

The Development Process of the LED industry in Taiwan: A Perspective of National Innovation System

Tzu-Hsin Liu* and Hung-Yu Huang

Department of Business and Management, National University of Tainan

Abstract—This paper is based on the perspective of national innovation system to illustrate the development process of the LED industry in Taiwan. The industry, which emerged in Taiwan in the 1970s, has a complete industrial value chain, including epitaxy manufacture upstream, chip production midstream, and packaging and testing downstream. Today, the industry has the largest output quantity of LEDs and the second largest output value worldwide. Drawing on an in-depth qualitative study, we conclude that a successful national innovation system must dynamically adapt environmental change and further strategically adjust innovation actions. Finally, the findings of this research can contribute to facilitating the dynamic concept of national innovation system. We also suggest that an effective national innovation system should depend on the common interaction and endeavor of firms, government, academic, and research institute for upgrading the whole innovation capability.

Index Terms — Light Emitting Diode (LED), LED industry, National Innovation System



*Corresponding author: thliu@mail.nutn.edu.tw

DOI : 10.6159/IJSE.2013.(3-1).04

台灣發光二極體產業之發展歷程：國家創新系統之觀點

劉子歆*，黃泓瑜

國立臺南大學經營與管理學系

摘要

本研究立基於國家創新系統的觀點來闡述台灣 LED 產業之發展歷程，台灣 LED 產業源起於 1970 年代，目前在台灣已有完整的產業價值鏈，包括上游的晶粒製造、中游的晶片生產、下游的封裝與測試。現今，台灣 LED 產業在全世界已具有產量第一、產值第二的成績。本研究利用深度的質性研究，提出一個成功的國家創新系統必須要能動態性的適應環境變化，甚至所有國家創新系統的行動者皆要能策略性的調整其創新行動。最後，本研究之發現將有助於國家創新系統在動態性概念上的建立，以及提供產、官、學、研思考如何共同建立一個有效的國家創新系統，提昇整體的創新能力。

關鍵字：發光二極體、發光二極體產業、國家創新系統

壹、緒論

自十八世紀工業革命以來，機械取代人力使得生產效率大幅提升，帶來經濟成長的榮景；相對地能源無止盡取用，使我們越加依賴能源帶來的效益，卻忽略能源濫用所導致的苦果。然而，隨著能源的大量開發盡用，造成環境系統無情的反撲，世界各地因環境變遷造成災害頻傳。由此，倡導「潔淨能源」聲浪排山倒海而來，各國政府也紛紛推動發展「綠色能源產業」政策，如：2009 年美國投入 2,090 億美元推動「淨潔能源計畫」、德國「經濟振興淨能計畫」將投入 37 億美元、日本「經濟緊急對策方案」中投入 113 億美元於潔淨能源源、韓國「綠色新政」規劃 77 億美元投入潔淨能源，而同時台灣

政府通過「綠色能源產業旭升方案」，計畫推動能源光電雙雄(太陽光電與 LED 照明光電產業)，藉此來加速產業技術升級與市場的滲透，其中台灣 LED 產業發展，早期從封裝代工切入，當時國際大廠普遍著重在磊晶的發展，使得台灣 LED 封裝填補成長缺口，2000 年起已達全球產量第一、產值第二的佳績，然而成長伴隨著危機。由於 LED 全彩化實現，在看好未來應用潛力下，1993 年南韓政府開始投入大量資源，傾政府全力，扶植國內 LED 產業。再者，1981 年中國吸納海外人才積極發展 LED 產業，2003 年中國啟動國家半導體照明工程，完成 LED 產業鏈建構。加上 2003 年起日本日亞化學(Nichia)對台廠大興訴訟，企圖箝制日漸茁壯的台灣 LED 產業。然而，台灣 LED 產業在國際大廠與後起的中韓夾擊下，歷經近 40 年筆路藍縷的辛勤耕耘，透過產、官、學、研各方進行技術創新、擴散與加值活動，孕育出台灣 LED 產業強韌的生命力。

在本研究中，我們認為台灣 LED 產業的發展與台灣的國家創新系統有密切的關係。Metcalfe (1997) 指出，國家創新系統是一種獨特的制度，它集合了各種力量使得技術得以發展與擴散，它也提供了政府在形成與執行政策時的架構，進而影響了整體創新過程[1]。Freeman (1987) 也定義國家創新系統是公部門與私部門互動的網絡制度，在這樣的制度中，新技術得以發明、輸出、修正及擴散[2]。更進一步而言，一個國家的經濟創新績效不只源自於單一機構的運作，尚包含不同機構間以集合式系統的方式進行知識創造與使用 (Samara, Georgiadis, and Bakouros, 2012) [3]。而此知識的共同創造，顯

示了具有開放式創新的特點將會突顯國家創新系統的重要性，並增進國家創新系統的有效性，甚至也使得國家創新系統中的網絡更為多樣性 (Wang, Vanhaverbeke, Roijackers, 2012) [4]。

就政府的角度而言，一個國家所具有的創新能力是驅動國家經濟發展的最基礎力量 (Hu and Mathews, 2005)[5]。在過去有關於國家創新系統的研究中發現，政府政策通常扮演一個關鍵性的整合角色 (Clarysse and Bruneel, 2007)[6]。例如，Freeman (1982) 藉由國家創新系統的概念解釋日本為何能在二次大戰後經濟發展最成功的國家，該研究歸因於日本數十年的長期追趕政策，而不是透過操作短期外匯或利用成本優勢的開發。此外，Leitch and Davenport (2005) 亦指出，紐西蘭的國家科學政策促使該國因科學發現而帶來大幅的經濟效益，進而創造了知識經濟[7]。Kang and Park (2012) 並以韓國生物科技之中小企業為研究案例，發現政府對於研究的支持及企業間的合作會對於產業創新產生正面的影響[8]。

雖然政府政策對於一個國家的創新能力扮演重要的角色外，研究機構亦為促成產業創新的一個重要機制，特別是在台灣，政府責成研究機構進行研發專案，再進而將此結果移轉至產業界，例如工研院 (The Industrial Technology Research Institute, ITRI) 即是台灣最大研究機構，它的使命是建立新的產業並且提昇現有產業 (Hsu, 2005) [9]。Leitch and Davenport (2005) 並且指出，就經濟性考量而言，研究機構必須將使研究計畫滿足研究使用者（即產業界的廠商）的需求，而非只是單純地呈現其科學性成果有多麼偉大[7]。例如，1999年，紐西蘭的研究科學與技術基金會 (the Foundation for Research, Science and Technology) 也改變了紐西蘭的科學與創新系統，使其能更直接且明顯地達成其經濟目標。

對於廠商而言，Baark (1994) 指出，高科技廠商必須思考如何能有效進行技術創業[10]。Garud & Karnøe (2003) 認為技術創業是集合各種努力而成

的結果，廠商必須利用各種技能與資源，將一個構想轉換成一個具有商業性質的產品，而這樣的技術創業過程，則必須結合各種不同領域的行動參與者致力而行[11]。換言之，一個國家的國家創新系統，除了政府政策的執行，以及研究機構的技術移轉外，廠商自身更需要能擁有技術創業的能力，並且思考如何利用國家創新系統此一機制中的各類行動參與者，幫助其開發新的技術，進而產生創新的成果。

當然，除了政府、研究機構、廠商外，學術界亦為提昇一個國家創新能力之重要因素 (Inzelt, 2004)[12]。而政府通常會促使產業界與學術界進行合作，此將有助於一個國家知識經濟之發展 (Inzelt, 2004; Walsh and Le Roux, 2004)[12][13]。近年來，產學合作的情況亦大幅增加。但在合作領域中彼此互動模式卻不太一致，大學普遍著重在基礎研究，而產業界著重於技術問題的解決方案 (Frieder and Ulrich, 1999)[14]。因此，如何使得產、官、學、研四者在國家創新系統中的合作機制發揮其應有的效益，則成為目前高科技產業在發展創新能力上一個非常重要的課題。

Castellacci and Natera (2013) 指出，國家創新系統的動態性受到二種能力共同演化而成，包括創新能力與吸收能力，創新能力與創新輸入、科學輸出與技術輸出有關，吸收能力則與基礎建設、國際貿易與人力資本有關[15]。在本研究中，為分析國家創新系統的動態性，我們將台灣 LED 產業之成功的發展歷程分為建構期與茁壯期二個時期，並且探討產官學研四者如何藉由各種的科技創新之輸入與輸出，創造出此一系統的創新能力，又如何藉由國內的基礎建設、國際合作與人才養成，形成此一系統的吸收能力。

具體而言，本研究立基於國家創新系統觀點探討台灣 LED 產業之成功的發展歷程，以期能延伸國家創新系統在學理上的解釋，以及對國家創新系統在實務上的應用有所貢獻。

貳、研究設計與方法

本文主要研究台灣 LED 產業如何透過國家創新系統建構出完整產業鏈，以及產官學研的互動下如何厚植出台灣 LED 產業的優勢，使其成為全球 LED 之生產重鎮。而根據 Yin (1994) 提出研究策略與問題類型，此一分析「如何」之問題研究，適合採取個案研究法進行[16]。

本研究以台灣 LED 產業作為個案研究對象，台灣發展 LED 至今已將近 40 年的光景，LED 產業萌芽正逢政府推動 RCA 計畫，LED 與 IC 半導體產業發展同樣具有悠久的歷史。而本研究選取台灣 LED 產業為主要對象之原因有：第一、台灣 LED 產業與全球 LED 產業近乎同步發展，且為發展過程的重要角色之一，可謂全球 LED 產業歷程縮影。第二、台灣 LED 產業發展至今，已成為全球產量與產值均名列一、二的產業，且擁有全球四元 LED 最大及藍光 LED 第四大供應國，在全球 LED 供應鏈上佔重要位置。第三、2009 年「綠色能源產業旭升方案」，積極推動「能源光電雙雄」，將 LED 產業列入重點扶持產業，被賦予成為未來台灣科技產業競爭優勢來源之一。基於上述三點原因，本研究選取此一符合單一個案「獨特性」選取原則(Yin, 1994) [16]。

在資料來源方面，本研究依據 Yin (1994) 所提出之資料蒐集原則，使用多重證據來源，兼採三角檢定法運用不同資料來源的交叉驗證，確認所蒐集資料能否反應出個案背景知識與所欲觀察現象，進行資料的收斂性判定，進而增加本研究之建構效度[16]。所蒐集資料包含初級與次級資料，初級資料方面，本研究主要針對 LED 公司經理人、政府官員、工研院中階主管與大專院校相關系所教授進行訪談，訪談人數達 51 人、56 人次，每次訪談時間約 1~3 小時。受訪單位人員名單如表一所示。每次訪談均以錄音檔錄製存檔，整理成逐字稿，並建構本研究之個案研究資料庫，增加研究之信度；次級資料方面，包含各大公司網站資訊、相關研究報告

(經濟部出版品、資策會 MIC 報告、台灣經濟研究院產經資料庫、財團法人 PIDA 產業資訊、拓璞產業研究所、光連雙月刊)、書籍、報章雜誌等，作為資料分析之用。本研究將所有與個案相關可供利用之資料納入考量，以 Glaser & Strauss (1967) 提出之資料飽和性揀選作為參考依據，並採取結合資料蒐集與分析過程兩者並行分析方式，據此原則，在個案資料與理論之間進行反覆與平行的分析，以強化個案分析內容[17]。

表一 受訪單位人員名單

類別	訪談日期	受訪者任職公司與職稱	受訪時間
產業界	2011.03.10	東貝光電光電事業部 呂格維總經理	30 分
	2011.07.19	晶圓光電 BUI 張中英協理	1 時 06 分
	2011.08.15	安提亞研發部 蘇晉鋒協理	2 時 14 分
	2011.08.16	安提亞研發部 陳建安資深工程師	56 分
	2011.08.18	晶圓光電 研發部 王俊慨副理	1 時 13 分
	2011.08.30	璨圓光電 簡奉谷策略長	2 時 26 分
	2011.08.31	隆達電子研發處 郭政達協理	1 時 44 分
	2011.09.13	新世紀光電 李允立副總	59 分
	2011.09.28	綠星光電 黃炯彰經理	1 時 45 分
	2011.10.17	宏傑科技 陳一義總經理	2 時 05 分
	2011.10.20	晶圓光電 鄧紹猷總經理特助	1 時 34 分
	2011.10.20	晶圓光電 范進雍副總	1 時 34 分
	2011.10.21	艾笛森財會處 許正典處長	1 時 12 分
	2011.10.25	合晶光電研發部 鄭樵陽資深工程師	1 時 59 分
	2011.11.07	台達電子照明電源事業部 王志賢處長	1 時 43 分
	2011.11.08	隆達電子照明事業處 鄭水金協理	1 時 21 分
	2011.11.11	合心科技 鄭敏輝總經理	30 分
	2012.04.12	隆達電子封裝暨照明廠 陳建良副理	50 分
	2012.04.20	光林電子行銷業務處 胡勝雄處長	1 時 12 分
	2012.07.03	海立爾 陳明鴻總經理	55 分

	2012.07.13	台灣燈具照明公會 張孔誠理事長	2 時 16 分
	2012.07.16	優貝克 吳東嶸副總經理	2 時 02 分
	2012.07.18	台積固態照明 譚昌琳總經理	50 分
學術單位	2011.04.15	崑山科技大學光電工程系 林俊良助理教授	1 時 31 分
	2011.04.27	台南大學電機工程系 許世昌副教授	2 時 14 分
	2011.08.08	成功大學電機工程系 張守進特聘教授	41 分
	2011.08.10	高雄應用科大電機工程系 李孝貽主任	57 分
	2011.08.11	台北科技大學光電工程系 陳隆建教授	1 時 35 分
	2011.08.17	崑山科技大學 蘇炎坤校長	54 分
	2011.08.22	成功大學光電工程系 許進恭教授	1 時 28 分
	2011.08.23	高雄大學電機工程 藍文厚教授	2 時 20 分
	2011.08.24	中興大學精密工程學系 洪瑞華教授	1 時 10 分
	2011.09.02	中央大學電機工程系 慕振瀛講座教授	1 時 14 分
	2011.09.07	台灣聯合大學系統 劉容生副校長	1 時 27 分
	2011.10.14	交通大學光電工程系 郭浩中教授	47 分
	2011.10.18	交通大學光電工程 紀國鐘教授	2 時 10 分
	2011.10.31	台灣大學化學系 劉如熹教授	49 分
	研究機構	2011.05.19	工業技術研究院產經中心 能源研究組林志勳組長
2011.05.20		工業技術研究院電光所 朱慕道組長	1 時 14 分
2011.08.04		工業技術研究院機械所 林建憲副組長	41 分
2011.11.18		工業技術研究院綠能所 李麗玲副組長	1 時 11 分
2011.11.25		LEDinside 廖宇宸產業分析師	1 時 14 分
2012.03.28		工業技術研究院技轉中心 楊思源組長	1 時 37 分
2012.03.28		工業技術研究院電光所 陳進龍經理	2 時
2012.04.19		工業技術研究院產服中心 張肇顯經理	1 時 21 分
2012.04.19	工業技術研究院綠能所 鄭名山組長	51 分	
政府機關	2011.11.01	經濟部工業局 呂正欽副組長	1 時 13 分
	2011.11.01	經濟部工業局 楊志清科長	1 時 13 分
	2011.11.15	經濟部技術處 林青海科長	1 時 25 分
	2011.11.18	經濟部能源局 高淑芳專門委員	1 時 11 分

2011.11.29	經濟部標檢局 邱垂興技正	1 時 30 分
------------	-----------------	----------

參、個案分析

自 1996 年白光 LED 的問世，掀起照明光源的一場革命，近幾年隨著發光效率的提升與價格下滑，加上各國淘汰白熾燈泡與 LED 照明政策的出台，LED 成爲新一代照明光源已儼爲趨勢，因著照明市場的龐大商機，吸引各國傾力發展 LED 產業，造成今日全球 LED 產業如春秋戰國百家爭鳴之勢。

而全球 LED 產業是以亞洲、北美及歐洲三大區域爲產業發展中心，其中又以日本日亞化學(Nichia)、豐田合成(Toyoda Gosei)、美國科銳(Cree)、Philips Lumileds、德國歐司朗(Osram)五大廠發展最早，幾乎掌握所有 LED 關鍵核心技術專利，五大廠之間更彼此透過交互授權的方式形成綿密專利網，成功阻絕了新進者的威脅。但隨著 2010 年多項專利保護期即將屆滿，加上後進者在技術能力與專利數量的逐漸提升，近幾年五大廠除加速專利授權以取得高額權利金外，都將重心專注在各自領域的高端市場與先進產品的開發、應用；後進廠商則以中低階產品爲主，配合終端市場應用領域需求，產業發展一改以往由五大廠寡占的局勢，轉變爲與新進者共同分食市場大餅態勢。

此態勢演變歸因於全球 LED 產業發展，早期由企業主導產業技術發展，各國政府在產業發展過程中扮演角色相較薄弱；由於近期各國政府在產業政策與相關措施上，莫不大力施爲，全力扶植國內 LED 產業，尤以中國與南韓爲其代表，此新進者挾國家資源之力，擁龐大市場優勢，已逐步撼動由五大廠所主宰的全球 LED 產業。

而台灣 LED 產業發展，在先進者(國際大廠)與後進者(中韓廠商)雙方壓制不利情況下，發展成爲未來台灣「六大新興產業」之一，回顧過去近 40 年來，自 LED 產業在台灣紮根一直到蓬勃發展，台灣成爲全球 LED 主要生產的據點，這成功的關鍵主要來自於，初期產業先進爲台灣 LED 產業保

留了技術命脈，之後工研院與學術界在基礎性與應用性研究上的努力，加上學界培養眾多優秀的半導體人才，同時政府以政策引導也提供良善的經營環境，在產官學研四方頻繁的互動交流下，一點一滴厚植台灣 LED 產業的競爭力。

一、台灣 LED 產業國家創新系統之建構期 (1972~1999 年)

1960 年代正值台灣經濟轉型，政府為建立以工業為基礎的經濟，快速進入國際供應鏈體系，推出多項產業政策，如：《加工出口區設置管理條例》、《獎勵投資條例》等，隨著經濟成長，使得國內資本逐漸累積，但是許多基本建設不足，遂而推動十大建設，因應工業經濟的發展。當時政府政策措施充分利用台灣相對低廉的生產要素，吸引眾多國際公司來台投資。

在政府政策獎勵下，1972 年美商德州儀器來台建立第 1 條的 LED 封裝線，為台灣開啓跨入 LED 的大門，1974 年美商德州儀器結束在台灣的 LED 封裝生產線。雖然德州儀器結束在台 LED 生產業務，不過台灣 LED 產業種子卻悄悄的發芽，德州儀器所培養一批 LED 封裝技術人才，承襲技術能量開始在台灣技術紮根。1975 年，原德州儀器封裝工程師宋恭源等人成立光寶電子為台灣第一家封裝廠。早期 LED 產品因發光效率不佳，僅應用在指示燈、玩具、聖誕燈等，初期市場並不大，然而看好 LED 未來前景，源於德州儀器與光寶電子的技術人才，紛紛成立封裝廠由產業下游開始做起，如：華興電子(1977 年)、佰鴻工業(1981 年)、億光電子(1983 年)、李洲(1988 年)、東貝光電(1993 年)、宏齊科技(1995 年)等，自此 LED 產業在台灣落地生根。

1982 年政府推動「八大重點產業」投資政策，將材料科技列為發展重點之一。隨後台灣 LED 封裝廠因出色的代工能力，在全球 LED 供應鏈上，逐漸深具影響力，但早期台灣 LED 晶粒都需要向日本、美國採購，多數仰賴進口，對於台灣為數眾多的封

裝廠商而言，供貨受制於人，限制台灣 LED 產業的發展升級。此時，工研院成為技術開發者的角色，1973 年針對上游生產原料著手開發，1981 年成立工業材料所，以磷化鎵(GaP)與砷化鎵(GaAs)為材料發展單晶與磊晶的成長，開始 LED 的研究計畫。而 1980 年代開始，工研院陸續將技術轉移到業界，在台灣廠商投入 LED 封裝業務同時，工研院開始著手投入 LED 上游磊晶與中晶晶粒的研發，並與業界有技術移轉與研發案之合作。對於工研院作為與產業橋接的角色，工研院電光所組長表示：

「工研院的 mission 來看，從一開始 80 年代之前，我們來談是以技術來發展這個產業，80 年到 90 年之後呢，上面主管意識到，產業的推動是一件重要的事情，必須要有一個方式，所以把這樣一個議題拉高之後，就開始談怎麼樣與產業結合，所以那時候就慢慢在技術發展過程中怎樣讓它變成產業，同步在專案計畫裡面去思考這個問題，所以 95、96 年就跑出品元光電出來，就開始慢慢比較具體看產業推動這件事情，早期這些都是做技術研發之外，覺得可以就去做公司，概念上是不一樣，雖然就是目標都是一樣的，但是做法開始有了改變。」

再者，中游(晶粒)的發展，由萬邦電子在 1976 年開始生產紅光 LED 晶粒，1979 年該公司推出橙黃及紅綠光系列展開序曲。而後光磊科技於 1983 年成立，以晶粒製造為主，接著 1985 年台科由工研院技轉 LPE 磊晶技術成立。其中，最成功技轉個案是 1987 年工研院紅外線單晶和磊晶技術技轉鼎元，負責鼎元技術人員的培訓活動，並派駐技術人員進駐公司，確保技轉成效落實。此外，工研院希望進一步整合當時光電產業，為擴大合作與技術交流，避免業內殺價競爭、同業挖角人才，阻礙發展，於 1986 年由工研院主導與 13 家廠商所組織的「光電半導體技術發展諮詢委員會」(光諮委會)，以聯誼性質的溝通協調，達到協助 LED 業者並提供一個產業資訊的交流平台，透過非正式的組織，來達到彼此合作的共識。而光諮會就是一個協調業界材料供給、需求與採購的組織，以合作爭取生存空間的合理產銷方式，此後光諮會成員漸漸以合理報價取代過去殺價競爭維持價格的競爭力。工研院電光所組長提到：

「75、76成立光資委會，因為那時候張忠謀是工研院的院長，他從美國回來，我們要做到產業效益，LED太小不要做，那時候大家都有點緊張，因為他說不要做，所以那時候我們找了很多廠商成立光資委會，當然有一個聲音發出來，然後能夠讓上面知道，有這樣的小產業規模，這是第一點，那第二點就是說，那時候廠商規模很小，坦白講就只是會做，什麼都不會，就互相殺價，透過這樣子的運作，彼此互相協調不要再做這樣子的工作，所以光資委會就透過工研院去推動這邊，所以mission有兩種發展，一種就是支持計劃的需要，二是協調產業的互動，所以光資委會出來，那它出來是以廠商聯誼性質為主。」

而上游(晶片)的發展，當時磊晶技術與生產設備存在多種研究方向，工研院從技術研發與產業連結的觀點，考量技術成熟度與產業發展現況，決定採用有機金屬化學氣相沉積法(MOCVD)及其設備，作為晶片生產製造。1993年透過工研院技轉國聯光電成立，工研院確立以MOCVD機台製造晶片，並且成為主流技術後，便技轉國聯光電四元高亮度LED技術與Aixtron的MOCVD設備，國聯成為繼HP與Toshiba後國際市場重要的高亮度四元LED供應商。隨後漢光科技成立，從事GaP磊晶片之研究、生產及LED晶粒之製造，產業鏈最後一塊拼圖終告完成，上中下游專業分工模式從此確立。中央大學電機工程系教授回憶：

「那時候大概在1980年的時代，用的技術都是LPE的技術為主，那時候大概也沒有想到像今天LED今天發展的情況，LED大部分都是做一些指示。那麼到了1980年代後來的話呢，工研院就覺得說發現說MOCVD這個技術呢，其實是一個很重要的技術，是很有potential！所以台灣學校裡面或者是工研院都開始，那工研院就買了第一台commercial的MOCVD reactor，這個80年代做，工研院就開始投入了真正的長晶人才，後來就有國聯光電的出現也用MOCVD，那國聯光電有了我們這些基礎的人才，再加上當初從HP回來的人，所以把這技術再帶進來一些，因為我們又有足夠基礎訓練的人，所以馬上就可以把國聯做起來，然後把晶電做起來。那到了1990年的時候，就是80年底90年初的時候，就變成是大家看到了GaN的興起，這個材料的興起，以前都做紅光，頂多做到了黃綠光，做不到綠光跟藍光，那GaN的興起的話，大的公司投進來做，包括原有的公司、新創的公司，

那這樣一路看來的話，整個link的完整。」

然而，國聯的成立並沒有解決當時產業鏈「上瘦下肥」下游龐大的需求量，為此透過當時工研院光電所居中協調，於1995年開始籌備「發光二極體磊晶量產技術開發計畫」。1996年以億光為首(為晶電最大股東)，以及光諮會成員中的光磊、鼎元、佰鴻、華興、開發科技...等七大法人，與工研院創投資金共同合資成立促成上游磊晶廠「晶元光電」的成立，並選在新竹科學園區設廠，技術團隊要來自工研院光電所，加上延攬留美光電專家加入。工研院電光所組長回憶：

「那真正到了96年之後上游材料部分晶元光電出來，那這部分的工作出來也就是過去在工研院執行政府科技計劃，也在培養這個部分，那在培養這部分的時候，在早期過程來講，都是以封裝為主，那材料都是掌握在外國人手裡，最主要都是日本廠商，所以在這個部份認為應該要正視這個問題，那工研院在這裡努力幾年，所以開始決定要有這樣子的公司出來，所以那時候就成立了晶元光電，那晶元光電成立之後，等於上游有了紅光元件為主，還不是藍光的部分，那這個部分開始做，對台灣最大的貢獻，是我們有ITO的專利，就是說我們台灣做的技術都比國外落後一段時間，所以在專利技術上會比較慢，所以比較特別的是，我們有一個透明的電極，這個專利應用在這個紅色的LED上面，那在這部分，台灣在這部分的專利掌握它的效率做的很好，所以在這個地方站得住腳起來，而且慢慢變得開始幫忙代工，所以從材料到專利這部分一塊出來，是因為藍光元件的需求，所以發展過程一步一步這樣走過來，所以早期在93年是以封裝為主，過了93年，96年的樣子上游慢慢開始出來。」

隨之，多家磊晶廠陸續成立，華宇集團轉投資成立華上光電(1998年)、廣鎂光電成立(1998年)並引進中山科學研究院技術，於2001年量產藍光LED。1998年全新光電(於1996年成立)發展出LED磊晶片，跨足LED領域。同年，連威光電創立，網羅國聯光電首批紅光LED磊晶工程人員加入技術團隊，生產以紅光LED磊晶為主，藍光LED磊晶為輔。而早期LED產業發展多以大台北與新竹地區為重心情況，1999年開始南部地區出現大規模上游

投資公司，晶專科技成立，以發展 GaN 藍光磊晶與晶粒技術為主。同年璨圓光電成立並引進工研院光電所的技術，進行氮化鎵(InGaN)相關材料的磊晶及晶粒製造。2000 年南紡集團結合統一企業和南帝化學等企業，集資成立的元矽光電。同年，聯電集團、台灣工業銀行與中加創投等投資成立聯銓科技。台灣 LED 產業發展至此，產業鏈已臻完備，開始進入另一個新的階段。

在產業鏈建構的過程中，早期學術界在上游磊晶技術與材料開發的投入，為產業累積技術能量；另一方面，產業專業人才是產業發展的充要條件，早期台灣 LED 產業得以生根發芽，端賴德州儀器與光寶技術人才將技術保留擴散，加上歸國學人將美國先進技術引入台灣。然而由於產業初期技術尚未成熟、應用面侷限，缺乏廣大市場支撐，加上 LED 封裝廠都是小規模投資，所能創造就業機會不多，技術人才也多來自於各理工領域，尚無專門培養 LED 專業人才科系，直到 1980 年國立交通大學成立台灣第一所光電工程研究所，開始 LED 相關的專業技術人才培育，而後隨著產業發展，對於光電人才需求增加，各大專院校陸續又成立相關系所(如表二所示)，相關專業人才培育與投入產業，也成為台灣初期 LED 產業成功發展的關鍵軟實力。高雄應用科技大學電機工程系主任談到：

「台灣做 LED 來講的話，做磊晶的人才培養最多，因為做磊晶本來就需要大量的人才，因為磊晶的話，比較多的工作需要 try error，許多的參數和過程都需要人去嘗試，所以這方面台灣這種研究生的人口很多做磊晶，那其實做的也蠻不錯的！因為過去台灣做半導體的技術相當不錯，像在台灣以前的年經人學理工，第一志願都會去台積電、聯電嘛！那時候很多老師也從事這方面的研究，很多像交大就是最典型的，它整個電子所幾乎都是在做半導體的製程，然後台灣又有台積電、聯電這種龍頭的產業，所以帶動就是說，學生畢業不會沒有出路，而且薪水還蠻不錯的，所以這是一個正面的循環，他出去有好頭路，那些優秀的人才就願意念這一行，所以台灣過去半導體產業建立的蠻不錯的，人才培養也有一定的水準，也引進一套很好的流程。」

表二 各大專院校成立相關系所(1972~1999 年)

時間	大專院校	成立系所
1980	國立交通大學	光電工程研究所
1982	國立中央大學	光電科學與工程學系
1987	私立聯合工業專科學校	電子工程科光電組
1988	省立雲林工業專科學校	光電工程科
1992	國立台灣大學	光電工程學研究所
1993	國立中山大學	光電工程學系
1996	國立中央大學	光電科學研究中心
1997	國立海洋大學	光電科學研究所
1998	私立大同大學	光電科學研究所

資料來源：本研究彙整

在國家創新系統建構時期，因當時台灣正值經濟轉型，缺乏資金與技術，擴展對外貿易、吸引工業投資、引進新技術、創造就業機會，政府遂制定「獎勵投資條例」、「加工出口區設置管理條例」等政策，創造良好的投資環境，成功吸引外資來台投資，此政策效應直接促使 LED 生產技術在台灣紮根。再者，1973 年全球發生石油危機，台灣此時遭受外交、經濟上嚴峻的挑戰，思考擺脫以勞力密集為導向，轉向技術密集的工業，政府將經濟部所屬的聯合工業研究所、聯合礦業研究所、金屬工業研究所合併而成成立「工業技術研究院」，而當時的電子中心(電子所前身)，則以磷化鎵(GaP)為材料、液面被覆柴氏長晶法(LEC)進行單晶長晶，及以砷化鎵(GaAs)為材料的液相磊晶法(LPE)，著手 LED 研究計畫，往後更在磊晶技術與設備上，有了突破性的進展，使得 MOCVD 成為日後磊晶生產的主要技術。此後，工研院陸陸續續在政府科專計畫資金支持下，自身研發或與學界共同進行多項技術性創新，及早期人才培育，隨之將技術移轉商業化，以及專業人才投入產業，因著國家創新系統逐步的建構，為早期台灣 LED 產業發展累積技術創新能量與產業發展人才，奠定了日後發展的基礎。

二、台灣 LED 產業國家創新系統之茁壯期 (2000~2012 年)

1999 年政府推動「能源國家型計畫」，揭櫫以「能源科技策略」、「能源技術」、「節能減碳」、「人才培育」四項發展主軸，開始對 LED 產業發展提出明確的政策引導與資源的挹注。2000 年時台灣 LED 產業已經達到全球產量第一，產值第二的亮眼成績。此時，產業鏈上游出現重大的整併潮，上游廠商開始將主力移到無線手機功率放大器所需砷化鎵(GaAs)磊晶片上，並積極進行併購以擴大產能(如：國聯光電於 2000 年併購光寶 LED Chip 部門，以增加量產規模)；而中下游廠商因為投入市場時間較久，製造技術與量產皆具規模，多朝向 SMD、高亮度、紅外光等高單價與高毛利的產品線發展。對於政府正式投入資源協助 LED 產業發展，工研院電光所組長回憶：

「真正政府在這邊長期上面的投入，變成很重要的 timing 是 2000、02、03 年之後政府的 Project 拉高了，拉高了這個議題開始慢慢地在推動這件事情，那這個部份來講就是說，政府的 Project 來看的話是有計畫，在經濟部的科技專案支持這部分有在做，最後一直到了劉兆玄下面之後，他把能源當作施政主軸，所以那時候就有能源國家計畫，跟在經濟部的一個能源崛起的方案，所以這次把 LED 列為國家重點計畫的執行，所以它的發展過程大概是這樣子。」

另外，自 1996 年日本日亞化學工業株式會社(Nichia)，開發利用藍光 LED 塗上黃色螢光粉(YAG)，激發產生白光 LED 後，白光 LED 正式進入商業化，而白光 LED 作為取代傳統光源的次世代光源，一直是 LED 被賦予的最大寄望，但因早期白光 LED 發光效率仍低，這個想像仍存在疑慮。2001 年經濟部能源委員會委託工研院光電所與能資所共同執行的「高效率照明技術開發四年計畫」，以加速提升 LED 照明效率。2002 年經濟部能源委員會、工研院光電所與能資所共同成立「半導體照明產業推動聯誼會(SLIA)」，主要是整合 LED 及照明燈具廠

商，結合科技與傳統產業的資源，目的促使雙方互相溝通了解，共同發展半導體照明產業，藉著 LED 廠製造成本優勢與照明燈具廠商廣大出海口兩者形成互補。台灣燈具照明公會理事長談到：

「我說兩個行業的人不但是生意上的合作，我甚至還說你們這麼有錢，你自己投資幾千萬去搞照明，沒有得到一個很好的結果，你何不把那個錢投資到我照明產業來，我有這麼多的會員，可能這個規模小你看不上，也有很多體質不錯的啊！你可以找一、兩家，可以把錢投資到照明廠商，就變成他的股東啊！那你們兩個互為股東之後，你是不是就可以不用花心思去做照明應該要做的事情，而且你又做不好，是不是把這個心思，就花在其他應該花心思的地方，去推廣、發展你的 LED 讓它變得更亮，你就不用花心思在去做照明的東西了！那照明的廠商有什麼好處？他可以因為你是我的股東，我就安安心心去跟你買封裝的東西也好，或是芯片也好，你一定給我最好的，我們是自己人，你總不能把不好的東西賣給我吧！你一定把最好的，甚至還可以賣得更便宜，交期也應該以我的最優先，我賺錢你有好處啊！而且我才是你的出海口啊！」

2002 年韓國三星採用藍光 LED 作為手機背光，創造出一波 LED 光源新應用，手機大量需求產生之下，開啓台灣藍光 LED 外銷的通路，帶動 LED 廠商的營收大幅度的成長。在此同時，上游磊晶廠持續成立，後進者新世紀光電，在資金、技術相對劣勢情況下，打不進 LED 供應鏈，於是從最少業者從事的綠光 LED 利基市場進入。相對於藍光應用的廣大背光市場，綠光 LED 市場小得多，且技術障礙高，從技術創新著手，成功成為綠光 LED 性能最好和產能最大的供應商；2003 年力晶集團有鑑於全球 LED 產業的蓬勃發展，台灣成為全球 LED 生產重鎮，投資成立力旭光電，主要生產高亮度 LED 晶片；2004 年台塑集團藉由設立實驗工廠，生產白光、藍光的 LED 及旗下的長庚大學執行國科會光電半導體照明跨學門整合型計畫的機會，取得國家科學補助經費，加上南亞塑膠的研發資源挹注，成立南亞光電生產 LED 磊晶片與晶粒，開啓了集團投資專業 LED 生產公司的先河。

2003 年開始德國歐司朗(Osram)的積極對台灣

廠商開放授權，億光首先在 2003 年 10 月取得 Osram 的白光 LED 專利授權、光寶亦在 2004 年 1 月取得授權、宏齊在 2004 年 11 月取得授權、雅新在 2005 年 9 月取得 Osram 授權，今台電子於 2006 年 2 月取得 Intematix 之螢光粉專利授權。另外，光磊也於 2004 年取得日亞化授權藍光產品，並幫日亞化代工，使得台灣 LED 產業在專利上面有所突破，自此台灣 LED 產業在白光 LED 的發展，逐漸擺脫日亞化的專利限制。

同時爲了促進照明產業技術升級，在經濟部技術處的支持以及工研院光電所的技術協助下，台灣 11 家光電半導體廠商包括華興、台灣光寶、光磊、億光、晶電等，共同成立「次世代照明光源研發聯盟」，希望透過研發聯盟的成立，整合政府與業界相關資源，共同開發次世代白光 LED 照明光源，以提昇 LED 產業在照明用白光 LED 之自主能力與國際競爭力。後續 2003 年由經濟部技術處啓動「白光 LED 研發聯盟次世代照明整合性計畫」，其中涉及材料和元件之開發、光學設計、照明應用與檢測標準等多項工作。此計畫於 2005 年發表成果，在產學研共同合作下，投入的總經費高達三億八千多萬，開發完成數十項 LED 前瞻及關鍵應用技術產品，其中專利申請案件已達 114 件。經濟部工業局電子資訊組科長談到：

「那剛剛我所講的照明跟 LED 這邊，事實上這兩個行業勢必要有一定的接觸，從過去我們照明燈具這一塊，外銷都蠻不錯的，那現在因爲光源的改變，產業特性也會改變，光源這一塊，比如說上市櫃公司，他集資可能比較快，但是照明這一塊，他是相對規模比較小，有必要讓兩邊不管是從技術、資金，有適度的做一些整合，比如說我們透過兩邊的協會，我們有請照明工會的理事長去當 TOSIA 的顧問，這邊開始讓兩邊雙方開始知道彼此的想法去做，不然一直讓彼此對對方存在某種見解卻不做處理，那我們的做法就是把兩邊拉過來坐下開始交談，彼此交流經驗和想法，共同去想說這個產業怎麼結合怎麼往前走，這是我們目前正在做的。」

在台廠陸續取得國際的螢光粉授權，也點亮台灣白光 LED 的市場前景，且 2006 年在汽車車燈、

戶外路燈照明及 NB 背光源等市場漸漸獲得應用，需求量進而逐年大幅攀升，誘發 LED 晶粒之需求，又由於產業鏈形成之時 LED 產業下肥上瘦的產業態勢，導致下游廠主導 LED 產品的價格，在價格與產能雙重因素驅動下，引發了產業鏈整併，如：華上集團的垂直整合(2004~2006 年)、元帥及聯銓合併(2005 年)、晶電五合一(2005~2007 年)、嘉聯集團的垂直整合(2006 年)、洲磊與曜富合併(2007 年)。在整併如火如荼進行時，台灣面板雙雄友達與奇美電爲求晶粒貨源穩定，布局背光源市場，友達入股新品電(2007 年)與凱鼎(2006 年)、奇美電入股璨圓(2006 年)與成立奇力光電(2006 年)從事磊晶、晶粒生產。因著整併潮落幕，新品電成爲全球最大四元 LED 晶粒及第四大藍光 LED 晶粒供應商，其產能規模超越全球龍頭的日亞化，成爲台灣最大的 LED 製造商擁有最多 MOCVD 磊晶機台。

相對於產業界的大動作整併，以提升競爭優勢，經濟部工業局於 2005 年也發佈「工業局推動發光二極體發展狀況」，對於新興重要策略性產業產品項目(如：LED 全彩顯示器、氮化鎵藍綠白光 LED、LED 磊晶用晶棒及晶圓、白光 LED 照明設備等)，針對研發新產品提供了主導性新產品或傳統工業提升競爭力計畫輔導等，協助業者研發符合市場需求之產品；而在人才培訓部份，有光電人才培訓計畫，並擬定未來人才培訓計畫將隨著業界的的需求及市場狀況逐年調整。

繼面板大廠以集團資源入股、新設公司方式進軍 LED 產業後，2006 年汽車大廠裕隆宣布入股廣錄，著眼於 LED 已逐漸成爲汽車重要周邊零配件之一(包括汽車儀表板、前後車燈等)，雙方存在上下游關係，成爲裕隆集團入股的重要原因。2007 年鴻海集團入股先進開發，宣示正式入主，先進開發原已是韓系手機 LED 的最大供應商，鴻海入主除可供應旗下富士康代工的手機產品之外，群創面板的 LED 背光源也跟著受惠，甚至進軍到照明市場，著眼在中國的 LED 路燈訂單，而 2009 年鴻海也透過旗下鴻揚創投，跨足 LED 上游藍寶石長晶

產業，投資藍寶石基板長晶大廠鑫晶鑽，布局磊晶材料來源。2008年起，隨著LED生產技術的持續改進及產品價格的下跌，刺激LED應用於NB背光源的比重增加，加上NB系統廠商積極主打LED背光新機種，使得LED再次品嚐到成長果實，甜美果實吸引國內各集團相繼宣布跨入LED市場，2008年大同集團旗下的尚志半導體入股璨圓光電，成為璨圓最大的股東，大同集團的加入成為璨圓新的出海口；而力晶集團投資成立晶發光電，在南科投資生產LED，以高階的磊晶與晶粒研發、製造為主，包括RGB全系列與更高光電比的LED產品；友達也一改往昔投資入股方式，直接成立隆達電子，採垂直整合模式經營，主要產品為LED晶粒、背光封裝、照明燈源與模組四大領域，定位為專業的LED光機模組製造商，積極佈局照明市場的整合性產品與服務；此外，半導體大廠台積電旗下創投VTAF公司，先行投資美國BridgeLux，之後於2009年宣布投資液光固態照明有限公司(Liquid LEDs)，布局延至交流電LED燈泡產業。同時另成立LED事業部，並於2011年獨立為「台積固態照明股份有限公司」，同樣採一條龍經營模式，從上游的磊晶、晶粒、光引擎、封裝、模組化等垂直整合，提供光源整合方案。台北科技大學光電工程系教授談到：

「從PDA到GPS，或者是車用的TV，到notebook再到LED TV，尺寸慢慢變大，慢慢滲透進去，到大概2004、2005年，2005年之後大概這些市場都飽和之後呢，LED的廠商想要把這個市場再擴大，擴大要走哪個方向？就走照明，走到照明這個階段，就有很多大公司就會有興趣了，以前都一、兩億嘛！我那時候記得，鉅新科技成立那時候的資金是五億，五億那時候是很豪華的，在LED這個廠來講是很豪華的，非常多的資金，那後來要做照明的時候呢，聯電、台積電、奇美、鴻海，這些大的財團對這個市場就有興趣了，因為你做背光源，譬如你做LED的背光源，手機裡面要用到幾顆LED？面板只用到兩顆或三顆，一片two inch的wafer，epi wafer可以做幾萬顆？三萬顆！所以它的市場、需求量其實不大，可是照明就不一樣了，做LED TV就不一樣了，做照明一根燈管就要兩百

顆，所以很多財團或者是集團，他想進到這個市場就是看到照明這塊，那進到照明這塊很多大的股東、有錢的股東就會進來，所以台灣LED產業資本額就從一億兩億、五億六億、十億二十億，到現在可能三、四十億的都有，大概趨勢是這樣。」

隨著LED應用市場逐漸浮現，各國LED廠商積極布局，紛紛把觸角延伸到未來照明市場。2007年為搶占LED車用照明和家庭照明市場，經濟部工業局委由工研院組成兩個LED照明產業聯盟，包括「LED照明標準及品質研發聯盟」和「車用先進照明聯盟」，由晶電、億光、佰鴻、大億、力致、中國電器等共計15家廠商，預計兩年將投資近6億元，除投入研發和規格訂定，也將串聯LED光源與燈具產業鏈，協助國內廠商搶進LED白光照明市場。兩大聯盟分別為「LED照明標準及品質研發聯盟」，以照明廠中國電器為主導，成員包括晶電、一詮及中盟光電、光寶、維明、齊瀚等7家廠商，聯盟投入LED室內、路燈等照明標準的訂定工作，新標準將用來檢測未來LED照明工具的發光效率；「車用先進照明聯盟」以大億為首，成員有華創、佰鴻和億光、璨圓、鼎元、力致及宏惠等8家，該聯盟鎖定LED車燈市場，致力於開發車燈規格和產品，由裕隆集團的華創及其供應商大億，研發出的LED車用照明將內建於裕隆的新車款。

此後，政府開始推出一系列計畫與政策，加速白光LED照明技術的提升與應用的推廣。2007年工業局開始推動為期4年之「白光LED照明產業發展輔導計畫」，並以發展白光LED元件及照明應用產業為主軸，積極推動產業技術升級，協助廠商建立研發相關應用之關鍵性零組件及核心技術，提升相關LED照明產業之技術自主性及產品競爭力。輔導方向主要以「推動產業發展與產業聯盟」、「建立產業標準及檢測驗證制度」、「促進投資」、「加強國際合作」及「在職人才培訓」等五項分項工作計畫為主。同年，政府宣佈全台的「照明節能推動方案」，目標是短期內以省電燈泡全面取代白熾燈泡，長期規劃以節能效果更佳的LED燈取代傳統照明。

根據此方案的規畫，第一階段是由政府帶頭示範，要求中央、地方等公家機構，一律在 2008 年底前全面汰換白熾燈，並於 2008 年起輔導飯店、旅館、住家、農業、市場等，執行自發性換裝省電燈泡行動；第二階段則是以能源效率較省電燈泡更佳的 LED 燈，做為最終照明的解決方案。

另一方面，早期的光諮委會由於到後期成員的參與度降低，導致功能性大減，用以穩定市場的功能已不復存在，加上半導體產業日趨壯大，需要一個正式的協會來配合產業未來的發展，於是 2007 年將光諮委會轉型成立「台灣光電半導體產業協會」(TOSIA)為一法人組織，光諮委會轉型將擴大會員面向，加強與業界的交流，達到資源最佳整合與運用，同時著重在提升產業技術開發、推動產業標準，並積極推展國際交流，以布局全球市場。TOSIA 現任執行秘書談到：

「2007 年那時後，我就把它改組變成正式的協會，所以就是慢慢的產業規模大了，那以前都是屬於聯誼性質內部在交流，比較沒有對外發聲，那事實上當產業到達某一規模之後，能夠跟政府互動，還有代表台灣的聲音，需要有這樣的協會能夠去跟外面談，它應該是正式的組織，所以我們內部慢慢認為應該讓它變成協會，所以慢慢開始籌組，把光資委會轉型為台灣光電半導體產業協會。」

時值 2008 年因當時 LED 上、中游業者已陸續投入 AC LED 研發，為促進 AC LED 之技術交流與應用端產品開發合作，加速 AC LED 上、中、下游產業鏈垂直整合，工研院推動成立「AC LED 應用研發聯盟」，集結國內晶電、億光、光寶等 25 家廠商所組成，在此基礎上，將聯合更多 LED 應用廠商，透過應用研發聯盟各項活動，促進國內 AC LED 產業技術交流及結盟。而初期以協助會員發展 AC LED 創新應用產品，並推動 AC LED 應用產品安規認證，建立 AC LED 產業標準及應用產品測試標準；長期目標是發展 AC LED 新興產業，提升台灣產業的國際競爭力。這也是繼經濟部推動「LED 照明標準及品質研發聯盟」之後，首度由工

研院參與組成制定產業標準之正式聯盟。工研院產經中心組長談到：

「工研院這幾年都在推產業的標準，從工研院開始，工研院先制定一個產業的草稿，工研院寫好之後跟產業界一起來溝通，大家同意就送到標檢局，標檢局再開一個座談會，那沒有疑慮的話，這個就變成台灣一個 LED 的標準，大概就是這樣一個流程起來的，大家好像覺得標準是標檢局在寫的，其實標檢局從來不會寫標準，因為他沒有這麼多人，沒有這麼多專業，那他就是整合機構，你要提標準，那你就提來吧！那我幫你開會，標檢局的角色有點像是幫你開會，大家都沒意見了，那我就這樣做，如果還有意見，就再開會，所以過程中要有人先出頭，把這個草稿擬定出來，產業界訂標準會有門戶之見，那像工研院這個單位做這種事情就做得還不錯。」

2009 年行政院宣布啟動「綠色能源產業旭升方案」，積極推動「能源光電雙雄」正式將 LED 產業列入重點扶持產業，從技術保障觀點出發。第一透過「綠能產業技術服務團隊」的研發能量，協助業界建立白光 LED 自主化技術，使發光效率可以達到一般照明水準效率，讓台灣成為固態照明的技術大國。另外協助建立專利布建，形成專利庫，以強化台灣在國際市場競爭力；第二，在建構兩岸 LED 產業標準與產品認證上，政府納入兩岸「搭橋專案」中，以兩岸產業合作及交流會議，搭建兩岸產業合作平台，期望未來由兩岸標準發展成全球標準；第三，在擴大台灣市場需求部分，政府除在「振興經濟擴大公共建設投資計劃」中，納入「綠色內涵」以擴大公部門運用 LED 外。另外並推動 LED 高效率照明產品國內應用市場，如號誌燈、路燈等，營造內需市場，並以台灣市場作為產業前進基地，進一步搶佔國際市場。政府希望將台灣發展為「高質化照明產品生產基地」，目標要讓台灣成為全球最大 LED 光源及模組供應國。在此政策引導之下，目前已有多家大型企業(如：台達電、鴻海、中強光電等)，以進軍 LED 照明模組化市場。

此時，經濟部也啟動五大節能減碳新措施，其中 LED 相關措施包括：自 2009 起分三年投入新台

幣 12.36 億元，協助地方政府建立 LED 道路照明示範系統，將 26 萬盞傳統白熾交通號誌燈全面更換為 LED 燈。在戶外部分，能源局於 2009~2011 年推動「LED 交通號誌燈汰換計畫」，以部分補助協助各地方政府完成全臺 69.67 萬盞 LED 交通號誌燈換裝，並要求廠商應提供 3 年以上的保固，如此為 LED 號誌燈產業創造約新臺幣 14 億元產值；在路燈產品部分，能源局於 2009 年推動「LED 道路照明示範計畫」，在各縣市計 47 個示範地點，以 LED 路燈汰換耗能之水銀路燈，共投入新臺幣 1.3 億經費，完成 5,350 盞 LED 路燈設置。

另外，在開創兩岸產業合作發展方面，由於兩岸經貿往來熱絡，加上政府政策導向開放中國大陸政策，致使兩岸經濟交流更加擴大，2009 年中國的 LED 參訪交流團抵台，帶來高達 140 萬盞的 LED 路燈商機，此時經濟部技術處提出「兩岸產業合作一搭橋專案」，為建立兩岸產業合作平台，創造兩岸產業合作商機，推動「搭橋專案」政策，藉由舉辦兩岸產業交流合作研討會，建立兩岸產業合作模式，營造更開放、友善產業發展環境，進而創造兩岸合作商機。短期內希望藉由雙方產業交流與互動，尋求兩岸未來在市場、法規、技術與標準進行合作的可能模式；長期上則希望達到兩岸產業互補與共同發展，並邀請國際企業共同參與，創造兩岸產業與國際企業三贏。經濟部工業局電子資訊組組長提到：

「自從我們簽了 ECFA 之後，底下就有很多我們的合作機制，兩岸佈局的合作機制，那基本上我們知道大陸在十二五裡面，其實照明這個部份 LED 這一塊，他們有納進去，所以我們也看重這一塊，所以我們在 LED 早期就有搭橋跟大陸有介接，我們工研院做了很多事情。那搭橋之後我們回過頭，還是透過工研院這個平台，回過頭來到台灣找合作廠商，這又是一個公開的甄選，不是說我工研院跟你感情比較好，我就找你跟大陸合作，沒有！我們是透過一個公平機制，然後把他引進大陸去，然後就像剛剛講的到廈門這些地方去試點，那其實我們好像在開台這部份，也一直在談合作模式，一直都在談，所以我剛剛提的，大陸的市場是大的，

即便不到消費市場，光他的公共設施也非常大，所以我們希望把廠商引進去，其實透過搭橋，透過我們開台的合作，已經有初步的成果。」

在世界各國紛紛推動 LED 路燈汰換政策下，全球路燈市場呈現逐年成長趨勢，為 LED 產業帶來新一波成長動能，中國大陸於 2010 年更將原本的「十城萬盞」LED 路燈示範工程擴大至「五十城二百萬盞」，因 LED 路燈未來龐大商機，成為台灣 LED 業者競相進入的應用市場，其所生產的 LED 路燈已開始在美、加、歐洲及東南亞等地裝設，但由於台廠各自攻城掠地欠缺整合系統資源。在此情形下，2010 年在經濟部工業局及能源局支持下，工研院宣布與億光、璨圓及光林等近 20 家廠商，組成「LED 路燈產業聯盟」。這是國內第一個以 LED 路燈產業為主的應用聯盟，聯合 LED 封裝、照明模組、控制系統與光學散熱等路燈元件生產廠商，進行產業整合，建立完整自主的 LED 路燈產業鏈，並透過該共通性檢驗平台，提昇 LED 路燈品質，迅速與國際標準接軌。同時，也積極促成兩岸間 LED 路燈技術、標準及檢驗等交流，結合兩岸具公信力之 LED 照明產品測試驗證實驗室，建立國內外 LED 路燈產品資料庫，協助台灣廠商掌握大陸及國際商機，使台灣成為具國際競爭力的 LED 路燈產業基地。

再者，另一個 LED 應用新領域，則起因於氣候變遷，農作物收穫量不穩定，帶來糧食危機的警訊，加上食物安全問題，「植物工廠」可將農作物量產，提供穩定且高品質的糧食生產，成為全球積極投入的新興產業。2011 年工研院召集晶電、億光、台肥、屏東科技大學、台灣大學等 20 個以上產、學、研團體，總計 87 名以上會員，成立了第一個「台灣植物工廠產業發展協會」，開啓台灣投入植物工廠發展的序幕。工研院整合農業科技、生物科技、光電科技、玻璃材料等跨領域能量，發展各領域的產業應用，快速建立共通性基礎技術及應用，以協助國內產業跨入新領域，共創植物工廠產業新商機。此外，工研院為進一步將 LED 技術應用在

其他領域，結合產官學資源，擴大台廠 LED 業者的出海口，看中台灣農業種植與畜養技術優勢，尤其是品種改良方面有優異成果，但因氣候劇烈變遷及產業全球競爭化，台灣的農漁畜牧產業正面臨前所未有的極大挑戰，為突破此困境，工研院於 2012 年成立「農漁畜牧 LED 應用產業推動聯盟」，透過聯盟平台，跨產業整合 LED 封裝、燈具、檢測、有機農場、畜牧場漁業養殖場等產業，以最新 LED 光照技術，推動農漁畜牧業朝精緻高值化發展，結合台灣先進的農漁畜改良技術，與 LED 良好完整的供應鏈與客製化設計能力，促進 LED 創新技術應用於農漁畜牧產業資源整合及產業化，推升台灣農漁畜牧產業之國際競爭力。現任農漁畜牧 LED 應用產業推動聯盟執行秘書談到：

「我們之前工研院成立了 AC LED、白光這一類這樣的聯盟有很多，我們是階段性的，讓這些廠商把產品拱出來，讓他們自己有一些的收入，在全世界這方面有一些專利，還可以應付起別人的專利，其中最成功就是 AC 這一塊給晶電，晶電因為 base on AC 發展到 High Voltage，這讓廠商有了很好的助益，那我們現在又正在發展一個聯盟，類似 LED 後續的應用，那之前有一些人因照明，那是下一塊，也會把它做出來，那我們現在在用一些農業、漁業和畜牧業的聯盟，這個月底又要開始招生了，這又是一個聯盟模式，從垂直、水平來看，我們垂直分工是很細，可是卻各自為政，從 DRAM 的故事來看，那幾家就弄不起來了，可是 LED 這塊來看，我想每個行業都有不同的屬性和特性，要用什麼方式或是政府用什麼樣的力量去鼓勵一下，我想這整個會走得比較順一點。所以聯盟的話，在工研院這邊有我們第三方的民間單位和財團法人來做這件事，那個角色會比較合適一點，如果由廠商自己來的話，是比較困難一點，大致是這樣。」

而在學術界方面，隨著磊晶技術的確立，研究重點轉為提升 LED 發光效率，之後白光 LED 的現世，應用面逐漸打開，廣泛的應用加上政府研發補助投入，使得研發焦點擴及光機電熱的整合技術、LED 照明應用，為快速成長的 LED 持續注入創新的活水。在產學研合作上，2000 年啟動由中興大學精密工程研究所教授與材料系教授所執行「以晶片

黏貼技術開發具鏡面基板之高效率發光二極體」國科會產學合作計畫，由國科會與全新光電共投入經費 1200 萬元，整合光、機、電及半導體製程等各個不同領域間之知識及研究，成功突破長期為美、日等大廠所掌握的超高亮度四元 LED 專利，相關技術共申請 14 件專利，同時完成超過 20 項之製程技術、鍵合設備開發與檢測相關技術及專利。2002 年行國科會光電小組經費補助長庚大學電子系、明志技術學院工業設計系共同執行，並由光電科技工業協進會(PIDA)協助的「推動白光 LED 照明科技示範應用」專題研究計畫，以及「半導體照明科技整合型計畫」，分別針對 LED 照明應用實例推動與基礎技術研發等相關課題著手進行。2004 年正峰工業與中央大學進行 1,000 流明 LED 燈具的產學合作，在利用優異的陶瓷散熱技術與光學及封裝技術下，獲得令人滿意的輸出表現。2006 年 4 月光寶分別與交通大學及中原大學簽訂產學合作，於中原大學簽訂的專利授權暨產學合作協議，產學合作內容包括：「具重覆性可精確控制角度的自由落地測試」、「快速模具變溫」的技術授權、先進成型與模具技術的深根，以及資訊化的設計/製造引導平台，在模具與成型技術領域之研發作深入的紮根並進行相關人才培訓。關於產學合作，交通大學光電工程學系教授提到：

「學界還是可以幫產業看比較仔細的東西，做一些比較前瞻的東西，譬如說一些比較 high risk 的東西，學界還是可以做，因為國家還是有能源計畫，國家能源計畫還是那個 push LED 這一塊。... 其實前幾年都是產學合作幫亮度提升的，全部都是靠產學合作，基本上 80%我敢這樣說，台灣的 LED 這個技術，對！其實很多我想成大貢獻很大，這個就是蘇老師他們的 team，基本上台灣亮度這樣啪啪這樣起來，很多跟蘇炎坤老師他們蠻有關係就是了！」

為提昇國內 LED 技術並同時促進產學相關技術轉移，在國科會及國科會奈米國家型科技計畫辦公室支持下，2008 年交通大學光電工程學系與台灣 LED 大廠晶電簽訂為期兩年的產學合作研究計畫，

研究團隊將以研究奈米技術如何將 LED 的效率提升，並利用奈米技術提高藍光、紫光的發光效率，研發出新穎產品，提昇國際競爭力。2009 年科管局創新技術研究產學合作計畫補助審核會議，通過鑫晶鑽科技、中美矽晶申請案，各補助新台幣 350 萬元、350 萬元，鑫晶鑽研發項目為「大尺寸藍寶石晶體(30Kg)生產技術及自動化研發計畫」，係與高雄大學產學合作共同研發，中美矽晶研發項目「非極性 GaN 單晶基板生長於鋁酸鋰晶圓之關鍵技術開發」，係與中山大學產學合作研發。

另一方面，隨著 LED 應用的普及，廣泛被使用在消費性電子產品與一般照明，因產業的快速成長，頓時產生人才缺口，為滿足產業對人才的需求，政府除推動 LED 人才培訓計畫外，各大專院校也紛紛廣設光電相關系所，涉及領域也從早期磊晶、封裝等 LED 製程人才培養，到近期的光學設計、模組、光機電熱系統整合等 LED 照明應用領域人才培養，相關系所的成立如表三所示。

表三 各大專院校成立相關系所(2000~2012 年)

時間	大專院校	成立系所
2001	國立清華大學	光電研究中心
	私立明新技術學院	光電系統工程科
	國立台北科技大學	光電工程系及光電研究中心
2002	國立成功大學	光電科學與工程研究所
	國立中山大學	南台灣光電卓越研究中心
	私立南榮技術學院	光電科技研究中心
	國立虎尾科技大學	光電科技研究中心
	國立高雄師範大學	光電與通訊工程學系
	國立彰化師範大學	光電科技研究所
	國立台灣師範大學	光電科技研究所
2003	國立清華大學	光電工程研究所
	國立交通大學	顯示科技聯合研究中心
	國立虎尾科技大學	光電與顯示器技術研發中心
	國立嘉義大學	光電暨固態電子研究所
	國立台灣科技大學	光機電技術研發中心

2004	私立萬能技術學院	光電工程系
	國立交通大學	光電工程學系
	私立逢甲大學	光電學系
	國立雲林科技大學	光電工程研究所
	國立高雄應用科技大學	光電與通訊工程研究所
	國立高雄第一科技大學	光電工程研究所
2005	私立吳鳳技術學院	光機電暨材料研究所
	私立南台科技大學	光電工程系
2006	國立中興大學	顯示光源產業研發碩士專班
	國立成功大學	尖端光電科技中心
	國立中興大學	光電工程研究所
	國立東華大學	光電工程研究所
	國立彰化師範大學	顯示技術研究所
	國立暨南國際大學	應用材料及光電工程學系
2007	國立臺灣科技大學	光電工程研究所
	私立德霖技術學院	光電工程系
	國立成功大學	光電工程學系
	國立臺南大學	光電工程研究所
	私立崑山科技大學	光電工程學系暨研究所

資料來源：本研究彙整

在國家創新系統茁壯時期，產官學研之間互動越趨頻繁，形成產業技術創新與人才培育的獨特模式。在政府方面，因全球節能減碳與潔淨能源呼聲下，政府陸續推動「能源國家型計畫」、「綠色能源產業旭升方案」等大型計畫，使政策聚焦在相關能源產業上，甚至將 LED 產業列為重點發展產業之一，積極建構產業環境、擬定科技政策、投入資金補助，協助產業創新研發；而工研院方面，持續在投入在前瞻性技術研發，再將技術移轉至產業。此外，工研院也積極促成產官學研之間聯盟，作為技術開發與開擴新市場的溝通平台，扮演政府、研究單位與產業之間的橋樑，運用了自身研發環境的獨特性，透過綿密的產業網絡關係，連結區域或產業之研發能量，協助 LED 產業發展與升級；在學界方面，透過各種科專計畫、產學合作計畫進行，彌

補台灣 LED 中小企業因資源不足，缺乏研發能量的困境，成功扶植了 LED 中小企業成長。產官學研之間網絡的連結互動，形成了政府先期的政策引導、資源投入、環境建置，研究機構與學術單位的創新技術研發與專業人才培育，最後技術移轉與人才投身產業，使得產業蓬勃發展，此一模式造就了今日台灣 LED 產業成為全球生產重鎮。

肆、結論與討論

雖然過去研究認為國家創新系統的結構特性與市場需求會影響廠商創新投入的持續性 (Filippetti and Archibugi, 2011) [18]，而且開發中國家必須建立一個支持市場交易的制度環境，進而有助於國家創新系統與經濟發展 (Bartels, Voss, Lederer, and Bachtrog, 2012) [19]。有別於過去的研究，本研究在理論貢獻上提出一個成功的國家創新系統必須要能動態性的適應環境變化，甚至所有國家創新系統的行動者皆要能策略性的調整其創新行動，才有可能使一個產業的創新能力得以不斷地延續與強化。實務貢獻上，過去研究發現國家創新系統大多數出現在已開發且政治穩定的國家，難以出現在政局不穩定的國家 (Allard, Martinez and Williams, 2012) [20]。本研究則發現即使台灣仍處於開發中國家的狀態，但是從過去台灣 LED 產業發展歷程中，產官學研所建構的國家創新系統，已成功促進產業技術創新與升級。當然，隨著產業的漸趨成熟，為使國家創新系統順利轉型，我們從產、官、學、研角色出發，提出以下相關建議，並彙整相關訪談專家意見如表四所示。

1. 在政府方面：檢視過去台灣半導體產業成功發展，與政府政策引導、產業環境建置、資源投入與人才政策至關重要。然而，在政府資源有限情況下，資源有效分配成為政府最大的難題，政府對於整體產業前瞻性、產業發展與國情的適度性，需有更通盤的認識與調查，以期能在產業發展初期投入資源及政策扶植，縮短產業成長曲線。

2. 在研究單位方面：工研院成立以來，肩負創新研發、人才培育、智權加值、衍生公司、育成企業、技術服務與技術移轉等責任，成功扮演政府、學術單位與產業之間的橋樑。近來，因受扶植產業的成熟，工研院技術上逐漸落後於業界，以及內部技術人才流動導致人才斷層現象出現，先期作為技術創新領導者的角色逐漸弱化，建議未來應在留才機制應重新思考，與產業技術創新定位上，朝具前瞻性與創新性的技術開發，為產業提供更具附加價值的創新技術。
3. 在學術單位方面：過去學術單位一直扮演基礎性與應用性研究開發，為產業發展提供技術支援，及供應產業人才的角色，此角色也因政府研究經費補助的減少，影響研究主軸偏向短期應用型研究，而產學合作案也多與產品開發、製程技術改善有關，基礎型研究的缺乏，未能掌握關鍵技術，讓台灣產業屢受專利侵權訴訟之擾，建議以聯合學界科專方式，集中資源投入基礎型研究發展，避免因經費不足而偏廢基礎型研究；在人才培育上，應結合實務教學，縮短學用，避免人才學非所用的問題產生。
4. 在業界方面：台灣產業多以中小企業為主，單一產業資源重複投資，未能整合出整體優勢，過去 LED 產業的成功發展，有賴於產業間聯盟關係建立，試圖整合部分資源，然而面對未來強大的國際大廠挾龐大品牌、通路資源競爭下，台廠勢必再次重新整合資源，建議採取深化、廣化的聯盟網絡，共同建立單一台灣品牌，以有效整合資源，增強產業競爭力。

表四 受訪專家意見

議題	專家	專家意見
政府角色 定位	經濟部工業局 楊志清科長	建構整個產業研發基礎建設，讓業者可在這個平台上發揮它的創意。
	交通大學光電 工程 紀國鐘教授	政府要發展前瞻性產業，並把法治環境建構出來，讓產業能量釋放。

	光林電子行銷業務處 胡勝雄處長	政府應在制度面、規劃面、策略面適度的扶植產業。
	合心科技 鄭敏輝總經理	在國際貿易中政府應扮演中介者角色，協助本土企業進入國際市場。
工研院角色定位	交通大學光電工程系 郭浩中教授	工研院應扮演整合產業專利角色，並運用彈性薪資來吸引優秀人才。
	崑山科技大學 蘇炎坤校長	持續發展前瞻技術，將技術轉給產業界，以扶植民見產業。
	晶圓光電郭紹猷總經理特助	先行解決新技術所遇到問題，協助產業在市場浮現時，進行技術商品量產。
	隆達電子照明事業處 鄭水金協理	工研院同時提供人才訓練場所，將人才訓練完成後再投入業界。
學界的角色定位	中央大學電機工程系 慕振瀛教授	學界應偏重在基礎性研究，工研院應偏重在產業應面。
	高雄應用科大電機工程系 李孝貽主任	產學合作是培育人才很重要的方式，成熟人才進入產業促進產業發展，是一種正面循環。
	光林電子行銷業務處 胡勝雄處長	產學合作主要做一些長期的技術扎根，與達到培育產業所需人才目的。
產業界角色定位	光林電子行銷業務處 胡勝雄處長	透過產業聯盟平台可創造出新商機，且可加速國內 LED 照明標準訂定。
	隆達電子技術研發處 郭政達協理	品牌建立應強化品牌形象，並非僅止於產品本身。
	中興大學精密工程研究所 洪瑞華教授	台灣 LED 產業以中小企業為主，更應該以策略聯盟方式，共同取得出口。

伍、參考文獻

[1] Metcalfe, S. (1997). Technology systems and technology policy in an evolutionary framework. In: Archibugi D & Michie J. (editors.): Technology, Globalisation and Economic Performance, Cambridge: Cambridge University Press, pp.268-296. doi: 10.1080/13571519884468

[2] Freeman, C. (1987). Technology policy and economic performance: Lessons from Japan. London: Pinter. doi: 10.1016/0048-7333(88)90011-X

[3] Samara, E. , Georgiadis, P. and Bakouros, I. (2012). The impact of innovation policies on the performance of national innovation systems: A system dynamics analysis, Technovation, vol.32, issue11, pp.624-638. doi: 10.1016/j.technovation.2012.06.002

[4] Wang, Y., Vanhaverbeke, W. and Roijakkers, N. (2012). Exploring the impact of open innovation on national systems of innovation: A theoretical analysis, Technological Forecasting and Social Change, vol.79, issue3, pp.419-428. doi: 10.1016/j.techfore.2011.08.009

[5] Hu, M.-C. and Mathews, J. A. (2005). National innovative capacity in East Asia, Research Policy, vol.34, issue9, pp.1322-1349. doi: 10.1016/S0048-7333(01)00152-4

[6] Clarysse, B. and Bruneel J. (2007). Nurturing and growing innovative start-ups: The role of policy as integrator, R&D Management, vol.37, pp.139-149. doi:

10.1111/j.1467-9310.2007.00463.x

[7] Leitch, S. and Davenport, S. (2005). The politics of discourse: The marketisation of the New Zealand science and innovation system, Human Relations, vol.58, issue7, pp.891-912. doi: 10.1177/0018726705057810

[8] Kang, K.-N. and Park, H. (2012). Influence of government R&D support and inter-firm collaborations on innovation in Korean biotechnology SMEs, Technovation, vol. 32, issue. 1, pp. 68-78. doi: 10.1016/j.technovation.2011.08.004

[9] Hsu, C.-W. (2005). Formation of industrial innovation mechanisms through the research institute, Technovation, vol.25, pp.1317-1329. doi: 10.1016/j.technovation.2004.06.002

[10] Baar, E. (1994). Technological entrepreneurship and commercialization of research results in the West and in China: Comparative perspectives, Technology Analysis & Strategic Management, vol.6, issue2, pp.203-213. doi: 10.1080/09537329408524164

[11] Garud, R. and Karnøe, P. (2003). Bricolage versus breakthrough: Distributed and embedded agency in technology entrepreneurship, Research Policy, vol.32, pp.277-300. doi: 10.1016/S0048-7333(02)00100-2

[12] Inzelt, A. (2004). The evolution of university- industry-government relationships during transition, Research Policy, vol.33, pp.975-995. doi: 10.1016/j.respol.2004.03.002

[13] Walsh, V. and Le Roux, M. (2004). Contingency in Innovation and the Role of National Systems: Taxol and Taxotère in the USA and France, Research Policy, vol.33, issue9, pp.1307-1327. doi: 10.1016/j.respol.2004.07.009

[14] Frieder, R. and Ulrich, S. G. (1999). The Ripening of Integrated Product Policy, European Environment, Nr. 9/99. S. pp.186-190. doi: 10.1002/(SICI)1099-0976(199909/10)9:5<186::AID-EET205>3.3.CO;2-O

[15] Castellacci, F. , Natera, J. M. (2013). The Dynamics of National Innovation Systems: A Panel Cointegration Analysis of the Coevolution between Innovative Capability and Absorptive Capacity, Research Policy, vol. 42, issue3, pp. 579-594. doi: 10.1016/j.respol.2012.10.006

[16] Yin, R. K. (1994). Case Study Research: Design and Methods. 2nd (ed.), London, CA: Sage. doi: 10.1111/j.1540-4781.2011.01212_17.x

[17] Glaser, B and Strauss, A.(1967) The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research ,Chicago: Aldine. doi: 10.1086/224572

[18] Filippetti, A. and Archibugi, D. (2011). Innovation in times of crisis: National system of innovation, structure and demand, Research Policy, vol.40, issue2, pp.179-192. doi: 10.1016/j.respol.2010.09.001

[19] Bartels, F. L., Voss, H., Lederer, S., and Bachtrog, C. (2012). Determinants of National Innovation Systems: Policy implications for developing countries, Innovation: Management, Policy & Practice, vol.14, issue1, pp.2-18. doi: 10.5172/impp.2012.203

[20] Allard, G., Martinez, C. A., and Williams, C. (2012). Political Instability, Pro-Business Market Reforms, and National Systems of Innovation, Research Policy, vol.41, issue3, pp.638-651.

BIOGRAPHIES



劉子欽，畢業於國立清華大學工業工程與管理研究所博士，目前任教於國立台南大學經營與管理學系科技管理研究所副教授，研究領域在策略管理、創新與創業管理、企業倫理。目前他的研究作品已發表在 Technological Forecasting and Social Change、

Total Quality Management & Business Excellence、International Journal of Technology Management and Internet Research 及管理評論、產業與管理論壇、資訊管理學報等期刊。



黃泓瑜，畢業於國立台南大學科技管理研究所，目前擔任國立台南大學經營與管理學系專任研究助理，研究興趣為科技產業公司成長策略、組織網絡關係、LED 產業。