

工業工程的極致挑戰

一半導體代工生產系統

文／陳正剛（工業工程研究所副教授）

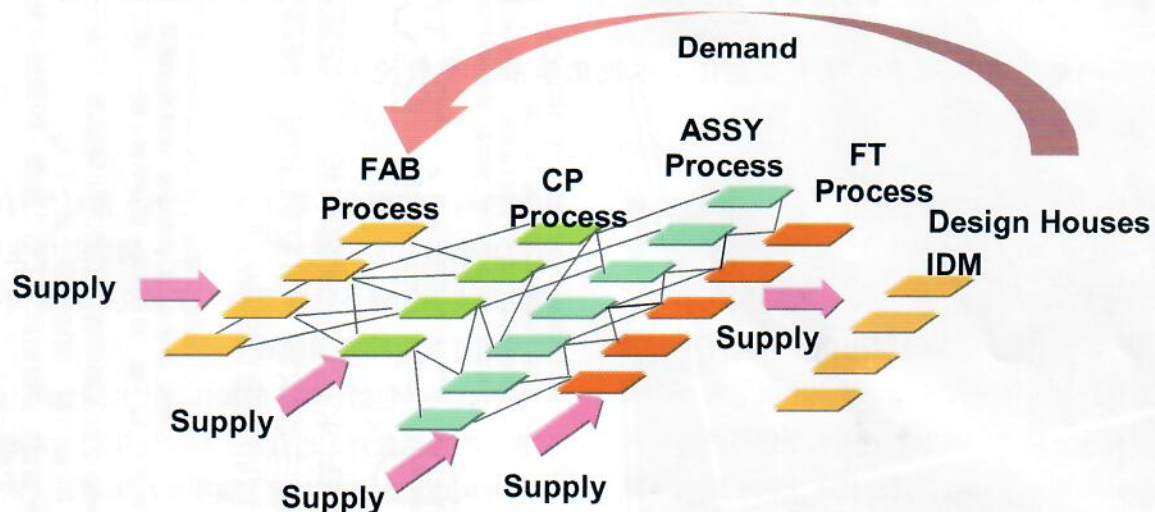
近年來台灣的半導體業蓬勃發展，其中晶圓代工工業在世界上更是首屈一指，不但創造了驚人的產值，更建立了世界首創的營運模式（Business model）。台灣其實早已是名符其實的全球製造中心，中小企業為主的產業結構憑藉著其極富彈性與應變力的營運模式，不但帶領台灣渡過許多次的全球性金融危機，更屢屢在不景氣中創造出傲人的成長。許多人認為：台灣其實只是在做低階的代工生產，是在做施振榮先生所稱微笑曲線中最不具附加價值的工作[1]

，大部分人卻忽略了其實代工才是台灣真正的競爭優勢所在，並不是毫無技術基礎可言，要做到低成本且快速反應的代工製造，除了需具備完整的產品製造技術，更需要有極富彈性的生產系統，以因應各種不同的訂單需求。在工業工程領域中我們稱此種生產系統為一「少量多樣」的生產模式，而半導體代工製造更是將此種生產模式的複雜度推展到了極致。

「少量多樣」的生產模式多適用於 engineer to order 的產品需求。一般而言產品需求可分為 make to stock、make to order 以及 engineer to order 三種類型，第一種類型適於大量生產，產品種類多屬於成本較低或產品生命週期較長的产品，如一般日常民生用品便屬於此類，半導體產品中的記憶體晶片亦屬於此類，其所生產的產品是以補充庫存（stock）為主要目的。第二類產品需求屬於較昂貴或生命週期較短的產品種類，此類產品大多有標準規格，電子產品多屬於此類，半導體產品中的 CPU 也屬此類，此類產品只在有訂單需求下才生產。最後一種產品需求種類不但具備第二種產品種類昂貴或生命週期短的特性，而且多沒有規格標準，產品生產需根據顧客需求量身定做（tailor-made or engineer-to-order），不但產品種類繁多，各類產品需求量亦多不大。一個好的代工業便是能夠做到少量多樣的 engineer to order

生產型態，而半導體代工更是此類型中最複雜的一種。典型的半導體晶圓生產（wafer fabrication）過程需要 200 至 300 的製程步驟（process steps）[2]，需時約 30 至 60 天才能完成，一般的 8 吋晶圓廠（wafer fab）約有 100 至 150 種不同的生產機台集群，機台總數約 300 至 400 部，每月約可生產 2 萬到 3 萬片晶圓，而代工廠每月則有約 300 或更多的不同產品訂單，亦即每種產品的每月平均需求量低於 100 片晶圓。半導體代工製造的複雜度並不止於晶圓廠的製造過程，晶圓製造只是生產最後 IC 成品的眾多步驟之一，晶圓產出後還需經過複雜的測試與封裝過程（wafer acceptance test, circuit probe, assembly, and final test），這便構成了一個如圖一所示的複雜製造網路。

一個有效率的生產計畫，便是要規劃出在高產能利用率下，以最短的時間生產出高良率且滿足顧客訂單需求的產品[3, 4, 5]。生產規劃又可分為遠程、中程與近程規劃，大至各廠產能的佈屬與配置，小至每一機台製程步驟的生產排程，皆須做詳盡的考量以規劃出一面面俱到的生產計畫。替像半導體代工製造如此複雜的生產系統作生產規劃，簡直是工業工程師最可怕的夢魘。事實上，在生產管理學中，半導體代工製造系統類似於一 job shop 系統，job shop 系統的規劃與排程是一個非常難的數學問題。在許多的假設下，工業工程學家與數學家能夠較完整解決的，頂多是一擁有 2 至 3 種生產機台的 job shop 系統規劃問題。因此為了幫助工廠更精確地掌握其生產系統的動態特性，科學家多半利用系統模擬（Monte Carlo simulation）的方式來瞭解問題。對於像半導體製造網路如此複雜且多變的製造系統而言，利用模擬來尋求規劃問題的解決通常是一個非常無效率的嘗試錯誤（trial and error）過程，而所建構的模擬系統是否



圖一：半導體代工製造網路。

能真正反應出真實系統的問題，亦多受到質疑。由此可見，稱半導體代工製造網路的規劃為工業工程的極致挑戰絕不為過。

台灣大學半導體代工製造生產的研究團隊（包括工業工程研究、電機系、機械系和工商管理系的師生），於晶圓代工剛興起之初，便前瞻性地投入研究人力與資源，張時中教授（電機系與工業工程所合聘）首先率領一個研究團隊與台灣積體電路公司合作，顯著改善了該公司的生產績效，張教授並因此獲頒教育部與業界合作研發績效卓著獎勵。隨後，張教授與呂秀雄教授（機械系與工業工程所合聘）共同領導一個大型的國科會產學合作計畫案，充分結合本校的研究人力與台灣積體電路公司及世界先進半導體公司合作開發出許多先進的半導體製造生產規劃與監控技術，研究成果持續發表於半導體製造領域中最重要的國際研討會 *International Symposium on Semiconductor Manufacturing* 及 *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing* 學術期刊上。2000 年底，工業工程研究所研究團隊提出的研究計畫「半導體製造網路中的需求資料礦掘與規劃」，更獲得美國 SRC (Semiconductor Research Corporation) 的全額研究經費補助。該研究計畫由我本人任計畫總主持人，研究團隊主要成員包括：周雍強教授、張時中教授、及郭瑞祥副教授（與工商管理系合聘）。SRC 是美國最重要的大學研究計畫經費來源之一，SRC 自 1982 年成立以來已投入約五億二千萬美元的研究經費，估計約有 10% 的美國電機資訊博士畢業生皆參與

過 SRC 補助的相關研究計畫。台灣大學此次贏得美國 SRC 研究經費補助，成為該組織補助的第一所外國大學，不但充分說明了我國的半導體產業技術與學術研究成果，在國際上已取得先進地位，亦使本校的半導體製造系統研究得以與其他國家有更多的互動與交流。Ω

參考文獻

- [1] 施振榮, 發展電子業資訊工業之我見, 1988.
- [2] C.Y. Chang and S.M. SZE, *ULSI Technology*, McGraw-Hill, 1996.
- [3] T. E. Vollmann, W. L. Berry, and D. Clay, *Manufacturing planning and control systems*, Irwin/McGraw-Hill, 1997.
- [4] J. A. Rehg, *Computer-Integrated Manufacturing*, Prentice Hall, 1994.
- [5] D. Simchi-Levi, P. Kaminsky and E. Simchi-Levi, *Designing and Managing the Supply Chain*, McGraw-Hill, 2000.

陳正剛副教授小檔案

學歷：美國羅格斯大學工業工程博士
專長：品質工程、製程控制、統計推論、電腦整合製造、資料庫系統管理。
主持「半導體製造網路中的需求資料礦掘與規劃」，甫獲美國 SRC 三年、合計約三十五萬美元的全額補助。