

## 半導體產業之績效評估－跨國分析與比較

李揚、鐘棠祺\*

### 摘要

半導體科技產業被視為二十一世紀最具關鍵性的全球性產業，因具龐大的商機使其成為各國競相發展的重心。在全球化的趨勢下，半導體科技廠商面對來自於全球市場的激烈競爭，單一國家之經營績效分析實在無法窺其全貌。本研究將可同時縮減投入與擴張產出的方向性距離函數，納入可處理不同群組技術之共同邊界分析架構，據以分析日本、台灣、美國與韓國等半導體科技產業技術領先國廠商之經營績效。樣本取自於 OSIRIS 資料庫，研究期間為 2006 年至 2008 年，包括 253 家廠商，共計 759 筆觀測值。實證結果顯示：(1)各國的群組邊界存在顯著的差異，因此本研究的確應採用共同邊界分析架構；(2)除了韓國之無效率廠商外，所有國家之無效率廠商，大都應以美國具有技術效率的廠商為學習標竿；(3)各國首重提升市場價值及降低固定資產；(4)韓國廠商之間的同質性較高，而日本廠商之間具有較大的異質性。

---

**關鍵詞：**半導體產業、資料包絡分析、方向性距離函數、共同邊界

---

\* 李揚為國立高雄大學經營管理研究所教授兼所長，鐘棠祺為甲山林建設股份有限公司總經理室專員。本文承蒙二位匿名審查委員提供寶貴意見，使本文修正的更臻完善；文中若仍有疏漏之處，當由作者負責。作者感謝科技部對本研究的經費補助(MOST 103-2410-H-390-028-)。

聯繫作者：李揚，Tel: (07)591-9185，Fax: (07)591-9342，Email: yangli@nuk.edu.tw。

## 壹、緒論

電子產品是二十一世紀關鍵性的全球產業，半導體(Semiconductor)<sup>(註1)</sup>則是電子產品的重要零組件，因此一國半導體產業之盛衰，代表其電子產業興盛與否，根據工研院電子所 ITIS 計畫研究報告指出半導體技術能力可展現了一個國家在科技產業上之競爭力，被譽為廿一世紀的明星產業。由於半導體產業具有資本密集、不斷創新、技術密集、重視科技整合、附加價值高、應用範圍廣等特點，已經成為各種電子資訊產品中不可或缺的核心關鍵零組件，被視為二十一世紀最具競爭與關鍵性發展的全球性產業(Hung and Lu, 2008)，許多國家皆將半導體科技產業列為優先推動的項目。隨著全球的產業環境日趨複雜與多元，在面臨高度之產業競爭下，半導體科技廠商亟思如何持續提升核心能力、維持其競爭優勢。表 1 顯示半導體區域供給統計是以全球市場為導向，必須面對來自全球市場的激烈競爭，單一國家之經營績效分析實在無法窺其全貌；應考量各國間之技術與管理的差異性，透過跨國比較與分析，幫助廠商瞭解目前的營運表現、可改善空間及適合的標竿學習對象，有助於廠商制定適當的營運策略。

表 1 2008 全球半導體區域市場產值分佈（單位：億美元）

地區	美國	日本	台灣	韓國	歐洲	全球
產值	1,240	542	396	254	254	2,686
供給全球市場比例(%)	46.2%	20.1%	14.7%	9.5%	9.5%	100%

資料來源：WSTS(2009/02)；工研院 IEK(2009/04)

在全球化的驅使下高科技產業的廠商面對的是全球國際市場競爭(Halkos and Tzeremes, 2007)，本文透過 WSTS(World Semiconductor Trade Statistic, 2009/04)及工研院 IEK (Industrial Economics and Knowledge, 2009/04)的統計，將全球半導體科技產業的市場產值分佈（表 1）與全球資本支出（表 2）加以排序。表 2 指出全球半導體資本支出的比例，美國皆居首位，日本、台灣與韓國亦皆居於前四名；因此，本研究以此四個國家的半導體科技廠商作為研究標的，希望透過半導體科技產業技術領先國之跨國比較與分析，使我們對全

球半導體科技產業經營現況、營運績效與未來發展有較全面且完整的瞭解，並且可以提供半導體科技產業廠商訂定其發展策略之參考之用。

表 2 全球半導體資本支出（單位：百萬美元）

國 家	2004	2005	2006	2007	2008	排序(2008)
日本	10,044	10,364	10,817	10,569	8,015	3
台灣	7,376	6,311	8,612	10,694	5,243	4
美國	12,043	14,197	17,183	17,164	13,675	1
韓國	7,139	9,150	12,081	13,595	10,050	2
歐洲	5,029	3,839	4,076	3,909	2,990	5

資料來源：IC Insights(2009/04)；工研院 IEK(2009/04)

資料包絡分析(Data Envelopment Analysis, DEA)廣泛應用於各種營利和非營利事業的經營績效評估研究（王肇蘭等, 2008；李揚等, 2010），其優點在於不需設定函數型式且可以衡量多元投入與多元產出。不過，傳統的DEA模型假設所有的決策單位(Decision Making Unit, DMU)具有相同的生產可能性集合；然而，日本、台灣、美國與韓國的半導體科技廠商所面對的文化、經濟和政治等外在環境不盡相同，因此生產與管理技術亦應有所不同，因此將四國半導體科技廠商視為擁有相同的生產邊界加以分析應不適當。O'Donnell *et al.* (2008) 所提出之共同邊界(Meta-frontier)分析架構，可以分析不同群組或國家之DMUs具有不同生產邊界之經營績效。此外，傳統之DEA模型僅能考量投入縮減或產出擴張，無法同時考慮投入縮減與產出擴張；Färe and Grosskopf (2005) 所提出的方向性距離函數(Directional Distance Function)則可以同時考慮投入縮減與產出擴張。所以，本研究將方向性距離函數納入共同邊界分析架構，據以分析日本、台灣、美國與韓國之半導體科技廠商之經營績效。

本研究主要的貢獻為過去有關半導體產業之研究，大都只針對單一國家進行分析(Liu and Wang, 2008；Lu and Hung, 2010；Chen and Chen, 2011；Chen and Chien, 2011；Kao *et al.*, 2011；Hsiao *et al.*, 2012；Wen *et al.*, 2012；Lu *et al.*, 2013；Hung *et al.*, 2014；Kao *et al.*, 2014)，有些僅分析單一廠商(Jagoda *et al.*, 2014；Hatami-Marbini *et al.*, 2015)；然而，半導體產業是以全球市場為導向（參見表

1)，各主要半導體產業技術領導國持續在全球市場競爭，因此單一國家之研究實在無法完整分析半導體產業之經營績效；Kozmetsky and Yue (1998)的研究雖然利用DEA模型進行跨國研究，卻假設各國擁有相同的生產邊界，沒有考慮到各國間文化、經濟和政治狀況不盡相同；所以本研究應用共同邊界模型，透過跨國比較與分析，以較完整的分析架構探討半導體產業之營運效率。其次，我們將可同時考慮投入縮減與產出擴張的方向性距離函數納入共同邊界模型，透過差額變數分析，據以探討廠商資源使用情形及產出改善空間。最後，我們將廠商之學習標竿加以歸納與分析，提供半導體廠商之跨國學習與改善模式，有助於各國政府與廠商制定適當的策略。本文之研究架構如下：本節為緒論；第二節與第三節分別為半導體產業技術領導國家之概況與文獻探討；第四節介紹本研究所採用之共同邊界模型與方向性距離函數；第五節為實證分析，包含資料來源、實證結果與討論；最後一節為結論。

## 貳、半導體產業技術領導國家之概況

半導體是介於導體(Conductor)與絕緣體(Insulator)之間的材料矽(Silicon)，其產品主要分為：分離式元件與積體電路(Integrated Circuit, IC)兩大部份；由於IC是半導體的主要產品，幾乎也成為半導體的代名詞，它是將電晶體、二極體、電阻器、電容器等電路元件，聚集在一片矽晶片裡，形成一個完整的邏輯電路，以達成控制、計算或記憶等功能。半導體產業從上游到下游，依序可分為IC設計、IC晶圓製造、IC封裝、IC測試及3C電子產品組裝。

自貝爾實驗室的三位物理學家Bardeen、Brattaln、Shockley於1947年共同發明電晶體(Transistor)後，電子產品不再靠真空管來作為其核心，開始朝向輕、薄、短、小的新世紀邁出了一大步。而全球第一顆IC則在1958年被美國德州儀器(Texas Instruments, TI)公司的工程師Kilby和Noyce開發成功，從此取代電晶體成為下游廣大應用電子產品的主要關鍵零組件。經過逾一甲子的發展，半導體已經成為各種電子資訊產品中，不可或缺的核心關鍵零組件，無論電腦、通訊、電子產品都缺它不可，且在資訊網路、電子商務、行動通訊、生活自動化、無紙文書等高成長的趨勢帶動下，相關電子產品

將會持續蓬勃發展，也使得半導體產業的影響力既深且廣。此外，半導體技術的發展是以全球市場為導向，產業結構複雜，需要細密的專業分工，目前從上游的設計到下游的封裝與測試，每個階段皆能獨立作業，也都可以根據比較利益，來尋求全球最適當的生產基地與資源，以提高國際市場的競爭力，本節針對主要半導體產業技術領導國家之產業發展與現況加以概略介紹。

## 一、美國

半導體產業自貝爾實驗室發明電晶體後萌芽，而發展的轉捩點為 Dr. Shockley 受聘於史丹佛大學於 1950 年在加州矽谷 (Silicon Valley) 設立夏克利半導體實驗室 (Shockley Semiconductor Laboratories)，並於 1955 年從貝爾實驗室網羅了八位優秀的工程師設立公司製造矽晶片。促使美國半導體產業的興盛發展的關鍵因素之一是此八位工程師於 1957 年離開公司另行創立費爾查得半導體公司 (Fairchild Semiconductor)，該公司並且成為日後眾多半導體衍生公司的母公司，英特爾公司 (Intel Corp.) 即為其中之一。全球第一顆 IC 則在 1958 年被美國德州儀器 (Texas Instruments, TI) 公司的工程師 Kilby 和 Noyce 開發成功，從此取代電晶體成為下游廣大應用電子產品的主要關鍵零組件。自此美國晶片設計與半導體產業科技發展進步迅速，雙核心、四核心晶片、與多核心晶片及晶片組相繼推出，微處理器與無線通訊科技相互結合，摩爾定律 (Moore's Law)<sup>(註 2)</sup> 在晶片開發與功能提升上繼續發揮效應。而相關企業經營管理策略變化運用更是一再推陳出新，競爭與合作並存共生發展。

美國晶片設計與半導體產業科技一直居於全球領先地位，全球前十名無晶圓廠之晶片設計大公司多數為美國公司，而且全球晶片整合設計製造公司亦大多數為美國跨國企業公司，如英特爾公司、德州儀器公司、超微公司 (Advanced Micro Devices Inc.)、及國際商業機器公司 (International Business Machines Corp., IBM) 等，全球晶片設計創新領導技術仍然由美國公司帶動引領發展。此外，為拓展全球市場及掌握全球競爭優勢，美國晶片設計與半導體產業近年來不斷向海外地區（包括亞洲之台灣與中國大陸等地）建立相關設計研發中心與封裝測試及委外製造重鎮等，形成一綿密互動關聯的產業科技研發創新與製造供應鏈。

## 二、日本

日本半導體產業雖然發展較美國晚，但在日本政府刻意的保護與培育措施下（例如，1975年實行超大規模積體電路計畫），使得日本在1986年首次超越美國，成為半導體最大生產國。然而，由於一些主客觀因素的改變，及美國的「半導體製造技術產業聯盟計畫」的產生，致使日本政府推展半導體產業政策逐漸失效，自1988年以後日本半導體的市場佔有率便逐漸下降，日本政府發展方向轉向基礎研究。

日本在半導體生產技術上之優勢主要在內存記憶體，不論是主流的動態隨機存取記憶體(DRAM)或是靜態隨機存取記憶體(SRAM)，日本業者均有其獨到之處，因此在對外合作關係上，日本業者提供的是內存記憶體方面的相關技術；目前日本半導體廠商只有前三大的NEC、東芝及日立仍然維持DRAM的生產，且國內只生產最先進的產品，其它則以海外生產及委外生產的模式以降低成本。因此在對外合作關係上，日本業者提供的是內存記憶體方面的相關技術。此外，日本IC產業在國際市場的比較優勢在於擁有優良的IC設備供貨商，提供及時的零組件、機械設備和技術服務。

## 三、台灣

台灣雖是半導體產業的後進國家，但技術追趕相當快速。在政府大力支持下，工研院於1976年從美國RCA引進CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)技術後，開始半導體產業的發展，培養眾多半導體產業領袖人才，許多台灣半導體公司不斷成立，逐步發展成目前上下游垂直分工之產業結構，上游至下游依序為IC設計、IC製造、IC封測，其中IC製造主要以晶圓代工與記憶體製造為主；這種產業群聚效益，迥異於國外大廠上下游一元化的經營管理方式，因此台灣半導體產業的特色是高效率的專業分工、完整的產業群聚、豐富的管理經驗、優越的數位設計技術與COMS製程能力。

垂直分工與產業群聚使得台灣IC產業擁有彈性且速度快、客製化服務、低成本之競爭優勢，台灣晶圓代工產值與IC封測產值市占率皆排名全球第一名，IC設計產值市占率僅次於美國全球排名第二，記憶體產值市佔

率為全球排名第四。全球前 50 大半導體廠商中，台灣佔了 8 家，包含台積電、聯發科技、聯電、南亞科、聯詠科技、日月光、矽品精密及力成科技。

#### 四、韓國

韓國的半導體產業可追溯至該國政府在 1980 年代扶植了 DRAM 產業，在 1983 年跨入記憶體產業以後，至今仍以 DRAM 和 SRAM 為其半導體主力產品，並積極往 Flash 發展。到 1990 年代中期，韓國的財團興起，掌控了該國四分之一的 IC 市場；韓國三大半導體廠商三星、現代、LG 也是韓國最大的家電廠，它們都是從家電起家，在 1980 年代才轉入半導體的生產。自廿一世紀開始，韓國電子產業呈現蓬勃發展，三星為全球主要半導體公司，主要產品為 DRAM 以及 NAND 快閃記憶體，亦是全球第一大 DRAM 廠商與第一大 Flash 廠商，海力士(Hynix)則是全球第二大 DRAM 製造廠商。

韓國半導體產業是以綜合性電子廠商為主導，同時企業內部垂直整合的程度很高；再者，韓國半導體廠商除三星、現代、LG 三家外，其它的小型半導體廠商之產量微不足道。此外，韓國有一家全世界最大的半導體封裝廠商安南(Anam)，但這家封裝廠商和韓國前三大半導體廠商幾乎完全不發生關連，而是專業於替國外的半導體廠代工，形成「內外分治」的狀態，不過金融海嘯導致經營發生困難，已被 Amkor 併購，轉型從事晶圓代工業務。

### 參、文獻探討

有鑑於半導體技術在高科技產業扮演著關鍵性的角色，許多國家皆積極的推動具建設性的政策以促進半導體產業的發展，使得各國的產業規模不斷持續擴大，導致全球的產業環境日趨成熟且競爭激烈。Halkos and Tzeremes (2007) 指出高科技產業應用廣泛且備受重視，其衍生的龐大商機均受到各國的高度重視，更是全球一致公認未來仍是具備發展潛力的產業之一。就全球發展以半導體為主的製造國家而言，科技業已成為發展的主力所在，科技實力更是評估一個國家競爭力強弱的重要指標(Kozmetsky and Yue, 1998；Windrum and Tomlinson, 1999)。Hung and Lu (2008) 認為半導體被全世界視為極重要的電子產業，而且在二十一世紀後半導體更被視為一項重要投資產業，已被公認為二十一世紀最具有發展潛力的高科技產業之基礎。Wu *et al.* (2007)

與 Hung and Lu(2008)根據台灣半導體產業的實證研究指出，經營績效對於決定廠商的生存與成長扮演著關鍵的角色，特別是當產業環境歷經劇烈的轉變時。因此，隨著全球的產業環境日趨競爭激烈，半導體科技廠商於營運過程中能否使資源作最有效率的分配與運用，並進而獲得良好的經營績效至關重要。Kozmetsky and Yue (1998)、Carbone (2000)與 Chu *et al.*, (2008)研究指出半導體科技產業之績效評估對於企業組織而言，有其相對之重要性，因為企業組織存在社會之中，擁有資源並運用資源，其主要目的就是要不斷追求目標的達成，而半導體科技廠商可以透過績效評估之結果了解其對資源運用之效率與效能，藉以了解組織之情況，並且可利用績效評估之結果，作為管理階層在未來訂定經營策略目標之參考依據。

Liu and Wang (2008)、Pan *et al.* (2008)與 Chen and Chen (2009)採用以 DEA 為基礎之麥式生產力指數(Malmquist Productivity Index)分別評估台灣半導體產業與晶圓代工產業之跨期生產力變動，他們的研究指出，技術效率是高科技廠商提升生產力之關鍵成份，應將改善技術效率作為提升生產力的首要經營策略。廠商透過相互購併、策略聯盟或收購等企業整合方式來獲取競爭優勢、掌控市場通路、打擊競爭對手以達成企業成長之目的，已經成為高科技產業近年來主要的策略；Hung and Lu (2008)與 Carbone (2000)根據 DEA 的研究發現，廠商透過與原物料廠商的垂直整合將有益於生產效率的提升與技術的獲取，因此廠商可透過產業內之整合達到最適經濟規模以提升生產力。Oliver and Webber (1992)指出市場的全球化使得製造商與供應商被迫皆面臨要加強及改善企業之間的商業往來關係以維持競爭優勢以避免被淘汰，因此企業必須要高度整合。

有關半導體科技產業績效評估之相關研究，除了 Kozmetsky and Yue(1998)針對全球半導體科技廠商分別利用 DEA 模型進行績效評估與跨國比較外，大多僅針對單一國家內的廠商進行效率的衡量(Carbone, 2000；Hsiao and Park, 2005；Beck *et al.*, 2005；Montoya-Torres, 2006；Retzlaff-Roberts *et al.*, 2004；Halkos and Tzeremes, 2007；Chu *et al.*, 2008；Liu and Wang, 2008；Lu and Hung, 2010；Chen and Chen, 2011；Chen and Chien, 2011；Kao *et al.*, 2011；Wen *et al.*, 2012；Lu *et al.*, 2013；Hung *et al.*, 2014)；此外，Li *et al.* (2007)、李揚及李曉娟(2008)與其它利用 DEA 模型進行跨國產業研究的文獻一樣(Kozmetsky and Yue, 1998；Hsiao



and Park, 2005 ; Beck *et al.*, 2005 ; Halkos and Tzeremes, 2007) ，假定各國擁有共同的生產邊界，沒有考慮到各國間文化、經濟和政治狀況不盡相同，技術也應有所不同，將不同的國家視為擁有共同生產前緣可能並不適當。

## 肆、研究方法

DEA 係 Charnes *et al.* (1978) 延伸 Farrell (1957) 的模型發展而成，簡稱 CCR 模型；此模型假設生產技術為固定規模報酬 (Constant Returns to Scale, CRS)，亦即每個 DMU 皆處於最適生產規模。Banker *et al.* (1984) 將 CRS 放寬為變動規模報酬 (Variable Returns to Scale, VRS)，簡稱為 BCC 模型；就數學而言，僅需將對偶轉換後之 CCR 模型加上一個凸性限制式即可得到 BCC 模型。不論是 CCR 模型或 BCC 模型僅能考慮單一產出擴張或是投入縮減，而當廠商的營運活動具有 VRS 的特性時，投入導向與產出導向的效率值一般來說不會相等；倘若僅使用投入導向或產出導向進行評估廠商的效率時，可能無法完全掌握廠商營運管理的特性，因為廠商的營運活動一般會同時進行投入縮減與產出擴張以追求獲利的極大化。故本研究採用 Färe and Grosskopf (2005) 所提出之方向性距離函數，同時考量產出擴張以及投入縮減來衡量半導體科技廠商的效率。

Färe and Grosskopf (2005) 定義方向性距離函數如下：

$$\bar{D}(x, y; -g_x, g_y) = \sup \left\{ \beta : (x - \beta g_x, y + \beta g_y) \in T \right\} \quad (1)$$

此處  $T = \{(x, y) : x \text{ 可生產 } y\}$  為生產可能性集合， $x = (x_1, x_2, \dots, x_N) \in \mathfrak{R}_+^N$  與  $y = (y_1, y_2, \dots, y_M) \in \mathfrak{R}_+^M$  分別為投入向量以及產出向量， $g = (-g_x, g_y)$  為一方向性向量。 $\bar{D}(x, y; -g_x, g_y)$  為投入依  $g_x$  方向縮減與產出依  $g_y$  方向擴張之最大值（定義為  $\hat{\beta}$ ），其範圍為  $0 \leq \hat{\beta} < \infty$ ；其中， $\hat{\beta} = 0$  表示 DMUs 具有完全技術效率，易言之，效率邊界是由  $\hat{\beta} = 0$  的 DMUs 所組成； $\hat{\beta}$  值愈高代表 DMUs 與效率邊界的距離越遠，亦即越無效率。

我們可以利用線性規劃模型來計算 VRS 下之方向性距離函數，假設有

H 個 DMUs，則第 j 個 DMU 之數學模型如下：

$$\bar{D}(x, y; -g_x, g_y) = \max_{\beta_j, \lambda_1, \dots, \lambda_H} \beta_j + \varepsilon \left( \sum_{n=1}^N S_n^- + \sum_{m=1}^M S_m^+ \right) \quad (2a)$$

$$s.t. \quad \sum_{h=1}^H \lambda_h x_{nh} + S_n^- = x_{nj} - \beta_j g_{nx}, \quad n = 1, \dots, N \quad (2b)$$

$$\sum_{h=1}^H \lambda_h y_{mh} - S_m^+ = y_{mj} + \beta_j g_{my}, \quad m = 1, \dots, M \quad (2c)$$

$$\sum_{h=1}^H \lambda_h = 1 \quad (2d)$$

$$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_H \geq 0 ; \beta \text{ is free}$$

其中， $S_n^-$  與  $S_m^+$  分別為非射線投入差額與非射線產出差額， $\varepsilon$  則是非阿基米德數，其值通常設定為  $10^{-6}$ 。限制式(2b)為第  $n$  項投入依  $g_{nx}$  方向進行最大幅度的縮減，而限制式(2c)則為第  $m$  產出依  $g_{my}$  方向進行最大幅度的擴張，限制式(2d)為 VRS 之凸性限制式。此外，DMU  $j$  的參考集合為  $\{h: \hat{\lambda}_h > 0, h = 1, \dots, H\}$ ， $\hat{\lambda}_h > 0$  表示 DMU  $h$  不但是具有完全技術效率的 DMU ( $\hat{\beta}_h = 0$ )，而且亦可做為 DMU  $j$  的學習標竿， $\hat{\lambda}_h$  值愈大，代表 DMU  $j$  愈應以 DMU  $h$  做為學習標竿。

傳統的 DEA 模型假設所有的 DMUs 擁有相同的生產可能技術集合，然而不同國家擁有不同的社會文化、經濟環境、經營哲學與管理模式等，因此不同國家的廠商宜具有不同的生產可能技術集合，此時若利用傳統 DEA 模型進行分析應不適當。因此，本研究將方向距離函數應用於 O'Donnell *et al.* (2008) 之共同邊界 (Meta-frontier) 模型架構，據以分析日本、台灣、美國與韓國之半導體科技廠商的經營績效。

假定所有 DMUs 分別屬於  $G$  個群組，令  $H^g$  為第  $g$  個群組之 DMUs 的總個數， $g = 1, 2, \dots, G$ ，則  $H = H^1 + H^2 + \dots + H^G$ 。令  $T^g$  為第  $g$  個群組之生產可能性集合，則群組  $g$  之方向距離函數可表示如下：

$$\bar{D}^g(x, y; -g_x, g_y) = \sup \left\{ \beta^g : (x - \beta^g g_x, y + \beta^g g_y) \in T^g \right\} \quad (3)$$

式(3)是以群組  $g$  之生產可能技術集合所取得之方向性距離函數值，亦即為第  $g$  個群組邊界效率指標 (Efficiency Indicator)  $\hat{\beta}^g$ 。

令  $T^m = \text{Convex}\{T^1 \cup T^2 \cup \dots \cup T^G\}$ ，亦即  $T^m$  為包含  $G$  個群組之生產前緣所包絡起來之凸化共同技術集合 (Convex Meta Technology Set)，其方向距離函數為：

$$\bar{D}^m(x, y; -\underline{g}_x, \underline{g}_y) = \sup\{\beta^m : (x - \beta^m \underline{g}_x, y + \beta^m \underline{g}_y) \in T^m\} \quad (4)$$

式(4)以共同邊界所取得之方向性距離函數值，或稱為共同邊界效率指標  $\hat{\beta}^m$ 。

每一個DMU可透過方向性距離數取得兩個效率指標：(1)依據自己群組 (群組  $g$ ) 的效率邊界所計算之群組內方向距離函數值 ( $\hat{\beta}^g$ )，亦即以群組  $g$  之 DMUs 建構(2b)之投入限制式  $\sum_{h=1}^{H^g} \lambda_h x_{nh}$ ,  $n=1, \dots, N$  與(2c)之產出限制式  $\sum_{h=1}^{H^g} \lambda_h y_{mh}$ ,  $m=1, \dots, M$ ；(2)依據共同邊界所計算之方向性距離函數值 ( $\hat{\beta}^m$ )，亦即以全體之DMUs建構(2b)之投入限制式  $\sum_{h=1}^H \lambda_h x_{nh}$ ,  $n=1, \dots, N$  與(2c)之產出限制式  $\sum_{h=1}^H \lambda_h y_{mh}$ ,  $m=1, \dots, M$ 。

共同技術被視為潛在的真實技術 (True Technology)，而群組技術則被視為已顯現之技術 (Revealed Technology)；亦言之，共同邊界效率指標  $\hat{\beta}^m$  是基於潛在的真實技術，而群組邊界效率指標  $\hat{\beta}^g$  是根據已顯現之技術，兩者間的差異稱為技術缺口 (Technology Gap, TG)，亦即  $TG = \hat{\beta}^m - \hat{\beta}^g$ 。若  $TG$  愈大，表示該群群的生產邊界距離共同邊界愈遠，表示生產技術水準愈落後；反之，若  $TG$  愈低，表示該群的生產邊界愈接近共同邊界，其生產技術水準愈先進。

## 伍、實證分析

### 一、資料來源與投入-產出變數

本研究之資料來源為 OSIRIS 資料庫，選取包含日本、台灣、美國與韓國技術領導國家之半導體科技上市公司；研究期間為 2006 年至 2008 年，樣

本包括 253 家廠商，共計 759 筆觀測值，涵蓋 23 家日本廠商、114 家台灣廠商、94 家美國廠商及 22 家韓國廠商。名目變數皆以各國之國內生產毛額平減指數加以平減（以 2005 年為基期）。（註 3）

投入變數包括：(1)固定資產（包括土地、建築、機器、儀器設備與其他設備成本等，單位：百萬美元）；(2)員工人數（每年雇用的員工人數，單位：人）；(3)銷售成本（從事產品的銷售活動所付出的相關費用，單位：百萬美元）。產出變數涵蓋：(1)銷貨淨額（扣除現金折扣、商業折扣、銷貨退回、貨物稅以及給予客戶之津貼後的產品銷售金額，單位：百萬美元）；(2)市場價值（券市場上的收市價格乘上廠商已發行之股份總數，單位：百萬美元）。此外，方向性向量  $\underline{g} = (-\underline{g}_x, \underline{g}_y)$  係採用個別 DMU 自己的投入與產出觀測值，亦即 DMU  $j$  的方向性向量為  $\underline{g}_j = (-x_j, y_j)$ 。投入與產出變數之基本敘述統計資料參見表 3。

表3 投入與產出變數之敘述統計

		日本	台灣	美國	韓國
<b>投入變數</b>					
固定資產 (百萬美元)	平均數	561.080	401.665	509.413	1,986.041
	標準差	1,112.086	1,300.222	1,280.023	1,660.392
	最小值	0.006	0.398	0.020	1.395
	最大值	4964.348	10,192.543	9,021.876	8,359.159
銷售成本 (百萬美元)	平均數	554.903	190.983	367.768	4,437.837
	標準差	918.441	390.147	978.736	5,887.619
	最小值	0.019	0.147	0.000	20.762
	最大值	4,204.635	3,183.553	11,206.744	27,230.832
員工人數 (人)	平均數	3,651.623	1,705.687	3,342.674	181.530
	標準差	6,211.533	3,986.736	10,005.141	180.806
	最小值	37.000	12.000	1.000	21.000
	最大值	23,982.000	30,000.000	94,100.000	811.000
<b>產出變數</b>					
銷售淨額 (百萬美元)	平均數	888.217	372.185	703.205	5,253.195
	標準差	1,547,286	1,032.787	1,618.622	6,398.880
	最小值	0.065	3.006	0.000	22.308
	最大值	7,042.387	10,242.950	13,857.414	28,402.665
市場價值 (百萬美元)	平均數	1,102.521	1,526.508	1,835.441	4,473.195
	標準差	2,381.699	6,246.245	4,843.217	4,569.117
	最小值	0.082	1.598	0.239	6.383
	最大值	12,561.496	53,781.107	50,323.543	22,534.188
<b>總觀測值數目</b>	<b>69</b>	<b>342</b>	<b>282</b>	<b>66</b>	

註：所有的名目變數皆以各國國內生產毛額平減價格指數加以平減（以2005年為基期）。

DEA 模型之投入與產出變數須符合等幅擴張性(Isotonicity)，亦即投入增加時，產出不得減少。本研究參考高強等(2003, p51, p67)之建議，以 Pearson 相關係數驗證等幅擴張性（參見表 4），結果顯示在 0.1% 的顯著水準下，投入變數與產出變數間存在顯著的正向關係，而且皆高於 0.738；因此，本研究所選取之投入與產出變數，的確滿足等幅擴張性。

表 4 投入與產出變數之相關係數

	固定資產	銷售成本	員工人數
淨銷售額	0.834 ( $< 0.001$ )	0.955 ( $< 0.001$ )	0.786 ( $< 0.001$ )
市場價值	0.826 ( $< 0.001$ )	0.751 ( $< 0.001$ )	0.738 ( $< 0.001$ )

註：括號內為  $p$  值。

## 二、實證結果

本研究採用 Lingo 10 軟體來計算各種方向性距離函數值，並據以衡量技術差距TG。在衡量各國效率指標前，應首先確認各國之效率邊界是否存在明顯的差異，據以選擇較適當的實證模型。基本上，應首先應用方向性距離函數模型，分別針對各群組取得具有完全技術效率的DMUs（組成各體系效率邊界之DMUs），再將這些具有完全技術效率的DMUs 混合在一起，進行檢定；然而，此種處理方法排除了許多無效率的DMUs，造成自由度過少的問題。因此，本研究依據 Cooper *et al.* (2007)的建議，將無效率的DMUs 以其在效率邊界之投射值加以取代，因此每個群組之有效率 DMUs 數目與原來的DMUs數目相同，可避免自由度過少的問題；再將不同群組之DMUs 混合，據以計算方向性距離函數值；然後應用無母數檢定進行分析，若不同群組之平均方向性距離函數值顯著的不相等，代表不同群組之效率邊界存在明顯的差異。（註4）

我們利用圖 1 說明上述之處理方法，假定美國半導體科技產業之效率邊界原有A、C、E、F點，將邊界內之無效率DMUs（B、D、G點）投射至效率邊界上，成為B\*、D\*、G\*點，取得美國半導體科技產業之效率DMUs（A、B\*、C、D\*、E、F、G\*）。同理，日本、台灣、韓國半導體科技產業亦可以此

方法取得效率DMUs。然後，將所有群組之DMUs予以混合，再利用方向性距離函數模型求出全體之效率指標，最後應用無母數檢定驗證所有體系之邊界是否相等。

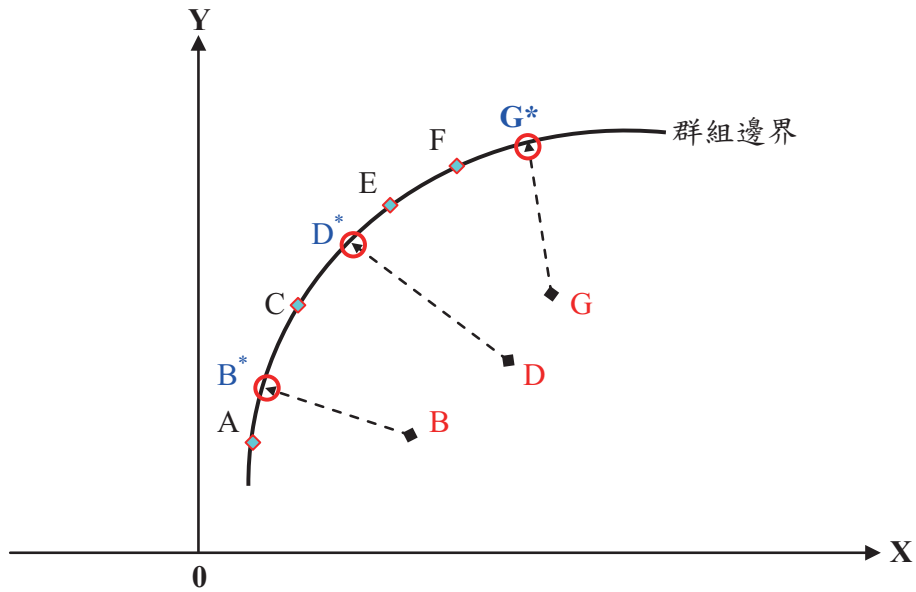


圖 1 無效率 DMUs 之投射調整

表 5 之檢定結果顯示，在 0.001 顯著水準下，四個國家群組邊界存在顯著的差異。進一步探討任兩個國家間的群組邊界是否相同，需進行多重比較 (Wackerly *et al.*, 2008)；Mann-Whitney U 檢定指出，僅有日本與台灣的群組邊界檢定之  $p$  值為 0.011，其它在 0.001 顯著水準下，皆呈現顯著的差異。因此將各國視為各自擁有自己的生產邊界，進行實證研究應較為適當。

表 5 群組邊界之無母數檢定

Kruskal-Wallis 檢定			
卡方 [自由度]	152.790 [3]		
漸近顯著性	< 0.001		
Mann-Whitney U 檢定			
	日本/台灣	日本/美國	日本/韓國
Z	-2.532	-3.408	-7.324
漸近顯著性	0.011	< 0.001	< 0.001
	台灣/美國	台灣/韓國	美國/韓國
Z	-8.577	-10.173	-6.220
漸近顯著性	< 0.001	< 0.001	< 0.001

本研究將樣本資料以國家為類別進行分組，計算每個廠商在自身群組中的效率指標  $\hat{\beta}^g$ ；然後，再將所有樣本混合在一起建構共同邊界，計算每個廠商之效率指標  $\hat{\beta}^m$ 。效率指標值為 0，代表該廠商為具有完全技術效率，效率值越大，表示其為相對效率較差的廠商。最後，再利用共同邊界與群組邊界的效率指標差距計算各廠商的技術缺口  $TG$ ，其值越小，代表該群組的邊界與共同邊界之差距較小，即該群組技術水準較為優異；反之，其值越大，代表該群組技術水準較差。

表 6 為日本、台灣、美國與韓國的各項效率指標與技術缺口平均值。結果顯示，在共同邊界的效率指標方面，韓國的經營績效之表現相對較佳，平均值為 0.155，而美國的經營績效之表現居次，其平均值為 0.306。在群組邊界的效率指標方面，日本的平均值較佳，代表群組內無效率廠商與群組邊界上具有技術效率之廠商的績效表現較為相近，亦即日本廠商之間的同質性較高；而美國的平均值最差，表示美國廠商之間的異質性較高。在技術缺口方面，韓國的技術缺口較小，顯示其群組邊界較接近共同邊界的潛在技術水準，亦即整體產業的技術較為優異。台灣相較於日本、美國與韓國之共同邊界的效率指標表現較差；不過，在群組邊界的效率指標方面，日本與韓國的平均值相近，且小於美國，表示其群組內的廠商之間同質性高於美國。在技術缺口方面，日本與台灣的技術缺口較大，表示其群組邊界與共同邊界之差距較大。



表 6 日本、台灣、美國與韓國的各項效率指標與技術缺口平均值

	日本	台灣	美國	韓國
$\hat{\beta}^m$	0.377	0.423	0.306	0.155
$\hat{\beta}^g$	0.090	0.207	0.261	0.137
TG	0.287	0.215	0.045	0.018

表 6 指出各國之共同邊界的效率指標  $\hat{\beta}^m$  與技術缺口 TG 並不相同，然  
 而是否為顯著的不同，則需進行檢定。表 7 之無母數檢定顯示，在 0.001 的  
 顯著水準下，各國之共同邊界的效率指標與技術缺口 TG 存在顯著的差異；  
 進一步探討任兩國之效率指標與技術缺口 TG 是否相同，則需進行多重比  
 較，結果指出：在 0.05 的顯著水準下，任兩國之效率指標與技術缺口 TG 皆  
 存在顯著的差異。

表 7 共用邊界之效率指標與技術缺口之無母數檢定

<b>Kruskal-Wallis 檢定</b>			
	效率指標 $\hat{\beta}^m$	TG	
卡方 [自由度]	123.824 [3]	412.930 [3]	
漸近顯著性	< 0.001	< 0.001	
<b>Mann-Whitney U 檢定</b>			
$\hat{\beta}^m$	日本/台灣	日本/美國	日本/韓國
Z	-2.105	-3.131	-6.469
漸近顯著性	0.035	0.002	<0.001
$\hat{\beta}^m$	台灣/美國	台灣/韓國	美國/韓國
Z	-7.648	-9.252	-5.851
漸近顯著性	<0.001	<0.001	<0.001
TG	日本/台灣	日本/美國	日本/韓國
Z	-5.348	-11.436	-8.816
漸近顯著性	<0.001	<0.001	<0.001
TG	台灣/美國	台灣/韓國	美國/韓國
Z	-17.707	-11.375	-6.269
漸近顯著性	<0.001	<0.001	<0.001

### 三、討論

由於各國的資源、文化、經濟和政治等外在環境不盡相同，因此生產與管理技術亦應有所不同。根據日本、台灣、美國與韓國之半導體科技廠商資料，任兩個國家間的群組邊界皆存在顯著的差異，因此將四個國家的半導體科技廠商視為具有相同的生產邊界應不適當。所以本研究將Färe and Grosskopf (2005) 所提出的方向性距離函數納入 O'Donnell *et al.* (2008) 之共同邊界分析架構，具以分析日本、台灣、美國與韓國之半導體科技廠商之經營績效。

表 8 為共同邊界與群組邊界有效率廠商的統計資料。共有 40 個 DMUs 位於共同邊界上，其中美國所佔的比重最高達到 42.5%(17/40)，其次為韓國的 32.5%(13/40)。此外，就共同邊界上的 DMUs 佔群組邊界上 DMUs 的比例而言，韓國在群組邊界上之 14 個 DMUs 中，有高達 13 個亦位於共同邊界上，比重高達 92.86%；其次為美國的 58.62% (17/29)，台灣與日本分別僅有 20% (7/35) 與 13.64%(3/22)。這些結果此顯示美國與韓國為半導體產業的技術領先國，兩國的群組邊界與共同邊界差距非常接近，亦反應在韓國與美國的 TG 平均值分別僅有 0.018 與 0.045，而台灣與日本的 TG 平均值分別高達 0.215 與 0.287。可能的原因為半導體產業為高度資本密集產業，大量資本投資可引進較新的生產模式，有助於提升技術與生產力。表 2 為全球主要半導體產業國家於 2004-2008 期間在資本支出的資料，其中美國在各個年度的支出皆遠超過其它國家，而韓國雖在 2004 年與 2005 年的資本支出略低於日本排名第三，但自 2006 年開始超越日本排名第二；亦即在研究期間(2006-2008)，美國與韓國半導體產業的資本投資遠高於台灣與日本，可能導致美國與韓國半導體產業 TG 平均值遠低於台灣與日本。

表 8 共同邊界與群組邊界具有完全技術效率數

	日本		台灣		美國		韓國	
	個數	百分比	個數	百分比	個數	百分比	個數	百分比
$\hat{\beta}^g$	22	31.88%	35	10.23%	29	10.25%	14	21.21%
$\hat{\beta}^m$	3	4.35%	7	2.05%	17	6.01%	13	19.70%

註：百分比為各國有效率廠商佔其廠商總數的比例。

透過差額變數分析可瞭解廠商目前的資源使用情形及改善的空間，亦可作為目標設定之基準。將廠商之共同邊界效率指標  $\hat{\beta}^m$  乘以投入與產出變數可取得射線差額(Radial Slack)之總額，加上非射線差額(Non-radial Slack)，可得總差額；將總差額除以其原投入或產出值，即可得到各投入與產出變數之潛在改善比率。表 9 為各國之投入與產出變數之平均潛在改善空間，投入項之數值代表必須縮減原有投入項的百分比，而產出項之數值則代表必須擴張原有產出項的百分比。就投入變數而言，各國在固定資產的平均改善空間最大，其中台灣的改善空間最大需要縮減 51.07%，日本與美國分別需要縮減 43.54%與 40.74%。從產出面分析，日本與美國應首重於市場價值的提升，分別需要再擴張 44.62%與 40.51%；台灣則應同時著重於市場價值與銷售淨額的提升，分別要擴張 42.31%與 51.60%。此外，於各國之投入項固定資產部份需改善幅度頗大，以 Shy(1995)提出建立進入障礙之概念，將進入障礙視為一種現存廠商所能控制的方法來阻止新進入者的加入。由本研究之實證結果指出，日本、台灣、美國與韓國於固定資產的潛在改善比例分別為 43.54%、51.07%、40.74%與 27.45%，呈現頗大的改善幅度，顯示各國廠商皆建置比理想產量超過一定程度的產能，可對新進入者欲進入產業時藉由擴大產量以降低生產成本，再加上半導體產業本身為資本密集的產業，須投入大量資金以進行廠房設備的建造，就建廠設備的投資而言，建造一座晶圓廠的費用以一座月產能 25,000 片的 8 吋晶圓廠，需投資 16 億美元以上，月產能 25,000 片的 12 吋廠，則需投資 25 億美元以上。這樣龐大的金額所形成的進入障礙，絕非一般企業所能及，故其固定資產投資的比率，遠比一般的產業高，故藉此將能形成一進入障礙以對新進入者產生嚇阻作用。

表9 投入與產出平均潛在改善比率

		日本	台灣	美國	韓國
投入項	固定資產	43.54%	51.07%	40.74%	27.45%
	銷售成本	37.72%	42.29%	30.57%	15.50%
	員工人數	38.13%	44.25%	33.28%	17.30%
產出項	銷售淨額	37.72%	42.31%	30.64%	15.50%
	市場價值	44.62%	51.60%	40.51%	27.41%

學習標竿分析之主要目的是探討適合於被無效率廠商作為效率改善的學習對象，本研究將各國之無效率廠商的參考集合以國家進行分類並計算權重之平均值，其值越大者代表其生產模式越適合做為無效率廠商之學習標竿。表10指出，所有國家之無效率廠商之平均權重 $\hat{\lambda}$ ，除韓國外皆以美國為最高，表示美國具有技術效率的廠商最適合作為全球半導體科技廠商之學習標竿。可能原因為美國為全球半導體科技產業發展最為蓬勃且建全的國家，故其有效率廠商具有最先進的經營技術與管理經驗，因此除了美國自身的無效率廠商需要向美國的有效率廠商學習以提升整體績效外，日本、台灣的無效率廠商亦皆應該向美國學習。此外，韓國為所有國家之無效率廠商之平均權重為最高，表示韓國自身無效率廠商須向韓國的有效率廠商學習；此可能導因於韓國的半導體產業較強調高度垂直整合的方式營運，不易師法其它國家的半導體產業，例如台灣半導體產業的優勢為垂直分工與產業群聚。

表10 學習標竿分析

	學習對象				
	日本	台灣	美國	韓國	總計
日本	8.95%	8.92%	72.03%	10.10%	100%
台灣	1.96%	4.54%	86.38%	7.12%	100%
美國	0.49%	6.84%	84.88%	7.78%	100%
韓國	0.40%	0.61%	8.18%	90.81%	100%

策略聯盟為半導體科技產業為提高競爭力的常見商業策略，Stuart (2000) 指出策略聯盟雖並不一定能為企業帶來效益，然而卻可以成為合作雙方獲取對方所擁有之關鍵技術的管道。Barney (1997) 認為，聯盟是兩公司在研發、製造或銷售及服務上合作以達到資源互補的綜效。Gebrekidan and Awuah (2002) 指出學習為廠商之間形成策略聯盟的主要目標之一，聯盟成員於合作過程中旨在向夥伴學習技術或是獲取經驗以運用於未來的營運活動之中。由於半導體產業投入資本龐大，產品生命週期短，市場變化快，因此為降低經營風險，可以用技術合作的方式進行國際策略聯盟，在聯盟中，雙方各自貢獻在製造或行銷上的專長，爭取整體的競爭利益。表 10 指出美國是最適合作為學習標竿的國家。由於選擇生產型態較接近的對象為學習標竿，在資訊、流程轉換方面的障礙較小，有助於將其流程順利地導入自身的企業以提升技術水準。是故，建議各國無效率的廠商應將美國有效率廠商視為學習的典範，透過與其建立跨國企業策略聯盟以進行共同投資或是技術引進等合作活動，學習製造或銷售活動所需的相關技術，藉此提升自身的技術水準以縮小彼此之間的技术差距，進而提昇經營績效。

## 陸、結論

電子產品是二十一世紀關鍵性的全球產業，半導體則是電子產品的重要零組件，全球已有眾多人口受惠於半導體科技所發展之產品。由於半導體技術產業具有資本與技術密集、不斷創新、重視科技整合、附加價值高、應用範圍廣等特點，已經成為各種電子資訊產品中不可或缺的核心關鍵零組件，許多國家皆將半導體科技產業列為優先推動的項目。由於半導體科技廠商所生產的產品大都是以全球市場為導向，必須面對來自全球市場的激烈競爭，單一國家之經營績效分析實在無法窺其全貌。本研究選取日本、台灣、美國與韓國的半導體科技廠商作為研究標的，希望透過半導體科技產業技術領先國之跨國比較與分析，較全面且完整的瞭解半導體技術產業的營運表現、可改善空間及適合的標竿學習對象。

傳統的DEA模型假設所有的DMUs具有相同的生產可能性集合；然而，日本、台灣、美國與韓國的半導體科技廠商所面對的文化、經濟和政治等

外在環境不盡相同，因此生產與管理技術亦應有所不同。再者，產出或投入距離函數僅能縮減投入或擴張產出，無法同時考慮投入縮減與產出擴張。因此，本研究將可同時縮減投入與擴張產出的方向性距離函數，納入可處理不同群組技術之共同邊界分析架構，據以分析日本、台灣、美國與韓國之半導體科技廠商之經營績效。

本研究之樣本取自於OSIRIS資料庫，研究期間為2006年至2008年，包括23家日本廠商、114家台灣廠商、94家美國廠商及22家韓國廠商，共計759筆觀測值，名目變數皆以各國之國內生產毛額平減價格指數加以平減（以2005年為基期）。實證結果顯示：各國的群組邊界存在顯著的差異，因此將各國視為各自擁有自己的生產邊界的確較為適當；此外，美國國內有效率的廠商大部份在國際上亦是有效率的廠商，其群組邊界較接近共同邊界的潛在技術水準，且除了韓國外所有國家之無效率廠商，大都應以美國具有技術效率的廠商為學習標竿，而韓國之無效率廠商適合向韓國自身有效率廠商學習。其它的研究發現：(1)各國在固定資產的平均改善空間最大；(2)美國與韓國應首重於市場價值的提升，台灣與日本則應同時著重於市場價值與銷售淨額；(3)韓國的共同邊界效率指標較佳，美國居次；(4)韓國廠商之間的同質性較高，而日本廠商之間的異質性較大。

本研究的樣本取自於OSIRIS資料庫，不過存在不少遺漏值，以致於分析樣本略顯不足，日後若能取得較完整的樣本，當可獲得更詳實的分析，此一研究方法亦可應用於其它產業之跨國比較分析。此外，因環保的意識抬頭，半導體在製造過程中會對環境產生污染，可考量納入相關的非欲意產出變數，如污水排放量、廢氣與廢棄物處置等，也許將會得到有別於本研究的結果，有待於後續研究去作更深入地探討關於半導體科技廠商之績效評估議題。

## 附 註

1. 依全球產業分類標準(Global Industry Classification Standard, GICS)所定義之半導體,代碼為 45301020。
2. 摩爾定律是由英特爾名譽董事長摩爾經過長期觀察發現得之,是指一個尺寸相同的晶片上,所容納的電晶體數量,因製程技術的提升,每十八個月會加倍,但售價相同;若在相同面積的晶圓下生產同樣規格的 IC,隨著製程技術的進步,每隔一年半,IC 產出量就可增加一倍,換算為成本,即每隔一年半成本可降低五成,平均每年成本可降低三成多。
3. 研究樣本包含台灣、日本、美國與韓國等技術 導國家之半導體科技上市公司,屬跨國比較研究,可是並未以各國之購買力(PPP)進行平減。主要的原因為許多文獻從理論與實證的角度證明 PPP 不成立(Taylor and Taylor, 2004; Pelagatti and Colombo, 2014);再者,半導體產業是以全球市場為導向,各國的產品大都銷售在全球市場,面對相同的價格競爭,因此應不需要以 PPP 轉換;此外,PPP 僅適用於貿易財,有些投入項(如人力)為非貿易財。因此,我們僅以各國之國內生產毛額平減價格指數加以平減。作者感謝審查委員的建議,將資料的處理過程給予更清楚的說明。
4. 本研究的重點為跨國比較,為了明確且清晰的分析與比較這四個重要的半導體國家,而且三年的研究期間(2006~2008)不算長,故而假設半導體產業之技術在此三年期間相對穩定,並將三年資料混合在一起衡量各項效率指標。作者感謝審查委員的提醒,給予更完整且清楚的說明實證分析的內容。

## 參考文獻

- 王肇蘭、許義忠及徐偉初(2008)，「台灣地區地方政府效率暨生產力之評估」，*應用經濟論叢*，第八十四期，頁 71-120。
- 李揚及李曉娟(2008)，「亞洲生技產業之總要素生產力研究」，*農業與資源經濟*（台灣農業與資源經濟學會），第五卷第一期，頁 55-76。
- 李揚、郭睿淇、李威龍及林孟熙(2010)，「中國與印度銀行產業之群體績效評估」，*應用經濟論叢*，特刊，頁 87-116。
- 高強、黃旭男及 Toshiyuki Sueyoshi(2003)，*管理績效評估管資料包絡分析法*，台北：華泰文化事業公司。
- Banker, R. D., A. Charnes and W. Cooper (1984), "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," *Management Science*, 30(9), pp.1078-1092.
- Barney, J. B. (1997), *Gaining and Sustaining Competitive Advantage*, New York: Addison-Wesley Publishing Company.
- Beck, R., R. T. Wigand and W. König (2005), "Integration of E-Commerce by SMEs in the Manufacturing Sector: A Data Envelopment Analysis Approach," *Journal of Global Information Management*, 13(3), pp.20-32.
- Carbone, T. A. (2000), "Measuring Efficiency of Semiconductor Manufacturing Operations Using Data Envelopment Analysis (DEA)," *IEEE*, pp.56-62.
- Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes (1978), "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, 2(4), pp.429-444.
- Chen, Y.-S. and B.-Y. Chen (2009), "Using Data Envelopment Analysis (DEA) to Evaluate the Operational Performance of the Wafer Fabrication Industry in Taiwan," *Journal of Manufacturing Technology*, 20 (4), pp.475-488.
- Chen, Y.-S. and B.-Y. Chen (2011), "Applying DEA, MPI, and Grey Model to Explore the Operation Performance of the Taiwanese Wafer Fabrication Industry," *Technological forecasting and social change*, 78, pp.536-546.
- Chen, W.-C. and C.-F. Chien (2011), "Measuring Relative Performance of Wafer Fabrication Operations: A Case Study," *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22, pp.447-457.
- Chu, M.-T., J. Z. Shyu and R. Khosla (2008), "Measuring the Relative Performance for Leading Fabless Firms by Using Data Envelopment Analysis," *International Journal of Manufacture*, 19(3), pp. 257-272.
- Cooper, W. W., L. M. Seiford and K. Tong (2007), *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text*



- with Models, Applications, References and DEA-solver Software*, Second Edition, New York: Springer.
- Färe, R., F. Grosskopf and R. R. Russell, (2005), *New Directions: Efficiency and Productivity*, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Farrell, M. J. (1957), "The Measurement of Productive Efficiency," *Journal of the Royal Statistical Society*, A120, pp.499-513.
- Gebrekidan, D. A. and G. B. Awuah (2002), "Interorganizational Cooperation: A New View of Strategic Alliances – The Case of Swedish Firms in the International Market," *Industrial Marketing Management*, 31(8), pp.679-693.
- Halkos, G. E. and N. G. Tzeremes (2007), "International Competitiveness in the ICT Industry: Evaluating the Performance of the Top 50 Companies," *Global Economic Review*, 36(2), pp.167-182.
- Hatami-Marbini, A., M. Tavana, K. Gholami and Z. G. Beigi (2015), "A Bounded Data Envelopment Analysis Model in a Fuzzy Environment with an Application to Safety in the Semiconductor Industry," *Journal of Optimization Theory and Applications*, 164, pp.679-701.
- Hsiao, B., C.-C. Chen and M.-M. Yu (2012), "Measuring the Relative Efficiency of IC Design Firms Using the Directional Distance Function and a Meta-Frontier Approach," *Decision Support Systems*, 53, pp.881-891.
- Hsiao, F. S. T. and C. Park (2005), "Korean and Taiwanese Productivity Performance: Comparisons at Matched Manufacturing Levels," *Journal of Productivity Analysis*, 23(1), pp.85-107.
- Hung, S.-W., D.-S. He and W.-M. Lu (2014), "Evaluating the Dynamic Performances of Business Groups from the Carry-Over Perspective: A Case Study of Taiwan's Semiconductor Industry," *Omega*, 46, pp.1-10.
- Hung, S.-W. and W.-M. Lu (2008), "The Comparative Productivity Efficiency of Taiwan's Integrated Circuits Packaging/Testing Firms," *Information Systems and Operational Research*, 46 (3), pp. 189-198.
- Jagoda, K. and P. Thangarajah (2014), "A DEA Approach for Improving Productivity of Packaging Production Lines: A Case Study," *Production Planning & Control*, 25(2), pp.193-202.
- Kao, L.-J., S.-Y. Chiu and H.-T. Ko (2014), "A study of the Talent Training Project Management for Semiconductor Industry in Taiwan: The Application of a Hybrid Data Envelopment Analysis Approach," *The Scientific World Journal*, 2014, pp.1-11.
- Kao, L.-J., C.-C. Lu and C.-C. Chiu (2011), "The Training Institution Efficiency of the Semiconductor Institute Programme in Taiwan—Application of Spatiotemporal ICA with DEA Approach," *Journal of the Operational Research Society*, 62, pp.2162-2172.
- Kozmetsky, G. and P. Yue, (1998), "Comparative Performance of Global Semiconductor Companies,"

- Omega*, 26(2), pp.153-175.
- Li, Y., Y.-H. Chiu and Z. T. Tzeng (2007), "Performance Evaluation of Asian Biotech Firms: Application of Three-Stage Approach," Paper presented at *Pacific Rim Conference of Western Economic Association International*, Beijing, China.
- Liu, F.-H. F. and P.-H. Wang (2008), "DEA Malmquist Productivity Measure: Taiwanese Semiconductor Companies," *International Journal of Production Economics*, 112, pp.367-379.
- Lu, W.-M. and S.-W. Hung (2010), "Assessing the Performance of a Vertically Disintegrated Chain by the DEA Approach – A Case Study of Taiwanese Semiconductor Firms," *International Journal of Production Research*, 48, pp.1155-1170.
- Lu, W.-M., W.-K. Wang and H.-T. Lee (2013), "The Relationship between Corporate Social Responsibility and Corporate Performance: Evidence from the US Semiconductor Industry," *International Journal of Production Research*, 51(19), pp.5683-5695.
- Montoya-Torres, J. R. (2006), "Manufacturing Performance Evaluation in Wafer Semiconductor Factories," *International Journal of Productivity and Performance Management*, 55 (3/4), pp.300-310.
- O'Donnell, C. J., D. S. P. Rao and G. E. Battese, (2008), "Metafrontier Frameworks for the Study of Firm-Level Efficiencies and Technology Ratios," *Empirical Economics*, 34 ( 2), pp.231-255.
- Oliver, R. K. and M. D. Webber, (1992), "Supply Chain Management: Logistics Catches Up with Strategy," In M. Christopher (Ed.). *Logistics: The strategic issue* 63-75 London: Chapman & Hall.
- Pan, W.-H., Y.-Y. Feng, Y.-C. Huang and Y.-K. Chen (2008), "Performance Review of Taiwanese IC Design Industry: DEA-based Malmquist Productivity Measure," *WSEAS TRANSACTIONS on COMPUTERS*, 7(8), pp.1291-1199.
- Pelagatti, M. and E. Colombo (2014), "On the Empirical Failure of Purchasing Power Parity Tests," *Journal of Applied Econometrics*, (Online Library).
- Retzlaff-Roberts, D., C. F. Chang and R. M. Rubin (2004), "Technical Efficiency in the Use of Health Care Resources: A Comparison of OECD Countries," *Health Policy*, 69, pp.55-72.
- Shy, Oz, (1995), *Industrial Organization: Theory and Applications*, Cambridge: The MIT Press.
- Stuart, T. E. (2000), "Interorganizational Alliances and the Performance of Firms: A Study of Growth and Innovation Rates in a High-Technology Industry," *Strategic Management Journal*, 21(8), pp. 791-811.
- Taylor, A. M. and M. P. Taylor (2004), "The Purchasing Power Parity Debate," *Journal of Economic Perspectives*, 18(4), pp.135-158.
- Wackerly, D. D., W. Mendenhall III and R. L. Scheaffer (2008), *Mathematical Statistics with Applications, Seventh Edition*, CA: Duxbury.
- Wen, H.-C., J.-H. Huang and Y.-L. Cheng (2012), "What Japanese Semiconductor Enterprises Can

Learn from the Asset-Light Business Model for Sustainable Competitive Advantage,” *Asian Business and Management*, 11(5), pp.615-649.

Windrum, P. and M. Tomlinson (1999), “Knowledge-Intensive Services and International Competitiveness: A Four Country Comparison,” *Technology Analysis and Strategic Management*, 11(3), pp.391-408.

Wu, C.-C., C.-C. Li and T.-H. Wang (2007), “Multifactor Performance Measure Model with an Application to Semiconductor Industry Performance,” WSEAS, pp.22-24.

## **Performance Assessment of Semiconductor Industries: Based on Cross-Country Evidence**

**Yang Li and Tang-Chi Chung**

### **Abstract**

The semiconductor industry has been regarded as a key global industry of the 21<sup>st</sup> century. Because of its property of globalization, it is unlikely to understand the whole picture of the operational performance by simply analyzing a single country. This study, therefore, incorporates the directional distance function into the metafrontier framework in order to evaluate efficiencies of leading countries (Japan, Taiwan, USA, and Korea) of the semiconductor industry. The sample, obtained from OSIRIS database, consists of 253 firms and a total of 759 observations for the period from 2006 to 2008. Empirical results indicate: (1) Each country has her own frontier so the metafrontier framework is an appropriate approach in this study; (2) Most of inefficient firms, except those from Korea, should mainly take American efficient firms as benchmarks; (3) Every country should give priority to increasing market values and reducing fixed assets; (4) The group of Korean firms appears the highest homogeneity, while that of Japanese ones reveals the largest heterogeneity.

---

**Key words:** Semiconductor industry, DEA, Directional distance function, meta-frontier.

---