

94 年 7 月

積體電路晶圓製造逆向思維之規劃與控制技術

劉力*

摘 要

積體電路晶圓製造之整體規劃與控制的架構及其相關的技術是十分複雜的。傳統的作法為先有上層的資源規劃與需求管理，之後衍生中層的主生產排程和細部生產排程，再由下層的現場流控的設計嘗試完成中層之排程所交代下來的構想。這一方面的技術，在遇到機器不預期的當機或維修的狀況時，不容易交代得清楚。本文以反向思考的方式，首先設計一種傳統架構上屬於下層的，具有自主性，簡單而有效率，晶圓釋放基於在製品參數，晶圓派工基於製程時間區間內晶圓數的現場流控的技術。之後，撰寫此一技術下作業系統的模擬的程式；並用輸出的數據決定系統最適當表現的一些參數值。再以這些參數值的作業系統之產能為基礎，提出傳統架構之屬於上層的資源規劃與需求管理方面的一些問題的對策。我們的作法比傳統的階層式的技術簡單了許多；現場流控若遇當機狀況順其自然，無傳統技術為了執行上層構想所碰到的問題；而實驗性質系統表現方面的模擬的數據，亦顯示這樣的作法有好的潛力達成積體電路廠之降低生產成本和提高服務品質的營運的目標。樂見此類逆向思維整體技術的進一步地研究與發展。

關鍵詞：積體電路，晶圓製造，規劃，控制，架構，逆向思維，自主性流控技術，潛力。

一、引 言

積體電路晶圓製造是當代的一個重要的產業。晶圓之製程往往長達兩、三百個步驟，具有再回流性；機器作業分序列與成批加工，機種有時效性與不具時效性機種，亦需考量當機維修等突發的狀況。有關的製造系統為一複雜的等候型的網路系統。

筆者專業上之背景為純數的隨機過程。1993 年為了瞭解產業界可能存在著的困難的問題，而參加一個為期五天的半導體製造技術研討會 [10]；講演後某一座談中，一位現場流控技術的提出者，當當機因素也列入考量時，被聽者問得答不下去—這是個人作此方面研究的主要的動機。而藉著在系裡研究所開授等候理論與模擬理論等應用課程，及指導十二位研究生作相關問題的研究 [14] 之後，有些不錯的觀點，在此作一陳述。

傳統的晶圓代工其生產管理的架構及技術是十分複雜的：先有上層的資源規劃與需求管理

*東海大學數學系

[3], [10], [15]; 之後, 衍生中層的主生產排程和細部生產排程 [1], [5], [12]; 再由下層的現場流控的設計嘗試完成中層之排程所交代下來的一些構想 [2], [4], [11]。前述研討會某一現場流控技術之所以發生問題的原因, 應該出在當作業系統遇一些機器當機時, 位階在上的生產規劃或排程的構想, 並不能直接表現或因應此種突發狀況, 因而連帶地影響那些位階在下承接有關構想的現場的流控的技術。

如何解決上述的困境? 本文反向思考, 首先設計一種傳統架構上屬於下層的, 具有自主性, 簡單而有效率, 晶圓釋放基於在製品參數, 晶圓派工基於製程時間區間內晶圓數的現場流控的技術。之後, 撰寫此技術下作業系統的模擬程式; 並用輸出數據決定系統最適表現的一些參數值。再以這些參數值的作業系統的產能為基礎, 提出傳統架構之屬於上層的資源規劃與需求管理方面的一些問題的對策。

可以注意的幾點, 此種逆向思維的作法比傳統的階層式的技術簡單了許多; 現場流控若遇當機狀況順其自然, 無傳統技術為了執行上層構想所碰到的問題; 而實驗性質系統表現方面的模擬的數據, 亦顯示這樣的作法有好的潛力達成積體電路廠之降低生產成本和提高服務品質的營運的目標。

以下分製造系統模擬模型, 自主性的現場流控技術, 程式模擬與數據解析, 以及資源和訂單規劃等幾個部份, 解說其中之構思和有關的作法。

二、製造系統模擬模型

模擬相關假設, 機器運作數據, 和實驗性質製程構成作業系統之模擬的模型。

2.1 術語

1. 晶圓(wafer): 一種圓形矽片, 為製造積體電路之材料。
2. 製程(process): 訂單產品的加工, 每一步驟有其固定的內容, 此從頭到尾的程序謂之製程。
3. 機器(machine): 可獨立執行某一製程步驟加工的器具稱為機器。本文中作業系統所使用的機器分為上標籤機器、時效性機器及一般性機器三種。
4. 流程(flow): 晶圓按照製程步驟順序, 加工或等候, 其流動的過程。
5. 批量(lot): 晶圓加工係以盒為單位 (每盒晶圓數一定, 如 24 片)。一盒的晶圓稱為一批量晶圓。
6. 晶圓釋放(wafer release): 未加工的空白批量晶圓置入系統中。
7. 晶圓派工(dispatching): 閒置的機器對其等候區批量晶圓做選擇性的加工。

8. 機器最大作業量(capacity)：機器作業時，一次最多可加工的晶圓的批量。
9. 系統表現(performance)：作業系統的表現包括晶圓的平均生產週期時(average cycle time)，在製品水準(wip-level)，單位時間產能，壅塞程度，流程是否平穩和機器使用率(utilization)等。

2.2 模擬相關假設

1. 製程假設：訂單產品每一製程步驟所需使用機器及其加工的時間均為已知而且固定。
2. 機器當機和維修假設：機器於作業時不當機；完工後，分成可以繼續運作和須要維修兩種狀況。各機器之運作及維修的時間，均為某種獨立的類似指數分佈的隨機變數 [13]，其平均值統計估算自生產線之有關的數據。
3. 時效性機器組假設：時效性機器組包含二類型的機器—第一種時效性和第二種時效性機器。批量晶圓在完成第一種時效性機器加工後，於一定時間內，必須接受第二種時效性機器的派工，否則先前(第一種時效性機器)的作業視為失效，而需要重做。
4. 晶圓釋放相關假設：製程的第一個加工步驟作業無等候區；空白批量晶圓依晶圓釋放法則進入作業系統，其生產週期時間即從此進入的時刻算起。

2.3 機器運作數據(蔡裕賢博士提供)

系統包含 28 種類不同的機器，有關的分類及功能請見論文 [14]。

表 2.1 機器台數的配置及其運作資料表(依序)

機器種類：	28													
各種類機器台數：	1	1	2	2	4	4	8	4	4	2	2	2	2	2
	1	1	1	3	2	2	2	2	3	1	2	2	2	1
最大作業量：	1	4	6	6	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
	4	2	1	1	1	4	1	4	6	4	6	6	6	6
持續作業平均時間： (小時/次)	151.0	342.0			81.0		67.5		40.5		40.5		38.25	
	40.5	40.5			67.5		36.0		67.		36.0		67.5	
	67.5	342.0			342.0		81.0		81.0		12.0		12.0	
	342.0	81.0			342.0		81.0		81.0		67.5		342.0	
當機維修平均時間： (小時/次)	27.0	18.0			9.0		22.5		4.5		4.5		6.75	
	4.5	4.5			22.5		9.0		22.5		22.5		18.0	
	18.0	9.0			9.0		8.0		8.0		18.0		9.0	
	18.0	9.0			18.0		9.0		9.0		22.5		18.0	

2.4 兩實驗性質製程(蔡裕賢博士提供)

製程一和二是爲了有關的製造系統的作業所設計的實驗性質的製程，其各個加工步驟之具體的內容和彼此之間的關連性，請見論文 [14]。

表 2.2 製程一加工步驟之相關數據(依序)

加工步驟總數：	61													
使用機器種類編號：	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	14	18	22
號：	23	15	24	26	18	24	27	5	6	7	8	9	12	11
	14	19	24	25	22	23	5	6	7	8	9	13	11	14
	20	21	5	6	7	8	9	10	11	16	28	23	5	6
	7	8	9	17	16									
加工時間(分)：	30.0		30.0		180.0		240.0		20.0		10.0		30.0	
	20.0		10.0		20.0		30.0		30.0		15.0		30.0	
	600.0		15.0		30.0		240.0		30.0		30.0		260.0	
	20.0		10.0		30.0		20.0		20.0		30.0		30.0	
	30.0		30.0		30.0		180.0		30.0		170.0		20.0	
	10.0		30.0		20.0		10.0		20.0		30.0		30.0	
	30.0		30.0		20.0		10.0		30.0		20.0		10.0	
	20.0		30.0		30.0		60.0		170.0		20.0		10.0	
	30.0		20.0		10.0		20.0		30.0					

表 2.3 製程二加工步驟之相關數據(依序)

加工步驟總數：	90													
使用機器種類編號：	1	2	23	5	6	7	8	9	18	11	14	15	2	3
	4	5	6	7	10	11	14	5	6	7	8	9	18	22
	23	15	24	26	18	24	27	5	6	7	8	9	12	11
	14	5	6	7	8	9	19	11	14	5	6	7	8	9
	19	11	14	24	25	22	23	5	6	7	8	9	13	11
	14	20	21	5	6	7	8	9	10	11	16	28	23	5
	6	7	8	9	17	16								
加工時間(分)：	30.0		30.0		300.0		20.0		10.0		30.0		20.0	
	10.0		15.0		30.0		30.0		10.0		30.0		180.0	
	240.0		20.0		10.0		30.0		20.0		30.0		30.0	
	20.0		10.0		30.0		20.0		10.0		15.0		30.0	
	600.0		15.0		30.0		240.0		30.0		30.0		260.0	
	20.0		10.0		30.0		20.0		20.0		30.0		30.0	
	30.0		20.0		10.0		30.0		20.0		10.0		30.0	
	30.0		30.0		20.0		10.0		30.0		20.0		10.0	
	30.0		30.0		30.0		30.0		150.0		30.0		150.0	
	20.0		10.0		30.0		20.0		10.0		20.0		30.0	
	30.0		30.0		30.0		20.0		10.0		30.0		20.0	
	10.0		20.0		30.0		30.0		60.0		70.0		20.0	
	10.0		30.0		20.0		10.0		20.0		30.0			

三、自主性之現場流控技術

好的自主性的現場流控技術除需促成高產能，晶圓平均生產週期時間短，在製品量恰當及產出平穩之外，也應要求於執行上不能太過複雜，俾方便作業系統之模擬程式的撰寫和進行後續的資源規劃與訂單交期等問題的可能的評估。以下分晶圓釋放法則，晶圓派工法則和等候理論上的優點等三個部分，解說我們的設計與想法。

3.1 晶圓釋放法則

定義 3.1. 製程的第一個加工步驟是將空白晶圓打上某種識別記號，此項作業所需的機器稱為上標籤機器。

定義 3.2. 選取一固定的批量值稱之在製品參數，為作業系統在製品量的一個上限。(生產線上實際選取的值，係某一在製品參數其對應的作業系統經模擬評估後有著最佳或妥善表現者。)

作法：若在製品量不大於所選取的在製品參數(定義 3.2)，且有閒置的上標籤機器時，釋放一批量的空白晶圓進入作業系統。該批量晶圓其(同時期)訂單製程之歸屬的決定如下。首先，要求加速作業之訂單製程有較高的晶圓歸屬的順位。其次，設同樣順位的訂單製程共 k 種，其編號，成品需求，和已釋入作業系統的晶圓批量值分別為 n_i ， D_{n_i} 和 R_{n_i} ， $i = 1, \dots, k$ 。又設 m 為使得 $R_{n_j} / D_{n_j} = \min \{ R_{n_i} / D_{n_i} \mid i = 1, \dots, k \}$ ，如此 j 之最小者的值，則該空白批量晶圓(加工作業)歸屬編號 n_m 之訂單製程。

3.2 晶圓派工法則

定義 3.3. 製程的每一加工步驟之理論作業(不含等候)時間(若為隨機變數，取期望值)，以同長度的線段表示之。如此線段按其加工步驟編號循序銜接所形成的區間，稱為該製程的理論加工時間區間。

符號

N \equiv 在製品參數。

T_i \equiv i 製程之理論加工時間區間總長度。

$T_{i,j}$ \equiv i 製程其加工步驟編號大於或等於 j 之理論加工時間和。

$\tilde{N}_{i,j}$ \equiv 在製品中屬於 i 製程其正在進行或已完成步驟編號 j 加工作業之晶圓的批量合計值。

$N_{i,j} \equiv$ 試圖均勻地分散各在製品於相關的理論加工時間區間上，希望 $\tilde{N}_{i,j}$ 維持或接近的一個值；此值等於 $N * (T_{i,j}) / (T_1 + \Lambda \Lambda + T_n)$ 。

定義 3.4. 稱 $(N_{i,j} - \tilde{N}_{i,j}^0) / N_{i,j}$ 為 i 製程後 j 步驟理論加工時間區間之批量晶圓相對平穩差值，簡稱 (i, j) -區間晶圓平穩差值。

定義 3.5. 系統中不屬於上標籤或時效性機器組機器，以一般性機器稱之。

3.2.1. 上標籤機器晶圓派工法則

作法：此種機器的派工決定於晶圓釋放法則；亦即對釋入系統之空白批量晶圓執行其所歸屬的訂單製程的第一個加工步驟之作業。

3.2.2. 一般性機器晶圓派工法則

作法：首先，將等候區中的批量晶圓，按是否可以同時加工的方式予以分組。量產時候，若無批量晶圓總數可達加工滿載要求的組別，則不予派工。否則，計算使加工滿載各組別之所有等候作業批量晶圓之不同的 (i, j) -區間晶圓平穩差值。此值最大之批量晶圓其所屬分組(若遇別的組別之批量晶圓也有相同的值時，取分組編號之較小者)，為擬派工的組別；同時，針對此一分組中的各個批量晶圓，依其 (i, j) -區間晶圓平穩差值大者順位較高方式(等值情形：按製程編號在前，加工步驟編號在後，及先抵達等候區的順位)，予以滿載派工。

3.2.3. 時效性機器組晶圓派工法則

時效性機器組包含兩不同種類的機器(2.2 節)，循作業次序分別稱之為第一和第二種時效性機器，簡稱第一和第二種機器。由於第一種機器作業時間短，完工晶圓需作時效方面考量，且兩種機器之滿載批量並不相同(後者大於前者)，因此有關的派工法則會比較複雜一些。為了解說的方便，第二種機器有以下之進一步地分類。

定義 3.6. 第一種機器擬派工之時，從作業開始到其完工晶圓之時效截止時間內，若出現可能之閒置(如加工或維修完成)的第二種機器，則稱這些可能出現之第二種機器為可支援機器。

定義 3.7. 技術考量，第一種機器於派工的同時，隨之指派將來完工的晶圓給後續的某一台可支援的機器(俾繼續加工)。如此可支援機器又有以下三種不同的分類。 a. 未規劃機器：一台未被如此指派的支援機器稱之。 b. 未完成規劃機器：一台已被指派，但其晶圓數未達滿載要求的可支援機器稱之。 c. 已完成規劃機器：經過指派且晶圓數已達滿載要求的可支援機器稱之。

A. 第一種機器晶圓派工法則

前提：須有後續的未規劃或未完成規劃之可支援機器的存在，始考慮派工。

作法：檢視是否存在未完成規劃機器。若有，針對等候區中其完工後之後續製程步驟機器同種類於此未完成規劃機器，後續加工時間同於此未完成規劃機器之已被指派晶圓之加工時間的批量晶圓，按一般性機器派工法則進行派工。若無，亦即只有未規劃機器的存在，則針對預計最先出現之未規劃機器，檢視等候區中其完工後之後續製程步驟使用該種類機器，且後續加工作業時間等同之批量晶圓組，採一般性機器晶圓派工法則派工，並指派未來完工晶圓歸屬此一未規劃機器。

B. 第一種機器晶圓派工法則其可支援機器出狀況時之修正

作為派工前提之可支援機器出狀況的情形有兩種：其一，原本執行某加工步驟作業並預測為可支援之機器，完工後需維修成爲非可支援機器。其二，機器因維修完成，從非可支援機器變成可支援機器。此二異動於有關的隨機模型下爲不可預測；而第一種機器晶圓派工法則之對應的修正的作法如下。

狀況 1. 可支援機器完工後需要維修成爲非可支援機器

此機器若爲未規劃機器，無修正的必要。若爲未完成規劃機器，其已被指派的晶圓(即刻或待完工後)遣返原第一種機器之等候區。若爲已完成規劃機器，則檢視介於當機與所指派晶圓之時效截止之時間區間內，有無未規劃或未完成規劃機器之存在：若有，將派工規劃內容轉移給最接近目前(當機)時間點出現之未規劃或未完成規劃機器，並將此被轉移機器原先之已規劃內容(若有的話)遣返第一種機器等候區；若無，該需要維修機器其原先已被指派的晶圓遣返(原)第一種機器等候區。

狀況 2. 非可支援機器維修完成成爲新的可支援機器

於此(維修完成)時間點上，檢視後續有無已完成規劃的同種類可支援機器的存在。若有，將這些後續已完成規劃機器之所有已指派的內容，按機器之預估出現時間點的前後次序，逐一轉移給前面的一個可支援機器，直到此維修完成機器亦接受轉移(並考量可能的派工)爲止；而時間點位居最後的已完成規劃機器，因指派內容消失(成爲未完成規劃機器)，將引發第一種機器之可能的派工。若無，則單純地引發此維修完成可支援機器之相關的第一種機器的可能的派工。

C. 第二種機器晶圓派工法則

前提：此一機器屬於已完成規劃機器，且所有被指派晶圓皆已抵達機器的等候區。

作法：對所指派的晶圓進行加工的作業。

3.3 等候理論角度之優點

A. 在製品參數的角色

Little's公式 [2]: $L = \lambda W$, 此處 λ 可指批量晶圓釋放進入系統速率, L 為在製品水準, 而 W 指平均生產週期時間, 為單點等候型系統於穩定狀態下的一個重要的理論。由於晶圓流入速率長期言接近流出率, 對於有著同樣在製品水準(平均在製品數量)的不同流控技術的作業系統言, 其平均生產週期時間較短者產出率較高; 這是不同的流控技術之間可作比較的一個績效方面的指標。

本技術藉由所謂之在製品參數的調整, 能夠控制相關作業系統之投料因而控制(實際的)在製品水準的值; 而其平均生產週期時間即可與同在製品水準之另一個技術下的作業系統的值作比較。更重要的, 在製品水準究竟應該多少, 俾使我們的製造系統有著最佳或適當的產值, 也可經由解析不同在製品參數對應的作業系統之模擬輸出數據選取之。

B. (i, j) -區間晶圓平穩差值的角色

考量一穩定狀態的單一製程的作業系統。設 T_j , $j = 1, \dots, n$, 為第 j 個晶圓的生產週期時間, 其中 n 係一個較大的整數。若此單製程的理論加工時間為一定值, 則 $\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j$ 的值可改寫成為固定之製程理論加工時間加上 $\frac{1}{n} * \{$ 此 n 個晶圓在各個工作站之等候加工時間的總和 $\}$ 。由於前述 Little's 公式中的平均生產週期時間 W 的值與 $\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j$ 接近, 因此, 就有著同在製品水準之不同的流控技術言, 好的派工作法會讓晶圓在各個工作站等候時間的總和來得比較小一些。

可以注意的一點, 批量晶圓在系統內各個工作站等候加工的總時間受其到訪之每一個工作站之壅塞程度的影響(其狀況嚴重者, 該工作站將有長的晶圓平均等候的時間)。如何有效率的降低各工作站的壅塞的程度? 以整體流程的角度視之, 關鍵點應在晶圓是如何地流入一個工作站。換言之, 取決於系統內各個完工晶圓其流向不同後續工作站的速率。當某工作站因機器當機或其他因素(等候晶圓)形成高壅塞群之後, 如果派工不當, 則隨著時間的流逝, 容易發生壅塞群從某一工作站轉移到另一些工作站的骨牌的效應。是以壅塞疏解上, 若只考慮單一或區域性幾個工作站的狀況(而非吾人之整體的流程的考量), 則易生工作站之壅塞群依序移轉的骨牌的效應, 不利於縮短晶圓之平均生產週期的時間。

(i, j) -區間晶圓平穩差值派工順位的構想是有計畫的讓被派工的晶圓, 於加工完成後實質上儘可能地平均分散到各個不同的工作站, 俾降低高壅塞群的可能性, 因而利於縮短作業系統的平均生產週期的時間。

註: 文獻中罕見, 以等候理論的角度, 如上述, 比較 IC 製造系統之不同的投料及派工的技術。

四、程式模擬與數據解析

4.1 程式模擬

前述自主性現場流控技術下的作業系統，為一離散事件系統 [6]。有關的(程式)模擬係以機器的閒置、作業和維修為其狀態；狀態的改變構成事件；而隨著事件之不斷地引發和更新，模仿(並適時地記錄)整個作業系統之運作的過程。

4.2 數據解析

有關的作業系統表現很好。以下分成在製品水準的控制，在製品參數選取，高效率的機器使用率，平均生產週期時間合理和產出平穩等幾個部分予以模擬數據的解析(晶圓數均以批量為單位。)

A. 在製品水準的控制

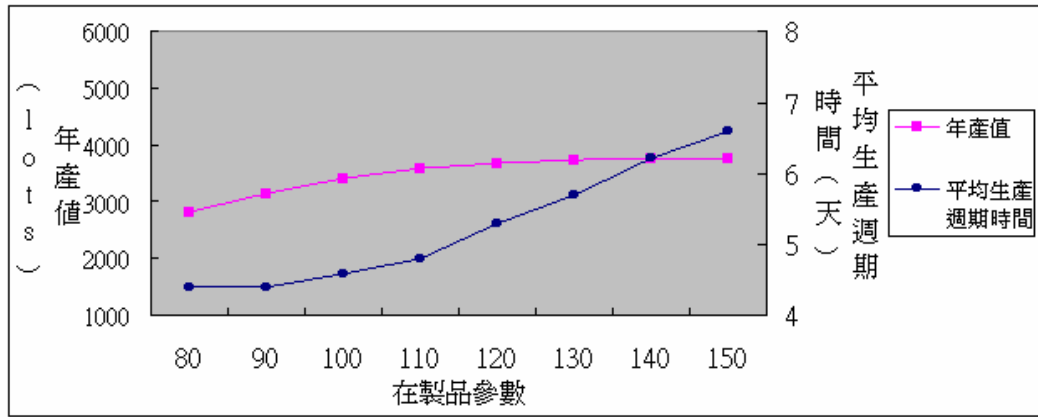
在製品參數為(吾人之自主性現場流控技術下)作業系統在製品量的一個上限。由於在製品水準小於但某種程度接近在製品參數的值(請見下表 4.1)，因此可藉著在製品參數的選取得到想要的在製品水準；其中的意義或優點請見 3.3A 小節。

表 4.1 在製品水準與在製品參數關係
(以製程一單製程作業系統為例，模擬 360 天，次數 10 次)

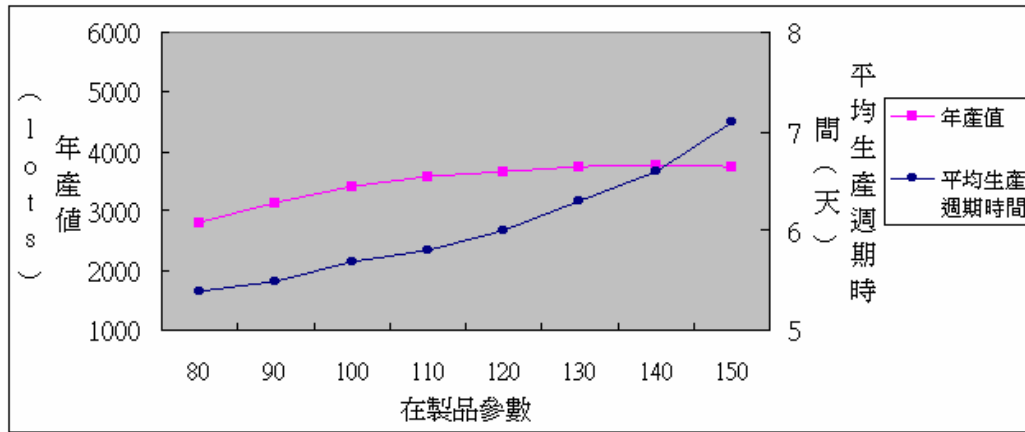
在製品參數	80	90	100	110	120	130	140	150
在製品水準平均值	75.2	84.3	93.3	102.5	112.4	122.8	131.8	141.8
(標準差)	0.408	0.567	0.692	0.770	0.869	0.764	0.684	0.784

B. 在製品參數選取

在製品水準與晶圓平均生產週期時間基本上呈反向消長的關係。如何選取適當的在製品水準或在製品參數(二者關係請參考項 A 的部分)? 下圖表 4.1，以製程一和二構成之雙製程作業系統(量產考量)為例，可建議合適的在製品參數的選取值為 140。



a. 製程一方面數據



b. 製程二方面數據

圖 4.1 雙製程系統在製品參數與晶圓平均生產週期時間及年產值消長圖
(二製程成品需求比 1 : 1，模擬 360 天，次數 10 次)

C. 高效率的機器使用率

瓶頸決定產出係常識性的認知。23 種類機器可作業時間與維修所需時間其平均值之比為 9 : 1；稱 0.9 為該種類機器的理論(最大)使用率。此一類型機器為瓶頸類(第二時效性)機器；滿載與時效考量，以及第一種時效性機器之不預期當機，均可能造成 23 種類機器的閒置。下表 4.2 顯示我們的作業系統有高效率的機器使用率。

表 4.2 雙製程作業系統 23 種類機器使用率
(二製程成品需求比 1:1, 在製品參數 140, 模擬 360 天, 次數 10 次)

		23 瓶頸機器
理論使用率		0.9
實際使用率	平均值	0.8798
	標準差	0.002651
實際與理論使用率之比		97.8%

D. 平均生產週期時間合理

不同技術下的 IC 製動作業系統, 就系統表現言, 其平均生產週期(實際)時間與理論生產週期時間的比值大約在 2.5 到 10 之間 [7], 小者為佳。下表 4.3 顯示在製品參數選取值為 140 時(如項 B), 吾人作業系統之平均生產週期時間與理論生產週期時間的比值良好。

表 4.3 單一製程作業系統之生產週期時間
(在製品參數 140, 模擬 360 天, 次數 10 次)

	製程一(單製程)	製程二(單製程)
平均生產週期時間(hr)	134.66	172.340
理論生產週期時間(hr)	55.000	69.083
實際與理論值之比	2.45	2.5

E. 產出平穩

下表 4.4 顯示吾人之區間晶圓平穩差值派工順位的設計, 對製程一和二之雙製程作業系統言, 有相當平穩之成品的產出(第一個月係 warm up 的時間)。

表 4.4 雙製程作業系統月產批量值(月天數 30 天)
(二製程成品需求比 1:1, 在製品參數 140, 模擬 360 天, 次數 10 次)

a. 製程一月產值(註：二至十二月，月產平均值為 317.5，標準差 2.31。)

月份	一	二	三	四	五	六
平均值	280.3	316.4	317.1	320.3	315.3	320.6
標準差	2.4	4.8	6.3	6.5	8.7	6.1
月份	七	八	九	十	十一	十二
平均值	315.2	318.5	314.2	320.4	315.1	319.4
標準差	7.0	7.4	9.3	7.2	4.1	5.3

b. 製程二月產值(註：二至十二月，月產平均值為 317.4，標準差 3.68。)

月份	一	二	三	四	五	六
平均值	273.8	317.3	316	316.4	322.5	319.6
標準差	6.4	6.5	5.9	3.8	5.1	6.9
月份	七	八	九	十	十一	十二
平均值	314.5	319.2	311.6	321.1	311.4	321.9
標準差	6.8	7.1	7.0	5.2	7.2	7.4

五、資源與訂單規劃

一般數學規劃的理論，特別是在數學模型十分龐大時，不涉及隨機變數，這是積體電路晶圓製造位階最上(以傳統架構言)的資源規劃與需求管理，其作法並不容易的一個重要的原因。以下簡單的介紹，我們如何逆向於傳統的作法，而以本文自主性現場流控技術下之作業系統的產值為基礎，提出諸如機器台數配置(屬於資源規劃)與訂單承接(屬於需求管理)等一些問題的對策。

5.1 機器台數配置問題

IC 廠各個種類機器台數應該多少才恰當，或某特定種類機器是否增減機台等是資源規劃方面相當困難的問題。我們的對策如下。首先，參考一般性的一些製程，加總各類型機器需要負荷之理論加工(不含等候)的時間，之後，按比例粗略估算能夠消化如此理論加工總時間之不同種類的機器的台數。其次，程式模擬此粗略估算的機器配置下的作業系統；由瓶頸機器為何及產能相關資訊，調整一些種類之機器的台數，並做新的作業系統的程式模擬(以資比較)。重複幾次上述的步驟，可定出各個種類機器之較合適的機台數。

以第二章製造系統模型之機器台數的配置為例，原本及增一或二台屬於瓶頸的第 23 種類機器其作業系統的產能如下。

表 5.1 原本，增一和增二台 23 種類機器之雙製程作業系統年產批量值
(二製程成品需求比 1:1，在製品參數 140，模擬 360 天，次數 10 次)

		原本	增一	增二
製程一	平均值	3773	4444	4552
	標準差	13	15	46
製程二	平均值	3765	4438	4545
	標準差	10	15	46

依據上表，新增一台 23 種類機器對產值的提升是有幫助，但再增之第二台 23 種類機器的效果則不大；決策者因此或可再考量另一些如機器成本等數據，而做出是否增加一台 23 種類之機器的決定。

5.2 訂單承接與交期問題

訂單承購數量及其交貨時間的評估為 IC 廠需求管理方面不容易的問題[15]。以下針對本文作業系統，分成交期預定之可承購數量和承購數量預定之交期兩個例子解說我們的對策。

A. 交期預定之可承購數量例

問題 5.1. 本文製造系統下，擬評估新年度已預定交期之共計三訂單產品的承購數量。設 A 訂單確定訂購製程一成品 1000 lots，半年為期到時交貨。另設，B 訂單擬定訂購製程二成品 x lots，以兩個半年期各交 $x/2$ lots；而 C 訂單則在下半年度欲訂購製程二成品 y lots，年底交貨。請估算 x 和 y 的值。

對策：步驟 1. 半年為期，針對雙製程(製程一和二)作業系統，嘗試一些不同的成品需求比作模擬。得知需求比 2:5 (在製品參數 140 lots)時之產出值：製程一 1005 lots (滿足 A 訂單需求)，製程二 2505 lots。

步驟 2. 重作步驟 1 之雙製程作業系統成品需求比為 2:5 之一年為期的系統模擬；唯上半年度與製程一相關的空白晶圓於 1002 lots(滿載考量)進入系統後即停止釋放；之後，空白晶圓的釋入皆屬第二製程。如此，第一個半年期截止，製程一產值 1002 lots，製程二產值 2496 lots；而

後半年度為製程二(單製程)作業系統的模擬；其年產值共計 5832 lots。

步驟 3. $5832 - 2 \times 2496 = 840$ 故推論 $x = 2 \times 2496 = 4992$ lots，而 $y = 840$ lots。

B. 承購數量預定之交期例

問題 5.2. 本文製造系統下，擬評估新年度姑且稱之為 B 訂單之產品的交期。設 A 訂單一年內欲訂購製程二成品 3000 lots(要求兩個半年期各交 2000 與 1000 lots 之成品)。若 B 訂單希望訂購製程一成品 3000 lots(一次交清)，試估算此訂單何時可以交貨？又若 B 訂單之交期確定，則作業系統還可承接年底交貨其承購數量各為若干之製程一和二之產品的訂單？

對策：步驟 1. 仿問題 5.1 的對策之步驟一，得知製程一和二於需求比為 5：6 的情形下其上半年之產出值：製程一 1698 lots，製程二 2010 lots(符合 A 訂單的要求)。

步驟 2. 重作步驟 1 之雙製程作業系統成品需求比 5：6 之一年為期的系統的模擬。於製程一的成品量達到 B 訂單所需求之 3000 lots 時，記錄該事件的發生點(約在第 320 天)。年產值製程一 3378 lots，製程二 4044 lots。

步驟 3. 由步驟 2 的數據，可推論 B 訂單交貨的時間為第 320 天；而若年底交貨，作業系統還可接受製程二，訂購數量 $4044 - 3000 = 1044$ lots，以及成品為製程一，訂購數量 $3378 - 3000 = 378$ lots 之產品的訂單。

六、結論

積體電路晶圓製造之規劃與控制的架構，傳統上的作法為先有上層的資源規劃與需求管理，之後，衍生中層的主生產排程和細部生產排程，再由現場的流控的設計嘗試完成中層之排程所交代下來的構想。有關的技術在涉及機器當機與維修的隨機因素時，不容易交代的清楚。本文逆向於如此的架構，首先提出一種具有自主性，作法簡單，作業系統有效率，且能在等候理論角度講出其優點之現場流控的技術。之後，以程式模擬方式取得作業系統相關的一些數據，而證實上述等候理論所預期的一些優點。繼而再以平穩產出及產能有關的一些模擬數據為基礎，舉例說明傳統架構上屬於最上層的資源規劃與需求管理的某些困難問題的吾人的對策。

我們的作法比傳統階層式的技術簡單了許多，現場流控若遇當機狀況順其自然，無傳統技術為了執行上層構想所遭遇的困難；而實驗性質系統表現方面的模擬數據，亦顯示這樣的作法有好的潛力達成積體電路廠之降低生產成本和提高服務品質的營運的目標。樂見此類逆向思維整體技術之進一步地研究與發展。

參考文獻

- [1] Chu, S. C. K. (1995), "A mathematical programming approach towards o-ptimized master production scheduling," *International Journal of Producti-on Economics*, **38**, pp. 269-270.
- [2] Cooper, R. B. (1981), *Introduction to gueueing theory*, 2nd edition, North Holland, New York.
- [3] Guerrero, H. H. (1991), "Demand management strategies for assemble-to-order production environments", *International Journal of Production Research*, **29**(1), pp. 39-51.
- [4] Hillier, F. S., and K. C. So (1991), "The Effect of Machine Breakdowns and Interstage Storage on The Performance of Production Line Systems," *International Journal of Production Research*, **29**(10), pp. 2043-2055.
- [5] Hung, Y. F. and R. C. Leachman (1996), "A production planning methodology for semiconductor manufacturing based on interactive simulation and linear programming calculation," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, **9**(2), pp. 257-269.
- [6] Law A. M., and W. D. Kelton (2000) *Simulation modeling and analysis*, Mc Graw-hill.
- [7] Lu, S. C. H., Ramaswamy, D. , and P. R. Kumar (1994), "Efficient Sch-eduling Polices to Reduce Mean and Variance of Cycle-Time in Semicon-ductor manufacturing Plants," *IEEE Transactions on Semiconductor Manu-facturing*, **7**(3), pp. 374-388.
- [8] Lu, S. H., and P. R. Kumar (1991), "Distributed Scheduling Based on Due Date and Buffer Priorities," *IEEE Transactions on Automatic Control*, **36**(12), pp.1406-1416.
- [9] Vollmann, T. E, W.L.Berry, and D. C. Whybark (1992), *Manufacturing planning and control systems*, Richard D. Irwin, Inc.
- [10] Hsinchu (Mar. 22-26, 1993), *Semicondutor manufacturing technology workshop* , Taiwan, R.O.C.
- [11] 杜瑩美(1999), 圓製造廠之在製品管理模式, 交通大學工業工程研究所博士論文。
- [12] 施盈志(1996), 晶圓製造廠在製品水準之規劃與控制, 交通大學工業工程研究所碩士論文。
- [13] 陳宗賢(2000), 積體電路製造系統模擬程式之研究, 東海大學數學系碩士論文。
- [14] 張菱如(2004), IC 製造在製品分散之流控設計, 東海大學數學系碩士論文。
- [15] 鄭照明(1996), 晶圓製造廠交期指定模式之建構, 交通大學工業工程研究所碩士論文。

Planning and Controlling Techniques Directed by Reversed-thinking in the IC Wafer Fabrication

Li Liu *

Abstract

The fabrication of IC wafers involves very complicated structure of planning and controlling as well as its related technologies. The traditional way of handling this fabrication can be divided into three levels. Included in the top level are resource planning and demand management. This overall planning would guide the development of the main and detailed scheduling of the production, labeled as middle level. The final level is to finish the work set by the middle level by means of flow control arrangement on the spot. The technical problems of the traditional methods would not be easily revealed when encountering unexpected shot-down or when the machines are under work of maintenance. This paper presents a different planning and control structure created by reversed thinking. First, we design a flow control arrangement on the spot which is independent, simple, and efficient. The wafer releasing policy is based on the so-called WIP parameter and the wafer-dispatching policy is on the basis of counting possible wafers in the respective process-time intervals for wafers in the queue. Then, the data of simulation runs applying this arrangement in the operating system are recorded. The output is used to determine the most proper WIP parameter value that best displays the system. Also, with these data as foundation, strategies are developed to resolve issues that are handled in traditionally upper level. Our approach is much simpler than the traditional type of layered-technologies. The technique would let the flow take its own course when some machines are shut down without encountering the problems which would have encountered in the traditionally lower level structure. The experimental-simulation result shows that our approach have good potential to achieve the goals of reducing production cost and increasing service quality for integrated circuit firms. Further research and development on this reversed thinking technology is expected with pleasure.

Keyword: integrated circuit, production of wafers, planning, controlling, structure, reversed-thinking, independent flow-control technique, potential .

*Department of mathematics, Tunghai University.