

國立交通大學

管理學院在職專班工業工程與管理組

碩士論文

應用模擬方法提昇半導體機台生產力

A Study of Using Simulation to Improve Semiconductor Equipment

Productivity

1896

研 究 生：李大勇

指導教授：李榮貴 博士

中 華 民 國 九 十 八 年 七 月 二 十 一 日

應用模擬方法提昇半導體機台生產力

A Study of Using Simulation to Improve Semiconductor Equipment Productivity

研 究 生：李大勇

Student: Ta-Yung Lee

指導教授：李榮貴 博士

Advisor: Dr. Rong-Kwei Li

國立交通大學

管理學院在職專班工業工程與管理組

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Industrial Engineering and Management

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master

in

Industrial Engineering

July 2009

Hsin-Chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年七月

應用模擬方法提昇半導體機台生產力

研究生：李大勇

指導教授：李榮貴 博士

國立交通大學管理學院在職專班工業工程與管理組

中文摘要

為了降低晶圓製造工廠生產成本與增加競爭優勢，必須找出有效地提昇生產機台生產力的方法，以滿足市場對晶圓產能與低價格的需求。本研究主要是將機台內部的加工槽與機械手臂切分成獨立的資源，透過電腦模擬這些資源的狀態，並預測機台在複雜之加工途程的行為。以找到最大生產產出的資源參數。

這個機台資源模擬模組是架構於有限產能負荷之假設上，依據在製品流程模組、可用資源限制模組以及資源預留模組來預估資源負荷狀況，並呈現出各個資源的關聯性與產出績效。應用模擬模組可以避免非瓶頸資源使用率尖峰期的發生而導致瓶頸資源發生閒置的情況。本研究藉由案例驗證說明，機台資源模擬模組可以明顯改善機台生產績效與減少實驗過程中的時間成本。

關鍵字： 模擬、瓶頸改善、生產力

A Study of Using Simulation to Improve Semiconductor Equipment Productivity

Student: Ta-Yung Lee

Advisor: Dr. Rong-Kwei Li

**Department of Industrial Engineering and Management
National Chiao Tung University**

Abstract

Semiconductor industry always requires more capacity and lower cost in past years. To fulfill this goal, semiconductors are searching a methodology to increase their equipment productivity for reducing the production cost and increasing their capacity. This research is trying to find out the best condition of equipments to achieve the maximum throughput performance by the equipment simulator, which is treating the process chambers and robots of semiconductor equipment as independent resources in its model and can predict the equipment behavior during the processing.

The framework of this resource simulation model was constructed by process flow model、resource limitation model and resource reservation model to predict the loading of each resource and capacity of all resources are limited. This simulation model can provide the connection between resources and predictable productivity performance to reduce the possibility of bottleneck resource idle in real factory. In this case, the equipment productivity was increased obviously and no trial-and-error time required.

Keywords: Productivity, Simulation, Bottleneck

目錄

中文摘要	II
英文摘要	III
目錄	IV
表目錄	V
圖目錄	VI
一、緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的與方向	5
1.3 研究限制	6
1.4 論文架構與流程	7
二、研究方法	8
2.1 光阻去除機之機台內部加工程序	8
2.2 半導體光阻去除(濕式化學清洗)製程的加工彈性	10
2.3 光阻去除機之機台內部重要元件關聯性	11
2.4 光阻去除機傳送之行為	12
2.5 光阻去除機化學液體槽之特殊限制	13
2.6 光阻去除機化學液體槽之特殊限制	15
三、實例驗證與數據分析	16
3.1 模擬模組之可變因子及水準	16
3.2 模擬數據分析	17
3.3 實例導入與成果驗證	20
四、結論與未來研究方向	21
4.1 結論	21
4.2 未來研究方向	21
參考文獻	23

表目錄

表一 一晶圓製造工廠瓶頸機台產能概況.....	3
表二 濕式化學清洗時間分析.....	11
表三 光阻去除機的模擬模組執行環境.....	15
表四 光阻去除機的可變因子及水準表.....	16
表五 修正後的光阻去除機可變因子及水準表.....	17
表六 不同可變因子下的機台產出模擬結果.....	18
表七 不同可變因子下的機台產出模擬結果之二.....	18



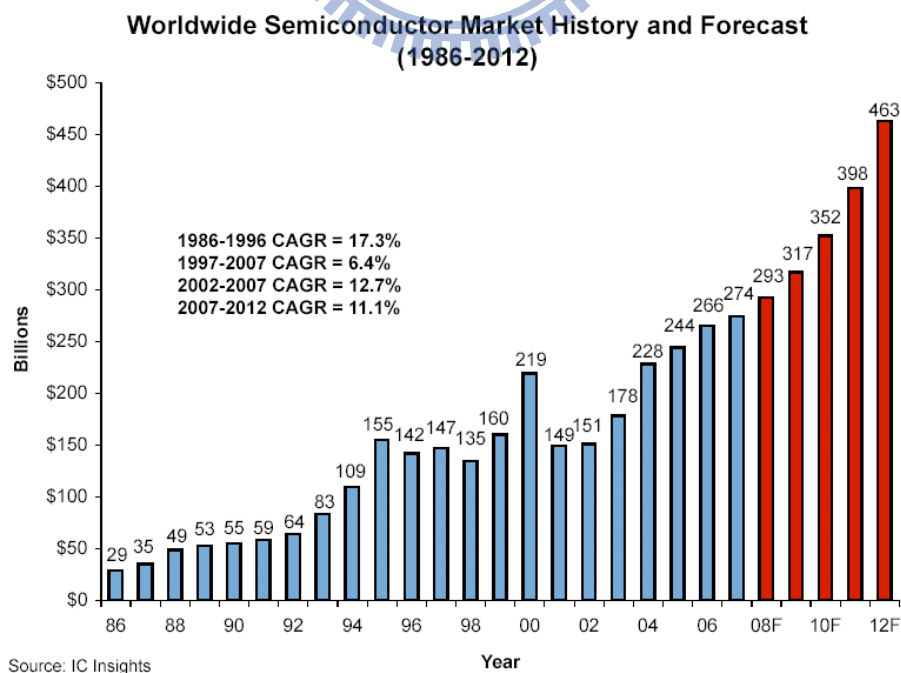
圖目錄

圖一 世界半導體市場規模的歷史與預測.....	1
圖二 世界半導體晶片面積需求趨勢.....	2
圖三 一晶圓製造工廠無塵室面積使用率趨勢.....	3
圖四 產量與品質衝突圖.....	4
圖五 機台產出與瓶頸加工時間關係圖.....	4
圖六 研究步驟流程圖.....	7
圖七 瓶頸與系統產出之關聯圖.....	8
圖八 標準光阻去除程序圖.....	10
圖九 不同的光阻去除程序圖之一.....	10
圖十 不同的光阻去除程序圖之二.....	11
圖十一 光阻去除機的機台配備圖.....	13
圖十二 模擬模組的關聯圖.....	14
圖十三 光阻去除機模擬模組的資源利用狀態圖.....	15
圖十四 SPM 加工時間與機台產出績效關係圖.....	19
圖十五 模擬機台元件與時間關係圖.....	19
圖十六 實際機台元件與時間關係圖.....	19
圖十七 模擬機台元件與時間關係圖 SPM420SEC.....	20
圖十八 模擬機台元件與時間關係圖 SPM450SEC.....	20
圖十九 光阻去除機產出績效圖.....	20

一、緒論

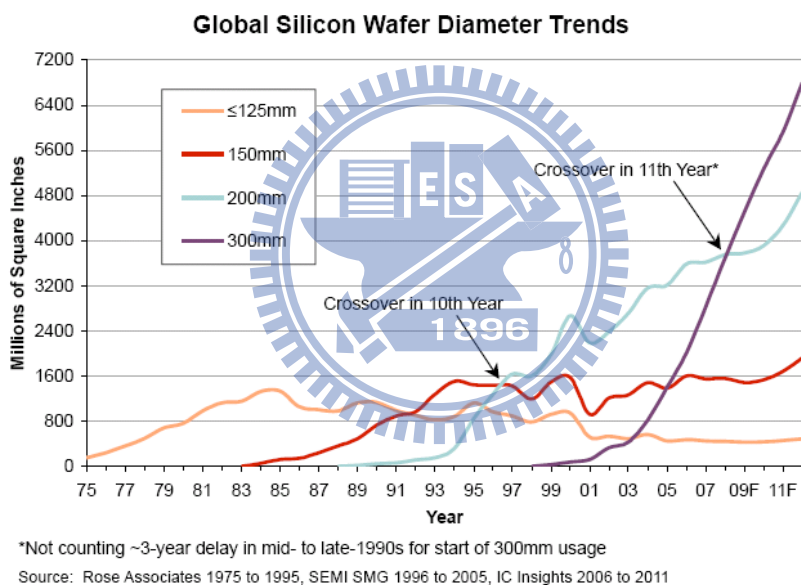
1.1 研究背景與動機

半導體晶圓製造產業在近十年來，面對經營環境變化的快速與競爭的激烈，使得客戶不論對品質、成本、交期與服務的要求已是愈來愈高。其中的生產成本(Cost)更是一十分非常重要的競爭力指標，若能有效的降低生產成本則能獲得差異化的競爭優勢。所以半導體晶圓製造商莫不希望藉由大量生產來達到降低生產成本，以期達到提高生產利潤的目的。如圖一所示，根據半導體研究機構 IC Insights 的報告，全世界對於半導體晶圓製造的市場需求量一直維持持續的成長趨勢，2007-2012 年的時間區間內，仍然被 IC Insights 預測有高達 11.1% 的年複合成長率(CAGR)。這樣樂觀的市場預期，同時也預告了半導體晶圓製造產業必須逐年提升現有的產能以滿足市場的需求。所以各工業先進國家莫不卯足全力發展半導體晶圓製造產業，企圖透過擴大投資高成長產業來提升國家的經濟成長率。由於半導體設備在目前十分的昂貴，動輒數千萬元甚至十數億元，而打造無塵室之生產環境更是所費不貲，所以如何妥善的提升生產線生產設備之生產力是一大考驗，尤其半導體晶圓製造市場之需求持續的成長，更是吸引多方的資金不斷的投入。



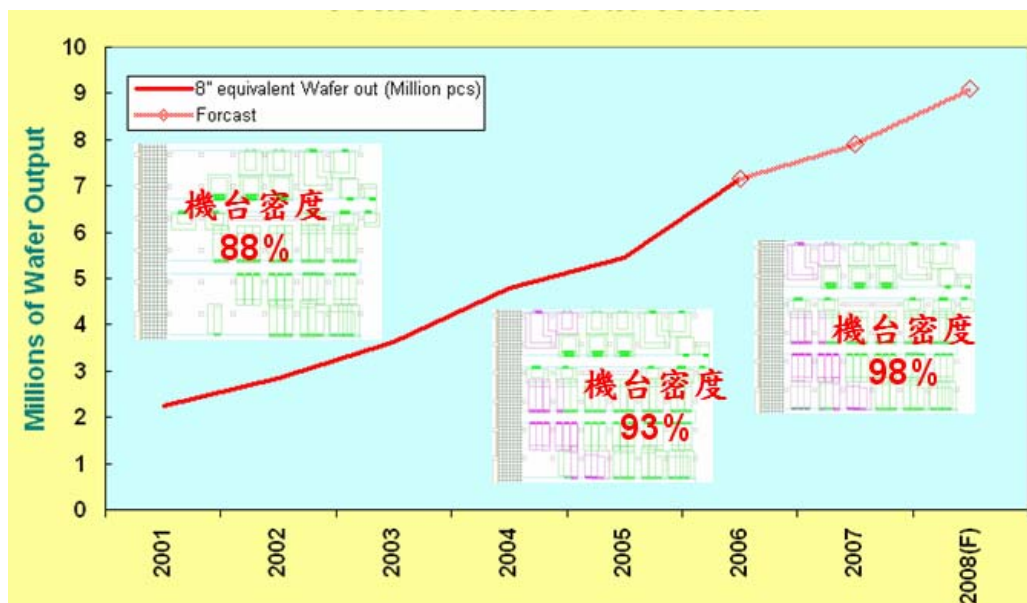
圖一 世界半導體市場規模的歷史與預測 資料來源: IC Insight

在企業持續追求利潤成長的前提之下，新的十二吋晶圓製造工廠因為更可以有效透過較大的晶圓尺寸標準，使得單一晶圓製造加工面積的大幅提升達 225%，這樣的改變能在單一晶圓上切割出更多的晶片，進而讓生產成本明顯且有效地降低。所以在可預見的成本競爭優勢加持下，世界各大領導晶圓製造廠商如英特爾(Intel)、德州儀器(TI)、三星(Samsung)、海力士(Hynix)、東芝(Toshiba)、台積電(TSMC)、聯電(UMC)、力晶(PSC)、茂德(MOS)等等，紛紛在 2000 年之後投入十二吋晶圓製造工廠的投資與興建。雖然經過這樣的產業標準變化將主流生產工廠從原本的八吋標準快速的演進到十二吋。但在企業持續追求資本有效利用的前提之下，現存的八吋晶圓工廠依舊會根據市場的需求而持續的生產下去。如圖二所示，根據半導體研究機構 IC Insights 的報告，八吋晶圓的需求並沒有因為十二吋晶圓的大量供給而萎縮或淘汰，反而因全世界電子產品大量需求有向上提昇的機會。



圖二 世界半導體晶片面積需求趨勢 資料來源: Rose Associates 1975~1995, SEMI SMG 1996~2005, IC Insight 2006~2011

但是想要持續增加八吋晶圓製造工廠的生產產量並非沒有代價，在傳統上，晶圓製造工廠要提升產能最簡單的方法就是透過購入生產機台來提供有效產能；但是自 2000 年十二吋晶圓進入晶圓製造市場以後，晶圓製造產業可以說完全沒有新進的八吋晶圓工廠興建，也就是說八吋晶圓的現存的無塵室面積不僅沒有增加，相反的為了滿足 2000-2007 年間約 6.4%的市場年複合成長率(CAGR)，把所剩不多的八吋晶圓無塵室空間消耗殆盡，未來已經沒有的空間放置更多的機台。無塵室面積消耗的趨勢如圖三所示。



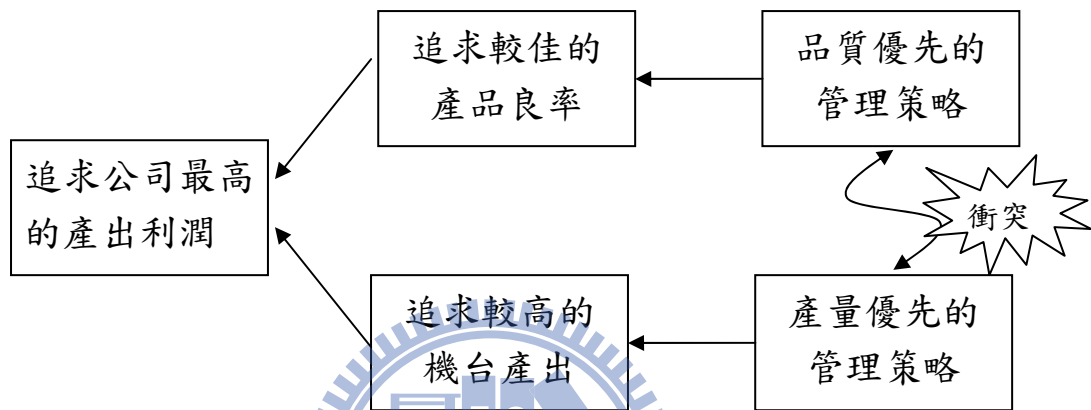
圖三 一晶圓製造工廠無塵室面積使用率趨勢

在晶圓製造工廠的生產模式中，通常把產能(Capacity)的計算基準與機台的使用率(Utilization)視為一固定常數。當一座半導體晶圓廠，面對市場需求增加與產品組合(Product Mix)的改變，其整體產能與機台使用率會隨產品組合的比例與晶圓需求總量而有所增減。但是，同樣的晶圓製造工廠也一直都進行持續改善計劃(CIP, Continuous Improvement Projects)，讓生產力不斷的以增加以擴大產能。上述幾個關鍵績效指標會隨著時間而一直變化，可能造成原先系統的瓶頸不再是瓶頸，而原先的非瓶頸機台轉變成新的系統瓶頸，如下表一所示。

表一 一晶圓製造工廠瓶頸機台產能概況

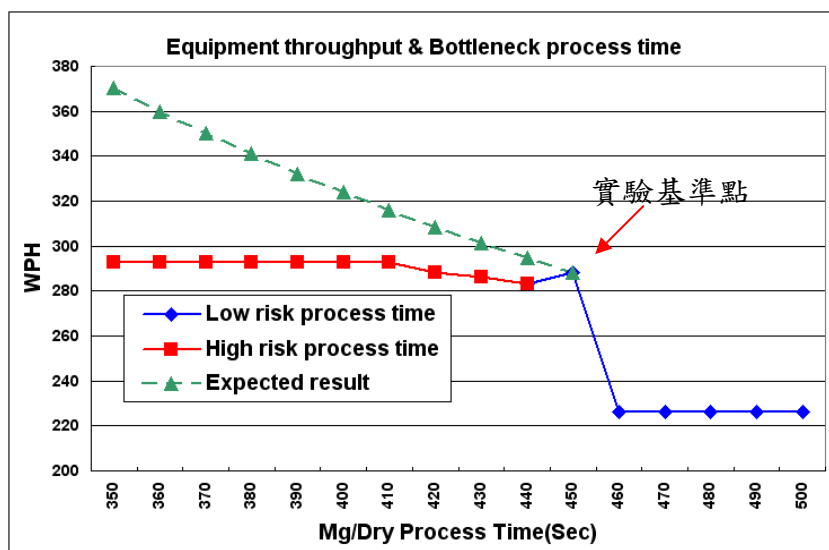
瓶頸機台產能概況	黃光顯影機	光阻去除機	離子植入機
(A)2007 產能利用率%	100%	96%	92%
(B)2007 生產力提昇%	15%	2%	7%
(C)2008 新增產能需求%	14%	14%	10%
2008 計劃產能利用率% (A)-(B)+(C)	99%	108%	95%

然而晶圓製造工廠所進行的持續改善計劃並非一蹴可及的，它所帶來的改變會對部門間的管理行為與機台使用率造成影響，也就是會在工廠生產績效管理上，造成相關管理者之間的衝突，以限制理論的衝突圖來表示即如圖四所示。對生產管理者而言，直接將瓶頸的加工時間降低的生產模式，在直覺上可以使產出數量增加。但是，對工程單位而言，使用既有的製程參數時間，可以讓品質水準可以獲得較高的信心保證，因此生產管理單位與工程品質單位將形成新的衝突。



圖四 產量與品質衝突圖

然而，在光阻去除機的試驗實驗結果顯示出機台的產出並不沒有如預期一樣，會隨著瓶頸的加工時間縮短而增加，其實驗結果如圖五所示。這出乎意料之外的實驗結果使得管理者十分苦惱，如果降低瓶頸的加工時間無法有效增加產出，那麼要調整那些機台參數才能達到增加產能的目的呢？



圖五 機台產出與瓶頸加工時間關係圖

1.2 研究目的與方向

本研究主要目的可分為兩點：

(1) 利用系統模擬找到影響半導體生產機台生產力的關鍵參數。

一般模擬應用在半導體生產機台的管理流程上，多屬短期的生產規劃範疇，多半注重產品排程管理及派工法則上的改變，或是透過工廠生產控制參數(如投料率、不良率)的調整，將現場管理績效最佳化。但是把系統模擬應用在生產機台生產參數(Equipment parameter)或生產製程配方(Process recipe)的機台設定問題仍屬少數，本文嘗試利用模擬所得的績效，找到即影響半導體生產機台生產力的關鍵參數，並以兼顧機台生產力最大化與品質穩定為目標，盡可能提升半導體生產機台的生產力，來達到生產成本降低的目的。

(2) 利用系統模擬取代或減少實際驗機實驗以降低工程實驗成本。

晶圓製造工廠的生產機台操作系統複雜，光阻去除機更是因為在同一機台內必須要一次完整的執行三種到七種的工作程序。在單一工程實驗中，會影響實驗結果或生產績效的機台生產參數，可能會多達三十個或是更多。而且任何一個實機實驗都會耗費六到八個小時以上生產機台與工程人員的工作時間，同時想要取得最佳結果的話，則需要大量的實驗來消除太多的參數交互影響，這使得工程人員在選擇執行實驗時都將承擔相當高的時間成本與風險。系統模擬有快速回饋資料的特性，在系統模擬擁有足夠的信心水準時，可以不用漫無目的的變動機台生產參數來就可以找到最佳生產製程配方和生產機台生產參數，由系統模擬提供的資訊可以減少驗機實驗次數以降低工程實驗成本。

1.3 研究限制

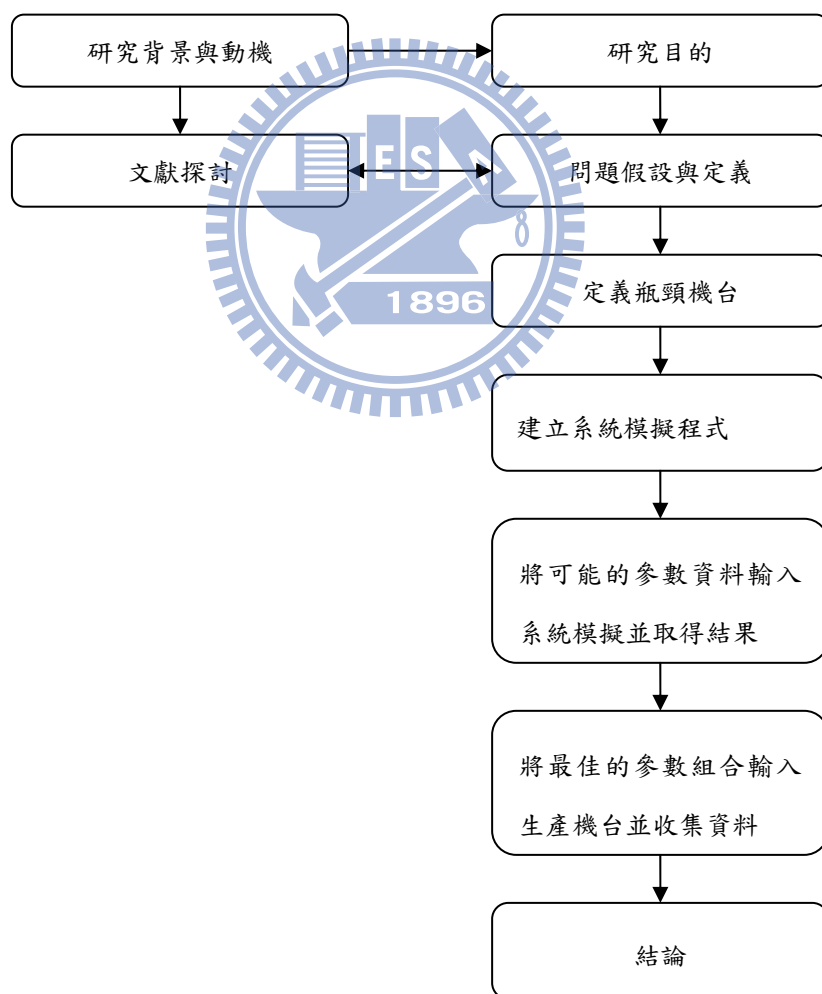
本研究是探討半導體晶圓製造工廠之光阻去除機台的生產機台生產參數與光阻去除機台的生產力之相互關係，依據限制理論概念確認機台生產參數下的機台最大產出量及其可能的產能限制。再分析其相互關係，研究的範圍與限制如下：

- (1) 假設晶圓製造工廠無額外的無塵室空間以配置新機器，不會有因為新機台而增加其產能數量。
- (2) 假設市場環境為「需求大於供給」，公司接獲之訂單數量大於產能。
- (3) 假設公司欲生產之產品，製程技術穩定，可提供良好之製程能力。
- (4) 假設晶圓製造工廠的物料(Raw material)及在製品(WIP)運輸方式不會對生產績效產生影響。
- (5) 假設本研究所指定之特定機台為晶圓製造工廠為關鍵瓶頸機台，不會有任何因素導致其缺料。
- (6) 假設系統人力資源可全力支援系統內的關鍵瓶頸機台，不予考慮所有關於人力資源問題。
- (7) 本研究主要探討單一晶圓製造工廠，在產能規劃上，不考慮同公司內其晶圓分廠的策略性支援或是任何產能外包之運用。
- (8) 機台 24 小時運轉，不考慮機台 MTBF (Mean Time between Failure)、MTTR (Mean Time to Repair) 及 PM (Preventive Maintenance)。

1.4 論文架構與流程

本研究共分五章：

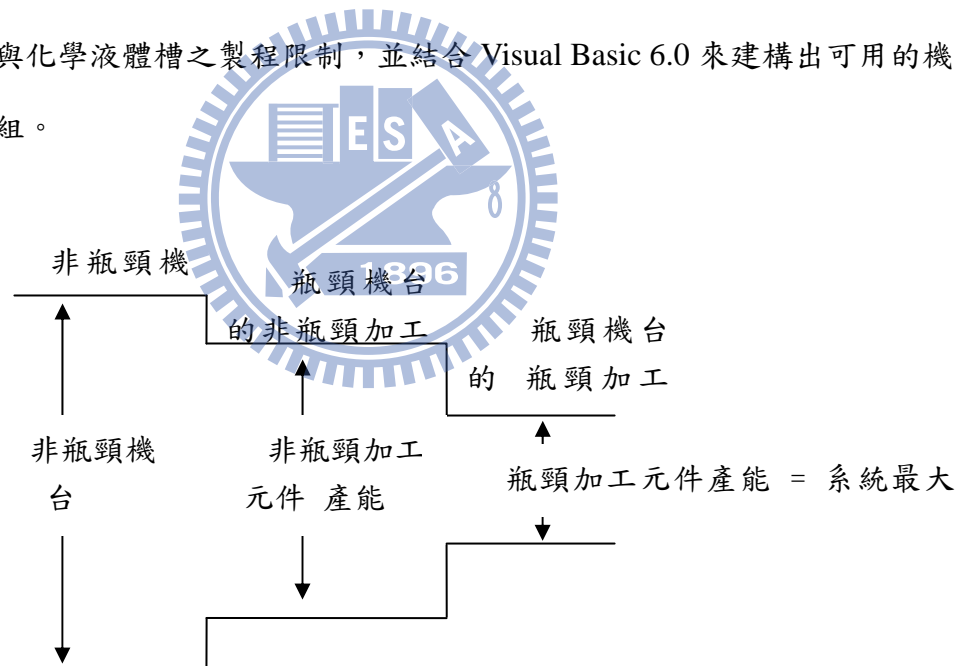
第一章緒論:主要敘述本研究之研究動機目的與論文架構。第二章研究方法則介紹本文的理論基礎，並透過了解光阻去除機之機台內部加工程序、機台內部重要元件關聯性、光阻去除機傳送之行為與化學液體槽之製程限制，並結合 Visual Basic 6.0 來建構出可用的機台資源模擬模組。第三章：實例驗證以光阻去除機為實施對象，配合本文所提供的機台資源模擬模組，預測機台在複雜之加工途程的行為，以找到最大產出的生產資源參數，並同時在光阻去除機上驗證產出績效結果。第四章結論與建議針對本文所提供的模式其貢獻與不足的地方，提出來加以討論，並建議本文可延續的研究方向。



圖六 研究步驟流程圖

二、 研究方法

限制理論 (Theory Of Constraints , TOC)認為任何組織或系統，其擁有可支配的資源皆為有限，所以確認組織中的瓶頸機台是非常重要的事情，唯有將瓶頸機台之使用率提到最高，整個組織的產出才會最大。很顯而易見的，在瓶頸機台的生產流程是由多個加工步驟所組合的情形下，其中一個加工步驟所使用的製具與加工元件會形成一個瓶頸，也限制了整台瓶頸機台的最大產出，如圖七所示。同時，這個瓶頸加工元件的使用率及產出，將連帶的影響整個系統(工廠)在單位時間內的最大產出。本研究透過理解光阻去除機之機台內部行為、加工彈性與其限制條件，以建構出一機台行為模擬系統，並嘗試找出關鍵條件來擴大瓶頸加工元件產能。透過了解光阻去除機之機台內部加工程序、加工彈性、機台內部重要元件關聯性、光阻去除機傳送之行為與化學液體槽之製程限制，並結合 Visual Basic 6.0 來建構出可用的機台資源模擬模組。



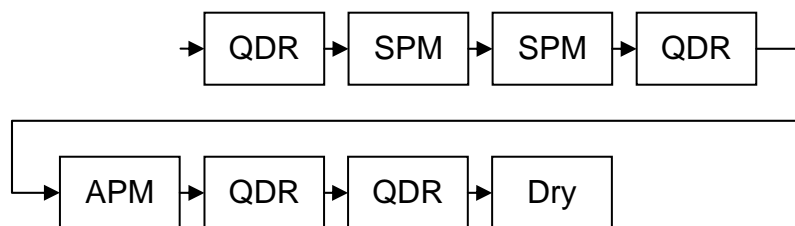
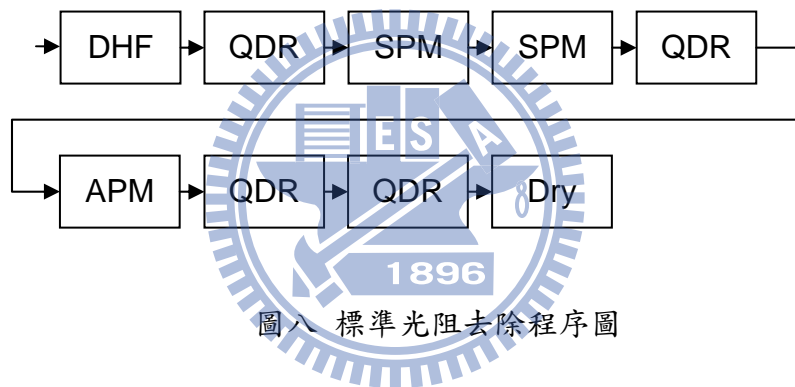
圖七 瓶頸與系統產出之關聯圖

2.1 光阻去除機之機台內部加工程序

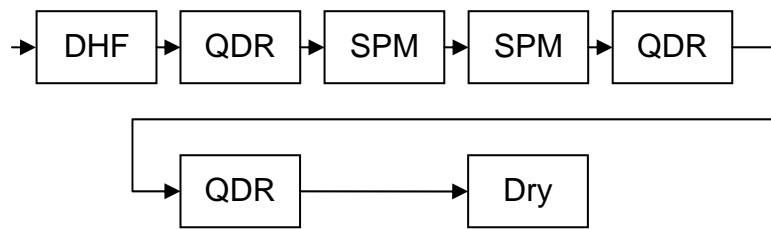
首先，必需了解機台加工程序的情形是什麼？因為不同產品經過的加工程序、加工時間並不相同。根據前章所提到的半導體光阻去除(濕式化學清洗)製程簡介，光阻去除加工流程中會使用到的工序有：

- (1) Dilute HF Clean (又稱DHF, 成份為HF/H₂O)
- (2) Piranha Clean (又稱SPM, 成份為H₂SO₄/H₂O₂)
- (3) Standard Clean 1 (SC1, 又稱APM, 成份為NH₄OH/H₂O₂/H₂O)
- (4) Standard Clean 2 (SC-2, 又稱HPM, 成份為HCl/H₂O₂/H₂O)
- (5) Dry (乾燥)

但是在實務運用上，為了避免多種酸鹼化學液體產出交互作用而生成非製程所須的物質或熱量，在生產機台的流程設計中通常會增加一純水清洗工序，使用 DI water(去離子水)以稀釋並移除前一加工步驟所遺留下來的化學液體，在業界通稱為QDR。所以其最終實際的加工流程會如圖八所示，並會隨光阻種類及厚度的不同而有不同的變化流程，如圖九、十。



圖九 不同的光阻去除程序圖之一



圖十 不同的光阻去除程序圖之二

2.2 半導體光阻去除(濕式化學清洗)製程的加工彈性

深入的研究總是需要有厚實的基礎作為踏板，因此為能使本論文研究更趨於完備，本節將簡介半導體濕式化學清洗製程，其目的在了解光阻去除機的加工特性、其加工過程中的限制條件。濕式清洗法最早發展於 1960 年代，迄今仍廣泛使用在光阻去除製程上，其主要原因為此法可有效的去除在晶片表面的各式光阻殘留物與污染源，卻不會對晶片產生缺陷或刻痕[1]。以下針對濕式清洗技術作簡要說明：

(1) Dilute HF Clean (又稱 DHF，成份為 HF/H₂O)

主要應用於清除矽晶圓表面自然生成之二氧化矽層，由於此氧化物厚度有限，一般均使用經稀釋處理之氫氟酸（業界大多使用 HF 1 %）於室溫下與 SiO₂ 形成 H₂SiF₆ 之方式去除之。清洗時間一般在 15~30 秒[4]。完成上述溼式清洗技術程序後，可以高純度 IPA 來進行乾燥，純度愈高的 IPA 其乾燥效果愈好，同時也可以避免在晶圓上留下水痕(Water mark)。

(2) Piranha Clean (又稱 SPM，成份為 H₂SO₄/H₂O₂)

主要應用於有機物之去除，利用 H₂SO₄ 之強氧化性來破壞有機物中之碳氫鍵結。一般是以 H₂SO₄ (98%)/H₂O₂ (31%)= 4：1 之體積比例混合液在 130°C 溫度下進行 10—15 分鐘之浸泡清洗[3]。

(3) Standard Clean 1 (SC1，又稱 APM，成份為 NH₄OH/H₂O₂/H₂O)

主要應用於微粒子的清除，即應用 NH₄OH (Ammonium Hydroxide) 的弱鹼性活化 Si 晶圓表層，將附著於表面的微粒子去除；同時，NH₄OH 具強化

合力，也可同時去除部份金屬離子。一般是以 NH_4OH (29 wt%)/ H_2O_2 (31wt%)/ H_2O (DI Water) = 1 : 1 : 5 之濃度與重量比例混合液在 70°C 溫度下進行 5 分鐘之浸泡清洗[10]；或是 85°C 溫度下進行 10 分鐘之浸泡清洗[2]。

(4)Standard Clean 2 (SC-2，又稱 HPM，成份為 $\text{HCl}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$)

主要應用於金屬離子的去除，其原理為 HCl 所形成之活性離子易與金屬離子化合。一般是以 HCl (37 %)/ H_2O_2 (31%)/ H_2O (DI Water) = 1 : 1 : 6 的濃度、重量比例混合液在 70°C 溫度下進行 5~ 10 分鐘之浸泡清洗[11]。

根據上述的文獻研究，濕式化學清洗於生產過程中不同的加工時間，也可以達到相同的加工效果，並將其時間關係整理如下表二。

表二 濕式化學清洗時間分析

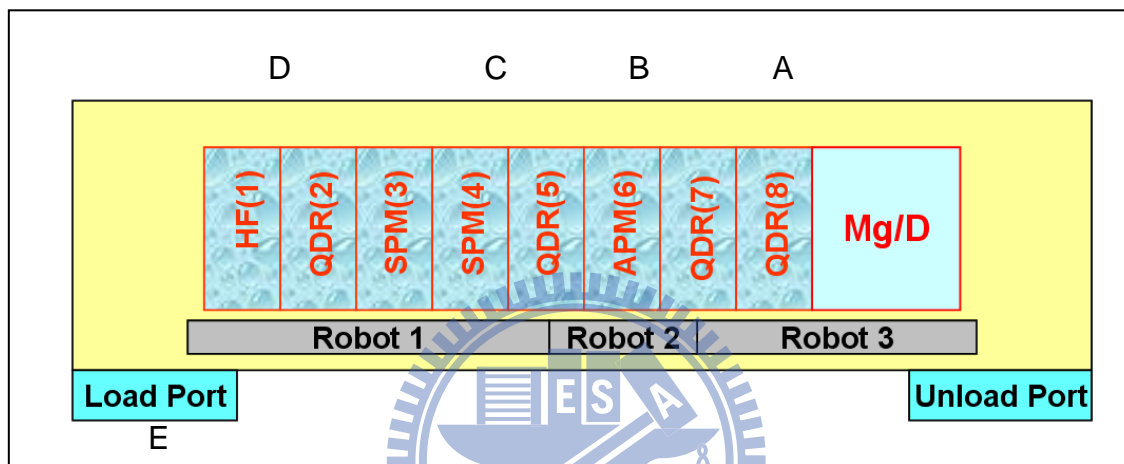
濕式化學清洗時間分析	SC1 (APM)	SC2 (HPM)	SPM	HF
最低浸泡時間(分鐘)	5	5	10	0.25
最高浸泡時間(分鐘)	10	10	15	0.5

2.3 光阻去除機之機台內部重要元件關聯性

在實際的生產活動中，為了完整執行上述的製造加工流程，現有的機台都配備的三個重要元件如下：

- (1)Chemical Tank: 用來盛裝反應用的化學液體槽。
- (2)Mechanical Robot: 自動化的機械手臂，負責將加工中的產品吊運到下一個化學液體槽。
- (3)Automation system: 光阻去除機的電腦系統，其主要任務在記錄所有產品的加工時間(Recipes)，以命令機械手臂與化學液體槽正確執行，並記錄其執行結果。

為了能夠同時執行多種不同加工程序的製程，生產機台會同時裝置多種的化學液體槽與多隻的自動化機械手臂如圖十一所示。這種機台所配備的化學液體槽最多可同時置入五十片晶片(單一批量)，以及同時執行超過八種不同加工程序的組合。也就是說，當其中 A 批正在 QDR(8)處理時，同一時間也可能會有 B 批正在 APM(6)處理、C 批正在 SPM(4)處理、D 批正在 HF(1)處理、E 批正在 Load port 等待處理的狀況產生。A、B、C、D、E 同時會分享與競爭重要元件的資源與時間。



圖十一光阻去除機的機台配備圖

2.4 光阻去除機傳送之行為

根據 2.1 可知道光阻去除機由很多的重要元件所組成，其中機械手臂的運作可說是最頻繁的行為。從圖十一可以知道每一隻機械手臂負責了多個化學液體槽的傳送動作，其中包括了：

手臂一(Robot1)

- (1) Load port to HF(1), Load Port to QDR(2), Load port to QDR(5)
- (2) HF(1) to QDR(2)
- (3) QDR(2) to SPM(3), QDR(2) to QDR(5)

(4)SPM(3) to SPM(4)

(5)SPM(4) to QDR(5)

手臂二(Robot2)

(1)QDR(5) to APM(6), QDR(5) to QDR(7)

(2)APM(6) to QDR(7)

手臂三(Robot3)

(1)QDR(7) to QDR(8)

(2)QDR(8) to Mg/D

(3)Mg/D to Unload port port

由上述所列的動作可以了解，這個機台的傳送動作並非全然被既定的化學液體槽所限制，而是可以執行跳躍的傳送動作如 Load port 可以直接傳送到 QDR(5)或是 QDR(5)可以直接傳送到 QDR(7)，但是傳送動作如果超過了機械手臂的運作範圍，則會無法執行。如 SPM(3)不能直接傳送到 QDR(7)，必須要先傳送到 QDR(5)之後，由手臂二(Robot2)接手才能傳送 QDR(7)。

2.5 光阻去除機化學液體槽之特殊限制

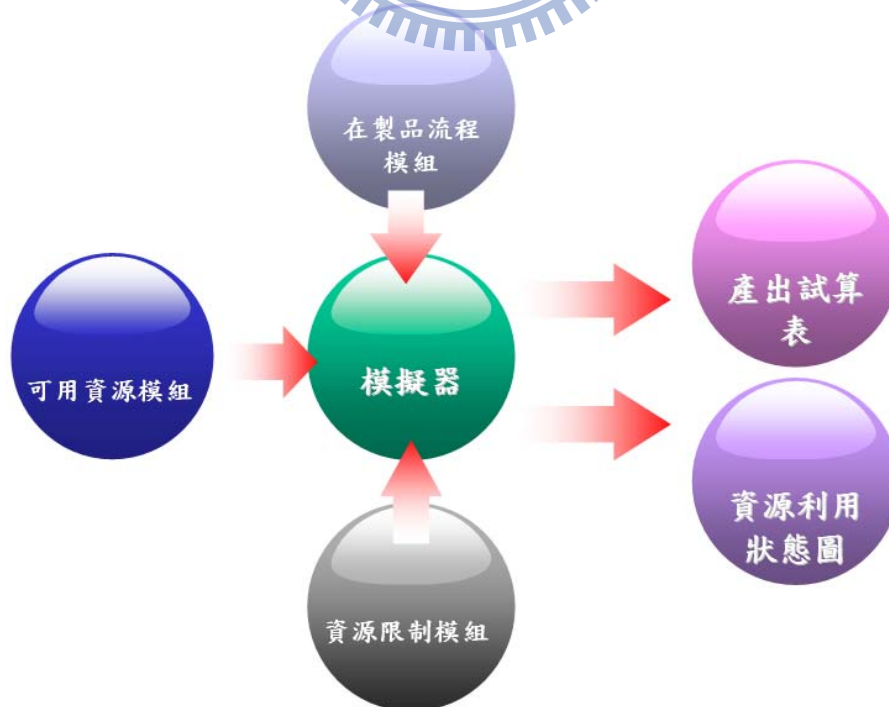
晶圓製造的濕式清洗法所需的化學液體都屬於強酸或是強鹼類的強烈侵蝕性物質，在考量到精準的製程控制以達到最穩定的加工結果，所有化學液體槽的浸泡時間都被嚴格的控管，一旦任一浸泡化學液體槽的時間到達製程所需要的時間，其負責的機械手臂都必需要立即的將處理中的產品取出並搬運到下一個化學液體槽以避免任何的過度浸泡。這樣的製程需求限制使得自動化控制必須是精準且複雜的。為了確實執行這樣的要求，光阻去除機配備了排程運算系統，此系統會預先把每一批的執行動作所需要的資源(如機械手臂、化學液體槽)先保留下來。其目的在於避免晚進的產品批次會搶走先進的產品批次所需要的資源，而導致化學液體槽的時間到達製程所需要的時間，但其負責的機械手臂因為執行其它動作使得處理中的產品沒

有被立即取出造成過度浸泡。

化學液體槽在 SPM(3)和 SPM(4)有一特別限制，因為 SPM(3)和 SPM(4)所使用的化學液體是一模一樣的，所以都必須要處理過同樣的數量的晶片後，進行約 1hr 的換酸動作，所以如果 SPM(3)和 SPM(4)的加工時間設定相同，則在固定時間內只會執行一次的換酸動作；如果 SPM(3)和 SPM(4)的加工時間設定不同，則可能在固定時間內只會執行兩次的換酸動作。因而在 SPM(3)和 SPM(4)浸泡加工時間的設定上，會限制這兩個化學液體槽的浸泡加工時間必須要相同。

2.6 機台資源模擬模組之建構

本研究藉由有限機台資源模擬模組的三個主要的輸入模組（在製品流程模組、可用資源模組以及資源限制模組），經由執行有限資源規劃系統後，針對執行後之資料閒置的現象，進行改善的工作，以期達到機台產出最大化的預期成果。在本研究之中，利用表三所列的執行環境使用 Visual Basic 6.0 程式語言，依據有限資源規劃之試算結果，配合已知的限制條件，建構出光阻去除機的行為模擬模組。由於 Visual Basic 程式語言使用普遍，且較能充分地表達演算法之觀念，具有彈性大、速度快等之優點，將有助於資源規劃之擴增及修改的需求。整個模擬模組的關聯圖如下：

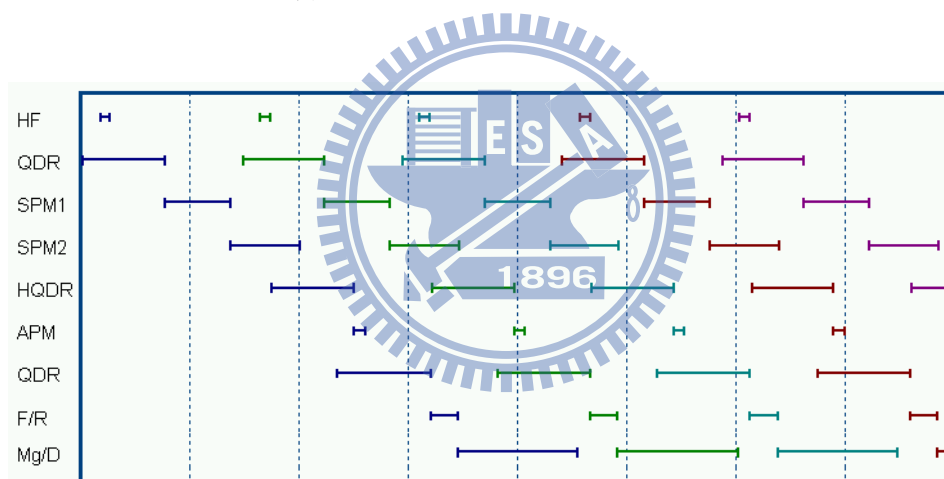


圖十二 模擬模組的關聯圖

表三 光阻去除機的模擬模組執行環境

硬體環境	操作平台	中央處理器	記憶體
	Windows XP	Intel Core2 1.86 GHz	2.0 G
程式語言	Visual Basic 6.0		

在輸入資料方面，有限資源規劃所需之資料項目大多為現場及時性之資料，如化學液體槽的加工時間、機械手臂在不同距離所需的執行時間、…等。而輸出資料方面，本模擬模組之重要輸出項目為機台的重要元件的負荷情形及時間預排狀態，如圖十三。其橫軸表示時間值的變化，縱軸表示各個重要元件，圖中的實線表示資源被實際執行的狀態，沒有實線的狀況則可以被後來的產品批次所利用。



圖十三 光阻去除機模擬模組的資源利用狀態圖

另一主要輸出資料為產出試算表，用來衡量產出績效指標（Performance Measurement）與不同生產參數的關聯性，其衡量單位為 WPH(Wafer Per Hour)。這是晶圓製造工廠為衡量機台產出的主要指標，其計算公式為：單位時間內總處理片數 / 機台總運作時間(Hour)。

三、實例驗證與數據分析

3.1 模擬模組之可變因子及水準

本研究目的為光阻移除機在不同的控制因子的環境下，對於光阻移除機產出績效之影響。光阻移除機控制因子的不同將會導致產出績效具有變異性，而產出績效俱有變異性代表光阻移除機系的控制因子對於機台績效的影響效果也會不同。以下將探討當光阻移除機控制因子改變導致產出績效具有變異時，要如何適時的修正不同的控制因子來最大化滿足光阻移除機產出績效。本模擬模組之可變因子（Factor）及水準（Level）如下表四。

表四 光阻去除機的可變因子及水準表

可變因子	水準上限	水準下限
HF(1) (單次加工時間)	1 min	0.2 min
QDR(2) (單次加工時間)	10 min	3 min
SPM(3) (單次加工時間)	10 min	3 min
SPM(4) (單次加工時間)	10 min	3 min
QDR(5) (單次加工時間)	10 min	3 min
APM(6) (單次加工時間)	4 min	2 min
QDR(7) (單次加工時間)	10 min	3 min
QDR(8) (單次加工時間)	10 min	3 min
Mg/Dry(單次加工時間)	10 min	7.5 min
Robot1(單次搬運時間)	5 min	0.2min
Robot2(單次搬運時間)	5 min	0.2min
Robot3(單次搬運時間)	5 min	0.2min

根據限制理論的原理，光阻移除機現在加工時間最長的是 Mg/Dry 7.5min，如果 Mg/Dry 的加工時間增加會使得產出越低，故在模擬進行之前先將其可變因子水準上下限均定義成 7.5min，且為了避免其他因子的加工時間超過 7.5 min 而直接導

致產出降低，所有的可變因子水準上下限皆控制在 7.5 min 以下，並定義手臂的傳送速度越快越好。所以，本模擬模組之可變因子（Factor）及水準（Level）將修正如表五。

表五 修正後的光阻去除機可變因子及水準表

可變因子	水準上限	水準下限
HF(1) (單次加工時間)	1 min	0.2 min
QDR(2) (單次加工時間)	10 min 7.5 min	3 min
SPM(3) (單次加工時間)	10 min 7.5 min	3 min
SPM(4) (單次加工時間)	10 min 7.5 min	3 min
QDR(5) (單次加工時間)	10 min 7.5 min	3 min
APM(6) (單次加工時間)	4 min	2 min
QDR(7) (單次加工時間)	10 min 7.5 min	3 min
QDR(8) (單次加工時間)	10 min 7.5 min	3 min
Mg/Dry(單次加工時間)	10 min 7.5 min	7.5 min
Robot1(單次搬運時間)	5 min 0.2 min	0.2min
Robot2(單次搬運時間)	5 min 0.2 min	0.2min
Robot3(單次搬運時間)	5 min 0.2 min	0.2min

3.2 模擬數據分析

根據實驗結果步驟而言，首先必須先確定在光阻移除機控制因子的不同將會導致產出績效具有變異性的狀況下，計算出光阻移除機在不同的控制因子的機台績效的影響。利用表五提供的數據，先依其水準區間內定義出高、中、低水準，並將相關資料輸入模擬模組並取得其產出績效結果。其結果如下表六。

表六 不同可變因子下的機台產出模擬結果

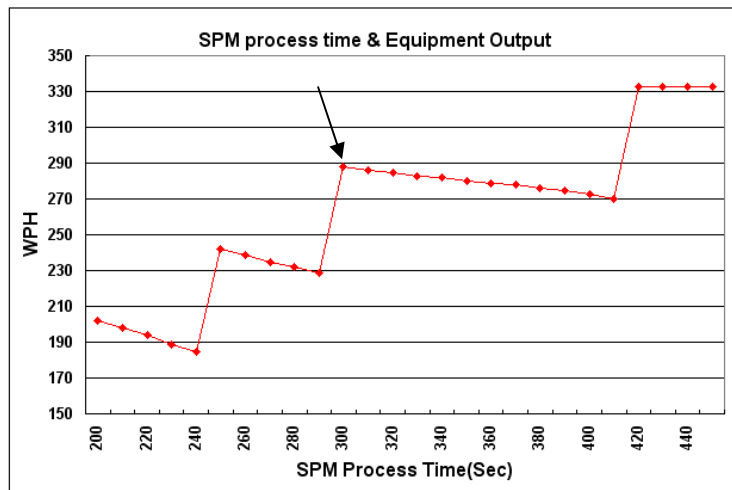
Simulation No	HF(1)	QDR(2)	SPM(3)	SPM(4)	QDR(5)	APM(6)	QDR(7)	F/R(8)	Mg/D(9)	WPH result
1	30	300	300	300	300	60	300	120	450	288
2	40	300	300	300	300	60	300	120	450	286
3	50	300	300	300	300	60	300	120	450	284
4	30	350	300	300	300	60	300	120	450	280
5	30	400	300	300	300	60	300	120	450	201
6	30	450	300	300	300	60	300	120	450	270
7	30	300	150	150	300	60	300	120	450	227
8	30	300	200	200	300	60	300	120	450	202
9	30	300	250	250	300	60	300	120	450	242
10	30	300	350	350	300	60	300	120	450	280
11	30	300	400	400	300	60	300	120	450	273
12	30	300	450	450	300	60	300	120	450	333
13	30	300	300	300	350	60	300	120	450	288
14	30	300	300	300	400	60	300	120	450	226
15	30	300	300	300	450	60	300	120	450	226
16	30	300	300	300	300	120	300	120	450	288
17	30	300	300	300	300	180	300	120	450	288
18	30	300	300	300	300	240	300	120	450	226
19	30	300	300	300	300	60	350	120	450	288
20	30	300	300	300	300	60	400	120	450	226
21	30	300	300	300	300	60	450	120	450	226
22	30	300	300	300	300	60	300	180	450	288
23	30	300	300	300	300	60	300	240	450	288
24	30	300	300	300	300	60	300	300	450	226

根據模擬模組輸出的績效結果，可以發現所有可變的控制因子幾乎都沒有表現的比原始狀態來的好，除了 SPM(3)和 SPM(4)的加工時間增加到高水準的狀態時，生產績效可以從 288pcs/hour 增加到 333pcs/hour(約 16%)，可以說是相當顯著的改善。為了更加清楚 SPM 加工時間對於生產績效的影響，將模擬 SPM 加工時間的控制因子增加到每 10 秒一次，則可以得到新的機台產出模擬結果如表七。

表七 不同可變因子下的機台產出模擬結果之二

Simulation No	HF(1)	QDR(2)	SPM(3)	SPM(4)	QDR(5)	APM(6)	QDR(7)	F/R(8)	Mg/D(9)	WPH result
S1	30	300	200	200	300	60	300	120	450	202
S2	30	300	210	210	300	60	300	120	450	198
S3	30	300	220	220	300	60	300	120	450	194
S4	30	300	230	230	300	60	300	120	450	189
S5	30	300	240	240	300	60	300	120	450	185
S6	30	300	250	250	300	60	300	120	450	242
S7	30	300	260	260	300	60	300	120	450	239
S8	30	300	270	270	300	60	300	120	450	235
S9	30	300	280	280	300	60	300	120	450	232
S10	30	300	290	290	300	60	300	120	450	229
S11	30	300	300	300	300	60	300	120	450	288
S12	30	300	310	310	300	60	300	120	450	286
S13	30	300	320	320	300	60	300	120	450	285
S14	30	300	330	330	300	60	300	120	450	283
S15	30	300	340	340	300	60	300	120	450	282
S16	30	300	350	350	300	60	300	120	450	280
S17	30	300	360	360	300	60	300	120	450	279
S18	30	300	370	370	300	60	300	120	450	278
S19	30	300	380	380	300	60	300	120	450	276
S20	30	300	390	390	300	60	300	120	450	275
S21	30	300	400	400	300	60	300	120	450	273
S22	30	300	410	410	300	60	300	120	450	270
S23	30	300	420	420	300	60	300	120	450	333
S24	30	300	430	430	300	60	300	120	450	333
S25	30	300	440	440	300	60	300	120	450	333
S26	30	300	450	450	300	60	300	120	450	333

將表七所得資料結果繪製的關係圖如下圖十四所示。

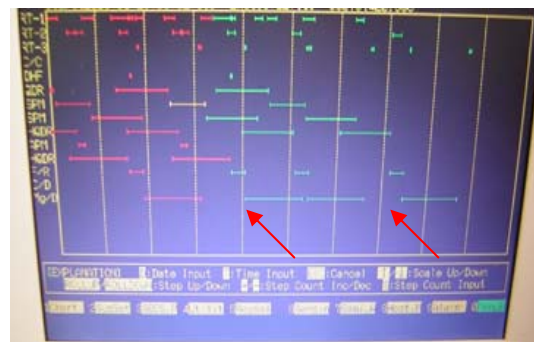


圖十四 SPM 加工時間與機台產出績效關係圖

在進一步的模擬模組輸出的績效結果,可以發現現行的 SPM 加工時間相對於其鄰近的數據,可說是較佳的選擇。但是在觀察化學液體槽的加工狀態,卻發現每隔一段時間會發生閒置的情形,如圖十五、圖十六。其主因可由圖上發現是 Robot1 在執行搬運動作時,為了同時滿足已知的限制條件(見 3.3),而暫時地變成瓶頸狀況,所有的化學液體槽必須要等到 Robot1 不再 busy 後,才恢復正常運作,這個等待時間則導致其他化學液體槽的閒置。而延長化學液體槽加工時間可以有效的減輕 Robot1 的忙碌程度,其中又以 SPM 加工時間在 420sec 以上的設定可讓加工時間最長的 Mg/Dry(理論上的系統瓶頸)滿載,如圖十七、圖十八。



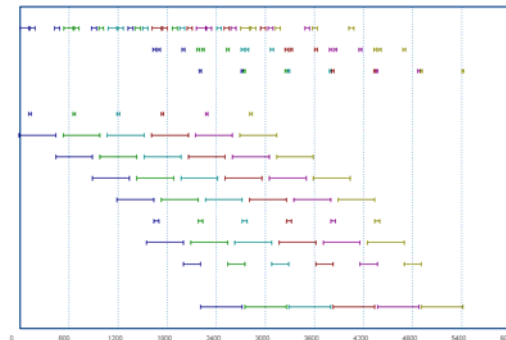
圖十五 模擬機台元件與時間關係圖



圖十六 實際機台元件與時間關係圖



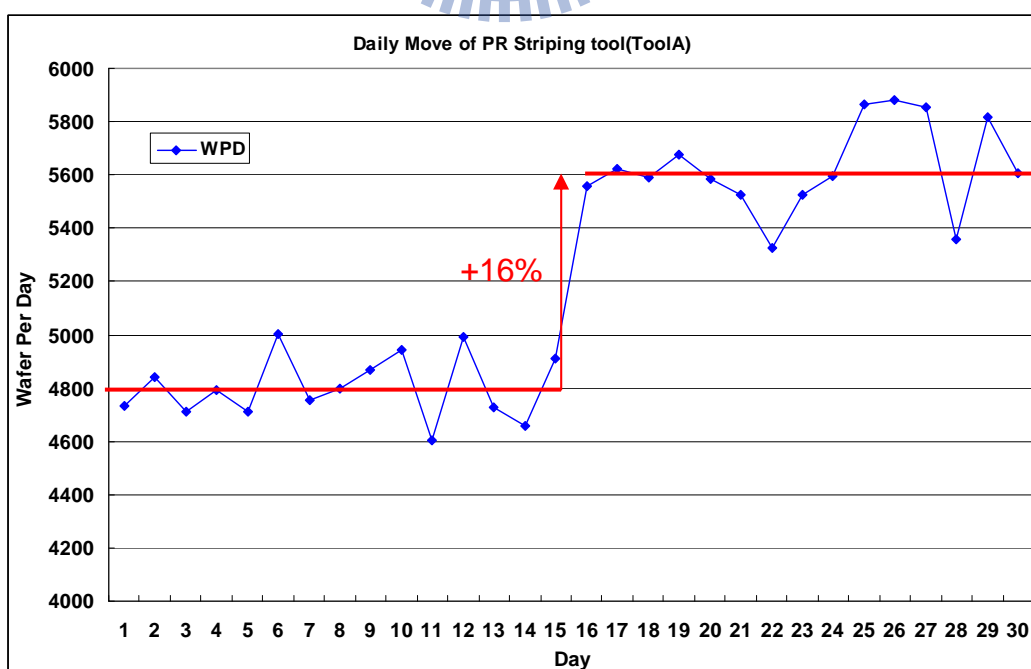
圖十七 模擬機台元件與時間關係圖
(SPM 420 sec)



圖十八 模擬機台元件與時間關係圖
(SPM 450 sec)

3.3 實例導入與成果驗證

針對本研究所探討之績效指標，發現調整 SPM 加工時間，能有效的提升光阻去除機的生產產出績效。此外，由於模擬模組輸出的績效結果指出當 SPM 加工時間在 420sec 到 450sec 之間可以使得所有化學液體槽皆呈現滿載狀態，因此與工程人員討論後決定將 SPM 加工時間調整到 420sec 並收集 ToolA 在調整前後的機台每日產出資料(Wafer Per Day)，如圖十九所示。光阻去除機產出績效在調整 SPM 加工時間之後，平均上升了 16%，顯見 SPM 加工時間的差異對光阻去除機產出績效而言有顯著差異。



圖十九 光阻去除機產出績效圖

四、 結論與未來研究方向

4.1 結論

由於半導體晶圓製造具有多迴流以及極為複雜之加工途程，造成製造現場加工機台生產及瓶頸的不確定性。因此，許多主流研究大多探討機台外的存貨與物流管理，顯少提及機台內部的瓶頸及物流調度管理的問題。有鑑於此，本研究主要探討「考量機台內部複雜之加工途程造成產出績效不確定性高的狀況下，建立系統模擬適時的回饋資訊並更新預測模式，以找出較高生產力的加工條件」。並歸納結論如下：

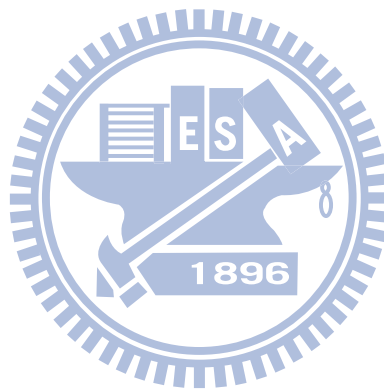
- (1)越多的加工元件存在於單一機台內，則其預測其產出績效結果的不確定性越高，單一機台內的多個加工元件之間的搬運使用共同的搬運資源(機械手臂)，當搬運的需求或限制增加時，則此一機台的搬運資源(機械手臂)可能變成暫時性的瓶頸資源，並會影響產出水準。
- (2)當瓶頸工作站愈來愈接近 100%的利用率時，搬運的數量需求也會逐步增加導致搬運資源(機械手臂)經常性的壅塞，使得加速瓶頸工作站產生的效果會愈來愈小。搬運資源的壅塞將會延遲對瓶頸工作站的供給速度，使得瓶頸工作站的閒置時間增加，產出績效可能降低或不變。
- (3)機台行為模擬確實可以幫助決定出複雜加工流程機台的最合適工作站加工時間，因而使得複雜加工流程機台的產出量得到一個較佳的結果而不需經過試誤(trial-and-error)的過程。

4.2 未來研究方向

本論文研究成果雖然可能有效地幫助提升光阻去除機的生產力，但是未來仍舊存在許多繼續研究的機會與方向如下列幾點：

- (1)延伸本系統模擬技術到具有類似複雜性質的生產機台上，如氧化物移除機(Oxide remove)、氮化物移除機(Nitride remove) 等等，這些機台的生產力都比其內部的瓶頸產能來的低，其加工過程中有搬運資源壅塞情形的可能性很高。

(2)改善本系統模擬使用者操作界面。目前本系統模擬引用的加工程序與限制條件設定都硬寫(Hard code)在程式語言中，只有現階段被定義成可變因子的部份能被使用者修改；未來如何改良使用者操作界面讓使用者輕鬆地修改加工程序與限制條件，可以幫助管理人員在製程技術進步迅速的情況下，能持續地將此機台的生產力控制在最佳的狀態。



參考文獻

中文部份

- [1]吳鴻輝，李榮貴著，「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，台北，2002 年3 月，二版三刷。
- [2]李榮貴，「問題分析與決策上課講義」，國立交通大學工業工程與管理學系課程，2008年。
- [3]高德拉特(Eliyahu M. Goldratt)著，「目標-簡單而有效的常識管理」，齊若蘭譯，天下文化，台北，1997 年。
- [4]彭登志著，「半導體Wet Bench清洗製程火災預防研究-過氧化氫不相容性探討」，雲林科技大學 - 環境與安全工程系碩士論文，2002年。
- [5]余業鑫著，「以生產力為觀點的半導體晶圓廠產能規劃方法」，清華大學 - 工業工程與工程管理論文，2003年。
- [6]朱文東著，「晶圓代工廠無附加價值活動之即時管理系統」，交通大學-工業工程與管理論文，2001年。
- [7]林振宏著，「限制理論應用於晶圓廠產能受限機台的產能分析與派工」，中華大學-工業工程與管理研究所碩士論文，2000年。
- [8]古昌恭著，「晶圓代工廠整體瓶頸機台與個別產品瓶頸機台關係之研究」，中華大學-工業工程與管理研究所碩士論文，2002年。
- [9]李晉裕著，「半導體測試廠有限資源產能規劃研究」，中原大學- 工業工程學系碩士論文，1999 年。
- [10]張俊彥、鄭晃忠，1997，「積體電路製程及設備技術手冊」，經濟部技術處，台灣。
- [11]段定夫，1996 B，「高純度化學品在八吋晶圓製造應用及發展趨勢」，電子月刊，2 卷，12 期，頁 56~63，12 月。

英文部份

- [1]Kern, W., “Cleaning Solutions Based on Hydrogen Peroxide for Use in Semiconductor Technology”, RCA Review, vol. 31, pp. 207-233, 1970.
- [2] Nogami, T., et al, “Suppressed Si Precipitation at an AlSi/Si Contact by the Presence of Thin SiO₂ Film on the Si Substrate”, Semiconductor Science Technology, Vol. 9, pp. 2138-2143. 1994,
- [3]Kern, W., Handbook of Semiconductor Wafer Cleaning Technology, Noyes,U.S.A, 1993.
- [4]Watanabe, K., 1994, “Increase in Effective Carrier Lifetime of Silicon at Low Carrier Injection Levels”, Semiconductor Science Technology, Vol. 9, pp.370-372, 1994.

