

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 晶圓製造廠再加工策略之研究

### A Study on the Rework Strategies of Wafer Fabrication Factory

計畫編號：NSC 88-2213-E-009-029-

執行期限：87年08月01日至88年07月31日

主持人：沙永傑

國立交通大學工業工程與管理系

E-mail address: [yjsha@cc.nctu.edu.tw](mailto:yjsha@cc.nctu.edu.tw)

共同主持人：謝玲芬

中華大學工業工程與管理研究所

E-mail address: [lfhsieh@chu.edu.tw](mailto:lfhsieh@chu.edu.tw)

#### 一、中文摘要

在晶圓製造中，由於晶圓的原料及機台成本昂貴，為了能夠增加晶圓的良率(yield)，利用再加工(rework)的方式來補救不良的晶圓為可行的措施。同時為了顧及生產中在製品水準量、產品生產流程時間、產品交期等目標，必須要有良好的再加工策略處理晶圓的再加工。晶圓在微影黃光區產生不良時可利用再加工方式補救，所以本研究討論在微影黃光區中幾種再加工策略，並與常用的派工法則配合，期找出最適的生產控制組合。

本研究的五種再加工策略分別為：(1)母批等待與子批會合、(2)母批不等子批，子批自成一獨立批量、(3)母批不等子批，子批累積成一新批量、(4)母批不等子批，子批與下一母批合併、(5)母批不等子批，子批在後續製程與原母批合併，並與五種常用派工法則FIFO、SPT、EDD、SRPT、CR<sup>+</sup>組合，利用模擬方法，分析各組合模式的結果，依此針對不同的生產目標找出最適合的再加工模式。

關鍵詞：晶圓製造、黃光區、良率、再加工、在製品水準、生產流程時間、交期、再加工策略、派工法則、模擬。

#### Abstract

In wafer fabrication, the material of wafer and machine cost is expensive. To increase the wafer yield, defective wafers produced during the process need to be

repaired as possible. However, rework of wafer is only allowed in the photolithography area of a wafer fabrication factory. If any defective wafer produced during the process which is not in the photolithography area ought to be scrapped. In addition, it is necessary to consider some important performance measures in a wafer fabrication factory such as WIP level, production cycle time, product due date...etc. Therefore, this study studies several rework strategies and dispatching rules which are often used in fabs. The proper rework model is then suggested.

In this study, five rework strategies and five conventional dispatching rules are discussed. The five rework strategies are: 1.hold the mother lot while the child lot is reworked, and then complete the lot before moving it to the next location. 2.proceed the mother lot, and introduce a new child lot into the facility after finishing rework. 3.proceed the mother lot, and introduce a new lot composed of numerous child lots when a predefined number of wafers have accumulated. 4.proceed the mother lot, and add the reworked wafers to the next mother lot of the same product. 5.proceed the mother lot, while reworking the child lot immediately and completing the lot in some latter process. Five dispatching rules: FIFO, EDD, SPT, SRPT, and CR<sup>+</sup> are used. A simulation model is developed to determine the performance of the combinations of rework strategies and

dispatching rules.

**Keywords:** wafer fabrication, photolithography, yield, rework, WIP level, production cycle time, due date, rework strategy, dispatching rule, simulation.

## 二、計畫緣由與目的

半導體製造工廠是屬於一種零工形式的生產環境。一般來說，在晶圓的製造程序中通常都需要 200~300 道作業程序。並且在晶圓的製造過程中，對晶圓作加工的機台也有各種不同的形式。有些機台對於晶圓的加工是採單片處理( single piece )的型態，有些機台又可以一次處理許多晶圓，此種是屬於成批( batching )加工型態，其餘還有分離( splitting )以及混合( compounding )等等型態。此外，晶圓的加工又具有重回溯性( reentrant )，每次回流之後的加工步驟可能與上次的加工步驟非常相似，只有些微的不同。由於這些特性，所以使得晶圓製造的流程非常複雜，且不容易管理與控制。

在半導體的生產來說，晶圓的製造是屬於最複雜的一個階段，而在晶圓製造程序裡，黃光區的微影( photolithography )製程相較於其他的加工步驟來說又是屬於技術較高的步驟，Berman 等人[1]曾指出晶圓加工的微影黃光區是整個晶圓製造廠的瓶頸( bottleneck )，又依據 Goldratt[2,3]的限制理論( theory of constraint, 簡稱 T.O.C.)可以知道：一個系統中的限制資源( constraint resource )對於整個系統的生產績效有決定性的影響。因此要如何有效地完全利用限制資源以及管理好限制資源所在的環境就成了晶圓製造廠相當重要的問題。

此外滿足顧客對產品交期的目標也必須同時考量。晶圓的原料成本價格昂貴，如何在限制資源高度利用下，又要滿足顧客需求又要提高產品良率以及降低成本還有面臨因為加工不當而產生的不良品處理問題，是要廢棄，或是選擇重新加工？這

些都是在晶圓製造工廠常面臨到的一些生產管理問題。在晶圓的重加工( rework )部份，目前有些晶圓製造廠對於不合格的在製品是採取直接報廢的處理方式，為了避免物料的浪費及有效增加機台的使用，必須要有好的再加工策略來處理此類問題。基於陳氏[6]所探討的五種黃光區再加工策略中，更進一步探討其再加工策略配合不同的派工法則，會有何種不同的效果；並針對所訂目標，提供一較佳的組合方式。

本研究的目的是要探討在晶圓製造廠微影黃光區的再加工策略( rework strategy )與不同的派工法則( dispatching rules )配合下，找出較適當的組合，並期望能達到下述目的：

1. 利用模擬方法，嘗試並且比較這些再加工策略在配合不同的派工法則時所呈現的不同績效表現，並探討其優劣。
2. 根據比較的結果，提出較佳的再加工策略與派工法則的組合。

## 三、結果與討論

本研究分析了五種再加工策略搭配五種派工法則( FIFO, EDD, SPT, SRPT, CR<sup>+</sup> )的 25 種生產控制組合。並針對模擬蒐集到的各項資料整理後作變異數分析，並在交互作用有顯著差異的情況下以 Duncan 多重範圍檢定的方法作 Duncan 分群，以判別各生產控制組合間差異的情形。欲分析的系統績效指標有八：平均流程時間、流程時間的標準差、平均延遲時間( mean lateness )、產品達交率( on time delivery )、系統在製品量( WIP )、微影機台前之平均等候線長度、微影機台前之平均等候時間、微影機台利用率。

綜觀以上的各個系統績效指標，可以用下頁所列的整體績效比較表來展示研究的結果。由表中可看出第五種再加工策略搭配 SPT 派工法則，在八個系統績效指標下，除了微影機台的利用率外，在其他的指標下皆屬於表現最好的一群。此外，由符號分佈情況來看，第五種再加工策略包

含較多的「1」與「2」，所以在整體的績效方面，第五種再加工策略仍是較佳的選擇。

由模擬結果的分析，本研究得到結論如下：

在此必須先對符號作說明：1)生產控制組合符號 **kS-Rule**,  $k=1,2,\dots,5$ ; **Rule** 為 FIFO, EDD, SPT, SRPT, 或  $CR^+$ 。**kS** 代表第  $k$  種再加工策略 (strategy), **Rule** 代表派工法則。

說明：表中的符號「1」、「2」、「×」與「××」分別代表在某績效指標下，屬於 Duncan 分群中的「最佳」、「次佳」、「次劣」與「最劣」之群。

整體績效比較表

控制組合	指標	平均流程時間	流程時間標準差	平均延遲	產品達交率	等候線長度	平均等候時間	系統在製品量	微影機台使用率
<b>1S</b>	FIFO					<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	
	EDD		<b>1</b>		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	
	SPT					<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	
	SRPT		<b>1</b>			<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	
	$CR^+$								<b>1</b>
<b>2S</b>	FIFO	××	××	××	×	××	××	××	
	EDD						<b>1</b>		
	SPT		××			×	×	×	
	SRPT		×						
	$CR^+$	×		×	××				
<b>3S</b>	FIFO								
	EDD					<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	×
	SPT					<b>1</b>	<b>1</b>		×
	SRPT					<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	××
	$CR^+$		<b>1</b>						<b>1</b>
<b>4S</b>	FIFO					<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	
	EDD		<b>1</b>		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	×
	SPT	<b>2</b>			<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	
	SRPT	<b>2</b>				<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	×
	$CR^+$		<b>1</b>						
<b>5S</b>	FIFO					<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	
	EDD	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	
	SPT	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	
	SRPT	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	

結論：

1. 本計畫原擬求算再加工成本函數以達降低生產成本的目標，概因該函數難以求算，因此乃將再加工策略配合適當的派工法則以獲取較佳的系統績效，進而亦可同時達到降低成本的目標。
2. 由模擬所得的資料經過統計分析後的結果可發現：不同的再加工策略與派工法則配對後的生產控制組合會產生交互作用，原本績效表現較好的再加工策略，與派工法則配對後未必仍能保有最佳的績效。
3. 當晶圓批需要再加工時，並不適合選擇「讓子批成為新的獨立批量」的策略，因為如此易造成系統中在製品數量遽增，並且對於各種系統的績效將有負面的影響。雖然在第二種再加工策略中，子批不需要花費時間累積成較大的獨立批量，母批也不需等待子批，確實節省了一些等待的時間，但在製品量遽增，造成瓶頸區等候線上的嚴重堆積，帶來負面的影響超過了先前「節省」下來的時間。
4. 以整體的績效來看，第二種再加工策略與各派工法則組合的結果表現最差，尤其在 2S-FIFO 的生產控制組合下，在晶圓批平均流程時間、平均流程時間標準差、平均延遲、微影機台前的等候線長度以及等候時間還有系統總在製品量都是屬於表現最劣的。而在產品達交率的指標下，此控制組合也屬於次劣的一群。
5. 由平均流程時間來看，1S-FIFO 與 4S-FIFO 兩個控制組合比較的結果可發現，4S-FIFO 的平均流程時間顯著低於 1S-FIFO，此結果跟 Zargar[4]的研究相符。
6. 由模擬的結果發現，5S-SPT(第五種再加工策略搭配 SPT 派工法則)在七項績效指標下相較於其他控制組合皆能有較佳的表現。這些指標包括：平均總流程時間最短、流程時間標準差較小、平均延

最小、產品達交率高、微影機台前等候線長度與等候時間短、系統總在製品量低，且其微影機台利用率亦能達到 90% 以上。

#### 四、計畫成果自評

1. 本研究內容與計畫目標相符，利用適合的派工法則與再加工策略組合，可降低流程時間，減少在製品數量...，達到降低生產成本的目標。
2. 有關再加工策略的研究相關文獻與研究非常少，本研究方向具創新性。
3. 本研究結果可應用於晶圓製造廠，有實用價值。
4. 在未來研究方向上可探討多生產瓶頸之問題。
5. 本研究相關之畢業論文計一冊。[5]

#### 五、參考文獻

- [1] Berman D. Y., F. J. Gurrola-Gal, A. Nozari, S. Sathaye, and J.P. Sitarik, "Performance Analysis Techniques for IC Manufacturing Lines," AT&T Technical Journal, Vol. 65, No. 4, pp.46-57, 1986.
- [2] Goldratt E. M. and J. Cox, The Goal, North River Press, Inc., 1990.
- [3] Goldratt E. M., The Haystack Syndrome, North River Press, Inc., 1990.
- [4] Zargar A. "Effect Of Rework Strategies On Cycle Time," 17th International Conference on Computers and Industrial Engineering, Vol. 29, No.1-4, pp.239-243, 1995.
- [5] 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研究所，民國 88 年。
- [6] 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 87 年。