

## 摘要

本論文繼續先前一系列有關積體電路製造，逆向於傳統作法之自主性的現場流控技術的研發。主要的成果有三。其一，改良先前所謂晶圓區間平穩差值法之流程控制的技術，而提出兩種產值更佳，分別稱之為“局部區間平穩差值”和“製程點平穩差值”法的派工順位的設計。以實驗性質製程一為例，其單製程作業系統的年產值，前者增加了 0.74%，而後者則增加 1.49%。其二，為了顯示“製程點平穩差值法”之優於一般可以想到的其它自主性之派工順位的設計，我們列舉一些不同的流控的作法，並以相關作業系統之模擬的數據証實之。在此同時，我們有一個重要的發現，在機台數不變的前提下，IC 製造系統所謂“瓶頸決定產值”的說法是有爭議的。是流控設計，而非瓶頸決定產值。其三，我們對模擬軟體作簡介，同時表列指出，當新的派工作法提出時，如何更改一些相關的程式碼。這會節省未來使用者的摸索的時間。



## Abstract

This research is the continuation of a series of studies about the on-site flow-control technique in IC fabrication. It is different from those designs developed by the traditional production planning and managing framework. It achieved three aspects. First, we improve the wafer-interval-smoothness -short-value flow-control technique by putting “local-interval-smoothness” and “procedure-point-smoothness” methods which produce better throughputs. Take the experimental process one as an example, the yearly throughput of the single-process operating system increases 0.74% by the former method and 1.49% by the latter over the previous technique. Second, we know by the data of different throughputs. At the same time we made an important discovery, that the common practice of “bottlenecks decide throughput” is debatable. It is “flow-control designs decide throughput”, not “bottlenecks decide throughput”. Third, we made an introduction to the simulation program and gave instructions as how to change some related program codes, when new ideas of dispatching rule present. This would save considerable time for the coming users.

## 誌謝

兩年的研究所生涯中，承蒙劉力老師的鼓勵與指導，論文得以順利完成。也感謝口試時，蔡裕賢和陳淑珍兩位老師所給予的一些寶貴的意見，讓論文更加完善。

論文撰寫期間，要謝謝學長富楠的協助，他提供我不少的資訊和建議。

最後，將此論文獻給我的父母，感謝他們多年來的支持與付出。

# 目 錄

第一章 前言 .....	1
第二章 作業系統模型 .....	4
第一節 系統模型假設 .....	4
第二節 機器運作數據 .....	6
第三節 實驗性質製程 .....	7
第三章 原晶圓區間平穩差值作法 .....	17
第一節 晶圓釋放法則 .....	17
第二節 晶圓派工法則 .....	18
第三節 等候理論角度之優點 .....	22
第四章 改良的自主性派工設計 .....	24
第一節 構想與作法 .....	24
第二節 系統表現數據 .....	25
第五章 瓶頸決定產值論點之修正 .....	33
第一節 七種自主性派工策略 .....	33

第二節	流控設計決定產值解析.....	34
第六章	模擬軟體介紹.....	37
第一節	子程式名稱及目的.....	37
第二節	各表屬性和變數說明.....	40
第三節	派工相關子程式之加註.....	43
第七章	結論.....	49
參考文獻	.....	50

## 圖目錄

圖 2.1	晶圓製造流程.....	7
圖 2.2	製程一加工步驟機器編號流程.....	11
圖 2.3	製程二加工步驟機器編號流程.....	15
圖 2.4	雙製程加工步驟機器編號流程.....	16
圖 4.1	在製品參數與平均產出量和生產週期時間關係.....	29
圖 6.1	機器狀態改變流程.....	39
圖 6.2	模擬程式流程圖.....	40

# 表目錄

表 2.1	機器配置及運作資料.....	6
表 2.2	製程一各加工步驟.....	7
表 2.3	製程二各加工步驟.....	12
表 4.1	單製程(製程一)作業系統模擬數據.....	26
表 4.2	單製程(製程二)作業系統模擬數據.....	27
表 4.3	雙製程作業系統數據.....	27
表 4.4	在製品參數之平均年產值.....	28
表 4.5	在製品參數之平均生產週期時間.....	29
表 4.6	年產值相關數據(原機台).....	30
表 4.7	年產值相關數據(增一台).....	30
表 4.8	年產值相關數據(增兩台).....	31
表 5.1	製程一單製程作業系統模擬數據.....	35
表 5.2	製程二單製程作業系統模擬數據.....	35
表 5.3	雙製程作業系統模擬數據.....	36
表 6.1	子程式名稱及目的.....	37
表 6.2	各表屬性意義.....	41
表 6.3	變數意.....	42

# 第一章 前言

這篇文章係繼續學長姊們一系列有關於積體電路(IC)製造其流控技術的研究 [15][16][17][18][21][22][24][25][26][27][29][30][32][33]。

IC 廠營運的主要的兩個目標為降低生產成本和提高服務的品質。一般來講，晶圓製造其整體規劃與控制之架構和技術十分地複雜[2][13]。傳統的作法為先有上層的資源規劃與需求管理[6][11][20]。之後，衍生中層的主生產排程和細部生產排程[3][8][19]。再由下層的現場流控設計，嘗試完成中層排程所交代下來的構想[4][7][23]。這一方面的技術，在遇到機器不預期當機或維修的狀況時，由於作業系統解析困難，不容易交代的清楚[31]。

不同於以上的作法，之前的系列逆向思考，提出了所謂的晶圓區間平穩差值的流程控制的技術：先有自主性的現場投料及派工的設計，再由作業系統量測值之評估，進行資源規劃與供需方面的管理。該技術，簡單有效率。晶圓釋放基於在製品參數；而晶圓派工的順位，則由所謂的製程時間區間內之實際與理論在製品數的差值，定出次序。此一方法，比傳統階層式的架構簡單了許多；現場流控若遇當機狀況，則順其自然，無傳統作法之為了執行上層構想需要調整之解析上的問題；而實驗性質作業系統之模擬的數據，也顯示此技術有好的潛力達成 IC 廠之營運的目標[31]。

上述自主性現場流控的技術，其進一步地解說如下。首先，固定

所謂的在製品參數。一方面成為作業系統在製品量的上限，控制投料。另一方面，於抽象的製程加工步驟時間區間上，按比例地訂出此參數之某種理論上的在製品的配額；再就實際與理論在製品數差值，小者優先方式，進行派工的作業。由於晶圓試著較平均地分散於製程時間區間上，因此產出平穩，方便作業系統訂單交期等量測值的評估（生產管理）。至於各工作站如機台數的配置（資源規劃），也可比較不同機器數目下作業系統，其模擬相關的數據決定之[31]。

我們的研究報告重點有三。其一，改良先前所謂晶圓區間平穩差值法之流程控制的技術，而提出兩種產值更佳，分別稱之為“局部區間平穩差值”和“製程點平穩差值”法的派工順位的設計。以實驗性質製程一為例，其單製程作業系統的年產值，前者增加了 0.74%，而後者則增加 1.49%。其二，為了顯示“製程點平穩差值法”之優於一般可以想到的其它自主性之派工順位的設計，我們列舉一些不同的流控的作法，並以相關作業系統之模擬的數據証實之。在此同時，有一個重要的發現，在機台數不變的前提下，IC 製造系統所謂“瓶頸決定產值”的說法是有爭議的。由我們的模擬數據顯示，量產時不同的流控設計下之作業系統都有高度壅塞的瓶頸（工作站）之出現，但產值不同。因此，非瓶頸而是流控設計決定產值。其三，我們對模擬軟體作簡介，同時表列指出，當新的派工作法提出時，如何更改一些相關的程式碼。這會節省未來使用者的摸索的時間。

本論文分為七章。第一章前言，第二章作業系統模型，第三章原



晶圓區間平穩流控技術，第四章改良的自主性派工設計，第五章瓶頸決定產值論點之修正，第六章模擬軟體簡介和第七章結論。樂見後續IC廠自主性流控技術的進一步地研究與發展。

## 第二章 作業系統模型

以下為本文有關 IC 製造(作業系統)的模擬的模型。分系統模型假設，機器運作數據和實驗性質製程等三個部分加以引述說明[30]。

### 第一節 系統模型假設

#### 1.1 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的步驟加工的器具稱為機器。本文之作業系統中所使用的機器分為上標籤機器、時效性機器及一般機器等三種。
4. 流程(flow)：晶圓按照製程的順序，加工或等候，其流動的過程謂之流程。
5. 單位晶圓(wafer lot)：晶圓加工係以盒為單位（每盒晶圓數一定，如 24 片）。一盒的晶圓稱為一晶圓組，或稱一單位晶圓。
6. 晶圓釋放(wafer release)：未加工單位晶圓置入系統之中謂之。
7. 晶圓派工(dispatching)：閒置的機器對其等候區之單位晶圓做選擇性的加工。
8. 機器最大作業量(capacity)：機器派工時，其可加工之單位晶圓

的最大數量。

9. 作業系統表現(performance)：作業系統的表現包括單位晶圓的平均系統時間(system time)、平均系統數目、單位時間產能、壅塞程度、機器使用率(utilization)和流程是否平穩等項目。

## 1.2 模擬相關假設

1. 製程方面的假設：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. 晶圓加工方面的假設：如術語部份所述，晶圓係以單位晶圓的方式加工。
3. 機器作業方面的假設：機器於加工作業時不當機；完工後，分成可以繼續運作和須維修兩種狀況。一台機器的運作及維修時間，均為某一種類似指數分佈[24]的隨機變數，其平均值決定於生產線上相關的數據。
4. 時效性機器組的假設：時效性機器組包含二類型機器：第一種時效性和第二種時效性的機器。單位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之派工，否則先前的加工作業失效而需要重做。
5. 晶圓釋放方面的假設：製程之第一個步驟作業的機器為上標籤機器，無等候區；空白的批量晶圓，依晶圓釋放法則進入作業系統中，而該批量晶圓之生產週期時間及從此進入的時刻算起。

## 第二節 機器運作數據

有關模型包含 28 種類機器，依編號序，其分別的台數，最大作業量，平均之維修及可作業時間的資料如下表 2.1 所示。

表 2.1 機器配置及運作資料表

機器				當機/月		可作業/月	
分類	類型編號	台數	最大作業量	百分比	平均小時/次	百分比	平均小時/次
A1	1	1	1	15%	27	85%	151
A2	2	1	4	5%	18	95%	342
A3	3	2	6	10%	9	90%	81
A4	4	2	6	25%	22.5	75%	67.5
B1	5	4	1	10%	4.5	90%	40.5
B2	6	4	1	10%	4.5	90%	40.5
B3	7	8	1	15%	6.75	85%	38.25
B4	8	4	1	10%	4.5	90%	40.5
B5	9	4	1	10%	4.5	90%	40.5
C1	10	2	1	25%	22.5	75%	67.5
C2	11	2	2	20%	9	80%	36
C3	12	2	1	25%	22.5	75%	67.5
C4	13	2	1	25%	22.5	75%	36
D1	14	2	2	5%	18	95%	67.5
D2	15	1	4	5%	18	95%	67.5
D3	16	1	2	10%	9	90%	342
D4	17	1	1	10%	9	90%	342
E1	18	3	1	40%	8	60%	81
E2	19	2	1	40%	8	60%	81
E3	20	2	4	5%	18	95%	12
E4	21	2	1	45%	9	55%	12
F1	22	2	4	5%	18	95%	342
F2	23	3	6	10%	9	90%	81
G1	24	1	4	5%	18	95%	342
G2	25	2	6	10%	9	90%	81
G3	26	2	6	10%	9	90%	81
G4	27	2	6	25%	22.5	75%	67.5
G5	28	1	6	5%	18	95%	342

### 第三節 實驗性質製程

晶圓製造的過程如圖 2.1 所示。而本模擬訂單歸屬兩個實驗性質製程。第一個實驗性質製程和第二個實驗性質製程，分別簡稱製程一和製程二，如表 2.2 和 2.3。

#### 2.3.1 製造過程簡述

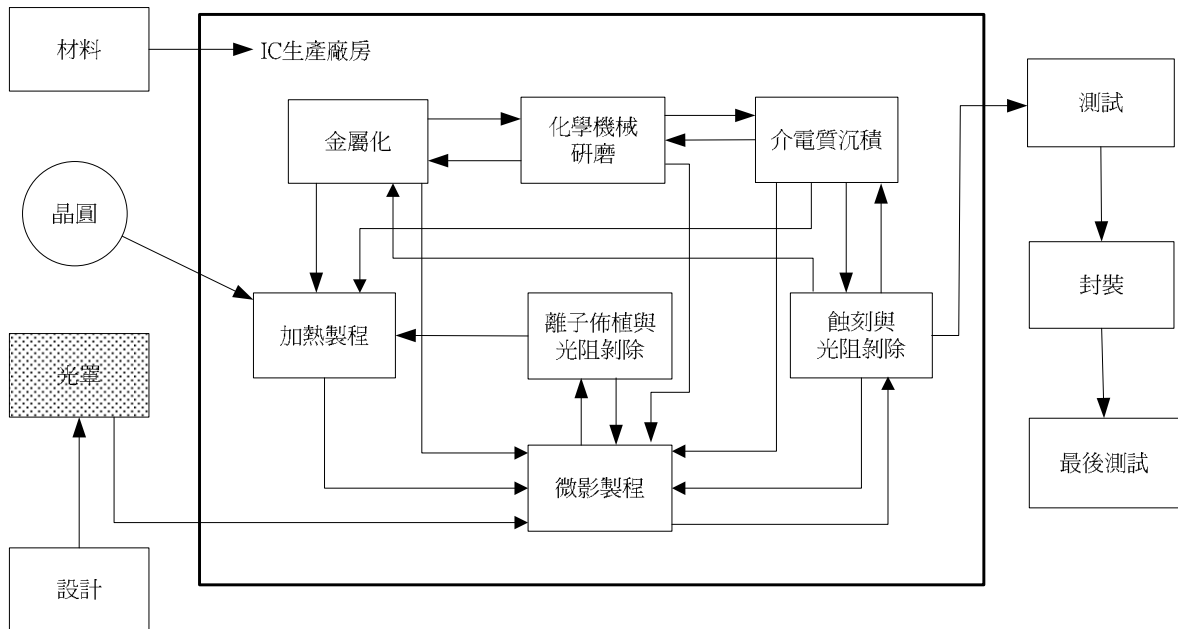


圖 2.1 晶圓製造流程[28]

#### 2.3.2 第一個實驗性質製程

表 2.2 製程一各加工步驟表[30]

Process step	Machine	Lots	Mins	Note
1. 晶圓打上編號 Wafer marking	A1	1	30	Use laser to mark I.D. on wafer (24 wafer/lot)
2. 清洗 Cleaning	A2	4	30	

3. 襯墊層氧化 Pad oxidation	A3	6	180	Furnance, 900
4. 氮化矽沉積 CVD Nitride deposition	A4	6	240	
5. 光阻塗佈 Photo Resist Coating	B1	1	20	
6. 軟烘烤 Soft bake (90 )	B2	1	10	
7. 活耀面積對準 Active area alignment	B3	1	30	1 <sup>st</sup> mask layer
8. 曝光、光阻顯影與圖案檢視 Development	B4	1	20	
9. 硬烘烤 Hard bake (100 )	B5	1	10	
10. 氮化矽電漿蝕刻 Plasma Nitride etching	C1	1	20	Dry etching
11. 光阻剝除 Photo Resist remove	C2	2	30	Plasma O <sub>2</sub> (dry etching)
12. Caro's 光阻剝除 Caro's photo Resist remove	D1	2	30	Wet method(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )
13. 場區對準 Field implant	E1	1	15	Medium ion implanter
14. 清洗 Cleaning	F1	4	30	
15. 場區氧化層 Field oxidation	F2	6	600	
16. 襯墊氧化層剝除與氫氟酸蝕刻 Pad oxide remove HF etching	D2	4	15	
17. 清洗 Cleaning	G1	4	30	
18. 閘極氧化層 Gate oxidation	G3	6	240	
19. Vt 離子佈植 Vt implant	E1	1	30	
20. 清洗 Cleaning	G1	4	30	
21. 多晶矽沉積 Poly Silicon deposition (CVD)	G4	6	260	
22. 光阻塗佈 Photo Resist Coating	B1	1	20	
23. 軟烘烤 Soft bake (90 )	B2	1	10	
24. 多晶矽對準與曝光 Ploy layer alignment and exposure	B3	1	30	2 <sup>nd</sup> mask layer

25. 光阻顯影與圖案檢視 Development	B4	1	20	
26. 硬烘烤 Hard bake (100 )	B5	1	20	
27. 多晶矽乾式蝕刻 Poly Dry etching	C3	1	30	Plasma dry etching
28. 多晶矽光阻剝除 Photo Resist remove	C2	2	30	Plasma O <sub>2</sub> (dry method)
29. Caro's 光阻剝除 Caro's Photo Resist remove	D1	2	30	Wet method
30. N <sup>+</sup> S/D 離子佈植 N <sup>+</sup> S/D ion implant	E2	1	30	Use As <sup>+</sup> , high current ion implanter
31. 清洗 Cleaning	G1	4	30	
32. N <sup>+</sup> 驅入 N <sup>+</sup> drive in	G2	6	180	Furnance, 950
33. 清洗 Cleaning	F1	4	30	
34. 氮化矽氧化沉積 CVD oxide deposition	F2	6	170	
35. 光阻塗佈 Photo Resist Coating	B1	1	20	
36. 軟烘烤 Soft bake (90 )	B2	1	10	
37. 接觸窗對準與曝光 Contact alignment and exposure	B3	1	30	3 <sup>rd</sup> mask layer
38. 曝光、光阻顯影與圖案檢視 Development	B4	1	20	
39. 硬烘烤 Hard bake (100 )	B5	1	10	
40. 接觸窗蝕刻 Contact etching	C4	1	20	Plasma dry etching
41. 光阻剝除 Photo Resist remove	C2	2	30	Plasma O <sub>2</sub> (dry method)
42. Caro's 光阻剝除 Caro's Photo Resist remove	D1	2	30	Wet method
43. 清洗 Cleaning	E3	4	30	
44. 金屬層沉積 Metal layer deposition	E4	1	30	Sputter machine
45. 光阻塗佈 Photo Resist Coating	B1	1	20	
46. 軟烘烤 Soft bake (90 )	B2	1	10	

47. 金屬層對準與曝光 Metal layer alignment and exposure	B3	1	30	4 <sup>th</sup> mask layer
48. 曝光、光阻顯影與圖案檢視 Development	B4	1	20	
49. 硬烘烤 Hard bake (100 )	B5	1	10	
50. 金屬乾式蝕刻 Metal dry etching	C1	1	20	Plasma metal etching machine
51. 光阻剝除 Photo Resist remove	C2	2	30	Plasma O <sub>2</sub> (dry method) machine
52. 光阻剝除 Photo Resist remove	D3	2	30	Wet method (after metal layer)
53. 合金 Alloy	G5	6	60	Furnace
54. 鈍化層沉積 Passivation deposition	F2	6	170	
55. 光阻塗佈 Photo Resist Coating	B1	1	20	
56. 軟烘烤 Soft bake (90 )	B2	1	10	
57. 鈍化層對準與曝光 Passivation alignment and exposure	B3	1	30	5 <sup>th</sup> mask layer
58. 曝光、光阻顯影與圖案檢視 Development	B4	1	20	
59. 硬烘烤 Hard bake (100 )	B5	1	10	
60. 鈍化層蝕刻 Passivation etching	D4	1	20	Wet etching
61. 光阻剝除 Photo Resist remove	D3	2	30	Wet method
62. 測試 Electrical parameter measurement		1	30	Outside cleaning room



製程一圖形顯示上的解說如下。

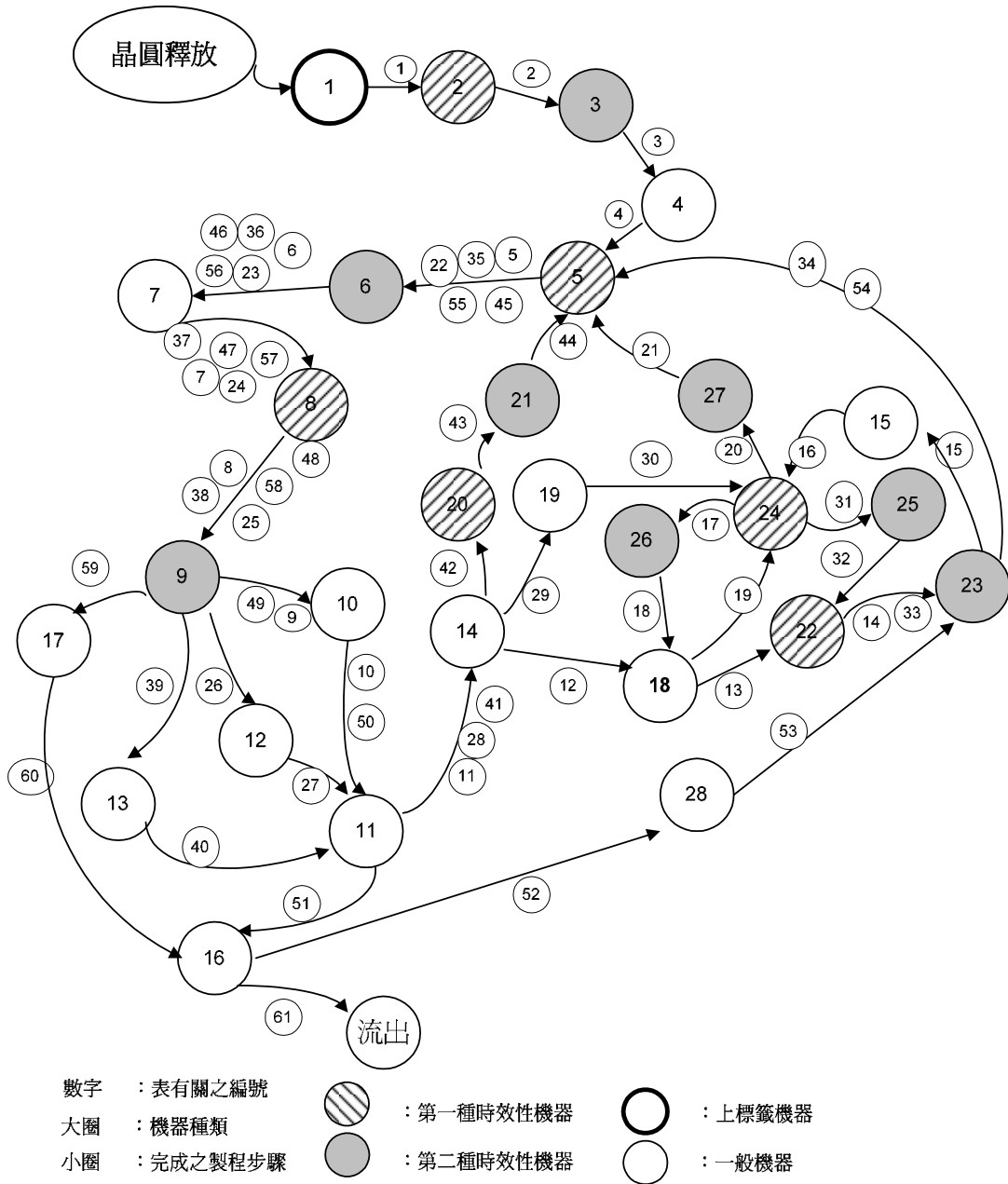


圖 2.2 製程一加工步驟機器編號流程圖

### 2.3.3 第二個實驗性質製程

表 2.3 製程二各加工步驟表

Process step	Machine	Lots	Mins	Note
1. Wafer marking	A1	1	30	Use laser to mark I.D. on wafer(24 wafer/lot)
2. Cleaning	A2	4	30	
3. Initial oxidation	F2	6	300	Temp 1000
4. Photo Resist Coating	B1	1	20	
5. Soft bake (90 )	B2	1	10	
6. N-well alignment	B3	1	30	1st mask layer
7. Development	B4	1	20	
8. Hard bake (100 )	B5	1	10	
9. N-well ion implant	E1	1	15	Medium ion implanter
10. Photo Resist remove	C2	2	30	Plasma O2(dry etching)
11. Caro's photo Resist remove	D1	2	30	Wet method (H2SO4+H2O2)
12. 10:1 HF etching	D2	4	10	
13. Cleaning	A2	4	30	
14. Pad oxidation	A3	6	180	Furnance,900
15. CVD Nitride deposition	A4	6	240	
16. Photo Resist Coating	B1	1	20	
17. Soft bake (90 )	B2	1	10	
18. Active area alignment	B3	1	30	2nd mask layer
19. Plasma nitride etching	C1	1	20	Dry etching
20. Photo Resist remove	C2	2	30	Plasma O2 (dry method) machine
21. Caro's photo Resist remove	D1	2	30	Wet method(H2SO4+H2O2)
22. Photo Resist Coating	B1	1	20	
23. Soft bake (90 )	B2	1	10	
24. P-field alignment	B3	1	30	3rd mask layer
25. Development	B4	1	20	
26. Hard bake (100 )	B5	1	10	
27. P-field implant	E1	1	15	Medium ion implanter
28. Cleaning	F1	4	30	
29. Field oxidation	F2	6	600	

30. Pad oxide remove HF etching	D2	4	15	
31. Cleaning	G1	4	30	
32. Gate oxidation	G3	6	240	
33. Vt implant	E1	1	30	
34. Cleaning	G1	4	30	
35. Poly Silicon deposition (CVD)	G4	6	260	
36. Photo Resist Coating	B1	1	20	
37. Soft bake (90 )	B2	1	10	
38. Poly layer alignment and Exposure	B3	1	30	4th mask layer
39. Development	B4	1	20	
40. Hard bake (100 )	B5	1	20	
41. Poly Dry etching	C3	1	30	Plasma dry etching
42. Photo Resist remove	C2	2	30	Plasma O2 (dry method)
43. Caro's Photo Resist remove	D1	2	30	Wet method (H2SO4+H2O2)
44. Photo Resist Coating	B1	1	20	
45. Soft bake (90 )	B2	1	10	
46. N+ alignment	B3	1	30	5th mask layer
47. Development	B4	1	20	
48. Hard bake (100 )	B5	1	10	
49. N+ ion implant	E2	1	30	Use As+,high current ion implanter
50. Photo Resist remove	C2	2	30	Plasma O2 (dry method)
51. Caro's Photo Resist remove	D1	2	30	Wet method(H2SO4+H2O2)
52. Photo Resist Coating	B1	1	20	
53. Soft bake (90 )	B2	1	10	
54. P+ alignment	B3	1	30	6th mask layer
55. Development	B4	1	20	
56. Hard bake (100 )	B5	1	10	
57. P+ ion implant	E2	1	30	Use B+,high current ion implanter
58. Photo Resist remove	C2	2	30	Plasma O2 (dry method)
59. Caro's Photo Resist remove	D1	2	30	Wet method(H2SO4+H2O2)
60. Cleaning	G1	4	30	
61. S/D drive in	G2	6	150	Furnance,920

62. Cleaning	F1	4	30	
63. BPSG deposition	F2	6	150	
64. Photo Resist Coating	B1	1	20	
65. Soft bake (90 )	B2	1	10	
66. Contact alignment and Exposure	B3	1	30	7th mask layer
67. Development	B4	1	20	
68. Hard bake (100 )	B5	1	10	
69. Contact etching	C4	1	20	Plasma dry etching
70. Photo Resist remove	C2	2	30	Plasma O2 (dry method)
71. Caro's Photo Resist remove	D1	2	30	Wet method(H2SO4+H2O2)
72. Cleaning	E3	4	30	
73. Metal layer deposition	E4	1	30	Sputter machine
74. Photo Resist Coating	B1	1	20	
75. Soft bake (90 )	B2	1	10	
76. Metal layer alignment and Exposure	B3	1	30	8th mask layer
77. Development	B4	1	20	
78. Hard bake (100 )	B5	1	10	
79. Metal dry etching	C1	1	20	Plasma metal etching machine
80. Photo Resist remove	C2	2	30	Plasma O2 (dry method) Machine
81. Photo Resist remove	D3	2	30	Wet method(after metal layer)
82. Alloy	G5	6	60	Furnace
83. Passivation deposition	F2	6	170	
84. Photo Resist Coating	B1	1	20	
85. Soft bake (90 )	B2	1	10	
86. Passvative alignment and Exposure	B3	1	30	9th mask layer
87. Development	B4	1	20	
88. Hard bake (100 )	B5	1	10	
89. Passivation etching	D4	1	20	Wet etching
90. Photo Resist remove	D3	2	30	Wet method
91. Electrical parameter measurement		1	30	Outside cleaning room

製程二圖形顯示上的解說如下。

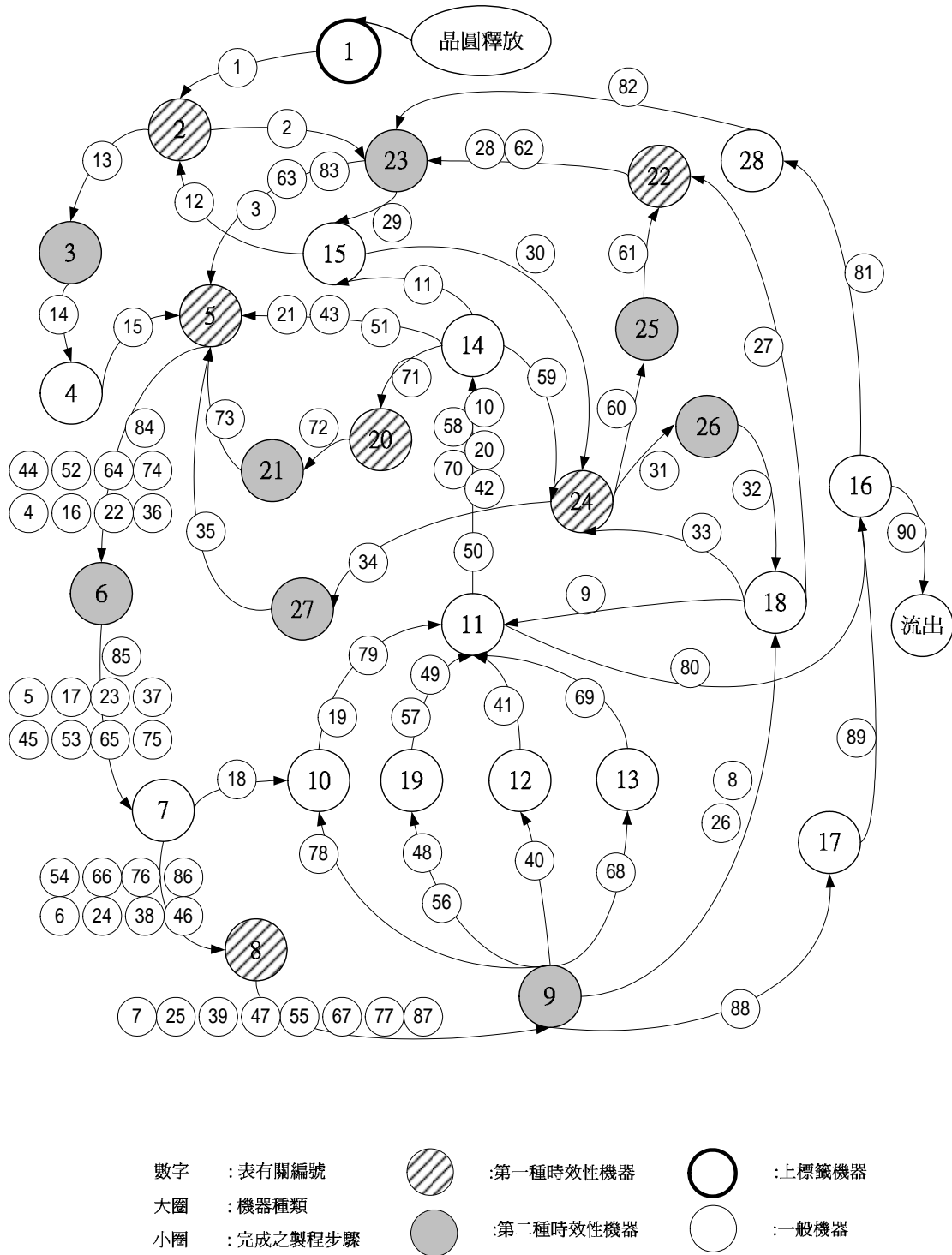


圖 2.3 製程二加工步驟機器編號流程圖

製程一和二圖形顯示上的解說如下。

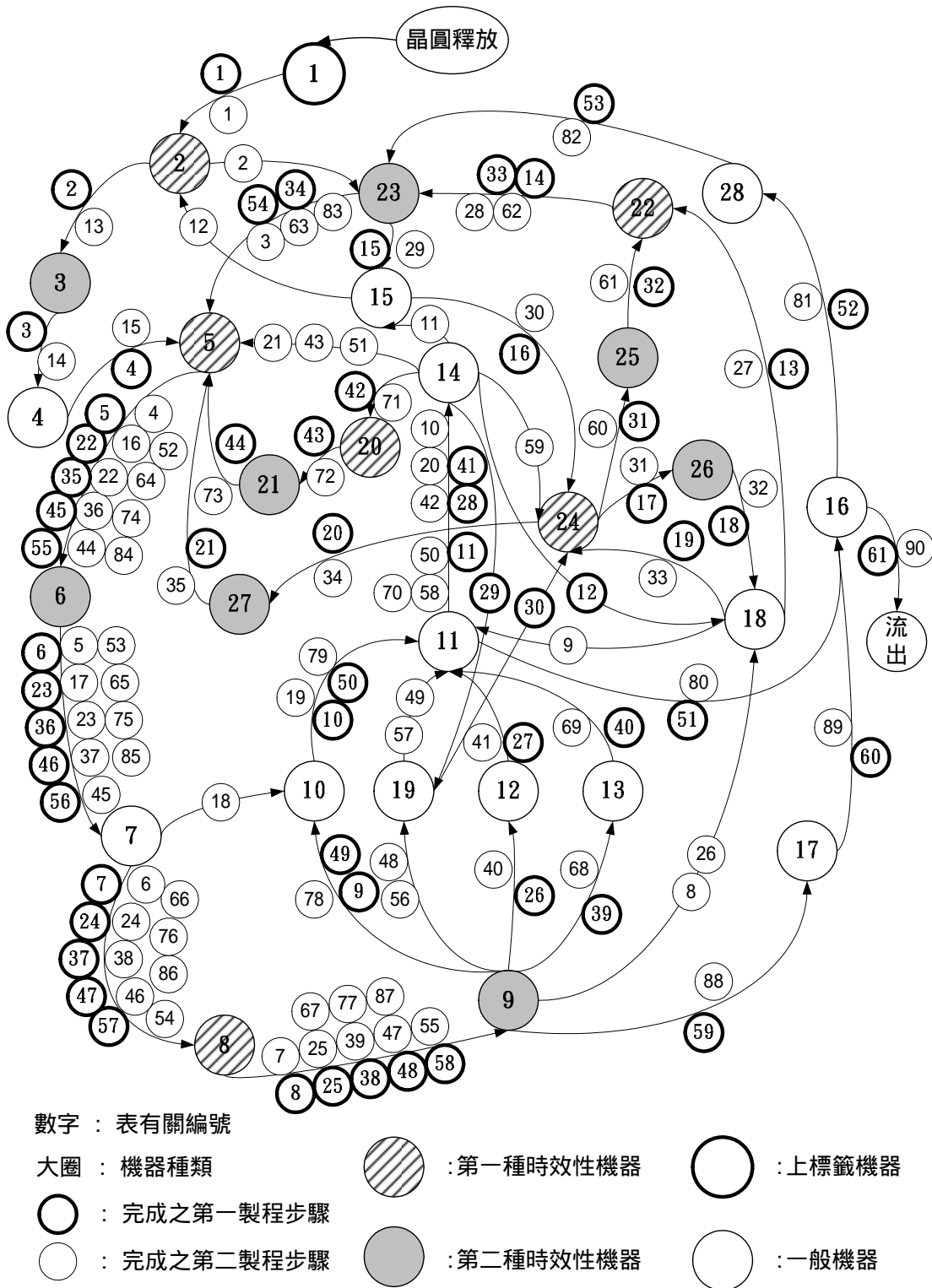


圖 2.4 雙製程加工步驟機器編號流程圖

### 第三章 原晶圓區間平穩差值作法

一般來講，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。以下引述分晶圓釋說法則，晶圓派工法則和等候理論上的優點等三個部分[31]，對先前研發的所謂自主性的晶圓區間平穩差值的流控設計作一介紹。

#### 第一節 晶圓釋說法則

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

圓歸屬編號  $n_m$  之訂單製程。

## 第二節 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。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。

$N_{i,j}$   $\equiv$  在製品中屬於  $i$  製程其正在進行或已完成步驟編號  $j$  加工作業之晶圓的合計批量值。

$\bar{N}_{i,j}$   $\equiv$  試圖均勻分散在製品於相關的製程理論加工時間區間上, 而定出希望  $N_{i,j}$  維持或接近的一個值; 此值等於  $N * (T_{i,j}) / (T_1 + \dots + T_n)$ 。

定義 3.4. 稱  $(\bar{N}_{i,j} - N_{i,j}) / T_{i,j}$  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說法則；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，若出現可能之間置(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可支援機器稱之。 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(28 機器完工晶圓超過滿載批量優先考慮之)。

#### 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，完工後需維修成為非可支

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為不可預測；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為非可支援機器

此機器若為未規劃機器，無修正的必要。若為未完成規劃機器，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。若為已完成規劃機器，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為新的可支援機器

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)為止；而時間點位居最後的已完成規劃機器，因指派內容消失(成為未完成規劃機器)，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。

### 第三節 等候理論角度之優點

#### A. 在製品參數的角色

Little's 公式 [4] :  $L = W$ ，此處  $L$  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。

## 第四章 改良的自主性派工設計

IC 製造，在製品於作業系統中流動，狀況多且複雜。第三章之晶圓區間平穩差值的派工順位的設計，有創意地以晶圓平均分散於製程各加工步驟之時間區間的想法，取代平均分散於各個工作站，執行不容易，但能有高產值的理想的目標。由於主觀地使用時間區間之在製品的配額引導流程，因此這種人為上的設限，類似採“圍堵法”築堤治水。以下分成構想與作法及系統表現數據兩部份，提出吾人兩種產值更佳，不作人為設限（全憑作業系統訊息），類似“疏濬法”治水的改良式的派工順位的設計。

### 第一節 構想與作法

局部區間平穩差值與製程點平穩差值是我們分別地給予這兩個作法的稱呼。

#### 4.1.1 局部區間平穩差值法

##### A. 構想

原晶圓區間平穩差值法，其製程時間區塊特殊配額的設計，涉及好幾個關連工作站之在製品的平均地分散，不容易都照顧得到。換個方式，單純地以擬派工工作站的不同加工步驟，其作業時間區間上，在製品的平均地分散作考量，訂定派工的順位，或能較具體地表現晶圓動線上之分散與平穩。這是此法的動機。

##### B. 作法

晶圓派工的次序：“等候晶圓數/作業時間”，值大者優先。

若同值，則以加工步驟編號在後，若又同值，訂單製程編號在前者有較高的順位（同加工步驟晶圓，先到者先作）。

註：上述商值大者，顯示時間區間上，相關步驟編號的在製品數較多，平穩流程考量，宜先疏解之。

#### 4.1.2 製程點平穩差值法

##### A. 構想

試著維持原晶圓區間平穩差值法之以加工步驟時間區間，取代各個工作站的平穩流程的想法。但換個角度，不考慮製程時間區間的長度，而視該時間區間為一個點（一個工作站）；再在這些作業點上提出壅塞疏解之派工順位的設計。

##### B. 作法

晶圓派工的次序：“等候晶圓數\*作業時間”，值大者優先。若同值，則以加工步驟編號後者，訂單製程編號前者方式決定優先的次序。

註：以上乘積值大者，顯示作業點相關加工步驟編號晶圓需要處理的工作量較大，平穩考量，先行疏解之。

## 第二節 系統表現數據

模擬相關的數據，將顯示上述的兩種改良式的派工順位的作法，

都優於先前之晶圓區間平穩差值法；而其中之製程點平穩差值法又比局部區間平穩差值法來得好。以下分三種作法數據比較和製程點平穩差值法評估兩個部份解說之。

#### 4.2.1 三種作法數據比較

分單製程（製程一和二）及雙製程系統三個表列（方便計，原晶圓區間平穩差值法簡稱平穩差值法）。

##### A. 表 4.1 單製程（製程一）作業系統模擬數據

(在製品參數 170，模擬天數 360 天，模擬次數 10 次，瓶頸為 22，23 時效機器組)

		製程一		
		平穩差值法	局部區間平穩法	製程點平穩法
生產週期時間	平均值	6.5536	6.6044	6.8355
	標準差	0.0314	0.0388	0.0282
23 工作站 產能利用率	平均值	0.9808	0.9881	0.9954
	標準差	0.0023	0.0022	0.0025
22 工作站 晶圓等候長度	平均值	65.536	61.915	67.048
	標準差	1.0831	1.3488	0.6048
釋放量	平均值	8871.3	8935.6	9004.0
	標準差	27.188	28.022	21.619
產出量	平均值	<b>8703.1</b>	<b>8767.2</b>	<b>8832.5</b>
	標準差	26.125	27.265	25.264

註：a. 產能利用率 = 機器使用率 / 理論最大使用率。

b. 表 4.1 顯示，就實驗性質製程一作業系統言，相較於（晶圓區間）平穩差值法之年產值，局部區間平穩法增加 0.74%，而製程點平穩法則增加 1.49%。



B. 表 4.2 單製程(製程二)作業系統模擬數據

(在製品參數 170，模擬天數 360 天，模擬次數 10 次，瓶頸為 2，23 時效機器組)

		製程二		
		平穩差值法	局部區間平穩法	製程點平穩法
生產週期時間	平均值	8.8984	9.0920	9.0903
	標準差	0.0281	0.0302	0.0313
23 工作站 產能利用率	平均值	0.9232	0.9364	0.9368
	標準差	0.0031	0.0032	0.0032
2 工 作 站 晶圓等候長度	平均值	60.202	50.706	55.131
	標準差	1.0498	1.6159	1.2470
釋 放 量	平均值	6468.2	6555.0	6558.3
	標準差	23.794	25.745	25.007
產 出 量	平均值	<b>6298.3</b>	<b>6384.4</b>	<b>6385.8</b>
	標準差	23.605	23.166	24.027

C. 表 4.3 雙製程作業系統模擬數據

(在製品參數 170，模擬天數 360 天，需求比 1:1，模擬次數 10 次)

			雙製程		
			平穩差值法	局部區間平穩法	製程點平穩法
生 產 時 間	製 程 一	平均值	5.0800	5.8864	5.9662
		標準差	0.1620	0.0649	0.0818
	製 程 二	平均值	10.438	9.6765	10.049
		標準差	0.1880	0.1141	0.1056
平 均 在 製 品 量	製 程 一	平均值	52.369	60.927	59.482
		標準差	1.8165	0.6502	0.7258
	製 程 二	平均值	111.11	101.96	103.40
		標準差	1.9220	0.9537	0.9357
釋 放 量	製 程 一	平均值	3706.8	3716.3	3748.1
		標準差	15.065	22.904	13.975
	製 程 二	平均值	3706.3	3715.9	3747.7
		標準差	14.994	23.123	14.007
產 出 量	製 程 一	平均值	<b>3652.3</b>	<b>3655.1</b>	<b>3689.6</b>
		標準差	14.050	26.950	14.746
	製 程 二	平均值	<b>3594.1</b>	<b>3609.7</b>	<b>3638.4</b>
		標準差	15.450	19.960	13.321

#### 4.2.2 製程點平穩法之系統評估

自主性之流控設計，其思維逆向於傳統的流控的作法。亦即先有現場流控的行為，後作資源規劃與生產管理方面的評估。前述的製程點平穩法為目前派工順位設計中之最佳者。其作業系統的評估，仿先前學長姊們所為，分在製品參數選取，機台數配置問題與訂單交期問題等三個部份改寫之（提供參考之用）。

##### 4.2.2.1 在製品參數選取

IC 廠於固定之機器台數的配置下，如何有好的產出量(throughput)是生產管理方面最重要的目標。由於產出量和生產週期時間及在製品水準有著相互消長厲害的關係，因此選取合適的在製品量及生產週期時間就成為高產能規劃方面的工作要點。我們的做法是由不同的在製品參數控制和表現不同的在製品水準，再經由模擬作業系統運作所得產出量和生產週期時間之數據決定合適之產能，以下的例子採用第二章作業系統模型，分別就在製品參數與產出量，與平均生產週期時間，以及與產出量和平均生產週期時間關係之圖表，解說如何規劃在製品參數使作業系統有高產能的可能的作法。

##### A. 在製品參數與產出量關係

表 4.4 在製品參數之平均年產值(10 次模擬製程一系統)

	在製品參數					
	N=50	N=80	N=110	N=140	N=170	N=200
平均在製品量	48.2	75.2	102.6	132.2	161.4	190.5
平均年產值	4080.2	6945.2	8298.8	8757.2	8758.58	8830.4

註：上表可見在製品參數增加，產出量增加。

## B. 在製品參數與生產週期時間關係

表 4.5 在製品參數之平均生產週期時間(10 次模擬製程一系統)

	在製品參數					
	N=50	N=80	N=110	N=140	N=170	N=200
平均在製品量	48.1	75.2	102.7	131.7	161.2	190.5
平均生產週期時間	4.1	4.0	4.6	5.6	6.7	7.9

註：上表可見在製品參數增加，生產週期時間增加。

## C. 在製品參數與平均產出量和生產週期時間關係

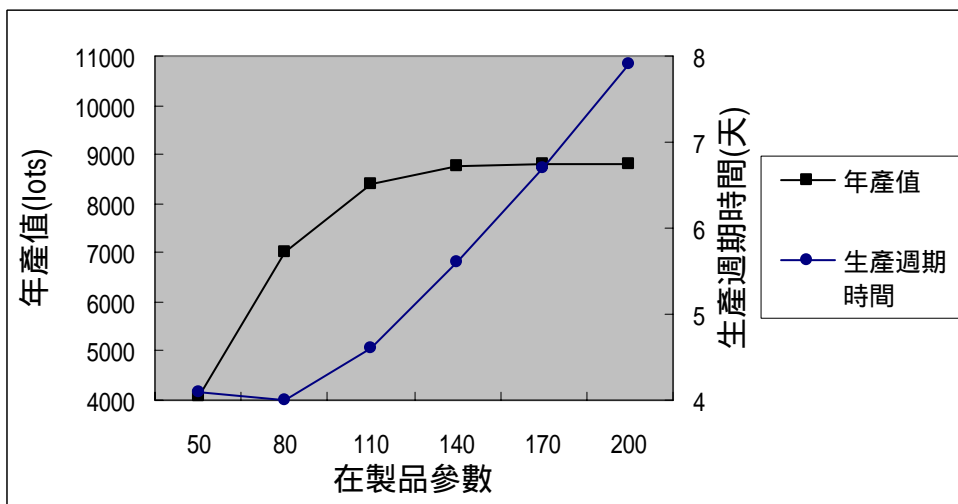


圖 4.1 在製品參數與平均產出量和生產週期時間關係圖

結論：由圖 4.1 可知，在製品參數的選取值為例如 170 有較合適之高的產能。

### 4.2.2.2 機器台數配置問題

IC 廠各種類機器的台數應該多少才恰當，是生產規劃或生產管理方面之相當困難的問題。我們的對策如下。首先，參考一般(典型)的製程，其加工步驟所需機器種類，一次最大作業批量和機器執行加工作業的總時間，而初步的配置不同種類之機器的台數。

(關於機器台數，請參考第二章之作業系統模型中的機器台數的配置)。其次，增減一些機台，取得對應之作業系統其高產能相關的一些模擬輸出數據。再由這些數據的研判，對機器台數配置作出可能的修正。以下表列吾人之作業系統，其增加一或兩台屬於瓶頸之 23 種類機器之產能相關模擬數據。

#### A. 原機台之作業系統

表 4.6 年產值相關數據(原機台)

(在製品參數 170，成品需求比 1:1，模擬次數 10 次)

		產出量	
		平均值	標準差
單製程	製程一	8832.5	25.2
	製程二	6385.7	24.0
雙製程	製程一	3689.6	14.7
	製程二	3638.4	13.3

#### B. 增加一台 23 種類機器之作業系統

表 4.7 年產值相關數據(增一台)

(在製品參數 170，成品需求比 1:1，模擬次數 10 次)

		產出量	
		平均值	標準差
單製程	製程一	10855.9	79.6
	製程二	7488.7	42.0
雙製程	製程一	4527.9	17.9
	製程二	4515.3	19.3

### C. 增加兩台 23 種類機器之作業系統

表 4.8 年產值相關數據(增兩台)

(在製品參數 170，成品需求比 1:1，模擬次數 10 次)

		產出量	
		平均值	標準差
單製程	製程一	11330.6	69.2
	製程二	7594.1	38.1
雙製程	製程一	4671.7	25.1
	製程二	4664.8	26.5

結論：根據上述表 4.6~表 4.8，新增一台有些幫助，而新增的第二台 23 種類機器的出現，對年產值並無太大的提昇，因此決策者可作出增加一台 23 種類機器的決定。

#### 4.2.2.3 訂單承接與交貨時間問題

如期交貨為製造業之服務品質方面的要點。訂購數量與交貨時間顯然相互影響，而其間的評估則屬於 IC 廠生產規劃之較為複雜的問題[14]。以下就第二章作業系統模型下之機器台數配置與製程，做承購數量固定之訂單交期的例子解說在製品分散流控技術之可能的作法。

##### 例題：承購固定數量訂單交期問題

假設製造系統(如前述之雙製程作業系統)，先處理之前的訂單，後處理目前的訂單；而先前訂單交貨的時間設其為  $T$ 。又設目前有兩訂單，分別欲訂購屬於製程一之 2500 和屬於製程二之 1500 單位晶圓的成品。試估算兩訂單可以一起交貨的時間。

對策：

1. 雙製程(製程一和二)模擬一年時間(成品需求比 5:3), 得到產  
出量為製程一 4794 lots, 製程二 2826 lots。

2. 再以比例分別算出大約時間,

製程一為  $360 * \frac{2500}{4974} \approx 187.7$  天, 製程二為  $360 * \frac{1500}{2826} \approx 191.1$  天

結論：新訂單的交貨時間為 T+192 天。

## 第五章 瓶頸決定產值論點之修正

“瓶頸決定產值”是製造系統方面常見的一個說法。例如所謂的限制理論[9][10]，認為生產線之產出率乃取決於限制資源的產出速度；因而強調瓶頸利用率極大化，或在瓶頸資源產能負荷前提下提出規劃與派工的作法。又例如避免飢餓法 (Starvation Avoidance)，其觀點為瓶頸資源是影響系統產出的關鍵因素，若系統欲維持高產出，則應防止瓶頸資源缺料等[5][14]。

以下將列舉一些不同的自主性 IC 製造之派工順位的作法，與其作業系統表現之模擬的數據。顯示前述 (第四章) 製程點平穩差值法之優於其它的方法。在此同時，我們有一個重要的發現，假設機台數固定，上述 IC 製造系統所謂瓶頸決定產值的說法是有爭議的。量產時，不同的流控設計都會讓作業相關之系統出現一些高壅塞的瓶頸，但卻有著不同的產出。因此，是流控設計而非瓶頸決定產值。分七種自主性派工策略和流控設計決定產值兩部份加以說明。

### 第一節 七種自主性派工策略

除了上一章提到的三種不同的有關於平穩流程之作法外，我們另介紹四種派工順位的設計如下 (第二時效性機器皆採規劃派工)。

#### 1. 先到先做 (FCFS) 法

構想：等候理論中最常見的方法。

作法：以等候區不同加工步驟編號各組，其首先進入機器等候區晶圓之時間為準，早到的該組晶圓優先派工。

## 2. 等候長度法 [12]

構想：以等候區各組批量晶圓之長度為指標。

作法：組之批量晶圓數（長度）大者，優先派工。

## 3. 時差法 [32]

構想：以輪流照顧各個組的方式，讓機器派工。

作法：檢視等候區各組，此次派工與上次派工時間之間距，大者優先。

## 4. 加速法 [33]

構想：促使晶圓加速流向瓶頸工作站，俾提高相關機器的使用率，某種“瓶頸決定產值”的觀點。

作法：考量等候區各組製程時間區間上之位置，離下一瓶頸工作站（或產出）近者，該組優先派工。

# 第二節 流控設計決定產值解析

分模擬數據與論點修正兩個部份。

## A. 模擬數據

上節提到的七種不同的派工順位的設計，其相關作業系統之模擬的數據如下表 5.1（原晶圓區間平穩差值法簡稱原平穩差值法）。



表 5.1 製程一單製程作業系統模擬數據

(在製品參數 170，模擬天數 360 天，模擬次數 10 次，瓶頸為 22，23 時效機器組)

策略	23 工作站 產能利用率	其平均等候 晶圓長度	年產值 ( 批量 )
FCFS 法	97.1%	59.88	8648.0
原平穩差值法	98.1%	65.54	8703.1
時差法	98.1%	63.91	8708.1
加速法	98.2%	62.34	8714.5
等候晶圓長度	98.3%	62.44	8729.7
局部平穩法	98.8%	61.91	8767.2
製程點平穩法	<b>99.6%</b>	<b>67.05</b>	<b>8832.5 (最佳)</b>

註：a. 模擬模型因當機維修因素，23 種類機器理論最大使用率為 90%

b. 產能利用率 = 機器使用率 / 理論最大使用率。

表 5.2 製程二單製程作業系統模擬數據

(在製品參數 170，模擬天數 360 天，模擬次數 10 次，瓶頸為 2，23 時效機器組)

策略	23 工作站 產能利用率	其平均等候 晶圓長度	年產值 ( 批量 )
FCFS 法	93.7%	44.56	6368.7
原平穩差值法	92.3%	60.20	6298.3
時差法	93.1%	52.72	6355.8
加速法	93.4%	46.45	6366.0
等候晶圓長度	92.2%	52.67	6288.6
局部平穩法	93.7%	60.71	6384.4
製程點平穩法	<b>93.7%</b>	<b>55.13</b>	<b>6385.8 (最佳)</b>

註：模擬模型因當機維修因素，23 種類機器最大使用率為 90%。

表 5.3 雙製程作業系統模擬數據

(在製品參數 170，模擬天數 360 天，模擬次數 10 次，瓶頸為 22，23 時效機器組)

策略	23 工作站 機器使用率	其平均等候 晶圓長度	製程一年產 值 ( 批量 )	製程二年產 值(批量)
FCFS 法	85.51%	36.23	3675.7	3637.9
原平穩差值法	84.46%	52.68	3652.3	3594.1
時差法	84.62%	48.03	3649.5	3608.1
加速法	85.27%	36.32	3674.7	3638.0
等候晶圓長度	83.91%	48.68	3616.3	3578.9
局部平穩法	84.69%	47.50	3655.1	3609.7
製程點平穩法	<b>85.41%</b>	<b>51.81</b>	<b>3689.6(最佳)</b>	<b>3638.4(最佳)</b>

註:加速法與 FCFS 法，瓶頸為 22，23 時效機器組，而其它各法之瓶頸為 2，23 時效機器組。

#### B. 論點修正

以上的數據顯示，機台數固定前提下，刻意地改善瓶頸機器的使用率（如加速法），就年產值言，並不如製程點平穩法等來得好。實際的情形應該是，量產時，各種派工順位策略下的作業系統，都會發生一些工作站之高度壅塞的現象。產值的提升不在於壅塞，而在於造成這些壅塞的流程控制設計。“瓶頸決定產值”的論點，可能引起一些誤解，我們建議以“流控設計決定產值”取代之。

## 第六章 模擬軟體介紹

模擬的軟體行數多，為了讓後續使用者容易瞭解和作修改，一方面我們引述將列舉各子程式的名稱及目的，並解釋各表列之屬性和有關的變數的意涵[23]。另一方面，特別地提供原先與變更碼之對照的加註的例子，解釋在新的派工構想提出時，如何變更一些程式碼；希望能節省使用者之摸索的時間。

### 第一節 子程式名稱及目的

本論文進行的為有關離散事件系統的模擬。以機器的作業、故障或閒置為其狀態。而狀態的變更構成事件[1]。以下為子程式名稱及目的表列與其流程圖。

A. 表 6.1 子程式名稱及目的

編號	子程式	目的
1	MAIN.FOR	負責整個資訊的輸入輸出及帶動子程式進行模擬的工作
2	ICFAB.DCL	公用變數的宣告
3	ICFAB.IN	相關資訊的輸入
4	DISPATCH.FOR	機器派工程式
5	MARKING.FOR	上標籤機器派工
6	JOBTYPE.FOR	決定所釋放晶圓之製程種類
7	CHKMARK.FOR	檢視機器等候區晶圓有無急件
8	MUTIWRK.FOR	一般機器派工程式
9	MULTIWRK2.FOR	第二種時效性機器之派工
10	DATA.FOR	資料寫入相關表格
11	NODELAY1.FOR	第一種時效性機器之派工
12	RETURN1.FOR	下一步驟過時效單位晶圓重返機器等候區
13	ASSGET.FOR	第一種類時效性機器之派工
14	GAINMACH.FOR	找尋某時段中可作業之第二種時效性機器

15	SORTIME.FOR	原機器等候區加以分類且置於暫存區(時效性機器)
16	SORTING.FOR	原機器等候區加以分類且置於暫存區(一般機器)
17	COUNTER	讀取理論晶圓進入時間
18	BACK.FOR	暫存區所留晶圓重返機器等候區
19	RETURN2.FOR	過時效單位晶圓重返上一步驟機器等候區
20	WORKDONE.FOR	機器完成加工後事件型態之更新
21	ENTERQUE.FOR	晶圓進入下一步驟機器等候區並引發其派工
22	STEPQU.FOR	分開計算機器等候區之不同種類晶圓
23	ORIGMACH.FOR	原機器之派工
24	LASTMACH.FOR	引發前一製程機器之派工
25	MARKMATH.FOR	引發上標籤機器之派工
26	REMAINT.FOR	計算機器仍然可以作業的時間
27	MENDDONE.FOR	機器修復後事件型態之更新
28	REPORT.FOR	模擬終止時之報告

**編號 支援程式庫 目的**

29	FILE.FOR	資料存入表列中
30	REMOVE.FOR	資料從表列中取出
31	INITLK.FOR	設定初始值
32	TIMING.FOR	事件更新時型能與時間之確認
33	SAMPST.FOR	計算晶圓延誤的時間
34	TIMEST.FOR	計算機器使用率
35	FILEST.FOR	計算等候晶圓的數目
36	OUTSAM.FOR	對 SAMPST.FOR 最後結果作輸出(晶圓延誤時間)
37	OUTTIM.FOR	對 TIMEST.FOR 最後結果作輸出(機器使用率)
38	OUTFIL.FOR	對 FILEST.FOR 最後結果作輸出(等候晶圓數目)
39	RAND.FOR	製造亂數
40	EXPON.FOR	製造指數隨機數
41	MAKECOUNT.FOR	寫出加工步驟區間理論晶圓數

**B. 子程式流程圖**

我們分事件流程與程式流程兩部分予以說明。

**a. 事件流程**

圖 6.1 機器狀態改變流程描述作業系統事件的更新的情形。

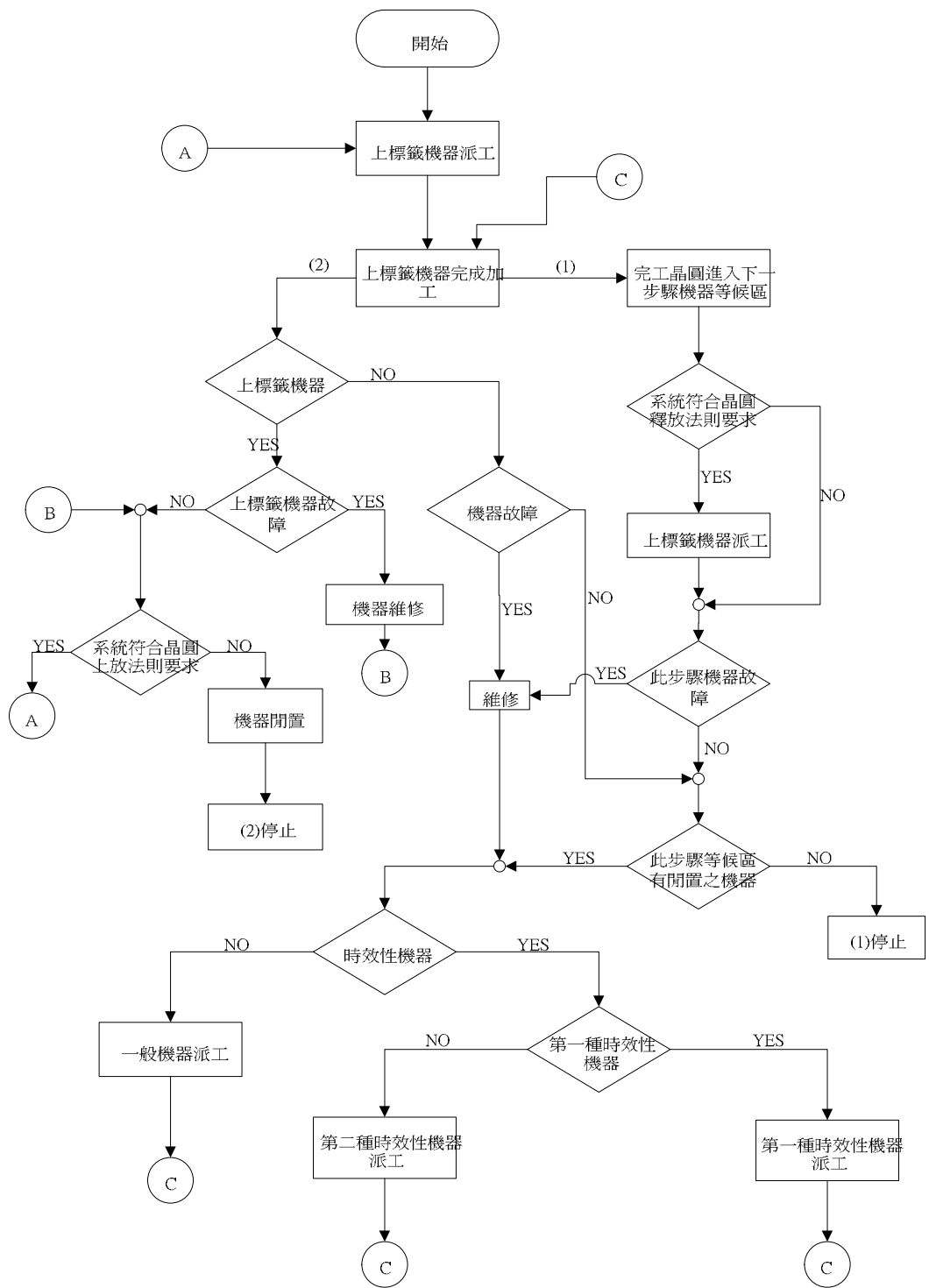


圖 6.1 機器狀態改變流程

## b. 程式流程

圖 6.2 模擬程式流程，標示各子程式間的互動的關係（加重黑框者為派工順位作法變更時，程式碼需要修改之處）。

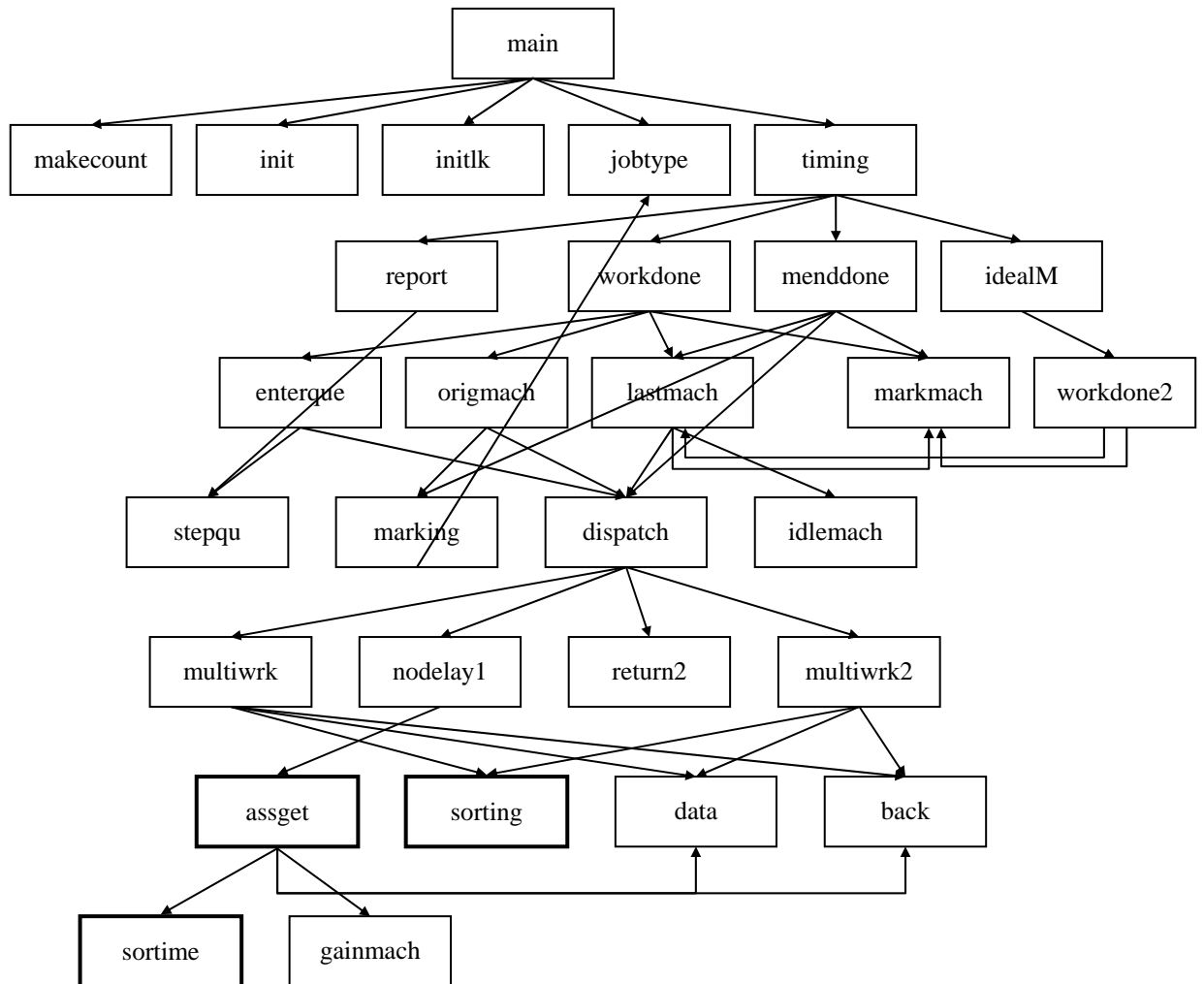


圖 6.2 模擬程式流程圖

## 第二節 各表屬性和變數說明

為了讓讀者能夠較容易閱讀程式，我們製作表 6.2 和表 6.3 分別說明各表之屬性及程式相關的一些變數的意義。

A.表 6.2 各表屬性意義

表	1 到 28 等候區	29 到 56 機器狀態	57 到 84 加工作業	85 到 89 派工暫存 (晶圓分類)	90 派工暫存 (特殊分類)	95 事件表
屬性 1	晶圓進入等候區時	那部機器	那部機器	晶圓進入等候區時間	那部機器	事件時間
屬性 2	晶圓所屬訂單種類	機器狀態 0 閒置 1 作業 2 故障	晶圓所屬訂單種類	晶圓所屬訂單種類	機器狀態 0 閒置 1 作業 2 故障	事件狀態 1 完成加工 2 完成修復 3 模擬結束
屬性 3	晶圓所屬製程步驟	剩餘可作業時間或何時修復	晶圓所屬製程步驟	晶圓所屬訂單種類	剩餘可作業時間	機器種類 (1 到 28)
屬性 4		何時完工或			何時完工	那部機器
屬性 5	1 急件 0 非急件		指定之第二種時效性機器	1 急件 0 非急件		
屬性 6			晶圓時效截止時間			
屬性 7	規劃給某第二種時效性機器	被規劃之加工製程步驟	晶圓進入第二種時效性機器等候區的	規劃給某第二種時效性機器	被規劃之加工製程步驟	
屬性 8	晶圓時效截止時間	規劃晶圓之時效時間	晶圓進入第一種時效性機器等候區的	晶圓時效截止時間	規劃晶圓之時效時間	
屬性 9	晶圓進入系統時間	被規劃之單位晶圓	晶圓進入系統時間	晶圓進入系統時間	被規劃之單位晶圓數目	
屬性 10						
屬性 11	0 一般晶圓 1 已規劃 3(28)標記		0 一般晶圓	0 一般晶圓	1 已規劃 3(28)標記	
屬性 12	派工判別之值	派工判別之值	派工判別之值	派工判別之值	派工判別之值	

B. 表 6.3 變數意義

編號 變數 意義

1	Abc(100)	傳遞變數
2	Cmach(28)	各機器的 capacity(一次可做的片數)
3	Delay	晶圓延誤的時間(局部)
4	Fstep(61)	第一種製程之各步驟等候晶圓
5	Fstep2(90)	第二種製程之各步驟等候晶圓
6	Group(28)	機器種類
7	Index	ngroup+jobtype
8	jbun(3)	jbun(1)=28*6=168
9	job(28)	57~84 表
10	jobtq	製程種類(歸劃)
11	jobtyp	製程種類(加工中)
12	ldecr	資料遞減方式加入
13	levent	95
14	lfirst	資料從頭方式加入
15	lincr	資料遞增方式加入
16	llast	資料從尾方式加入
17	loop	循環模擬次數
18	lsize(110)	表的大小
19	mac(1~28)	machine mean repair time
20	mac(29~56)	machine mean working time (in hour)
21	machi(i)	第 i 位機器之編號
22	maxa	被設成常數 5000
23	maxatr	trnsfr 的個數
24	maxw(group)	該製程之最大加工時間
25	mi(i)	第 i 順位機器尚需規劃之單位晶圓數
26	minw(group)	該製程之最小加工時間
27	mtask(i)	第 i 順位機器上次規劃的加工步驟編號
28	mwt	機器剩餘可作業時間
29	next	下一事件 1 表進 2 表出
30	nextjob(3,28,L)	機器在該製程被用到第 L 種的步驟
31	ngroup	機器種類數量(28)
32	ngtp(28)	該機器被幾個步驟用到
33	ntasks(2)	各製程的步驟數
34	ntypes	製程數
35	number	56



36	nwafer(2)	各製程之成品數
37	orimachs	各種機器的台數
38	pic1~pic2	規劃的晶圓數
39	piece	進入系統的晶圓數
40	qa~qf	85~90
41	qg~qj	91~94
42	queue	等候暫存(qa~qj)
43	random1	隨機數
44	random2	隨機數
45	remach	29~56
46	route(2,90)	該製程步驟所用之機器
47	rswork	machine percentage of work
48	sertime(3,61)	各製程步驟所需加工的時間
49	simtime	模擬時間(360)
50	stime	某一製程步驟的加工時間(sertime)
51	stintval(61,61)	第一種製程之任兩步驟間之理論時間
52	stintval2(90,90)	第二種製程之任兩步驟間之理論時間
53	sum	理論上模擬一片所須的時間
54	task	製程步驟
55	taskq	下一步驟，也有表該步驟的
56	time	目前時間
57	timeq	晶圓進入等候區的時間
58	tnwafer	兩種製程之成品總數
59	trnsfr(10)	表之屬性
60	totaltaskT( I )	I 製程步驟時間總和
61	ncount(I,J)	I 製程 J 步驟理論晶圓量
62	ncountr(I,J)	I 製程 J 步驟實際晶圓量
63	nssystem	系統晶圓參數

### 第三節 派工相關子程式之加註

以下將等候長度，區間平穩差值和製程點平穩差值三個不同派工順位之作法其關連的子程式碼列出、加註並予對比（方括弧標誌）。分 subroutine sortime，subroutine sorting 和 subroutine multiwrk2 三個子程式的部份說明之。

### 6.3.1 派工子程式比對及註解

#### A. 時效性機器求值子程式加註

```
*****
* 時效性機器
*****
      Subroutine sortime(group)
      Include 'ICFAB.DCL'
      Integer I,j,group,jobtq,taskq,temp
      real    x,y,samet1(5),sameg(5),samet2(5)

      do i=1,5
        samet1(i)=0
        sameg(i)=0
        samet2(i)=0
      enddo
*****
* 增加的程式碼(2001); 可做到first in, first out
*****
      lrank(group)=9 !以晶圓進入系統時間作排序之動作
      if(lsize(group).gt.0)then
        temp=lsize(group)
        do i=1,lsize(group)
          call remove(lfirst,group)
          call file(llast,85)
        enddo
      endif
      if(lsize(85).gt.0)then
        do i=1,temp
          call remove(llast,85)
          call file(lincr,group)
        enddo
      endif
*****
      if(lsize(group) .gt. 0)then
        do I=1,lsize(group)
          call remove(lfirst,group)
          if(trnsfr(11)==1)then
            call file(llast,90)
          else
            jobtq=trnsfr(2)
            taskq=trnsfr(3)
            if((group .eq. 2) .and.(taskq .eq. 2)) then
              trnsfr(9)=trnsfr(1)-30
            endif
            x=(ncount(jobtq,taskq)-0.0)
            y=ncountr(jobtq,taskq)-ncountr(jobtq,ntasks(jobtq))
            ( trnsfr(12)=(x-y)/(ta(jobtq,taskq)*zz(jobtq)) )
          if(jobtq==1)then
            trnsfr(12)=fstep(taskq)*sertime(jobtq,taskq)
          else
            trnsfr(12)=fstep2(taskq)*sertime(jobtq,taskq)
          endif
        )
      endif
*****
```

等候區有晶圓

已規劃

機器為第二台步驟為2

區間平穩差值法派工判斷之值

製程點平穩差值法派工判斷之值



\*\*\*\*\*23 機器等候區中以 28 機器過來的晶圓優先加工

```

if(group==23)then
    if(lsize(23)>0)then
        do i=1,lsize(23)
            call remove(lfirst,23)
            jobtq=trnsfr(2)
            taskq=trnsfr(3)
            upgroup=route(int(jobtq),int(taskq-1))
            lrank(90)=12
            if(upgroup==28 )then
                trnsfr(11)=3
    
```

機器是第 23 台  
第 23 台第候區有晶圓

前一步驟機器是第 28 台

( trnsfr(12)= (x-y)/(ta(jobtq,taskq)\*zz(jobtq)) )

區間平穩差值法派工判斷之值

( if (jobtq .eq. 1) then  
trnsfr(12)=fstep (taskq)\*sertime(jobtq,taskq)  
else  
trnsfr(12)= fstep2 (taskq)\*sertime(jobtq,taskq)  
endif )

製程點平穩差值法派工判斷之值

( if(jobtq .eq. 1)then  
trnsfr(12)=fstep(taskq)  
elseif(jobtq .eq. 2)then  
trnsfr(12)=fstep2(taskq)  
endif )

等候長度法派工判斷之值

```

call file(ldecr,90)
    else
        call file(llast,23)
    end if
end do
end if
end if

```

\*\*\*\*\*

```

if(lsize(group) .gt. 0 )then
    do I=1,lsize(group)
        call remove(lfirst,group)
        jobtq=trnsfr(2)
        taskq=trnsfr(3)
        x=(ncount(jobtq,taskq)-0)
        y=ncountr(jobtq,taskq)-ncountr(jobtq,ntasks(jobtq))
    
```

等候區有晶圓

( trnsfr(12)= (x-y)/(ta(jobtq,taskq)\*zz(jobtq)) )

區間平穩差值法派工判斷之值

( if (jobtq .eq. 1) then  
trnsfr(12)=fstep (taskq)\*sertime(jobtq,taskq)  
else  
trnsfr(12)= fstep2 (taskq)\*sertime(jobtq,taskq)  
endif )

製程點平穩差值法派工判斷之值

( if(jobtq .eq. 1)then  
trnsfr(12)=fstep(taskq)  
elseif(jobtq .eq. 2)then  
trnsfr(12)=fstep2(taskq)  
endif )

等候長度法派工判斷之值

```

do j=1,5
  If((sametime(j)==sertime(int(jobtq),int(taskq))) .or.
& (sametime(j)==0))then
    sametime(j)=sertime(int(jobtq),int(taskq))
    call file(ldecr,85+j-1)
    exit
  end if
end do
end do
end if
return
end

```

### C. 機器派工子程式加註

```

Subroutine multiwrk2(group)
Include 'ICFAB.DCL'
Real large
Integer I,j,k,group
real countcom(6)
large=-1000.0
call sorting(group)

```

```

do i=1,6
countcom(i)=-1000.0
end do

```

```

do i=1,5
  if(lsize(85+i-1) >=cmach(group)) then          滿載
    call remove(lfirst,85+i-1)
    countcom(i)=trnsfr(12)+9
    trnsfr(12)=trnsfr(12)+9
    call file(ldecr,85+i-1)
  else
    countcom(i)=-1000.0
  end if
end do
lrank(90)=12

```

```

if(lsize(90)>=6)then                               第 23 機器滿載
call remove(lfirst,90)
if(trnsfr(11)==3)then                               晶圓是第 28 台過來的
(
  countcom(6)=trnsfr(12)+50
  trnsfr(12)=trnsfr(12)+50
)                                                    28 台過來晶圓優先
(
  countcom(6)=trnsfr(12)+9
  trnsfr(12)=trnsfr(12)+9
)                                                    28 台過來晶圓沒優先

call file(ldecr,90)
end if
else
countcom(6)=-1000.0
end if

```

```

do j=1,6
  if(countcom(j)>=large)then

```

```

        large=countcom(j)
    else
        large=large
    end if
end do
IF(large .EQ. -1000.0)THEN
    TRNSFR(1) = MACH
    TRNSFR(2) = 0.0
    TRNSFR(3) = MWT
    TRNSFR(4) = 0.0
    CALL FILE(LLAST,(NGROUP+GROUP))
else
    do k=1,6
        if(lsize(85+k-1)>0)then
            call remove(lfirst,85+k-1)
            call file(ldecr,85+k-1)
            if(large .eq. trnsfr(12)) then
                call data(85+k-1,group)
                exit
            end if
        end if
    end do
end if

call back(group)
return
end

```

} 機器閒置



## 第七章 結論

逆向於傳統之規劃與控制的架構，本論文繼續先前某系列，有關於 IC 製造之自主性的現場流控技術的研究。重點有三。

其一，針對之前晶圓區間平穩差值法的流程控制的設計，我們（於第四章）提出兩種改良式之產值更佳，分別稱之為“局部區間平穩差值”和“製程點平穩差值”法的派工順位的設計。以實驗性質製程一為例，其單製程作業系統的年產值，前者增加了 0.74%，而後者則增加 1.49%。

其二，為了顯示“製程點平穩差值法”之優於一般可以想到的其它自主性之派工順位的設計，我們列舉一些不同的流控的作法，並以相關作業系統之模擬的數據証實之。在此同時，有一個重要的發現，機台數固定的前提下，IC 製造系統所謂“瓶頸決定產值”的說法是有爭議的。我們用模擬的數據證明是流控設計，而非瓶頸決定產值（第五章）。

其三，我們對模擬軟體作簡介，同時表列指出，當新的派工作法提出時，如何更改一些相關的程式碼。這會節省未來使用者的摸索的時間（第六章）。

之後的研究，可以包括是否存在比目前提出的更佳之自主性的派工的設計；及以模擬的某些簡單的數據為基礎，尋找數學估算方面的式子，俾加快系統量測值之評估的速度等。值得有興趣的讀者一試。

## 參考文獻

- [1] A. M. Law, and W. D. Delton, Simulation modeling and Analysis, 3<sup>rd</sup> ed., McGraw-Hill, Inc., 2000.
- [2] Bauer, A., Bowden, R., Browne, J., Duggan, J., and Lyons, G. (1991), Shop Flow Control Systems: from design to implement, Chapman &Hall, U.S.A.
- [3] Chu, S. C. K. (1995) “A mathematical programming approach towards optimized master production scheduling,” International Journal of Production Economics, vol. 38, pp. 269-270.
- [4] Cooper, R. B. (1981) Introduction to queueing theory, 2<sup>nd</sup> edition, North Holland, New York.
- [5] Glassey C. R. and M. G. C. Resende, “Closed-loop Job Release Control for VLSI Circuit Manufacturing,” IEEE Trans. Semi. Manu., vol. 1, pp. 36-46, Feb. 1988.
- [6] Guerrero, H. H. (1991) “Demand management strategies for assemble-to-order production environments”, International Journal of Production Research, 29(1), pp. 39-51.
- [7] 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, vol. 29, no. 10, pp. 2043-2055.
- [8] 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, vol. 9, no. 2, pp. 257-269
- [9] Lee, T. N., and Plenert, G., “Optimizing theory of constraints when new product alternatives exist,” Production and Inventory Management Journal, 34(3),51-57, 1993.



- [10] Luebbe, R., and Finch, B., "Theory of constraints and linear programming: a comparison," International Journal of Production Research, 30(6), 1471-1478, 1992.
- [11] Semiconductor manufacturing technology workshop, Mar. 22-26, 1993 / Hsinchu, Taiwan, R.O.C.
- [12] S. Li, An Introduction to Basic Principles of Production, Semiconductor Manufacturing Technology Workshop, Hsinchu, Taiwan, R.O.C., March, 1993.
- [13] Vollmann, T. E., W. L. Berry, and D. C. Whybark, Manufacturing Planning and Control Systems, Richard D. Irwin, Inc., 1992.
- [14] Wein, L. M. (1988), 'Scheduling semiconductor wafer fabrication', IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing 1/3, 115-130.
- [15] 陳士傑，整批作業之積體電路製造系統分析，東海大學碩士論文，中華民國，1993.
- [16] 鄭文雄，積體電路製造流程之長期評估 I，東海大學碩士論文，中華民國，1994.
- [17] 陳賜財，積體電路製造流程長期評估理論之模擬，東海大學碩士論文，中華民國，1995.
- [18] 李良峰，積體電路製造流程之長期評估 II，東海大學碩士論文，中華民國，1996.
- [19] 施盈志，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，中華民國，1996.
- [20] 鄭照明，「晶圓廠交期指定模式之構建」，交通大學碩士論文，中華民國，1996.
- [21] 黃琮逢，自發性生產排程之製造系統，東海大學碩士論文，中華民國，1997.

- [22] 廖建智，有關 IC 製造系統之流控技術，東海大學碩士論文，中華民國，1998.
- [23] 杜瑩美，晶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，中華民國，1999.
- [24] 陳宗賢，積體電路製造系統模擬程式之研究，東海大學碩士論文中華民國，1999.
- [25] 陳峰森，多製程特殊 IC 製造系統的模擬與解析，東海大學碩士論文，中華民國，2000.
- [26] 王朝慶，區間平穩流控設計下的 IC 製造系統，東海大學碩士論文，中華民國，2000.
- [27] 李綜益，IC 廠於晶圓區間平穩差直流控技術下之作業系統評估，東海大學碩士論文，中華民國，2002.
- [28] Hong Xiao 原著；羅正忠，張鼎張譯，半導體製程技術導論，台灣培生教育出版，中華民國，2002.
- [29] 盧俊杰，IC 製造主導生產計畫之投料及派工技術，東海大學碩士論文，中華民國，2004.
- [30] 張菱如，IC 製造在製品分散之技術，東海大學碩士論文，中華民國，2004.
- [31] 劉力，積體電路晶圓製造逆向思維之規劃與控制技術，東海科學中華民國，2005.
- [32] 陳錫輝，IC 製造維持在製品平均分散於工作站的流控技術，東海大學碩士論文，2006.
- [33] 許富楠，IC 製造加速晶圓流向瓶頸區的流程控制設計，東海大學碩士論文，2007.