

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

針對不可預知之晶圓製造環境因素提出  
具前瞻策略之批量機器派工法則

計畫類別： 個別型計畫          整合型計畫

計畫編號：NSC89 - 2212 - E - 002 - 086 -

執行期間：89年08月01日至 90年07月31日

計畫主持人：謝淑華

共同主持人：

本成果報告包括以下應繳交之附件：  
赴國外出差或研習心得報告一份  
赴大陸地區出差或研習心得報告一份  
出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份  
國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：台灣大學機械系

中 華 民 國 90 年 9 月 3 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

針對不可預知之晶圓製造環境因素提出  
具前瞻策略之批量機器派工法則

A look-ahead job assignment control methodology for batch operations  
in a unpredictable wafer-fabrication environment

計畫編號：NSC89 - 2212 - E - 002 - 086

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人： 執行機構及單位名稱

共同主持人：謝淑華 執行機構及單位名稱：台灣大學機械系

## 一、中文摘要

關鍵詞：

Abstract

This article provides guidance for report writing under the Grant of National Science Council beginning from fiscal year 1998.

Keywords: Research Project, Report Style, National Science Council

## 二、緣由與目的

## 計畫中文摘要

晶圓製造中成批加工時間佔整個晶圓製造的 30% 以上, 主要原因為加工時間長, 且晶圓在成批時, 批量小時造成產能的浪費, 批量大時造成晶圓批等候時間過長, 使得成批加工往往成為生產系統中的瓶頸。因此在文獻中不乏對成批派工法則之探討。具前擔策略的成批派工法則如 DBH、NACH、MCR、DJAH 等的發展已相當成熟, 然而欠缺對實際生產環境因子, 例如晶圓再加工(rework)、機器當機、人員疏忽、晶圓遺失等的考量, 以致派工結果並不如預期。因此本研究將利用實驗設計方法學探討實際生產環境因子下最適宜之前瞻策略派工法則。

本研究首先修正只適用於單機加工的派工法則, 將之延伸為多機加工的派工法則。其次, 在單產品多機器與多產品多機器兩種生產系統中以實驗設計方法學進行探討, 利用生產績效之反應曲面模型進行評估比較, 經由分析得知在不同的生產環境下有不同的最佳派工法則。基於此結論, 進而提出一個尋求最適宜生產環境之派工法則的方法學, 期讓晶圓製造者在生產環境變動時, 能適時的採用最適宜之派工法則, 以使得派工法則的運用更具彈性。

關鍵詞: 成批、派工法則、前瞻策略、實驗設計、晶圓製造

## ABSTRACT

In wafer fabrication processes, furnace processes account for over 30% of a complete process cycle time. This is caused by long processing time and batch dispatching rules. If the batch size is increased, the throughput of a furnace for one time process is increased too. However, while waiting for collecting enough lots of wafers, the equipment may idle from time to time. Therefore, the overall performance of a furnace is poor. Therefore, furnace processes often become bottlenecks in a wafer fabrication process. Researches that focus on the dispatching rules of batch processes are many in the past several years. The look-ahead strategies of dispatching rules such like DBH, NACH, MCR, DJAH have been developed successfully. However, these developments have never considered the actual fabrication environmental factors such as rework, machine failures, human errors, wafer loss etc. The main purpose of this study is to search the optimal dispatching rules for furnace processes to accommodate a specified wafer fabrication environment by experiment design method.

To fit in the actual fabrication environment, this study, firstly, extends some dispatching rules for single machine to multiple machines. Secondly, by experiment design method, this study investigates the response surface of a wafer fabrication efficiency model under a specified dispatching rules and a designed fabrication

environment in both single-product multi-machine systems and multi-product multi-machine systems. The results indicate that a fabrication environment has a significant impact on the optimal of dispatching rules. Based on this conclusion, a method that searches the optimal dispatching rule to accommodate a specified production environment is thus developed in this thesis. The proposed method promotes the flexibility of dispatching rule of furnace processes in a wafer fabrication process.

Keyword: batch process, dispatching rule, look-ahead strategy, experiment design, semiconductor manufacturing.





## 研究計畫之背景及目的

半導體的製造為一零工型 (job shop) 的生產方式。關於零工型生產的排程問題在近三十年內已有廣泛的討論與研究,但是半導體製程與傳統上所討論的零工型生產製程極為不同。半導體製程較一般至程複雜,具有重複多次的迴圈。由於這項特性,造成製程圈內的加工機器不但需要處理不同種類的產品,還要對同一產品處理不同迴圈的加工,這種情況造成半導體工廠在生產管理上最忌諱的逆流的問題,也使得過去一般文獻所探討的派工法則不適用於半導體廠。因此;如何針對半導體的製程特性,提出有效的派工法則,成為目前學者研究之主要課題。

一般而言,積體電路的佈局 (layouts) 為各種不同層次邏輯組合開累積而成,因此若一積體電路被設計為 14 個不同的層次,則需要重複上述過程 14 次。而此種重複製作的現象,使得每一晶圓要經過一百個或二百個以上的製造步驟,每一層的製程可能會重複在相同的機器上加工,形成重進入 (reentry) 或稱迴路 (close-loop),此時雖然經過相同機器,但機器加工的配方 (recipe) 卻可能不同,亦即屬於相同產品之晶圓批,會因所在層數不同而互相影響。在半導體晶圓製造工廠中,一般機器之晶圓處理批量(lot)是 25 片,然而有數種特殊作業型態的機器,如爐管擴散處理是整批 (batch) 作業,最多可裝載六個批量,即 150 片;但某種型態的機器如 Dry-Met 卻無法一次處理完整的一個批量。另外離子植入機具有群組性質的設置時間變化關係,它的設置時間受前一批晶圓加工原料的不同以及每種原料計量的不同影響而有很大的不同。當前一晶圓屬於同一原料與計量時,設置時間約需 5 分鐘。但不相同時,則設置時間可高達 30 至 40 分鐘。因此一個有效的派工法則,勢必應該將不同晶圓的加工特性納入考量。

文獻上對於派工法則的研究多集中在研究不同生產環境下最適之派工法則。傳統派工法則多針對單批加工之機台進行探討,然而隨著科技發展與產業需求趨變,批量(batch)加工機台因應而生,針對批量加工之機台進行探討,亦有其需要性。因此在半導體廠中依照機台

的加工特性，可將派工法則大略的區分為一般派工法則與批量機台派工法則。麥氏[1996]曾將一般派工法則依照工件加工順序是否為時間函數將派工法則區分為(1)靜態式(Static)：工件加工順序不隨時間改變，與(2)動態式(Dynamic)：工件加工順序會隨時間改變而變動。根據挑選待加工工件所需資訊的多少將派工則區分為(1)區域性(Local)：工件選取只以該機台前之等候線長度為依據，與(2)整體性(Global)：工件選取時參考其他機台等候線狀況而決定。周氏[1999]將一般派工法則之訂定依據企業之管理目的而得，將其分為四種構面：(1)交期，目的在於降低延遲時間與消化工單數，(2)生產週期時間(cycle time)目的在於降低平均週期時間與標準差，(3)系統(機台)工作負荷，目的在於提高產出率避免塞機現象的發生，與(4)其他如先進先出，隨機選取等。

在半導體工廠中，批量加工機台在加工晶圓時不論是加工一批或二批甚至滿載，其加工時間都是一樣的。因此在派工上衍生出一個決策問題來，即一旦機器閒置，是否就現有的批量加工，抑或等待滿載後再加工？其權衡之處在於，如果就現有的晶圓批加工，會降低批量加工機台那個時段的產能，但若等待新的晶圓批，則會增加批量加工機台之等候時間。Van Der Zee et al.(1997)根據未來資訊的取得程度，將批量派工控制策略分成三大類：(1)未來將到達的工件資訊未知，(2)未來即將到達的工件資訊完全獲知，與(3)未來即將到達的工件資訊部份已知或可預測。

針對第一種派工控制策略，僅以目前情況的資訊為控制基礎，最常見的是 Neuts(1967)所提出之單產品單機器的最小批量法則 (Minimum Batch Size;MBS)。MBS 法則只要等候列上的批量數目達到所設定的最小數量，即可進行加工，否則繼續等待。Weng et al. (1993)根據 MBS 的法則而發展出多產品多機器的 MBSX 法則。其原則為當等候列上同時有多種產品在做等待時，其選取加工產品的型式，是以在等候列上有最久等候時間的產品為最先考量，若產品的等候時間相同時，以最短的加工時間為最優先考量，又如果加工時間相同時，則隨機選取。

針對第二種派工控制策略是指在完全決定的生產環境，但目前鮮

有此種製造環境，因此本類別的派工控制策略在此不做討論。針對第三種派工控制策略，這種類型的控制策略也稱為前瞻策略(look-ahead strategies) 此種控制策略較符合現今的製造環境。Glassey 和 Weng(1991)利用動態規劃方式(dynamic programming)去尋找最佳將抵達成批加工機器的時間的順序，用以決定成批工作站應於何時做成批加工，以彌補 MBS 無法預測工件到達資訊所發展的單一產品單一機器的法則，其結果可獲得最小化平均等候時間。此法則稱之為 dynamic batching heuristic 簡稱 DBH。Fowler et al. (1992)將動態成批法則加以修正以適合多產品的情況，並引進滾動幅度(rolling horizon)的觀念，在每一晶圓批到來時，即做一次預測，以修正原預測資料，期能有效避免預測誤差，此法稱之為 next arrival control heuristic，簡稱 NACH。Weng and Leachman (1993)在針對前述所探討的成批加工問題，另提出一最小成本比 minimum cost rate 法則，簡稱 MCR。此法試圖使單位時間的持貨成本最小化，亦即降低等候線內等候加工晶圓批的數目。Robinson et al. (1995)將滾動區間觀念納入成本率函數中，提出 rolling horizon cost rate heuristic 法則，簡稱 RHCR。Van Der Zee et al. (1997)結合 NACH 與 MCR 的優點，提出 dynamic job assignment heuristic (DJAH)，此法與 MCR 的差別在於加入其它成本例如設定成本(setup cost)。

經由上述可知學者們積極從事派工法則的研究的最大目的在於尋求最短的加工時間和最低的成本。然而在他們研究中卻忽略掉實際生產環境中所需要考慮的不可預知的因素包括包括有機器當機、再加工(rework)、人員的疏忽、晶圓遺失(wafer loss)、緊急訂單處理等因素，以致於他們的研究結果與實際生產應用結果可能不盡相同。本研究主要目的在於針對實際之生產環境，提出一成批加工最適宜之派工法則。本研究本著過去學者的研究結果，首先擬將 DBH (Glassey et al., 1991)、NACH (Flower et al., 1992)、MCR (Weng et al., 1993)、RHCR (Robinson et al., 1995)及 DJAH (Van Der Zee et al., 1997)派工法則加以修改使其應用範圍延伸，使原來僅考慮單機作業或單項產品的延伸為多機作業與多項產品的應用，更切合實際生產狀況。其次建構一虛擬晶圓生產模型，加入製造環境中不可預知的因素，分別採用這些派工法則，一一執行模擬，比較其中之優劣，並探討其原因。最後綜合研究結果，討論如何避免不可預知的因素所造成的影響，提出

最適宜之成批加工派工法則。再次利用所建構之模式作敏感度分析，藉此提供具體數據來驗證所提出的派工法則確實能提供業界一個更符合實際生產環境的法則。由於根據晶圓廠的過去經驗，所有可能發生之不可預知因素中機器當機與再加工(rework)佔 95%以上，因此本研究目前僅考慮此二項不可預知因素。

## 參考文獻

1. 徐光宏, "晶圓製造廠黃光區派工法則之探討", 國立交通大學工業工程研究所碩士論文, 民國八十五年。
2. 麥昭仁, "晶圓製造廠主要機種派工法則之設計", 國立交通大學工業工程研究所碩士論文, 民國八十五年。
3. 陳裕豐, "AGV-SimNet:以裴氏圖為基礎的無人搬運車系統模擬器", 國立台灣大學機械工程研究所碩士論文, 民國八十六年。
4. 陳陸國, "晶圓製造廠各機種派工法則之系統化設定", 國立交通大學工業工程研究所碩士論文, 民國八十三年。
5. 李鴻安, "半導體工廠派工問題之探討", 國立交通大學工業工程研究所碩士論文, 民國八十三年。
6. 周煜智, "晶圓製造廠目標導向型生產活動控制系統之設計", 國立交通大學工業工程研究所碩士論文, 民國八十八年。
7. 林世星, "晶圓製造廠為影黃光區再加工策略與派工法則之研究", 國立交通大學工業工程研究所碩士論文, 民國八十八年。
8. 陳冠任, "晶圓製造廠微影黃光區再加工策略之探討", 國立交通大學工業工程研究所碩士論文, 民國八十五年。
9. Blackston, J.H., Phillips, D.T., and Hogg, G.L. A State-of-the-Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operation. *International Journal of Production Research*, Vol.20, No.1, p27-45, 1982.
10. Philipoom, P.R. and Fry, T.D. The Robustness of Selected Job-shop Dispatching Rules with Respect to Load Balance and Work-Flow structure. *Journal of. Opplly. Res. Soc.*, Vol.41, No.10, p897-906, 1990
11. DEB, R.K., and Serfozo, R.F. Optimal control of batch service queues. *Advances in Applied Probability*, Vol.5, p340-361, 1973
12. Fowler, J.W., Hogg, G.L., and Phillips, D.T., Control of multi-product bulk service diffusion /oxidation process. *IIE Transaction*, Vol.24, No.4, p84-96, 1992.
13. Glassey, C.R., and Weng, w.w. Dynamic batching heuristic for simultaneous processing. *IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing*, Vol.4, No.2, p77-82, 1991.
14. Neuts, M.E., A general class of bulk queues with Poisson input. *Annals*

- of Mathematical Statistic*, **Vol.38**, p759-770,1967
15. Robinson, J.K., Fowler, J.W. and Bard, J.F. The use of upstream and downstream information in scheduling semiconductor batch operation. *International Journal of Production Research*, **Vol.33, No.8**, p1849-1869,1995
  16. Weng, W.W. and Leachman, R.C. An improved methodology for real-time production decisions at batch-process workstation. *IEEE Transaction on Semiconductor Manufacture*, **Vol.6, No.3**, p219-225,1993
  17. Van Der Zee, D.J., Van Harten, A. and Schuur, P.C. Dynamic job assignment heuristic for multi-server batch operations-A cost based approach. *International Journal of Production Research*, **Vol.35, No.11**, p3063-3093,1997.
  18. Zargar A. Effect of Rework Strategies On Cycle Time. *17<sup>th</sup> International Conference on Computer and Industrial Engineering*, **Vol.29**, pp.239-243,1995.
  19. Egbelu, P.J. and Tanchoco, J.M.A. Characterization of automated guided vehicle dispatching rule. *International Journal of production research*, **Vol.24, No5**, pp.1075-1099, 1986.

## 研究方法及進行步驟

本研究主要尋求實際之生產環境下最適宜之成批機器派工法則。本研首先將 Glassey et al. (1991)、Flower et al. (1992)、Weng et al. (1993)、Robinson et al. (1995)等學者所提的派工法則(DBH、NACH、MCR 和 RHCR)加以延伸，使原來僅考慮單機作業（在每一步驟中如果有成批機器加工時，僅以一部成批機器加工），延伸為多機的情況的派工法則中。

其次，將此四個派工法則及 Van Der Zee et al. (1997)的 DJAH 派工法則加入製造環境中不可預知因素的考量，如機器當機、再加工、人員疏忽、晶圓遺失等情況，並且在(1)單一產品多機器(2)多產品多機器，等兩種情況之下以產品的產出時間（cycle time）當成評估的指標來討論何者有最佳的績效指標。

在本研究中；一個虛擬工廠模式將被建立。本研究擬以美國 Autosimulations 公司所發展的 autosched 配合 autostat 模擬軟體來建構模擬模式。利用此模式作敏感度分析，藉此來驗證何者為最佳的派工法則，以及提出數據具體說明各個派工法則的優缺點。

最後綜合研究結果，討論如何避免不可預知的因素所造成的影響，提出最適宜之成批加工派工法則。再次利用所建構之模式作敏感度分析，藉此提供具體數據來驗證本研究所提出的派工法則確實能提供業界一個更符合實際生產環境的法則。

本研究進行步驟如下：

1. 收集整理國內外半導體晶圓製造的相關資料及文獻，以瞭解晶圓製造的製程特性及生產管理的困難點，並整理不同派工法則之考慮因子，以作為發展細部派工法則之參考。
2. 依據相關文獻之分析，定位生產架構中各階段所應考量的事項，以及各階段之間所需配合的情況，進而決定出本研究所需的條件、限制與研究目標。
3. 根據步驟二的結果，將以實際在半導體廠中生產的產品，來建構模擬模型。
4. 將不可預知的因素設定在所建構的模擬工廠中使這些因素成為模

擬過程中所考量的因子之一。

5.根據上述各學者所提的派工法則，一一進行模擬。

6.變動不可預知因素的機率，利用統計方法來分析所獲得的數據。

7.綜合結論與檢討得失，提出如何避免不可預知的因素所造成的影響。

8.提出最適宜之成批加工派工法則。再次利用所建構之模式作敏建議。

9.再次利用所建構之模式作敏感度分析，藉此提供具體數據來驗證本研究所提出的派工法則確實能提供業界一個更符合實際生產環境的法則。

## 預期完成之工作項目及具體成果

### 預期完成之工作項目

- 一、 建立一晶圓生產模擬模型工廠。
- 二、 將過去學者所規畫的法則加以延伸，使原來只考量單機作業，延伸成多機的狀況，以使他們所提的派工法則更符合實際的生產環境。
- 三、 在單一產品多機器與多產品多機器等情況下，變動不確定因素的機率，分析在各種不同情況之下，各派工法則的效能比較。
- 四、 提出一個符合實際生產環境的成批加工派工法則。

### 預期具體成果：

- 一、 獲得一較為符合製造環境的派工法則。
- 二、 將各學者的派工理念作一據體整合。
- 三、 提出有效數據供業界選擇最為有效的派工法則。
- 四、 讓參與人員瞭解積體電路的製造，學習如何歸劃積體電路廠。