

晶圓凸塊廠派工法則之研究

- 以日月光半導體股份有限公司為例

A Study of Dispatching Rule in Wafer bumping Factories
- Using the Example of Advanced Semiconductor Engineering

方正中 ¹ 南台科技大學工業工程學系 jjfang@mail.stut.edu.tw	羅國寶 ² 南台科技大學工業工程學系 m9050302@webmail.stut.edu.tw
---	--

摘要

本研究針對日月光半導體晶圓凸塊(Wafer Bumping)12吋廠Solder B區之瓶頸機台的派工問題，改善生產系統之整體績效，日月光半導體公司在設備支出緊縮政策下，本研究希望依現有資源，找出最適當的派工。日月光半導體發展晶圓凸塊CIM建置，其中FactoryWork系統在派工使用方面，只能對產品的到站時間、交期等功能做排序，並沒有像模擬可做事先的規劃與評估，本研究借由模擬找到最佳的派工，應用在FactoryWork系統上。由於Bumping 12吋廠的Solder B區派工受限於製程回流的問題、不同客戶的產品有不同製程途徑、及回流作業時機台整備置換時間(Setup time)非常冗長等因素考量下，增加生產管理人員派工的複雜性，本研究主要是實際至生產線現場收集相關的數據資料，再利用eM-plant軟體建立模擬模式，然後透過實驗設計找出最大產出量的派工。

關鍵字：晶圓凸塊(Bumping)、回流作業(Reentry)、整備置換(Setup)

Abstract

This research studies the application of object-oriented simulation with animation to analyze and improve dispatching for Solder B area in wafer bumping factories. The solder B area dispatch confined difference routing, reentry and machine setup for long time. The eM-Plant simulation software is selected to develop a simulation model of the wafer bumping factories, and experimental design is conducted. The dispatch of descum; reflow dispatching and strip dispatching are used as input factors. Performance measures considered in the study are output of wafers. The goal of the study is to determine the optimal dispatching for decision variables through experimental design.

Keywords : Bumping, Reentry, Setup

1. 導論

林於杏(2003)半導體工業是一個資本密集與技術密集兼具的產業，已成為國內目前最具競爭力的產業，也是臺灣高科技發展的重點產業之一，其在我國產業結構的角色亦日形重要。一般半導體製造流程可分五大步驟，即電路設計、晶圓、光罩製作、晶片製造以及晶片封裝，如圖 1 所示。電路設計的主要資源在於電腦輔助設計設備及設計師的腦力；當完成電路設計後，接著製成光罩模，再配合晶圓材料進行

晶片製造，晶片製造是一段非常精密且複雜的製程，晶片完成後，最後的步驟才是進行晶片的封裝及測試，其中封裝即屬半導體製造之後段製程。

高瑞鴻(2003)近幾年來封裝技術的演變主要包括封裝基礎由以往的導線架(Lead frame)朝向基板(Substrate)封裝；而封裝型式則由外接打線方式(Wire Bond)轉向內接的覆晶式(Flip Chip)封裝與植凸塊(Bumping)方式。晶圓凸塊(Wafer Bumping)是覆晶封裝必要的製程，隨著覆晶技術(Flip Chip)在全球半導體市場的重要性日增，對於晶圓凸塊技術需求也相對增加。晶圓凸塊是指在晶粒還在晶圓上時，在晶粒上製造凸塊與覆晶球下金屬層(Under-Bump metallization)，這是一種特殊的製程，也是覆晶的關鍵技術。沒有了凸塊，覆晶就無法完成電力接駁，其中晶圓凸塊，也是本研究的主要部份。

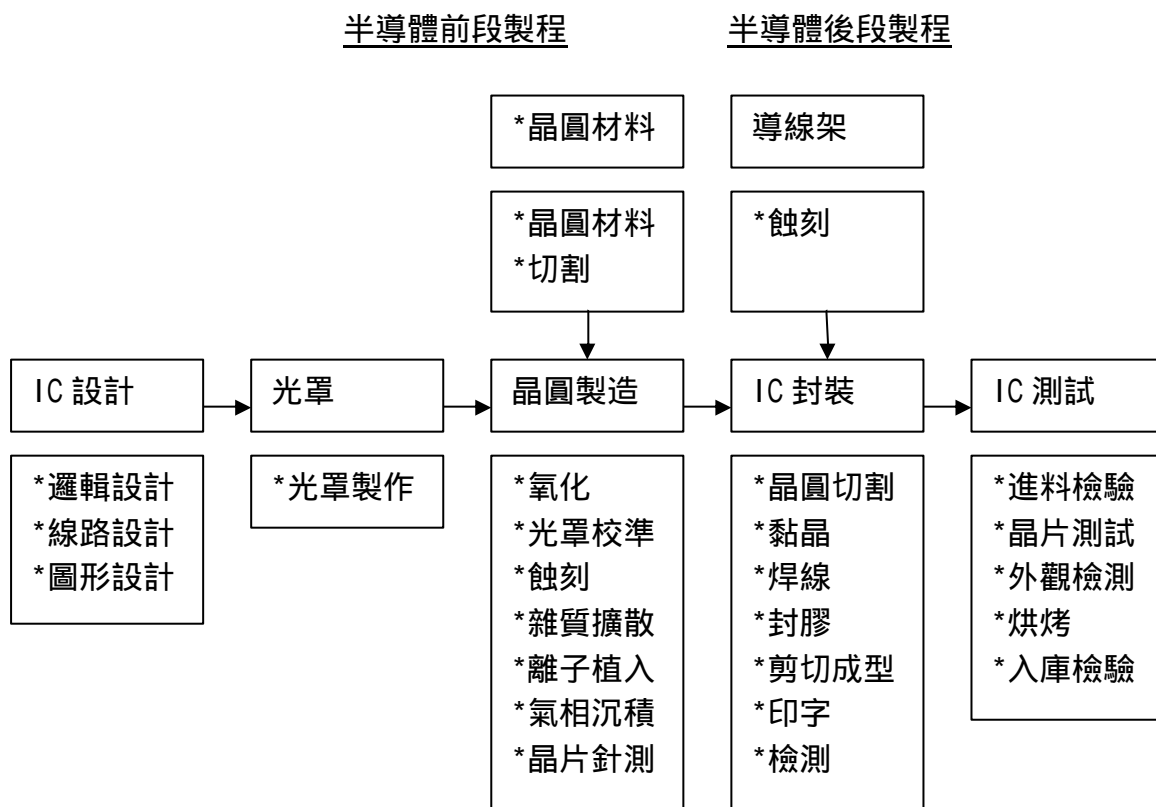


圖 1 半導體製程之簡介

資料來源:工研院電子 IT IS 計劃(Jun. 1998)

CNET 新聞專區報導(2001)康柏電腦和日月光半導體製造公司(ASE)於2001年已達成新一代晶圓凸塊(Wafer bumping)的 CIM 建置。康柏電腦運用 FactoryWork 軟體方案配備 TruCluster 的 AlphaServer 主機以及專業服務團隊，協助日月光建置新型態晶圓凸塊和封裝測試工程，FactoryWork 系統的建立減少人為錯誤，提高良率和提供即時便利管理能力，但 FactoryWork 系統並無法像模擬軟體一樣，對產出量、達交率等做事前的績效評估。

2. 文獻探討

2.1 模擬應用於生產製造相關文獻

模擬應用在生產製造至今已有相當的歷史，模擬技術對於生產製造是一套有效的預測及評估系統工具，運用模擬技術來模擬整個製造環境運作的情形，以測試不

同情境的績效。國內外應用模擬技術於生產製造問題之相關文獻計有 Deosthali 與 Gardel(1990)、Cochran 與 Lin(1992)、Mehmet(1997)、Mazziotti 與 Home(1997)、Can(1997) Brun 與 Portioli(1999) Da Silva(2001)、Musselman(2002)、Padberg(2002)、Gupta(2002)、蘇仁傑(1999)、曾珞萍(1999)、徐政宏(2000)、陳湘琴(2001)、曾毓文(2001)、周書賢(2001)、洪睿俊(2003)、張逸輝(2003)、陳邑鑫(2003)、賴勇見(2004)、蔡永傑(2004)等。

從中外各學者的研究文獻中，發現利用模擬方法對於解決各生產製造問題，無論是生產型態(流線型工廠、零工型工廠、開放型工廠)上的差異或是機台性能(等效、非等效、非相關)的不同，抑或是應用在不同產業類型，模擬系統模式都有不錯的績效與表現。在多變的生產環境中進行生產相關問題，模擬工具提供一個試驗平臺，可以透過多方案的比較或是預期狀況的模擬，不必冒著實際進行而遭受失敗的風險，提供決策者在進行決策或擬定改善方案時作為參考。

2.2 工作指派法則探討

派工法則(Dispatching)主要是在訂單中將作業優先順序指派給適當的機器操作，提供每一機台下一加工作業的選取決策，常用的派工方法，如表 1 所示。Blackstone (1982)認為在多變的生產系統下，沒有一種派工法則會絕對優於另一法則，且派工法則對系統表現的影響與系統本身的狀況有密切的相關。在不同的績效評量指標下，同一派工法則的績效表現可能會有很大差異，因此各個工廠可能視本身管理上的要求而選擇最適的法則來進行派工。

表 1 派工法則

FIFO (First In First Out)	依工件到達工作站的先後順序決定，最早到達者優先進行加工
RANDOM (Random)	利用亂數選取優先加工之作業
EDD (Earliest Due-Date)	選擇交貨日期越早者，越優先加工
SPT (Shortest Processing Time)	工件的加工時間越短者優先處理
SLACK (Minimum Slack Time)	交貨日期與現在時間的差值減去剩餘總加工時間，相較最小者優先處理
SLACK/OPN (Slack Per Remaining Operations)	交貨日期與現在時間之差減去剩餘總加工時間除以剩餘加工步驟數，所求的值越小者越優先處理
CR (Critical Ratio)	交貨日期減去現在時間的差值除以剩餘總加工時間，所求得之值越小者越優先處理
SR (Shortest Remaining Processing Time)	未完作業時間加總越短者，越優先處理
LR (Longest Remaining Processing Time)	未完作業時間加總越長者，越優先處理
COVERT (Cost of Earliness & Tardiness)	提早/延誤成本法， $z = \text{工件 } i \text{ 期望提早/延誤成本} / \text{工件 } i \text{ 在設備 } j \text{ 所需的加工時間}$ ，選取具最大 z 值者優先處理
PRI(Priority)	最高優先順序，即作業優先順序最高先處理。
LSF (Last Station First)	回流製程中越後面站別，越優先處理
FOPR (Fewest Operation Remaining)	未完成作業個數越少者，越優先處理
MOPR (Most Operation Remaining)	未完成作業個數越多者，越優先處理

資料來源: 陳邑鑫，考慮瓶頸作業下的排程方法，碩士論文(2003)。

3. 研究方法

3.1 晶圓凸塊製造流程介紹

整個晶圓凸塊流程分為七個區其分別為，第一區進料檢驗區(Incoming)，首先把客戶送來的 Wafer 檢查是否有刮傷或損壞，以便完成製程後釐清客戶或製程中造成缺點。第二區濺鍍區(Sputter)使用濺鍍機台在 Wafer 表面鍍上一層鋁、鎳鈦、銅之 UBM，作為錫球與客戶端鋁墊的連接之用。一般而言上 UBM 的方法大致可分為，蒸鍍(Evaporated UBM)、濺鍍(Sputtered UBM)、無電電鍍(Electroless UBM)。第三區正型黃光區(Coater)，主要是上一層光阻 PR (Photo resist)接著進行曝光、顯影的程式。第四區蝕刻區(Etch)這一站是利用蝕刻機將沒被 PR 保護的 UBM 蝕刻去除，接著進光阻剝離機將未被曝到光的 UBM 上的 PR 剝離，最後得到欲留的 UBM。第五區凸塊 A 區(Solder A)在 Wafer 表面上一層乾膜，其目的是用來增加錫膏量。第六區凸塊 B 區(Solder B)，先用電漿機把殘留的其他雜質清除乾淨，經過印刷錫膏，再過重流爐，接著酸洗去除乾膜，然後上助焊劑，再酸洗去除助焊劑。第七區外觀檢驗區(Final)檢查 Wafer 上的錫球高度、推球值、阻值是否在規定標準之內。

3.2 晶圓凸塊 Solder B 區製造流程、機台作業、整備換置時間介紹

晶圓凸塊 B 區(Solder B)為本研究的重點所在，BW 產品在此區製造流程經過四個機台六個步驟如圖 2，經過站點順序為 DESCUM 790 站 PRINT 810 站 REFLOW 820 站、STRIP 830 站、REFLOW 850 站、STRIP 860 站。790 站使用電漿去除機，去除殘留餘膜，810 站使用錫膏機，以印刷方式將錫膏填入晶圓上的 UBM，820 站經過重流爐，使得填入晶圓上 UBM 的錫膏加熱形成錫球，830 站進化學槽洗掉乾膜，850 站上助焊劑，以增加錫球黏著力使錫球變的更圓，後至 860 站化學槽洗掉助焊劑，完成晶圓凸塊 B 區(Solder B)製造流程。

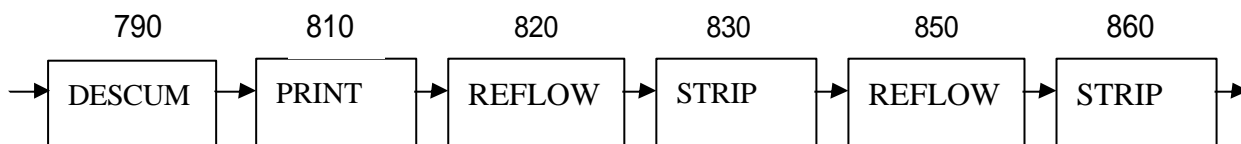


圖 2 BW 產品 Solder B 製造流程

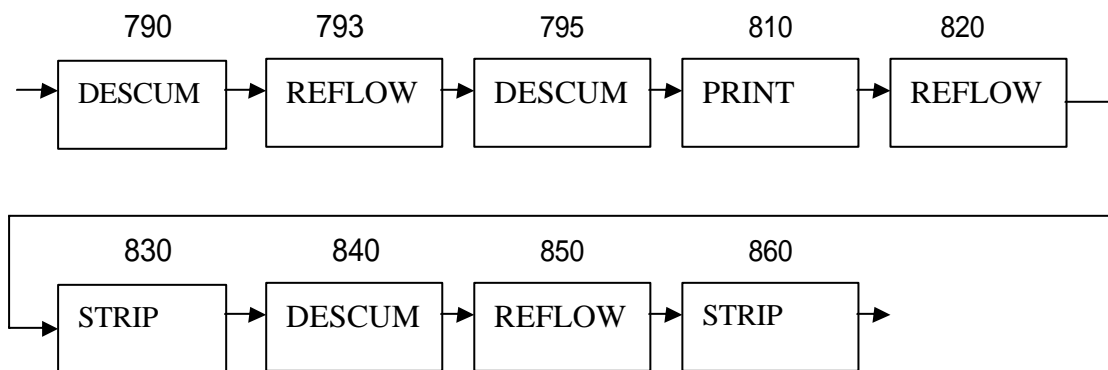


圖 3 IB 產品 Solder B 製造流程

IB 產品因良率的考量，在此區製造流程經過四個機台九個步驟如圖 3，其中多出 BW 產品三個步驟，三個步驟分別為，REFLOW 793 站 DESCUM 795 站 DESCUM

840 站。增加 793 站重流爐作業，其目的為使乾膜更加黏著於晶圓上，由於經重流爐作業後，晶圓表面會產生污染，795 站電漿去除機作業，利用電漿去除機去除重流爐造成污染，840 站增設是為了去除 GA 殘留物，其他製造流程與 BW 產品一樣。其中晶圓凸塊 Solder B 區製造流程各機台作業時間(Process time)、整備換置時間(Setup time)如表 2 所示。

3.3 模擬模式建構、基本假設、參數設定

本研究模式假設每一批(Lot)批量皆 25 片，沒有機械故障、製程異常、人為疏忽、重工等狀況發生。此外，本研究產品加工時間之數據皆進行配合度檢定。根據 eM-plant 統計分析，首先選擇卡方、KS、AD 的布林值為真值(表示不在落在棄卻域中)，其次，根據卡方統計值找出適合的數據，然後選擇適當的分配作為模擬系統輸入數據時之用，各站配適結果如表 2 所示。

表 2 Solder B 製程作業相關時間

站別 (Stage)	配方 (Recipe)	作業時間(秒) (Process time)	整備換置時間(秒) (Setup time)	註解 (Remark)
790	790 FOC	Nor(3996,75)	Nor(1855,112)	須每日測機
793	PPR REFLOW	Nor(3183,305)	None	換配方,須量測機台溫度
795	795 Form	Nor(4076,48)	Nor(1855,112)	須每日測機
810	12ULA -E	LogNor(6996,708)	Nor(1134,175)	換產品,須換網板、錫膏
820	1ND_REFLOW	Tri(3196,160)	None	同 793
830	830 FOC	Nor(5620,465)	Nor(2545,112)	隔 48 小時須換酸
840	840 PI	Nor(4314,200)	Nor(1855,457)	須每日測機
850	2ND_REFLOW	Tri(3214,230)	None	同 793
860	860 FOC	Nor(3838,253)	Nor(2687,566)	隔 72 小時須換酸

系統初始狀況以空廠進行模擬，系統無初始在製品。兩種產品各步驟加工時間加總所得之淨週期時間約在 7~10 小時，模擬時間共 60 天，系統在 1 天左右產出第一批產品，從 eM-plant 所提供之紀錄器物件(Porter)中觀察生產機器利用率的變化，可以清楚的從圖表中看出在模擬初期，機器利用率並不穩定，因此決定暖機時間為 5 天，故本研究系統 Warm-up 時間為 5 天，以降低因工廠在初始狀態下所造成之統計變異，此 5 天之模擬結果將清除而不予收集。本研究設定整個模擬時間長度為 55 天，將收集後之模擬結果進行分析。

本個案產品投料週期時間甚短，在扣除暖機時間 5 天後，模擬時間為 55 工作天，預先模擬 10 次，取得樣本平均數 $\bar{X} = 346$ ，樣本標準差 $S = 7.822$ ，若希望平均產出之信賴水準 $\alpha = 0.05$ ，且抽樣誤差為 $e = 6\text{Lot}$ ，則模擬次數至少為 n 。

$$n \geq \frac{t_{0.025}^2 s^2}{e^2} = \frac{(2.262)^2 (7.822)^2}{6^2} = 8.69$$
。因此模擬次數至少為 9 次時才能滿足抽樣誤差 8Lot，故本研究之模擬次數決定為 9 次。

4. 結果與討論

4.1 模擬實驗及分析

前一製程 Solder A 區，每一批貨到 Solder B 區時間分配為 Nor(10800,1250)，本研究主要探討 Solder B 區內機台派工對產出的影響，因子配置如表 3，以電漿去除

機(DESCUM)、重流爐(REFLOW)、化學槽(STRIIP)三因子、FIFO、PRI、FOPR、LSF 派工四水準，進行重覆模擬實驗，每次實驗有 64 種配置，每一種配置進行 12 次模擬，扣除暖機時間 5 天，模擬時間為 55 個工作天，實驗採隨機進行，實驗所找出的因子包括電漿去除機(DESCUM)、重流爐(REFLOW)、化學槽(STRIIP)等三項可能之顯著因子。

表 3 Solder B 區製程實驗因子配置

實驗因子	水準一	水準二	水準三	水準四
DESCUM 派工(A)	FIFO	PRI	FOPR	LSF
REFLOW 派工(B)	FIFO	PRI	FOPR	LSF
STRIIP 派工 (C)	FIFO	PRI	FOPR	LSF

透過模擬(每 Lot 投料時間分配為 Nor(10800,1250),模擬 55 天產出數據利用「Statistica」統計軟體得出二階交互作用 ANOVA 表如表 4，並進行統計檢定。由表 4 可知 B 因子、C 因子之產出主效果顯著，AB、BC 交互作用影響顯著。

表 4 派工模擬產出的主效果與交互作用顯著性分析

Source	SS	Degree of Freedom	MS	F	p-value
INTERCEPT	6033778	1	6033778	874475.3	0.000000
DESCUM 派工	20	3	7	1.0	0.427462
REFLOW 派工	4201	3	1400	202.9	0.000000
STRIIP 派工	29389	3	9793	1419.3	0.000000
DESCUM 派工*REFLOW 派工	289	9	32	4.7	0.000870
DESCUM 派工*STRIIP 派工	100	9	11	1.6	0.163436
REFLOW 派工*STRIIP 派工	1663	9	185	26.8	0.000000
Error	186	27	7		

表 5 為 STRIIP 四種派工的平均產量報表，得之四種派工對平均產出的確有顯著的差異(p 值= 0.000000000033<0.05)；由報表第 2 欄之平均產出可知，Strip 機台使用 FOPR 派工平均產出較高過於其他三種派工法則。

表 5 Strip 四種派工的平均產量

STRIIP派工; Weighted Means					
Current effect: F(3, 27)=1419.3, p=0.000000000033(顯著)					
DESCUM	Output Mean(lot)	Output Std.Err.	Output -95.00%	Output +95.00%	N
FIFO	273.5000	0.532291	272.3654	274.6346	16
PRI	310.5625	2.389157	305.4701	315.6549	16
FOPR	333.1875	3.728515	325.2404	341.1346	16
LSF	310.9375	2.649636	305.2899	316.5851	16

由 Fisher LSD 法之檢定表如表 6 及矩陣表中如表 7 中 p 值可知，Strip 機台使用 FOPR 派工與其他三種派工之平均產出有顯著差異(P 值=0<0.05)，LSF 派工與 PRI 派工並無差異。其他因子分析同此法。

表 6 Strip 四種派工產出的 Fisher LSD 檢定表

Fisher LSD test; variable OUTPUT
Homogenous Groups, alpha = .05000

Error: Between MS = 6.8999, df = 27.000				
Strip	Output Mean(lot)	1	2	3
FIFO	273.5000	****		
PRI	310.5625		****	
LSF	310.9375		****	
FOPR	333.1875			****

表 7 Strip 四種派工產出的多重平均比較法

派工 \ 派工 (lot)	FIFO(273.50)	PRI(310.56)	FOPR(333.19)	LSF(310.94)
FIFO		0.000000	0.000000	0.000000
PRI	0.000000		0.000000	0.689548
FOPR	0.000000	0.000000		0.000000
LSF	0.000000	0.689547	0.000000	

5. 結論與建議

本研究旨在探討 Solder B 區內最大產出的派工。首先，本研究先至生產線現場收集相關的數據資料，使用模擬軟體 eM-plant 為研究工具，並以實驗設計方式進行研究。Strip 及 Reflow 此二個機台是 Solder B 區瓶頸所在，其派工將影響產出最大，研究結果就整個系統產出量而言，Descum 機台派工對產出並無差異，Reflow 派工使用 LSF 或 FOPR，並且 Strip 派工使用為 FOPR 時有最大產出量。

本研究主要貢獻是建立模擬模式，並且找出系統最大產出。當目標改變為達交率時，只須更改實驗水準，便可找出最佳達交率的派工方式，未來如須擴產增加機台，只須修改模擬模式，便可分析所須目標績效。

參考文獻

中文部份

1. 工研院電子 IT IS 計劃(1998)。
2. 林於杏(2003)，「半導體晶圓製造廠黃光區派工法則之研究」，中華管理評論國際學報。
3. 周書賢(2001)，「開放型工廠派工法則之模擬研究」，朝陽科技大學工業工程與管理學系，碩士論文。
4. 洪睿俊(2003)，「物件導向之系統模擬-以自動化機械設備製造廠為例」，南台科技大學工業工程與管理系，碩士論文。
5. 徐政宏(2000)，「多能工派工法則之模擬比較-以面臨緊急訂單之流線型生產系統為例」，朝陽科技大學工業工程與管理學系，碩士論文。
6. 高瑞鴻(2003)，「探討電腦整合製造所建構高階封裝之生產管理系統與績效管理」，高苑技術學院工業工程與管理系，碩士論文。
7. 陳邑鑫(2003)，「考慮瓶頸作業下的排程方法」，南台科技大學工業工程與管理系，碩士論文。
8. 陳湘琴(2001)，「電腦模擬應用於改善傢俱製程之研究」，台灣大學森林學系，碩

- 士論文。
9. 張逸輝(2003),「晶圓廠模擬模式之建立與分析」, 國立成功大學工業工程與管理學系, 碩士論文。
 10. 曾珞萍(1999),「以反應曲面法尋找多目標模擬模式之最佳解」, 國立成功大學製造工程系, 碩士論文。
 11. 曾毓文(2001),「運用系統模擬與遺傳演算法從事非相關平行機器排程之研究」, 臺北科技大學生產系統工程與管理系, 碩士論文。
 12. 蔡永傑(2004),「以UML概念為基礎建構TFT-LCD模組生產系統之物件導向系統模擬平臺」, 聖約翰技術學院自動化及機電整合系, 碩士論文。
 13. 賴勇見(2004),「應用系統模擬於鞋模具生產與派工之探討」, 雲林科技大學工業工程與管理系, 碩士論文。
 14. 蘇仁傑(1999),「考慮再回流製程之派工法則」, 交通大學工業工程與管理系, 碩士論文。
 15. Blackstone,J.H.,D.T.Philips and G.I. Hogg(1982),“A state-of-the-art survey of dispatching rules for manufacturing job shop operation”,International Journal of Production Research,Vol.20,No.1,pp.27-45.
 16. CNET新聞專區報導(2001),
<http://taiwan.cnet.com/news/hardware/0,2000064553,20023884,00.htm>.
 17. Brun,A.and A.Portioli(1999),”Agent-Based Shop-Floor Scheduling of Multistage Systems”, Computers and Industrial Engineering,Vol.37,pp.457-460.
 18. Can,D.,F.M.Todd and A.W.Steven(1997),“Simulation Modeling and Analysis of A Hardwood Sawmill”,Simulation Practice and Theory,Vol.5,No.8,pp.387-403.
 19. Cochran,J.K.and L.Lin(1992),“Assembly Line System Dynamic Behavior for High Priority Job Processing”,International Journal of Production Research, pp.1683-1697.
 20. Da Silva,F.A.B. and I.D.Scherson(2001),“Using Process Simulation to Compare Scheduling Strategies for Software Projects”,Proceedings of the 2001 Annual Simulation Symposium,pp.15-24.
 21. Deosthali,D.and A.Gardel(1990), ”Using Simulation in Semiconductor Fabrication”, IEEE /SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference,pp.22-26.
 22. Gupta,A.K.and A.I.Sivakumar(2002),“Simulation based multiobjective schedule optimization in semiconductor manufacturing”,Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference,vol.2,pp.1862-1870.
 23. Mazziotti,B.W.and R.E.Jr.Home(1997),“Creating a Flexible,Simulation-based Finite Scheduling Tool”,Proceeding of the 1997 Winter Simulation Conference,pp.853-860.
 24. Mehmet,S.(1997),“Simulation analysis of a pull-push system for an electronic assembly line”,International Journal of Production Economics,Vol.51,pp.205-214.
 25. Musselman,K.,J.O"Reilly and S.Duket(2002),“The role of simulation in advanced planning and scheduling”,Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, Vol.2,pp. 1825-1830.
 26. Padberg,F.(2002),“Using Process Simulation to Compare Scheduling Strategies for Software Projects”,Software Engineering Conference,pp.581-590.