

東 海 大 學

工業工程與經營資訊學系

碩士論文

發展一產能規劃與分析模擬系統
-以半導體晶圓製造為例

研 究 生：闕羣亞

指 導 教 授：王立志 教授

中 華 民 國 一〇四 年 六 月

**Development of a Capacity Planning and
Analysis Simulation Model
for Semiconductor Wafer Fabrication**

By
Chun-Ya Chueh

Advisor: Prof. Li-Chih Wang

A Thesis
Submitted to the Institute of Industrial Engineering and
Enterprise Information at Tunghai University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
in
Industrial Engineering and Enterprise Information

June 2015
Taichung, Taiwan

發展一產能規劃與分析模擬系統

-以半導體晶圓製造為例

學生：闕羣亞

指導教授：王立志

東海大學工業工程與經營資訊學系

摘 要

半導體晶圓製造是一個高資本密集型的產業，如何有效的利用產能始終是半導體製造業所面臨的關鍵挑戰。一般而言，規劃人員利用過去機台與途程的平均可用時間等資料，建置一靜態產能規劃(Static Capacity Planning) 模型進行產能評估與規劃，以滿足需求計畫。然而，靜態模型的作法並無法考量半導體生產時的限制條件與特性(例如回流、集批)，以及不定時發生的複雜異常事件(例如：機台故障)，因此很難估計出一個合理且有效益的產能規劃，以滿足每週/月需求(即，晶圓產出)。有鑒於此，本研究將考量晶圓製造生產特性、機台內部做動行為、機台群組派工邏輯，提出一半導體晶圓製造產能規劃與分析(Capacity Planning & Analysis Simulation; CPAS)模擬系統功能架構，利用快速應用程式開發(Rapid Application Development; RAD)方法和統一建模語言(Unified Modeling Language; UML)建立 CPAS 模型，並使用模擬軟體 *Plant Simulation* 開發 CPAS 系統。最後，本研究所發展的 CPAS 系統已應用於一台灣半導體十二吋晶圓廠，以實際每日投片與產出的驗證結果顯示，利用 CPAS 的每日/每週/每月規劃產出(包括 WIP, MOVE 及 Wafer Out 等)與實際產出準確性相當高(大於 95%)。此外，CPAS 系統亦由規劃人員應用於產能規劃，以及針對關鍵/瓶頸生產設備可用時間(Available Time; AT)，進行 AT 與其波動性 (fluctuation) 對於整體產能產出之影響性分析，以作為產能評估與投資決策之參考。

關鍵字：半導體製造、模擬系統發展、產能規劃與分析、統一建模語言

Development of a Capacity Planning and Analysis Simulation Model for Semiconductor Wafer Fabrication

Student: Chun-Ya Chueh

Advisor: Prof. Li-Chih Wang

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information
Tunghai University

ABSTRACT

Semiconductor wafer fabrication is a capital intensive industry, how to effectively utilize the capacity is always a crucial challenge for semiconductor capacity planners. Currently, static capacity planning model, which is based on the historical data of the average available time of machines and routing, is usually employed to plan the required capacity for satisfying the demand plan. Due to the complexity of semiconductor production and many production constraints (e.g., re-entry, batching) and abnormal events (e.g., machine breakdown) are not considered, the static model is very hard to estimate a reasonable capacity plan for satisfying a weekly/monthly demand (i.e., wafer out) plan. Therefore, this paper aims to develop a capacity planning and analysis simulation (CPAS) system which takes into account the production characteristics/constraints, the internal behavior of machines, and the dispatching rules applied in a full-scale 300 mm wafer fab. Rapid application development (RAD) and unified modeling language (UML) are employed to analyze and designed CPAS, and a commercial available simulation software, *Plant Simulation*, is used to implement CPAS. The accuracy of the CPAS model is validated with the actual input (e.g., wafer release per day, machine run time/available time, routing, WIP) and output (e.g., cycle time, MOVE, Wafer Out) for all machine tool sets. The CPAS model was also employed by capacity planners in a leading wafer fab in Taiwan to study the effect of the fluctuation of available time (AT) of critical/bottleneck production equipment to fab's overall capacity and output performance.

Keywords: Semiconductor Manufacturing, Simulation System Development, Capacity Planning and Analysis, Unified Modeling Language (UML)

致謝

首先誠摯的感謝指導教授王立志博士，老師悉心的教導，不時的討論並指點我正確的方向，使我在這些年中獲益匪淺。老師對學問的嚴謹更是我輩學習的典範。

兩年來，研究室中的夥伴同甘共苦，有時一起熬夜吃宵夜、趕報告，有時閒暇休閒運動，有時認真討論分享學術研究，有時歡樂開生日慶祝趴踢。

其中，還必須特別感謝心恕學長，沒有學長的幫助，再忙於做專案的日子裡，可能已經撐不下去了，也感謝尊寅學長細心的教導 VBA 的程式，明忠學長教導我們報告的技巧及抓去重點的能力，立品學長交導我們讀 Paper 的技巧，意凡學姐提醒我們除了認真工作業要顧及身體健康，小眼睛學姊分擔我報帳的負擔；也感謝深為同一線同甘共苦同學思逸，突出的領悟能力與簡報能力，在你身上我學到很多，還有台彥，除了學習上的邏輯推導能力和數學能力外，同時也是我們的人生導師，多活幾年真的不一樣。另外還有必須感謝其他研究夥伴，婉巧、NONO、大嘴、羅賓、JOJO、俊雄、豆奶、騏緯、偉祥、韋宗、佳慧、雨璇、宇哲、弼皓、偉恩、佳伶、元志、惠雯、偉婷、宗倫、信佳...等，還有學弟妹，晟浩、安杰、鳳芷、君禪、以澤、雯晴，有你們的陪伴，讓我順利走過這兩年。

此外，也必須感謝東海工業工程系，提供了我們一個舒適、適合學習的環境，系上所蘊含的特殊的家庭感，不管是老師、助教、同學、學長姐或是學弟妹，大家像牽著一條看不見的線，互相的關心、幫助，我想這可能是其他地方不容易擁有的。

最後，謹將此文獻給我摯愛的父親、母親還有姊姊，在這麼多年的求學過程中，有了你們生活上的支持與精神上的鼓勵，方使我無後顧之憂，順利完成學業，深深感謝你們的支持。

闕羣亞 謹誌於

東海大學工業工程與經營資訊學系

中華民國一〇四年六月

目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
致謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	v
圖目錄.....	vi
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究步驟與方法.....	4
第二章 文獻回顧.....	4
2.1 半導體製程.....	5
2.2 半導體產能規劃.....	8
2.3 應用模擬技術於產能規劃.....	10
2.4 模擬系統發展方法.....	12
第三章 半導體動態產能規劃與分析模擬系統發展.....	15
3.1 問題定義.....	15
3.2 產能規劃與分析模擬系統設計.....	17
3.3 產能規劃與分析模擬系統架構.....	27
3.4 系統設計.....	34
3.5 產能規劃與分析模擬系統建構.....	44
第四章 產能規劃與分析模擬系統驗證與評估.....	65
4.1 產能規劃與分析模擬系統驗證方法.....	65
4.2 結果呈現.....	72
第五章 結論與未來方向.....	75
5.1 結論.....	75
5.2 未來研究方向.....	75
參考文獻.....	76

表目錄

表 3.1 參數定義.....	16
表 3.2 使用者需求訪談表.....	18
表 3.3 要因特性分析表.....	19
表 3.4 使用者案例整理.....	21
表 3.5 使用者案例表.....	22
表 3.6 使用者案例總表.....	27
表 3.7 Plant Simulation 基本物件表.....	35
表 3.8 模擬軟體分列表.....	45
表 4.1 使用者驗證項目表.....	66
表 4.2 Record 表格機台篩選.....	73

圖目錄

圖 1.1 半導體四大製程.....	1
圖 1.2 現有產能投資模型下規劃產能與實際產能之差異圖.....	3
圖 1.3 研究步驟.....	4
圖 2.1 晶圓製程的基本加工步驟.....	5
圖 2.2 半導體產能規劃方式分類圖.....	9
圖 2.3 階段式發展模式.....	12
圖 2.4 瀑布式發展模式.....	13
圖 2.5 離型式發展.....	13
圖 2.6 RAD 發展模式.....	14
圖 3.1 靜態產能規劃步驟.....	15
圖 3.2 系統物件圖.....	20
圖 3.3 系統循序圖.....	20
圖 3.4 功能活動圖.....	23
圖 3.5 功能強韌.....	24
圖 3.6 功能循序圖.....	25
圖 3.7 功能循序圖.....	26
圖 3.8 半導體產能規劃與分析模擬系統.....	28
圖 3.9 系統架構圖.....	29
圖 3.10 Frame 分類.....	36
圖 3.11 Event Controller UI.....	36
圖 3.12 Single process UI.....	37
圖 3.13 StoreUI.....	38
圖 3.14 TableFile UI.....	39
圖 3.15 系統介面設計展開.....	40
圖 3.16 系統實際主介面.....	41
圖 3.17 資料庫類別關聯圖.....	43
圖 3.18 Plant Simulation 物件分類.....	46
圖 3.19 系統模組-物件對應表.....	47
圖 3.20 實際廠區模擬圖.....	49

圖 3.21 實際廠佈圖-模擬廠佈圖	50
圖 3.22 六大主要製程特性.....	51
圖 3.23 VIISa 機台	51
圖 3.24 VIISa 作動.....	52
圖 3.25 Gamma2130 機台	53
圖 3.26 Gamma2130 作動.....	54
圖 3.27 Gamma2130 模擬.....	54
圖 3.28 Endura 機台	56
圖 3.29 Endura 機台作動.....	57
圖 3.30 Endura 機台模擬.....	58
圖 3.31 TELINDY PLUS 機台.....	59
圖 3.32 TELINDY PLUS 機台作動.....	60
圖 3.33 TELINDY PLUS 機模擬.....	61
圖 3.34 系統運行邏輯流程圖.....	63
圖 3.35 推貨派工邏輯圖.....	64
圖 4.1 驗證方法.....	65
圖 4.2 系統產出記錄 lot 與機台報表資訊	67
圖 4.3 生產途程驗證.....	67
圖 4.4 模擬依據 lot 優先順序進行派工	68
圖 4.5 Qtime 考量結果示意圖.....	68
圖 4.6 集批功能模擬結果示意圖.....	68
圖 4.7 金屬汙染防治示意圖.....	69
圖 4.8 量測站抽測結果示意圖.....	69
圖 4.9 Run Time 計算驗證圖.....	70
圖 4.10 Move 數驗證圖	71

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

1.1.1 研究背景

台灣半導體產業在全球具有一定的地位，尤其是在「晶圓處理」上，更是有著不可動搖的地位。以晶圓代工龍頭台積電為例，其工廠在晶圓處理領域 2013 年的全球市佔率為 47%，2014 年更首度拿下過半市佔率達 53%。2014 年台灣半導體產業產值更達新台幣 1 兆 8950 億元，年成長 7.8%，因此半導體是影響國內經濟相當重要的一個產業。在半導體產業的整體供應鏈結構主要可以分成四大階段，積體電路設計、晶圓製造、封裝、測試，其中又以晶圓製造的製程最為複雜。

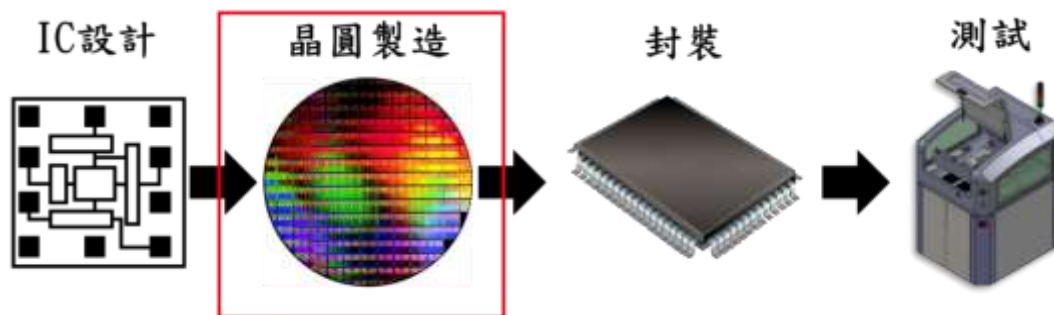


圖 1.1 半導體四大製程

(資料來源：本研究整理)

隨著近年來，電子電路的要求逐漸細微，晶圓片尺寸也越來越大，因此半導體晶片線寬縮小、功率降低、成本降低等要求下，需要更新的技術來滿足這些需求；而目前全球兩大龍頭晶圓公司，英特爾(Intel)和台積電(TSMC)，在 12 nm~16 nm 的技術上已經大體成熟，但由於新技術的導入增加了派工的複雜度，進而影響產品的良率導致成本居高不下，因此找到如何降低成本的有效途徑成為了晶圓製造業現在的首要挑戰目標。

產能規劃(Capacity Planning)是用來分配生產資源以確定企業能達成產出目標，也就是規劃人員、設備等能力綜合形成的生產能力大小，其所確定的生產能力將對企業的各種作業層面(如定價策略、財務策略等)產生重大影響。

對於現今半導體產業進行產能規劃時多屬於靜態模型，即從過去實際

排程內容進行科學性分析，並從已知的因素中進行產能規劃。例如，由過去歷史機台資料計算平均可用時間、加上現場實際產量，再配合經驗公式加以推導計算使其得以滿足需求產能。其欲取得或購買的總產能(例如機台數量)大致由粗略產能規劃 (Rough-cut capacity planning)加上經驗估算與容許值所得。若產能不足，則以外包、人員加班、採購新機台等替代方式補足，但上述方式則替企業帶來了不同的問題，例如外包的品質、人員疲勞與額外加班費、新機台導入期與良率不穩等。然而在有許多變異(Variation)因子存在的現場實際情況下，這些不可控的因子會造成預測失準，導致其產能規劃與投資決策的錯誤。

因此，本研究希望以考量這些變異因子的情況下，去開發一產能規劃系統，並期望規劃結果能夠提升預測準確率，以減少投資規劃錯誤。

1.1.2 研究動機

實際半導體生產，有許多生產限制、複雜的派工與變異(Variance)的存在，但目前半導體產業的產能規劃多屬於靜態模型，其所導入的參數均為量測所得的平均值，在有變異的情況下預測容易失準，也無法處理許多複雜的細部變因和限制。例如，靜態模型並無法處理等候(queueing)壅塞下所造成的產能損失、半導體機台間的連動性(例如 lead time 隨前後機台的變化)等因素。整體而言，在總產能充足的情況下，單一機台產能的波動(fluctuation)對整體產能的影響可能會被消彌，所以靜態模型所得到的結果可能與真實情況相差不遠。然而，當在總產能較小的情況下，機台可用產能(Available Time)的不穩定性 卻可能會造成總產出(throughput) 很大的差異(gap)，如圖 1.2 所示。

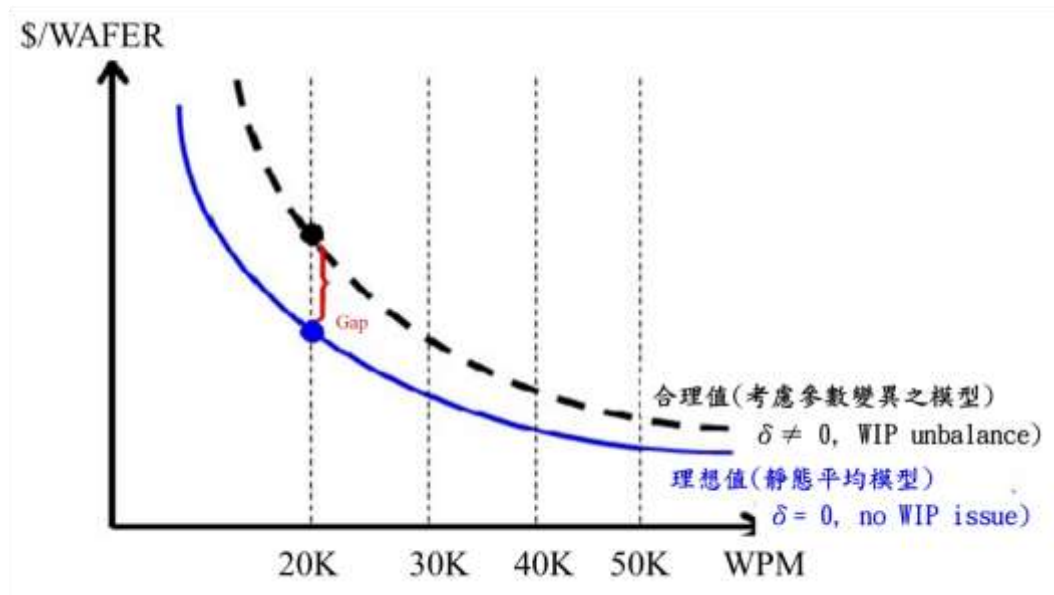


圖 1.2 現有產能投資模型下規劃產能與實際產能之差異圖

(來源：談明忠, 2014)

因此，我們必須在產能規劃模型當中考慮參數變異性與相關動態變因，讓產能規劃更為精準。則傳統靜態模型已經不再適用，我們需找出一個先進的動態產能規劃模型，且此模型能夠反映真實的產能狀況。

1.2 研究目的

本研究希望發展出一種能夠準確的反應產能的真實狀況的新動態半導體產能規劃系統 CPAS。然而，要能夠同時考量半導體的複雜派工和生產時的變動因子，並做出一個全廠的產能規劃是困難的。因此，本研究將使用快速應用程式開發 (Rapid Application Development; RAD) 方法和 UML(Unified Modeling Language)去開發此 CPAS 系統。為確保快速開發的準確性，本研究將在開發步驟中加入了強韌性分析(Robustness Analysis)的手法，來確定開發之 CPAS 系統架構與需求吻合之，最終，使用系統模擬 (System Simulation)方法去建立一動態產能規劃模擬模型，並導入半導體十二吋晶圓製造廠。整體而言，研究目的包括以下四點：

1. 整理過去半導體產能規劃與分析的相關文獻，並針對動態產能文獻提出探討。
2. 了解半導體晶圓製造廠生產製程考量之特性、重要機台群組作動行為、派工法則、控制邏輯等。

第二章 文獻回顧

本章節將先說明半導體晶圓製造的生產製程，再針對過去產能規劃的方式進行瞭解，探討有關半導體產能規劃與排程問題、產能規劃方式與評估，最終選擇以模擬方式進行規劃，然後針對過去半導體產能規劃模擬的方法，探討過去半導體模擬的不足，並結合搜尋演算法進，最後說明本係發展的方法；本章被歸類成四個部分：(1)半導體生產製程說明，(2)針對過去學者有做過半導體生產規劃排程分類，並探討過去半導體產能規劃方式，(3)探討產能規劃運用模擬技術的相關做法，(4)模擬系統的發展方法。

2.1 半導體製程

半導體的製程主要可以分成四大段，IC 設計、IC 製造、封裝、測試，前面第一章已經提到由於製程中又以 IC 製造最為複雜，所以本研究將以 IC 製造為例進行開發系統；因此，本章節主要說明半導體 IC 製造之製程，半導體晶圓製造的加工步驟可參考下圖 2.1。

從圖中可以發現，晶圓製造的流程極為複雜，且多有回流性製程，通常晶圓製造製程能高達六七百道的製程，雖然製程繁瑣，但製造的品質要求卻很高，為了確保每一道製造程序的品質，盡可能在每一步驟的結束都進行測試。

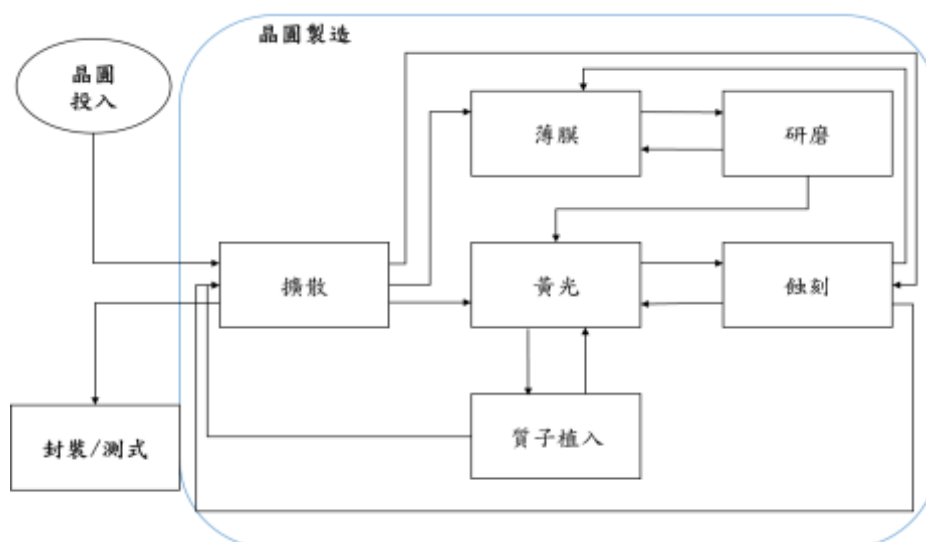


圖 2.1 晶圓製程的基本加工步驟

(資料來源:劉文超，2006)

晶圓的基本處理步驟，通常是由晶圓(n-Si)清洗開始，之後送至爐管(Furnace)內，在含氧的環境中，以加熱氧化(Oxidation)的方式，使晶圓的表面積上一層二氧化矽(SiO₂)層，稱Oxide成長製程，並做為許多結構中的絕緣層或是阻隔層(barrier)，接著以化學氣相沈積(Chemical Vapor Deposition; CVD)的方式沈積(Deposition)，使氮化矽(Si₃N₄)層成長於二氧化矽(SiO₂)層上方，然後整個晶圓將進行微影(Lithography)的製程，先在晶圓上上一層光阻(Photo resist)，再將光罩上的圖案移轉到光阻上面。接著利用蝕刻(Etching)技術，將部份未被光阻保護的氮化矽層加以除去，留下的就是所需要的線路圖部份。接著以磷為離子源(Ion Source)，對整片晶圓進行磷原子的植入(Ion Implantation)，然後再把光阻劑去除(Photoresist Strip)。

製程進行至此，我們已將構成積體電路所需的電晶體及部份的字元線(Word Lines)，依光罩所提供的設計圖案，依次在晶圓上建立完成，接著進行金屬化製程(Metallization)，製作金屬導線，以便將各個電晶體與元件加以連接，而在每一道步驟加工完後都必須進行一些電性、或是物理特性量測，以檢驗加工結果是否在規格內(Inspection and Measurement)；如此重複步驟製作第一層、第二層...至n層的電路部份，以在矽晶圓上製造電晶體等其他電子元件；最後所加工完成的產品經清洗後，會被送到電性測試區進行電性量測，晶圓產出(wafer out)。(施敏和梅凱瑞，半導體製程概論，2005)FAB廠內通常可分為六大區，擴散、黃光、蝕刻、薄膜、離子植入和研磨：

擴散製程

擴散的原理是指分子或原子，從高濃度區往低濃度區移動的一種自然現象。擴散製程的主要目的，是要利用摻值在高溫下具備的較高擴散能力，來製作半導體元件所需要的p型和n型的半導體區域。本區的主要機台包含了高溫擴散爐、濕式清洗機台。擴散機台主又包含了氧化、擴散、沉積、回火和製合金。

黃光製程

黃光製程又稱微影，該製程是影響整個晶圓產出的關鍵製程，亦是最

複雜的一個流程。黃光製程主要步驟包括:氣象塗底、光阻塗佈、曝光、株滴去除、烘烤、冷卻和顯影。首先在晶片的表面上覆蓋一層感光材料(光阻)，光阻的平行光經過以玻璃為主體的光罩膜，利用步進機(Stepper)打在這層感光材料上(曝光)，而光阻對日光和紫外線很敏感，但卻對黃光的波長影響不大。因為光罩上面有圖案，使得透過光罩光束映射於塗佈層上相同的圖案。

蝕刻製程

蝕刻(Etch)的主要功能，是把厚度約在數千到數百之間沒有被光阻覆蓋及保護的部份，利用化學反應物理作用來去除，以完成轉移光罩圖案到薄膜上的目的。目前蝕刻技術分為兩種:濕式蝕刻(Wet Etching)，是利用化學反應來進行薄膜的蝕刻；乾式蝕刻(Dry Etching)則是利用物理的作用來進行蝕刻。

薄膜製程

薄膜(Thin Film)，是用來沉積電子或金屬的。晶圓是由層數不等且材質厚度不同的薄膜組合而成。將薄膜覆蓋在晶片上所需的技術，便是所謂的薄膜沉積及薄膜成長技術。沉積指薄膜形成的過程中，並不消耗晶片或底材的材質；而薄膜成長，則指底材的表面材質，也是薄膜形成的元素之一。

薄膜沉積的技術發展，從早期的蒸鍍開始，至今已發展成為兩個主要的方向，分別為物理氣相沉積法與化學氣相沉積法。前者主要是以物理現象的方式，後者則藉著化學反應，來進行薄膜的沉積。

其常見的設備包含化學氣相沉積(CVD)、金屬濺鍍(PVD)、快速熱處理(RTP)和平坦化覆蓋(SOG)。

離子植入

離子植入(Ion Implanter)，最常作為晶圓摻雜的機台，摻入的質有砷、磷、硼等離子氣，以單一片的方式進入離子植入機將摻質打入晶圓表面，摻雜完成後須去除光阻。

研磨

研磨製程(CMP)，又稱化學機械平坦化(Chemical mechanical planarization)，是結合化學蝕刻和機械研磨(Polish)的原理，以磨除晶圓上的凸點，除CMP外常見的支援機台還會有，晶圓清潔器、量測機等。(參考資

料:簡禎富，2005、吳明峻，2009、半導體製造技術，新文京開發出版、半導體製造技術，滄海書局，)

綜合上述文獻資料，可以說明半導體製程的複雜程度、技術的困難度以及生產環境的要求嚴苛等，此外，在半導體製造技術，滄海書局，一書中也提到，半導體製程會衍生出許多的污染及問題，引此除了上述問題外，政府法規上，也對半導體產業加入了許多道的限制，在生產過程有著層層關卡的情況下，生產規劃的正確性就更加的重要了。

2.2 半導體產能規劃

本節根據過去的產能規劃相關文獻，也有許多的學者是以半導體廠為研究主題，這裡將半導體的產能規劃分成靜態產能規劃與動態產能規劃兩大類。

現今我國半導體業界所使用的的產能規劃，大多是屬於靜態產能規劃，其中靜態產能規劃方法有啟發式派遣、數學規劃技術、臨域搜尋法、人工智能方法等，如學者余業鑫(2002)曾經歸納半導體管理決策模式常用到的三種方式:(1)最佳化模式。(2)模擬模式。(3)等候網路模式。而各類型的規劃方式，都有學者進一步做過更細部的探討，如 Chou and Hong(2000)針對晶圓廠在產能固定下的最佳產品組合，利用瓶頸為基礎的規劃方法，減少混整數規劃運算次數與時間；Hu& Zhang(2012)曾經提出用模擬方法搭配向量序最佳化(vector ordinal optimization)和反應曲面法(RSM)去做半導體晶圓製造的生產規劃。Daniel P.(1996)等人將此模式應用在 IBM 的晶圓生產流程上，並且在限制循環時間的前提下得到晶圓廠各區機台的最小成本數量。

由於半導體產能規劃，又有學者整理了過去關於半導體產能規劃的分類與方法，學者 Gupta and Sivakumar(2004)歸納出過去應用於半導體規劃所使用的方法，並將其分成四大類：數學規劃技術、優先權規則/啟發式派遣、鄰域搜索法、人工智能方法，如圖 2.2。

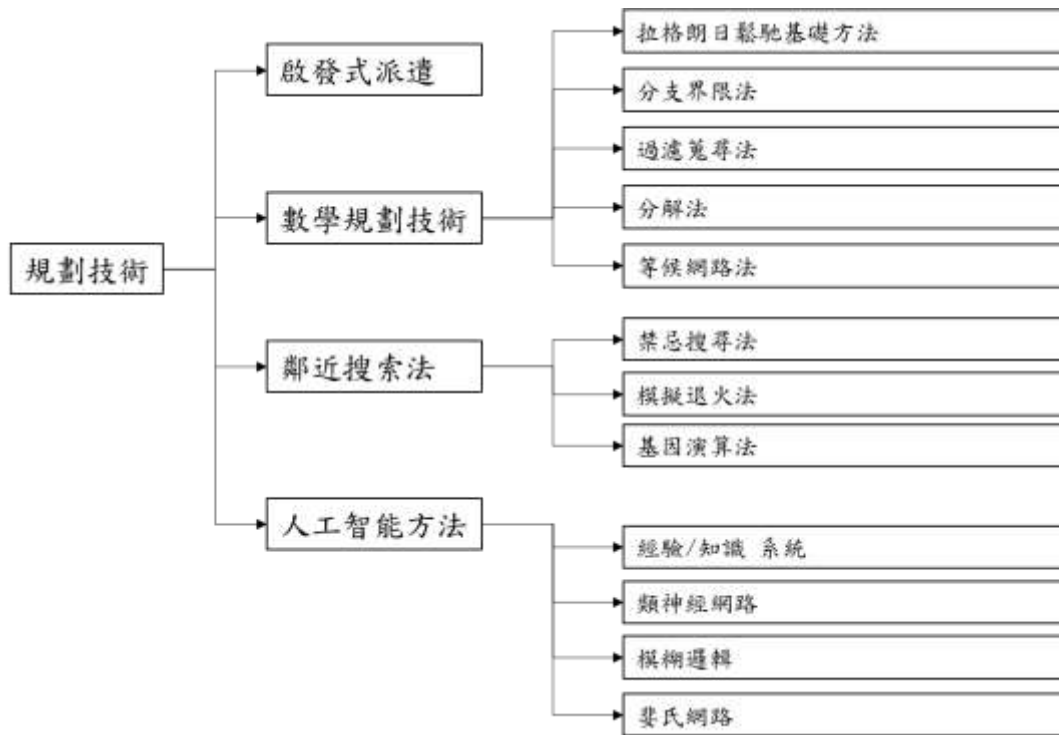


圖 2.2 半導體產能規劃方式分類圖

(資料來源: Gupta *et al.*, 2004)

下列整理出四整類型半導體產能規劃研究，啟發式派遣，如學者吳威芳(2000)利用啟發示演算法求解半導體預燒製程排程規劃。Swaminathan(2000)利用鬆弛基礎啟發式方法(Slack Based Heuristic)與貪食態度啟發式方法(Greedy Heuristic)，進行總產能規劃。數學規劃技術有學者 Connors *et al.*(1996)以等候網路產能模型應用於 IBM 之晶圓生產流程，並在限制循環時間的前提下利用此模式求得如何決定晶圓廠各區機台數量以達成本最小化。鄰近搜尋法，陳志偉(2009)利用鄰近搜尋法處理半導體平行機台排程問題。人工智能有學者黃嘉常(2005)提出利用人工智能的倒傳遞類神經網路方法，來探討在製品之最適水準。

然而，上述的這些研究多沒有考慮產能規劃中，可能發生之變異性問題，如訂單數量變化造成的產能不足問題或是機台突發狀況造成產能錯估之問題...等。

動態產能規劃，即是有針對可能發生之各種可能性，以變動因子的方式納入為生產規劃時的條件，如，Bahaji and Kuhl(2008)比較兩個晶圓

廠的產能，並考量派工法則與訂單策略等動態因素，並以工廠實際運作情況建構模擬模型，並利用全因子實驗設計與統計分析各種不同派工組合與訂單策略之組合，找出晶圓廠最佳績效之關鍵要素。Liu *et al.*(2011)曾經利用三階段多維度模型求解生產設備產能擴充之問題，考量產品週期時間(Cycle time)、生產量(throughput)與顧客產品需求(Product mix)等因子，以結合等候理論模型及模擬模型之系統進行產能規劃，並觀察期為產能所帶來的影響。學者賴俐君(2006)在需求不確定性下以模擬分析進行產能規劃與決策，以降低因應需求變動調整產能規劃所造成的產能損失，並提供企業於產能設定上之決策參考。

根據過去研究發現，對於半導體產能規劃由於，半導體製程中的不確定性因素多且製程複雜，因此多由靜態產能規劃的方式轉變為動態產能規劃；從半導體動態產能規劃又能發現，學者多是以過去的產能規劃搭配模擬的技術進行規劃。而又有學者去比較一般規劃與模擬規劃，如 Lendermann, Peter *et al.*(2015)模擬能夠做到 WIP 管理的動態產能規劃，因此可以達 ATP(Available-To-Promise)，因此模擬規劃會比一般規劃更具實用性。綜合上述，本研究將以模擬的方式，去開發此半導體產能規劃系統。

2.3 應用模擬技術於產能規劃

由 2.2 得到的結論，本研究將使用模擬系統來幫助改善在半導體業之產能規劃問題，因此蒐集過去研究對半導體廠使用模擬方法時，模擬的範圍分為三種類型，以機台為模擬對象，以工作站或製程站為模擬對象，全廠為模擬對象，下述針對不同模擬對象進行說明：

1. 以機台為模擬對象- 通常以機台為模擬對象，是為了研究機台特性或者是要研究機台不同參數對於產出的影響，此種模擬會將機台各種動作完整的建置在所建置的模型之中，最後依據建置模型結果進行機台分析，此種模擬的方式，對於製造過程的考量精細度是最細緻的。
2. 以工作站或製程站為模擬對象-以工作站或製程站為模擬對象，通常是因為該工作站或製程站可能是產出的瓶頸站，或者是該站的生產有所謂的特殊性，因此針對此站特殊的生產情況，進行相關的模擬，用來

做相關的分析，例如 M.Aybar & Kishore(2002)等人利用模擬建置進行集束型設備(Cluster tools)的產出最大化研究，或者是陳勝一(2005)曾針對爐管區機台為例，進行批量加工的排程問題，此種的模擬方式，會特別強調要能夠把生產特殊性考量在內，而模型精細度就會依據需求來決定要到多精細。Arisha and Young (2004)提出結合模擬和人工智慧的規劃方法，目的在減少在製品的目標和產出的時間。Lee et al.(2009)提出一種利用斐式網路進行多目標規劃的方法，並且利用模擬方式進行驗證。Barua et al.(2005)提出一種啟發式演算法應用於排程與規劃，並用模擬來評估該方法的應用績效。Chen et al.(2011)提出用離散事件方式進行模擬，並考量生產排序和生產過程優先順序。Chen(2012)提出兩種智能規劃規則方式，並用模擬方法進行評估。Gupta & sivakumar(2002)提出結合分析方法和離散事件模擬，達成生產多目標規劃的一個近似最佳解研究。Kabak & Kernan, (2012)提出一迴流性的黃光製程模型，考慮黃光製成的細部派工，並分析循環時間(Cycle Time)，對產出之影響。

3. 以全廠為模擬對象-若是以全廠為模擬對象時，通常是希望做一個整體性的規劃，能夠透過建置完整的模型，把整個廠的生產全部納入考量，但也因為同時要納入考量的因素相當的多，因此通常都只會考量到生產機台的工時和 wafer 生產途程的流動，較少會去考量機台的生產特性或者是生產特殊限制情況，例如 Hung(2002)等人以某半導體廠為目標，利用模擬得到每種晶圓產品每片所會帶給全廠每個工作區的負荷，此為每日需求模式，並利用此資訊進行線性規劃，求得產出最大的產品組合，此種的模型精細度通常都會是最粗略的。

由過去學者所做的研究可以知道，半導體廠的規劃在透過模擬的方法進行規劃之後，是有機會解決過去靜態規劃方式無法解決的問題，例如減少在製品數量或者降低產出時間的問題，所以本研究希望能同樣透過模擬的方法，來有效處理半導體廠機台 AT 時間波動性的問題。但過去這些研究多半是以部分半導體製程為模擬對象的「部分細緻模擬」或是以「全廠粗略的模擬」方式來模擬整個半導體廠，而這兩種模擬方式並不足以解決半導體對於機台 AT 波動的影響性問題，因此本研究將結合了「部分細緻模

擬」和「全廠粗略的模擬」去建置一以全廠為對象的完整模型。

2.4 模擬系統發展方法

系統的發展方法，最早是由 Benington(1956)提出的階段模式(Stagewise Model)，開發的過程，可以分為八個階段，作業規劃(Operational plan)、規格描述(Machine specification& Operation specification)、程式規格描述(Coding specification)、程式編碼(Coding)、參數測試(parameter testing)、整合測試(Assembly testing)、穩定度測試(Shakedown)、系統評估(System evaluation)。

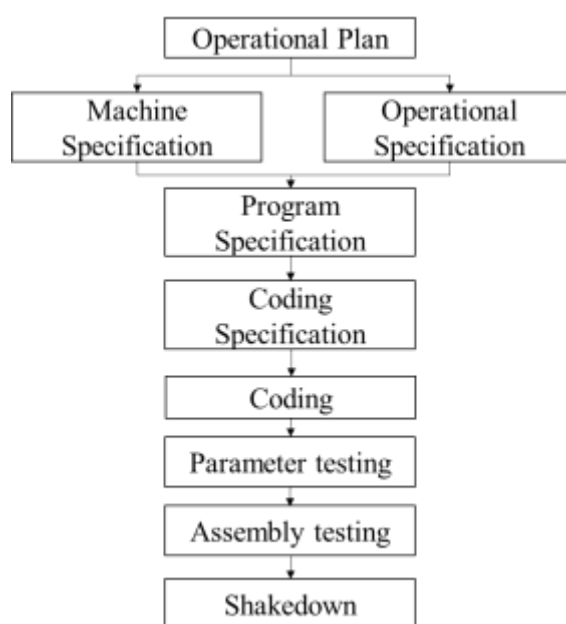


圖 2.3 階段式發展模式

(資料來源: Benington,1956)

而 Royce(1970)提出瀑布式(Waterfall model)的發展模式，主要是以分析和程式編碼為主體，去向外細部展開成七個步驟，系統需求分析、軟體需求分析、一般分析、程序設計、程式編碼、測試、操作實施。

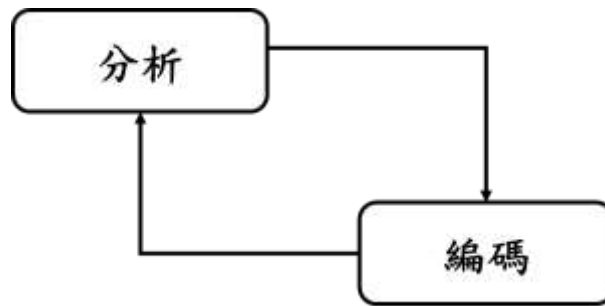


圖 2.4 瀑布式發展模式

(資料來源：本研究整理)

Bally(1977)提出了雛形式(Prototype approach)發展模式，主要是在系統發展前，提出雛形模型，以解決系統開發時可能遇到的問題，而雛型模式又可以分成兩種，演進式雛型(Evolutionary prototyping)和拋棄式雛型(Rapid throwaway prototyping)。演進式雛型即是將雛形模型作為系統的一部分，去進行開發系統；而拋棄式雛型是指雛型，為了快速發展，使用數個極為粗糙之雛型，藉由雛型之互動來決定系統需求項目，並拋棄過去雛型，重新發展系統。

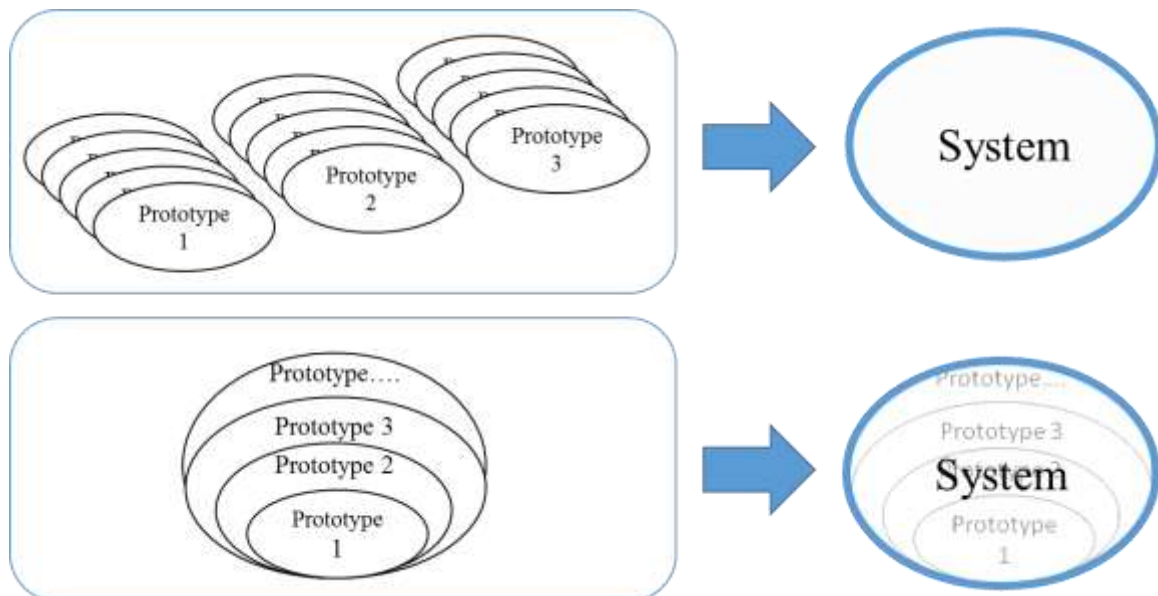


圖 2.5 雛型式發展

(資料來源：本研究整理)

Martin, James (1991)提出了RAD(Rapid Application Development.)發展模式，RAD 可以看作是雛型發展模式的延伸，不同的地方事，雛型和程式軟體將同時一併開發，會先提出一個小型的規劃並迅速完成，能讓沒有大

量規劃的情況下迅速完成程式的編寫。由於在現時專案中，公司時常會要求能在短期內看到成果，因此本研究採用此發展方法進行開發。

Lo& Huang(2012)又提出了RAD結合MDA的發展架構，主要是以RAD搭配MDA(Model Driven Architecture)和UML(Unified Modeling Language)分析使系統能夠更快速的開發且結果更加貼合實際需求。

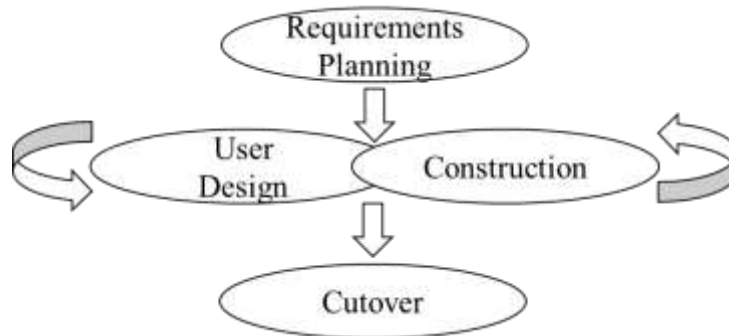


圖 2.6 RAD 發展模式

(資料來源：本研究整理)

統一塑模語言 UML，為 Rational 公司整合 Booch(1999)、Rumbaugh & Jacobaso(1999)而提出的物件導向建模開發工具，是一種視覺化、文件化和規格化的塑模語言。其主要包含使用者個案圖、類別圖、物件圖、循序圖、合作圖、狀態圖、活動圖、元件圖與部署圖。由於 UML 開發最早是起源於模擬語言，因此極度適合用於模擬系統之開發使用。

綜合上述，本研究將採用 Lo & Huang(2012)的方法去結合 Martin, James (1991)提出了 RAD，利用 Booch(1999)、Rumbaugh & Jacobaso(1999)提出的 UML 去開發半導體產能規劃與分析系統。

第三章 半導體動態產能規劃與分析模擬系統發展

第三章將介紹本研究的系統發展方法，以及如何用套裝模擬軟體，去開發系統；本章將分成四個小節，第一節將對目前晶圓製造業的生產規劃系統，機台群組可用生產時間以及生產規劃中的基本派工規則進行統計關係定義；第二節說明系統發展方法，包括系統分析、系統設計；第三節，說明發展之系統架構；最後，說明如何以 Plant Simulation 去開發系統。

3.1 問題定義

一般而言，過去半導體晶圓製造的產能規劃方式多採用靜態產能規劃模型，所導入的參數均為歷史資料或量測所得的平均值，其做法大致可分為四個步驟，如下圖 3.1 所示，然而晶圓生產製造過程相當複雜且難以進行規劃，其中有相當多不可控制的因素存在，因此對於晶圓製造廠在進行產能規劃時，皆無法進行準確規劃。

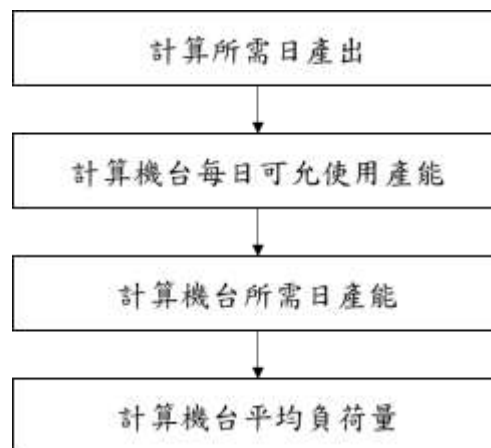


圖 3.1 靜態產能規劃步驟

(資料來源：本研究整理)

對於現行的靜態產能規劃系統，現場人員進行產能規劃時會有以下基本假設：

1. 生產機台群組為無限產能且估算時，不預留產能。
2. 進行推估時間，皆以過去資料平均值進行估算。
3. 不考慮晶圓的流動，通常為長期的穩態產能預測。

靜態產能規劃系統數學模式說明如下，因此本研究歸納整理目前靜態模型使用之供給與需求數學式：

$$\text{Daily tool Need} = \frac{N}{n} \quad (1)$$

$$\text{Daily tool Support} = (M - m) * (AT_M - AT_m) * E * B \quad (2)$$

表 3.1 參數定義

參數符號	參數描述
D	生產規劃天數
N	生產規劃訂單需求量
n	系統晶圓每小時產出批量
M	系統內部包含之機台數量
m	系統內部包含之測試機台數量
E	系統機台生產時使用的效率值
B	系統機台生產批量使用率
P_α	變量的生產時間 $P_{i,\alpha}$ ，即晶圓批量 i 在機台 α 所需時間(包含上、下站時間...等)
Q_α	變量的等待時間 $Q_{i,\alpha}$ ，即晶圓批量 i 在機台 α 所需等待時間
$AT_\alpha := P_\alpha + Q_\alpha$	變量的可用生產時間 $AT_{i,\alpha}$ ，即晶圓批量 i 在機台 α 時所有可用生產時間
$P := \sum_{\alpha=1}^m P_\alpha$	系統內機台群組總變量生產時間
$Q := \sum_{\alpha=1}^m Q_\alpha$	系統內機台群組總變量等待時間
$AT := P + Q = \sum_{\alpha=1}^m AT_\alpha$	系統內機台群組總變量可用生產時間

由於過去半導體產業所使用的靜態產能規劃模型，所計算出的結果，是根據歷史生產資訊之均值或是量測所得之估計值，去設定模型參數，例如， AT_α 應該是會波動的值，實務上，生產與規劃人員都知道，機台可用產

能(Available Time; AT)的不穩定性可能會造成總體產能(或產出)的損失，但究竟那些機台群組、在何種可用產能水準(AT%)、何種產品組合及數量下，會明顯影響總體產能(或產出)及其影響程度則往往不易掌握。然而，這些結果是在不考慮真實變異(Variation)情況下，所求得的结果，最終將使產能預測結果失準。

綜合上述，本研究將開發一半導體晶圓廠「產能規劃與分析模擬系統」，能夠考量晶圓廠生產製程特性、重要機台群組作動行為、派工法則、控制邏輯的核心「生產模擬系統」，將此系統導入至十二吋晶圓廠，並能藉著模擬系統細部的變動因子進行後續的分析研究。

3.2 產能規劃與分析模擬系統設計

本研究將針對，實際半導體 12 吋廠，去建立一產能規劃與分析系統(CPAS)，因此實際與半導體公司，做相關的訪談，以該公司之 12 吋晶圓廠為案例，進行設計以及開發 CPAS 系統。

本章分成兩個小節，3.2.1 主要在說明運用系統分析的手法，以需求分析、使用者案例分析及強韌分析來分析系統，並說明如何結合 RAD(Rapid Applicate Development)來進行系統開發，3.2.2 節主要說明 Plant Simulation 配合系統功能之設計，其中包含介面設計和資料設計。

3.2.1 系統分析(System analysis)

以本研究所要發展的半導體製造使用模擬系統為例，在需求分析階段運用需求訪談表、要因特性分析表、魚骨圖和 Use case diagram，來達成在 RAD 的需求分析階段所需要進行分析或收集的各項資訊，以下進行細部說明：

先利用訪談方式和關鍵使用者進行使用者需求訪談，得到結果如表 3.2:

表 3.2 使用者需求訪談表

REQUEST FOR INFORMATION SYSTEM SERVICES					
Date of request		SERVICE REQUEST FOR DEPARTMENT(S)			
		IE部門			
SUBMITTED BY(key user contact)			EXECUTIVE SPONSOR		
Name		Name			
Title		Title			
Office		Office			
Phone		Phone			
Type of service requested	<input type="checkbox"/> 資訊策略規劃 <input type="checkbox"/> 新應用程序開發 <input checked="" type="checkbox"/> 現有應用程序改善		<input type="checkbox"/> 現有應用程序維護 <input type="checkbox"/> 不確定 <input type="checkbox"/> 其他		
Brief statement of problems, opportunities, and directives	因半導體生產相當複雜，因此若是要做半導體產能評估時，過去常使用EXCEL所做出靜態產能模型，因此無法正確規劃出產能結果，所以若是可以運用模擬系統建立出動態產能規劃模型，就能規劃出符合半導體製造的產能評估，作為產能投資決策參考依據				
Brief statement of expected solution	由模擬系統所建立出的動態產能投資模型，可以考量到半導體製造的相關特性與限制，進而呈獻出與事實相近的規劃結果，並且可以利用此模型，透過DOE方式，找出相關影響產能的關鍵因子，最後達到產能投資規劃參考依據				
Action					
<input type="checkbox"/> 可行性評估審核		指派			
<input type="checkbox"/> 可行性評估審核		核定預算			
		Start Date		Deadline	
<input type="checkbox"/> 需求延續					
<input type="checkbox"/> 需求撤回					

從需求訪談表可以知道，過去使用 Excel 做出的靜態的產能規劃方式，不足以處理半導體製造的產能規劃問題，對於使用者來說可能需要其他產能規劃方式才能解決問題，如，動態產能規畫模擬。並希望以模擬實驗的方式，來找出影響產能知因子。

在與使用者了解需求之後，再使用魚骨圖的方法進行特性分析，希望確認出現行產能規劃方式不準確的原因的魚骨圖，可以看到包括從設備、物料、系統三方面，都是造成原本的產能規劃評估不準確的相關原因。

從前述了解目前靜態產能規劃所遇到的問題原因後，在需求分析的最後階段，會使用到要因特性分析的手法，來分析因果關係、訂定系統改善之目標、並描述系統限制，如下表 3.3。

表 3.3 要因特性分析表

PROBLEMS, OPPORTUNITIES, OBJECTIVE, AND CONSTRAINTS MATRIX			
Project	半導體製造動態產能規劃方式	Projec manager	
Creat by		Last updated by	
Date created		Date last updated	
CAUSE-AND-EFFECT ANALYSIS		SYATEM IMPROVEMENT OBJECTIVES	
Problem or opporunity	Causes and Effects	System Objective	System Constraint
1.半導體製造動態產能規劃模型	1.半導體廠的產能評估困難	1.利用動態產能模型做半導體廠的產能評估	1.半導體製造廠的全廠細部模擬模型不易建立
	2.靜態產能模型無法真實反應半導體廠的產能狀況	2.動態產能模型可以搭配DOE方法找出關鍵影響產能因子	
		3.動態產能規畫結果可以做為產能投資評估的參考依據	

User-case

需求分析結果整理出來後，將此結果以物件圖的方式表達之，如下圖所示。這張圖 3.2 可以充分的表達本研究的系統將開發成”甚麼(What)”樣子，本系統將以 Plant simulation 為主要媒介去開發，開發出下方的功能使用者案例(Function use case)，由於與開發出來的功能過多，圖 3.2 只列出了幾項主要功能，而這些 Use case 還能在向下展開，下一個小結會為大家說明，最後運用 Plant Simulation 的 ODBC(Open Database Connectivity)功能，去與外部連接，而外部的連接除了使用者(User)資訊投入外，還包括分析、最佳化、資料庫等。

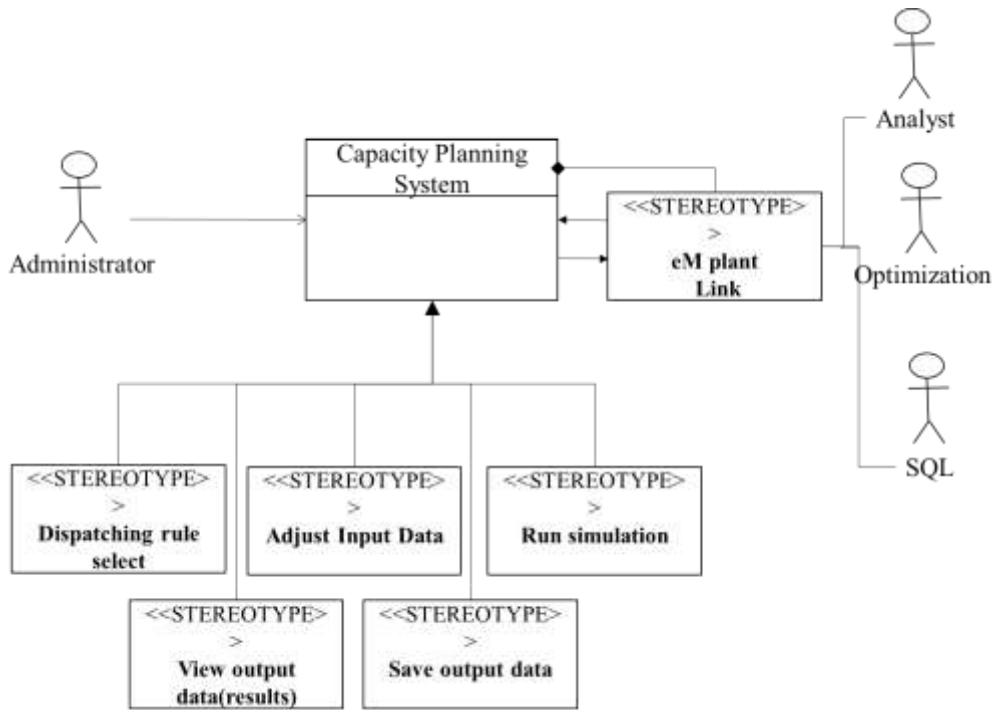


圖 3.2 系統物件圖

(來源：本研究整理)

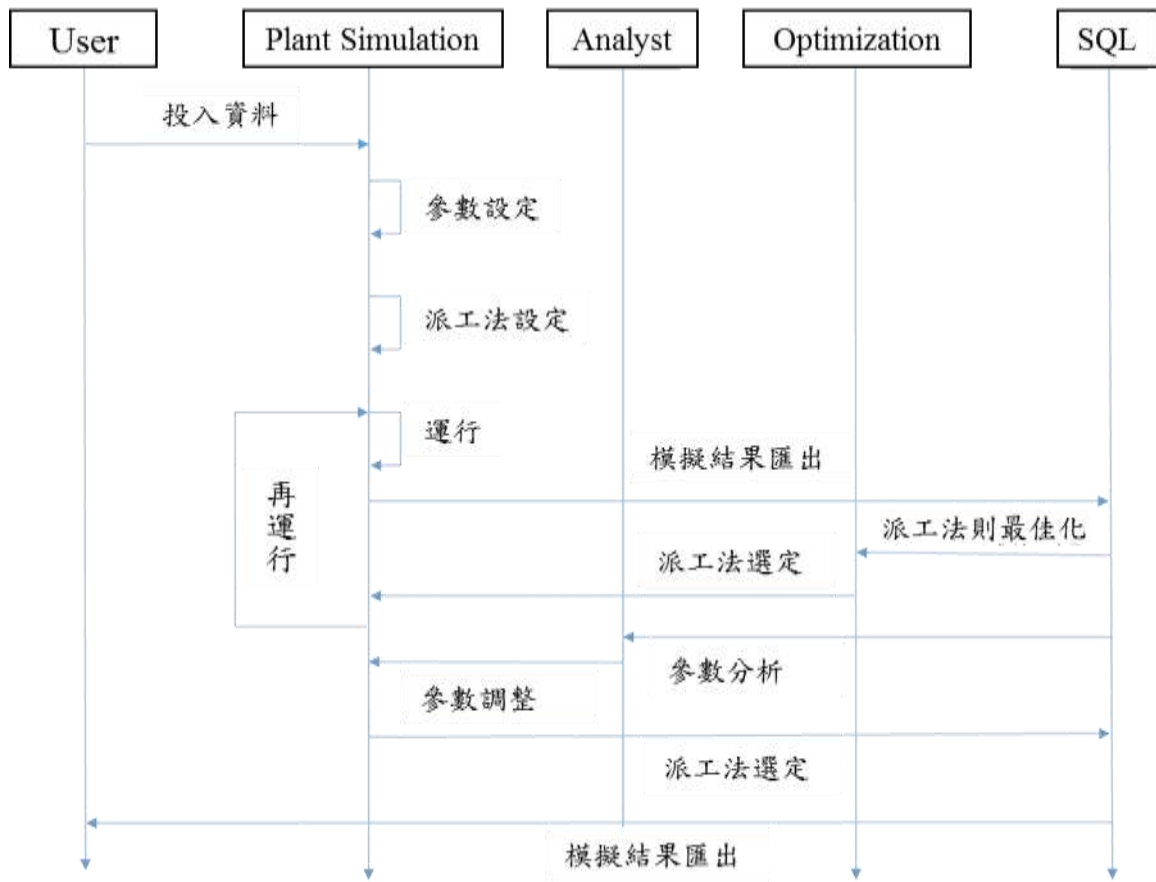


圖 3.3 系統循序圖

並依照物件圖之架構，來繪製系統循序圖(Sequence Diagram)，圖 3.3 中以派工法則和模型中各種參數作為動態因子，並運用迴圈的方式，讓系統規劃結果能夠更加貼合。

快速應用發展(RAD)

快速應用發展方法，簡單來說就是把系統切割為以一個個的藍圖(Prototype)，以藍圖的架構直接進行發展，使使用者能夠快速得到發展成品，以給予意見或調整；因此，下列將把系統切成多個功能案例，並分別進行設計開發。

Function use case (中文)

Function use case 是文獻 Lo& Huang(2012)所提到的開發方法，能透過此圖形去了解，系統的細部邏輯與 I/O；欲完成文獻中所提到的 Use case diagram，則必須要找出所有 Function use case，因此使用下表 3.4-事件條列式表格進行所有案例的整理，完整的功能列表於附錄，以下僅針對”機台拉貨”。

表 3.4 使用者案例整理

描述	事件條列式
事件的描述	主詞+動詞+受詞
事件描述	事件條列式
使用者可以透過Plant Simulation中的Control設定機台派工法	使用者+設定+派工法
模擬機台透過Tablefile搜尋派工法	模擬機台+搜尋+派工法
透過Plant Simulation中的Method回傳設定模擬機台	派工法+設定+模擬機台
...	...

由於 CPAS 系統的功能多而複雜，因此在此只以其中一功能進行說明，其他功能的功能使用者模型將放置附錄；利用使用者按理整理表找出所有案例後，逐一展開如下表 3.5。

表 3.5 使用者案例表

Capacity Planning System Use case name: 機台拉貨
Actor: 使用者 目標:機台選擇批量進行加工 結束狀態:拉貨成功
----- 事件: 正常程序- 1.當一批貨加工完成離開，機台會根據搜尋派工法則表單。。 2.派工法則表單根據搜尋結果，去設定於模擬機台之派工法則。 3.決定態工法則後，模擬機台將搜尋前站Buffer table選擇是否有貨等待要加工。 4.模擬機台根據機台派工法則設定和Buffer table資訊，選擇批量。 5.模擬機台從Store中拉貨加工。

Function Model

以 Activity diagram 來描述功能運作邏輯，這裡將以前一段的”機台拉貨”的功能為例，繪製功能活動圖(Function activity diagram)。如下圖所示，圖中藉由”搜尋”的動作來判斷是否有待加工批量，並用不同派工法則選擇加工批量，最後拉貨成功。

最後，將所有的功能活動圖組合起來，並以此做為系統的功能模型(Function Model)。

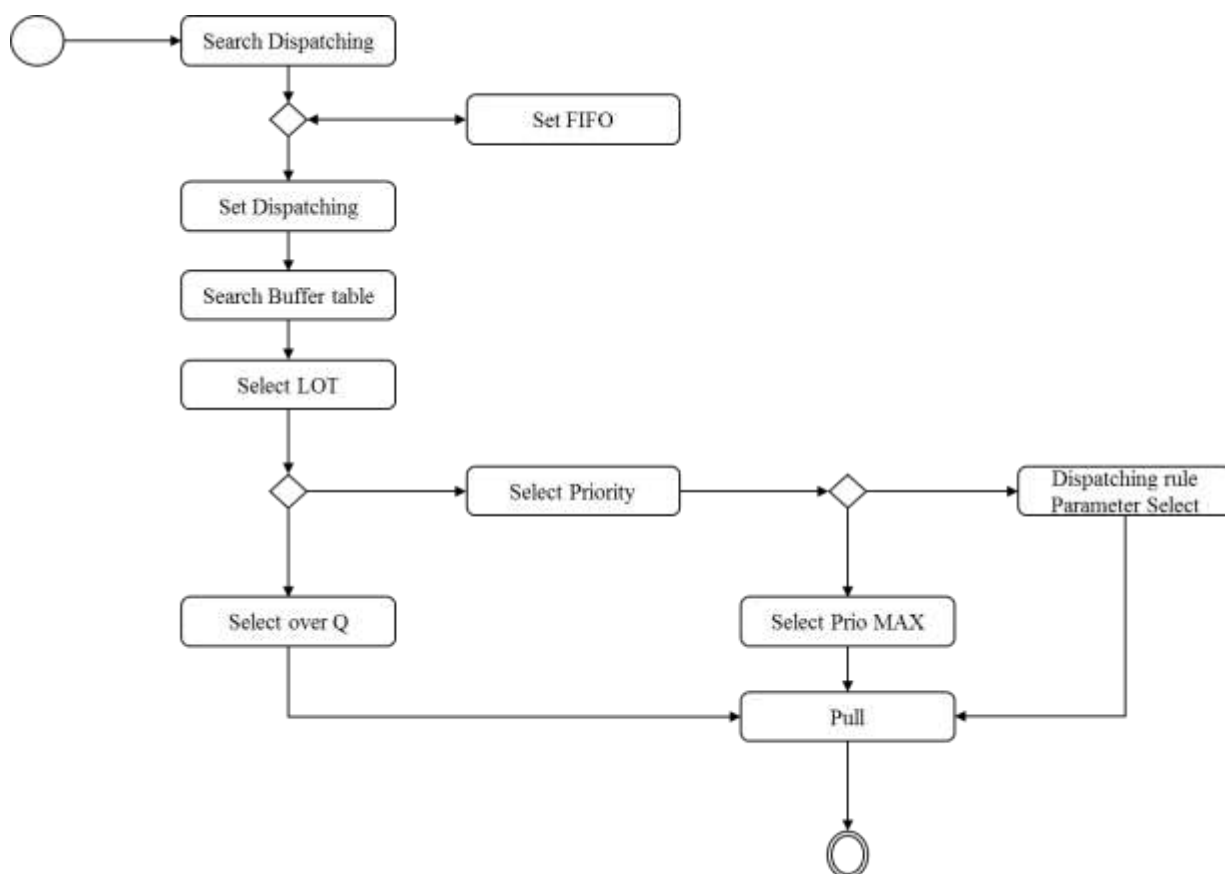


圖 3.4 功能活動圖

3.2.3 強韌性分析(Robustness Analysis)

強韌分析是一個為了進一步確保分析結果的正確性、完整性及一致性的系統確認工具，通常會在系統開發前進行這道分析。我們以前一節的功能活動圖為例，找出功能的強韌圖之物件，並繪製強韌圖，如圖 3.5。通過強韌圖來確立，功能循序圖的資料流動與實際步驟，如圖 3.6，所以最後將會從功能循序圖中得到，機台拉貨會有四個步驟，設定(Set)、搜尋(Search)、選擇(Select)與拉貨(Pull)。但另外運用強韌圖有發現，其實機台拉貨的方式，事會根據前面不連續的邏輯判斷，而決定拉貨的方式，因此加入了使用者、控制介面與編輯動作(Write)；而實體物間包含倉儲(Store)、模擬機台(Machine)、派工表格(Dispatching)和拉貨表格(Buffer table)，並完成了圖 3.5，功能強韌圖。

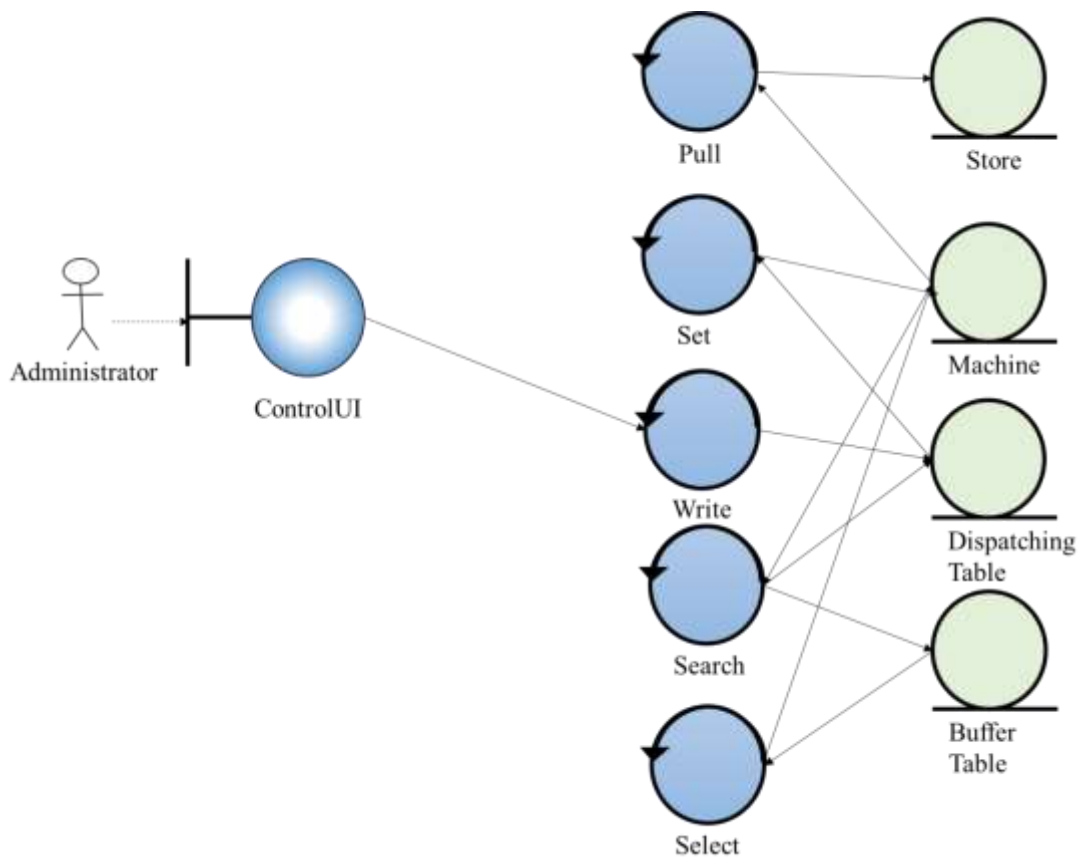


圖 3.5 功能強韌

而強韌途中所有的物件，包含界面物件、行動物件和實體物件，都能做為接下來要繪製循序圖物件的依據；為了能夠讓大家關查出，一般循序圖和強韌分析後的循序圖之間的差異，因此，在圖 3.6、3.7 中準備了兩張循序圖，圖 3.6 為一般未使用強韌分析之循序圖，而圖 3.7 為使用強韌分析之循序圖；比較兩圖可以發現，一般循序圖的物件將比強韌循序圖要來的簡單，可以看出資訊的傳的方向，但不能夠了解，資訊該為何而使用；循序圖的物件，一般分成實體物件和動作物件兩種，但是於一般的循序途中，往往會遺漏了動作物件，讓系統得功能變的過於簡陋，並不完全符合使用者需求，因此，根據強任分析，本研究根據強韌圖，重新繪製了功能循序圖，如圖 3.7。

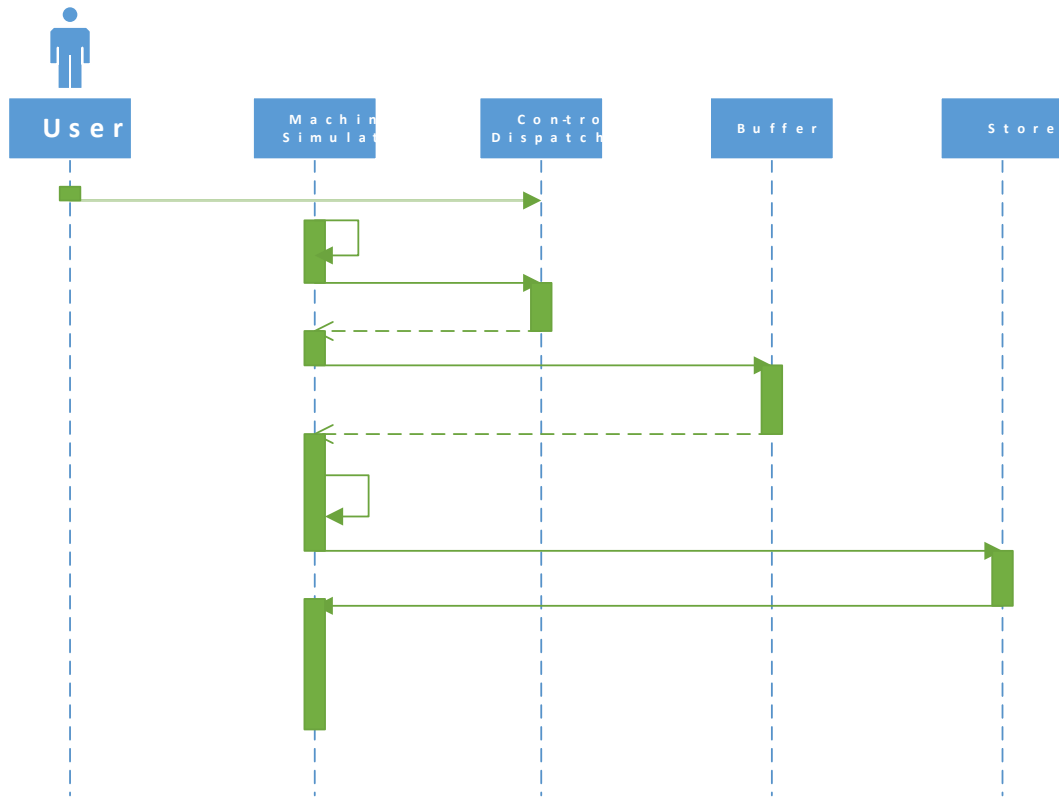


圖 3.6 功能循序圖

圖 3.7 為修正後的功能循序圖，在圖中增加了動作物件，編輯(Write)、設定(Set)、搜尋(Search)、選擇(Select)與拉貨(Pull)等動作物件，完整的根據功能活動圖，去繪製後，發現一般功能圖除了缺少動作物件外，還缺少 Dispatching rule table 物件；因此，根據此修正循序圖，方能完整的表達了符合使用者需求的，資訊傳遞與動作關係，業進一步確認了功能的完整性、正確性及一致性。

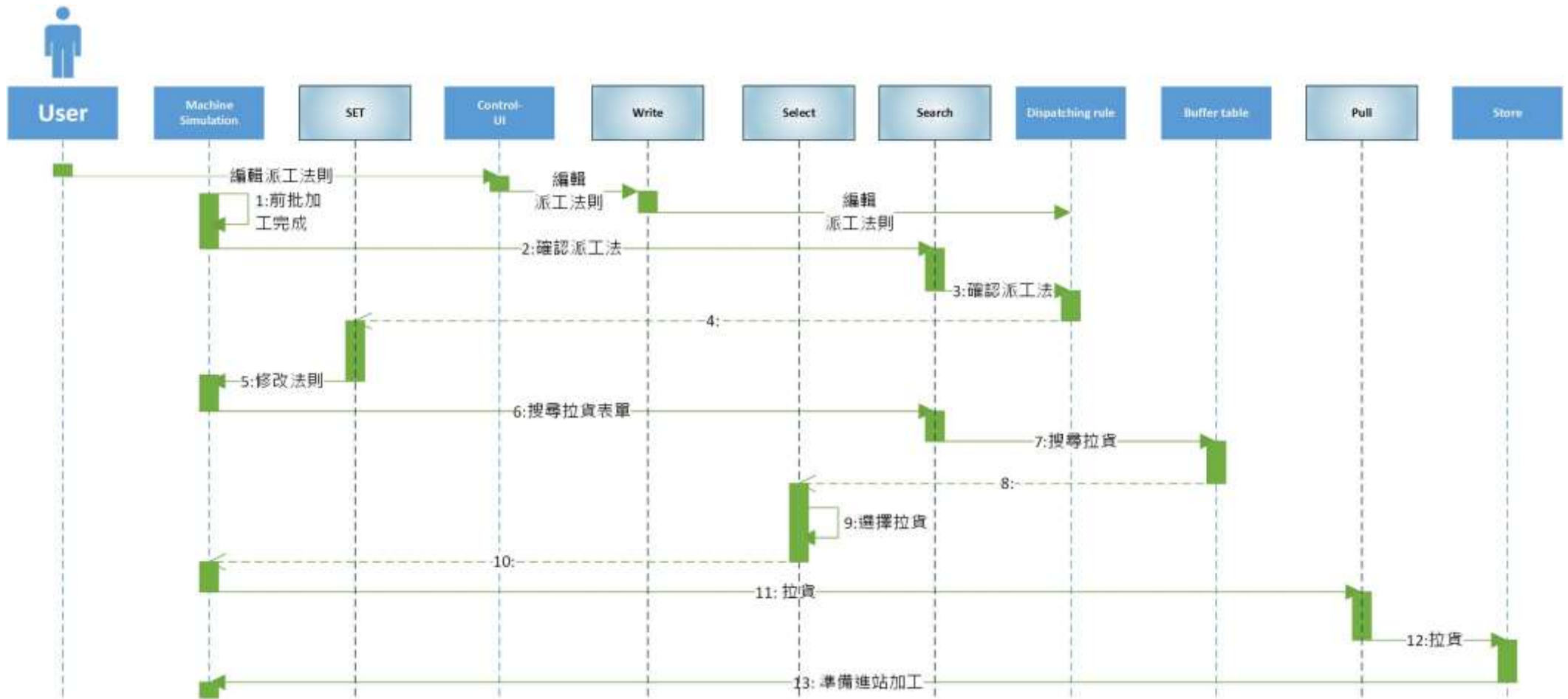


圖 3.7 功能循序圖

表 3.6 使用者案例總表

事件描述-拉貨	事件條例式
使用者可以透過 Plant Simulation 中的 CONTROL 設定派工法	使用者+設定+派工法則
模擬機台可以透過 Plant Simulation 中的 Tablefile 搜尋派工法則	模擬機台+搜尋+派工法則
派工法則透過 Plant Simulation 中的 Method 回傳設定模擬機台	派工法則+設定+模擬機台
機台透過 Plant Simulation 中的 Buffer table 去搜尋可加工之貨批	模擬機台+搜尋+貨批
模擬機台拉出貨批進模擬機台加工	模擬機台+移動+貨批
事件描述-推貨	事件條例式
貨批根據 Plant Simulation 中的該貨批的產品別搜尋途程資訊表	貨批+搜尋+途程資訊表
途程資訊表搜尋 Plant Simulation 中的可用機台	途成資訊表+搜尋+可用機台
貨批根據回傳的可用機台資訊移動貨批置可用機台	貨批+移動+可用機台
事件描述-紀錄	事件條例式
根據模擬結果紀錄於 Plant Simulation 的表單	模擬結果+紀錄+表格
事件描述-資料調整	事件條例式
使用者透過 Plant Simulation 中的表單瀏覽機台型錄	使用者+瀏覽+機台型錄
使用者透過 Plant Simulation 中的表單新增機台型錄	使用者+變更+機台型錄
使用者透過 Plant Simulation 中的表單修改機台型錄	使用者+新增+機台型錄
使用者透過 Plant Simulation 中的表單刪除機台型錄	使用者+刪除+機台型錄
事件描述-資料匯出	事件條例式
根據使用者需求設定匯出資訊	使用者需求+設定+匯出資訊
觸發以時間方式固定去匯出資料到 SQL	觸發+匯出+模擬資訊

3.3 產能規劃與分析模擬系統架構

對於一個好的排程規劃管理工具必須要具備能節省時間和有效的使用成本的能力，因此本研究提出一個「產能規劃與分析模擬系統」，能夠使管理者在最即時的情況下了解生產現況，並分析出影響產能的主要因子，並

進行排程規劃。

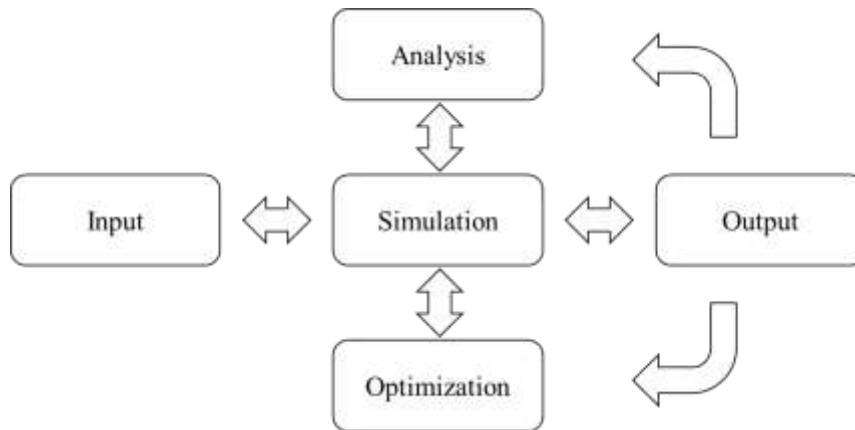


圖 3.8 半導體產能規劃與分析模擬系統

(資料來源：本研究整理)

根據 3.2，所設計出的 CPAS 系統主要區分成五大塊功能模組，如上圖 3.8 所示，基本資料的匯入，產能模擬，產能影響因子分析，派工最佳化和資料匯出。本系統最終將以“產能模擬”為核心，搭配最佳化模組和產能影響因子分析模組將與產能模擬內部的功能區塊去結合，以達成各種不同的目的。因此，本章將詳細的說明關於產能模擬內部的功能區塊和產能模擬-其他模組的關係連結。

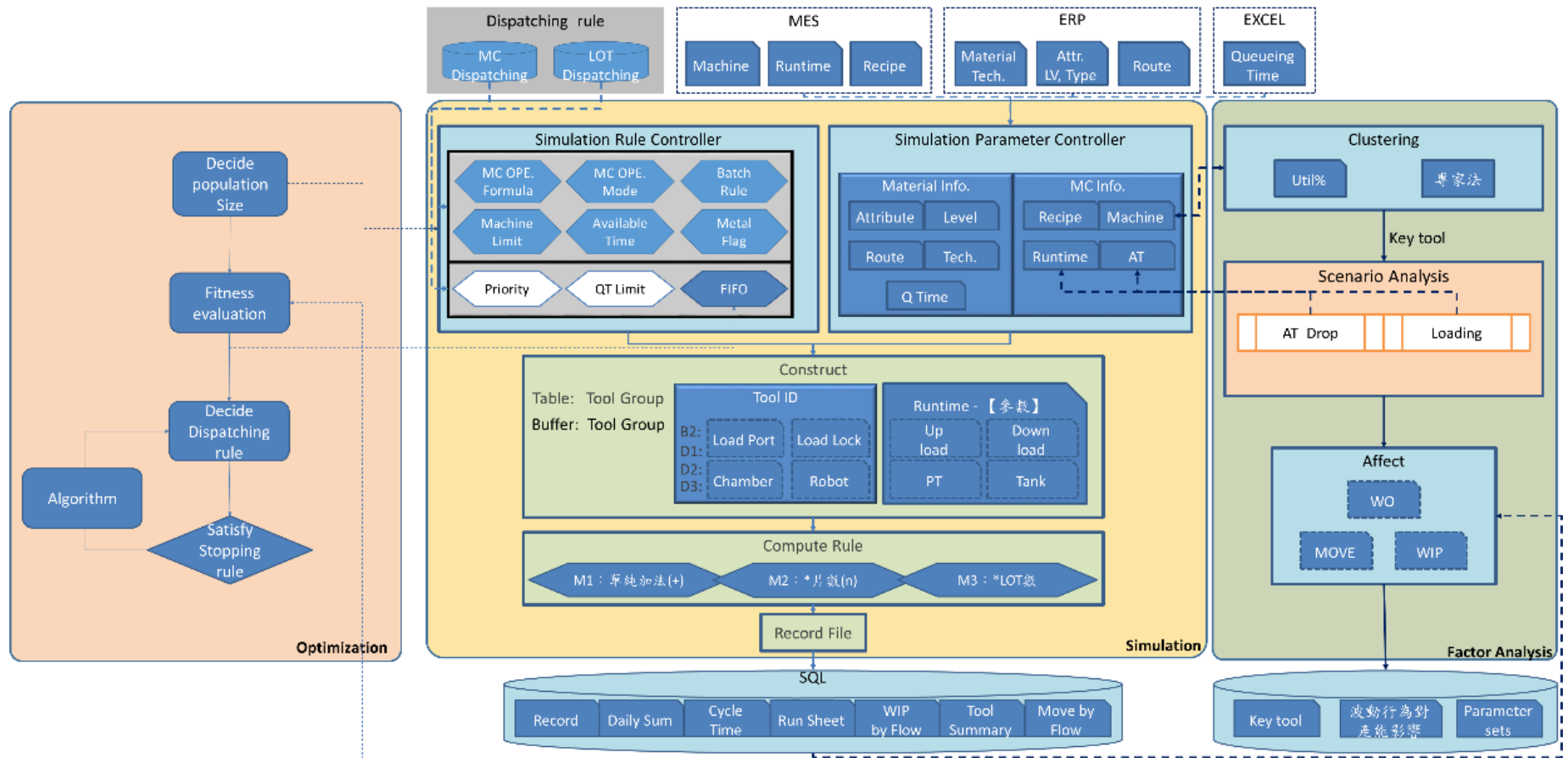


圖 3.9 系統架構圖

Simulation module in CPAS

產能規劃模擬屬於 CPAS 系統中比較核心的部分，一般的模擬模型都是建構完成後，設定參數後開始運行模擬，而這類型的模擬模型大多是模型架構固定、邏輯固定，可以變動的部分較為稀少，且僅能用於特定案例；而本系統為了能活用模擬模型，不讓模型侷限於特定案例，因此，將模型建構也化成參數，並讓模型建構成為模型中的一個部分。產能規劃模擬模組主要可以分成三個部分，如圖 3.9:

1. 模型的控制

(1) 派工法則控制

a. 推式派工法則

所謂的「推式派工法則」是指選擇依指定機台進行加工；即料件選擇機台進行加工，此區將選則推貨時考量之邏輯(如，flag、機台限制...等)。

b. 拉式派工法則

所謂的「拉式派工法則」即是有空機台可以進行加工，因此回去拉取待加工料件；即機台選擇料件進行加工，此區將選擇拉貨邏輯(如，FIFO、SPT...等)。

(2) 模擬參數控制

a. 機台參數

即調整加工時間、當機參數、機台種類...等。

b. 料件參數

即調整投料方式、途程路徑、優先等級...等。

2. 模擬模型的建構

根據第一個部分所設定的參數和選擇的法則去建立出一模擬模型；模型將根據機台的分布和樓層去建立，模型的建立，將會細緻到機台內部的結構，如：幾個暫存區(load port)，幾只機械手臂(robot)，幾個工作槽(chamber)...等；並且會給予每個機台不同的時間參數設定，如：加工時間(process time)、上站時間(up-load time)...等。

3. 模擬引擎

模型建立完後，接著就是 CPAS 系統最重要的工作-產能規劃模擬模型的運行，而模擬的運行將會考量以下幾種邏輯：

(1) 派貨邏輯

a. WIP

在現實工廠中，不論哪一個時間點，必定會有一定量的 WIP 殘留於產線上，因此為了符合現實的生產狀況，本模型運行最初會有初始的 WIP 投入，已回復到初始時間點的生產狀況。

b. Release Policy

投料的方式會根據第一個部分所決定的投料表格去進行投料，可以是根據過去歷史的投料方式進行投料，也能給模型建立一個符合供需平衡新的投料模式。

(2) 機台作動邏輯

a. Tool run mode

前面第二部分有建立出細緻到機台內部的結構，因此根據不同的機台結構，必定也會有不同的運作模式和加工時間，如，多工作槽(Multi-Chamber)機台的運作，輪轉式機台的運作...等。

b. Batching

機台運作比較特別的是集批型的機台，在半導體晶圓製造中，也有許多的集批型機台(如，爐管..)，集批一般來說屬於派工邏輯，集到一定批量後投進機台加工，但在半導體的集批卻是在機台內部發生的，因此將此歸類為機台運作邏輯。

(3) 派工邏輯

a. Routing

半導體晶圓製造中，會有許多不同類型的產品(如，尺寸、線寬、IC 設計...等)，因此根據不同的產品，也會有不同的加工程序，Routing 的邏輯就是模型將根據不同產品的途程去派工。

b. 推貨邏輯

(a) Push：一般半導體產業中，屬於高密集度資本產業，凡有閒置的機台，就是一種浪費，因此為了確保機台的使用率，半導體

產業都是以推式生產的方式進行加工，有空閒機台模型將會把可加工料件推進機台進行加工。

- (b) Flag change：flag 是半導體產業特有的派工判斷，通過不同機台的 flag 來判斷，哪些製程的料件可以被推入加工；而這個 flag 是為某些會產生污染的製程而設計的，為了不使汙染指數超過標準，模型會通過 flag 的轉換來限制這些製程進行加工；Change flag 指的就是機台 flag 轉換的邏輯。
- (c) Sampling rate：在半導體晶圓製造中，包含了許多的檢驗程序，其中包含「全批檢驗」和「抽樣檢驗」，而 Sampling rate 就是在「抽樣檢驗」製程的抽樣比率，因此，在推貨時模型將會去判斷，該批料件是否要進入該檢驗程序。
- (d) Store：前面(a)~(c)說明了推貨時的判斷邏輯，而(a)說明了「推貨」進行的必要條件為有充足產能，當這項條件沒有滿足時，也就是沒有可以使用的加工機台時，Store 的邏輯將會發動，將這些不能即時被送入機台的料件，送進倉儲中。

c. 拉貨邏輯

- (a) Pull：由於前一部分的推貨邏輯，使機台的使用率很快的被填滿，並且造成了 WIP 的堆積，因此，這時我們需要將已經入庫的 WIP 拉出來做加工，此即為「拉貨派工」邏輯，而目前模型是以先進先出(FIFO)的方式進行派工，除了目前的派工法則外，也可以運用其他所選擇的派工法則進行派工(如，SPT, LPT,LTIS,PT/LTIS 等，詳細說明如下)。

SPT，即為選擇暫存區中，該站點加工時間最短的批量進行派工。

LPT，即為選擇暫存區中，該站點加工時間最長的批量進行派工。

SPRT，即為選擇暫存區中，剩餘加工時間最短者進行派工。

PT/LTIS，即為以該站點之 PT 除上剩餘加工時間，值最小者進行派工。

為了解拉式派工的參數算法，假設產品 p 有 N 道加工製程，目前加工到第 n 個製程，該站標準加工時間以 T_{i_g} 表示， i_g 為機台群組 g 第幾個等待加工的 LOT。因此，根據不同派工法則 D ，分別會有四條目標函數，表達如下：

$$D_1^{min} = \{\text{Min } T_{p i_g} \mid \forall p = 1, 2, 3, 4\} \quad (3)$$

$$D_2^{Max} = \{\text{Max } T_{p i_g} \mid \forall p = 1, 2, 3, 4\} \quad (4)$$

$$D_3^{min} = \{\text{Min } \sum_n^N T_{p i_g} \mid \forall p = 1, 2, 3, 4\} \quad (5)$$

$$D_4^{min} = \{\text{Min } T_i / \sum_n^N T_{p i_g} \mid \forall p = 1, 2, 3, 4\} \quad (6)$$

其中，其中一到四個函數，分別為 SPT 的選擇參數，LPT 的選擇參數，SPRT 的選擇參數和 PT/LTIS 的選擇參數，此外，運算相關參數整理如下：

$T_{p i_g}$: p 產品機台群組 g 第 i 個待加工件之加工時間之集合。

D_j : 第 j 個派工法則參數之集合， $j=1, 2, 3, 4$ 。

$n_{p i_g}$: p 產品機台群組 g 第 i 個待加工件之現行製程碼。

$N_{p i_g}$: p 產品機台群組 g 第 i 個待加工件之最終製程碼。

$\sum_n^N T_{p i_g}$: p 產品機台群組 g 第 i 個 LOT 從第 n 道標準加工時間至第 N 道標準加工時間加總。

- (b) Q-time : 在半導體晶圓製造製程中，部分的製程有等待時間 (Queue time) 的時間限制，如果超過了這項限制時間，該製程可能必須面臨重工，所以必須設定一個虛擬的等待時間即 Q-time 作為限制，當此批貨的等待時間超過 Q-time 限制，此批貨將優先被拉貨。
- (c) Priority : 半導體產業中，對於料件本身有著一個生產的優先順序 (如，Normal lot、Hot lot、Super hot lot... 等)，而順序級別較

高的批量，將會優先被拉出去加工。拉貨邏輯的判斷順序為 Q-time 高於 Priority 高於選擇的拉貨邏輯。

模擬生產資料紀錄邏輯(Record)：進行模擬的目的，是為了做模擬產能規劃，因此會需要蒐集機台加工時的時間資訊；除了做模擬產能規劃外，模擬運行的過程中，會產生出各種可以供分析使用的數據(如：機台使用率、WIP 的推積量、Throughput 的數量...等)，為了能蒐集這些可用數據，就需要「模擬生產資料紀錄邏輯」。

3.4 系統設計

使用者介面即為使用者與系統間的轉換界線，就如同枝與葉之間的界線是葉柄，葉柄即為介面；3.3 主要說明 CPAS 系統介面的設計，而在此之前 3.3.1 要說明在 Plant Simulation 的基本使用者介面(UI)，3.3.2 說明如何去設計使用者介面，3.3.3 介紹資料庫的設計。

3.4.1 Plant Simulation 介面介紹


本研究使用 Plant Simulation 來開發半導體產能規劃系統，為便於設計介面，在此將一般常使用的 Plant Simulation 的物件列於下表 3.7，並逐一介紹其功能與使用者操作介面。

表 3.7 Plant Simulation 基本物件表

(資料來源：本研究整理)

Icon	Name
	Frame
	Event Controller
	Single Process
	Buffer
	Store
	Entity
	Container
	Tablefile
	Method
	Init Method
	Variable
	Trigger
	ODBC

1. 框架(Frame)

以()在模型中表示，是 Plant Simulation 11 的重要元件之一。一個 Frame 底下可能包含一個或多個物件，為了保持畫面的簡潔明瞭，我們將整個模型切割成多個框架，可以以 Frame 去分類整理，如圖 3.10 所示。

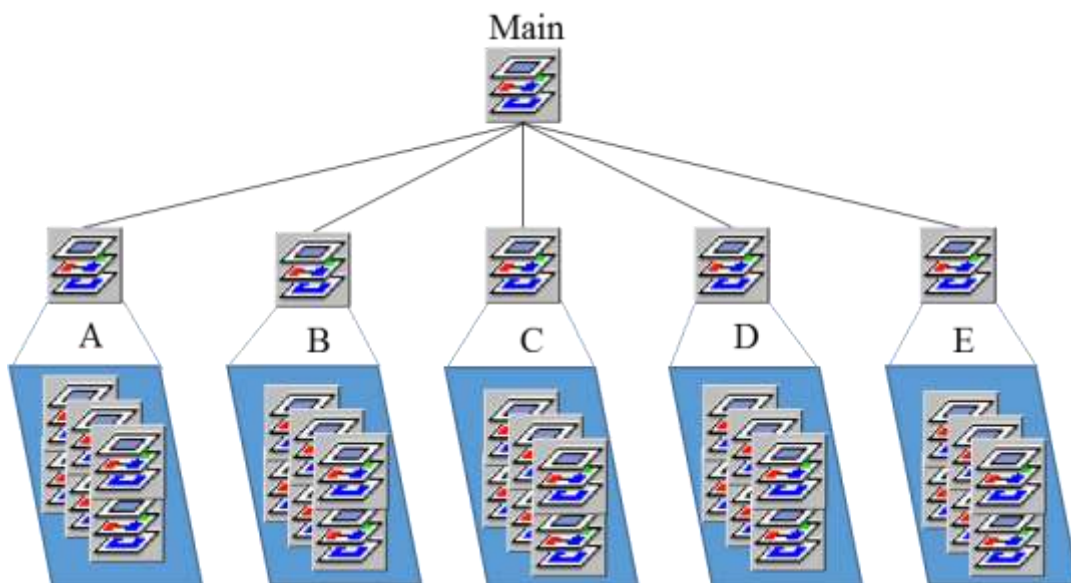



圖 3.10 Frame 分類

2. 事件控制器(Event controller)

Event controller 為 Plant Simulation11 軟體中內建之模型控制元件，圖樣為。用於控制系統的運行或停止，其操作介面如圖 3.11 所示。

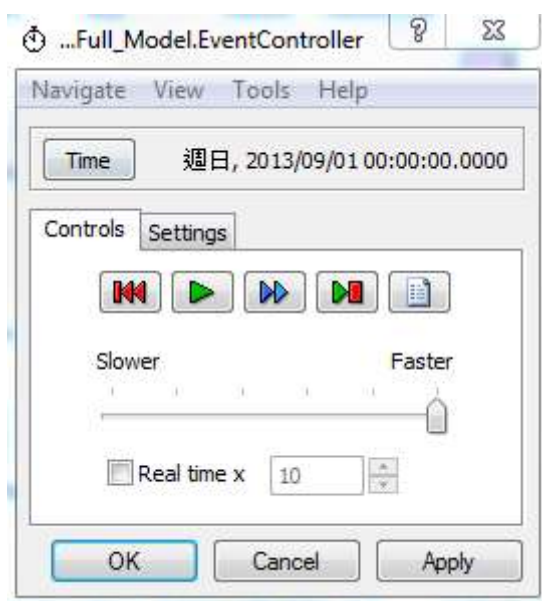



圖 3.11 Event Controller UI

3. 單一程序(Single Process)

單機台加工站點的模擬物件，圖為，通常做為單一機台的模擬使用，雙擊圖樣，即可進行設定，如圖 3.12；介面中能夠設定該 Single Process 的加工時間、前置時間...等，並且可以選擇其分配方式。

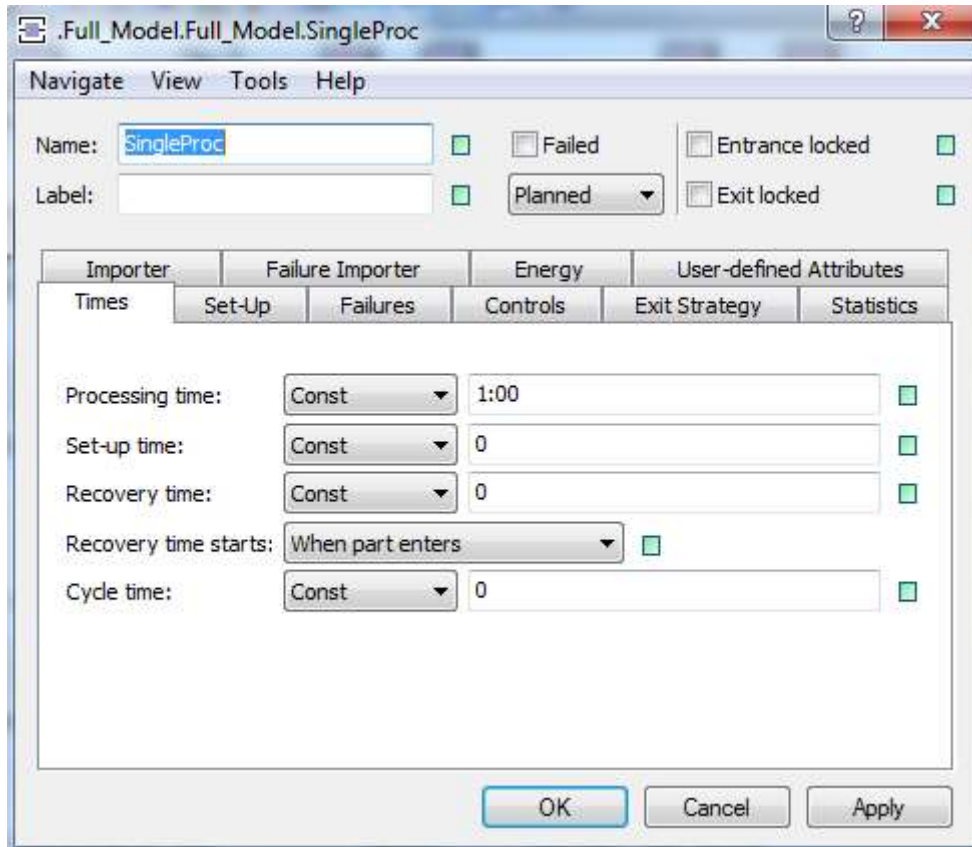




圖 3.12 Single process UI

而其中上圖頁籤中，也能設定機台當機方式，屬性綁定...等功能。

4. 暫存區(Buffer)

Buffer 如同字義，即為物料的暫存區，以為圖示。雙擊圖示，即能進入 Buffer 設定介面；與 Single process 相同，能設定加工時間，亦能綁定屬性，唯一不同的是有容量(Capacity)的變量可作設定。

5. 倉儲(Store)

Store 即為 Plant Simulation 中的倉儲，圖為，期儲位可以從 1 個至 NxN 個儲位，雙擊圖樣可以進行設定，如下圖 3.13。

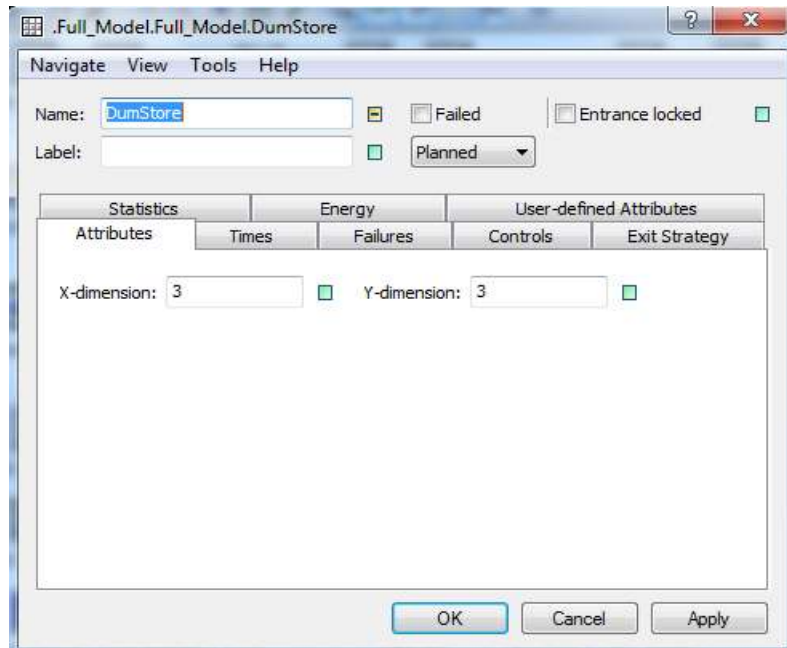




圖 3.13 StoreUI

6. 物件(Entity)和載具 Container

以() 和()表示之，此兩個物件為模型的移動物件，Entity 主要是扮演產品的角色，Container 扮演棧板的角色。



7. 表格(TableFile)

Tablefile 是 Plant Simulation11 中的工作表(table)，可以記錄各式各樣的數據，比較特別的是此表格格式為以”欄”為最小單位的固定格式，亦即假設設定本欄為日期格式，則此欄只能填入日期，不接受日期以外的資料，如下圖 3.14 示。

	date	string
1	2013/01/01	
2	2014/01/12	
3	123 : ERROR FORMAT!	
4	ABC : ERROR FORMAT!	
5		
6		
7		
8		

圖 3.14 TableFile UI

8. 方法(Method)


Method，圖樣為(或); Method 在模型中扮演著重要的角色，凡是系統中任何邏輯的判斷行為，包括派工邏輯、集批邏輯、途程的邏輯、Control Panel 等，都必須藉由 Method 來撰寫邏輯。我們將其分為兩種：重新啟動(Initial)時經過的邏輯判斷及事件觸發(Event trigger)式的邏輯判斷，因此有兩種不同的圖樣。

9. 變數(Variable)

為 Plant Simulation11 中的參數，他可以用於重要資料的紀錄，也能用於控制的開關，是 Plant Simulation 中非常便利的工具。

10. 時間觸發(Trigger)

前面在 8 Method 中有提過，其邏輯為事件觸發，由於我們可能找不到合適的事件點去觸發 Method，為了解決此類問題我們使用 Tigger

元件改以”時間”來觸發，其圖樣為()。

11. 開放式資料庫連接 ODBC(Open Database Connectivity)

圖樣為()，Plant Simulation11 為一高度物件導向之模擬軟體，

但在處理大量數據的效能上，並不算太好，因此，Plant Simulation 支援 ODBC，藉 ODBC 去連接其他資料庫，如，SQL Server、Oracle 或 Access... 等，並運用外掛的方式去處理大量資料。

3.4.2 使用者介面設計

介面設計

根據前一節所介紹的 Plant Simulation 基本物件去設計出，符合使用者需求之系統介面，如下圖 3.15 所示，而主要在 CPAS 系統主要介面上，將建立四個廠區，廠區底下有著數個真實符合工廠佈置(Layout)的虛擬機台，並建立一獨立的 Frame 來放置資料，運用 ODBC 連接資料庫，運用 Method 處理派工邏輯，最終，設計一控制面板來控至派工邏輯與其他邏輯的選擇。

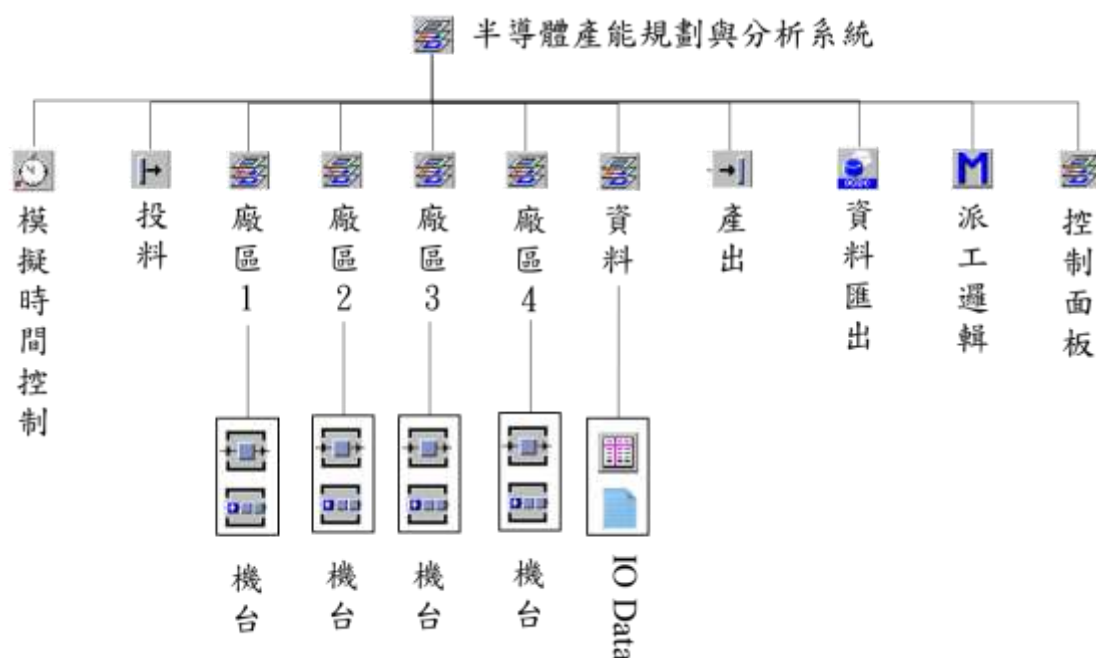


圖 3.15 系統介面設計展開

(資料來源：本研究整理)

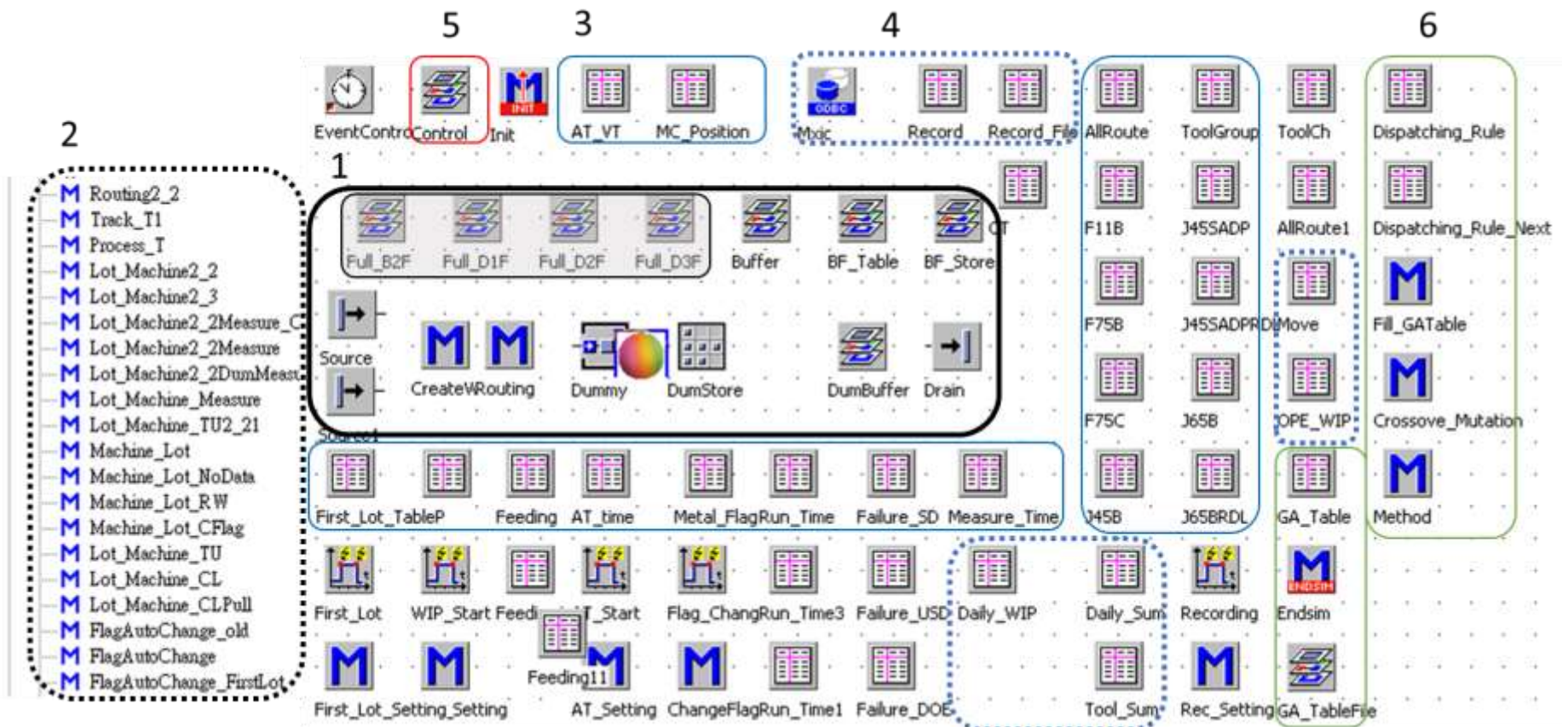


圖 3.16 系統實際主介面

1. 廠區建立

將機台分廠區放置於不同的 Frame 中，後方為機台群組的前暫存區以及暫存表格，便於觀察省產中 WIP 的流動，並且建立出投料(Source)與產出(Drain)。

2. 派工法則

根據不同種類機台，有不同種類的派工法則，其包括最基本的按途程進行派工、推貨邏輯、拉或邏輯和集批邏輯等。

3. 基本資料

基本資料主要包括所有建立模型的相關資料，主要分成機台資訊和產品資訊兩種，機台資訊有關於機台的廠佈位置、機台的大小、加工時間、當機方式...等，而產品資訊有產品的途程、產品的投料、數量...等。

4. 資料匯出

資料匯出是使用 ODBC 進行資料匯出，其資料的設計，將於 3.3.3 詳細說明。

5. 控制面板

其設計是為了便於使用者於實驗設計時控制模型而存在的，能夠操控部分系統邏輯的觸發或參數的修改，如，派工邏輯的選擇、當機參數的設定...等。

6. 最佳化模擬

設計為手動觸發演算法功能，經過大量實驗蒐集數據後，發動演算法求模擬最佳解。

3.4.3 資料設計

資料設計，本節將說明關於資料庫的設計，包含收集哪些建模基本資料和模擬運行資料收集，並以下圖 3.17，UML 資料庫類別圖表達，說明資料的關聯性。

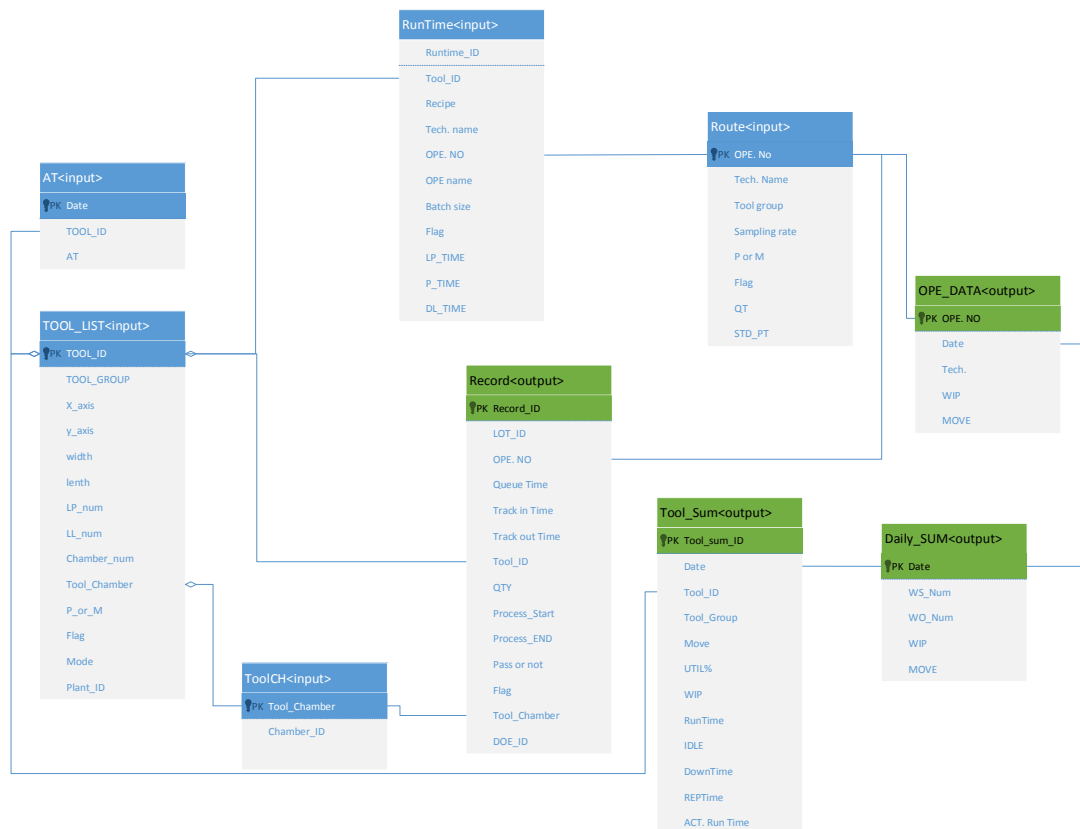


圖 3.17 資料庫類別關聯圖

圖中包含資料庫所有儲存表單，機台總表(Tool_List)、機台加工槽總表 (ToolCH)、機台可用時間表(AT)、機台加工時間表(RunTime)、產品途程表 (Route)、當日生產記錄總表(Record)、當日全場紀錄表 (DailySum)和程序紀錄表(OPE. DATA)。

其中 Tool_LIST、ToolCH、AT、RunTime，Route 為產品加工程序基本資料，而其餘的四張表單 Record、ToolSum、DailySum 和 OPE. DATA，為模擬運行蒐集資料。基本資料為使用者提供資格式，而匯出表單為使用者需求所設計之格式，說明如下。

當日生產記錄總表(Record)

Record 表單，是記錄模擬生產時的最系製作動時間表單，而表中的單位最細是到 LOT_ID 的其中一道程序，其中記錄在該 LOT 在該程序上的加工時間和上下站時間，因此，表格中除了該 LOT 的 ID 外，會記錄其加工站點、加工之數量、上站時間、加工時間和下站時間等，並以此表格為基準去完成產能規劃。

當日機台紀錄表(ToolSum)

Toolsum 的部分是由於使用者希望觀察到機台的行為或狀況對總產能的影響，因此以一天為時間的方式去蒐集機台資訊，如，當日總加工數(MOVE)，當日總加工時間，當日可用機台時間 AT...等。

當日全場紀錄表 (DailySum)

DailySum 表，是記錄當天全場模型的相關資料，義可以看作 ToolSum 的全家總資料，資料包含產出數量、投入數量、總 MOVE 數...等。

程序紀錄表(OPE. DATA)

OPE. DATA 表格，是使用者希望能以操作程序編號來觀察，加工數量和 WIP 數量；由於半導體製程具迴流性，單看機台 MOVE 數，僅能確定其為瓶頸站，但不能有此判斷前後製程問題，因此，藉由 OPE.DATA 表以確定哪一個程序出問題，可以找出瓶頸程序。

經由 3.2 的使用者需求表單的需求去設計匯出表單；藉這些表單所蒐集之資料，再加入使用者分析，即可做到分析動態產能之影響產能因子，也能更盡皆完成本研究之模擬產能規劃之目的。

3.5 產能規劃與分析模擬系統建構

為了能夠完整的表現出半導體晶圓廠生產時的實際現況，並請能有效的找出影響實際產能的變動因子，因此，本研究使用模擬軟體來建構此系統模型；本章節將會分成三個小節，3.4.1 將會說明我們如何選用模擬軟體，3.4.2 和 3.4.3 兩節分別是對物件的介紹和如何運用這些物件來建置一半導體晶圓製造廠的產能規劃模型。

3.5.1 模擬軟體

最早的模擬技術主要用於軍事策略的制定，後來隨著模擬技術(Simulation)的成熟，五花八門的模擬套裝軟體一一問世，而這些模擬軟體不再侷限於軍事用途，也經常用於商業用途，如工廠生產的模擬，服務業流程的模擬...等。

那麼該如何選用模擬軟體呢？，因此我們整理了下列這張表 3.8。

表 3.8 模擬軟體分列表

(資料來源：本研究整理)

模擬器分類		相關軟體
通用導向模擬套裝軟體		Arena, Extend, Anylogic, SIMUL8, SLX
應用導向模擬套裝軟體	製造系統	Plant Simulation(eM-Plant), FlexSim, AutoMod, PROMODEL, Enterprice Dynamics
	供應鏈系統	Supply Chain Guru and Supply Chain Builder
	服務系統	ProcessModel and ServiceModel
	醫療系統	MedModel
	通訊系統	OPNET Modeler and QualNet

Plant Simulation 是 Tecnomatix 開發的物件導向、圖形化模擬軟體，主要用於生產流程複雜，且具有許多不確定變動因子的生產環境。使用者可以利用 Plant Simulation 來建置出符合真實的半導體廠環境；此外，對於不確定變動因子，Plant Simulation 也能運用時間觸發(Time trigger)和事件觸發(Event trigger)的方式，來令這些因子產生波動。

Plant Simulation 也能運用表格的方式去蒐集生產時資訊(如:WIP 水準(WIP Level)，設備利用率(Utilization)，設備當機率(AT%)等。)，來幫助分析使用；除了現況模擬的分析外，更可以嘗試不同的變因組合，以達到最佳的生產能力。因此，本研究選用 Plant Simulation 11，來建構半導體產能規劃模型。

3.5.2 半導體產能規劃與分析系統物件

3.4.1 節介紹了 Plant Simulation 的特性，並決定了要使用 Plant Simulation 軟體，來建構「半導體產能規劃與分析系統」。所以，3.4.2 節要開始說明 Plant Simulation 具有哪些物件；本研究將 Plant Simulation 得物件分成五種類型，工廠建置(Plant)、料件儲存(Stocker)、資訊流(Information

flow)、在製品(WIP)和邏輯，而模型的運行會透過系統內的 Event controller，來做擬真時間的控制，物件的分類如圖 3.18 所示。

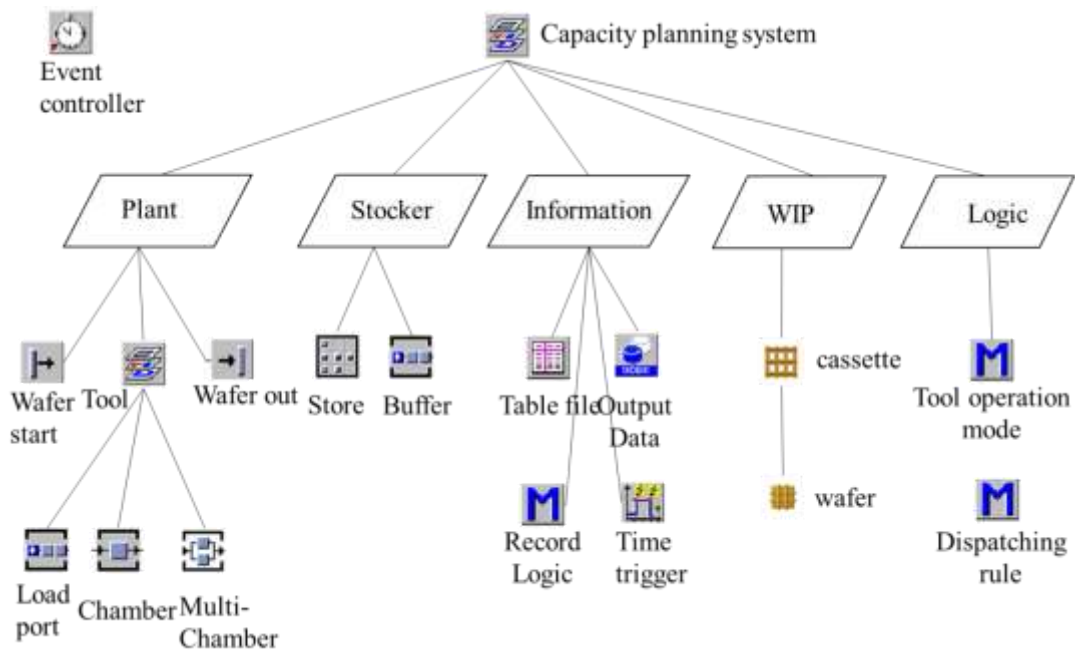


圖 3.18 Plant Simulation 物件分類

(資料來源：本研究整理)

而「半導體產能規劃與分析系統」的建置，將會運用 3.3 發展出的模型架構設計進行建構，系統主要切成四大模組，資料匯入模組、模擬模組、控制模組和資料匯出模組。下圖 3.19 說明了個模組的功能細項，以及對應功能建置將使用的模擬物件，下面將對於其功能建置方法做詳細說明。

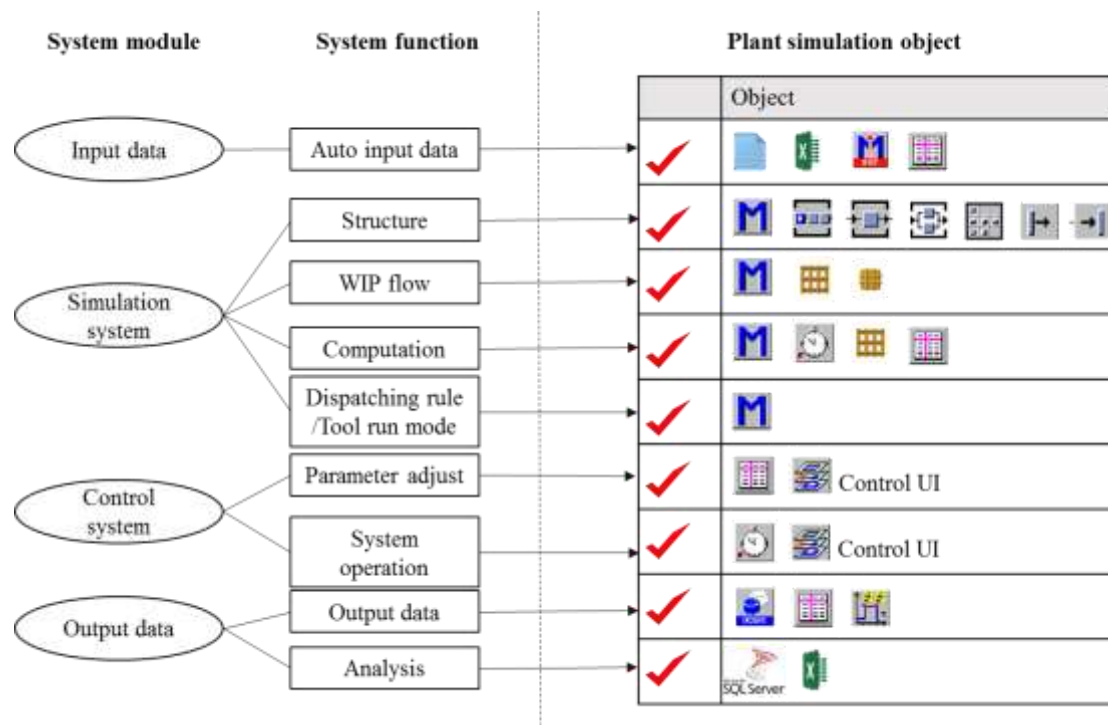


圖 3.19 系統模組-物件對應表

(資料來源：本研究整理)

1. 自動資料匯入(Auto input data)

在匯入資料模組中，為減少使用者時設定參數時的負擔，因此本系統將開發出自動資料匯入的功能，Plant Simulation 支援外部資料匯入的功能，可以經由 Method 的撰寫，讀取外部相容資料檔案，如，Textfile、Excel 等常見資料格式，並將資料匯入至 Plant Simulation 內的表格 (TableFile) 中。

2. 工廠環境建構(Structure)

此功能是為了讓工廠模型能夠更符合真實，而開發出 Structure 的功能，將使用 Source、Drain，來表現工廠的進料(Wafer start)及出貨(Wafer out)，以 Buffer 來表現，生產線的暫存空間、移動載具，等候時間等，以 Store 作為 WIP 的儲藏空間，用 Single-Process 和 Multi-Process 作為生產機台的工作槽(Chamber)。

3. WIP 流動(WIP Flow)

在半導體廠中，物件的流動通常是以一個一個晶舟(Cassette)的方

式去流動，但是到達機台時，又會以一片片晶圓(Wafer)的方式去做加工，為了能充分表現半導體生產時的真實狀況，因此，將 WIP 拆成兩個部分，以 Container 作為 Cassette，而 Entity 作為 Wafer 去模擬。

4. 運算引擎(Computation)

雖然 Plant Simulation 本身有提供了各式各樣的資料蒐集，如，設備使用率(Utilization)、吞吐量(Throughput)...等。

但是，經過了複雜的模型設計後，很多細部的資料會變的難以蒐集，如，機台作動的資料；因此我們接這些資料統一通過 EventController 的時間點，經過分類紀錄於表單上，最後再利用 Method 運算整理於新的表單上。

5. 派工法則/機台作動(Dispatching rule/Tool run mode)

對於機台的內部構造，已經通過功能 2 完整的建立於 Plant Simulation 上，而晶圓和晶舟亦透過功能 3 模擬成現，但對於這些 WIP 該如何在模型中流動，卻沒有一定規則；從文獻中我們得知半導體製程的 WIP 流動式複雜的，並且具有回流(Re-entry)的特性，為了完整的模擬出半導體生產方式，WIP 流動的模擬將成為重要的一環，因此我們將這些派工法則和機台作動整理程邏輯，撰寫於的 Method 中。

6. 參數調整(Parameters adjust)

資料匯入至模擬系統後，根據實際資料進行模擬，為了讓使用者能夠使用此系統進行各種影響性因子的分析，因此，將系統家如調整參數的功能，以使用者介面的方式去修改參數或是以表格的方式直接修改匯入資料(Input data)後，進行模擬運算，以獲得參數調整後的可行解。

7. 系統操作(System operation)

為了使使用者便於操作，在 Plant Simulation 製作操作面板，並結合 Plant Simulation 的 Event controller，一並操作系統。

8. 資料匯出(Output data)

使用者資料的蒐集，可以在 Plant Simulation 的介面上直接匯出

Excel 表，由此方式進行蒐集，但有實資料過於龐大時，此操作方式太過費時，因此，系統加入自動會出的功能，利用 ODBC 來連結資料庫，並以 Trigger 以每日觸發的方式會出資料。

9. 資料分析(Analysis)

主要可以分成兩種方式去分析，一是利用匯出至資料庫的資料，直接使用 SQL 與法去做分析；二是利用 EXCEL 去做分析。

3.5.3 CPAS 模擬

本節主要說明，本研究實際開發出來的模擬系統，共分成四個部分，(1)系統主要介面，(2)實際廠區模擬，(3)實際機台模擬，(4)模擬最佳化。

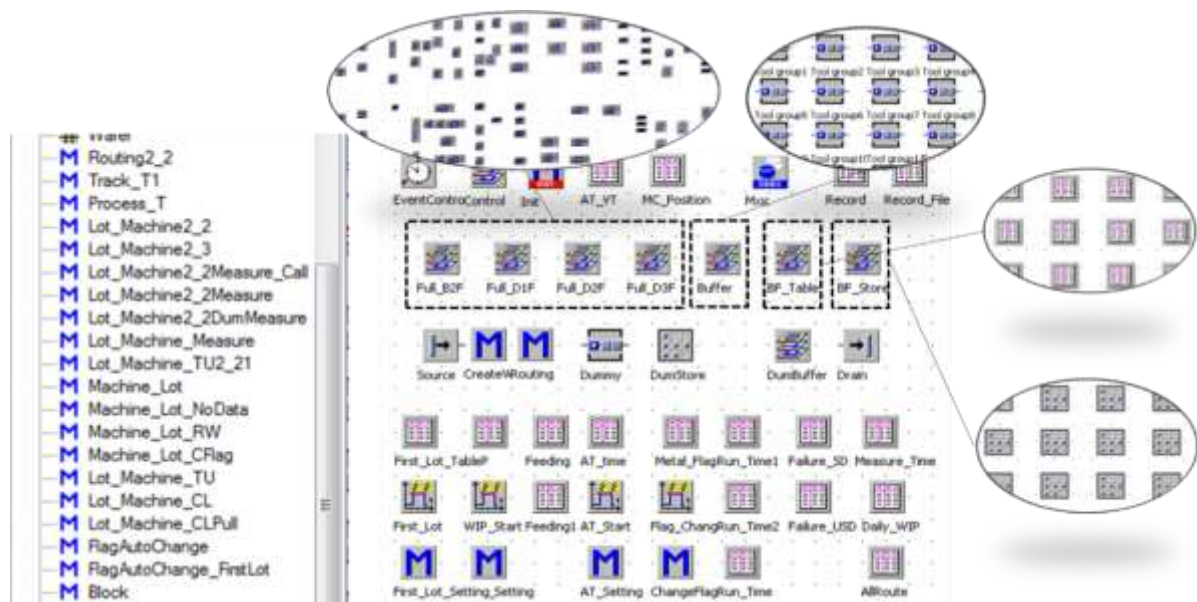


圖 3.20 實際廠區模擬圖

1. 系統主要介面

系統的主要介面如圖 3.20，按照 3.2 所設計的架構，分廠區去建立系統模型，為了能觀察系統中 WIP 的流動，開發時以機台群組為單位去建立暫存區、對應表格與倉儲。

2. 實際廠區模擬

在各廠區的 Frame 底下，可以進一步展開以機台為單位去建立 Frame，如下圖 3.21 所示，圖的下半部分，為其中一個廠區的實際廠佈 Layout，上半為模擬廠區之實際情況，按照機台資訊裡的 X 軸 Y 軸之平面位置和機台長寬，在起始時使用 Method 自動創建於廠區之內。

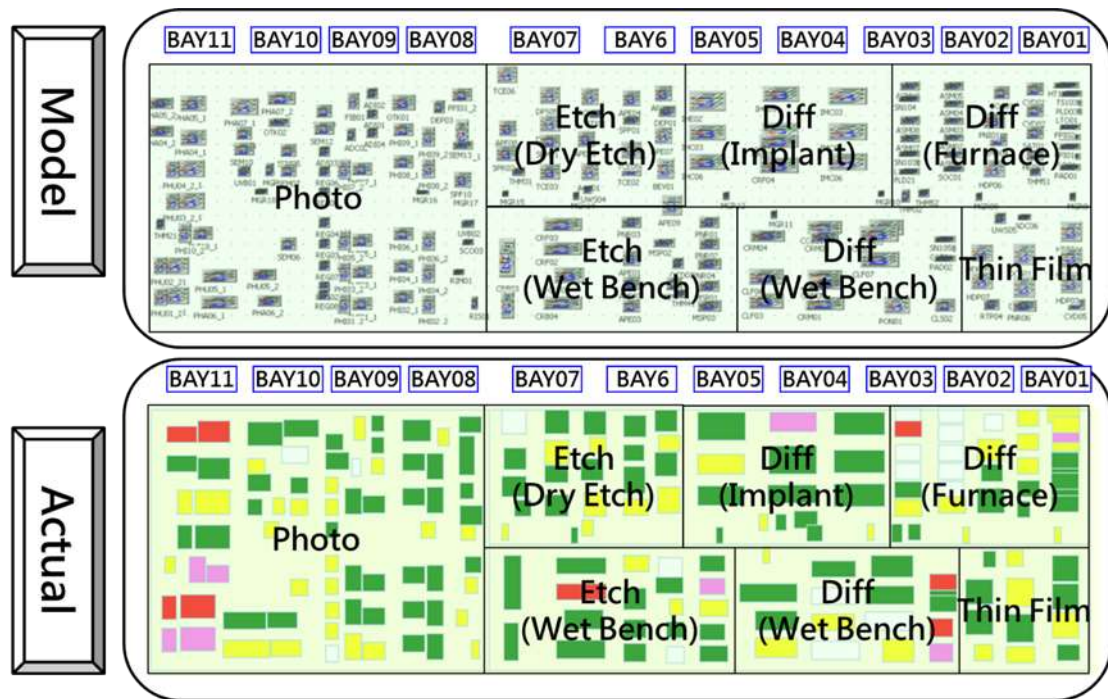


圖 3.21 實際廠佈圖-模擬廠佈圖

(資料來源:案例公司 Layout)

3. 實際機台的模擬

半導體製程之中，除了有迴流性的製程外，其機台的行為邏輯，也是極為特殊的，如圖 3.22 所示，半導體晶圓加工的六大製程中，如擴散製程，須經過爐管加工機台，但是爐管加工機台有著集批生產的特性；此外，薄膜製程，為多 Chamber 機台，除了每個 Chamber 中有著不同的程序外，薄膜製程更有著等待時間(Queueing Time;QT)的限制；蝕刻製程有著金屬汙染的限制等。為了能夠說明半導體產能規劃與分析系統，所模擬機台運作邏輯，在此分別舉出了幾台比較特殊的機台，說明其特殊性，並以 Plant Simulation 11 建立機台模擬模型。

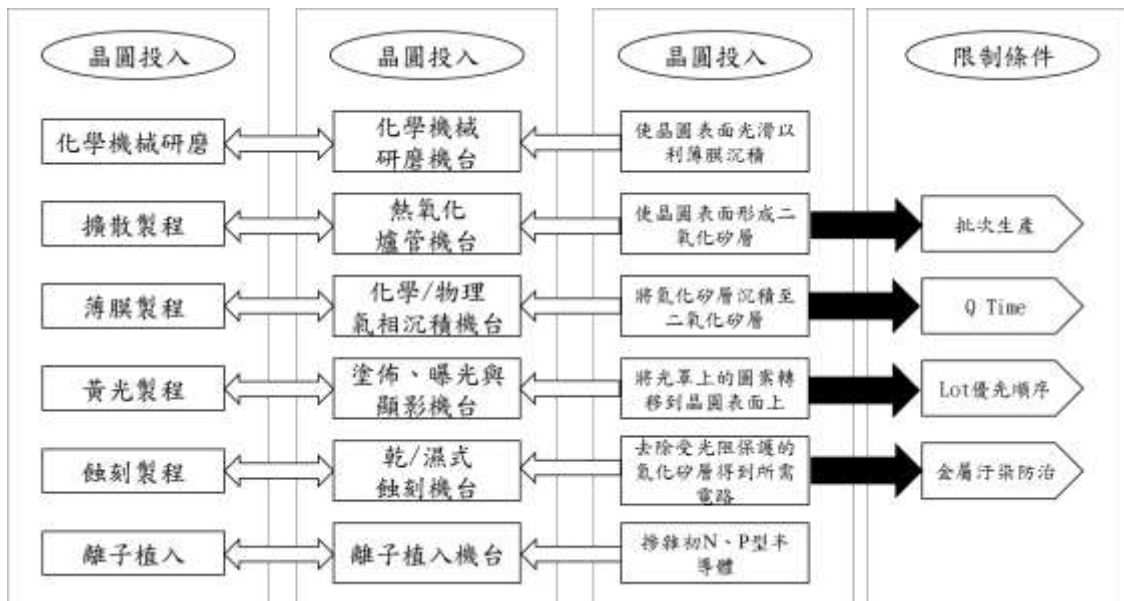


圖 3.22 六大主要製程特性

(資料來源：本研究整理)



圖 3.23 VISA 機台

(資料來源: micro magazine)

圖 3.24 VIISa 作動

(資料來源: micro magazine)

VIISa

VIISa 是一台中電流的離子植入機台，圖 3.23 為該機台實體照，機台結構有三個 Load Port，兩個 Load Lock，兩支 Robot，單一 Chamber，機台作動方式，如圖 3.24，經了解 VIISa，機台行為，該機台作動邏輯記錄於下方簡碼：

```
?=cassette
@=wafer
? come into Tool
if ? contain @ then
    get value LP PT DL
    set Right Load Lock's process time = LP
    set Chamber's process time = PT
    set Output Load lock's process time = DL
    @ move to Right Load Lock from ?
end
Wait for LP
@ move to Chamber from input Load Lock
@ process in PT
@ move to Right Load Lock
wait for DL
```

@ move to ? from output Load Lock
? leave Tool

Gamma 2130 光阻去除機台

GAMMA2130 光阻去除機台，圖 3.25 為其實際機型，是屬於蝕刻製程的一部分，圖中可觀察到，此機台為一左輪型多 Chamber 機台。



圖 3.25 Gamma2130 機台

(資料來源: micro magazine)

而 Gamma2130 的完整構造如圖 3.26，可以了解此機台唯一連續加工(單件流)型的多 Chamber 機台，共有三個 Load port，一個 Robot，兩個 Load Lock 和六個 Chamber，箭頭為晶圓流動之方式。

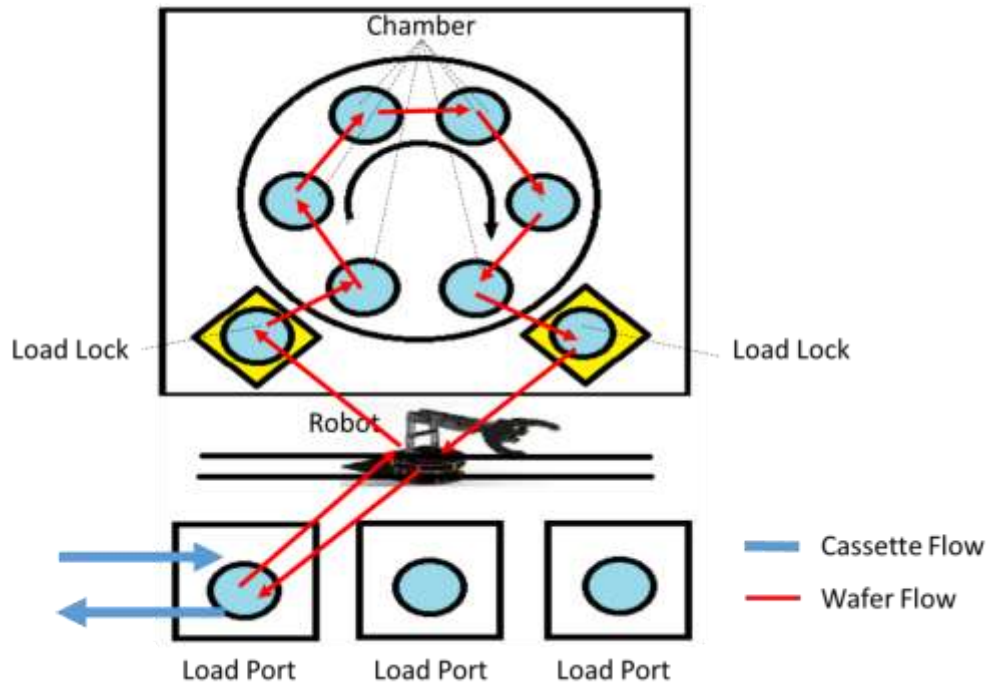


圖 3.26 Gamma2130 作動

經由 Plant Simulation 模擬，將 Gamma2130 機台模擬成單一 chamber 如圖 3.27，由於該機台是屬於單件流動的多 Chamber 機台，因此可以將此機台簡化模擬，模型精簡化後，系統運算的效能將提升。而其中比較特殊的法則為金屬汙染防治(Flag)的判斷，進入前會先判斷，金屬汙染量是否到達一定量，而決定是否進入加工。

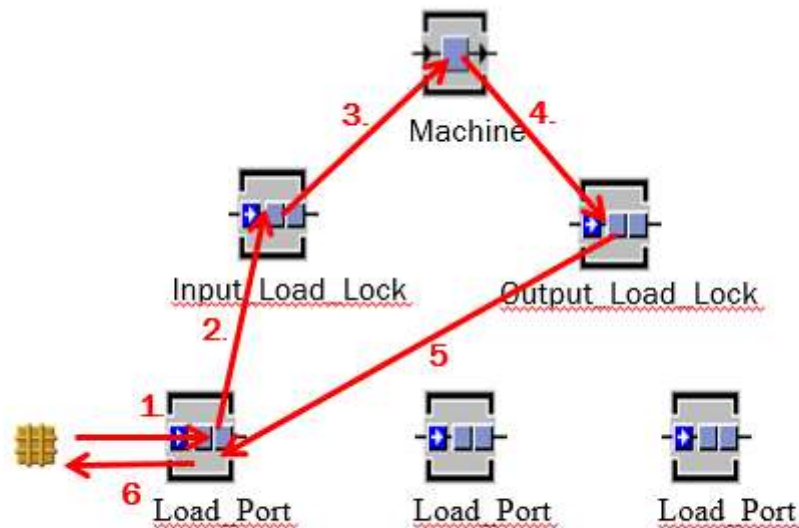


圖 3.27 Gamma2130 模擬

經了解 **Gamma2130** 機台行為，該機台作動邏輯記錄於下方簡碼：

```
?=cassette
@=wafer
If flag = true
    ? come into Tool
    if ? contain @ then
        get value LP PT DL
        set Input Load Lock's process time = LP
        set Chamber's process time = PT
        set Output Load lock's process time = DL
        @ move to input Load Lock from ?
    end
    Wait for LP
    @ move to Chamber from input Load Lock
    @ process in PT
    @ move to output Load Lock
    wait for DL
    @ move to ? from output Load Lock
? leave Tool
Else if Flag = false
? leave Tool
End
```

Endura 機台

Endura 機台為一化學氣相沉積機台，其目的主要是在上阻障層以強化金屬鎢之 CVD 複合力，圖 3.28 中為 Endura 機台實機。而其結構為三個 Load Port，兩個 Load Lock，一平移 Robt，兩只轉盤式 Robot，11 個 Chamber。



圖 3.28 Endura 機台
(資料來源: micro magazine)

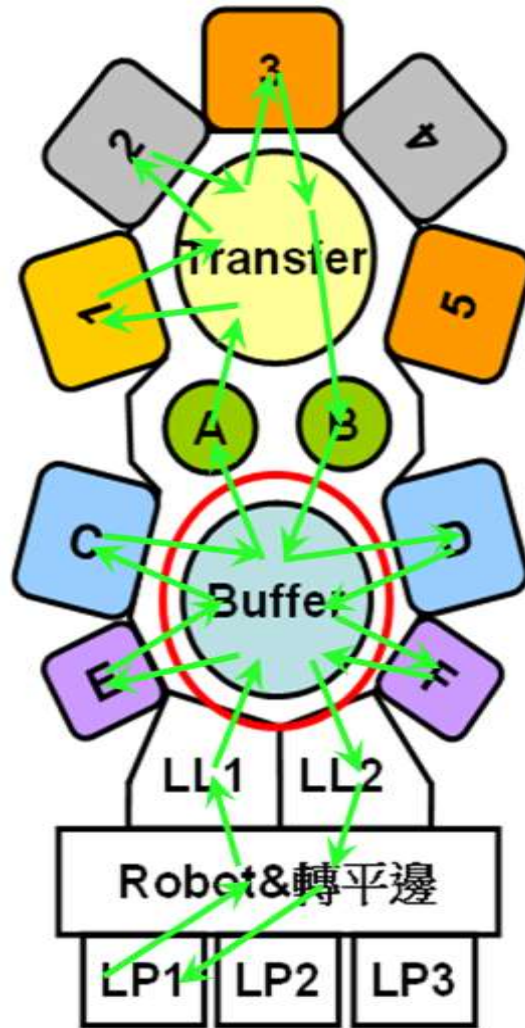


圖 3.29 Endura 機台作動

(資料來源: micro magazine)

Endura 機台的作動方式如同圖 3.29，前面 ABCDEF 六個 Chamber 為單件流動，而後面 12345 的五個 Chamber 為選擇是進入的，而是否要進去該 Chamber，則會以產品種類(Tech.)，產品加工程序(OPE.NO)和添加化學料(Recipe)等條件而定，在後半製程的 Chamber 選定，一般而言會有兩條加工路徑：1→2→3 和 1→4→5。

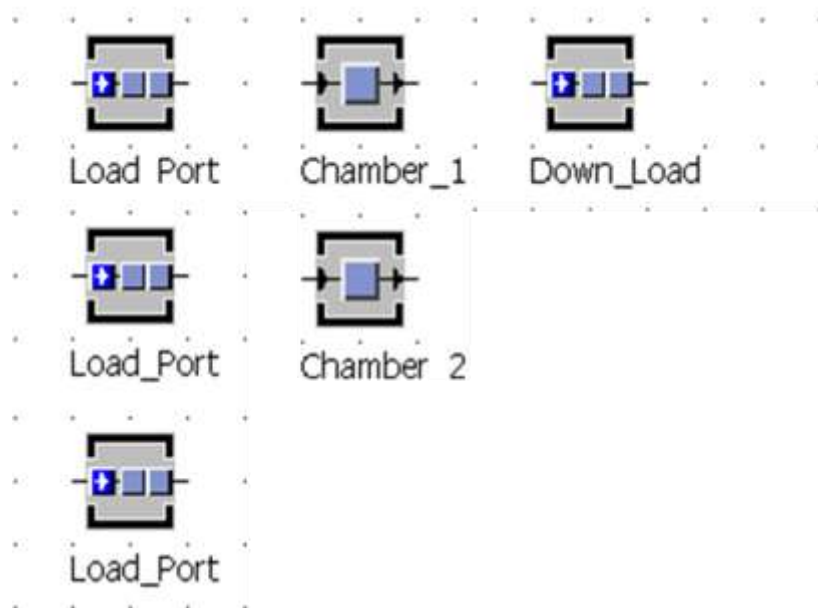


圖 3.30 Endura 機台模擬

由於會有兩條路徑可以選擇，因此在此運用 Plant Simulation 將機台模擬模型簡化，如圖 3.30。

而其經了解 Endura 機台行為，該機台作動邏輯記錄於下方簡碼：

```

?=cassette
@=wafer
  ? come into Tool
  if ? contain @ then
    get recipe value
    get value LP PT DL
    set Input Load port's process time = LP
    set Chamber's process time = PT
    set Output Down_Load's process time = DL
    @ move to input Load Lock from ?
  end
  Wait for LP
  If Recipe =1 then
    @ move to Chamber 1 from Load Port
    @ process in PT
  
```

```
@ move to Down Load
wait for DL
@ move to ? from Down Load
? leave Tool
Else if Recipe =2 then
    @ move to Chamber 2 from Loaf Port
    @ process in PT
    @ move to Down Load
    wait for DL
    @ move to ? from Down Load
    ? leave Tool
End
```



圖 3.31 TELINDY PLUS 機台
(資料來源: micro magazine)

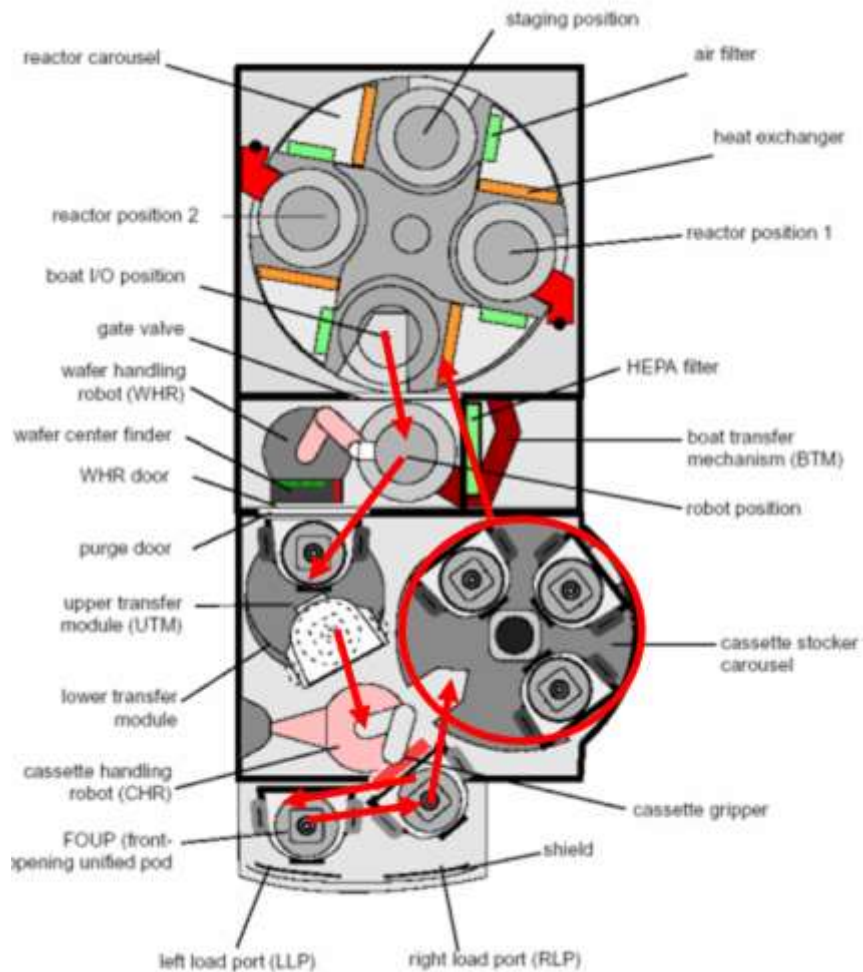


圖 3.32 TELINDY PLUS 機台作動

(資料來源: micro magazine)

TELINDY PLUS

TELINDY PLUS 為一台爐管型機台，是屬於擴散製程，因此，其機台行為的特殊條件為集批過程，圖 3.31 為其實機。

構造如圖 3.32 為兩個 Load Port，兩個 Robot，兩個 Chamber，而其中一個 Chamber 功用是用來集批使用，因此，實際加工 Chamber 僅有一個。TELINDY PLUS 的作動，將會先用機械手臂把 Cassette 移至集批 Chamber 等待集批完成，再進入加工 Chamber 加工，在一批一批移出 Chamber。

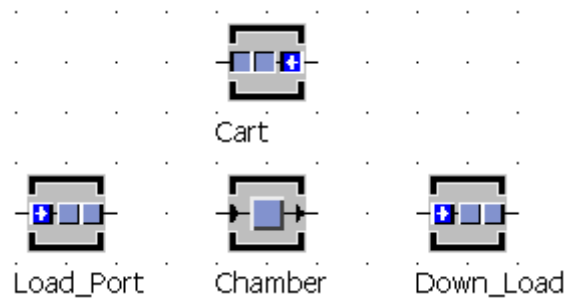


圖 3.33 TELINDY PLUS 機模擬

使用 Plant Simulation 建立 TELINDY PLUS 機台模擬模型，如圖 3.33，建立模型過程中，將會把其中一 Chamber 建成容量(Capacity)為 4 的暫存區。

經了解 TELINDY PLUS 機台行為，該機台作動邏輯記錄於下方簡碼：

```

?=cassette
@=wafer
  ? come into Tool
  if ? contain @ then
    get value LP PT DL
    set Input Load port's process time = LP
    set Chamber's process time = PT
    set Output Down_Load's process time = DL
    @ move to  Cart from ?
  End
If wafer number <100 then
  Wait for new cassette
Else if wafer number >=100 then
  Wait for LP
  @ move to Chamber from  CART
  @ process in PT
  @ move to  Down Load
  wait for DL
  @ move to ? from Down Load
  ? leave Tool

```


End

總而言之，半導體製程所用道的機台種類非常多樣，欲建立一完整的半導體產能規劃與分析模擬模型，必須考慮所有的機台行為，去建立模型，才能符合真實的半導體生產狀況，若只用單一加工站(Single Proc.)，模擬程機台，以平均值去設定加工時間，將會有太多的參數欠缺考量，規劃結果終將不準確。

3.5.4 模型邏輯

觀察半導體之派工邏輯、靜態產能規劃邏輯與蒐集機台運作邏輯，去開發 CPAS 系統。而系統的邏輯，將變得十分複雜，因此，下面將系統邏輯，整理成幾大重要邏輯，並以此邏輯說明，系統運作邏輯，如圖 3.34；更進一步以推貨邏輯為例，說明系統細部邏輯。

系統邏輯的流程，由左到右分別是系統的 Input、Process、Output，Input 和 Output 只的分別為系統的基本建模資料和最後產出資模擬資訊；中間為模擬過程之流程，中間每一個長方型都代表了一種運作邏輯，菱形代表決策邏輯，起始以左邊一排的初始畫設定開始介紹，初始化(Initialize)包含了，初始機台的創建，初始機台的設定，初始 WIP 的創建和記錄表初始化等(Init、WIP Setting、AT Setting 和 Record)；模型初使化完成後，開始運做，由晶圓投入(Wafer Start)開始，經過(Route)邏輯選擇途程開始選擇機台進行加工，然後判斷該產品製程是否為加工製程或量測製程(P or M)，如是加工機台，則判斷是否為集批機台(Batch or not)開始推貨(Lot_machine)，如推貨成功則依機台邏輯選擇機台進行加工，到下一製程並觸發拉貨(Route2_2)，若不成功則會觸發(Store IN)進入倉儲中等待加工；若是量測製程，則開始判斷是否通過量測(Pass or not)，並回到 Route 開始下一製程。

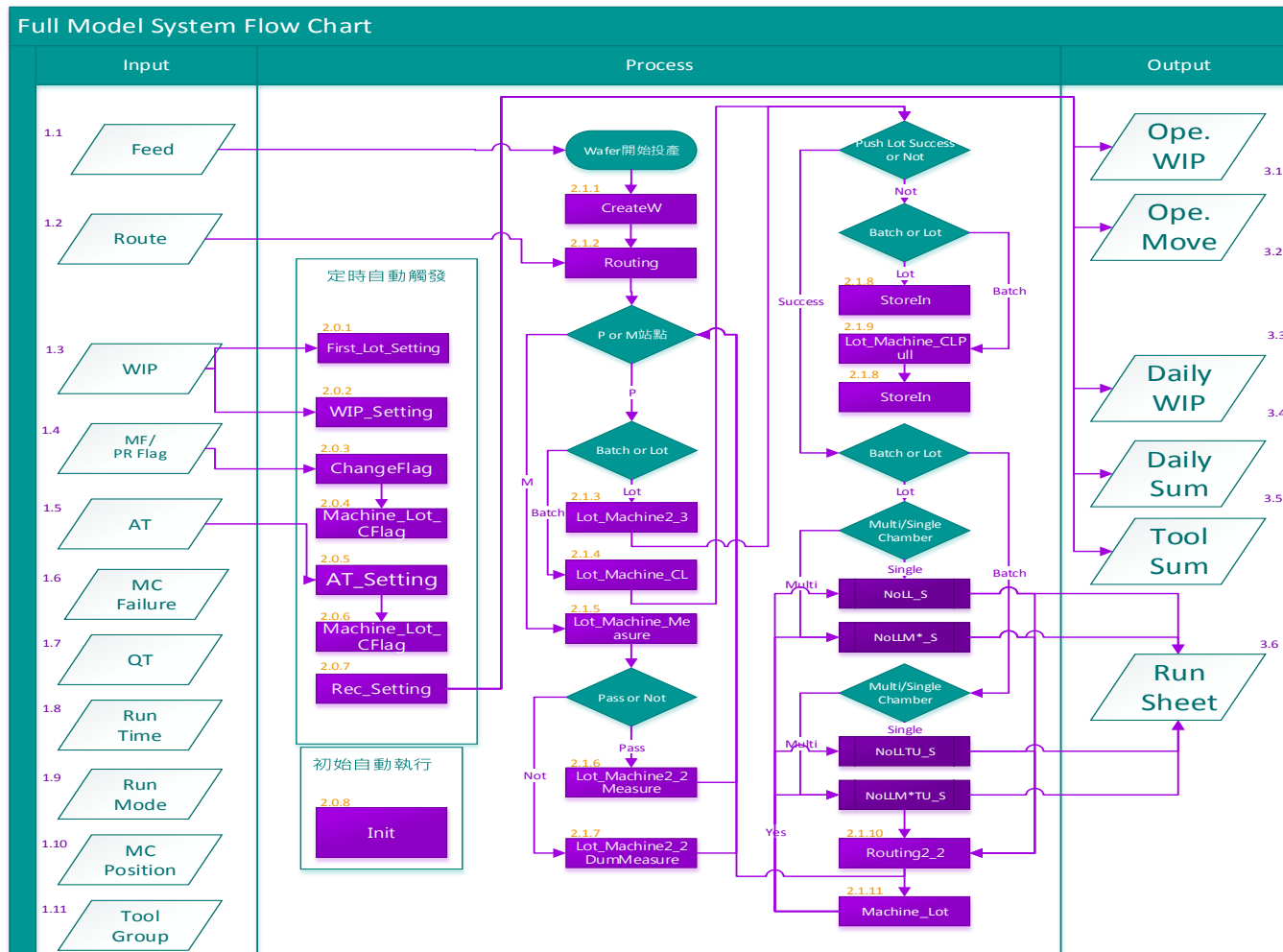


圖 3.34 系統運行邏輯流程圖

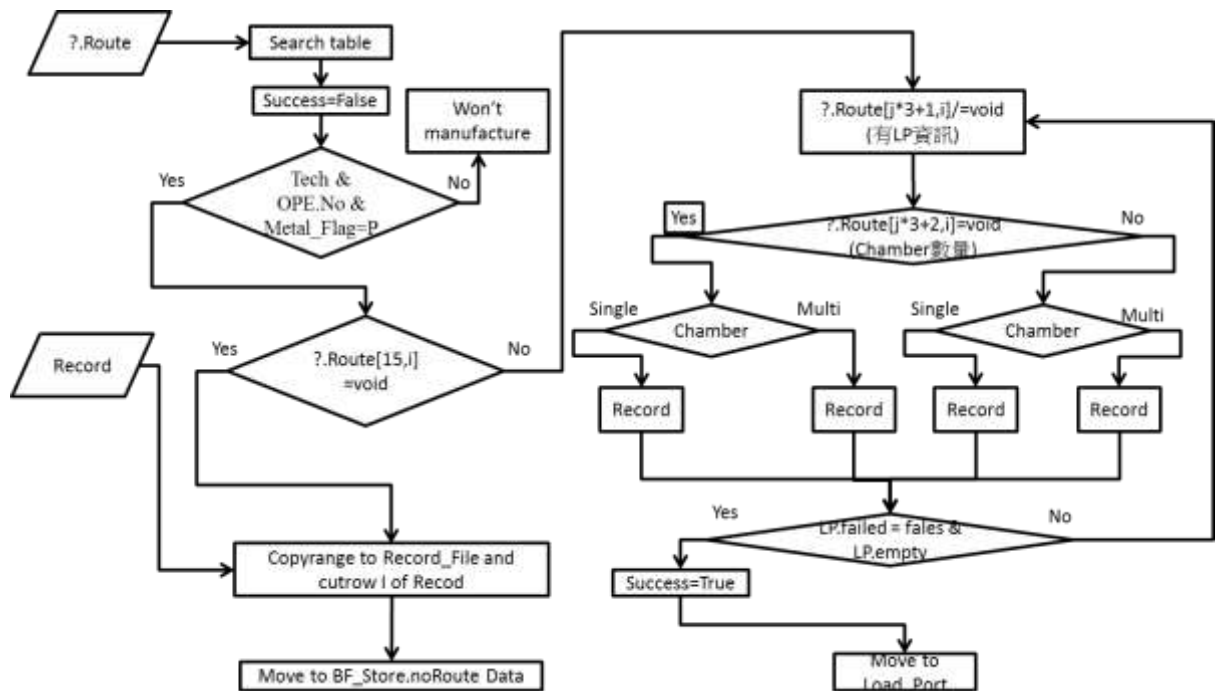


圖 3.35 推貨派工邏輯圖

介紹完整個系統運作的邏輯後，將往下展開繼續去說明，以機台推貨 (Lot_Machine) 的邏輯為例去說明，CPAS 系統的細部邏輯；機台推貨 (Lot_Machine) 的邏輯將根據圖 3.35 去說明之。先說明機推貨派工的觸發條件；其觸發主要條件為一批晶圓進入機台群組前暫存區(Buffer)，在暫存區中就會去觸發推貨邏輯，條件是該機台群組有可以進行加工之機台，就會開始推貨，如沒有將會入庫邏輯(StoreIN)。第一步驟，將會根據晶圓上屬性-生產程序(Wafer operation No.)搜尋 Route 表格，去判斷有沒有該程序資訊，中間會判斷產品種類(Tech.)、程序號碼(OPE.NO)和金屬汙染防治(Flag)，判斷是否有對應機台可以加工，如沒有對應機台，表是缺乏機台資訊，並記錄”No Route”於 Record 表單上；若是有機台資訊，則會開始進行機台選擇，機台分成四種去選擇，先判斷有沒有 Load Port，再判斷是否多 Chamber，最後判斷機台是當機或被占滿，再回到選擇機台程序重選機台，一直到滿足後，推進機台進行加工。

第四章 產能規劃與分析模擬系統驗證與評估

4.1 產能規劃與分析模擬系統驗證方法

為了使系統結果更加的精確、有效，因此本章節將說明，我們要如何驗證「產能規劃與分析模擬系統」；本研究將使用兩種方法進行驗證，第一是「面談驗證法」(face validation)，主要是以與使用者訪談的方式，進行模型正確性驗證，第二是「比較測試」(Comparison Testing)，通過與真實數據進行比對，已與驗證其系統正確性。

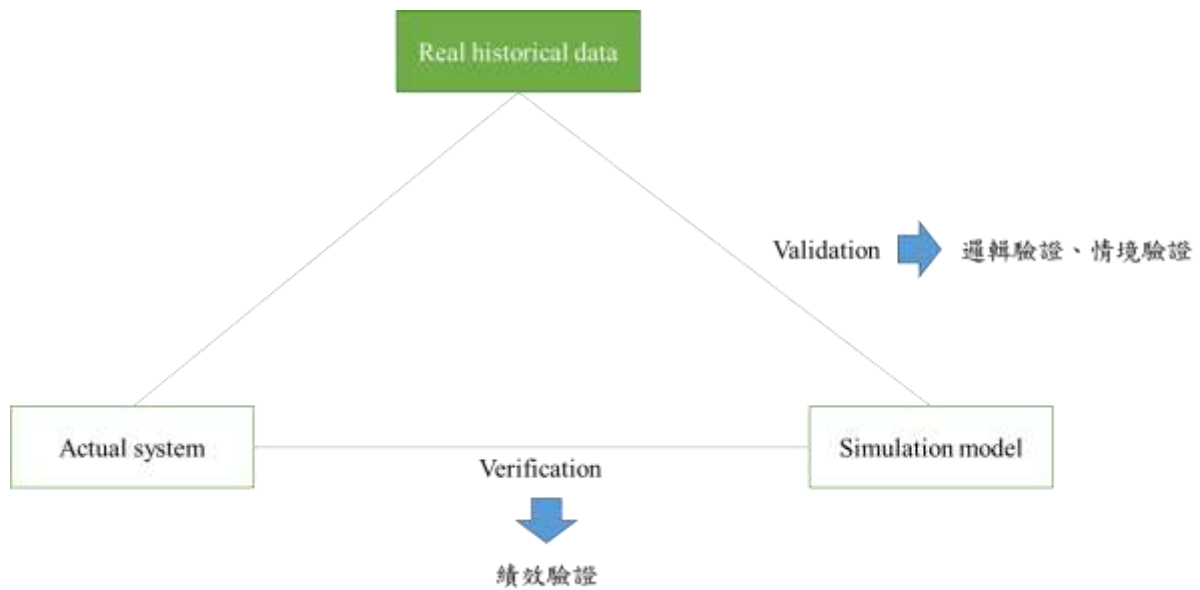


圖 4.1 驗證方法

4.1.1 使用者訪談驗證(Face Validation)

下表 4.1 為通過與使用者訪談所統整出來的驗證項目，主要驗證項目有六項，(1)不同生產途程驗證，(2)派工法則驗證，(3)爐管集批法則驗證，(4)金屬污染防治驗證，(5)機台加工時間驗證。

表 4.1 使用者驗證項目表

項目	目的	做法
不同生產途程驗證	確認大模型中產品之途程正確性，避免模擬機台時就產生錯誤	在系統中輸入兩件以上之產品的途程，查看其生產過程是否真有不同
機台派工邏輯驗證	確認模擬邏輯有將派工邏輯納入考量，避免模擬與實際派工落差	依據所考量的邏輯，查看模擬系統是否有依據此邏輯進行派工
爐管集批法則驗證	在模型之中，確認模擬爐管機台會比照實際集批方式進行	設定所要集批之 LOT 數量，等到生產時確認有依據設定的批量才進行生產
機台加工時間驗證	確認建立在模擬系統的加工時數為正確	查看模擬產出速率與實際時間是否相符合
測試機台驗證	確認模擬系統有把原本測試機台的良率與抽樣率考量進去	再測試機台設定相關比例，模擬時就能查看是否有按照比例進行
金屬汙染驗證	確認模擬時，有把含金屬可用機台納入	設計一情境，模擬機台有區分金屬前與金屬後的生產數量配比

在驗證結果部份，運用在模擬系統之中寫入程式，專門把相關 lot 或機台資訊作記錄和產出報表資料，使用一次性的模擬結果，如下圖 4.2 所示。

string	string	datetime	datetime	datetime	string	datetime	datetime
Lot_ID	OPER_NO	QUEUE TIME	TRACK TIME	TRACK OUT TIME	EQ_QTY	PROCESS START TIME	PROCESS
Full_Model.Lot:4140578	010.P010	2013/09/01 00:05:00.0600	2013/09/01 00:10:00.0600	2013/09/01 02:23:35.7400	CL 25	2013/09/01 01:39:52.040	2013/09/01
Full_Model.Lot:4140576	010.P010	2013/09/01 00:05:00.0000	2013/09/01 00:10:00.0600	2013/09/01 02:23:35.7400	CL 25	2013/09/01 01:39:52.040	2013/09/01
Full_Model.Lot:4140581	010.P010	2013/09/01 00:05:00.1500	2013/09/01 00:10:00.1500	2013/09/01 02:51:15.4600	CL 25	2013/09/01 01:59:57.430	2013/09/01
Full_Model.Lot:4140577	010.P010	2013/09/01 00:05:00.0300	2013/09/01 00:10:00.1500	2013/09/01 02:51:15.4600	CL 25	2013/09/01 01:59:57.430	2013/09/01
Full_Model.Lot:4140583	010.P010	2013/09/01 00:05:00.2100	2013/09/01 00:11:40.0600	2013/09/01 03:12:01.1600	CL 25	2013/09/01 02:22:17.460	2013/09/01
Full_Model.Lot:4140580	010.P010	2013/09/01 00:05:00.1200	2013/09/01 00:11:40.0600	2013/09/01 03:12:01.1600	CL 25	2013/09/01 02:22:17.460	2013/09/01
Full_Model.Lot:4140582	010.P010	2013/09/01 00:05:00.1800	2013/09/01 01:38:48.0000	2013/09/01 04:00:26.5800	CL 25	2013/09/01 03:10:42.880	2013/09/01
Full_Model.Lot:4140585	010.P010	2013/09/01 00:05:00.2700	2013/09/01 01:38:48.0000	2013/09/01 04:20:03.3100	CL 25	2013/09/01 03:28:45.280	2013/09/01
Full_Model.Lot:4140581	010.P020	2013/09/01 02:51:15.4600	2013/09/01 03:57:23.7400	2013/09/01 09:23:18.0900	FL 25	2013/09/01 04:57:57.090	2013/09/01
Full_Model.Lot:4140581	010.P030	2013/09/01 09:23:18.0900		2013/09/01 09:35:43.0139	TH 25		
Full_Model.Lot:4140580	010.P020	2013/09/01 03:12:01.1600	2013/09/01 03:57:23.7400	2013/09/01 09:30:22.3200	GA 25	2013/09/01 05:02:52.090	2013/09/01
Full_Model.Lot:4140580	010.P030	2013/09/01 09:30:22.3200		2013/09/01 09:42:47.2439	TH 25		
Full_Model.Lot:4140585	010.P020	2013/09/01 04:20:03.3100	2013/09/01 04:45:49.1900	2013/09/01 10:25:06.5700	PA 25	2013/09/01 05:41:40.540	2013/09/01
Full_Model.Lot:4140585	010.P030	2013/09/01 10:25:06.5700		2013/09/01 10:37:31.4939	TH 25		
Full_Model.Lot:4140582	010.P020	2013/09/01 04:00:26.5800	2013/09/01 04:45:49.1900	2013/09/01 10:53:25.5700	PA 25	2013/09/01 05:45:24.540	2013/09/01
Full_Model.Lot:4140582	010.P030	2013/09/01 10:53:25.5700		2013/09/01 11:05:50.4939	TH 25		
Full_Model.Lot:4140576	010.P020	2013/09/01 02:23:35.7400	2013/09/01 02:28:35.7700	2013/09/01 11:02:13.7700	CE 25	2013/09/01 03:55:29.770	2013/09/01
Full_Model.Lot:4140579	010.P020	2013/09/01 00:05:00.0900	2013/09/01 02:28:35.7700	2013/09/01 11:02:13.7700	CE 25	2013/09/01 03:55:29.770	2013/09/01
Full_Model.Lot:4140579	010.P030	2013/09/01 02:28:35.7400	2013/09/01 02:28:35.7700	2013/09/01 11:02:13.7700	CE 25	2013/09/01 03:55:29.770	2013/09/01
Full_Model.Lot:4140576	010.P030	2013/09/01 11:02:13.7700		2013/09/01 11:14:39.6939	TH 25		

圖 4.2 系統產出記錄 lot 與機台報表資訊

利用完整的報表資訊，與系統考量邏輯功能逐一進行比對，包括生產途程、派工邏輯、金屬污染防治(Metal Flag)、集批邏輯、量測站抽測(Sampling rate)、機台加工時間等。

在生產途程的部分，由於在 Plant Simulation 上的表格介面，是同時多筆的資料進行匯入，所以在紀錄表格上同時記錄著多批不同晶圓的資料，不易進行途程驗證，因此，我們將資料匯出至 EXCEL，以資料篩選的方式去驗證，如圖 4.3 所示。屠城按照所設定的 Route 表格排列，表示該批 ID 的晶圓，是按照途程進行生產。

string	string	string	string	string	string			
string	key	TECH	OperNo	toolG				
010.P020	38:48.0	54:00.0	3	F758010.P02	F75B	010.P020	OXIDE_F	
010.P030	36:04.3		4	F758010.P03	F75B	010.P030	THM_DF	
010.P040	48:29.2	18:18.4	0	5	F758010.P04	F75B	010.P040	SN_F
010.P050	05:05.4		1	6	F758010.P05	F75B	010.P050	THM_DF
010.P055	17:30.4		2	7	F758010.P05	F75B	010.P055	JWS
010.P070	25:25.3	30:25.3	1	8	F758010.P07	F75B	010.P070	MD_F
010.P085	11:12.6		2	9	F758010.P08	F75B	010.P085	THM_TF
010.P100	25:28.6	31:40.6	4	10	F758010.P10	F75B	010.P100	CLSP_T
010.P110	48:51.5	54:08.5	3	11	F758010.P11	F75B	010.P110	OXIDE_F
010.P120	32:37.4		4	12	F758010.P12	F75B	010.P120	THM_DF
010.P130	45:02.3	50:02.3	3	13	F758010.P13	F75B	010.P130	APP_F
010.P140	30:45.2		4	14	F758010.P14	F75B	010.P140	THM_TF
010.P145	45:01.3		5	15	F758010.P14	F75B	010.P145	THM_TF
010.P150	50:01.3	55:01.3	4	16	F758010.P15	F75B	010.P150	MD_F
010.P160	48:13.1		0	17	F758010.P16	F75B	010.P160	THM_TF
020.P010	02:29.2	07:29.2	1	18	F758020.P01	F75B	020.P010	OTK
020.P020	14:02.4	19:02.4	0	19	F758020.P02	F75B	020.P020	STP_FHA_A
020.P030	01:50.2		0	20	F758020.P03	F75B	020.P030	ADI
020.P040	06:50.2		1	21	F758020.P04	F75B	020.P040	REG
020.P050	11:50.2		1	22	F758020.P05	F75B	020.P050	SEM_H
020.P055	16:50.2		2	23	F758020.P05	F75B	020.P055	DMYPH

圖 4.3 生產途程驗證

在派工邏輯部分非成了推貨和拉貨兩個部份的邏輯，推貨即是欠一部分所說明的按照途程生產，而拉貨的部分，是從佔存區所選擇的 lot 之中，

設定相關的派工優先順序，分別為 4、6、8、10，當 lot 在同一機台站點等
待生產時，系統會依據優先順序進行派工動作。

string	datetime	datetime	datetime	string	integer	datetime	datetime	integer	string
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
string	QUEUE TIME	TRACK IN TIME	TRACK OUT TIME	EQ_QTY	PROCESS_START_TIME	PROCESS_END_TIME	Priority	Rec	
11	2013/09/01 00:05:00.0600	2013/09/01 00:10:00.0600	2013/09/01 02:23:35.7400	CL 25	2013/09/01 01:39:52.040	2013/09/01 02:22:17.4600	4	F13	
12	2013/09/01 00:05:00.0000	2013/09/01 00:10:00.0600	2013/09/01 02:23:35.7400	CL 25	2013/09/01 01:39:52.040	2013/09/01 02:22:17.4600	4	F13	
13	2013/09/01 00:05:00.1500	2013/09/01 00:10:00.1500	2013/09/01 02:51:15.4600	CL 25	2013/09/01 01:59:57.430	2013/09/01 02:50:01.9800	6	F13	
14	2013/09/01 00:05:00.0300	2013/09/01 00:10:00.1500	2013/09/01 02:51:15.4600	CL 25	2013/09/01 01:59:57.430	2013/09/01 02:50:01.9800	6	F13	
15	2013/09/01 00:05:00.2100	2013/09/01 00:11:40.0600	2013/09/01 03:12:01.1600	CL 25	2013/09/01 02:22:17.460	2013/09/01 03:10:42.8800	8	F13	
16	2013/09/01 00:05:00.1200	2013/09/01 00:11:40.0600	2013/09/01 03:12:01.1600	CL 25	2013/09/01 02:22:17.460	2013/09/01 03:10:42.8800	8	F13	
17	2013/09/01 00:05:00.1800	2013/09/01 01:38:48.0000	2013/09/01 04:20:03.3100	CL 25	2013/09/01 03:10:42.880	2013/09/01 03:59:08.3000	10	F13	
18	2013/09/01 00:05:00.2700	2013/09/01 01:38:48.0000	2013/09/01 04:20:03.3100	CL 25	2013/09/01 03:28:45.280	2013/09/01 04:18:49.8300	10	F13	

圖 4.4 模擬依據 lot 優先順序進行派工

此外，部分製程有所謂的加工生命週期，因此，在部分製程中必須考量
等候時間(Queue time)，lot 會依據所等待的等候時間進行計算確認，當等候
時間超過所規定的範圍，則該批 lot 就會優先進行生產。如圖 4.10 所示，因
為 lot 數量少，所以都還沒進入 QT 時間，都還是 prio 的生產模式，亦即如
果等候時間超過指定標準，不論優先順序為何，都將優先加工。

string	string	string	integer	integer	datetime	datetime	string	object	time	datetime	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
string	LOT_ID	OFF_NO	Recipe	Quantity	Priority	QT_Decline	QUEUE TIME	QT_Prio	lot_Object	STD_PT	CLSF_PST
1	Full_Model.L	180.P020	015	25	8	1970/01/01	2013/09/19 00:08:06.0000	Prio	*Full_Model	49:48.0000	
2	Full_Model.L	180.P020	015	25	10	1970/01/01	2013/09/19 00:25:26.0000	Prio	*Full_Model	49:48.0000	
3	Full_Model.L	180.P020	015	25	8	1970/01/01	2013/09/19 01:19:40.0056	Prio	*Full_Model	49:48.0000	
4	Full_Model.L	180.P020	015	25	10	1970/01/01	2013/09/19 21:13:36.0000	Prio	*Full_Model	49:48.0000	
5	Full_Model.L	180.P020	015	25	10	1970/01/01	2013/09/21 00:44:13.5434	Prio	*Full_Model	49:48.0000	
6	Full_Model.L	180.P020	015	25	4	1970/01/01	2013/09/21 06:52:10.0000	Prio	*Full_Model	49:48.0000	
7	Full_Model.L	180.P020	015	25	6	1970/01/01	2013/09/22 04:46:09.0000	Prio	*Full_Model	49:48.0000	
8	Full_Model.L	180.P020	015	25	8	1970/01/01	2013/09/22 21:01:53.0000	Prio	*Full_Model	49:48.0000	
9											
10											
11											

圖 4.5 Qtime 考量結果示意圖

在集批邏輯部分，案例中的 10 批 lot 在不同時間點可能會存在同機台
或不同機台進行生產，因此系統規劃要考量等待到一定數量之後才能進行
生產，範例中的集批功能，還需要兩批才能夠滿足需求。

string	datetime	datetime	datetime	string	integer	datetime	datetime	integer	string
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
string	QUEUE TIME	TRACK IN TIME	TRACK OUT TIME	EQ_QTY	PROCESS_START_TIME	PROCESS_END_TIME	Priority	Rec	
2013/09/01 00:05:00.0600	2013/09/01 00:10:00.0600	2013/09/01 02:23:35.7400	CL 25	2013/09/01 01:39:52.040	2013/09/01 02:22:17.4600	10	F13		
2013/09/01 00:05:00.0000	2013/09/01 00:10:00.0600	2013/09/01 02:23:35.7400	CL 25	2013/09/01 01:39:52.040	2013/09/01 02:22:17.4600	10	F13		
2013/09/01 00:05:00.1500	2013/09/01 00:10:00.1500	2013/09/01 02:51:15.4600	CL 25	2013/09/01 01:59:57.430	2013/09/01 02:50:01.9800	8	F13		
2013/09/01 00:05:00.0300	2013/09/01 00:10:00.1500	2013/09/01 02:51:15.4600	CL 25	2013/09/01 01:59:57.430	2013/09/01 02:50:01.9800	10	F13		
2013/09/01 00:05:00.2100	2013/09/01 00:11:40.0600	2013/09/01 03:12:01.1600	CL 25	2013/09/01 02:22:17.460	2013/09/01 03:10:42.8800	8	F13		
2013/09/01 00:05:00.1200	2013/09/01 00:11:40.0600	2013/09/01 03:12:01.1600	CL 25	2013/09/01 02:22:17.460	2013/09/01 03:10:42.8800	8	F13		
2013/09/01 00:05:00.1800	2013/09/01 01:38:48.0000	2013/09/01 04:20:03.3100	CL 25	2013/09/01 03:10:42.880	2013/09/01 03:59:08.3000	6	F13		
2013/09/01 00:05:00.2700	2013/09/01 01:38:48.0000	2013/09/01 04:20:03.3100	CL 25	2013/09/01 03:28:45.280	2013/09/01 04:18:49.8300	4	F13		
2013/09/01 02:51:15.4600	2013/09/01 03:57:23.7400	2013/09/01 09:23:18.0900	FL 25	2013/09/01 04:57:57.090	2013/09/01 08:22:36.0900	8	PAC		
2013/09/01 09:23:18.0900		2013/09/01 09:35:43.0139	TH 25			8			
2013/09/01 03:12:01.1600	2013/09/01 03:57:23.7400	2013/09/01 09:30:22.3200	SA 25	2013/09/01 05:02:52.090	2013/09/01 08:26:41.3200	8	PAC		
2013/09/01 09:30:22.3200		2013/09/01 09:42:47.2439	TH 25			8			
2013/09/01 04:20:03.3100	2013/09/01 04:45:49.1900	2013/09/01 10:25:06.5700	PA 25	2013/09/01 05:41:40.540	2013/09/01 09:02:54.5700	4	PAC		
2013/09/01 10:25:06.5700		2013/09/01 10:37:31.4939	TH 25			4			
2013/09/01 04:00:26.5600	2013/09/01 04:45:49.1900	2013/09/01 10:53:25.5700	PA 25	2013/09/01 05:45:24.540	2013/09/01 09:57:34.5700	6	PAC		
2013/09/01 10:53:25.5700		2013/09/01 11:05:50.4939	TH 25			6			
2013/09/01 02:23:35.7400	2013/09/01 02:28:35.7700	2013/09/01 11:02:13.7700	CE 25	2013/09/01 03:55:29.770	2013/09/01 07:47:17.7700	10	PAC		
2013/09/01 00:05:00.0600	2013/09/01 02:28:35.7700	2013/09/01 11:02:13.7700	CE 25	2013/09/01 03:55:29.770	2013/09/01 07:47:17.7700	8	PAC		
2013/09/01 02:23:35.7400	2013/09/01 02:28:35.7700	2013/09/01 11:02:13.7700	CE 25	2013/09/01 03:55:29.770	2013/09/01 07:47:17.7700	10	PAC		
2013/09/01 11:02:13.7700		2013/09/01 11:14:38.6939	TH 25			10			
2013/09/01 11:02:13.7700		2013/09/01 11:14:38.7239	TH 25			8			
2013/09/01 11:02:13.7700		2013/09/01 11:14:38.7539	TH 25			10			

圖 4.6 集批功能模擬結果示意圖

在金屬污染防治部分，從每一批 lot 的途程進行分析，確認該 lot 在生產途程站所應該生產的機台是屬於何種標示，當相同標示時才能派工進行生產，若以下圖 4.7 為例，因為所需要途程的金屬防治標誌與機台上不同，因此 lot 都卡住無法繼續進行生產。



圖 4.7 金屬污染防治示意圖

在量測站抽測功能部份，系統會依據所產生出來的隨機值進行規劃，用來確認是否進行量測站的生產。如圖 4.8 所示，系統判斷是需要量測或者是直接通過該站點。

datetime 8	datetime 9	integer 10	string 11	string 12	string 13	string 14	string 15	string 16	string 17	string 18
PROCESS_START_TIME	PROCESS_END_TIME	Priority	Recipe		2013/04/12	Sampling_Rat	RandNum	Metal_Flag	PR_Flag	Chamb
		10		F75B	Measure	1	0.683695109			
		9		F75B	Measure	1	0.569507892			
2013/09/01 12:34:01.000	2013/09/01 17:46:58.7900	10	SN1470A	F75B				F	N	Chamb
2013/09/01 12:34:01.000	2013/09/01 17:46:58.7900	6	SN1470A	F75B				F	N	Chamb
		10		F75B	Measure	1	0.510226245			
		6		F75B	Measure	1	0.326341660			
2013/09/01 17:25:12.427	2013/09/01 18:11:30.4278	4	P-POX1KP-A	F75B				APFF	N	Chamb
		4		F75B	Pass	0.1	0.783225925			
		10		F75B	Measure	1	0.360920806			
		6		F75B	Measure	1	0.938536418			
2013/09/01 18:11:30.427	2013/09/01 18:57:48.4278	8	P-POX1KP-A	F75B				APFF	N	Chamb
		8		F75B	Pass	0.1	0.697301200			
2013/09/01 18:57:48.427	2013/09/01 19:44:06.4278	10	P-POX1KP-A	F75B				APFF	N	Chamb
		10		F75B	Pass	0.1	0.246612850			
2013/09/01 19:44:06.427	2013/09/01 20:30:24.4278	8	P-POX1KP-A	F75B				APFF	N	Chamb
		8		F75B	Pass	0.1	0.142883465			
2013/09/01 15:35:15.878	2013/09/01 20:48:20.8384	4	SN1470A	F75B				F	N	Chamb
2013/09/01 15:35:15.878	2013/09/01 20:48:20.8384	8	SN1470A	F75B				F	N	Chamb
		4		F75B	Measure	1	0.926433093			
		8		F75B	Measure	1	0.369432741			

圖 4.8 量測站抽測結果示意圖

在機台加工時間的部分，本研究將加工時間簡化成三個參數，分別設置於 Load port、Chamber 以及 Down Load 上面，並分別對應 LP、PT 和 DL

的作業時間，而其計算方式如下圖 4.9 所示，圖中以 Chamber 時間為例說明，算法分成三種，單純參數加法、乘以晶圓片數相加、乘以 Chamber 數相加，並以 M1、M2、M3 命之；Chamber 所對應的參數 PT，因此計算方式如下， $205+27.27*25$ (片數)為 14:46.75。

The screenshot displays three windows from a simulation software. The top window is a data table with columns for Tool_ID, Route, Tech., OP No, OP Name, Recipe, LP_M, PT, DL, LP_P1, LP_P, PT_P1, PT_P2, DL_P1, and DL_P2. The bottom-left window shows a 'Wafer' object with attributes like Name, Number, Label, and Conveying direction. The bottom-right window shows a 'Chamber' object configuration with a 'Processing time' field set to 14:46.75. Red boxes and arrows highlight the 'Recipe' value '715' in the table, the 'Recipe' attribute '715' in the wafer object, and the 'Processing time' value '14:46.75' in the chamber object.

string	string	string	string	string	string	string	string	string	real	real	real	real	real	real
Tool_ID	Route	Tech.	OP No	OP Name	Recipe	LP_M	PT	DL	LP_P1	LP_P	PT_P1	PT_P2	DL_P1	DL_P2
1	PHA05	PF75BL02.AA	F75B	020.P020	STI PHOTO	719;	M1	M2	M1	64		205	27.27	1219
2	PHA05	PF75BL02.AA	F75B	330.P020	COA PHOTO	725;	M1	M2	M1	64		205	27.27	1119
3	PHA05	PF75BL02.AA	F75B	340.P020	COP PHOTO	725;	M1	M2	M1	64		205	27.27	1119
4	PHA05	PF75BLAA.AA	F75B	380.P020	ML1 PHOTO	715;	M1	M2	M1	64		205	27.27	1219

圖 4.9 Run Time 計算驗證圖

從上述模擬結果可以確認，模擬系統產出結果都跟所設定的實際情境相符，所以系統的驗證是沒有問題的。

4.1.2 資料驗證(Verification)

- Inspection approach/Comparison testing

為了更進一步的確認該系統的正確性，以及實際可行性，因此，對該系統進行第二階段的資料驗證；本研究利用真實一個月的數據，去運作模擬系統，並收及生產 Move 術資訊與真實資訊去比較，如下圖 4.10。



圖 4.10 Move 數驗證圖

圖 4.10 是由半導體 12 吋廠的實際 2013 年 9 月歷史生產資訊倒入模擬系統中，並模擬運行一個月，產生結果之 MOVE 數；圖 4.10 的長條圖，分成兩個部分，一是真實與模擬預測的平均 Move 數長條圖，第二是數據的準確度(Accuracy rate)，計算公式如下。

$$\text{Accuracy Rate} = 1 - (100\% * | (\text{Forecast}-\text{Actual})/\text{Actual} |) \quad (7)$$

最終，驗證結果如圖所示，其模擬預測資料準確度高達 95%。更進一步證明，模擬系統的可行性以及準確度。

經過兩個階段的驗證，第一階段證實了本研究所發展知系統，不只是

高度的完成使用者之需求之模擬生產方式、表單紀錄方式，也通過第二階段的資料驗證，證實了該模擬系統的高度擬真度之正確性。

4.2 結果呈現

本研究開發之「半導體產能規劃與分析系統」，其主要目的在於產能規劃，經過了 4.1 的驗證後，可以確定該系統之實際準確性，有著一定的水準。因此，最後這個小結，將為本系統跑出來之產能規劃結果作呈現。

Record 表單實際蒐集生產時，進入機台時的所有資訊，也是本產能規劃與分析系統，所產生出資料最細微的表單；表 4.2 為 Record 表單於 Excel 對機台做篩選所產生出的表單，由於表單的數量十分龐大，在此僅以 5 月一號的資料作呈現，表中篩選了兩種機台，以 Tool1 和 Tool2 表示之，欄位 Track in Time 為批量進加工機台之時間點，而 Run Time 為該批貨於該站所經加工時間，並以此去對機台做排程，如圖 3.11；以機台一(Tool1)為例，於 5 月 1 日 5 點 22 分開始進行第一批晶圓的加工，到了 8 點 02 分時，第一批貨加工完畢，到 9 點 48 分前，機台一閒置了一個多小時，由於沒有新的貨進來，9 點 43 分下一批貨進來，並於 9 點 48 分開始加工，加工了 1 小時 9 分鐘，於 10 點 58 分出了機台一；以此類推，運用產能堆疊的方式去，去對機台產能做規劃。

表 4.2 Record 表格機台篩選

Lot_ID	QUEUE TIME	TRACKINTIME2	TRACKOUTTIME	ToolID	QTY	PROCESS_START	PROCESS_END	RUN TIME	Priority	Recipe	03:41
.Full_Mode	2015/5/1 05:17:32	2015/5/1 05:22:32	2015/5/1 08:02:51	TOO11	25	2015/5/1 07:04:57	2015/5/1 08:01:26	02:40:19	10	PJ45BBDF-PM2	
.Full_Mode	2015/5/1 09:43:27	2015/5/1 09:48:27	2015/5/1 10:58:01	TOO11	25	2015/5/1 10:00:08	2015/5/1 10:56:36	01:09:35	10	PJ45BBDF-PM2	
.Full_Mode	2015/5/1 11:50:55	2015/5/1 11:55:55	2015/5/1 12:57:54	TOO11	25	2015/5/1 11:58:15	2015/5/1 12:56:36	01:01:59	10	PJ45BPL3PL_I-PM3	
.Full_Mode	2015/5/1 13:05:54	2015/5/1 13:10:54	2015/5/1 14:13:05	TOO11	25	2015/5/1 13:13:12	2015/5/1 14:11:40	01:02:11	10	PJ45BPL3PL_IH-PM3	
.Full_Mode	2015/5/1 14:33:09	2015/5/1 14:38:09	2015/5/1 15:26:57	TOO11	25	2015/5/1 14:39:34	2015/5/1 15:25:49	00:48:48	10	PF75BST2-PM4	
.Full_Mode	2015/5/1 04:59:51	2015/5/1 05:04:51	2015/5/1 08:34:36	TOO12	25	2015/5/1 06:53:18	2015/5/1 08:33:50	03:29:45	10	PF75PL2FULL-PM23	
.Full_Mode	2015/5/1 07:57:05	2015/5/1 08:02:05	2015/5/1 09:36:51	TOO12	25	2015/5/1 08:33:50	2015/5/1 09:36:06	01:34:46	10	PF75BPL3-PM2	
.Full_Mode	2015/5/1 09:49:41	2015/5/1 09:54:41	2015/5/1 10:30:09	TOO12	25	2015/5/1 09:55:29	2015/5/1 10:29:21	00:35:28	10	PF75PL1-PM23	
.Full_Mode	2015/5/1 10:35:08	2015/5/1 10:40:08	2015/5/1 12:23:17	TOO12	25	2015/5/1 10:41:59	2015/5/1 12:22:31	01:43:09	10	PF75PL2FULL-PM23	

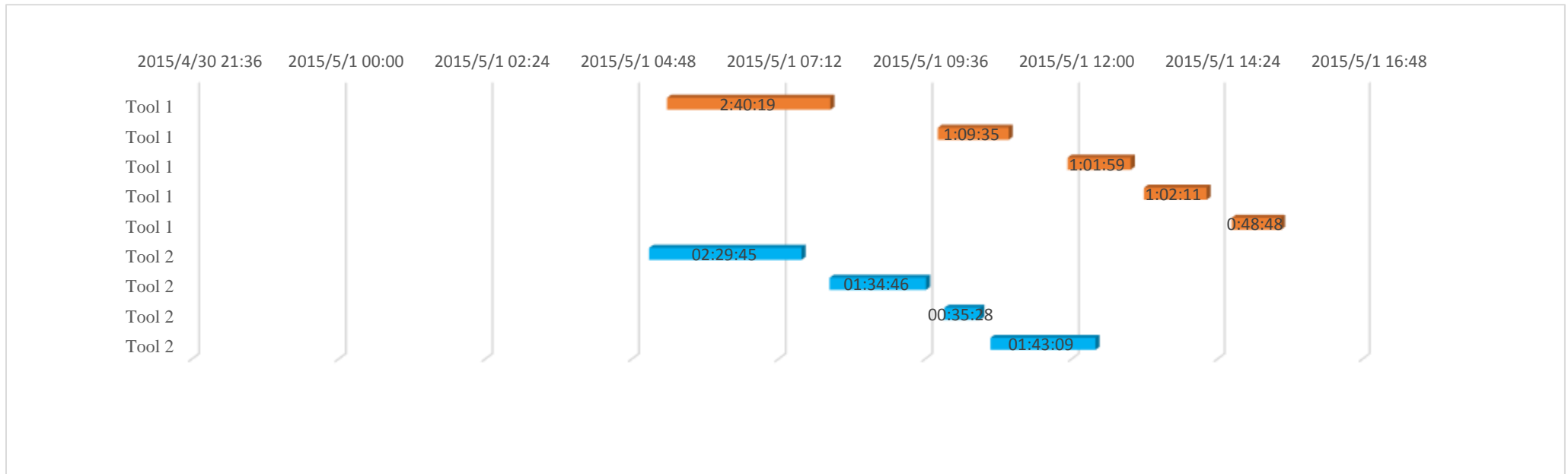


圖 4.11 Tool1、Tool2 排程甘特圖

第五章 結論與未來方向

5.1 結論

本研究考量了半導體複雜派工的法則和多種機台內部運作邏輯，提出一以 Plant Simulation 開發的「半導體產能規劃與分析模擬系統」；本研究運用 UML 系統分析設計開發系統，並提供系統能依使用者需求變換模擬模型與派工法則，藉由考慮了複雜派工與細部機台作動，蒐集機台細部生產資料，以分析變動因子對產能影響性，導入至半導體 12 吋晶圓廠，以實際生產歷史資訊與模擬預測結果進行比較驗證(Comparison test)，並以 95% 水準滿足驗證；最終，此「半導體產能規劃與分析模擬系統」，將可以做到以機台為單位的細部產能規劃，並且提供模型變動控制介面，使系統能夠運行多種不同模擬情境之實驗，並能依使用者需求產生表單模擬資訊，以供分析之使用。

5.2 未來研究方向

本研究以實際半導體之 12 吋晶圓廠為例，考慮半導體晶圓製造廠生產製程考量之特性、重要機台群組作動行為、派工法則、控制邏輯等，去建立一半導體產能規劃與分析模型，並以使用者訪談驗證和實際資料比較驗證此模型。系統提供了良好的實驗環境，供使用者做半導體動態因子與產能影響性之分析，但是，尚未運用此模型做動態因子之分析，因此，未來的研究方向，可以集中於半導體產能規劃分析模擬系統之運用，如何運用系統做相關實驗，去分析動態因子對產能之影響性，如，分析瓶頸機台或關鍵機台影響、機台當機波動性對產能之影響、添購新機台對產能之影響和派工法則對產能之影響等。

參考文獻

中文部分

1. 余業鑫 (2002)。以生產力為觀點的半導體晶圓廠產能規劃方法 (碩士論文)。國立清華大學，新竹市。
2. 林則孟 (2002)。系統模擬理論與應用。台北市：滄海書局。
3. 施敏 (2006)。半導體製程概論。新竹市：交大出版社。
4. 張景學、吳昌崙 (2003)。半導體製造技術。新北市：新文京開發出版股份。
5. 陳志偉 (2009)。以問題縮減與局部搜尋法處理半導體製造業的無關聯平行機台排程問題 (碩士論文)。成功大學，台南市。
6. 黃文志 (2007)。300mm dram 晶圓廠爐管，黃光，濕蝕刻區模擬實驗平台建構與派工機制研究 (碩士論文)。國立雲林科技大學，雲林縣。
7. 黃嘉常 (2007)。考量等候時間限制之半導體製造在製品分配及控制方法 (碩士論文)。國立清華大學，新竹市。
8. 賴俐君 (2006)。需求不確定下兩期產能設定決策之模擬分析 (碩士論文)。東吳大學，台北市。
9. 劉文超 (2006)。半導體製造技術。台北市：滄海書局。
10. 簡禎富、施義成、林振銘、陳瑞坤 (2005)。半導體製造技術與管理。新竹市：清華大學出版社。
11. 談明忠 (2014)。應用於半導體產能規劃之模擬系統設計與發展 (碩士論文)。東海大學，台中市。

英文部分

1. Arisha, A., & Young, P. (2004). *Intelligent simulation-based lot scheduling of photolithography toolsets in a wafer fabrication facility*. Paper presented at the Proceedings of the 36th conference on Winter simulation.
2. Aybar, M., Potti, K., & LeBaron, T. (2002). *Modeling methodology: using simulation to understand capacity constraints and improve efficiency on process tools*. Paper presented at the Proceedings of the 34th conference on Winter simulation: exploring new frontiers.
3. Bahaji, N., & Kuhl, M. (2008). A simulation study of new multi-objective composite dispatching rules, CONWIP, and push lot release in semiconductor fabrication. *International Journal of Production Research*, 46(14), 3801-3824.
4. Bally, L., Brittan, J., & Wagner, K. H. (1977). A prototype approach to information system design and development. *Information & Management*, 1(1), 21-26.
5. Barua, A., Raghavan, N., Upasani, A., & Uzsoy*, R. (2005). Implementing global factory schedules in the face of stochastic disruptions. *International Journal of Production*

- Research*, 43(4), 793-818.
6. Benington, H. D. (1987). *Production of large computer programs*. Paper presented at the ICSE.
 7. Booch, G., Rumbaugh, J., & Jacobson, I. (1999). *The unified modeling language user guide*, Elnet Software City, India:Pearson Education India,.
 8. Chen, T. (2012). Intelligent scheduling approaches for a wafer fabrication factory. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(3), 897-911.
 9. Chen, Y.-Y., Lin, J. T., & Chen, T.-L. (2011). A two-phase dynamic dispatching approach to semiconductor wafer testing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27(5), 889-901.
 10. Chiarella, C., Lo, C.-F., & Huang, M. X. (2012). *Modelling default correlations in a two-firm model with dynamic leverage ratios*, Paper presented at the QUANTITATIVE FINANCE RESEARCH CENTRE(QFRC), University of Technology, Sydney.
 11. Chou, Y.-C., & Hong, L.-H. (2000). A methodology for product mix planning in semiconductor foundry manufacturing. *Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on*, 13(3), 278-285.
 12. Connors, D. P., Feigin, G. E., & Yao, D. D. (1996). A queueing network model for semiconductor manufacturing. *Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on*, 9(3), 412-427.
 13. Gupta, A. K., & Sivakumar, A. I. (2002). *Simulation based multiobjective schedule optimization in semiconductor manufacturing*. Paper presented at the Simulation Conference, 2002. Proceedings of the Winter.
 14. Gupta, A. K., & Sivakumar, A. I. (2006). Job shop scheduling techniques in semiconductor manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 27(11-12), 1163-1169.
 15. Hung, M.-H., Wang, E., & Wang, I. (2002). *Using simulation and daily-demand method to analyze the capacity utilization for product-mix in semiconductor fabrication*. Paper presented at the Semiconductor Manufacturing Technology Workshop, 2002.
 16. Jacobson, I., Booch, G., Rumbaugh, J., Rumbaugh, J., & Booch, G. (1999). *The unified software development process* (Vol. 1), Indianapolis, U.S.: Addison-Wesley.
 17. Kabak, K. E., Heavey, C., & Kernan, B. (2012). *Single toolset modeling approaches in semiconductor manufacturing*. Paper presented at the Proceedings of the Winter Simulation Conference.
 18. Lee, Y., Jiang, Z., & Liu, H. (2009). Multiple-objective scheduling and real-time dispatching for the semiconductor manufacturing system. *Computers & Operations Research*, 36(3), 866-884.
 19. Lendermann, P., Gan, B., & Lee, L. (2014). *Simulation-based wip management versus scheduling for semiconductor manufacturing-a comparison*. Paper presented at the e-

Manufacturing and Design Collaboration Symposium (eMDC), 2014.

20. Liu, J., Yang, F., Wan, H., & Fowler, J. W. (2011). Capacity planning through queueing analysis and simulation-based statistical methods: a case study for semiconductor wafer fabs. *International Journal of Production Research*, 49(15), 4573-4591.
21. Mahfouz, A., Hassan, S. A., & Arisha, A. (2010). Practical simulation application: Evaluation of process control parameters in Twisted-Pair Cables manufacturing system. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(5), 471-482.
22. Martin, J. (1991). *Rapid application development*: Macmillan publishing company, London, England.
23. Royce, W. W. (1970). *Managing the development of large software systems*. Paper presented at the proceedings of IEEE WESCON.
24. Swaminathan, J. M. (2000). Tool capacity planning for semiconductor fabrication facilities under demand uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 120(3), 545-558.