED 成本結構的範例。

表3-4、側發光型LED成本結構 (本論文整理)

Chip	50%	Epi-process 34%	Substrate	10%
			Process Gas	10%
			Depreciation	7%
			Labor & over head	7%
		chip-process 17%	Material	5%
			Depreciation	3%
			Labor & over head	9%
Package	50%	LF		25%
		Au wire		5%
		Epoxy & Silver paste		1%
		Phosphor&Silicon		1%
		Labor		9%
		Other materials & over head		9%

表3-5、高功率LED型LED成本結構 (本論文整理)

Chip	75%	Epi-process 45%	Substrate	15%
			Process Gas	13%
			Depreciation	9%
			Labor & over head	9%
		chip-process 30%	Material	9%
			Depreciation	5%
			Labor & over head	16%
Package	25%	LF		7%
		Au wire		2%
		Silicon gel		0.2%
		Phosphor&Silicon		1%
		Labor		12%
		Other materials & over head		2%

(五) LED 白光專利

專利對於 LED 產業是非常重要的，世界五大 LED 廠商地位的確立是因為擁有關鍵「專利」，Nichia、TG 在日本擁有重要專利；Osram (Siemens) 和 Lumileds (Philips) 於歐洲擁有重要專利；Cree 在美國擁有重要專利。1996～2002 年的一連串專利於日本與美國的訴訟，於 2002 年底一一以交互授權或和解收場，此後形成 Nichia、Lumileds、Osram、Toyoda Gosei、Cree 等五大廠商的專利聯盟。LED 產業中擁有非常複雜的專利授權、交互授權與訴訟關係。

LED 產業中，五大廠商使用白光 LED 專利作為產業競爭籌碼，原因是市場產值最大，且因為具有關鍵專利。Nichia 為白光 LED 的龍頭老大，其 YAG 螢光粉具好的發光效率與較佳成本。Cree、TG 擁有最多上、中游 LED wafers 相關的專利；Osram 專注在螢光粉與照明應用的專利。截至目前 Nichia 的 YAG 螢光粉僅對日本廠商授權，而其他競爭廠商，如 Osram 則以開放的

態度對亞洲廠商授權。

表 3-6 顯示，6 家廠商於美國申請的重要白光 LED 專利。顯示 LED 白光的方式有三種，第一種以藍色晶片混合黃色螢光粉（如 Nichia 的 YAG，或 Osram 的 TAG）；第二種是以 UV 激發螢光粉形成白光（如 TG 的 BOSE 與 Cree 的方式）；第三種則以 RGB 三原色混光形成，此方式是習知技術不能申請專利，但有類似概念的全光譜式的螢光粉可以擁有專利，如 Bell Lab。

表3-6、重要白光LED美國專利 (Daiwa)

Key white LED-related US patents		
Company	Filing date	Description
Nichia	Apr-94	GaN blue LED via anealing process
	Jul-97	GaN LED+ YAG phosphor
CREE	Mar-96	Monochrome blue/UV LED+ fluorescent organic and/or inorganic material in a polymer matrix
Toyoda Gosei	Dec-00	UV LED + alkali-earth-orthosilicates phosphor (BOSE)
OSRAM	Aug-00, Jun-97 (int'l)	Blue/green/UV LED + TAG phosphor
Avago	Jul-97	Wider phosphor range of Nichia's product
Bell Lab	Jan-70	Laser diode+ one or more phosphor

Source: compiled by Daiwa

第三節 全球 LED 供應現況

1980 年前，美國藉著最早在 LED 產品化的技術優勢，引領 LED 產業發展。1980 年初，日本投入大量研究資源於四元 LED 的研發上，接著 1996 年成功開發出白光 LED 的技術，囊括重要關鍵專利，並且擁有材料與半導體機台生產優勢，進而取代美國先期優勢，成為最主要 LED 供應國。亞洲公司於 1980 年開始生產 LED，1990 年代晚期由於指示燈需求大增（handset and networking-equipment market）而使產能大幅增加。2000 年後，以台灣為首的亞洲國家，包括韓國與中國，藉由廉價生產優勢以低價策略搶奪市場佔有率，且因強勁的需求而大幅成長。2006 年統計，合併台灣、韓國與中國的全球供應為 38%，相較 2003 年的 23%，成長的部分是從日本的佔有率下降而來。美國與歐洲的 2% 微幅成長，則是由 Cree, Philips Lumileds, Osram 技術創新所貢獻，與美國在汽車照明、交通號誌及路燈等需求帶動。（圖 3-5）。

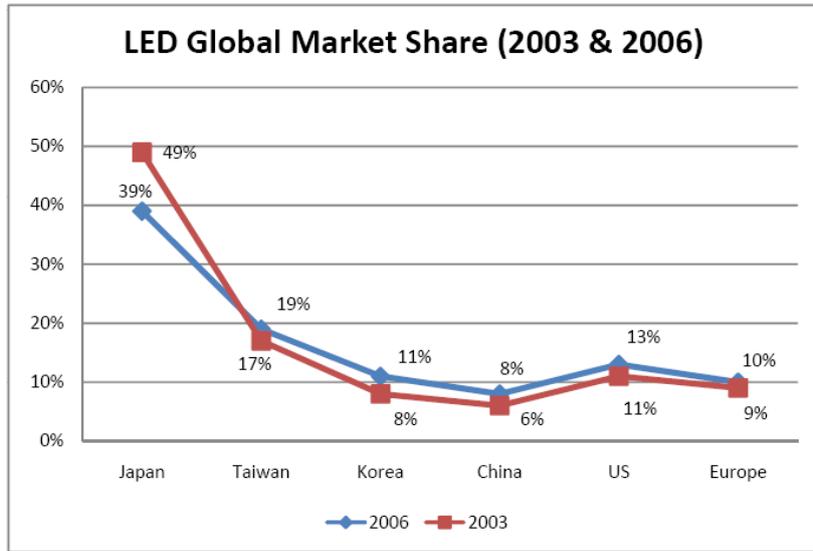


圖 3-5、2003 年與 2006 年全球 LED 主要供應國 (本論文整理，參見 Daiwa)

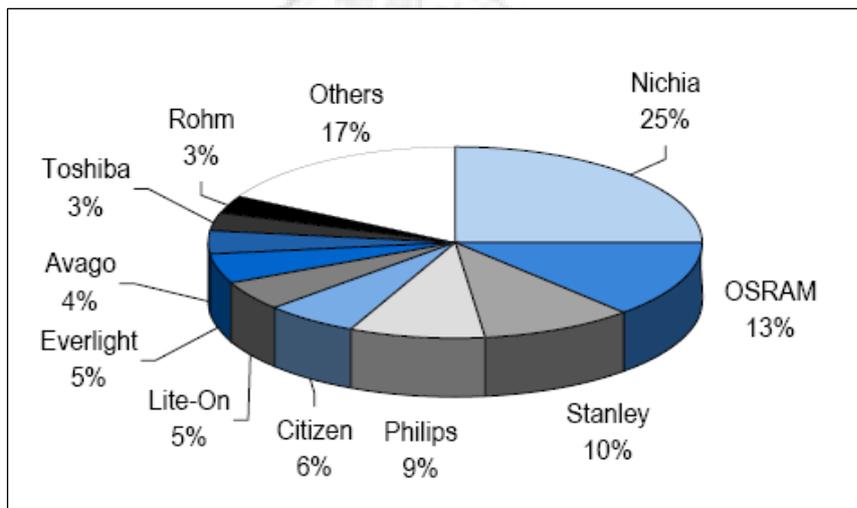


圖 3-6、2006 年 LED 製造者市場比重 (Daiwa)

全球 LED 主要供應廠商，以日本 Nichia 為首佔全球 25%，第二為德國 Osram 佔全球 13%。各公司佔有比例可見圖 3-6，此圖僅統計具有封裝產品的製造公司，不以公司產值為統計依歸，因此全球第三大 LED 製造業者 Cree 與 TG 未入列 (Cree 主要產品是超過 80% 基板材料與晶粒，而自有封裝 LED 目前市占率並不高)。

LED 供應鏈分類，早期常見分為上游的晶片 (包括單晶片以及磊晶片)、中

游的晶粒和下游的封裝，但目前上、中游的製程已經整合由晶片廠處理。LED 屬於半導體元件，其製造過程與半導體矽晶片 IC 相似，皆是將 III-V 族元素經高溫反應成化合物，再經長晶製成單晶片，單晶片也就是磊晶成長用的基板，美國的 Cree 公司擁有全球 85% 的碳化矽材料市場佔有率。磊晶技術影響 LED 發光波長與效率，因此是整個供應鏈中技術層次最高的一環。下游封裝後的 LED 供給系統應用端的廠商（如背光模組廠，散熱光學系統廠）再進一步製作成符合各種應用的產品。

全球共有超過千家封裝廠處於 LED 的下游供應鏈，上、中游的晶片廠全球約有百家。重要的 LED 原物料供應者，主要螢光粉供應商約有 10 家，2006 年產值為 580 百萬美元，整體 LED 產值 10%。目前主流白光 LED 是由藍色晶片塗佈黃色螢光粉所混色產生，而螢光粉的專利興訟與交叉授權從 1996 第一顆白光 LED 出現直至現在，國際 LED 大廠複雜的專利關係，本論文後續討論。螢光粉主要供應者為 Nichia 的 YAG 螢光粉（由 Nemoto 代工生產）提供全球 41%¹⁰ 需求，Osram 的 TAG 螢光粉占 8%。中國彩虹集團 (Irico) 則供給 7%，其次是日本化成 (Kasei) 的 5% 和 Philip Lumileds 4%，其餘為 35%。

磊晶成長設備供應占整體 LED 產值 4%，2006 年產值為 175 百萬美元。德國 Aixtron (70% 佔有率) 持續超過 10 年為全球 MOCVD 設備供應商、英國 Thomas Swan (1999 年被 Aixtron 收購後成為 Aixtron 集團)、美國 Veeco (2003 年併購美國 Emcore 後，擁有 20% 佔有率)、日本大陽酸素 (Sanso, 7% 市佔率，只在日本銷售)。Nichia 和 Toyota Gosei，均使用自行研發的 MOCVD 設備。韓國企業在政府的支援下，引進 Thomas Swan turbo disk K-series 的技術，仿製出 MOCVD 設備並開始銷售。目前，市場 MOCVD 設備單價約為 100-200 萬美元。

圖 3-7，可見美國、日本、歐洲對關鍵材料、元件與技術的控制能力較強，幾乎以一條龍的垂直架構供應，如德國 Osram、日本 Nichia、荷蘭 Philip Lumileds、美國 Cree 為代表。

值得一提的是，目前台灣 LED 中上游晶粒與磊晶片廠商，在近年來不斷積極擴廠下，擁有生產磊晶片設備機台已成為全球機台密度最高的地區，為全球第二大 LED 晶粒生產國，其中四元高亮度晶粒 (AlGaInP) 則已成為全球之首，下游封裝廠商亦隨之相對成長。以往台灣 LED 產業以下游封裝業者為主力，產值

¹⁰ 統計資料參見 Future Technology Industry, 2006 年統計。

最大，近來，台灣 OEM 廠商自有強大需求，大型集團開始投入上、中游 LED 產業 (2006 年奇美入主燦圓；2008 年初，友達宣布進軍磊晶製程，台達電、鴻海皆佈局 LED 產業等)。



圖 3-7、LED 全球產業鏈 (本論文整理)

(一) 日本 LED 供應現況

日本為全球消費性電子產品生產國，其多數 LED 廠商均為大型電子廠商的下屬事業部，以母企業集團為主要銷售對象，導致日本 LED 廠商以內銷為主，2005 年日本 LED 廠商內銷比率達八成以上。日本 LED 廠商家數繁多，如 Nichia、Toyoda Gosei、Stanley Electric、Citizen、Rohm、Sanken、Sharp、Toshiba、松下電子等，在基板方面，則有信光社、京瓷等公司從事生產。

1965 年美商 Monsanto 取得 GaAsP/GaAs 磊晶技術第一個專利權，1968 年三元 GaAsP LED 正式上市，開啟 LED 正式商用化腳步。日本在 1970 年才進入 LED 領域，早期是自美國進口磊晶片，生產成指示燈應用在袖珍型電子計算機上。而後日本在 LED 技術上有明顯的發展，逐步取代美國在 LED 產業的領導地位，目前日本為全球 LED 產業的領導國，無論在技術與產值均領先其他國家。日本是全球 LED 產業上霸主，其動向幾乎為 LED 業者的觀測指標。儘管近年，因臺灣不斷提高 LED 生產能力，使日本的產業規模屈居世界第二，但由於日本產品定位為高端市場，產品單價高，整體產值仍保持世界第一，2006 年全球市場佔有率為 39%。

(1) Nichia¹¹-全球第一大 LED 供應商

以「Ever Researching for a Brighter World」為宗旨，1956 年成立，生產精密化學品 (fine chemicals)，如照明用螢光粉及黏著劑、高純度半導體材料、磊晶片和雷射二極體單晶體原料，並生產各色 LED、高亮度 LED 與紫外光 LED。Nichia 於 1993 年發表了世界第一個高亮度藍色 LED (1 cd)，並開發出 YAG 黃色螢光粉，1996 年發表全球第一顆白光 LED¹²。1997 年陸續發表紫外光 LED 與黃色的氮化物 LED (InGaN-based)，藉由不同的封裝形式而大幅拓廣 LED 的應用領域。目前 Nichia 對於光通訊所需的紫藍色鐳射半導體 (bluish purple laser diodes) 投入大量研發。

Nichia 在全球 LED 產業舉足輕重的原因，在於其 LED 供應自給自足，包含設備、二極體材料、螢光粉、LED 晶片與封裝的製造與銷售。Nichia 2006 會計年度，總收入為 2010 億日元 (19 億美元)，其中 LED 及 LD 相關占 70%，Fine

¹¹參閱日亞化公司網站，http://www.nichia.co.jp/cn/about_nichia/info.html。

¹²日亞化學白光專利為藍光晶片加 YAG (Yttrium Aluminum Garnet Y3Al5O12:Ce) 螢光粉，二者混光後所產生的白光，此項組合專利為白光 LED 基礎性的專利。

Chemical 占 30%。每年投入 170 億日元的研究經費，研發專利超過 700 篇。小川英治，Nichia CEO，目標 2010 年銷售額增長至約 3000 億日元 (28 億美元)。

(2) Toyota Gosei (TG)¹³ –集團事業廣，背光模組最重要供應商

TG 為豐田汽車旗下的的事業部門，成立於 1949 年，主要營業項目為汽車零組件。LED 晶片及封裝產品為其中六大營業項目之一。1986 年開發氮化物 LED，在氮化鎵型的藍、綠光晶片技術與 Cree 並列為全球最早量產藍綠光 LED 的領導廠商。TG 晶片、螢光粉、封裝產品主要供應 Stanley、Citizen、Seoul Semi 與台灣貿易商敦意 (Twinhill)。2007 年集團營收 5934 億日元，LED 約佔 2.8% 為 166 億日元；其中 mobile handsets 佔 72%、display 佔 9%、車用 8%、照明 3%、其他則是 8%。TG 的車用的部分以紅光、黃光的車尾燈、第三煞車燈市場最多，是首先裝備 LED 車頭燈於量產車系 Lexus LS600hL¹⁴ 的廠商。目前，TG 可提供最亮 HB-GaN 晶粒，供 NB 使用的背光模組。

(3) Stanley Electric¹⁵ -全球第三大 LED 封裝廠

Stanley 成立於 1920 年，為日本最大車用電子設備製造商。2007 年集團營收 3200 億日元，LED 相關事業營收，雖佔 18% 但有 20% 營業獲利率 (operating margin) 卻高於電子設備事業體的 14.1%；又白光 LED 約為 65 億日元。LED 事業包含 30% 車用；23% mobile handsets；24% 一般照明、交通號誌、看板等；特別的是，23% 用於娛樂場所，如於普遍的可見的柏青哥店、遊樂場、酒吧等。

(二) 台灣 LED 供應現況

1974 年德儀結束在台灣設立了 2 年的全台第一條 LED 封裝線；隔年，光寶電子重建封裝線成為台灣最早投入 LED 產業的公司，並開啟了台灣 LED 產業之路，當時 LED 磊晶技術門檻高，光寶選擇由下游封裝切入，也同時發展電源供應器，共 2 大主力產品。Nichia、Cree、Toyoda Gosei、Osram、LumiLeds 等都

¹³ TG 汽車零組件，包含安全保護系統產品、車身密封產品、油箱模組、儀表版模組、外型設計和功能性組件。TG 六大營業項目包含一般工業產品：手機塑膠外殼、家庭和辦公室的空氣過濾器和空調塑膠版等。資料來源參見：<http://www.toyoda-gosei.co.jp/kigyuu/kyoten/index.html>。

¹⁴ Lexus LS600h 採用的是 Koito 的前燈和日亞(Nichia)的 LED。繼 Lexus LS600h 之後，在前燈中採用 LED 的第二款車型是奧迪 R8 將配備 Automotive Lighting 提供的全 LED 前燈(headlamp)，LED 由 Osram 和 Lumileds 提供。

新聞參見：http://www.ledinside.cn/tw/news_world_automobile_LED_20080123。

¹⁵ 參見公司網站：<http://www.stanley.co.jp/e/index.html>。

是生產磊晶為主，而台商在低階 LED 封裝擁有早期優勢。

因此，台灣的 LED 產業是「由下而上」發展，初期以下游的代工封裝業務為主，然後再發展至上游的磊晶片與晶粒。當時的磊晶片與晶粒均需仰賴美、日大廠的供應。直到 1983 至 1988 年，光磊與鼎元等公司相繼成立後製造晶粒，台灣才逐漸跨入 LED 產業的中游。1993 年，國聯光電（2005 年併入晶元光電）成立，為台灣第 1 家上游磊晶片廠，但當時只生產四元產品，即藍光磊晶片部分。直至 1996 年，工業技術研究院與國內下游封裝廠華興、億光、光磊、鼎元及佰鴻五家業者合資成立晶元光電，至此歷經近 30 年的發展，台灣建立了 LED 產業上中下游完整的生產供應鏈。

台灣經濟研究院預估，2007 年台灣 LED 產值全球市占率將提升 20.1% 居所有國家成長之冠；台灣 LED 產業具價格競爭力，加上生產技術持續精進，同時在廠商購併整合效益¹⁶發酵以及專利干擾問題減緩下，預計 2008 年產值可增加至 694.22 億元。

Position	Company	08/1/30 Market Cap. (US \$ m)	06 Sales (NT \$m)	Set-up year	Major Shareholder	Products	Key Customers
Up/ Mid -stream	Epistar	1,542	6,290	1996	Everlight, Lite-On tech, Fen Dan Bai Lou (7.9%)	4-Element LED 25.2% ITO Nitrite LED 34.4% Venus Nitrite LED 22.7% UHB 4-Element LED 8.3% Epitaxy & Wafer OEM 2.7% Others 6.7%	Nichia, TG, citizen 22% Everlight 17% Lite-On tech 13% Harvatek, AOT 18% Osram, Avogo 16% China Distributors 14%
	Arima Opto	158	3,213	1998	Arima Computer 21.2%	4-Element LED 38% Laser Diodes 26.4% UHB MS 4-Element LED 16.3% Nitrite LED 12.6% Lighting Systems 5.2% Others 2.2%	Stanley (4-Element) Everlight (4-Element, key pad) Lite-On tech (4-Element, key pad) Avogo (4-Element) Mitsubishi (LD-OEM) Sony (LD DVD-PUH-OEM)
Down -stream	Lite-on Tech	3,052	9,800	1975	Shares of outstanding	LCM 45% Power Supply 16% Camera Module 14% LED 6% (70% BLU) Casing 9%	LED related: LAMP Customers SMD Customers DISPLAY Customers IR Customers
	Everlight	976	7,949	1983	Board of Directors 8.6%	White SMD-LED 33.8% Blue SMD-LED 27.6% Lamp LED 13.6% Infraed LED 15.6% Display LED 5.8% Others 3.6%	Nokia (Mobile phone) 12% Sony Ericsson (Mobile phone) 7% Motorola (Mobile phone) 6% Hon-Hai/FIH (EMS) 5%

圖 3-8、台灣四家 LED 供應商（本論文整理）

¹⁶ 晶元光電、元矽光電及連勇光電於 2006 年 9 月宣佈合併，新晶電成為全球最大的四元（紅光）LED 廠，以及全球第四大的藍光 LED 廠，合併後使專利、產品線與客戶群更加完整。

圖 3-8 整理台灣上游與下游 LED 供應商的產品與其供應客戶狀態，晶元光電(Epistar) 的四元晶粒產能佔全球 50%，為世界最大供應商；藉由與 TG OEM 關係而交叉銷售 UHB-GaN LED 策略，使晶元成為第四大藍光晶粒全球供應商。華上 (Arima Opto) 提供全球第二大四元晶粒產能，並擁有晶元客戶的第二供應商的訂單；可預期，華上能藉由供應 Stanley 所需，進而提高日本市場車用部分的市佔率；美國市場的拓展則由 Avago 產品銷售貢獻。光寶 (Lite-on Tech) 營運產品多樣包含顯示器、電源供應器、相機模組、手機殼等，LED 封裝僅佔 6%但營收成長卻是其他事業體無法相比。光寶與億光電子 (Everlight) 擁有完整 LED 封裝產品，產品種類、規模與未來對於一般照明、車用的 LED 佈局，通常相提並論。台灣前兩大 LED 封裝廠由光寶和億光爭取龍頭寶座，並列全球前 10 大供應商。

(三) 韓國 LED 供應現況¹⁷

韓國 LED 產業發展晚於臺灣、日本及中國大陸，早年僅有三星、LG 等少數公司生產 LED，自 2002 年起隨著大量使用 GaN 系 LED 作為手機顯示幕背光源，手機、TFT-LCD 內需市場加快推動了韓國 LED 產業發展。目前韓國藍光 LED 上游磊晶，主要量產的公司有三星電機 (SEMCO)、LG Innotek、Epiwally、Epiplus；中游晶粒除三星、LG 外，有 NiNex、ITSWell 等廠商；LED 封裝則有三星、LG、Seoul Semiconductor、NiNex、AUK(光電子)、LumiMicro、LUXPIA 等分別在 RGB 三晶粒、藍光加螢光粉、紫外光加螢光粉等技術投入研發或生產。根據韓國光產業振興會 (KOPTI) 的統計，韓國 LED 相關廠商數量已達 304 家，因此韓國政府特別在光州成立了 LED Valley。

綜觀韓國內需市場的 LED 供應情況 (圖 3-9)，大部分公司傾力研發 LCD-TV BLU 來支撐韓國重要的面版產業與手持式 LED 需求來瓜分日本供應的市佔率。唯見 Seoul Semiconductor 積極投入 NB 用背光模組與一般照明。以下簡介 Seoul Semiconductor 公司。

¹⁷ 《半導體器件應用》2006 年 12 月刊
<http://news.big-bit.com/Semiconductor/ChanYeGuanCha/200612111126373940.htm>。

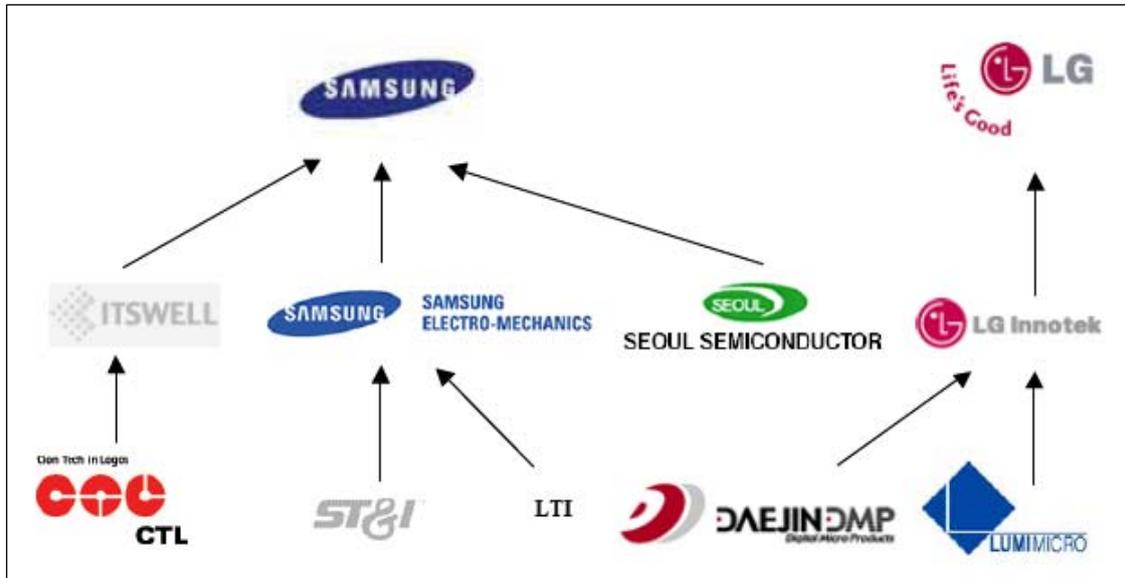


圖 3-9、韓國 LED 內需市場供應鏈 (Daiwa)

(1) Seoul Semiconductor (Seoul Semi.)¹⁸-韓國最大 LED 封裝廠

Seoul Semi. 成立於 1987 年。公司生產全系列 LED 封裝產品，包括 Dot matrix、display、high power LED、SMD LED、UV、IR LED。為韓國最大 LED 封裝廠。目前 Seoul Semi. 在美國、歐洲與日本等地設營業點，該公司計畫將 16 個海外營業點逐步轉換為公司法人，並在 2010 年，海外市場占營收目標的 70%。Seoul Semi. 在 2006 年營收成長超過 50-60%，達到 1838 億韓元 (2502 億韓元，2007 年)。以 LED 產品應用營收比例觀看，車用照明 LED 營收微幅增長而手持式電子 LED 營收下滑 18%，一般照明 LED 由 2006 年 10% 成長為 2007 年的 30%。Seoul Semi. 持有 40% 的 Seoul Optodevice 公司則大量生產 AC-LED¹⁹ 晶粒，可見 Seoul Semi. 直接取代現有的傳統光源強大企圖心。

(四) 中國 LED 供應現況

中國是全球最大的 NB 和 Monitor 的製造中心，在手機、電視等消費性電子的製造佔重要地位，而背光源的技術發展從 CCFL 逐步轉到 LED，也造就中國

¹⁸ 參見公司網站：<http://www.seoulsemicon.com/en/>。

¹⁹ LED 的驅動方式，目前以直流(DC)為主，但一般照明使用為家用交流(AC)的供電模式，因此 LED 只需簡單的電路就可以直接連接 110V 或者 220V 交流插座，不需要使用 AC 轉換的電源供應器。

市場對於 LED 的需求不斷成長。從中國目前 LED 的應用比例觀察，特殊照明佔全中國 LED 用量的 67%、手機和 LCD 背光源合佔 31%、一般照明佔 2%。特殊照明的比例居高，一方面因為 2008 奧運和 2010 世界博覽的舉辦，使得特殊照明的市場需求上揚，另一方面，LED 取代傳統照明市場和背光源市場仍處於萌芽階段，對於 LED 的需求尚未爆發，顯示中國市場擁有極大的成長力道。目前中國 LED 研究機構 20 多家，企業 4000 多家，其中上游企業約 50 餘家，封裝企業約 1000 餘家，LED 相關應用企業約 3000 餘家。2006 年，中國 LED 產業總產值達到 105.5 億元人民幣，其中封裝產業產值達 87.5 億元人民幣。

中國廠商的封裝規模、投資設備跟國際大廠相比仍顯偏低，並且大部分的廠商以低階封裝為主，使封裝的品質、數量和一致性較差，且由於廣大內需市場與中國政府、省政府政策配合，使中國 LED 產業發展強勁，並同時開始面臨國際專利問題²⁰。

(1) 中國大陸研發及上游襯底材料及外延生長企業重點分佈²¹

在研發方面，以中科院半導體所、物理所、北京大學、清華大學、資訊產業部 13 所等科研院所為代表，從“九五”開始積極介入第三代半導體材料氮化鎵 (GaN) LED 領域的研發，並在“九五”、“十五”期間逐步將技術成果進行轉化，如中科院半導體所和深圳方大、福日電子，物理所和上海蘭寶，北京大學和上海藍光，清華大學和山東英克萊，13 所和廈門三安。

(2) 中國大陸半導體照明企業區域分佈²²

LED 企業主要分佈在沿海地區，占近 90%，占絕對多數，另外東北地區也有部分企業，而其他地區所占份額較少。半導體照明產業已經初步形成了珠江三角洲、長江三角洲、江西及福建、北京及大連等北方地區四大區域。而且每一區

²⁰ 2008 年 2 月 20 日，美國哥倫比亞大學退休教授 Gertrude Neumark Rothschild 向美國國際貿易委員會 (ITC) 提起申請，指控全球 30 家企業在美生產和對美銷售的 LED 和激光產品侵犯其 1 項專利 (U.S. Patent No. 5252499)，要求 ITC 對被申請人啟動“337 調查”，並申請普遍排除令和禁止令。3 月 20 日，美國 ITC 正式立案，此“337 調查”的涉案企業範圍非常大，包括手機廠 Nokia、摩托羅拉、索尼愛立信等，其他主要都是亞洲 LED 封裝廠，而中國 4 家廠家分別是超毅光電子、佳光電子、廣州鴻利光電子和洲磊；台灣億光、光寶、宏齊、今台共七家名列調查名單中。參見 ITC 發佈新聞：http://www.usitc.gov/ext_relations/news_release/2008/er0320ff2.htm。

²¹ 參見「從廣深國際照明展看半導體照明產業鏈」，2006 年 11 月 12 日，網頁：

<http://www.quality-sz.com/news/detail-01.asp?ID=44>。

²² 參見「從廣深國際照明展看半導體照明產業鏈」，2006 年 11 月 12 日。

域都初步形成了比較完整的產業鏈，各地區主要企業如下：

長三角：上海藍寶光電 (GaN 外延、晶片)、上海藍光 (GaN 外延、晶片)，上海金橋大晨 (紅黃晶片、封裝)，上海南北機械、上海小糸車燈 (汽車應用)、上海三思 (顯示幕)、江蘇鎮江奧雷 (GaN 晶片、封裝)、浙江富陽新穎電子 (封裝、應用)、浙江寧波和普 (封裝) 等

珠三角：廣州普光 (外延、晶片)、深圳方大國科 (GaN 外延、晶片)、深圳量子光電 (封裝)、深圳海洋王 (應用)、深圳嘉偉實業 (太陽能半導體照明應用)、佛山國星光電 (封裝、應用)、惠州德賽光電 (顯示幕) 等。

江西及福建：江西福科 (GaN 外延)、江西聯創光電 (GaN 外延、晶片、封裝、應用)、欣磊光電 (晶片)、廈門三安電子 (GaN 外延、晶片)、廈門華聯電子 (封裝、應用)、福日科光 (封裝、應用) 等。

環渤海灣：大連路美 (GaN 外延、晶片)、大連路明 (螢光粉)、北京有研稀土 (螢光粉)、北京睿源 (GaN 功率型晶片)、廊坊鑫谷光電 (封裝、應用) 等。

(3) 深圳半導體照明企業產業鏈分佈²³

深圳半導體照明產業已經形成了“藍寶石→外延→晶片→封裝→應用”的完整產業鏈。目前，深圳已經湧現出了方大集團、世紀晶源、普耐光電、珈偉實業、海洋王、凱信光電、帝光電子、銳拓光電、量子光電、奧倫德電子、明亮光電、鼎立照明、瑞豐光電子、聯創健和、沃科、鈞多立、淼浩高新等一批處於行業前列的企業。上、中、下游企業在產業鏈中的比重分佈情況：應用產品企業約占 33%、封裝企業約占 33%，配套企業約占 33%，外延晶片等中上游企業約占 1%。

(五) 歐美 LED 供應現況

歐洲、美國的 LED 超級供應商為德國 Osram、荷蘭 Philips Lumileds 與美國 Cree、Avago。其中，Osram 與 Philips 早已是世界光源領導品牌，對於 LED 產業具有重要地位，其採取集團併購策略與智慧財產佈局，是台灣、韓國與大陸廠

²³參見「從廣深國際照明展看半導體照明產業鏈」，2006 年 11 月 12 日。

商短時間內無法並駕齊驅。Avago²⁴則為安捷倫科技半導體產品事業部獨立出。Cree 相較下，無集團背景資源但卻擁有先進的技術，擠身世界之強。

(1) Osram - 白光 LED 領域取得與 Nichia 相抗衡的地位

Osram 為全球第二大照明廠商，成立於 1919 年，最大的股東為 Siemens AG，總部位於慕尼黑，全世界擁有超過 36,000 名員工。其商標早在 1906 年註冊，到目前為止是世界公認的歷史最悠久的商標名稱之一。Osram 已經從一個傳統的燈泡廠商發展成為一個照明領域的高科技公司，其產品包含一般照明、汽車照明、安定器及燈具、精密材料及零組件、光半導體及特殊光源。2005 年的集團銷售額達到 43 億歐元。位於北美的 Osram Sylvania Inc. 生產家用、商用與交通照明，並於 2006 年貢獻 20 億歐元的營業額 (43%)。另外，Osram Opto Semiconductors GmbH 生產為 LED 照明產品，總部於德國 Regensburg，工廠於馬來西亞的檳城，於 2006 年貢獻 5 億歐元 (12%)。Osram 於 LED 照明的佈局是，2007 年在馬來西亞的 Penang 擴增 Osram 的第二座 LED 生產基地²⁵。Osram 投注約 129 萬歐元擴產，預計在 2008 年啟用。同時擴產在德國生產晶圓的工廠，Osram 預期可以增加 50% 以上的生產量，以應付未來各式照明的需求，並且成為僅次於 Nichia 的生產商。

(2) Philips Lumileds²⁶

Lumileds 最早為惠普 (Hewlett-Packard) 光電部門，於 1990 年開始與 Philips 共同開發 LED。1999 年惠普劃分成兩公司，光電部門歸於新事業體 Agilent Tech.，1999 年 11 月 Agilent Tech. 將此光電部門獨立並與 Philips 合組 Lumileds。於 2005 年底，Philips 以 9.5 億美元獲得 Agilent Tech. 在 Lumileds 47% 的股份，而擁有 96.5% 的股權。2007 年 1 月，Philips 最終以 800 萬歐元買下剩餘的 3.5% 股份，獲得全面性的控制。Lumileds 研發總部於美國 San Jose，工廠位於馬來西亞

²⁴ Avago 於 2005 年 12 月 2 日成立，由 Kohlberg Kravis Roberts & Co.(KKR) 和 Silver Lake Partners 兩家公司於 2005 年 8 月 15 日宣佈以 26.6 億美元，併購安捷倫科技半導體產品事業部。該公司成立後將是全球最大的非上市獨立半導體公司，總部分別設在美國加州聖約瑟和新加坡，其擁有 5,500 多種系列產品，主要應用於無線和有線通信、工業、汽車、消費電子及存儲和電腦等廣闊的應用領域和終端市場；在光電耦合器、紅外線收發器、光通信器件、印表機 ASIC、光學滑鼠感測器和運動控制編碼器等領域一直保持市場前 3 名的領導地位。

²⁵ 參見「Osram expands LED chip capacity in Malaysia, Germany」，ledsmagazine 新聞，<http://www.ledsmagazine.com/news/4/4/32>。

²⁶ Royal Philips Electronics 是全球最大的電子公司之一，其包含照明、消費性電子、小家電、半導體、醫療系統、特殊產品事業部五大事業群。照明事業為全球最大光源製造大廠。

的檳城，2006 年 LED 營業額約 3.2 億歐元。

第四節 LED 照明

(一) 全球 LED 照明計畫

全球氣候變遷、暖化問題與能源短缺危機，「京都議定書」²⁷生效後，開始引發全球對於環保與節能議題的重視，各國為能達成降低能源消耗，以減少二氧化碳排放量的目的，無不積極開發替代舊有能源方案。照明使用的耗電量佔全球整體耗電量 19%，根據市場調查機構 Freedonia Group²⁸報告指出，2006 年全球照明市值 1020 億美元，其中光源佔 1/4 產值為 210 億，其餘則是燈具產值。光源需求，以每年 3.5% 的年複合成長率計算，至 2011 年將達到 250 億美元。下圖說明照明各產值的比重，光源約佔 20%、專業燈具 35%、消費性燈具 28%、車用市場 5%、消費性電子產品 9%、LED 類約 3%。

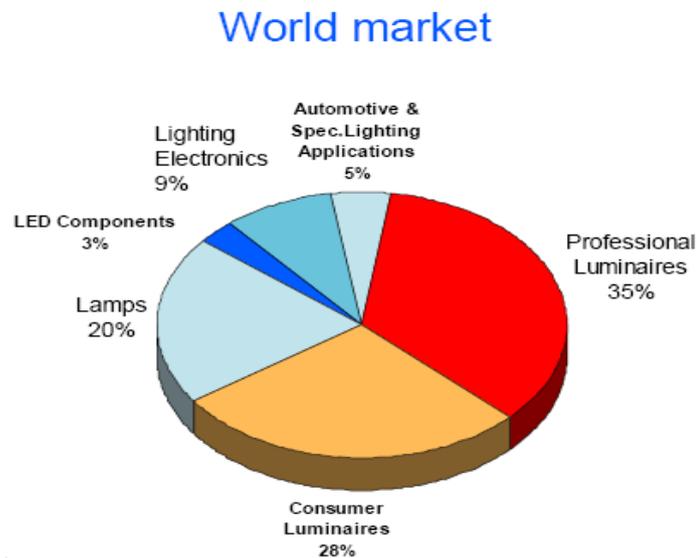


圖 3-10、照明產值區分圖²⁹

²⁷ 聯合國氣候變化綱要公約第三次締約國大會(COP3)於 1997 年 12 月 1 日~11 日在日本京都會中通過具有法律效力的議定書，於 2005 年 2 月 16 日正式生效。

²⁸ Freedonia Group 公司為美國專業的國際經營研究企業，創立於 1985 年。每年出版超過 100 份產業分析報告，列名財星 500 大(Fortune 500)中有超過 9 成的企業使用其分析報告。公司網址：<http://www.freedoniagroup.com/>。

²⁹ Rene van Schooten，「Lighting: Growth in Luminaires」，Lighting and Innovation Analysts' Day 演講資料，September 28, 2007。

照明能源佔全球能源消耗相當重要比例，美國與日本為全球主要能源消耗國，兩國人口僅佔全球 7%，但卻消耗全球 30% 能源。另外，歐洲因較早導入省電的照明器具，其照明用電量比例佔約 14%。白熾燈照明由於顯色性好、價格便宜使用至今已有上百年的歷史，然而在照明能源使用卻極為不具效率，使得照明能源消耗增加率，大於整體能源消耗增加率。因此，澳洲成為世界上第一個計劃禁止使用傳統白熾燈的國家。此計劃於 2007 年四月發佈，如果順利實施，預計到 2012 年，澳洲每年可減少 80 萬噸溫室氣體排放。下表整理全球政府管制白熾燈計畫。

表 3-7、全球政府管制白熾燈計畫 (本論文整理)

澳洲	於 2010 年逐步禁用白熾燈
紐西蘭	於 2010 年逐步禁用白熾燈
加拿大	於 2012 年禁止銷售白熾燈泡
美國	於 2012 年禁用白熾燈
歐盟	2010 年前，全部使用節能型照明設施
韓國	於 2015 年使用 30% LED 照明
台灣	計畫陸續改用 LED 照明，2012 年底淘汰白熾燈
中國	未來 10 年內淘汰白熾燈，以達到 2010 年照明省電 50%
日本	制定節能新標準限制白熾燈，有助省電燈泡、LED 燈具的市場發展。

在此節能趨勢下，LED 於照明應用的重要性立即被突顯出來。目前許多國家節能政策中，政府皆率先投入公領域 LED 照明建置計畫，也加速 LED 照明應用發展進程。表 3-10 整理各國固態照明計畫內所提出的白光發展效率計畫目標。

表 3-9、各國白光 LED 照明研發計畫表 (lm/W) (本論文整理)

國家	2002 年	2005 年	2007 年	2008 年	2010 年	2012 年	2012 年	2013 年	2020 年
美國	25		75		100	150	150		200
日本					120				
歐盟									
台灣		50-75			100				
韓國				80				130	
中國					100				150-200

以美國半導體光源發展計畫歷程為例，說明發光效率所代表的光源市場：2002 年白光發光效率 25 lm/W(取代小功率、低光通光源市場)，2007 年白光發光效率 75 lm/W(取代白熾燈)，2010 年白光發光效率 100 lm/W，2012 年白光發光效率 150 lm/W(取代螢光燈)，2020 年白光發光效率 200 lm/W(取代全部光源)。目前 2008 年，商品化的白光發光效率 100 lm/W，但價錢約 NTD 0.81/lm，預估需降至 NTD 0.3/lm 搭配 LED 節能特性，將可進入一般家用照明，而目前取代以特殊照明為主 (如，LED 路燈、隧道燈)。

表 3-11 為全球 LED 固態照明計畫表，整理美國「國家半導體照明研究計畫」、日本「21 世紀光計畫」³⁰、韓國「GaN 半導體開發計畫」、歐盟「彩虹計畫」³¹、中國「國家半導體照明工程」³²以及臺灣「次世代照明光源開發計畫」等。這些計畫的推出，帶動了各國研發、投資力度的不斷加大，以推動半導體照明產業的快速發展。

³⁰ 雖然日本 21 世紀光計畫已於 2002 年結束，後續日本並未有以技術研發為主體大型國家計畫出現。但觀察日本 LED 政策走向，從過去以協助技術成長為主，轉向於建構/培養需求市場，具體作為有協助 LED 標準設立及租稅獎助 LED 使用，以擴大市場。

³¹ 歐盟彩虹計畫以 BRITE/ EURAM-3 program 支援推廣白光 LED 的應用。其委託 6 個大公司 (LSTM、法國材料生長公司-CRHEA-CNRS、化學原料公司-Epichem、MOCVD 設備公司-Aixtron、電子零件製造公司-Thomson-CSF、荷蘭-Philips)和 2 個大學(英國-Surrey、葡萄牙-Aveiro)執行。

³² 中國已將 LED 列入國家「十一五」重大科技領域。同時，在中國科技部「863」計畫的支持下，由科技部確定工作重點為發展新型照明行業，並確定福建的廈門（開元科技園）、上海（張江高科技園）、大連（光產業園）和江西的南昌（國家高新技術開發區）為首批四個國家半導體照明產業基地。且 2007 年北京（亦莊經濟技術開發區）和深圳（光明高新園區）也成為 LED 廠商群聚中心。

表 3-10、全球 LED 固態照明計畫 (本論文整理，參考：KOPTI、中國照明網)

國家	時間		組織單位	主要參加單位	推動光電產業的組織	經費
	第一期	第二期				
美國	「國家半導體照明研究」計畫		國防先進計畫總署 (DARPA) 光電工業發展協會(OIDA)、能源部、國防部	12 個國家重點實驗室、公司、大學	OIDA (Optoelectronics Industry Development Association) (1991.07)	總額：5 億美元 2002 年：3000 萬美元、2003-2011 年：5000 萬美元
	2002-2011	2011-2020				
日本	「高效率電光變換化合物半導體開發 (21 世紀光計畫) 基礎計畫(Akali Project)		通商產業省，新能源產業技術綜合開發機構 (NEDO)、日本金屬研究中心(JRCM)	4 所大學、13 家公司、1 個協會	OITDA (Optoelectronic Industry and Technology Development Association) (1980 .07)	一期: 50 億日元
	1998-2002	2002 起始-				
歐盟	彩虹計畫 2000.7-2003.7		執行研究總署(ECCR)	6 家公司、2 所大學	歐洲光電產業聯盟 SOA (Scottish Optoelectronics Association) (1994.10)	BRITE/EURAM-3 計畫
	固態照明研究專案 2004.7-2007.7		俄羅斯國家科技中心資助	Belarus 國家科學院與德國 Aixtron AG	EPIC (European Photonics Industry Consortium) (2004.01)	
韓國	GaN 半導體發光計畫 2000-2008	固態照明計畫 2004-2008	光產業振興會(KAPID)		KAPID (Korea Association for Photonics Industry Development) (2000.05)	2000-2008 年政府給予 4.72 億美元(60%用於 R&D, 20%用於基地, 10%用於人才培養, 10%用於國際合作), 企業 7.36 億美元。2004-2008 年國家提供 1 億美元, 企業 30%配套
台灣	次世代照明光源開發計畫 2002 年起始		工業研究院、國科會	11 家公司、1 家研究機構	PIDA (Photonics Industry & Technology Development Association) (1993.04)	6-10 億 新臺幣
中國	國家半導體照明工程		科技部、中科院、資訊產業部、教育部、建設部、照明電器協會等	50 餘家企業、13 家研究機構	COEMA (China Optics and Optoelectronics Manufacturers Association) (1987)	「863」計畫 7104 萬人民幣, 中小企業發展基金 1310 萬人民幣, 攻關計畫 3350 萬人民幣
	2003.6 起始					

(二) LED 取代傳統照明

LED 用來取代傳統照明是確定的發展趨勢，但目前最主要受限於光源成本與轉換成本，另外，LED 照明標準法規，安全認證法規仍未明確制訂出來。因此 LED 一般照明市場仍不大，以功能性照明為優先取代市場。功能性照明市場如，維護成本高昂的 LED 路燈、隧道燈、工廠天井燈 (LED 具壽命長之優勢)，礦工燈 (LED 具安全性、耐震動)，冷凍燈 (LED 無輻射熱)，照畫燈 (LED 光譜窄，無 UV、IR 特性)，局部照明燈具 (手電筒、桌燈，LED 指向性佳)，全彩建築照明燈具 (洗牆燈、情境光源，LED 全彩性)。根據下表顯示，當 6W LED 可提供 900 lm，即 150lm/W，來計算整體成本 (含初始採購成本、電費、更換燈泡成本)，LED 才具取代之優勢。

表 3-11、使用 1000 小時之傳統光源與 LED 照明成本比較 (Daiwa)

	Incandescent	Halogen	Fluorescent	Compact fluorescent	LED-2007	LED-2012
						
Initial lamp cost (US\$)	0.5	1.5	4	5	18	7
Output (lm)	900	900	900	900	900	900
Lamp power (W)	75	30	11	15	12	6
Efficacy (lm/W)	12	30	85	60	75	150
Lifespan (hrs)	1,000	3,000	10,000	10,000	20,000	100,000
Electricity consumption for 10,000 hrs (kWh)	750	300	106	150	120	60
Cost of electricity @0US\$0.1/kWh(US\$)	75	30	11	15	12	6
Cost of lamp (US\$)	5	5	4	5	18	7
Lamp replacement cost @US\$8 (US\$)	80	27	8	8	8	8
Total ownership cost (US\$)	160	62	23	28	38	21

Source: Daiwa

(三) LED 照明產業鏈

照明公司可區分為三種，區域型公司 (local players)、國際型 (national players)與跨國公司(international players)。下圖顯示三種型態的照明公司，包含所涵蓋的國家市場。

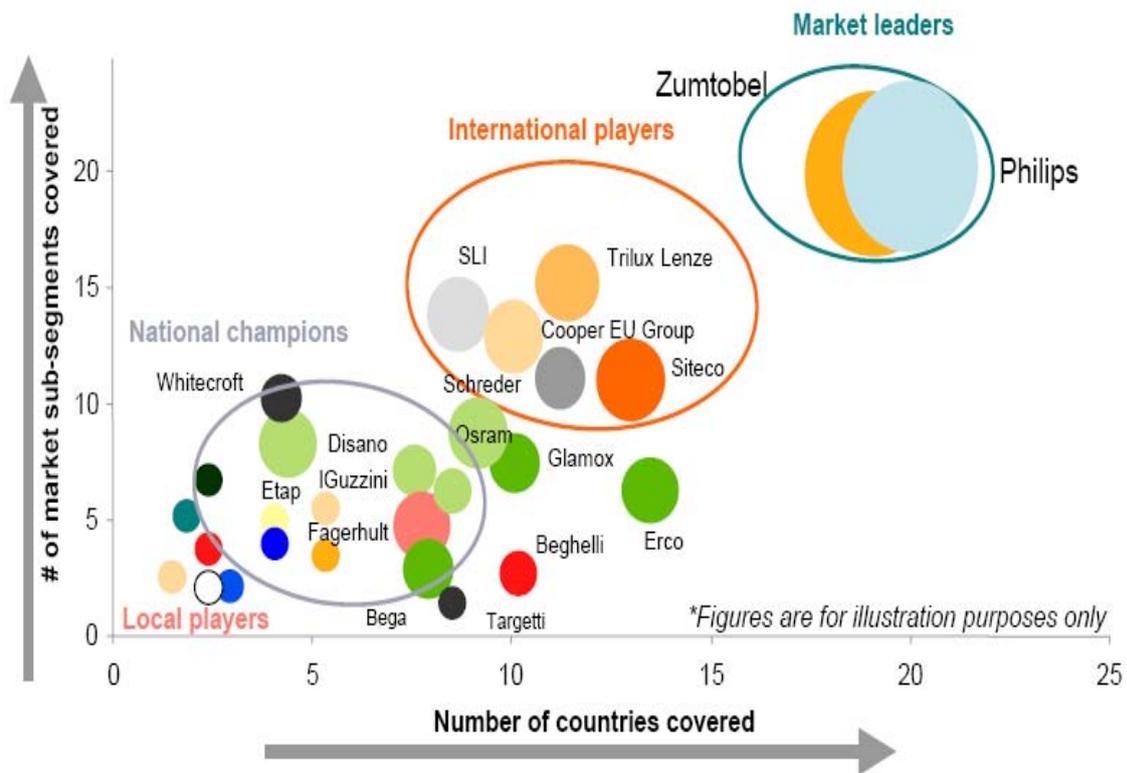


圖 3-11、全球照明公司³³

下圖顯示 LED 照明產業與傳統照明的產業鏈比對。傳統照明需要光源、電子配件、燈具、控制系統最後為燈光應用，Philips 與 Osram 和松下擁有整條供應鏈之優勢。詳細半導體供應鏈可見圖 3-7，此部分廠商可見 Philips、Osram 擁有整條供應鏈的佈局，Cree 同樣採取像下游照明應用佈局，而台廠晶電、億光目前未有實際的投資或併購往照明產業佈局，但在新進者的壓力與市場需求成熟，向下走或聯合體系力量必是未來策略。

³³ Rene van Schooten, 「Lighting: Growth in Luminaires」, Lighting and Innovation Analysts' Day 演講資料, September 28, 2007。

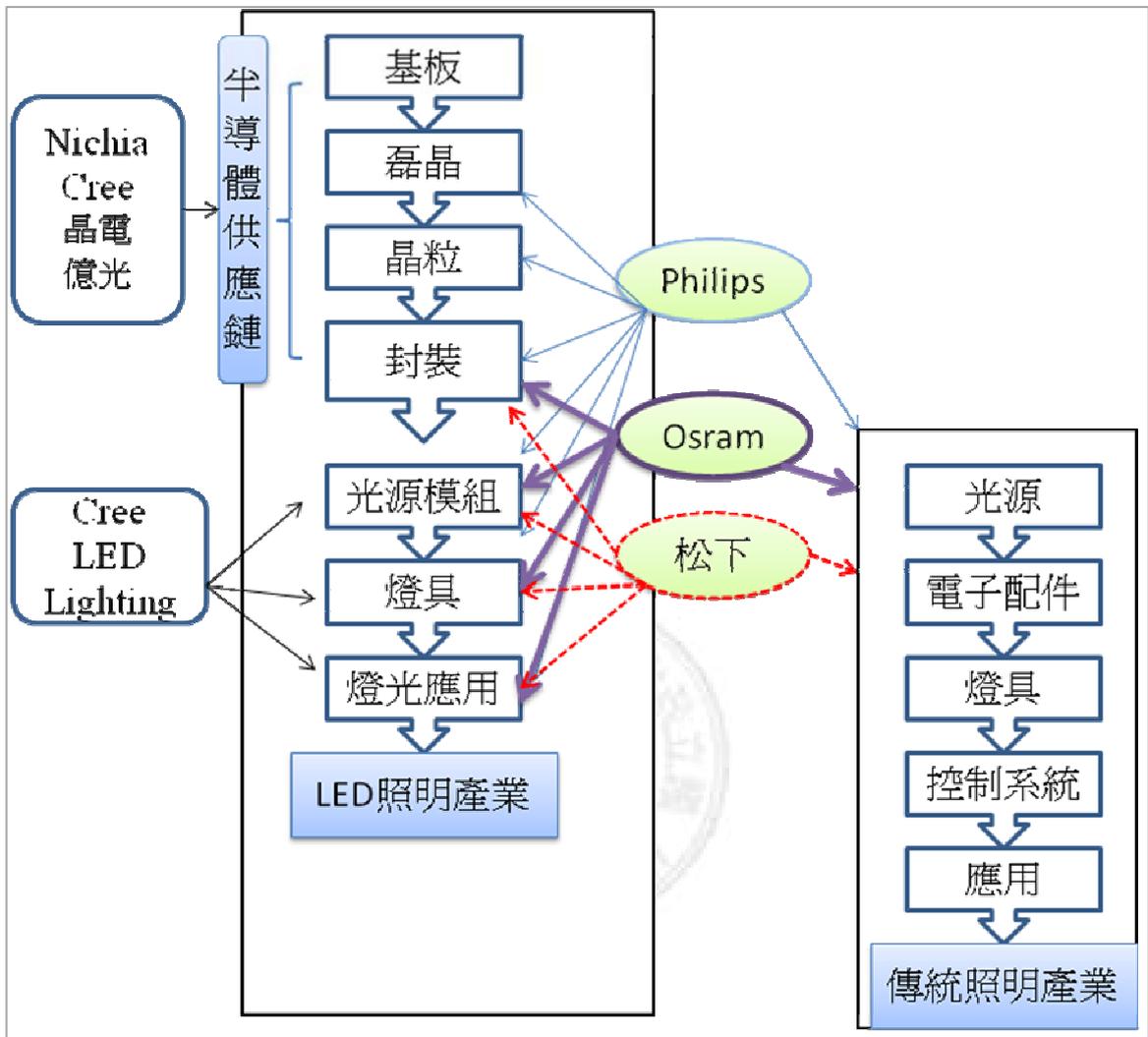


圖 3-12、LED 與傳統照明產業鏈比較 (本論文整理)³⁴

³⁴ 參考架構來自，「LED 應用趨勢研討會」，財團法人光電科技工業協進會，2007 年 11 月 23 日。