

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

晶圓製造廠投料 派工法規與再加工策略之整合研究

計畫類別：● 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC89 - 2213 - E - 009 - 038

執行期間：88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

計畫主持人：沙永傑

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：國立交通大學工業工程與管理研究所

中 華 民 國 89 年 10 月 25 日

晶圓製造廠投料、派工法則與再加工策略之整合研究

An Integrated Study of Order Release, Dispatching and Rework Strategy for a Wafer Fabrication Factory

計畫編號：NSC 89-2213-E-009-038

執行期限：88年8月1日至89年7月31日

主持人：沙永傑 國立交通大學工業工程與管理研究所

計畫參與人員：許勝源 國立交通大學工業工程與管理研究所

劉朝陽 國立交通大學工業工程與管理研究所

劉正祥 國立交通大學工業工程與管理研究所

一、中文摘要

半導體業是未來具成長性的產業，晶圓製造更是其製程之關鍵所在，然而由於晶圓製造製程之繁複與重回溯性，使得其生產系統之控制十分複雜，包括投料、排程、派工等均是學者研究之重心所在。然而，相關研究多僅單獨探討上述主題，較缺乏整合之研究。使得研究成果僅能達到局部最適化；另外晶圓廠製程再加工（rework）情形也多予忽略，當生產系統發生不良需進行再加工時，相關研究所建構之生產控制策略可能喪失其適用性。因此本研究將考量再加工因素，發展可行之再加工策略，並結合投料、派工等進行整合性研究，在考量不同績效指標的前提下，利用模擬技巧尋找較佳之生產控制組合（投料策略、派工策略、再加工策略），使晶圓廠的生產控制能達到最適化的理想。

關鍵詞：晶圓製造；投料法則；派工法則；再加工策略；生產控制組合

Abstract

The semiconductor manufacturing industry is one of the most important industries in Taiwan. Wafer manufacturing is an essential process in the semiconductor manufacturing. However, the controlling of the production system in shop floor, including order review and release (ORR), scheduling and dispatching, is extremely difficult owing to the complicated manufacturing process and reentrant characteristics. The problems of lot release control, mask scheduling, and batch scheduling have been studied separately in recent researches. However, the rework condition in wafer fabrication is not considered in these studied. In this project, an integrated study including order release, dispatching, and rework strategy is suggested. By a simulation

procedure, the lot releasing control, scheduling, and rework, are simultaneously considered in a virtual wafer fabrication. The most pertinent solution will be screened out through statistical analysis.

Keywords: wafer fabrication, order release, dispatching rule, rework strategy, production control combination

二、緣由與目的

晶圓代工製造為我國一十分關鍵的產業。目前之製造能力更已達世界頂尖之水準。然而，由於晶圓廠的製造十分繁瑣複雜，更具再回流（reentrant）的特性。因此，在生產控制上十分困難，包括投料、派工與在加工的策略等。此類主題更是近年來學者十分熱中，更已提出許多寶貴的成果。然而，過去的研究多傾向個別生產控制主題的探討，缺乏整體的研究，且多忽略晶圓再加工的要求與現象，故致使許多研究結果多為局部性、暫時性的最佳化，一旦面臨系統狀態的變更或再加工的要求則生產控制策略之績效便無法維持。因此，本研究計畫同時考慮投料、派工及再加工等生產控制策略，並考量各類生產環境因素，整合探討生產系統管制的合適策略組合，期使晶圓廠生產系統控制之績效得以維持整體最佳化。

（一）生產控制策略

本研究首先利用文獻探討的方式，將近來常用於晶圓廠的生產控制策略進行整理分析，並依據相關學者的看法將各類投料與派工法則進行分類，並依據文獻探討結果，就各類法則選用較常用的法則，納入模擬系統，進行整合性模擬比較研究，分述如下：

1. 投料法則

本研究依據 Wisner(1995)的分類架構並加以修正後，首先將投料法分為負荷導向型（L）與時間導向型（T）兩類，針對系統負荷型之投料法則又依據負荷累積的方式分為整廠負荷導向型（S）、瓶頸負荷導向型（BN）及工作站負荷導向型（Wc），另並依據負荷計算時點的差異，分為連續型（C）及間斷型（D）兩類；時間導向型的

投料法則，則亦依據投料時點的狀況分為：連續式 (C) 與間斷式 (D) 兩類。合計本研究將投料法則共分為五種(如表 1)：

2. 派工法則

派工法則基本上依據 Blackstone et al.(1982) 的分類為依據，並參考近來針對晶圓廠進行派工法則研究的論文加以整理後，依據派工法則決策的依據將法則分成五類，依序為：考慮作業時間 (PT)、考慮交期 (DD)、單純法則 (Simple)、合併式法則 (Combined)、負荷導向式法則 (WLO)，詳如表 2。

3. 再加工法則

晶圓再加工主要發生在微影黃光區 (Stepper)，亦即在主要瓶頸機台上，故本研究認為探討晶圓廠之生產控制策略不應忽略再加工的事實。針對再加工的探討過去多侷限於數學模式的研究，較少實務性的探討，直到 Zarger(1995) 才實際利用模擬工具驗證再加工法則，並加以探討。Zarger 將再加工策略分為兩類，第一類係指原批 (母批) 停止移動，而讓因重工而分離出來的子批先接受再加工，完工後在於母批會合，進行下一製程。第二類則為母批不等待子批，母批直接進行下一製程，依子批合併或處理的方式再將此類方法分為三種，陳冠任(1998)接著提出更具效率的另外兩種。本研究考量各類再加工法對晶圓廠的適用性將各法則予以篩選，共納入三種法則進行分析，包括：(1)母批原地等子批，子批緊急批；(2)母批在下一製程等子批，子批緊急批；(3)母批不等子批，子批正常批，完工前再合併。

(二) 模擬模式

本研究利用模擬軟體 Simple++ 建構虛擬晶圓廠以進行上述各類生產控制法則的模擬驗證，進而進行生產控制策略績效評估。虛擬晶圓廠係依據國內著名半導體公司所提供的實際資料所建構，以期模擬驗證的結果具代表性。模擬環境簡單條列說明如下：

1. 三種產品 (SRAM、Flash、Logic)，產品組合 0.2,0.35,0.45，各產品固定途程。層數各為 16,18,17。加工時間為 $\pm 10\%$ 的 Uniform 分配。
2. 晶圓廠共分為 87 個工作站，合計共 488 台機台。各機台當機與維護時間均服從指數分配。依據實際統計數字推算。
3. 再加工比率以 10% 為原則，加工晶圓在微影黃光區僅發生一次不良 (即再加工後即不會再發生不良)。不良片數則由 0-23 隨機選定。
4. 暖機時間 100 天，產出 3000 批則停止模擬，各組合進行三次模擬 共需進行 $7 \times 8 \times 3 \times 3$ 共 504 次。
5. 績效指標包括：平均流程時間 (Avg. FT)、流程時間標準差 ($_{FT}$)、延遲比率 (%lateness)、平均延遲成本 (delaying Coat) 平均產出率 (Avg. Throughput)、模擬時間 (SimTime) 等。
6. 統計檢定：利用 ANOVA、 F 檢定、 t 檢定等。
7. 系統交期以到達時間加上 2.5 倍總加工時間來決定。

三、結果與討論

模擬結果與相關討論摘要如下：

1. 投料法則整體而言，負荷導向優於時間導向，負荷的計算方式則以連續式的衡量方式較佳。
2. 派工法則方面，主要以流程時間縮短，及延遲比率的降低為主要改善績效，一般而言，T-SPT 在延遲比率與 FT 的表現明顯優於其他法則。
3. 再加工策略方面，若整體利用率不低於 50%，則再加工策略以母批在後續製程等候，子批緊急批的法則較佳。但若系統整體利用率偏低，則第三種法則 (母批不等，子批普通批，完工前再合併) 將優於其他法則。其原因主要在於由於利用率偏低，子批可超越母批，母批的加工時間由於再加工分批的影響，明顯低於其他正常批，因此可間接縮短 FT，改善績效。
4. 策略組合方面，由於投料與派工的組合不同，將明顯影響再加工策略的表現，反之亦然，即在投料、派工、再加工等生產控制策略間之相互影響狀況明顯存在。故同時考量此三種法則及其組合實有其必要性。
5. 各類法則考量重心的一致性有助於整體績效的改善，如投料採負荷導向，派工亦採類似法則其績效明顯優於其他法則。

四、計畫成果自評

本計畫依據專案計畫的規劃進度進行，以完全達成當初預定的目標，更將延續本年度之計畫，在下一年度的計畫中，將利用其他方法與工具進行生產控制策略組合進一步的研究與探討。本年度計畫的成果預計將進行國外期刊的投稿。

五、參考文獻

- [1] Wein, L. M., "Scheduling Semiconductor Wafer Fabrication," IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol.1, No. 3, 1988, pp. 115-130.
- [2] Zargar, A., "Effect of Rework Strategies On Cycle Time," 17th International Conference on Computers and Industrial Engineering, Vol. 2, No.1-4, 1995, pp. 239-243.
- [3] Thomas, M., Lee, C. Y., "An Analysis of Dispatching Rules in a Semiconductor Wafer Fabrication Environment," *Journal of Electronics Manufacturing*, Vol. 5, No. 3, 1995, pp. 165-174.
- [4] Sabuncuoglu, I, Karapmar, H. Y., "Analysis of Order Review/Release Problems in Production System," *International Journal of Production Economic*, Vol. 62, 1999, pp. 259-279.
- [5] Blackstone, J.H., Phillips, D. T., and, Hogg, G. L., "A state-of-art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Jobs Shop Operations," *International Journal of Operation Research*, Vol. 20, No. 1, 1982, pp.2-45.
- [6] Wisner, J.D., "A Review of the Order Release Policy Research," *International Journal of Operation & Production Management*, Vol. 15, No. 6, 1995, pp. 25-40.

- [7] 林世星,「晶圓製造廠微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與管理學系未出版碩士論文,民國八十八年六月。
- [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與管理學系未出版碩士論文,民國八十七年六月。
- [9] 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與管理學系未出版碩士論文,民國八十五年六月。
- [10] 鍾淑馨,「半導體工廠生產計畫與排程系統構建之研究」,國科會專題研究計畫成果報告,民國八十二年。

表 1 投料法則分類與說明

投料法則類型	採用法則	法則說明		查核時點	參數設定
		何時投料	投何種料		
L-S-C	CONWIP	維持系統在製品量為一定數,當產出一批則投入一批	維持系統批量數為一定值,產出何種產品則投該產品。	Wafer out	470 lot (94,165,211)
L-S-D	TB	各產品從投料到第一次進入瓶頸加工區間之實際產出低於計畫產出,且該區間實際在製品低於目標值時投料	各產品實際產出與計畫產出之差額乘以產品權重,其值大者投料。補足該區間不足的在製品數	Per-day	
L-B-C	SA	當 L 時間內將到達瓶頸工作站之總工作負荷 (W) 小於 L 則投料(Glassey 建議 = 瓶頸機台數)	依據產品組合比率, WIP 量最低於標準者投一批	Wafer out	=2
	WR	系統內限制資源之總工作負荷 (或稱實質存貨,W) 小於設定之安全庫存值 S, 則進行投料。	限制資源之總工作負荷按產品比率分配, 離標準較低者投料。	Wafer out	12 倍瓶頸日產能, 依產品比例折算 (48.5, 68.5,95 lot)
L-Wc-D	WCEDD	各工作站的等候工件數小於標準值時即投料 (修正為僅針對利用率達 70% 以上之工作站進行等候工件數之監控)	依產品比率投料, 每次投料量為實際等候批量與標準值差異最大之數量。	Per day	納入瓶頸:12 站 (日產能/平均層數)*0.7
T-C	POISS	訂單到達即投料 (訂單來臨服從 POISS Dist.)	依據產品比率, 隨機分配出現機率	Random	=18
T-D	UNIF	固定時間內投入固定之數量	投入批量按產品比率分配	Per day	18 lot/day

表 2 派工法則分類與說明

派工法則類型	採用法則	法則說明 (原理論)	多產品下的法則修正
PT	SPT-T	等候線批量中等候時間超過 k 之批量採 LWT(longest waiting time)且優先加工, 等候時間未超過 k 之批量則採 SPT	免修正
	CR	CR=(交期-剩餘加工時間 - 現在時間)/ 剩餘加工時間 CR 小者優先	免修正
DD	EDD	交期越接近者優先	免修正
Simple	FIFO	先進先出	免修正
Combined	COVERT	延遲成本/剩餘加工時間 延遲天數 $x=(現在時間 + 2.5*剩餘加工時間) - 交期$ 延遲成本 (R_i) : $x \geq 0 R_i=e^x$ $x < 0 R_i=-1/x$, R_i 大者優先	延遲天數 x 不足一天 ($x < 1$ 且 $x > -1$) 則視為 $x=0$
WLO	SA	$R_i = r*(個別批剩餘加工時間/該產品總加工時間)+(1-r)*(1-下一層瓶頸機台作業時間/離開到下次進入瓶頸機台前之總作業時間)$, R_i 大者優先	
	TB	$R_i=產品權重*層級權重*(計畫產出-實際產出)$, R_i 大者優先	
	NextQT	離開瓶頸後, 下一工作站等候線的期望工作數量, 低於期望值者優先加工	修正為離開瓶頸站後到下次進入瓶頸站間之 WIP 最低的 lot 優先加工