

# 跨廠績效評估模式－以半導體廠為例

## Cross-Fab Performance Evaluation Model – An Example of Semiconductor Manufacturing Company

鄭家年 Jia-Nian Zheng<sup>1</sup>

簡禎富 Chen-Fu Chien<sup>2</sup>

### 摘要

半導體製造是一種高資本、高技術的產業，如何充分利用限制資源以發揮最大產能，平衡系統工作負荷，並降低在製品存量及增加產出使系統績效達到最高，成為晶圓製造從產能規劃到生產計畫的重要目標。

本研究以各種重要資源為投入項，關鍵績效指標為產出項，運用資料包絡分析法(Data envelopment analysis, DEA)進行跨廠營運綜合績效評比。由效率分析區分有效率與無效率的單位，並討論可能原因，以利企業營運目標的管理與達成；由差額變數分析與規模報酬分析可協助管理者了解可改善的方向，以充份運用其生產資源並為公司創造更大的營運效益。並以台灣新竹科學園區的一家半導體製造公司作為實證案例，以驗證模式效度與討論相關的應用方式。

**關鍵字：**資料包絡分析法、績效評估、半導體製造

### Abstract

Semiconductor manufacturing is a high capital, high-tech industry. An important goal of the companies is how to use resource efficiently, including maximize productivity, balance system workloads, reduce inventory and increase the output of the system.

This study based on data envelopment analysis (DEA) to construct efficiency evaluation among the semiconductor fabrication facilities. In particular, the proposed model used multiple indices to measure inter-fab relative efficiency, and give improvement direction while considering both theory and practice situation. Managers can understand each decision making unit's condition to set the improvement direction and make appropriate resource allocation decision through the inter-fab comparison. This study used a semiconductor manufacturing

---

<sup>1</sup>亞洲大學經營管理學系助理教授(聯絡地址：413 台中市霧峰區柳豐路 500 號，聯絡電話：04-2332-3456 轉 20049，E-mail: jianian@asia.edu.tw)。

<sup>2</sup>國立清華大學工業工程與工程管理學系(聯絡地址：300 新竹市光復路 2 段 101 號，聯絡電話：03-5715131 轉 42648，E-mail: cfchien@mx.nthu.edu.tw)。

company of Hsinchu Science Park, Taiwan as an empirical case. The case would be used to verify the model and discuss related application.

**Keywords:** Data envelopment analysis, Performance evaluation, Semiconductor manufacturing.

## 壹、前言

半導體產業的晶圓製造為強調製造流程為導向的高度複雜技術，製程的複雜度也伴隨著昂貴的生產技術與設備需求，以及巨額的資本支出需求，因此晶圓製造業者無不在謹慎控管設備投資與資本支出計畫上。而對於既有生產資源的運用，也非常重視瓶頸機台的產線設計，並儘量將其產能利用率達到最大化。然而，從產能計畫到生產計畫，許多異於傳統的加工特性，如製程步驟繁複、工件再回流 (Reentry)、批量分割、成批作業、加工等候時限等，使得晶圓製造的生產排程工作亦十分困難，而晶圓製造設備不僅昂貴且非常不穩定，容易發生許多不可預期的當機及隨機地製造出不良品，更加深了生產管制的複雜度。由於系統限制資源為決定系統生產績效的主要因素，因此如何充分利用限制資源以發揮最大產能，平衡系統工作負荷，並降低在製品存量及增加產出使系統績效達到最高，成為晶圓製造從產能規劃到生產計畫的重要目標。

績效評估的目的可分為消極的檢討過去表現，排序該企業在所有群體中的名次，了解自己在市場上的定位。另一方面，也可積極的幫助企業診斷目前營運管理的缺點所在，並且給予正確的改善方向，協助企業作效率地管理。過往建立了許多生產系統的關鍵績效指標(Key performance indicator, KPI)進行管理，然而隨著晶圓製造的複雜度增加，讓管理者難以對所有的 KPI 進行有效的管理，尤其是兩兩 KPI 互有衝突的時候，只能依賴管理者過去的經驗進行權衡。台灣半導體產業的成長與進步有目共睹，但是在面臨經營規模擴大與管理複雜度劇增的考驗下，也急需要進一步提昇其規劃方法與決策支援技術，以充份運用其生產資源並為公司創造更大的營運效益。

本研究將運用資料包絡分析法(Data envelopment analysis, DEA)模式，以各種重要資源為投入項，關鍵績效指標為產出項，運用資料包絡分析法進行跨廠營運綜合績效評比。並建立 DEA 績效評估系統，作為綜合績效指標的評比工具。其具體目的包括：(1)效率分析區分有效率與無效率的單位，並討論可能原因，以利企業營運目標的管理與達成；(2)透過差額變數分析提供單位資源的使用狀況及效率改善的方向，以建議管理者進行資源配置與管理之決策參考；(3)規模報酬分析協助管理者了解可改善的方向，強化對企業資源的分配與運用。

## 貳、文獻回顧

### 一、資料包絡分析法

資料包絡分析法是一個資料導向的方法，將多項投入屬性轉換為多項產出屬性，用以評估群體之間的相對表現 (Charnes et al., 1978; Banker et al., 1984; Cooper et al., 2004)。資料包絡分析法建立在柏拉圖最適境界之觀念上。柏拉圖最適境界的主要觀念即為在不損害他人的利益之下，追求個人的利益最大化。這樣的觀念是基於對決策單位最有利的情況下進行績效評估，故較為一般大眾所能接受。將最適境界上的各個決策單位點連接形成一條包絡線，此包絡線即為生產活動的效率前緣，其效率值皆為 1。針對未落在效率前緣上的點，分別衡量各個實際生產的決策單位點與投影在效率前緣上的決策單位點之距離，即可得知此決策單位的相對效率值，距離效率前緣越遠的點，其相對效率越差。以下將說明兩種常見並運用在此分項計畫之 DEA 基本模式：

### CCR 模式

DEA 中使用的生產效率觀念由 Farrell 於 1957 年提出，他提出利用生產邊界衡量效率的概念，當時針對兩項投入與單一產出之模式為範例，並且建立於生產技術不改變之前提下。Charnes et al. (1978) 改良 Farrell 的模式提出 CCR 模式，將投入項集合與產出項集合分別做線性的權重組合，而兩線性權重組合的比值即為決策單位之相對效率值。因此，使得 CCR 模式可以適用於多投入與多產出的效率衡量。此外，CCR 模式主要建立在固定規模報酬的假設上，也就是當投入資源的比例增加時，產出也會有同樣比例的增加。

CCR 之投入導向模式可表示如方程式(1)：

$$\begin{aligned} \min \quad & h_k^I = \theta - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{j=1}^n s_j^+ \right) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^R \lambda_r x_i^r + s_i^- = \theta x_i^k \\ & \sum_{r=1}^R \lambda_r y_j^r - s_j^+ = y_j^k \\ & \lambda_r, s_i^-, s_j^+ \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, R, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

若某個  $DMU_k$  的效率值  $h_k^I$  為 1，且  $s_i^- = s_j^+ = 0$ ，代表此  $DMU_k$  為相對有效率的點且落於效率前緣上。相對的，若某個  $DMU_k$  的效率值  $h_k^I$  小於 1，可利用方程式(1)中的限制式得到此  $DMU_k$  的最佳投入值應為  $\sum_{r=1}^R \lambda_r^* x_i^r$ ，而最佳產出值應為  $\sum_{r=1}^R \lambda_r^* y_j^r$ 。因此，若要達

到相對有效率，則必須減少  $(x_i^k - \sum_{r=1}^R \lambda_r^* x_i^r)$  投入量及增加  $(\sum_{r=1}^R \lambda_r^* y_j^r - y_j^k = s_j^+)$  的產出量。

## BCC 模式

Banker *et al.* (1984) 放寬 CCR 模式之假設，進一步擴展為變動規模報酬之假設，提出 BCC 模式，可加以衡量決策單位的無效率是否受到生產規模的影響。CCR 模式之產出會隨著投入資源的比例增加而增加相同比例的產出；變動規模報酬的假設則允許生產規模是可變動的。

BCC 之投入導向模式可表示如方程式(2)：

$$\begin{aligned}
 \min \quad & g_k^I = \theta - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{j=1}^n s_j^+ \right) \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^R \lambda_r x_i^r + s_i^- = \theta x_i^k \\
 & \sum_{r=1}^R \lambda_r y_j^r - s_j^+ = y_j^k \\
 & \sum_{r=1}^R \lambda_r = 1 \\
 & \lambda_r, s_i^-, s_j^+ \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, R, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \tag{2}$$

BCC 模式所求得之  $g_k^I$  為技術效率，CCR 模式求得之  $h_k^I$  為相對總效率，相對總效率除以技術效率即可得知其規模效率，僅有決策單位在最適生產規模下生產時，亦即規模效率為 1，其總效率與技術效率才會相等。

## 二、跨廠跨區應用

DEA 的相關研究與應用廣泛分佈在各種不同領域。其中，僅有少數半導體產業應用 DEA 進行績效評估之相關文獻回顧。Liu and Wang (2008) 選用 1 項投入屬性與 4 項產出屬性，分別為負債比率 (liability ratio)、成長率 (growth rate)、稅後淨利 (net profit after tax)、收益比率 (profitability ratio) 與勞工產出率 (output value by employee)，評估台灣半導體測試與封裝廠於 2000~2003 年間，共 15 家企業之不同時期績效表現，使用的模式為 slack-based measurement (SBM)、super-SBM 模式與 CCR 模式。Chu *et al.* (2008) 選用 3 項投入屬性與 2 項產出屬性，分別為資本額 (capital stock)、淨營運資金 (net working capital)、長期投資 (long-term investments)、盈收 (revenue) 與稅前淨利 (EBT)，評估 2003 年全球前 30 之半導體 IC 設計公司的績效表現，使用模式為 CCR 模式、BCC 模式、A&P 模式與 Cross-efficiency 模式。

然而，過去在半導體製造績效評估方面，目前 DEA 應用於評估全球半導體廠之績效

表現主要評估對象是不同公司之間的比較，例如：Kozmetsky and Yue (1998)與 Leachman *et al.* (2007)探討的對象為全球半導體公司，Wu *et al.* (2007)則是選擇台灣的數家半導體公司為評估對象。其中，Carbone (2000)是針對單一半導體廠做評估，其對象為主要的製程區域，衡量 15 個區域之績效表現。鮮少研究針對單一公司不同廠間進行績效評估。

## 參、研究方法

資料包絡分析法建立在柏拉圖最適境界之觀念上。柏拉圖最適境界的主要觀念即為在不損害他人的利益之下，追求個人的利益最大化。最適境界上的各個決策單位點連接形成一條包絡線，此包絡線即為生產活動的效率前緣，其效率值皆為 1。針對未落在效率前緣上的點，分別衡量各個實際生產的決策單位點與投影在效率前緣上的決策單位點之距離，即可得知此決策單位的相對效率值，距離效率前緣越遠的點，其相對效率越差。

### 一、問題定義與決策單位之選取

DEA 的決策單位選取必須考量其同質性(homogenous)，以及決策單位的個數。根據 Golany and Roll (1989)的建議，同質性必須符合：決策單位需有相同之目標，或進行同類之工作(tasks)、決策單位需在相同之市場環境下、與決策單位需使用相同之投入屬性與產出屬性以評估其績效。

理論上  $m$  個投入屬性與  $n$  個產出屬性應有  $m*n$  個產出投入比率，但由於最大比率者未必會完全分散於  $m*n$  個決策單位之上，因此大部分的研究仍使用投入屬性與產出屬性之兩倍個數和當作其決策單位之參考個數(高強等，2003)。由於案例公司廠區數較少，所以加入了時間維度一起比較，決策單位定義為「廠區-時間」。

### 二、投入產出項之選取

由文獻回顧(Leachman *et al.*, 2007)並與領域專家進行討論，再依據資料特性進行篩選，找出關鍵影響指標。以系統的觀點而言，決策單位的活動係將各項投入資源轉換成績效評估時所要達成的產出，所以產出是達成組織目標之具體化目標和衡量項目，而投入是為了增加產出而必須付出的各種成本和資源。因此，必須將評估屬性區分產出項為與目標正相關且為望大的屬性，投入項為與目標負相關且為望小的屬性。另一方面，投入屬性間相關性不能過高，產出屬性間相關性也不能過高，若有相關性高的情況，容易發生解釋能力被分攤、稀釋的情況。我們可求算屬性之間的相關矩陣以驗證此項關係，先行除去不符合條件之評估因子，以免影響分析的效度。

投入的部分以人、機、物這三個面象去收集：「人員」這一項中我們選擇人員數，分為直接員工數(DL)與非直接員工數(IDL)；「機台」(EQP)這一項中選擇主機台數，原因是機台動輒上億且個數少，使用率必須很高才數成本，實務上也直接使用曝光機台的產出當做產出量；產出部分以晶圓產出數(Output)，考慮晶圓尺寸與製程難易度後，以約當片數

為單位。

### 三、DEA 模式之選取評估結果之分析

效率分析：除了可以利用 CCR 模式計算總效率及 BCC 模式計算技術效率，並可以推導規模效率。同樣是相對有效率的決策單位可比較其被其他決策單位參考的次數，被參考的次數越多，則表示該決策單位為相對有效率的衡量穩健度越高。

差額變數分析：針對無效率的決策單位或方案，可以透過差額變數分析瞭解投入資源使用狀況，找出無效率之來源及對應的屬性值應該改善的大小程度。

規模報酬分析：決策單位之無效率可能是源自於技術效率或不同規模報酬的規模效率，藉由此分析可得知決策單位目前的規模是否合適，若不合適亦會提供增加或減少的建議。

## 肆、實證案例

案例公司為台灣新竹科學園區的一家半導體製造公司，擁有 2 個晶圓廠，使用資料範圍為 2008 年至 2010 年，為了保密規範，資料有進行過適度轉換，仍不影響其效度。另外。經過工程師和主管討論，Fab1 與 Fab2 有明顯的機台差異， Fab2 裡面的機台類別較混合。

一開始先把這兩個廠分開評比，時間為 2008 到 2010 年，各 36 個受評單位。兩廠分別以 2008 到 2010 的資料進行 DEA 的 CCR 模式進行分析，圖 1 可以得知兩廠績效雖然有高低起伏但趨勢一致，明顯受到需求波動的影響，而不是因為效率的問題。由於晶圓廠接單式生產的模式，空有人力與機台但沒有訂單可生產，導致評估的績效低落並不是想要評估的部分，故選定機台使用度較高(>80%)的旺季月份進行評比。

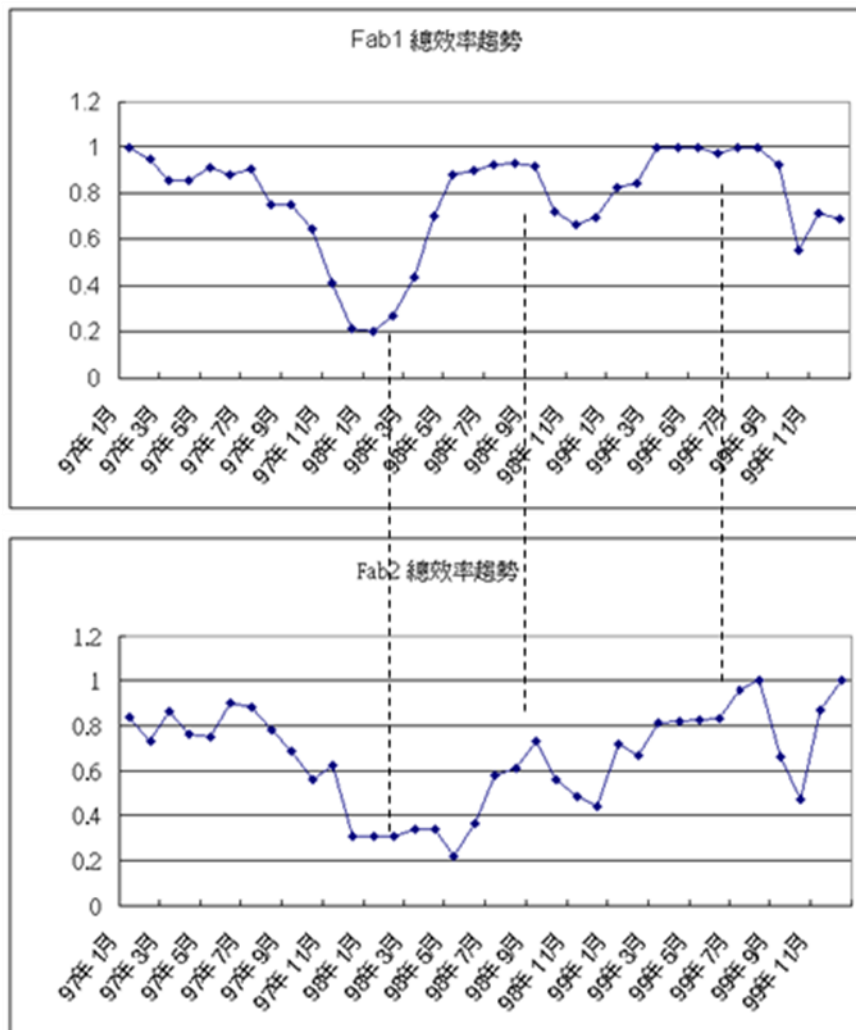


圖 1 2008 到 2010 年跨期綜合績效評比趨勢

1 廠績效整體看來不錯，從規模報酬分析來看，2008、2009 年部分建議增加規模，在略增加機台後，的確在 2010 年到達效率前緣。

DMU	OE	TE	SE	RTS	DMU	TE	Excess DL	Excess IDL	Excess Main Tools
2008/1/1	1	1	1	Constant	2008/1/1	1	0	0	0
2008/2/1	0.9483625	1	0.9483625	Increasing	2008/2/1	1	0	0	0
2008/5/1	0.9094302	1	0.9094302	Increasing	2008/5/1	1	0	4.7894737	0
2008/6/1	0.8829939	0.9922958	0.8898495	Constant	2008/6/1	0.9922958	2.3266564	29.553159	0
2008/7/1	0.9038072	0.9938272	0.9094209	Increasing	2008/7/1	0.9938272	0	8.6998051	0
2009/6/1	0.9003194	0.9961953	0.9037579	Increasing	2009/6/1	0.9961953	0	11.716178	0
2009/7/1	0.9220678	0.9969494	0.9248892	Increasing	2009/7/1	0.9969494	0	2.9901594	0
2009/8/1	0.928613	0.9975062	0.9309345	Increasing	2009/8/1	0.9975062	0	6.3342953	0
2009/9/1	0.9199923	0.9979314	0.9218993	Increasing	2009/9/1	0.9979314	0	1.7056738	0
2010/3/1	1	1	1	Constant	2010/3/1	1	0	0	0
2010/4/1	1	1	1	Constant	2010/4/1	1	0	0	0
2010/5/1	1	1	1	Constant	2010/5/1	1	0	0	0
2010/6/1	0.9715864	0.9998838	0.9716993	Constant	2010/6/1	0.9998838	44.400091	0	0
2010/7/1	0.9968551	0.9977789	0.9990741	Constant	2010/7/1	0.9977789	0	0.3981267	0
2010/8/1	1	1	1	Constant	2010/8/1	1	0	0	0
2010/9/1	0.9251233	0.9899683	0.9344979	Constant	2010/9/1	0.9899683	79.624687	0	0

圖 2 2008 到 2010 年 1 廠旺季綜合績效評比

2 廠從規模報酬分析來看，2008 年皆建議增加規模，在持續增加機台後，的確在 2010 年到達效率前緣。從差額變數分析來看，2008 年為直接人工過多，2010Q2Q3 則是間接人工與機台偏高，需要討論那些時間點的這些項目執行上，效率是否有明顯問題？

DMU	OE	TE	SE	RTS	DMU	TE	Excess DL	Excess IDL	Excess Main Tools
2008/1/1	0.8353897	1	0.8353897	Increasing	2008/1/1	0.8353897	62.524646	0	0
2008/3/1	0.8598054	0.9964449	0.862873	Increasing	2008/3/1	0.8598054	129.291	36.952311	0
2008/4/1	0.7628496	0.9734219	0.7836782	Increasing	2008/4/1	0.7628496	128.36522	0	0
2008/5/1	0.747028	0.9740681	0.7669156	Increasing	2008/5/1	0.747028	123.4846	0	0
2008/6/1	0.8963883	0.9879074	0.9073606	Increasing	2008/6/1	0.8963883	122.06996	10.283286	0
2008/7/1	0.8822	0.9792053	0.9009347	Increasing	2008/7/1	0.8822	129.30827	0	0
2008/8/1	0.7786991	0.963141	0.8084996	Increasing	2008/8/1	0.7786991	100.05006	0	0
2010/5/1	0.824571	1	0.824571	Increasing	2010/5/1	0.824571	0	48.495523	52.698996
2010/6/1	0.8271053	0.9948441	0.8313919	Increasing	2010/6/1	0.8271053	0	37.83404	38.719313
2010/7/1	0.9556345	1	0.9556345	Increasing	2010/7/1	0.9556345	0	20.135531	13.472316
2010/8/1	1	1	1	Constant	2010/8/1	1	0	0	0
2010/11/1	0.8678281	0.973151	0.8917713	Increasing	2010/11/1	0.8678281	0	1.0727707	0
2010/12/1	1	1	1	Constant	2010/12/1	1	0	0	0

圖 3 2008 到 2010 年 2 廠旺季綜合績效評比



研究結果顯示之後有產能擴充的情況，雖然整體的規模績效有提升，但有幾個月會突然下滑，顯示各廠必須檢視擴廠獲得之效益是否也有相對的提升，以及擴廠後是否能有效地利用空間，機台的配置與利用是否妥善安排等可能面臨的問題，避免擴廠後有空間浪費之疑。另外半導體業的景氣影響明顯，績效評比可以在淡旺季分開進行，然而公司應思考在淡季時，如何將產能做有效的運用或是進行關機，人員進行改善計畫之類的配套方案。

## 伍、結論

本研究針對案例公司兩個廠區進行跨廠營運綜合績效評估，主要選用製造指標作為評估屬性而非財務指標，避免企業過度追求短期的財務結果比較，製造指標在結果解釋可以反映於生產活動上，幫助管理者快速地找到問題癥結點以作進一步的改善。

績效評估可以達到檢討過去，了解決策單位相對於其他單位的表現，了解自己的定位。另一方面，也可積極的幫助企業診斷目前營運管理的缺點所在，並且給予正確的改善方向，協助企業作效率地管理。

## 參考文獻

- 簡禎富(民 94)，「決策分析與管理」，雙葉書廊，台北。
- Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W. (1984), "Some models for estimating technical and scale efficiencies in data envelopment analysis," *Management Science*, Vol. 30, No. 9, pp. 1078-1092..
- Carbone, T. (2000), "Measuring efficiency of semiconductor manufacturing operations using data envelopment analysis (DEA)," *Proceedings of the 2000 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 56-62.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1978), "Measuring the efficiency of decision making units," *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, No. 6, pp. 429-444.
- Cooper, W., Seiford, L., and Zhu, J. (2004), "Handbook on Data Envelopment Analysis", Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Golony, B., and Roll, Y. (1989), "An application procedure for DEA," *OMEGA*, Vol. 17, No. 3, pp. 237-250.
- Kozmetsky, G., and Yue P. (1998), "Comparative performance of global semiconductor companies," *OMEGA*, Vol. 26, No. 2, pp. 153-175.
- Leachman, R., Ding, S., and Chien, C.-F. (2007), "Economic efficiency analysis of wafer fabrication," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 4, No. 4, pp. 501-512.
- Liu, F., and Wang, P. (2008), "DEA Malmquist productivity measure: Taiwanese semiconductor companies," *International Journal of Production Economics*, Vol. 112, No. 1, pp. 367-379.
- Wu, C., Li, C., and Wang, T. (2007), "Multifactor performance measure model with an application to semiconductor industry performance," *Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on Applied Mathematics*, pp. 129-137.