

台灣在 LED 照明發展現況、前景、挑戰與機會

Solid-State Lighting Development Status, Prospect, Challenge and Opportunities in Taiwan

石修

Schiu Sche

本文敘述台灣 LED 照明產業中固態照明的前景，挑戰，關鍵課題以及機會。文中談及智慧產權是一個重要而關鍵的課題，因為台灣經濟所需能源不僅超過 90% 來自進口而且是世界高亮度 LED 的主要供應地區。台灣 LED 照明產業、工研院以及大學積極努力地找出一條策略途徑，舒解國外智財權的束縛，建立自己的核心智權。大陸市場對台灣 LED 照明產業而言，不僅是一個龐大市場，而且是兩岸建設供應世界照明市場供應鏈的合作分工夥伴。除了技術與市場上的努力外，政府清晰、貫徹、有效的能源政策是必不可缺的架構。德國對再生能源、日本對節約能源、中國大陸從能源出口近年成為全球第二大能源進口地區後，採取新能源政策，讓台灣能源政策有深切反省。最後列出一些技術議題，如果產生突破，在技術與市場上衝擊，是智財權與 LED 照明產業標準的談判籌碼，可助成固態照明強力茁壯成長。

The prospect, challenge and critical issues toward solid-state lighting (SSL) opportunities have been reviewed for Taiwan LED lighting industry. The intellectual property is a vital issue that Taiwan LED industry, government-sponsored research organizations ITRI, as well as the domestic universities have to find a strategic approach jointly to settle it. Not just because Taiwan is over 90% dependent on imported energy sources, but also because of the Taiwan status as top supplier worldwide of high brightness LED, which forms the foundation of solid-state lighting. To access to the world market effectively, Mainland China is not only a tremendous market, but also a mutual-beneficial cooperation partner. Then, the market strength could be converted to a bargain power of IP and standardization of SSL. Finally a list of technical issues has been selected which could bring a breakthrough in the technology as well as the applications.

一、前言

人類文明發展與照明同在。史前人類在洞窟中以樸素寫實的岩畫記錄下人類與自然的互動與感受，留下人類文明初始的痕跡。沒有照明，無法在黑暗、庇護與寧靜環境中發抒記事。接著，知識與文明在人類歷史中傳承、累積，文字與圖畫才有足夠的精確、客觀與持久性，寫作與閱讀有了照明才走入廣泛與專業。人類生活的空間大大延伸。

生活的延伸、開拓以及專業分工，到了經濟規模，自然不能再受限於日光照明，人工照明成為人類經濟活動的基石。在二十一世紀的今天，經濟發達地區的電力能源有百分之二十用在照明上，而新興開發中地區也有百分之十幾用在照明，圖 1 為自人造衛星觀看歐亞大陸的夜空，夜晚的燈光燦爛程度相當精準的反映出該地區經濟的活躍。

很難想像但確定會發生的：當石油在五十年內耗竭，經濟性煤礦在數百年後採盡，而鈾礦無可再採，大規模集中式電力生產在大多數地區無以為繼。在這個 40 億年老的地球上，人類文明如何存續發展，是不是會與照明共存亡？

如果到了那個時代沒有近乎永恆、無窮的能源開發出來，人類的責任就在於如何以最小代價取得光明，或者改造人類基因只靠在日月星空下吸能就能在無盡黑暗中自適生存。

LED 固態照明以當前技術追求最小代價的照明。LED 固態照明在 21 世紀成為一個新的光源，重新定義人類居住的空間及生活的感覺。

二、台灣在 LED 照明發展現況

台灣在 1970 年代開始發展發光二極體 (LED)，比大陸還晚了十年。先從國外進口紅光 LED 晶粒，封裝成 LED 燈，主要用為指示，亮度大致有幾十個千分之一燭光 (mcd)。1980 年代由於 LED 燈需求的成長，LED 晶片產業誕生。從國外進口氣態或液態磊晶片 (VPE 或 LPE) 來做鋅擴散、金屬蒸鍍、鑽石刀切割及晶片測試等製程，提供下游封裝產業，一舉逼退許多美、日、德國競爭對手。到了 90 年代，工業技術研究院研院籌設了材料工

業研究所，把 LED 用的化合物半導體產業技術列入優先光電技術項目。不過，首期化合物半導體單晶棒成長及液態磊晶技術都不算成功，直到有機金屬化學氣相沉積技術 (metal organic chemical vapor deposition, MOCVD) 打下了基礎。

1995 與 1996 年日本中村博士在日亞公司一舉開發有機金屬化學氣相沉積技術氮化鎵藍光及綠光 LED 成功，全球供不應求，台灣的 LED MOCVD 磊晶、晶片 (合稱中、上游)，以及下游封裝廠才一湧而上，大放光彩，由世界舞台後排擠入主流。日亞藍光 LED 一次提高 100 倍亮度 (由 mcd 進入 cd)，以及由黃綠光進入純綠光 (655 nm → 515 nm)，使得全彩呈現、白光實現逐次上場，再向應用端 LED 顯示幕、照明光源構裝及 LCD 背光源、照明燈具延伸。而藍光及後來的紫外光源加上不同螢光粉，造成高效能白光及全彩，使得專利權課題猛然翻上抬面，成了頭條報導。2000 年舊金山第一次 LED 策略會議帶來了華爾街十幾位投資代表與會。LED 產業由二、三十億美元市場值的指示燈及顯影產業上看 130 億美元的照明元件產業。固態照明 (solid state lighting, SSL) 時代就此揭開了序幕。

在台灣，LED 照明發展的產業鏈如圖 2 所示。目前基板產業尚不存在，全部仰賴進口。磊晶成長僅需部分進口，台灣在 AlInGaP 及 InGaN 上自給自足具優勢。多數產業鏈都具競爭優勢或有競爭潛力，價值鏈層面如圖 3 所示。



圖 1. 自人造衛星上觀察夜空，照明燈光反映經濟發達程度。

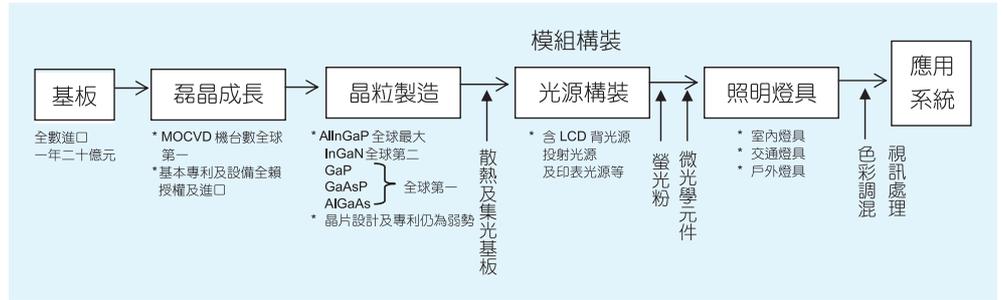


圖 2. 台灣 LED 照明產業鏈。

生產是台灣經濟結構歷來最大優勢，採購及全球運籌也是台灣強項。行銷正由中低層次走向更高層次，不過仍以量產產品行銷為主，價值行銷尚在摸索探討中。產品概念設計及應用開發平台較美、日、歐業者差距更大，回收則尚未開始（金是第一個，鎳是第二個啟動回收資源）。策劃能力隨著產業、企業規模成長以及企業併購案件浮出、增快而向上提升，然而在企業規模經營以外的課題策劃則尚為少見。以研發法人推動的產業技術研發聯盟對政府研發資源的爭取及分配以及研發法人焦點凝聚起了相當作用，是台灣產業技術發展總體規劃能力衰退後，較具特色及成效的好用工具。不過缺乏一隻強有力的手來協調三隻不一樣粗細長短的鼎腳（圖 4）。

政府能源政策尤其需要落實、貫徹、有效，從戰略布局、國際合作，助成新產業產生、茁壯，成為具有社會共識的發展資產。看看德國開發再生能源、日本節約能源，以及中國大陸自能源出超變為大幅入超後採用新能源政策的力度。台灣的能源政策相形之下，恐怕只是眾多政策之一，未能彰顯成效。

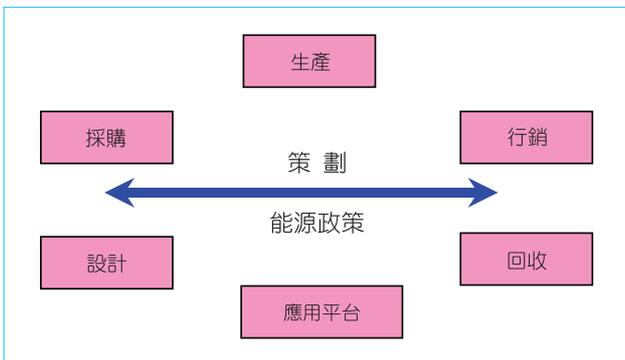


圖 3. 台灣 LED 照明產業價值鏈。

三、前景與挑戰

	2005	2006	年成長率
台灣 LED 產業產值	台幣 407 億元	台幣 478 億元	+17%
全球 LED 市場	美金 56.7 億元	美金 61.3 億元	+8%
全球照明元件市場	美金 130 億元		+3%
汽車內外照明及標示、交通號誌	美金 5.6 億元		

全球照明元件市場為一平穩成長的市場（典型年成長率 3%），LED 照明元件市占率僅才萌芽。由於量產品發光效率已超過 20–30 lm/W，可直接取代低發光效率之白熱燈泡（ ≤ 15 lm/W）。取代瓶頸在於購置成本還遠高於白熱燈泡，必須在數年使用壽命內，由節約電費及更換白熱燈泡維修費用中賺回。但在越來越多特殊應用中，如手攜式電池操作應用節電及輕薄優勢、狹小空間冷光照明應用，3 伏特直流低壓驅動電路不產生跳電火花，商業廣告應用高色彩飽和優勢及可見與可辨識度高。切換反應快，不到 1 mm 超薄結構優勢用在汽車照明、

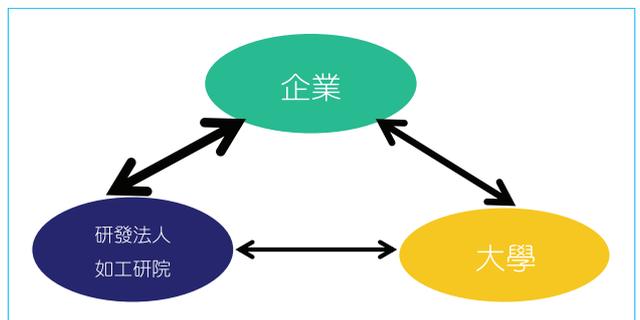


圖 4. 台灣 LED 產業技術的三腳鼎立。

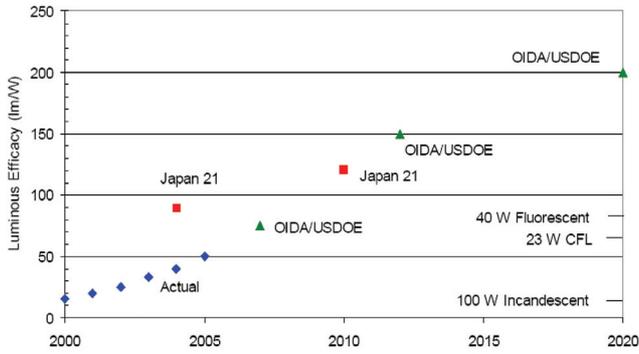


圖 5. 白光 LED 技術里程碑。

標示、安全煞車燈及造型風格設計優勢以及交通號誌，取代傳統光源之力度加大，速度加快。

但 LED 要能全面取代傳統光源，成為新興光源，將面臨以下重要的挑戰：

- 成本需下降至 1/10，甚至 1/100。
- 發光及照明的長期品質與品質量測認證系統。
- 智財權。
- 構築應用開發平台。
- 從特殊照明到一般照明之技術及市場策略。
- 政府能源政策。
- 國內 LED 照明及供電系統跨越策略聯盟到國際分工與節能策略聯盟。

四、課題與機會

以白光 LED 技術發展課題為例 (圖 5)，白熱

燈 130 年來 (15 lm/W)、螢光燈 60 年來 (80 lm/W) 發展成果，LED 不到 10 年 (2000—2010 年) 就要超越 (100—120 lm/W)。使得 2010 年發光成本直線下降至 1/5—1/6，面臨如此重大變局，政府能源政策不能僅是順水推舟、樂觀其成而已。又以智財權課題為例，日亞化學與全球藍、綠光 LED 智財權的霸主們認為，技術力與智財權的價值並非一致。技術力更是產品創造市場的泉源。日亞智財策略的核心是以專利交互授權來創造自身技術力的優勢。

由圖 7 可見日亞對 2002 年氮化鎵 LED 元件智財權局面的策略安排，以及 LED 智財俱樂部會員在後續四年中的合縱連橫。台灣業者一來在布局外圍邊陲，二來是強者的端末，自身不是網路節點，更不是樞紐。且不論經濟部科專計畫產出的 74 件專利如何作最佳利用，日亞智財權策略的新認知，也應給台灣 LED 產業一個機會作新的考量與作為。

就應用開發及市場規模課題來看，可以積極擴充台灣已居世界數一數二 LCD 顯示器的 LED 背光模組，中國大陸已居世界第三大汽車市場的汽車內外照明，以及新近具有競爭優勢的 LED 印表頭。在擴充市場規模方面，把握 2008/2010 奧運／世博會的機會以及都市空間揮灑 (圖 8 與 9)，也可以營造個人的空間感覺，屬於一個科技創造的人文環境。

短短一兩年之間石油已從 20 美元漲至 70 美元。油價高漲的背後，除了短期供需失調的現象之

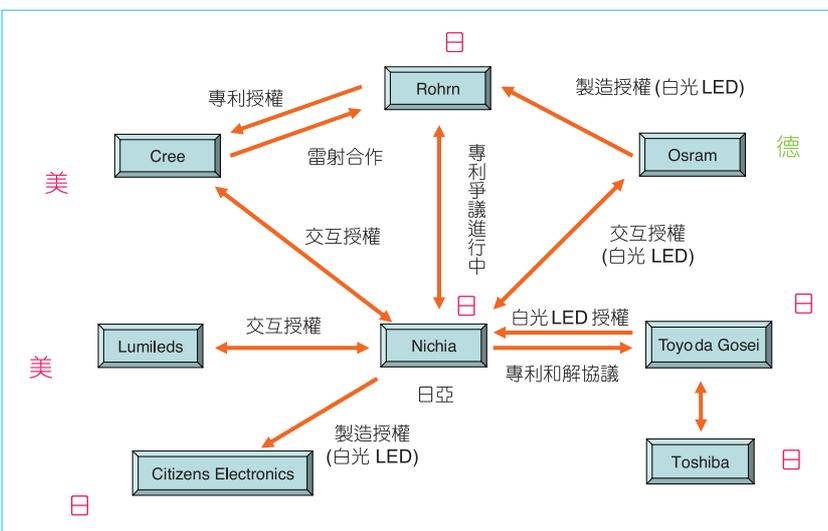


圖 6. 2002 年藍白光 LED 智財權協議安排。(資料：Compound Semiconductor 雜誌)

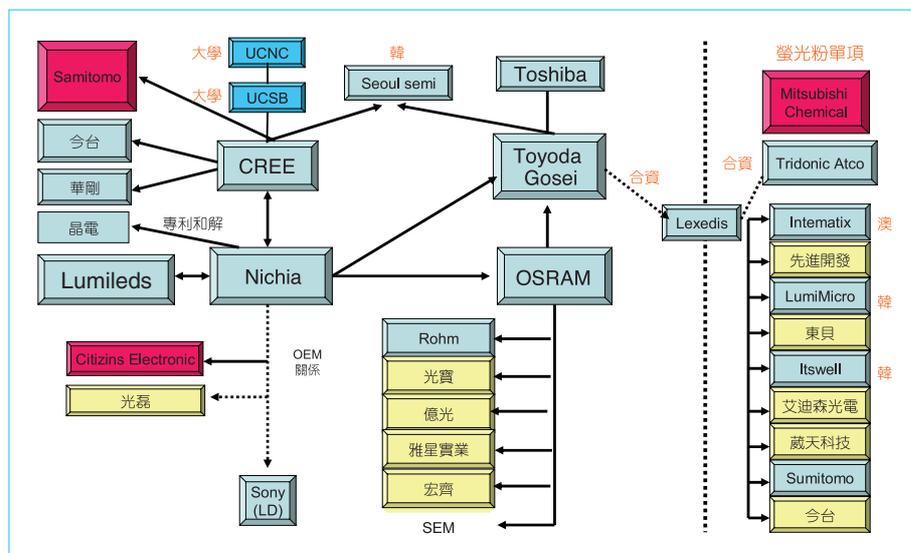


圖 7. 2006 LED 元件智財權現況 (針對台灣 LED 產業)。(資料：CA Research)

外，更有石油最多 50 年後成為稀有物質、再挑不起能源重責的危機。

LED 固態照明是一個以最小代價取得照明的努力起點。若與太陽電池系統相結合，將使得經濟偏遠低區的人民也能享有文明的福祉。中國大陸市場龐大，由長久能源出口地區因享有世界工廠的經濟果實而變成世界第二大能源進口國，對於社會與政府都是很大的震懾。LED 固態照明是當務之急的國家型工程。在前站製程與功率元件構裝上仍需與台灣的合作聯盟。LED 固態照明的智財權籌碼與市場開發能力及市場佔有率有相當互動影響，是兩岸中華 LED 照明企業爭取時間與空間的場景。

五、面臨的挑戰

以下是業者、學者以及產業技術政策制定者需要費神思索的一些課題。要打出路，是沒有便宜的工作：

1. 小尺寸藍光晶粒 EQE 可達 25% @ 20 mA，大尺寸晶粒卻只有 10% @ 300 mA。
2. 缺乏高效率 UVLED 光源，用 BLED 光源則高效率螢光粉已經發掘殆盡，插滿先下手的專利旗。
3. 以 c-face sapphire 為基板，很難將成本降至 1/10。
4. 考慮材料吸收光的情況下，LED 光子抽出效率



圖 8. 鮮活生動的照明。



圖 9. 多層次空間照明給與人的空間感覺。

- LEE 僅達 36%，2/3 光子出不了構裝，無效。
5. 藍光源的 LED 演色性 CRI 待提升。
 6. 最簡單的二極體，LED 元件熱管理系統還不算高效率。
 7. 高功率／陣列式 LED 缺乏良好散熱機制。
 8. 無鉛疊晶鉀球不夠好及價廉。
 9. 色溫 CT 偏高，缺乏暖色柔光源。
 10. 缺乏 LED 元件熱阻的量測系統。
 11. 螢光粉及缺乏螢光粉發光效率標準量測系統。
 12. 缺少適用於 LED 之 CRI 標準及標準光源。
 13. LED 研究密度不夠。
 14. 色溫尚不能電控。
 15. 缺少動態監控混光光源之驅動管理模式。
 16. 光子晶體尚未成為好用的手段。

17. 兩岸缺乏完整 LED 照明標準，勢必接受日本標準使用權的束縛。
18. LED 照明業者大都為中小企業，分工細，研發難以整合。工研院與能源局責任大，如何以示範計畫帶動挑戰世界舞台技術的整體開發進度，挑戰極大。

-
- 石修先生為德國阿亨工業大學理學博士，現任新磊微製造股份有限公司董事長。
 - Schiu Sche received his Ph.D. from Technical University (RWTH) Aachen, Germany. He is currently the chairman of Neostones MicroFabrication Corp.