

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

晶圓廠整體設備效能提昇與管理系統(2/2)

子計畫一：晶圓廠組態設計與設備運用

Fab Configuration Design and Machine Assignment

計畫編號：NSC 89-2212-E-002-043

執行期限：88 年 8 月 1 日至 89 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，是資本密集的製造系統，生產績效的表現直接影響到企業經營績效，但是生產設備的有效使用率一般不到 50%，因此提升設備有效使用率是一個重要研究領域。由於晶圓廠的生產過程相當的複雜，因此產能規劃通常需要相當複雜的技術。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規劃問題、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、決策理論

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 resources 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 rapid product mix change. This project has three major tasks: capacity modeling, resource portfolio planning, and decision modeling.

This project has resulted in a collection of capacity planning procedure and methodology, resource portfolio planning methodology and a software decision system.

Keywords: Capacity planning, resource portfolio planning, decision theory

二、計畫緣由與目的

晶圓廠的資本需求龐大，是資本密集的生產系統，生產績效的表現直接影響到企業經營績效，但是生產設備的有效使用率一般不到 50%。因此提升設備有效使用率是一個重要研究領域，同時，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。提昇設備效能有兩個層次：個別設備、整體工廠系統。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，由於半導體產業的相關產品需求波動劇烈，並且產品生命週期縮短，使得晶圓廠的生產方式變化相當地快速，並且由於新技術的不斷演進、廠房不斷地擴張，造成一個晶圓廠之中經常存在著不同世代技術的機台，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。

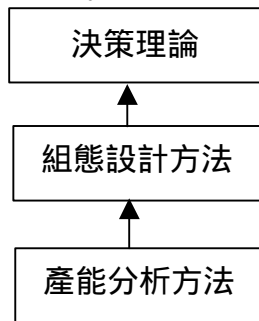
本計畫的目標是發展工廠組態設計與設備運用的方法及決策工具，用以提升整體工廠系統的有效使用率。研究之焦點是：在產品組合變動的環境中，藉由工廠資源組態設計與設備指派的優化，減少設定轉換、機台閒置、速率或負載損失、及瓶頸效果，並達成提昇可用率與績效的目標。

三、研究方法

圖(一)是研究工作的架構與重點。本計畫首先研究產能的分析方法與計算模式。其次，利用精準的產能模式，發展機台組態的規劃方法。由於能滿足多元績效要求的機台組態有很多個，因此，本計畫又以效用理論發展決策方法。除此之外，本計畫也將理論落實為軟體決策系統。本計畫工作項目有：

- § 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
- § 發展機台組態與運用的決策理論
- § 構建出決策軟體系統

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。本計畫在兩年執行期間獲得聯瑞積體電路公司支持，提供基本資料，並進行十餘次的小組訪談與討論，在此特申謝意。



圖一：研究工作的架構與重點

四、結論與成果 (計畫結果自評)

本計畫首先提出了一個範圍完整的靜態產能模式，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)。

晶圓廠有相當多的批量機台(batch tools)。在計算批量機台的需求數量時，批量效率(batching efficiency)是一個重要因素，對計算影響極大。所謂批量效率其定義為平均載入批量除以機台最大容量，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，並經由統計的驗證得知本公式

在精確度及穩健性上均較為優良[8]：

表一：靜態產能模式的範圍比較

Factors	[3]	[1]	[4]	[2]	周
Tool availability	√	?	?	?	√
Tool efficiency	√	?	?	?	√
Yield	√	?	?	?	√
Lead time offset	?	√	√	?	√
Batch efficiency				√	√
Tool dedication		√	√		√
Tool backup		r		r	√

Notation ? : uncertain but presumed
r : rudimental

Notation :

AR - Job arrival rate

Q - Machine quantity

B^{\max} - Maximum batch size

MTTR - Mean time to repair

MTBF - Mean time between failures

TI - Traffic intensity

mbs - Minimum batch size

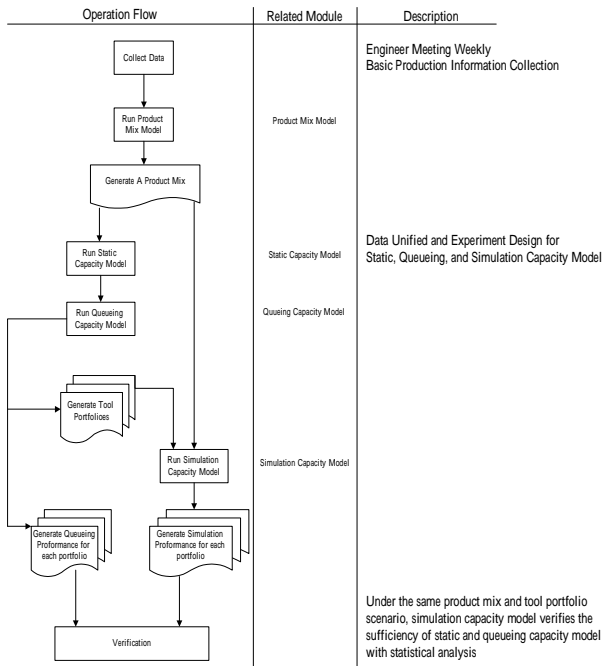
Equation :

$$TI = \frac{AR \times (\text{processing time})}{Q \times B} + \frac{MTTR}{MTBF + MTTR}$$

$$\bar{b} = \frac{(B^{\max} - mbs)}{(1 - \dots inc)^2} \times TI + 1$$

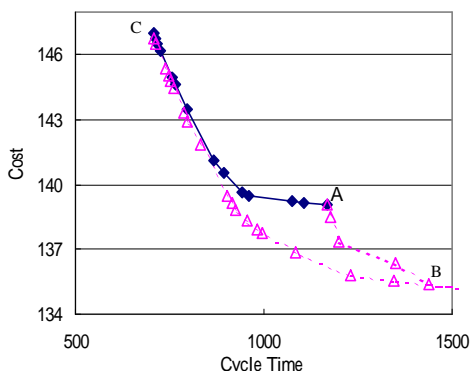
機台組態係指晶圓廠機台種類和數量的組合。本計畫採用靜態產能模式、等候線產能模式與系統模擬模式，發展機台組態的規劃與調整程序。圖(二)為整個機台組態規劃的程序與方法。首先利用靜態產能模型找出滿足產品需求數量之最小機台數量，作為組態的起始解，其次，利用排隊理論產能模型評估起始解的產品產出、機台使用率與流程時間週期等績效指標，再依特定生產績效指標，如生產週期，由起始解進行組態改善，並產生一系列的解(圖三)。這些解構成一個解答空間，最後利用決策理論配合投資成本來決定最佳解。最佳解決定之後便可由模擬模型進行該解的進一步詳細驗證評估，觀看是否達成原先設定之生產績效之要求。上述這個方法結合三

種產能模型的優點，以進行機台組態規劃的步驟，可使機台組態的改善朝最有效率之方向前進，達到最佳之機台組態配置[9]。



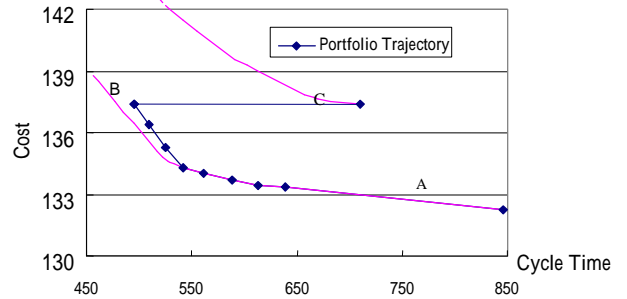
圖二：機台組態規劃的程序及方法

機台組態規劃亦可應用於多時期的規劃上。此處必須先區別名目產能(nominal capacity)與產出(throughput)，所謂名目產能就是設計的產能，而一個晶圓廠的產出可以高於或低於名目的產能，當產出比較低時，表示生產週期可以有改善的空間；換言之，在進行機台組態規劃時，必須對生產績效之間有所取捨。在圖(三)之中的各點均基於同樣的名目產能，而增加機台數量的結果除了可以表現於改善生產週期時間之外(如圖三)，亦可以表現於增加產出。



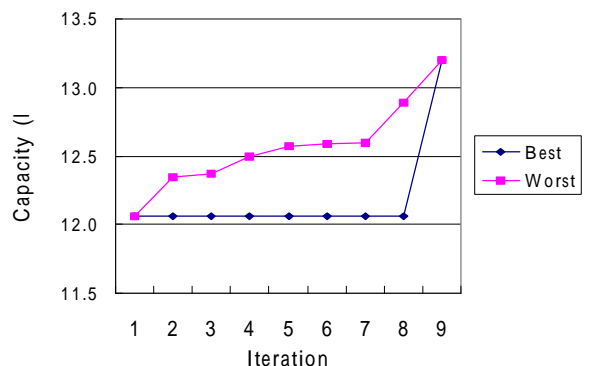
圖三：機台組態的改進與解空間

圖(四)有兩條機台組態規劃軌跡，分別代表不同時期的機台組態調整過程。每一曲線上的組態點均基於相同的名目產能，而上面的曲線其名目產能比較高；圖中機台組態 B 的產出水準與上面曲線的名目產出相等。因此就生產績效的表現而言，點 B 與點 C 應為相等。



圖四：多時期機台組態規劃的調整

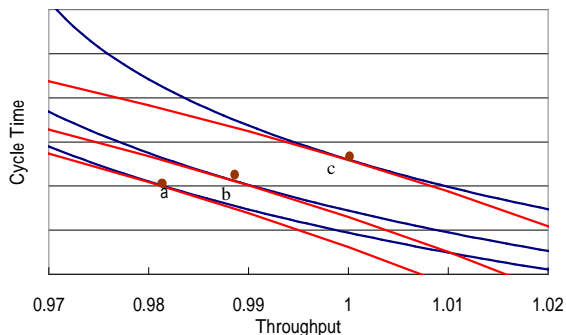
令 $P_1(t_1)$ 與 $P_2(t_2)$ 分別代表時間點 t_1 與 t_2 的機台組態，由組態 P_1 調整至組態 P_2 會有相當多的調整機台的步驟與順序，而晶圓廠中的機台又屬於高技術密集的機器，機台的調整必須經歷採購、安裝及測試等相當長時間的準備，才得以進入量產階段，因此在機台組態調整的期間必定會對產能造成一定程度的影響，換言之機台組態的調整順序亦是應該考慮的重點。圖(五)是一個計算的例子，總共有八部機台需要進行調整，如果假設在進行調整機台組態時，一次僅能增加一部機台。因此一共會有 $40320(8!)$ 不同的調整順序，在最好與最壞的調整順序之下，每一次調整會有 0.14% 的差異，換言之會有 0.14% 產出的差異。



圖五：機台組態調整順序的影響

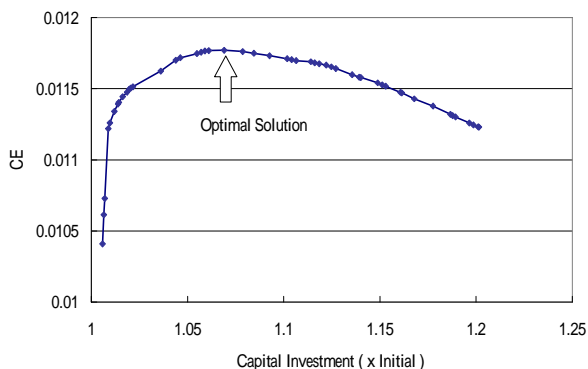
圖(三)中在曲線 BC 上的組態代表有效(effective)的組態。另外，每一個組態可以有許多不同的操作狀態(operating conditions)。圖(六)有一組 concave curves 與一組 convex curves。前者表示各組態的操作狀態，又稱為選擇曲線(option

curves), 後者則為依據生產週期時間與產出率的效用函數而定義的無異曲線(indifferent curve)。無異曲線與選擇曲線的交點就是組態的最佳操作狀態(如圖中的 a、b、c 點)。



圖六：不同機台組態下之最佳操作點

由於每一個機台組態均有相對應之資本投資，因此定義資本投資效率(eficiency of capital investment, CE)為總效用與投資成本之比例。圖(七)畫出三十個機台組態因此便可以決定最佳的機台組態的資本效益與投資額。



圖七：最佳機台組態與資本投資效率

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：

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

本計畫已經完成兩篇國際研討會論文[5,6]，以及兩篇期刊論文[7,8]，另外兩篇期刊論文已經完成初稿。本計畫在原創性學術研究、提供產業服務、提升我國國際學術地位各方面都有突出的成果。

五、參考文獻

1. H. W. Hsieh, H. C. Wu, et al., "Equipment loading dynamic forecasting system," Proceeding of The Seventh International Symposium of Semiconductor Manufacturing, pp. 83-86, 1998.
2. J. Neudorff, "Static capacity analysis using Microsoft Visual Basic," Proc. Of International Conference on Semiconductor Manufacturing Operational Modeling and Simulation, pp. 207-212, 1999.
3. J. D. Witte, "Using static capacity modeling techniques in semiconductor manufacturing," IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop, pp. 31-35, 1996.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Yon-Chun Chou, and I-hsuan Hong, 2000, "Product Mix Planning in Semiconductor Manufacturing," IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 13, No. 3, pp. 278-285.
8. Yon-Chun Chou, and Ren-Chi You, "A Resource Portfolio Planning Methodology for Semiconductor Wafer Manufacturing," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, forthcoming in 2000.
9. Y-C Chou, C-E Kao and Ian Wang, "Integration of Capacity Planning Techniques for Semiconductor Manufacturing," Proceedings of The 5th Annual International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice, Hsinchu, Taiwan, December 2000.