

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

晶圓廠組態設計與設備運用

Fab Configuration Design and Machine Assignment

計畫編號：NSC 88-2212-E-002-062

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：周雍強 ychou@ccms.ntu.edu.tw

國立台灣大學工業工程所

一、中英文摘要

晶圓廠的資本需求龐大，但是生產設備的有效使用率一般不到 50%。對整體工廠系統而言，各項設備在製程能力與產能上的匹配度不僅影響個別設備的效能水平，也奠定企業經營的績效水平。本計畫之研究重點為分析晶圓廠產能、發展機台組態之規劃程序與方法，並開發出一個強調生產敏捷性的決策系統。本計畫的工作項目有：(1) 發展精確的產能計算模式，(2) 發展機台組態的規劃方法，(3) 發展機台的運用方法，(4) 建構機台組態規劃的決策系統。本計畫的成果有：產能規劃的程序與方法、產能計算模式、機台組態規劃方法、以及一個決策系統。

關鍵詞：產能規劃、機台組態規劃、機台備援規劃

Abstract

The overall equipment effectiveness of wafer fabs has lingered at a level below 50%. The effectiveness of a wafer fab is affected directly by its configuration of primary processing tools. Capability or capacity imbalance among primary generally results in long-term losses of equipment effectiveness at

the factory level. This project proposes to develop fab configuration design and analysis methodology to prevent or lessen capability and capacity mismatch of manufacturing resources in the environment of production ramp-up and rapid product mix change. This project has three major tasks: capacity modeling, tool portfolio planning, and tool backup planning. This project has resulted in a collection of capacity planning procedure and methodology, tool portfolio planning methodology and a software decision system.

Keywords: Capacity planning, tool portfolio planning, tool backup planning

二、計畫緣由與目的

晶圓廠的資本需求龐大，但是生產設備的有效使用率一般不到 50%。整體半導體產業若要保持過去二十年生產力快速的成長速率，並順利進入 300 mm 晶圓工廠的世紀，資本效率必須提高，因此設備效能的提昇是當前極重要的研究課題。提昇個別設備的效能有三個主要方向：可用率、績效、品質率。對整體工廠系統而言，各項設備在製程能力與產能上的匹配度不僅影響個別設備的效能水平，也奠定企業經營的績效水平，而瓶頸設備的運用效率也對其他個別設備的效能有決定性的影響。

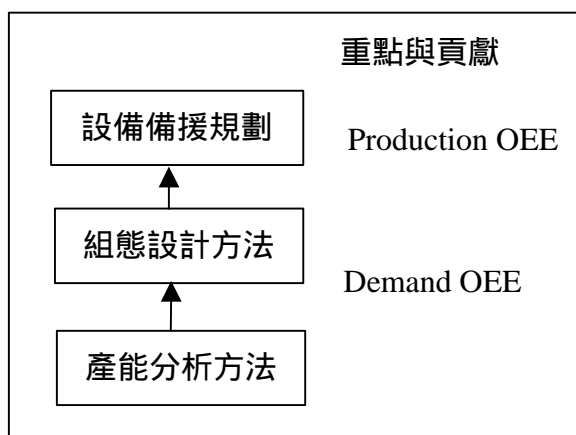
本計畫的目標是發展工廠組態設計與設備運用的方法及決策工具。研究之焦點是：在擴產及產品組合變動的環境中，藉由工廠資源組態設計與設備指派的優化，減少設定轉換、機台閒置、速率或負載損失、及瓶頸效果，並達成提昇可用率與績效的目標。

三、研究方法

圖(一)是研究工作的架構與重點。工作項目有：

- § 分析產能與機台組態之規劃程序與方法
- § 發展產能計算模式
- § 發展機台組態的規劃方法
- § 發展機台備援規劃(backup planning)的方法
- § 構建出決策資訊系統

研究的方法是(1)工廠訪談,分析問題,(2)發展數學運算模式,(3)開發軟體決策系統。本計畫獲得聯瑞積體電路公司的製程、機台設備資料,在計畫執行期間,進行十餘次的小組訪談與討論。



圖一：研究工作的架構與重點

本計畫首先提出了一個範圍完整的產能模式，與相關文獻上其他研究工作比較，該產能模式除了考慮機台可用度、機台效率、產品良

率及前置時間等基本產能因素外，更包含批量機台效率、機台限制以及機台備援等作業因素(表一)。

表一：靜態產能模式的範圍比較

Factors	[4]	[2]	[5]	[3]	周
Tool availability	√	?	?	?	√
Tool efficiency	√	?	?	?	√
Yield	√	?	?	?	√
Lead time offset	?	√	√	?	√
Batch efficiency				√	√
Tool dedication		√	√		√
Tool backup		r		r	√

Notation ? : uncertain but presumed
r: rudimental

晶圓廠有相當數量的批量機台(batch tools)。批量效率(batching efficiency)之其定義為平均載入批量除以機台最大載入容量，文獻上對批量效率的估計是採用歷史統計數(historical statistics)。經由實驗設計利用模擬程式分析平均批量和流量密度間的關係我們發現批量效率可由流量強度、平行機台數量以及最大容量決定。因此，本計畫歸納出一個通用公式作為估計產能之用。

備援機台與機台的使用限制則是以線性規劃模型來達成，考量的因素有機台之間的備援關係、機台的限制與產能需求：

Notation:

BG_k — Tool that can backup up tool type k

$BE_{m,k}$ — Backup efficiency of tool m w.r.t. tool k

$Y_{m,k,t}$ — Workload shifted to tool m from tool k at time t

$Q_{k,t}$ — Tool quantity required for type k at time t

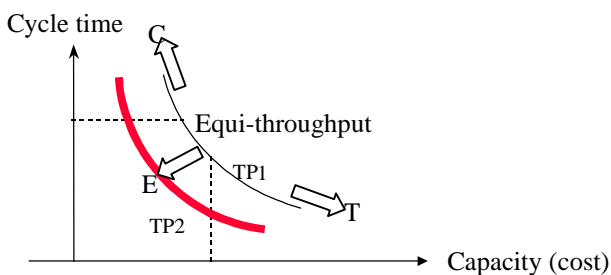
$a_{m,t}$ — Tool availability

$$\sum_k Y_{m,k,t} \leq Q_{m,t} \cdot a_{m,t} \quad \forall m,t$$

$$\sum_{m \in BG_k} Y_{m,k,t} \cdot BE_{m,k} = W_{k,t} \quad \forall k,t$$

機台組態係指晶圓廠機台種類和數量的組合。本計畫採用靜態產能模式與等候線產能模式，發展機台組態的設計方法與程序。首先，以靜態產能模組針對產品組合計算出初始的機台組態，然後利用等候線產能模組評估產品產出、機台使用率與流程時間週期等績效指標，作為進一步調整組態的依據。

圖(二)說明了機台組態調整的策略。每個機台組態方案可用流程時間與投資成本兩個屬性標明(產品產出、機台使用率為必要的前提條件，因此不必標明)，圖中每個方案為一個點(solution point)。針對一個組態方案而言，一個機群的機台數可以增加(或減少)以便減少(或增加)週期時間，同時投資成本也相對有所變動。圖中箭頭 T, C 和 E 分別代表縮減週期時間、機台成本和組態效能等三種調整策略。曲線 TP1 和 TP2 代表了不同機台組態方案相對的效能。針對相同的投資成本而言, TP2 有著較高的產出與較低的生產週期時間(圖中垂直虛線所示)。假如 TP1 要達到和 TP2 相同的生產週期時間, TP1 必須要增加機台數, 因此投資的成本也必須增加(圖中水平虛線所示)。



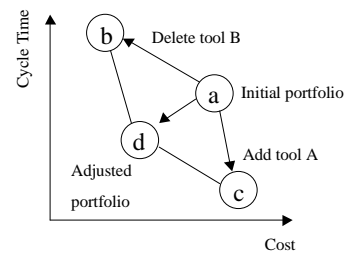
圖二：機台組態方案的調整策略

組態的調整程序是：

- (1) 針對每個組態方案，調整前先利用等候線產能軟體模組針對每個機群計算出週期時間的減少(或增加)除以機台成本的增加(或減少)的比值。得到的兩個比值分別對應到圖二類型 T 和類型 C 的機台

調整策略。類型 E 的機台調整策略則是類型 T 和類型 C 的混合(圖三)。若組態方案 a 為起始方案，組態方案 b 和 c 分別是由減少機台 B 和增加機台 C 而來。假如同時減少機台 B 但是增加機台 C 可以縮減週期時間又可減少成本支出，這樣的調整便稱為類型 E 的調整策略。

- (2) 以遞迴的方式以得到新的(neighboring)組態方案。



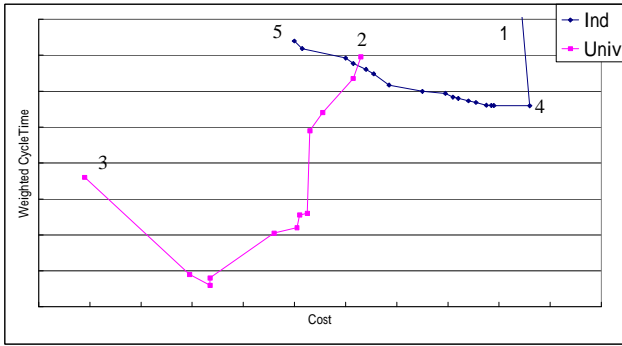
圖三：類型 E 的機台調整策略

四、結論與成果(計畫結果自評)

本計畫除了發展規劃設計方法之外，還利用 Microsoft Visual Basic 與言語 Access 資料庫系統實作軟體決策系統，主要成果有：

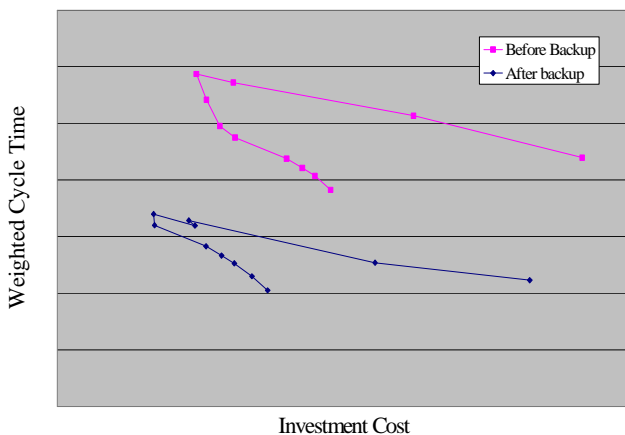
- Š 晶圓廠靜態產能模式
- Š 晶圓廠等候限產能模式
- Š 機台組態設計方法
- Š 機台組態設計的軟體決策系統

圖(四)是比較本計畫所得到的組態方案與聯瑞公司所提供的組態方案。方案 1 乃是由業界所提供，折線 1 - 4 - 5 則是利用上述程序調整所得的方案軌跡。方案 2 乃是由上述靜態產能模式所得的組態方案，折線 2 - 3 則是調整所得的方案軌跡。本計畫所提出的機台組態設計規劃方法可在極大的求解域中輕易地搜尋較佳的機台組態，經由產業的實際數據，證明該規劃程序所產生的機台組態有較佳的績效(較低的投資成本以及產品生產週期)。



圖四：機台組態調整的軌跡

圖(五)顯示兩個聚群的組態方案，在上方的是原始的方案軌跡，針對軌跡內的每個方案執行機台備援規劃得到在下方的方案軌跡。這兩個聚群的相對位置明顯表示效能的改進(及調整策略類型E)。



圖五：機台備援的效能

本計畫完成兩篇國際研討會論文[6,7]，並發表在 International Symposium on Semiconductor Manufacturing '99。該研討會為 IEEE、SEMI 等協會主辦是半導體製造領域最主要的國際研討會，每年十月輪流在美國與日本舉行。今(1999)年共有 223 篇論文投稿，每篇論文都經過四十餘位國際專家嚴謹審查，只有 30% 論文獲得口頭報告的殊榮，20% 論文為 poster presentation。本年入選的 113 篇論文中，有 11 篇出自台灣半導體產業與學界。台灣大學工業工程研究所教授總共獲選 7 篇，並

且在 69 篇口頭報告中獨佔 6 篇，主持人兩篇論文都入選為口頭報告，為我國在半導體製造的國際學術領域取得顯著地位。這兩篇論文預期都將發表在國際學術期刊。

本計畫在進行原創性學術研究、提供產業服務、提升我國國際學術地位各方面都由突出的成果。

五、參考文獻

- [1] C. R. Glassey, F. Markgraf and H. Fromm, "Real time scheduling of batch operations," Optimization in Industry, pp. 113-137, 1993.
- [2] H. W. Hsih, H. C. Wu, et al., "Equipment loading dynamic forecasting system," Proceeding of The Seventh International Symposium of Semiconductor Manufacturing, pp. 83-86, 1998.
- [3] J. Neudorff, "Static capacity analysis using Microsoft Visual Basic," Proc. Of International Conference on Semiconductor Manufacturing Operational Modeling and Simulation, pp. 207-212, 1999.
- [4] J. D. Witte, "Using static capacity modeling techniques in semiconductor manufacturing," IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop, pp. 31-35, 1996.
- [5] W. F. Wu, J. L. Yang and J. T. Liao, "Static capacity checking system with cycle time considered," The Seventh International Symposium of Semiconductor Manufacturing, pp. 307-310, 1998.
- [6] Yon-Chun Chou, I-Hsuan Hong, et al., "Product Mix Planning in Semiconductor Manufacturing," International Symposium on Semiconductor Manufacturing, Oct. 1999, Santa Clara, USA, pp. 19-22.
- [7] Yon-Chun Chou, R-C You, C-R Weng, et al., "A Tool Portfolio Planning Methodology for Semiconductor Wafer Fabs," International Symposium on Semiconductor Manufacturing, Oct. 1999, Santa Clara, USA, pp. 11-14.