

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機與目的

半導體產業隨者技術的演進，元件的大小從微米漸漸走向奈米的尺度，在這個劃時代科技的演進中，從晶圓直徑的增加、更加精密的微影技術、奈米元件的研發、到元件間的接線以及晶圓廠投資成本的上揚等等，都是必須面對的挑戰。隨著晶圓尺寸的增加，單位面積所需的成本也跟著降低，因此基於成本的考量，晶圓的大小會漸漸朝向大直徑的方向發展；而為了要增加晶圓的利用率，元件的大小也已朝向微小化的方向發展，這時在半導體製程中最舉足輕重的微影製程就顯得相當重要。

光學微影是在光阻上經過曝光和顯影的程序，把光罩上的圖形轉換到光阻下面的薄膜層或矽晶上；光學顯影主要包含了光阻塗佈、烘烤、光罩對準、曝光和顯影等程序[1]。由於光學上的需要，此段製程之照明採用偏黃色的可見光，因此俗稱此區為黃光區。黃光區中步進式對準機具有特殊的生產特性，也就是加工元件具有回流、且必須爭奪同一資源（回到同一機台或是只有一台機台）的群組機台限制，微影機台群組限制，即為當產品生產至第一道關鍵的黃光層時，為使以後的其他關鍵層別也能互相對準，因此要求第一關鍵層若使用某一微影對準機台，則後續的各關鍵層別亦限定使用同一機台。微影機台群組限制雖可增加製程的穩定性，但同時也對佔生產線主要成本的瓶頸機台造成生產管理作業的困難。

過去有關於晶圓製造生產理論的文獻中，雖然對投料及派工的方法上有所探討，但是對於進入奈米時代製程微小化的趨勢後，微影機台群組限制的相關生產作業管制，卻少有相關的文獻研究[2][3]；此外，大多數晶圓廠所面對的共同生產問題便是，如何有效地管理瓶頸的資源，以達到生產系統的最大產出，降低生產週期時間，及提昇產品的達交率；而根據相關的文獻研究[4]，吾人得知使用限制理論的觀念及方法，的確能經由對瓶頸資源做重點管理，使瓶頸資源能充分利用，以達到生產系統產出最大的目標，因此本文將嘗試以限制理論的觀念，應用於實際晶圓廠的生產改善，及投料和派工系統的構建。

## 1.2 研究步驟

本文的研究步驟，主要分為五個階段，如下所述：

### 1. 問題定義與分析

依據實際晶圓廠所收集的相關資料，以了解晶圓廠目前所面臨的生產問題，並試圖以限制理論的觀念，改善晶圓製造廠生產作業控制系統中的關鍵因素—投料與派工。

### 2. 投料及緩衝管理模式建立

依據晶圓製造廠有群組機台限制的生產特性並以限制理論的方法，發展出適合的投料法則及緩衝管理。

### 3. 派工模式建立

依據所發展的投料法則，規劃出適當的派工法則，並加以整合為適合晶圓廠的生產作業控制系統，以達成所需的生產目標。

### 4. 實例驗證

將依據限制理論所發展出的投料及派工模式，實際應用於公司的生產作業系統，並比較實施前後的相關數據，驗證在瓶頸機台的績效上，包括瓶頸機台的產出，產品的生產週期時間皆有顯著的改善。

### 5. 結論

說明本研究之成果，及未來的研究方向。



## 第二章 問題定義與分析

W 公司目前擁有二座 8 吋晶圓廠,月產能合計約為四萬片,主要生產以標準型 DRAM 為主,目前因經營策略的考量正處於轉型階段,將由原本少樣大量的 Make-to-Stock 的生產模式,改為生產少量多樣 Make-to-Order 的代工訂單;公司的生產目標為提昇瓶頸機台的利用率使晶圓產出最大、降低生產成本使公司獲利,縮短生產週期時間使訂單能準時達交以滿足客戶的需求,而目前所面對的生產問題主要有:產品的生產週期時間過久、訂單的達交率偏低、瓶頸機台產能未充分利用,有機台閒置及負荷過度集中的現象,晶圓產出未最大化,且有 A 產品過多但 B 產品卻不足的問題,無法滿足客戶的需求;以下便針對其生產系統的現況及問題加以說明:

### 2.1 瓶頸資源未能充分利用

W 公司其瓶頸機台為傳統晶圓廠的瓶頸黃光區微影機台,目前其黃光機台有步進機共 15 台用於生產 9 道關鍵黃光層別,其中有第一、二、三道關鍵黃光層別 DT/AA/GC 約佔晶圓從投入到產出的標準生產週期時間 55 天的一半,且因製程微小化的規格限制須有微影機台群組的限制要求;目前 W 公司只有機台編號 52、53、58、59 共四台可用於生產第一、二、三道關鍵黃光層別,其餘 11 台則可生產剩下的六層關鍵黃光層別,如下表 1、2 所示:

表 1 W 公司產能狀況

機台編號	是否為群組 限制機台	可生產的 關鍵層別	資源型態
S201..01~11	N	CB/CS/M0/V1/M1/V2	CCR
S201..52	Y	DT/AA/GC	Bottleneck
S201..53	Y	DT/AA/GC	Bottleneck
S201..58	Y	DT/AA/GC	Bottleneck
S201..59	Y	DT/AA/GC	Bottleneck

然而目前 W 公司現有的投料法則採用 Constant WIP Level [5]的方式,也就是從投料到最後一道有機台群組限制的關鍵黃光層別,維持一固定的合理在製品水準 (Little's law 理論[6])如表 3 所示;當不足合理在製品水準時,便根據不足量進行投料,換言之,其現行的投料只有做總量的管制,並沒有針對各別瓶頸機台的實際的區間負荷及需要而進行投料的管理,因此容易造成瓶頸機台彼此的負荷不均,使產能無法充分利用;特別是從投料到第三道關鍵黃光層有長達約 27 天的時間,有極高的風險必須面對當生產線遭受重大的異常事件如停電、地震時,使在製品的分佈產生不平衡的扭曲現象,亦即各關鍵層別間的在製品分佈呈現頭重腳輕或頭輕腳重極端不平衡的現象;此一問題特別在 W 公司當精密的群組限制機台發生重大當機異常時,將造成某一機台的某幾道或全部的關鍵黃光層皆須停止加工生產,等製程上的

問題解決後才能恢復生產，其影響時間嚴重者將超過一星期；對實際在製品分佈扭曲的不平衡可能情形如下表 4、5、6 所示：

表 2 W 公司生產流程

站別編號	站別名稱	機台	投料至該站的標準生產週 期時間	是否為關鍵 層別	是否有群組機 台限制
5000	Wafer-start	L-mark	0		
5008	DT/Photo	DUVS..	1	Y	Y
5116	AA/Photo	DUVS..	14	Y	Y
5242	GC/Photo	DUVS..	27	Y	Y
5330	CB/Photo	DUVS..	35	Y	N
5357	CS/Photo	DUVS..	43	Y	N
5370	M0/Photo	DUVS..	46	Y	N
5428	V1/Photo	DUVS..	47	Y	N
5455	M1/Photo	DUVS..	51	Y	N
5480	V2/Photo	DUVS..	53	Y	N
9999	OQC	OPTI	55		

表 3 W 公司各黃光關鍵層別的標準在製品水準

黃光關鍵層別	WS-DT	DT-AA	AA-GC	WS-GC
從投料及第一二三關鍵層別間的標準生產週 期時間	1	13	13	27
S201..52 的標準在製品水準(片)	333	4329	4329	8991
S201..53 的標準在製品水準(片)	333	4329	4329	8991
S201..58 的標準在製品水準(片)	333	4329	4329	8991
S201..59 的標準在製品水準(片)	333	4329	4329	8991
四台的標準在製品總和(片)	1332	17316	17316	35964
S201..52 的標準在製品水準(批)	13	173	173	359
S201..53 的標準在製品水準(批)	13	173	173	359
S201..58 的標準在製品水準(批)	13	173	173	359
S201..59 的標準在製品水準(批)	13	173	173	359
四台的標準在製品總和(批)	52	692	692	1436

表 4 實際扭曲的在製品分佈一

黃光關鍵層別	WS-DT	DT-AA		AA-GC		WS-GC
從投料及第一二三關鍵層別間的 標準生產週期時間	1	7	14	20	27	1~27
關鍵層別間的標準生產週期時間	1	6	7	6	7	27
實際扭曲的在製品分佈 WIP(lot)	13	116	117	86	27	359
標準在製品水準分佈	13	80	93	80	93	359

表 5 實際扭曲的在製品分佈二

黃光關鍵層別	WS-DT	DT-AA		AA-GC		WS-GC
從投料及第一二三關鍵層別間的 標準生產週期時間	1	7	14	20	27	1~27
關鍵層別間的標準生產週期時間	1	6	7	6	7	27
實際扭曲的在製品分佈 WIP(lot)	13	86	27	116	117	359
標準在製品水準分佈	13	80	93	80	93	359

表 6 實際扭曲的在製品分佈三

黃光關鍵層別	WS-DT	DT-AA		AA-GC		WS-GC
從投料及第一二三關鍵層別間的 標準生產週期時間	1	7	14	20	27	1~27
關鍵層別間的標準生產週期時間	1	6	7	6	7	27
實際扭曲的在製品分佈 WIP(lot)	13	86	116	27	117	359
標準在製品水準分佈	13	80	93	80	93	359

在表 4 及表 5 中雖然某一瓶頸機台的實際總負荷等於標準總負荷的在製品水準，但於 W 公司而言，若發生如上述二表的在製品分佈呈現頭重腳輕或頭輕腳重極端不平衡的扭曲現象時，在未來的七天將因到達關鍵黃光層 AA 及 GC 層別的實際在製品只有 144 批小於標準在製品水準 186 批，因此將發生機台閒置的現象；但是對表 6 中的實際扭曲的在製品分佈而言，在未來的七天將因到達關鍵黃光層 AA 及 GC 層別的實際在製品高達 233 批遠高於標準在製品水準 186 批，因此將造成機台的負荷過重的現象。因此為解決此一問題，吾人實有必要用限制理論的觀念為工廠構建一新的投料及派工系統，也就是根據瓶頸的負荷投料、根據瓶頸建立合理在製品水準、使瓶頸的產出最大。



## 2.2 訂單達交率偏低

W 公司目前的派工系統主要的考量為整個生產系統的生產線平衡(Minimum Inventory Variability Schedule)[7]及當月產出目標的達成和少數急件批的安排，此乃因為其轉型前的模式為生產少樣多量的產品，因此特別考慮如何降低在製品水準及縮短生產週期時間，然而在產品的達交上卻無特別設計的派工法則，只一律使用特急件批的方式，因此當轉型生產代工訂單時，容易造成目前的急件批過多，且無法準時達交的窘態。派工系統如下表 7 所示：

表 7 W 公司生產派工系統

	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4
Rule	Lot Grade	Wafer-out	Line-Balancing	FIFO
Priority1	1-Super	1. This month	1. Matrix I	
Priority2	2-Hot	2. Next month	2. Matrix II	
Priority3	3.Normal	3. Others	3. Matrix III	
Priority4			4. Matrix IV	
Remarks	當有特殊需求時 便以急件批安排	當本月或下月產出目標落後時 便提高落後部份的派工等級	MIVS matrix	先進先出

除此以外，介於三道關鍵黃光層別間的非限制資源，於派工上並沒有考慮到瓶頸機台的需要，因此容易造成某一瓶頸機台有過多的晶圓批同時等待生產，但另一瓶頸機台卻發生閒置的現象，如此不但使得瓶頸機台的產能損失，亦會造成生產週期時間變長；因此有必要導入限制理論中非瓶頸資源全力支援瓶頸資源的做法，使瓶頸資源的利用率最大。

因此從上述的問題定義及分析中,吾人得知對改善 W 公司的生產系統而言，其關鍵便是如何透過限制理論解生產管理的思維，構建一投料及派工法則，使負責加工 DT/AA/GC 三道關鍵黃光層的瓶頸機台使用率及產出最大；此模式構建方向如下：

1. 晶圓的投料如何建立一合理的方法使下料的時機和數量考慮瓶頸和緩衝的需要。
2. 負責加工 DT/AA/GC 三道關鍵黃光層的機台群組及負責加工其他後六層沒有機台群組限制的關鍵層的機台，如何建立生產派工模式。
3. 介於 DT/AA/GC 三道關鍵黃光層的其他非瓶頸資源如何透過派工的方法全力支援瓶頸的群組機台。

### 第三章 投料及派工模式構建

從第二章的問題定義與分析中，吾人得知工廠的改善關鍵為：瓶頸機台的投料及排程管理；因此吾人可根據 TOC 的觀念，為工廠建立一新的投料及排程模式，也就是根據瓶頸的負荷投料、根據瓶頸建立合理在製品水準、非瓶頸資源的派工全力配合瓶頸的需要、且瓶頸的排程同時滿足達交及兼顧最大產出；以下將依序說明之：

#### 3.1 投料模式構建

當一晶圓批於投料下線時便須決定所指定的機台，因為如果晶圓 A 批於第一黃光層 DT 以群組限制機台 S201..52 加工生產，便也限制此 A 批在後續的 AA 及 GC 關鍵黃光層別也必須從 S201..52 加工生產，如此所代表的意義就是，晶圓 A 批將因為位於投料至 DT/AA/GC 的生產流程的站點的不同，對所限定的群組機台將產生不同的機台負荷，也就是投料時須考慮晶圓 A 批對機台的現在負荷及未來負荷，也就是所謂的區間負荷及總負荷的觀念[8]；因此有必要於第一關鍵層投料時，使各群組限制機台的未來負荷平均為原則，以減少因機台的負荷不平均，造成某關鍵層的等待在製品過度集中於某一機台，但其他機台可供生產的在製品卻不足，以致於造成機台閒置的現象；所以做法上就是希望藉由規劃未來 13 天的投料計劃，使各別群組限制機台每天的機台產能負荷趨近於 1，也就是每天生產週期時間內會到達的在製品數量等於機台當天所能提供的生產數量，以達到機台使用率及產出的最大化。如下圖 1 所示：

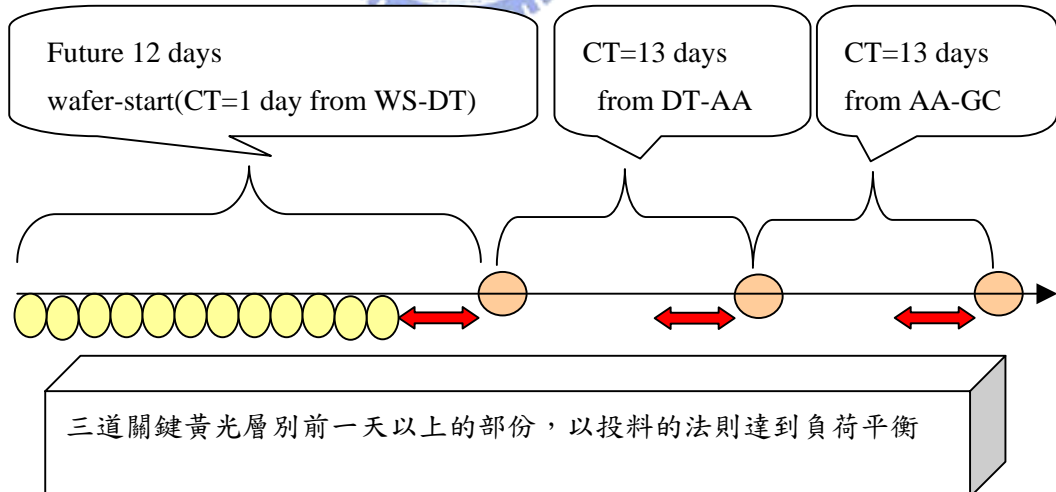


圖 1 未來 12 天投料負荷平衡

以下，就 W 公司所發展的動態未來負荷平衡法做一說明，其機台的產能負荷值公式如下所示：

$$L_{ij} = T_j W_i / T_j C_i \quad (1)$$

Where

$i$ ：表群組限制機台的機台 ID。

$j$ ：表關鍵黃光層前面的生產流程站別。

$L_{ij}$ ：表從生產站別 $j$ 到關鍵黃光層所須的生產週期時間內，群組限制機台 $i$ 的產能負荷值。

$T_j W_i$ ：表生產站別 $j$ 到關鍵黃光層的生產週期時間內，會到達DT/AA/GC黃光層的群組限制機台 $i$ 的WIP的總合。

$T_j C_i$ ：表從生產站別 $j$ 到關鍵黃光層所須的生產週期時間內，群組限制機台 $i$ 扣除PM及當機的時間所能提供的產能。

舉例說明：下表 8 的資料為，須生產週期時間 2 天至 DT/AA/GC 關鍵黃光層別，且限定於各群組機台加工生產的實際 WIP 分佈表，由表格內的實際 WIP 分佈，吾人可經由公式得知於關鍵層別前，一天生產週期時間內會到達的 WIP 所產生的各群組機台的負荷值如下表 9 所示，S201..52 於一天生產週期時間內會到達的 WIP 大於機台的產能，表示一天內的機台利用率將高達 100%，且於一天後仍有 Queue WIP 約 300 片，而 S201..59 則因一天生產週期時間內會到達的 WIP 小於機台的產能，故其機台利用率將只有 95%，其餘約有 5%的機台閒置時間。

如此透過計算機台產能負荷的方法，將可求得於未來的 13 天生產週期時間內會到達各機台的WIP總量，對未來 13 天各機台所能提供產能的負荷值，而此未來 13 天的負荷值將做為投料時機及數量的準則；由投料至第一關鍵層別DT所須的生產週期時間約為一天，因此當 $T_j$ 持續增加到大於 1 時，機台負荷值將會下降，此現象就是因為當 $T_j$ 大於 1 時，生產週期時間內會到達的WIP只有計算到第二道AA及第三道GC黃光層前會到達的WIP，因此當機台負荷值小於 1 時便相對的代表會到達的WIP是不足的，而短缺的數量也就是未來須由投料來彌補的數量，如下表 10，從表 10 得知，當機台負荷值小於 1 時便相對的代表會到達的WIP是不足的，而短缺的數量也就是未來須投料的數量，其公式如下：

$$S_{in} = (1 - L_{ij}) * T_j C_i \quad (2)$$

Where

$$n = T_j \cdot T_0$$

$n$ ：表未來規劃投料的工作天數。

$T_j$ ：表從生產站別 $j$ 到關鍵黃光層所須的生產週期時間。

$T_0$ ：表從投料到第一黃光層DT所須的生產週期時間。

$S_{in}$ ：表未來規劃投料的工作 $n$ 天內針對Scanner $i$ 機台所須的投料總數。

$T_j C_i$ ：表從生產站別 $j$ 到關鍵黃光層所須的生產週期時間內，群組限制機台 $i$ 扣除PM及當機的時間所能提供的產能。

$L_{ij}$ ：表從生產站別 $j$ 到關鍵黃光層所須的生產週期時間內，群組限制機台 $i$ 的產能負荷值。



表 8 限定於各群組限制機台加工生產的實際 WIP 分佈表

OPER	Tj	EqpType	WIP	\$201..52	\$201..53	\$201..58	\$201..59
1001	1	L.MARK	0				
5001	0.9	FT.NOD	100	25	50	25	
5003	0.8	SIN.GC	525	125	125	175	100
5005	0.5	F.BSG.	100	25			75
5007	0.1	RSTBSE	375	150	100	75	50
<b>5008</b>	<b>0</b>	<b>DT/DUVS..</b>	<b>325</b>	<b>150</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>25</b>
.....							
5092	2	CD80SS	50		25	25	
5094	1.8	SH.NOR	575	225	75	25	250
5097	1.7	SW.NFW	300	100	150	50	
5100	1.5	DRS.LP	0				
5101	1.3	BSPOLY	340	125	90	100	25
5103	1.1	CD80SS	375	50	75	25	225
5107	1	SH.NOR	100		25	75	
5110	0.8	IMP.HI	50			25	25
5111	0.7	SH.NOR	50	25	25		
5112	0.5	F.BSG.	500	50	75	200	175
5114	0.2	RSTBSE	275	50	75	100	50
<b>5116</b>	<b>0</b>	<b>AA/DUVS..</b>	<b>275</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>25</b>	<b>100</b>
.....							
5226	2	IMP.HI	375	50	75	25	225
5227	1.8	SH.WPR	100		25	75	
5229	1.7	DRSDIF	50			25	25
5230	1.3	RTPSAC	50	25	25		
5231	1.1	DRSDIF	500	50	75	200	175
5232	1	FT.NOD	50		25	25	
5234	0.8	P.POLY	575	225	75	25	250
5237	0.6	DRS.TE	300	100	150	50	
5239	0.4	SW.MHZ	0				
5240	0.3	SIN.GC	340	125	90	100	25
<b>5242</b>	<b>0</b>	<b>GC/DUVS.</b>	<b>495</b>	<b>150</b>	<b>145</b>	<b>125</b>	<b>75</b>

表 9 各群組限制機台的負荷值

Scanner $i$	S201..52	S201..53	S201..58	S201..59
$T_i$	1	1	1	1
$T_i C_i$	1000	1000	1000	1000
$T_i W_i$	1300	1060	1125	950
$L_{ij}$	1.3	1.06	1.13	0.95

表 10 群組限機台未來 13 天的負荷值

$T_i$	S201..52	S201..53	S201..58	S201..59
1	1.3	1.06	1.13	0.95
2	0.96	0.84	0.84	0.94
3	0.86	0.89	0.8	0.62
4	0.72	0.84	0.73	0.59
5	0.63	0.73	0.68	0.57
6	0.64	0.76	0.77	0.55
7	0.62	0.76	0.71	0.57
8	0.63	0.77	0.72	0.55
9	0.61	0.73	0.79	0.58
10	0.61	0.7	0.8	0.56
11	0.6	0.68	0.77	0.55
12	0.58	0.69	0.76	0.51
13	0.56	0.67	0.74	0.49

以下以表 11 的資料舉例加以說明，瓶頸機台 S201..52 於  $T_j$  等於 5 時，其相對應的機台負荷值為 0.63，負荷值小於 1，因此根據公式可得知於未來計劃 4 天 ( $n=T_j-T_0=5-1=4$ ) 的投料，其投料累積總量為  $(1-0.63)*(1000)*(5)=1850$  pcs。

將上述的公式套用於表 10 的資料，吾人可求得各瓶頸機台於未來 12 天所須的累積投料數量如表 11 所示，以做為未來每天投料數量的建議，依此投料法則將可動態的調整每日各機台的負荷值趨於平均，以達成瓶頸機台的利用率及產出的最大。

表 11 群組限制機台未來 12 天的累積投料數量

<i>days_n</i>	S201..52	S201..53	S201..58	S201..59
1	80	320	320	120
2	420	330	600	1140
3	1120	640	1080	1640
4	1850	1350	1600	2150
5	2160	1440	1380	2700
6	2660	1680	2030	3010
7	2960	1840	2240	3600
8	3510	2430	1890	3780
9	3900	3000	2000	4400
10	4400	3520	2530	4950
11	5040	3720	2880	5880
12	5720	4290	3380	6630

吾人依此投料法則將可動態的調整每日各機台的負荷值趨於平衡，但是對於瓶頸機台所追求的每日產出最大化：又該如何建立緩衝管理，以確保瓶頸資源不因生產線的重大異常，而導致瓶頸機台的閒置。

### 3.2 緩衝管理模式構建

限制理論由 Dr. Goldratt[9]提出，其所謂的時間緩衝與 Drum-Buffer-Rope 生產排程中的 Rope 長度有直接關係，通常由投料至瓶頸資源的距離（時間）越長（亦即 Rope 越長），時間緩衝便需越大。因此緩衝存貨數量的計算以其能夠維持瓶頸資源加工之時間為主要考慮因素，因此稱為時間緩衝；由於 W 公司其生產流程從投料至 DT 關鍵黃光層的生產週期時間僅須一天，因此能快速有效的建立克服統計波動所須的緩衝時間，因此希望能透過規劃每日的投料時機及數量，以達到每日各群組限制機台的負荷平均。故根據此原則，由於 W 公司從投料到第一關鍵黃光層別只須標準生產週期時間一天，因此建立單一瓶頸機台一天加工之時間的緩衝 WIP 為 333 pcs，亦即整個生產系統從投料到第一黃光關鍵層的緩衝 WIP= 333\*4=1332 片。（單一瓶頸機台的標準在製品水準）\*（群組限制機台共四台）。

因此考慮時間緩衝後，實際單一瓶頸機台的投料法則公式修正如下：

$$S_{in} = (1 - L_{ij}) * T_j C_i + B_{in} \quad (3)$$

Where

$B_{in}$ ：表未來規劃投料的工作n天內針對Scanner<sub>i</sub>機台所須建立的緩衝在製品數量。

### 3.3 派工模式構建

吾人依此投料法則可動態的調整每日各機台的負荷值趨於平衡，但是對於介於關鍵層別間的所有非瓶頸機台資源而言，又該如何同步的調整所指定的群組機台的派工優先順序，以下延續前述表 10 群組限制機台未來 13 天的機台負荷為例加以說明，並轉為下表 12 群組限制機台位於關鍵黃光層別前生產週期時間 $T_j$ 的負荷，可得知，所有位於關鍵層別前的所有晶圓批，皆有其根據生產週期時間 $T_j$ 所指定使用的機台類型(Entity Type)，及所指定的群組限制機台。

依據限制驅導排程法，如果瓶頸資源前工作站發生狀況，則時間緩衝中將因缺貨而產生“洞”(hole)，生產管理者需視洞的大小制訂不同加速及跟催(expediting and follow-up)的策略；因此以非瓶頸資源全力支援瓶頸資源而言，為了使未來 12 天中的每天群組機台的負荷都能平均的趨近於 1，因此所有介於關鍵層別間的所有晶圓批的派工優先順序，都將以其根據生產週期時間 $T_j$ 所指定的群組機台的負荷的大小為決策依據；例如位於關鍵層DT/AA/GC前其生產週期時間 $T_j$ 等於 1 天時，機台 52 的負荷為最大，而機台 59 的負荷為最小，因此位於關鍵層DT/AA/GC前其生產週期時間 $T_j$ 等於 1 天(或 1 天之內)的非瓶頸資源，SH. NOR、FT. NOD、L. MARK；其晶圓批的派工優先順序都將以所指定的機台 59 為第一優先，之後依序為 53、58；52 則為最後安排，如下表 13。

因此根據此方法，可將位於關鍵層DT/AA/GC前其生產週期時間 $T_j$ 從 0~13 天的WIP也就是所有介於關鍵層別間的所有晶圓批，其派工優先順序都以其根據生產週期時間 $T_j$ 所指定的群組機台的負荷的大小決定其派工的優先順序，如此的派工法則因其與投料法則所使用的基準為相同的未來機台的負荷值，所要達成的目標也一樣是動態的調整每日各機台的負荷值趨於平均，以達成瓶頸機台的利用率及產出的最大。但一如多數文獻所驗證的：投料對生產上的影響大於派工[10]；因此吾人於構建此派工系統時，僅控制管理位於關鍵層DT/AA/GC前其生產週期時間 $T_j$ 從 0~3 天的WIP，大於 3 天的部份因為面對的不確定因素過高，故由效果更顯著的投料來管理平衡其負荷，也就是希望能利用每日的投料規劃達到每日各群組限制機台的負荷平均。

故經修正後的派工系統架構將如下表 14 所示，新加入的考量因子為在原先的急件批和正常批之間加以 Special 的等級，目的就是代工產品的交期落後時便提昇其等級至 Special，使用的法則為文獻中對產品達交有顯著效果的CR(Critical Ratio)[11]；另一新加入的因子就是非瓶頸支援瓶頸的部份，也就是位於關鍵層黃光層DT/AA/GC前其生產週期時間 $T_j$ 從 0~3 天的所有晶圓批，其派工優先順序都以其根據生產週期時間 $T_j$ 所指定的群組機台的負荷的大小決定其派工的優先順序以達到使瓶頸利用率及產出最大的目的，而大於 3 天以上的部份，其派工便依據原先的生產線平衡(MIVS)的方式，以達到降低生產週期時間的目的。

表 12 群組限制機台位於關鍵黃光層別前生產週期時間 Tj 的負荷

Route			群組限制機台位於關鍵黃光層別前 生產週期時間 Tj 的負荷			
OPER	Tj	EqpType	S201..52	S201..53	S201..58	S201..59
1001	1	L.MARK	1.3	1.06	1.13	0.95
5008	0	DT/DUVS..	-	-	-	-
.....						
5009	12	KLA520	0.58	0.69	0.76	0.51
5015	11	85DDDM	0.6	0.68	0.77	0.55
5022	10	RSTBSE	0.61	0.7	0.8	0.56
5027	9	HF.BSG	0.61	0.73	0.79	0.58
5036	8	HF.GLY	0.63	0.77	0.72	0.55
5044	7	CD80RR	0.62	0.76	0.71	0.57
5051	6	HT.COL	0.64	0.76	0.77	0.55
5061	5	DTPOLY	0.63	0.73	0.68	0.57
5070	4	DPSPOL	0.72	0.84	0.73	0.59
5083	3	FT.COL	0.86	0.89	0.8	0.62
5092	2	CD80SS	0.96	0.84	0.84	0.94
5107	1	SH.NOR	1.3	1.06	1.13	0.95
5116	0	AA/DUVS..	-	-	-	-
.....						
5117	12	KLA520	0.58	0.69	0.76	0.51
5123	11	85DDAA	0.6	0.68	0.77	0.55
5130	10	RSTBSE	0.61	0.7	0.8	0.56
5146	9	DRSDIF	0.61	0.73	0.79	0.58
5159	8	H3PO4	0.63	0.77	0.72	0.55
5171	7	RTPSAC	0.62	0.76	0.71	0.57
5182	6	SH.IMP	0.64	0.76	0.77	0.55
5193	5	IMP.HI	0.63	0.73	0.68	0.57
5203	4	IMP.HI	0.72	0.84	0.73	0.59
5212	3	IMP.HI	0.86	0.89	0.8	0.62
5226	2	IMP.HI	0.96	0.84	0.84	0.94
5232	1	FT.NOD	1.3	1.06	1.13	0.95
5242	0	GC/DUVS..	-	-	-	-



表 13 群組限制機台位於關鍵黃光層別前 1 天生產週期時間的負荷

Route			Loading of Scanners			
OPER	Tj	EqpType	S201..52	S201..53	S201..58	S201..59
1001	1.0	L.MARK	1.30	1.06	1.13	0.95
5008	0.0	DT/DUVS..	-	-	-	-
.....						
5107	1.0	SH.NOR	1.30	1.06	1.13	0.95
5116	0.0	AA/DUVS..	-	-	-	-
.....						
5232	1.0	FT.NOD	1.30	1.06	1.13	0.95
5242	0.0	GC/DUVS..	-	-	-	-
				Priority		
				4	2	3
						1

表 14 修正後的派工系統架構

	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Grade 5	Grade 6
Rule	Lot Grade	Critical Ratio<1	$CT_j \leq 3$ before DT/AA/GC	群組限制機台 的 $L_{ij}$	生產線平衡	FIFO
Priority	1-Super	值愈小 愈先安排	1. $CT_j \leq 3$	值愈小 愈先安排	1. Matrix	
Priority	2-Hot		2. $CT_j > 3$		2. Matrix	
Priority	3-Special				3. Matrix	
Priority	4-Normal				4. Matrix	
派工目的	Special is for make-to-order	C/R is for "special " lot	非瓶頸支援 瓶頸的派工	非瓶頸支援 瓶頸的派工	如 MVIS matrix 降 低生產週期時間	先進先出

### 3.4 瓶頸機台的派工模式構建

一如 TOC 限制理論，於投料法則上，根據瓶頸機台的負荷投料且非瓶頸資源也全力根據瓶頸機台的負荷來安排其派工順序，但是對有群組機台限制的瓶頸資源而言，也就是負責各關鍵黃光層別的機台，吾人有必要發展一派工法則，使瓶頸機台的使用率及產出能最大。如前表 1,2 所述，W 公司其瓶頸黃光機台與生產週期時間及各黃光層別其關聯及分佈如下圖 2 所示：

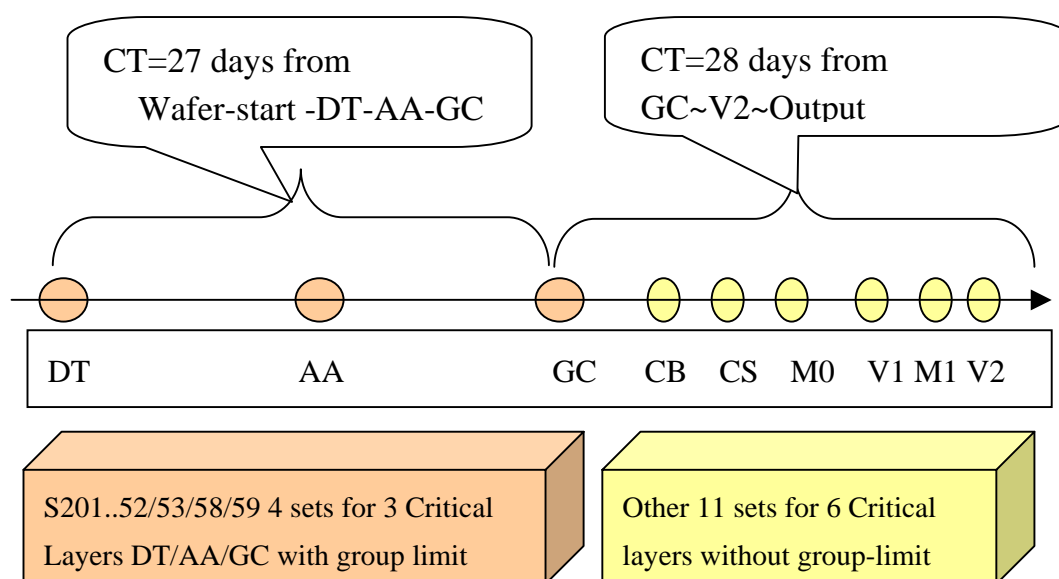


圖 2 W 公司其瓶頸黃光機台與生產週期時間及各黃光層別其關聯

因此根據以上的現況，W 公司發展一套派工系統，希望能使負責生產前 3 層關鍵黃光層的 4 台群組限制機台(Bottleneck 瓶頸資源)，及負責生產後 6 層關鍵黃光層的 11 台非群組限制機台(CCR)，其機台利用率最大以達到整個生產系統的產出最大化。

由於黃光區的生產特性，常受到群組機台限制以及機台對光罩、不同產品的黃光層別是否製程條件能否生產等條件的限制，造成機台的負荷不平均，進而造成機台產能的損失。為求解決此一現象，發展黃光區機台負荷預測系統以達機台產能最佳使用之目的；此系統的構建邏輯如下：以選擇性最少者優先安排 (*Least Option First Assign: LOFA*) 為指派原則，在機台產能的指派程序上共分成三個階段，來完成整個產能指派的過程。

步驟一：選擇機台，為求充份使用機台產能，首先選擇機台負荷值最小之機台，方法為計算各機台之 *AWC Ratio* (*Available WIP /Capacity Ratio*)，也就是在生產週期時間一天以內將至該機台的可供生產的 WIP 與該機台一天可提供的產能做計算，求得該機台的負荷值，負荷值小於 1 代表該機台當天會有閒置時間，因此選擇比值最小之機台，依序優先安排產品生產。

表 15 以機台 05、07、56、57 為例；所有產品的所有黃光層的組合中，一天生產週期時間內會到站且可於該機台生產的 WIP 總和分別為 618、574、1108、1088 片。因此根據 *AWC* 的計算可得知機台 07 的產能負荷比值最小，所以選擇比值最小之機台 07 優先安排產品生產。

表 15 機台之 *AWC Ratio*

	機台一天的產能	生產週期時間一天內 可生產的在製品片數	機台負荷值	安排順序
S201..05	580	618	1.07	2
S201..07	660	574	0.87	1
S201..56	600	1108	1.85	4
S201..57	660	1088	1.65	3

步驟二:選擇產品與黃光層別的組合，為求能達成各黃光層別所需之生產目標，接著針對在上述步驟一中所選出之機台，就其一天生產週期時間內會到站，可供生產的產品與黃光層別的組合中，優先選擇可用來生產的所有機台產能總合最小之產品與黃光層別的組合，優先安排生產，方法為計算各產品與黃光層別之 *ACW Ratio* (*Available Capacity /WIP Ratio*)，選擇比值最小之產品與黃光層別的組合，優先安排生產，也就是若不先安排則有較大的風險使它無機台來安排生產。

表 16 以機台 S201..07 為例，一天生產週期時間內會到站 WIP 分別為 A\_Product/CB photo: 315 片 及 B\_Product/CS photo: 259 片，但是於製程上可生產 A\_Product/CB photo 的機台除 07 外，還有機台 03、05、06，而可生產 B\_Product/CS photo 的機台除 07 外，還有機台 02、56；因此可彈性用於生產 A\_Product/CB photo 的可用產能為 07，03，05，06，4 台機台的產能總合，如下表所示的 *Available capacity*: 2420；因此可得知對機台 07 而言，B\_Product/CS photo 的 *ACW ratio* 值較 A\_Product/CB photo 的為低，所以優先安排 B\_Product/CS photo 的 WIP 於機台 07 生產。

表 16 各產品與黃光層別之 *ACW Ratio*

機台編號	產品/黃光層別	生產週期時間一天內 將至的在製品總數	可生產的 機台總產能	ACW Ratio	Priority	可生產的 機台及產能	
S201..07	A_Product CB photo	315	2,420	7.68	2	S201..07	660
						S201..03	600
						S201..05	580
						S201..06	580
	B_Product CS photo	259	1,660	6.41	1	S201..07	660
						S201..02	400
						S201..56	600

步驟三:生產數量指派，將步驟二所決定產品與黃光層別的組合指定至步驟一所選出之機台並決定要指派的生產數量，此步驟的考量便是安排 B\_Product/CS photo 於機台 07 生產多少的數量，其數量限制有以下因素：

1. 機台 07 一天所能提供的產能。
2. B\_Product/CS photo 一天生產週期時間內會到站可供生產的 WIP。
3. 當天 CS photo 所須安排的生產目標(MVMT)。
4. 生產 B\_Product/CS photo 光罩當天所能提供的可用產能。

這當中的最小值就是安排 B\_Product/CS photo 於機台 07 生產的生產數量，如下表 17 所示，機台 07 一天所能提供的產能為 660 片，B\_Product/CS photo 一天生產週期時間內會到站可供生產的 WIP 量為 259 片，當天 CS photo 所須安排的生產目標(MVMT)為 900 片，及生產 B\_Product/CS photo 光罩當天所能提供的可用產能為 1440 分鐘，光罩產能換算為機台 07 的產能也就是 660 片；因此安排 B\_Product/CS photo 於機台 07 生產的數量限制就是 259 片(限制條件:B\_Product/CS photo 一天生產週期時間內會到站可供生產的 WIP 量為 259 片)。

表 17 生產數量指派前

生產數量指派前							
機台編號	Capacity	Product	Available WIP	Movement Target-CS photo	Available Reticle(min)	Capacity Of Reticle(pcs)	指派數量
S201..07	660	B_Product: CS photo	259	900	1440	660	259

因此安排後的情形便為：機台 07 一天所能提供的剩餘產能為 401 片，B\_Product/CS photo 一天生產週期時間內會到站可供生產的剩餘 WIP 量為 0 片，當天 CS photo 所須安排的剩餘生產目標(MVMT)為 641 片，及生產 B\_Product/CS photo 光罩當天所能提供的剩餘可用產能為 875 分鐘，換算為機台 07 的產能也就是 401 片；如表 18 所示：

表 18 生產數量指派後

生產數量指派後						
機台編號	Capacity	Product	Available WIP	Movement target- CS photo	Available Reticle(min.)	Remaining cap. Of reticle(pcs)
S201..07	401	B_Product:CS photo	0	641	875	401

如此重覆步驟一、二至三，重新選擇機台及產品與黃光層別的組合進行指派，並扣除已安排之生產目標、產品與黃光層別的組合之 WIP 量及機台產能及光罩產能等；直到所有機台對產品與黃光層別的組合皆有被安排過，便完成整個產能指派的過程，以達機台產能最佳使用之目的，但是瓶頸機台除考慮產出最大化仍應兼顧產品達交的需求，所以在派工上仍將特急批及 CR 值小於 1(如表 14 的 Grade 1 &2)，也就是訂單已延誤的優先於 LOFA 法則前安排生產。





## 第四章 效果驗證

本章之內容為驗證吾人於第三章所構建的投料及派工系統應用於 W 公司的實例驗證。本系統的導入時間為 92 年 11 月，吾人將根據改善前後生產系統的實際數據證明，在瓶頸機台的使用率及產出量，產品的平均生產週期時間皆有顯著的改善。

### 4.1 投料至第三道關鍵黃光層的平均生產週期時間-改善前後

若以當月份的投料晶圓當分析的基礎，由表 19 及圖 3 中，吾人可得知在改善前從投料到第三道關鍵的黃光層別，其平均生產週期時間約為 30.4 天，大於標準生產週期時間 27 天；而從第三道關鍵黃光層別到出貨實際約為 28.4 天，則與標準生產週期時間 28 天相近。因此很明顯的，在導入改善後的生產系統後，從投料到第三道關鍵的黃光層別，其實際平均生產週期時間已降為約 27.1 天，而整體的實際生產週期時間也從改善前的 58.8 天縮短至 54.5 天。

表 19 投料至第三道關鍵黃光層的平均生產週期時間-改善前後

生產系統	改善前				改善後				
當月份投料晶圓的生產週期時間	Aug-03	Sep-03	Oct-03	Nov-03	Dec-03	Jan-04	Feb-04	Mar-04	標準生產週期時間
投料至第三關鍵層實際生產週期時間	29.4	30.5	31.1	30.6	27.4	27	27.2	26.9	27
第三關鍵層之後至產出的實際生產週期時間	28.3	28.1	28.7	28.6	27.5	27.5	27.1	27.2	28
標準生產週期時間	55	55	55	55	55	55	55	55	55
實際生產週期時間	57.7	58.6	59.8	59.2	54.9	54.5	54.3	54.1	

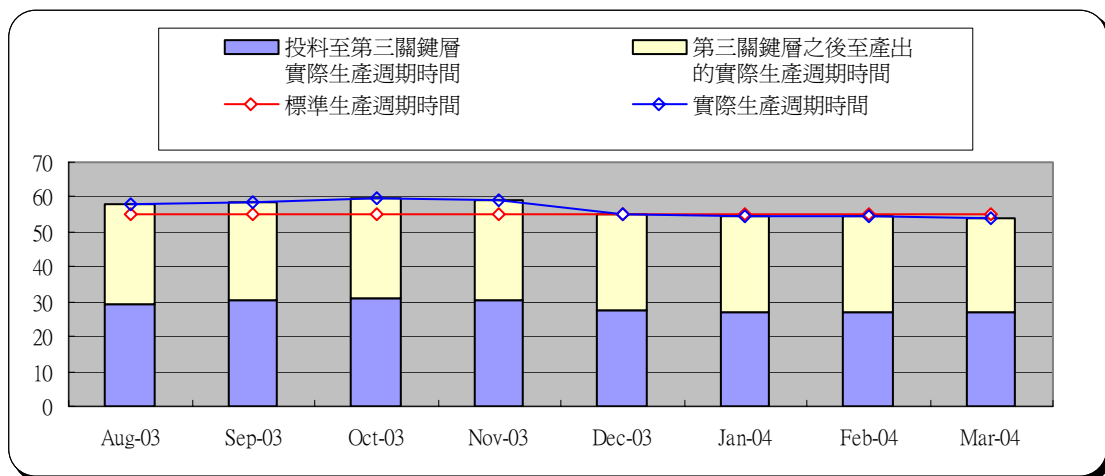


圖 3 投料至第三道關鍵黃光層的平均生產週期時間-改善前後

## 4.2 產品平均生產週期時間-改善前後

1. 若以當月份的投料晶圓當分析的基礎，由表 20 及圖 4 中，吾人可得知在改善前從投料到產出，其平均生產週期時間約為 58.8 天，大於標準生產週期時間 55 天；因此很明顯的，在導入改善後的生產系統後，從投料到產出，其實際平均生產週期時間已降為約 54.5 天小於標準生產週期時間 55 天，而整體的實際生產週期時間的標準差也從改善前的 5.65 天縮短至 4.45 天，顯示產出品圓生產週期時間的變異程度亦獲得改善。

表 20 比較當月投料晶圓的平均生產週期時間

生產系統	改善前				改善後			
當月份投料晶圓的生產週期時間	Aug-03	Sep-03	Oct-03	Nov-03	Dec-03	Jan-04	Feb-04	Mar-04
實際生產週期時間	57.7	58.6	59.8	59.2	54.9	54.5	54.3	54.1
實際標準差	5.6	5.6	6.3	5.1	4.4	4.5	4.6	4.3
標準生產週期時間	55	55	55	55	55	55	55	55

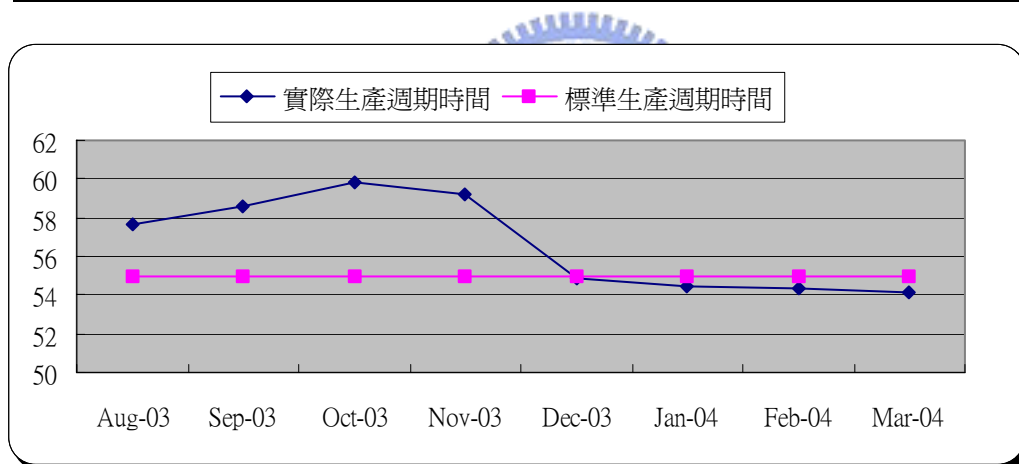


圖 4 比較當月投料晶圓的平均生產週期時間

2. 若以當月份的產出品圓當分析的基礎，雖然新系統的導入為 92 年 11 月，但因標準生產週期時間約為 55 天，所以約在 93 年 1 月產出的晶圓才會開始有改善的效益，所以由表 21 及圖 5 中，吾人可得知在改善前，其當月產出品圓的平均生產週期時間約為 59.4 天，大於標準生產週期時間 55 天；因此很明顯的，在導入改善後的生產系統後，其當月產出品圓實際平均生產週期時間已降為約 55.2 天接近標準生產週期時間 55 天，而整體當月產出品圓的實際生產週期時間的標準差也從改善前的 5.7 天縮短至 5.3 天，顯示產出品圓的變異程度亦獲得改善。

表 21 比較當月產出晶圓的平均生產週期時間

生產系統	改善前					改善後		
當月份產出晶圓的生產週期時間	Aug-03	Sep-03	Oct-03	Nov-03	Dec-03	Jan-04	Feb-04	Mar-04
實際生產週期時間	60.4	58.4	59.1	59.4	59.7	57.8	54.4	53.5
實際標準差	6.03	5.9	5.6	5.5	5.5	6.0	4.97	4.87
標準生產週期時間	55	55	55	55	55	55	55	55

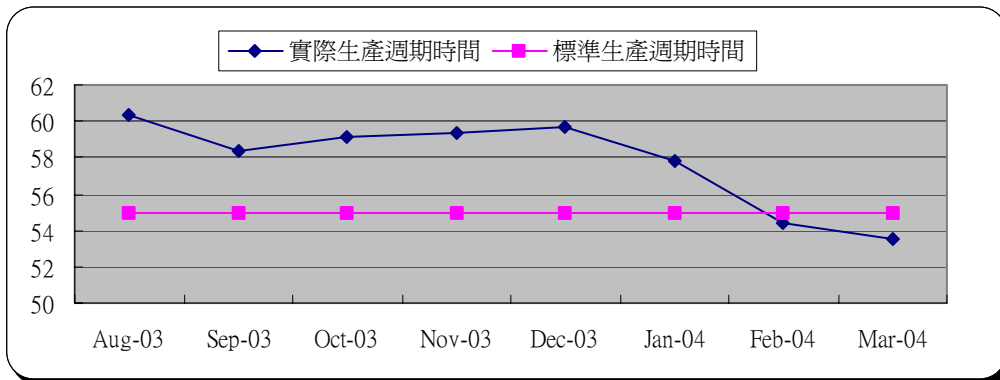


圖 5 比較當月產出晶圓的平均生產週期時間

### 4.3 瓶頸機台的生產量-改善前後

由下表 22 及圖 6 中，吾人可得知在改善前，4 台有群組機台限制的瓶頸機台，其平均的日生產量總和約為 3874 片，並未達到瓶頸機台的標準產出量也就是每台約 1000 片/天，4 台約 4000 片/天，換言之瓶頸機台的使用率並未最大，有發生機台閒置的現象，但很明顯的，在導入改善後的生產系統，其實際日生產量總和約為 4120 片已高於 4 台的標準日生產總量 4000 片，而整體的 4 台的實際日產出量的標準差也從改善前的 210 片縮短至 106 片，顯示 4 台有群組限制機台的產出晶圓的變異程度亦獲得改善，也就是此 4 台的每日負荷皆接近平衡的狀態。

綜合上述的實例驗證，吾人可得知在導入新的投料及派工系統後，在產品的平均生產週期時間有顯著的改善，使得產品的達交率跟隨著提昇，且在瓶頸機台的產出也有極大的改善，同時使得晶圓廠的產出增加，不僅能在達交上滿足客戶的需要，且能使瓶頸資源的利用率提高，增加產出，降低成本，因此吾人得知本研究以限制理論所構建的投料及派工系統，運用於晶圓廠黃光區有群組機台限制的生產系統，確實能降低產品的生產週期時間以滿足達交，並提昇瓶頸機台的利用率使晶圓廠的產出增加。

表 22 瓶頸機台的生產量-改善前後

	改善前				改善後			
瓶頸機台的產出量	Aug-03	Sep-03	Oct-03	Nov-03	Dec-03	Jan-04	Feb-04	Mar-04
S201..52(片/日)	965	901	990	961	1017	1030	1035	1051
S201..53(片/日)	1001	965	949	1009	1031	1032	1039	1039
S201..58(片/日)	979	1009	1002	959	1019	1020	1022	1033
S201..59(片/日)	910	965	919	1013	1022	1030	1030	1029
4 台的實際日平均總產出量	3855	3840	3860	3942	4089	4112	4126	4152
1 台有群組限制的標準日產出量	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
4 台有群組限制的標準日總產出量	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
4 台的實際日產出量的標準差	195	221	207	216	104	108	108	102

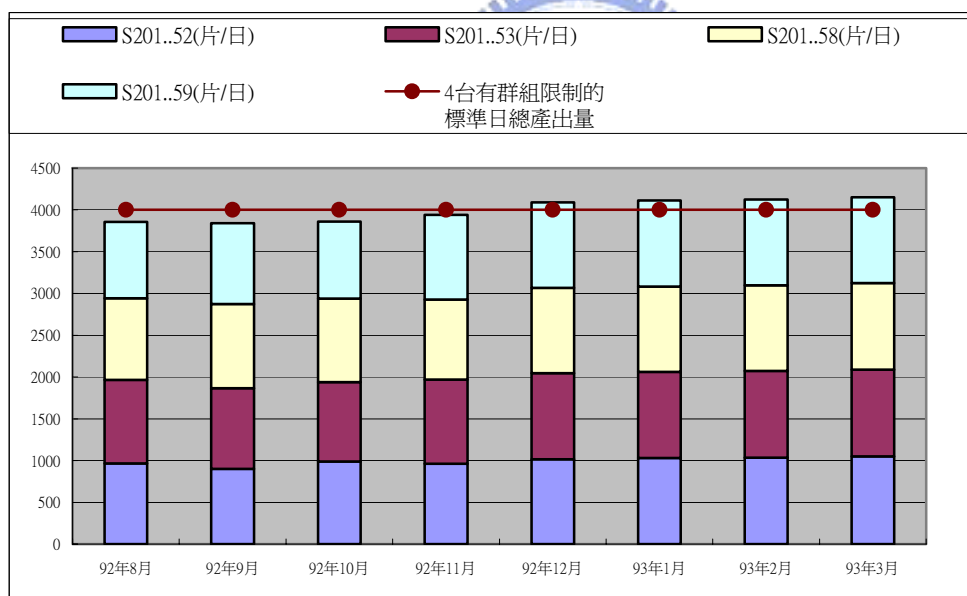


圖 6 瓶頸機台的生產量-改善前後

## 第 五 章 結 論 與 未 來 研 究 方 向

本論文根據限制理論的觀念，構建一投料及派工法則，也就是投料根據瓶頸的需要(瓶頸的負荷值)，派工亦全力配合瓶頸的需要(瓶頸的負荷值)，緩衝的在製品水準亦同步考慮瓶頸的需要(瓶頸的負荷值)；換言之，透過單一且共同的機台負荷值，吾人使整體生產系統的重心集中在瓶頸的負荷值，因此無論在系統面或管理層面，都能有共同的溝通橋樑，透過如此的模式，吾人實際運用於 W 公司的生產系統，確實能降低產品的生產週期時間以滿足達交，並提昇瓶頸機台的利用率使晶圓廠的產出增加；至於本論文在未來的研究方向如下：

1 本論文所發展的投料及派工法則並未特別考慮有限產能資源(capacity constraint resource:CCR)，也就是後六道沒有群組機台限制的黃光關鍵層別之間的非瓶頸資源如何支援非群組限制的黃光機台的問題，今後可以試圖將這些問題納入研究，以使本論文所發展的投料及派工法則更為完善。

2 本論文因特別針對瓶頸資源有群組機台限制作投料規劃，所以假設所有產品組合投料至生產線時，均能適時的要求製程人員，在製程上皆能按投料需求指定於所規劃的黃光群組限制的各別機台投料，亦即所有產品對應於群組機台有適時的彈性可立即投料，但實際的情形卻是當產品少量投料時，當投料的機台數愈多愈分散，將造成製程上對品質的變異更難控制，因此今後可將如何指派合理的投料數量及機台數此問題納入研究，以使本論文所發展的投料及派工法則更為完善。

3 本論文因瓶頸資源固定於黃光機台，但晶圓製造廠在晶圓的製造過程中，常會發生有瓶頸飄移的現象，所以如何考慮生產系統瓶頸飄移的問題，不失為今後努力的研究課題。



## 參考文獻

- [1] 莊達人，VLSI 製造技術，五版，高立圖書有限公司，台北市，民國 93 年。
- [2] 林玉貞，“限制驅導式排程方法在晶圓廠黃光區之應用”，國立交通大學工業工程與管理研究所，碩士論文，民國 89 年。
- [3] 黎翠綾，“機台群組限制下的黃光區投料派工模式”，國立交通大學工業工程與管理研究所，碩士論文，民國 89 年。
- [4] 吳鴻輝、李榮貴，限制驅導式現場排程與管理技術，全華科技圖書股份有限公司，民國 88 年。
- [5] Otenti, S., “A modified Kanban system in a semiconductor manufacturing environment,” IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop, pp. 43~45, 1991.
- [6] Spearman, M. L. , Woodruff, D. L. and Hopp, W. J. "CONWIP: a pull alternative to Kanban," International Journal of Production Research, Vol. 28, No. 5, 879-894, 1990.
- [7] Li, S., Tang, T. and Collins, D.W., “Minimum Inventory Variability Schedule with Applications in Semiconductor Fabrication,” IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing, Vol. 9, No. 1, pp. 146-149, Feb. 1996.
- [8] Chen-Chung, Pan, Hsi-Lo, Lo and Chuan-Chung, Chang, “Multicriteria dynamic dispatching schema for balancing the load on lithographic tools in wafer fabrication,” IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing Technology Workshop, pp. 183-186, Dec. 2002.
- [9] Dettmer, H. William , “ Goldratt's Theory of Constraints” , pp.14~15 , ASQC Quality Press , 1997.
- [10] Glassey, C. Roger and Mauricio g.c. Resende, “Closed-LOOP Job Release Control for VLSI Circuit Manufacturing”, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Feb.1998.
- [11] O’ Nel P., “Performance Evaluation of Lot Dispatching and Scheduling Algorithms Through Discrete Event Simulation”, IEEE/SEMI Int’l Semiconductor Manufacturing Science Symposium, pp 21-24 1991.