

# 國立交通大學

管理科學系

博士論文

No.009

從互動觀點探討台灣半導體產業之發展



An Interaction-Based View to the Development of the  
Semiconductor Industry in Taiwan

研究生：陳建宏

指導教授：詹天賜 教授

中華民國九十三年六月

# 國立交通大學

管理科學系

博士論文

No.009

從互動觀點探討台灣半導體產業之發展

An Interaction-Based View to the Development of the  
Semiconductor Industry in Taiwan

研究生：陳建宏

研究指導委員會：李經遠 教授

王耀德 教授

詹天賜 教授

指導教授：詹天賜 教授

中華民國九十三年六月

從互動觀點探討台灣半導體產業之發展

An Interaction-Based View to the Development of the  
Semiconductor Industry in Taiwan

研究生：陳建宏

Student : Jian-Hung Chen

指導教授：詹天賜

Advisor : Tain-Sue Jan

國立交通大學



A Dissertation

Submitted to Department of Management Science

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Doctor of Philosophy

in

Management

June 2004

Hsin-Chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十三年六月

# 從互動觀點探討台灣半導體產業之發展

研究生：陳建宏

指導教授：詹天賜 博士

國立交通大學管理科學系博士班

## 摘 要

半導體產業的發展與環境互動息息相關，開發中國家要發展半導體產業，會面臨更多的限制與更複雜的環境互動。產業的發展過程從環境的互動與變遷的角度來觀察，能得到更佳的了解。本研究嘗試以複雜度與產業學習的觀念，提出一個產業發展的概念性架構來釐清台灣半導體產業的發展歷程；此外也運用系統動態學來建構台灣半導體產業的發展模式，作為政策分析的工具。本研究的結果顯示台灣半導體產業的發展是一個透過持續建立產業廠商與更大環境中重要資源的連結，而提升產業複雜度的過程，其主要的互動對象由政府延伸到國內社經環境，再進一步擴張到國際產業網絡。最後，本文並討論本研究成果的意涵。

關鍵詞：半導體產業、產業發展、複雜度、產業學習、開發中國家、系統動態學。

# An Interaction-Based View to the Development of the Semiconductor industry in Taiwan

Student : Jian Hung Chen

Advisor(Advisors) : Dr. Tain Sue Jan

Department of Management Science  
National Chiao Tung University

## ABSTRACT

The development of the semiconductor industry depends on its interactions with the environment. Developing countries face more constraints, and the environmental interactions seem more complicated. The development process of the semiconductor industry could be better understood with regard to the environment interactions and social changes. This study proposes a variety-increasing viewpoint based on the concepts of variety increasing and internal learning to analyze the development experience of the semiconductor industry in Taiwan. This study also established a system dynamics model to facilitate the policy analysis process for the industry development. The results of this study reveal that the development of semiconductor industry in Taiwan is a continuous variety increasing process, which is achieved by searching and establishing successful associations in an increasingly wider and complex environment. Implications of this study are also discussed.

Keywords: Semiconductor industry, development, variety, internal learning, developing countries, system dynamics.

## 誌 謝

匆匆畢業，不暇細思，草率寫就的論文如此塘塞充數。回首過去四年荒蕪無成，胸無點墨，滿心汗顏羞赧，有辱師門，有負諸位師長教誨斧正；如今卻要襲受博士學位，學既不博，無德為士，這個學位得著實在是心虛得緊。

一無所成，無以為謝，終就還是要感恩諸位師長不棄朽木，勉為雕琢；雖然自己根頓器小不堪造就，總還是在大觀園中轉了一圈，瞻仰了諸位師長的高風德範。感謝恩師 詹天賜教授啟我知見，示我以德。感謝陳英亮老師、朱博湧老師、王耀德老師慈愛關懷，費心提攜。感謝諸位指導委員與師長們的建議與指教。感謝師門學長秋貴、志同、宜仁、幸雄、福隆等提供協助與鼓勵，也感謝在過程中共同討論、彼此支持同學與親友，因為有你們的陪伴，讓我的這段歲月更具有內涵與意義。最後要感謝我的雙親，他們在我成長的過程中提供了最好的身教，若我此生能對世間有任何點滴的貢獻，要算是他們的功勞。

得之於人者如須彌，出之於己者如介子，只能期許自己在未來的時空，於進德修業道上戮力以赴，但求不辱所出、不負所學，若能企及諸親師長之萬一，實屬萬幸。

# 目 錄

摘 要 .....	iv
ABSTRACT .....	v
誌 謝 .....	vi
目 錄 .....	vii
表 目 錄 .....	ix
圖 目 錄 .....	ix
符 號 說 明 .....	x
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究動機與背景 .....	1
1.2 研究目的 .....	4
1.3 研究流程 .....	5
1.4 研究方法 .....	6
1.5 論文架構 .....	7
第二章 文獻回顧 .....	8
2.1 新興工業化國家產業發展相關文獻 .....	8
2.1.1 產業網絡理論 .....	8
2.1.2 比較利益與暫時性優勢 .....	9
2.1.3 產業發展與技術學習 .....	10
2.2 相關系統文獻 .....	11
2.3 系統動態學 ( System Dynamics ) .....	13
第三章 產業發展理論架構 .....	18
3.1 產業系統的Variety觀念 .....	19
3.2 產業系統的內部學習過程 .....	21
第四章 台灣半導體產業之發展階段 .....	23
4.1 發展階段 (一) : 1960s-1970s .....	23
4.2 發展階段 (二) : 1980s .....	26
4.3 發展階段 (三) : 1990s .....	29
4.4 台灣半導體產業variety的連續提升過程 .....	33
第五章 台灣半導體產業系統動態學模式 .....	35
5.1 半導體產業一般特性 .....	35
5.2 新興工業化國家發展半導體產業的特性 .....	37
5.3 台灣半導體產業發展質性模式 .....	38
5.3.1 政府與業者的互動環路 : .....	38
5.3.2 人力資源的累積 .....	40
5.3.3 資本與產能的累積 .....	43

5.4	量化模式說明 .....	46
5.4.1	動態流程圖 .....	46
5.4.2	模式重要變數量化說明 .....	47
5.5	模擬結果與討論 .....	51
5.5.1	模擬結果 .....	52
5.5.2	台灣半導體產業的發展階段 .....	54
第六章	情境模擬 .....	55
6.1	成長極限 .....	55
6.2	人力資源流失 .....	57
第七章	討論 .....	59
7.1	台灣半導體產業未來的發展態勢 .....	59
7.1.1	面對的新挑戰 .....	59
7.1.2	需要新的內部協調機制 .....	59
7.2	其他新興工業化國家的半導體產業發展 .....	60
第八章	結論與建議 .....	62
8.1	總結 .....	62
8.2	研究限制與未來研究建議 .....	63
參 考 文 獻	.....	64
附錄一	主要公司名稱對照表 .....	70
附錄二	Model Equations from Vensim .....	71







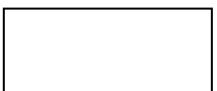

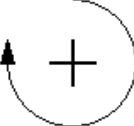

## 表 目 錄

表格 1 台灣半導體產業之發展階段.....	23
表格 2 由工研院移轉成立之半導體公司.....	39

## 圖 目 錄

圖 1 延遲函數示意圖與各階延遲函數的延遲反應 .....	16
圖 2 依據 VARIETY 觀點提出之產業發展模式.....	18
圖 3 台灣半導體產業的內部學習程序.....	21
圖 4 發展階段 (一) 的學習過程.....	24
圖 5 發展階段 (二) 的學習過程.....	27
圖 6 發展階段 (三) 的學習過程.....	31
圖 7 台灣半導體產業 VARIETY 的連續提升過程.....	34
圖 8 政府與業者之互動環路.....	40
圖 9 美國之台灣留學生人數與排名.....	41
圖 10 台灣半導體產業人力資源累積環路.....	43
圖 11 台灣歷年國民所得與外匯存底.....	44
圖 12 產能資金互動環路.....	46
圖 13 台灣半導體發展模式動態流程圖.....	47
圖 14 累積人力資源與 R&D 能力之關係.....	48
圖 15 工程師人數與良率之關係.....	50
圖 16 產業獲利能力與超額報酬之關係.....	51
圖 17 模擬結果-產值比較 .....	52
圖 18 模擬結果-技術發展比較 .....	53
圖 19 人力供給限制模擬結果.....	56
圖 20 市場極限模擬結果.....	57
圖 21 人力資源流失模擬結果.....	58

## 符號說明

	同向關係
	反向關係
	積量變數
	率量變數
	正性環路
	負性環路

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機與背景

半導體產業的發展是一個複雜的動態過程，與發展環境中所累積的資金、產能、技術、人力等等各種發展資源息息相關。對一個開發中國家要切入半導體產業的發展，會面臨許多發展資源上的困境與限制 [1]。因為其在產業發展過程面臨較多的限制，政府、公立研發機構、國際領導廠商等等對產業發展的影響力也較大 [2]。

不同後進者追趕先進國家的發展策略，會因為各自環境條件的不同，而有不同的切入方式。綜觀各開發中國家發展半導體產業的歷程，東亞的韓國、新加坡、與台灣是其中較為成功的例子 [3]。這些國家各自有不同的產業結構與環境，也因此採取了不同的發展策略，並得到互異的發展結果。例如，韓國的企業以大財團為主力，這些財團本身就有能力取得或進行半導體製造技術的發展，因此政府與產業的互動方式為廠商決定發展方向與步調，政府協助企業取得銀行團的融資。對於新加坡與台灣而言，本土廠商的能力與規模遠低於韓國的財團，因此其政府採取了不同的發展策略。新加坡政府依賴吸引國外直接投資(Foreign Direct Investment)來建立當地的半導體產業基礎，而台灣則是透過公立研發機構來扶植國內廠商的技術能力。這些國家採取了不同的策略，最後也導致了互異的發展結果。韓國的財團一開始就決定往動態隨機存取記憶體(Dynamic Random Access Memory, DRAM)發展；台灣則演化出垂直分工的產業體系；新加坡在政府的主導下吸引了一些國際大廠合資成立晶圓代工與封裝測試公司。這些發展模式上的差異，與各個國家中產業與環境因素的互動方式有很大的關係。

學術上有一些對新興工業化國家產業發展模式的探討，可以概略分為產業網絡(Industry Networks)、比較利益與創造暫時性優勢、以及產業技術學習三大類。產業網絡理論主張，新興工業化國家產業發展的主要動力，來自於先進國家；如同雁行理論所描述的，產業的價值鏈隨著產品生命週期的遷移，逐漸由先進國家移轉至其他後進者 [4-7]。另外有經濟學家認為後進者乃是藉由其比較利益或是創造暫時性優勢來爭取發展的機會；這部分的學者認為後進國家藉著成本上的比較優勢、政府政策的補貼

與支持、以及將資源集中在特定領域來吸引國外投資與加速產業發展的腳步 [8-9]。雖然從產業網絡或是比較利益的角度可以描述這些新興工業化國家早期在半導體產業上的發展現象，但是這些說法並無法充分解釋這些國家在發展途徑與發展成果以及區域發展之間的差異性 [10]，也不能說明這些國家近期在發展半導體產業的趕上 ( catching up ) 甚至蛙跳式 (leapfrog) 的超越過程 [11]。

第三部分產業技術學習角度的研究，則著重藉由探討後進國家對於科技的引入與擴散的方式，來了解產業發展過程。此部分的研究，主要透過產業發展階段論( Stage approach)、產業學習模式(Learning process)、與重要資源或影響角色等角度，來探討新興工業化國家的產業發展歷程與相關策略。Mathews and Cho [3] 提出了產業發展的四階段論 ( Preparation - Seeding - Technology absorption and Propagation - Sustainability)，來解釋東亞各新興工業化國家半導體產業的發展歷程，並且提出了以公立研發機構為核心的產業技術發展模式 ( Expanding Corn of Capability Enhancement )。Kim [12] 以韓國半導體產業的發展經驗為背景提出了後進者的學習過程，從模仿層次到創新層次，不斷透過 acquire-assimilate-improve 三階段的學習過程來提升能力，並找出產業發展過程中重要的影響因素。Koh [13] 則從組織學習的角度，利用 Marguardt [14] 的 Organization learning model 來分析東亞廠商的學習過程。Chang and Tsai 將台灣半導體的發展歷程分為五階段，並說明不同階段政府與廠商的行為與策略以及產業聯盟的影響 [15]。此外也有許多不同的學者討論政府、公立研發機構、產業組織、以及其他相關環境因素，對台灣以及各後進國家，在半導體產業發展歷程中的影響 [16-22]。雖然這些對於發展階段與學習模式的理論，還有對於產業發展重要影響角色的研究，提供了許多關於產業發展中的重要知識與論述，也描述了政府等各個機構的角色在不同階段採取的策略；然而這些研究並沒有提供適當的概念架構，來釐清產業系統與其所處社會經濟環境之間的互動方式，與提供一個更具整體觀的理路來貫穿不同發展階段之間，環境互動的轉化過程。在實際處理各個產業發展因素之間的細部互動關係時，也欠缺適當的方法論，來建立更具可操作性的政策分析工具。

從台灣本身的半導體產業發展經驗來看 [23-24]，台灣從 1960 年代開始其工業化的過程，政府透過設立加工出口區來吸引國外投資，建立初步的電子加工產業的基礎。在 1970 年代以後透過工業技術研究院 (Industrial Technology Research Institute, 工研院) 執行積體電路工業發展計畫


( Electronics Industry Development Project )：從著名的 RCA 技術移轉案開始，從美國引進半導體製造技術，並逐步透過衍生公司以及技術移轉的方式擴散到民間企業。在政府與產業的互動下，奠定了台灣半導體產業的初步發展基礎。產業的廠商在接下來的發展中，逐漸吸引國內乃至於國外的各種資金、人力、技術、與市場等資源，逐步成長與擴張。直到西元 2000 年時，積體電路( Integrated Circuits, IC) 製造業產值在超過 21 億美金，擁有世界最大的晶圓代工業，第二大的 IC 設計業與封裝測試業，第四大的 DRAM 製造業 [25]。在短短的 25 年內，台灣由毫無基礎,缺乏資源的情況，發展成世界第四大半導體製造國家，擁有完整與高效率的半導體產業供應練體系。產業的發展在不同的階段與不同的環境因素互動，隨著產業狀態的進步，不斷擴展其互動範圍，彷彿隨著產業系統的成長不斷重新定義新的系統邊界。

事實上，半導體產業的發展是一個十分複雜的動態過程，需要累積人力資源,資金,產能,技術等等眾多資源；並且會與相關產業，政府政策，以及國家經濟發展狀態等因素之間彼此互動影響。在這個成功經驗的背後，隱含著多年來支持產業發展的結構與環境條件，需要從環境互動的層面來理解這個複雜的發展過程。本研究認為一個國家半導體產業發展策略，與其產業狀態與面對的產業發展環境息息相關；同樣的策略在不同的環境條件中會有不同的效果。對於這些複雜的發展現象，需要一個更具整體觀的觀點與適當的方法論，來探索在這個成功經驗背後的複雜結構，以及探討產業發展過程中，各個角色之間的互動關係。

## 1.2 研究目的

本研究擬就過去台灣半導體產業的發展經驗與時空環境背景，從互動的觀點來探討此成功經驗背後所隱含的結構與成因，並思考未來可能發生的環境衝擊的影響。因此，本研究主要有下列四項目的：

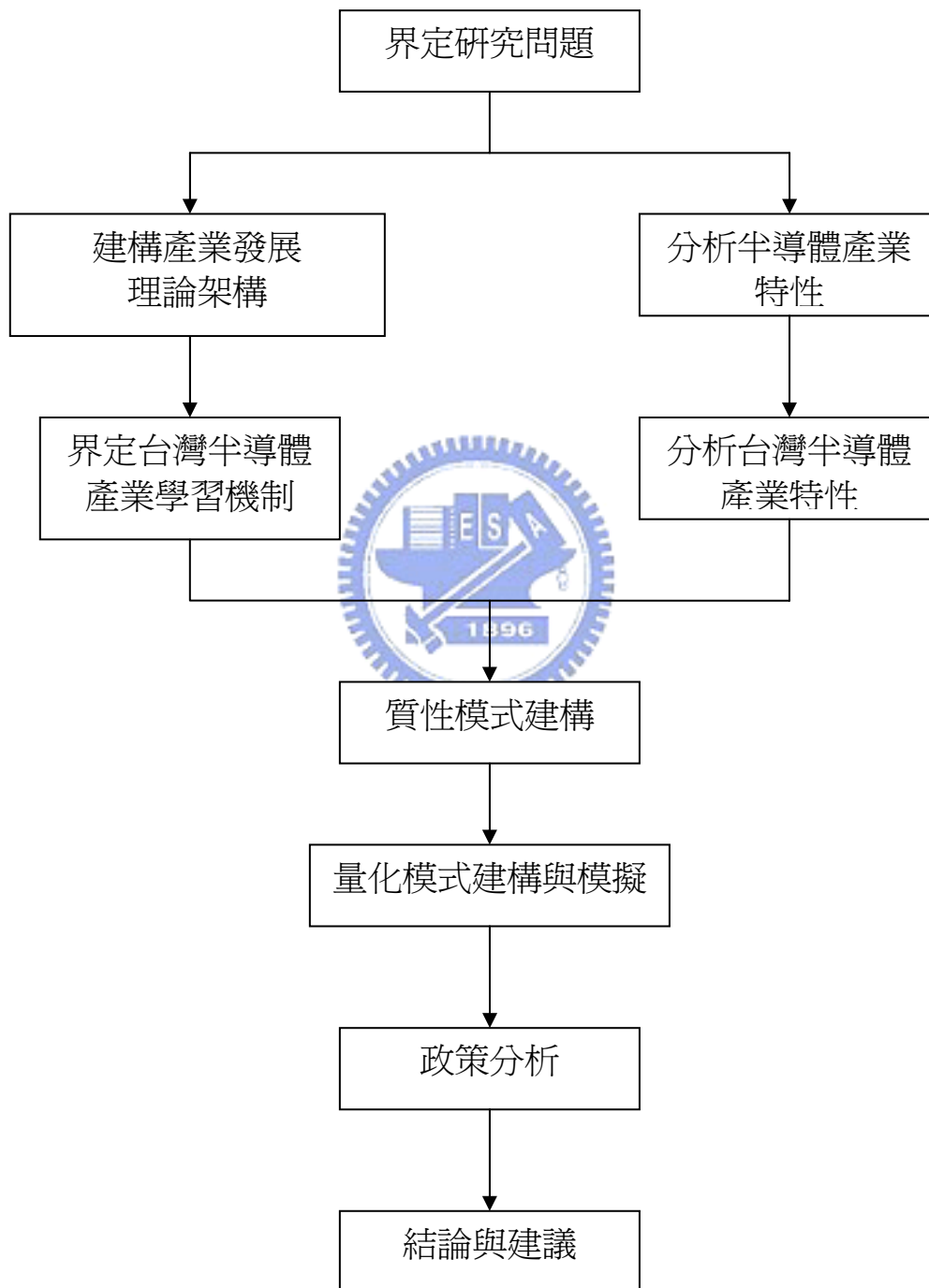
1. 建構適當的概念架構，來闡釋產業與環境之間互動的本質。
2. 透過建構之概念架構，來分析台灣半導體產業的發展歷程。
3. 建構台灣半導體產業的發展模式，以作為政策模擬與分析的基礎。
4. 透過情境模擬，對台灣半導體產業未來可能發生的環境衝擊，進行測試與評估。



藉由建立以互動觀點為基礎的產業發展架構，來增進對產業發展與環境互動本質的了解；以互動觀點來觀察台灣半導體產業過去的發展經驗，探索台灣的半導體產業系統發展與成長的機制。最後再利用具備可操作性的方法論，描述台灣半導體產業的結構與關係，建構模式作為政策分析的輔助工具，並進行模擬。期待藉由產業發展概念與系統動態模式的建立，增進對產業發展本質的了解。

### 1.3 研究流程


根據研究目的，本論文之研究流程如下：



## 1.4 研究方法

新興工業化國家半導體產業發展是一個複雜且動態的問題。其中包含了眾多產業廠商與環境角色的相互關係，在不同階段有不同的角色，以不同的方式互動，而呈現出互異的發展行為。要了解此種複雜現象，需要適當的觀念架構，來理解產業系統與環境之間的互動；在政策分析方面，也需要適當的方法論，來處理產業系統與其環境中眾多角色之間，細部交連複雜的關係。

本研究基於系統思考中開放式系統 (Open systems) [26]、複雜度 (Variety) [27-28]、以及生命系統 [29] 中包含的 Associator 與 Memory 之兩階段學習概念，提出一概念性架構來說明產業系統的發展與環境的互動；在政策分析的操作面部分，則以系統動態學建立產業發展模式，作為訂定產業發展政策的基礎。



在了解產業發展本質的理論架構部分，產業系統的發展與行為會受到環境的影響，屬於一種開放式系統；而其環境互動會受到產業本身發展狀態，與其本身擁有的或是可取得的資源有關。本研究在開放性系統 (Open Systems) 的架構下，基於系統模控學 (Cybernetics) 的 Requisite Variety，以及系統思考中的 Variety Increase 的觀念，提出一理論架構，來釐清產業系統與環境之間的互動機制。而產業的發展過程，則以生命系統 (Living systems theory) 中的兩階段學習，來分析台灣的半導體產業系統在不同階段的學習與發展過程 [30]。在產業發展政策與決策模擬部分，本研究利用系統動態學，建構台灣半導體產業的發展模式，以作為未來可能情境與政策模擬的基礎 [31]。



## 1.5 論文架構

本研究嘗試以系統觀點提出產業發展的理論架構，來理解台灣半導體產業的發展歷程，並利用系統動態學建構台灣半導體產業的發展模式，釐清隱藏在發展歷程背後的結構，並針對未來的可能情境進行模擬。本論文的章節編排如下：

第一章緒論，包括研究動機、研究方法、研究流程與論文架構。

第二章文獻回顧，說明產業發展理論的研究現況、本研究相關的系統文獻、與系統動態學的介绍。

第三章說明本研究提出之產業發展理論架構，從複雜度與內部學習的觀點來理解產業成長的過程。

第四章依照本研究提出之理論架構，來分析過去台灣半導體產業的發展經驗；並討論不同階段中，產業複雜度與環境互動的變化。

第五章為系統動態學模式的建構過程，包含質性模式的探討、量化模式的建構、還有模擬結果與討論。

第六章為情境模擬，針對台灣半導體產業未來可能的情況設定模式參數，並進行模擬與討論。

第七章以本研究成果之觀點，討論台灣未來的發展，以及其他新興工業化國家半導體產業發展的經驗。

第八章為結論與未來研究建議。

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 新興工業化國家產業發展相關文獻

學術上有一些對新興工業化國家產業發展模式的探討，可以概略分為產業網絡 ( Industry Networks )、比較利益 ( Comparative advantages )與創造暫時性優勢 ( Transient advantages )、以及產業技術學習 ( Technology learning and enhancement ) 三大類。

#### 2.1.1 產業網絡理論

主張產業網絡理論的學者認為，新興工業化國家產業發展的主要動力，來自於先進國家，產業的價值鏈隨著產品生命週期的遷移，逐漸由先進國家移轉至其他後進者。例如：

Hatch and Yamamura [4] 主張東南亞國家在發展高科技產業上的成就，主要的動力來自於日本的技術輸出。日本的跨國企業企圖將其國內的生產網路，延伸到東南亞國家來降低成本；來自日本的跨國投資，為這些被投資國家帶入技術與資金，因而帶動了當地科技產業發展。

Gereffi [7] 則認為美國的科技製造業，在其標準化商品的成本降低過程中，逐步將世界上其他的後進國家納入其全球分工的生產體系，因而帶動了這些國家的科技產業發展。

Borras and Zysman [5] 認為科技產業的競爭由傳統單一公司的整合模式，在最終產品的市場競爭，移轉到價值鏈各階段中的競爭。作者並創造了 Wintel 這個名詞，代表 PC 產業中的競爭態勢，由早期 IBM 主導的態

勢，轉變成遍及在電腦零組件、電腦周邊、組裝、與作業系統等層面的競爭，進而帶動了科技產業生產體系的國際化分工。

Kojima [6] 回顧了 Kaname Akamatsu 在 1935 年提出的雁行理論 (flying geese model) 與相關的後續研究，並且討論了此理論對於解釋東亞產業發展之區域遷移現象的意涵。

雖然從產業網絡與雁行理論，可以描述這些新興工業化國家早期的工業化發展過程，但是也有其他學者對此類說法提出批評，例如：

Bernard and Ravenhill [10] 認為雁行理論不足以解釋亞洲國家工業化過程中，區域間發展的複雜現象。這些國家的經濟發展，牽涉其間複雜的政治經濟環境與國際產業互動；除了日本之外，美國與區域內其他國家之間的互動，也扮演不可抹滅的角色。

Hobday [11] 認為雖然雁行理論描述了日本對四小龍與其他亞洲新興國家工業化過程的影響，但是此理論並不能解釋這些後進者之間發展的差異性。



### 2.1.2 比較利益與暫時性優勢

有部分學者認為後進國家乃是藉由其比較利益或是將資源集中在特定領域，創造暫時性優勢來爭取發展的機會，例如：

Krugman [8] 以蘇聯過去經濟快速成長，但是後來卻停滯的經驗，認為亞洲經濟的快速成長只是暫時性現象，其原因為藉由比較利益與創造暫時性優勢來吸引外部投資流入，使得大量資源投入在特定領域的經濟發展所造成；當資源的投入不再成長，經濟發展將無法維持高速成長。

Young [9] 從統計資料中發現，一些東亞的新興工業化國家經濟產出高速成長的現象，並不是經濟發展上的特例。從整體投入的角度來衡量，這些國家的經濟成長，特別是在製造業上的快速發展，乃是導因於特定資源的累積，以及區域間資源的移轉所造成。

### 2.1.3 產業發展與技術學習

此部分的研究，著重於探討後進國家對於科技的引入與擴散的方式，以了解產業發展的過程。例如：

Mathews and Cho [3] 提出了產業發展的四階段論 (Preparation - Seeding - Technology absorption and Propagation - Sustainability)，來解釋東亞各新興工業化國家半導體產業的發展歷程，並且提出了以公立研發機構為核心的產業技術發展模式 (Expanding Corn of Capability Enhancement)。作者以此架構探討了包含韓國、台灣、新加坡、馬來西亞、與中國大陸的半導體產業發展個案。

Kim [12] 在公共政策與社會文化環境的背景下，探討韓國產業發展之技術學習的動態過程，並討論了韓國的半導體、消費性電子、與汽車產業的發展經驗。作者提出了後進者的學習過程，從模仿層次到創新層次，不斷透過 acquire-assimilate-improve 三階段的學習過程來提升能力，並找出產業發展過程中重要的影響因素。

Koh [13] 則從組織學習的角度，利用 Marguardt 的 Organization learning model，從廠商的層級分析東亞後進國家的科技廠商，過去三十年來的學習過程。Marguardt 的 Organization learning model 包含了 learning, organization, people, knowledge, 與 technology 五個子系統，這五個子系統以 learning 為核心彼此串接影響。作者以此架構探討了廠商的學習方式，並討論了未來發展環境中必須面對的挑戰。

## 2.2 相關系統文獻

底下介紹本研究相關領域之重要系統學者，其重要之觀念或著作。再簡單描述本研究之產業發展概念架構，所使用到之系統觀念的內容與意義。

William Ross Ashby 是 Cybernetics 領域重要的學者，他在其代表著作 “An introduction to cybernetics” [27] 中整理了幾個重要的觀念，例如 stability, black box, requisite variety, feedback regulation 等等，並提出 only variety can destroy variety 的觀念。如 Ashby 重視之 self-organizing systems 觀念所陳述的，他認為系統可以透過內部結構的調整來調適環境變化的衝擊。

J.G. Miller 是 Living systems theory 的重要創始學者，他在各層級生物的生命現象中，提出一般生命系統的架構，包含 cells, organ, organism, group, organization, community, society, 與 supranational system 八個層級的系統，並從中提出 20 個共通的關鍵子系統，包含: Reproducer, Boundary, Ingestor, Distributor, Converter, Producer, Matter-energy storage, Extruder, Motor, Supervisor, Input transducer, Internal transducer, Channel and net, Timer, Decoder, Associator, Memory, Decider, Encoder, 與 Output transducer。其中在學習方面，Miller 提出了以 associator 與 memory 兩個子系統來達成的兩階段學習方式。

C. W. Churchman 是重要的系統學者，也是系統方法 ( Systems approach ) [26] 與 Operations Research / Management Science (OR/MS) 學域的肇始學者之一。Churchman 提倡系統思考 ( Systems thinking )，藉由反思 ( Critical Reflection ) 探索社會現象的本質。其主要的系統著作包含: ”The systems approach”、”The design of inquiring system”、”The systems approach and its enemies” 等等。

Russell L. Ackoff 是重要的系統學者，與 Churchman 一樣，Ackoff 也是 Operations Research / Management Science 學域的肇始學者，後來跨入系統領域，主張人類社會面對的問題是一群彼此互相交連的問題，傳統 OR 將社會系統視為無目的，而可以解析分割處理的思維典範，無法處理這種複雜關係。Ackoff 的著作與發表之文章甚多，其重要的系統著作包含：“On purposeful systems”，”Redesigning the future: a systems approach to social problems” 等等。

Stafford Beer 是重要的系統學者，其著名的 Viable System Model，從人類生理與大腦的資訊傳輸與決策過程，整理出其間各個子系統，以及五個層級系統的決策模式。Beer 的發表與著作甚多，主要的著作包含：“Brain of the firm”，“The heart of enterprise”，“Designing freedom”，“Beyond dispute: the invention of team syntegrity” 等等。

本研究基於 open systems, variety, 以及 two stage learning process 的觀念來建構產業發展的概念架構。下面簡單描述此三個觀念的主要內容與涵義：



## Open Systems

系統可以概分為開放式系統與封閉式系統 [32]。一個開放式系統必然存在於更大的環境之中，而且在其系統邊界與外部環境之間會有物質、能量、或是資訊的流動。對於開放式系統而言，會影響系統行為，卻不受系統控制者，稱之為其環境因素；環境會影響與限制系統的表現，但也提供系統發展的機會 [26]。

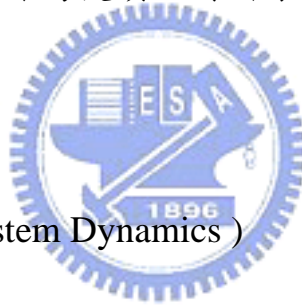
## Variety

開放系統與環境的互動，可以透過相對複雜度的觀念來理解。Ashby 著名的 law of requisite variety [27] 主張一個系統本身具備的複雜度要大於或等於環境的複雜度，才有足夠的能力來應付環境的變化，維持系統本

身的穩定。Beer 認為複雜度可以用系統或環境所具有的可能狀態的數量來表達 [28]；一個複雜度越高的系統，就越有能力應付環境的動盪，進而在更複雜的環境中存活。

## Learning process

Miller [29] 在生命系統理論中提出了一個透過 Associator 與 Memory 來達成的兩階段學習過程。Miller 將生命系統的學習過程分為兩階段：系統在面臨新的環境挑戰時，第一階段先進入一個 positive loop，系統透過增加內部元件之間相互聯結方式的多樣性，在內部嘗試各種可能的連結方式，最後搜尋出最適合在現有環境下生存的組合。繼而進入一個 negative loop，透過 Associator 協調各個元件之間的活動，將各種組合收斂到最適合的方式。第二階段的學習則由 Memory 將這些成功與失敗的嘗試經驗，儲存在系統的記憶中，作為後續面對新環境挑戰時的基礎。



## 2.3 系統動態學 (System Dynamics)

系統動態學是 Forrester [33] 等人在 1950 年代於 MIT 所發展出來的方法論，經常被用來研究組織或企業等系統的動態行為特性。此方法論已經廣泛被應用在產業研究上，對於尋找組織或產業發展背後的結構，還有在協助制定政策等方面，都有良好的成果 [34-41]。

系統動態學的基礎在於資訊回饋理論、決策理論、以及系統設計等觀念，認為系統結構是影響系統行為的主要原因，並以流 (flow) 的觀念 (如人力流、資金流、機器流、訂單流、資訊流等) 來整合系統的運作。系統動態模式的建立方式為：針對組織內部情報回饋過程作分析，依照其互動關係建立因果迴路模式，最後藉模擬的方式來顯示系統的動態行為，並可以測試不同的政策與延遲等效應，如何交互影響系統的行為。

系統動態學的目標在透過系統結構來呈現整個系統動態行為的特性，並從結構中尋找政策介入點，而達到輔助決策的功能；而不是單純預測某一特殊事件的發生，或是推測某一特定數值的大小。產業發展是一個複雜而動態的過程，透過對產業系統結構的探討，有助於發掘更多關於系統運作的內涵，進而尋找更佳的政策槓桿點。對於產業系統複雜的長期發展現象，可以從整體的觀點，應用系統動態學來探索其背後的系統結構。探索產業系統的發展結構，除了能增加對過去成功經驗的了解之外，在處理目前產業發展面臨的挑戰時，也能增進對於政策介入點的信心。

下面就系統動態學運用到的重要學理作說明：[42]

系統設計的概念：

在系統設計的程序上，首先要確立系統之目的、確認系統的範圍與面對的限制，並從功能的角度來界定系統的組成份子與其間的關係。接下來依照系統運作的程序來了解內部控制的基礎，也就是釐清各組成分子之間，交互影響系統暫態與穩態變化的機制，再根據此機制建立系統模式。系統設計是為系統確立其長期性目標與理念基礎，並可作為短期行動之參考架構。

情報回饋控制理論：

一個情報回饋系統會因應其環境的變化而改變其決策，使系統產生新行動，從而改變系統與環境的關係，再進而影響未來的決策。這種從取得資訊→決策→行動→資訊回饋的機制形成迴路，行動結果經過情報回饋後再影響下一次的決策。由於在情報傳遞的過程中會有放大與縮小（Amplification）的特性，其構成的迴路也就會有正性加強迴路與負性減弱迴路的分別；一般而言負性回饋環路具有穩定系統的力量，正性回饋環路具有使系統呈現成長、惡化、或不穩定的力量。此外情報的傳遞還會有時間延遲（Delay）以及干擾（Noise）等特性，對於環路的行為有很大的影響。資訊回饋控制系統的目的即是透過系統結構，使用資訊的傳遞達到控制的目的。




## 決策理論：

決策理論 ( Decision theory ) 認為決策並不全然是自由意志的結果，其深受環境的影響，而且決策的過程牽涉到政策 ( Policy ) 與決策 ( Decision ) 之間的互動關係。政策是組織為達到目標而用以控制活動的原則、規則或是有關的說明；決策則是根據政策明定的原則，參酌環境的狀況而產生行動的決定。因為政策可以駕馭決策，而決策又產生行動；管理者可根據系統之目的，制定導引政策 ( Guiding policy ) 作為決策的依據，進而掌控系統的行為。

接下來說明系統動態學中幾個重要的議題

### 心智資料庫 ( Mental data )



人類的心智在處理各種事務時，會在心中建構模式與操作，尤其在處理言詞，或是與理念有關的模式時，心智活動更為專擅。隨著時間的累積，人類的心智模式會在人的腦中留下大量的資料，也就是經驗。Forrester 把存在於管理者心中的心智資料庫內容分為三類：第一類是有關政策及結構的充足資訊，即為管理者對系統目的以及系統結構之認知；第二類是有關系統行為的預期資訊，因為人類的心靈對模擬之能力不足，這部分的資訊往往較不可靠；第三類是有關過去對真實系統的經驗。在建構模式時經常要取用管理者在日常工作中累積於心智中的資料與資訊，來建立系統的結構關係，或是藉以檢驗已建立模式的效度。

### 非線性關係的處理

真實系統中各因子之間的關係很複雜，通常都是非線性的；系統動態學常常利用 Table Function 來表達這些關係，經由 Table Function 可以讓模式建構者表達任意兩個因素之間的對應關係。原則上，只要對系統行為有重要影響的因素都應該在動態模式中加以處理，所以在面對不容易客觀衡量的關係時，往往會大量引用心智資料庫的知識，再利用 Table Function

來表達其間的關係。系統動態學經常用這種方式來處理一些很重要，卻難以客觀衡量的變數關係；這是系統動態學有力之處，也是常常會引致批評的地方。

### 時間延遲的處理

在現實的系統中，不論是金錢、物質、人員、資訊等的傳遞與流動都會有時間的延遲。對於延遲的特性有兩點要注意，一個是平均延遲時間的長短，一個是延遲暫態反映 (Transient Response) 狀況。系統動態學採用指數性滯延來處理延遲函數，其理由為容易操作以及相當符合真實狀況。為求延遲的暫態反映符合真實狀況，必須選擇適當階數的滯延函數，最常用的有一階、三階與無限階三種處理方式。就概念上而言，三階滯延函數就是由三個串聯的一階滯延組成，而高階的滯延函數就是由多個一階滯延所串接而成。

若以一個單一的 100 單位脈衝測試一階、三階與無限階滯延函數，平均延遲為 10 單位時間，可以見到如圖 1 [54] 所示的輸出表現，為了繪圖方便，一階與三階的累積輸出 (Accumulate) 為除以 10 以後的數字。

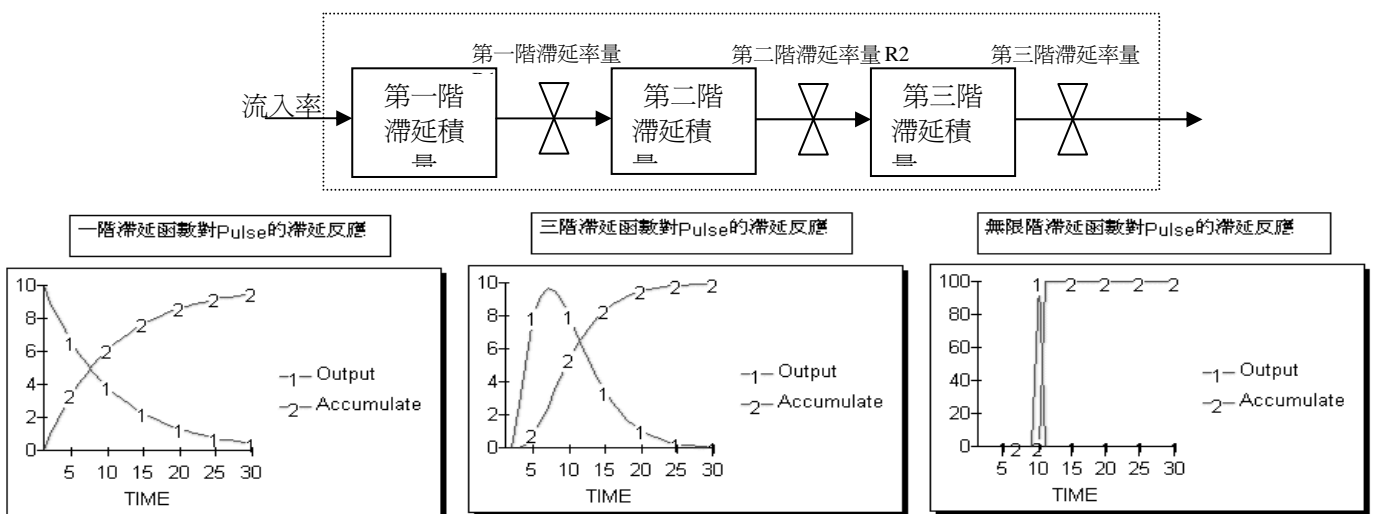


圖 1 延遲函數示意圖與各階延遲函數的延遲反應

## 模式效度

系統動態學對模式效度的看法，與一般統計或是其他的模式的思維不同。一般評定模式效度的方法，大多是以模式的結果與真實狀況誤差越小者越佳，也就是說與現實狀況差距越小的模式效度越高。但是對一個系統動態學模式而言，效度是從目的論的角度來定義，應從此模式對於使用者目的的貢獻，與使用者對此模式的信心的角度來思考 [55]，評估的層面則包含模式結構、模式呈現的行為、還有由模式得出之政策對真實世界的影響來評斷 [56]。建構一個系統動態模式的用意，在於對真實系統的行為提供解釋的能力，增加管理者對真實世界的瞭解，而不是去複製一個系統的輸出。

管理者建構系統動態模式的最終目的，是希望經由模式建構的過程，重新檢討其對於真實系統結構的認知，並建立一個可供試驗的模擬環境，協助管理者設計一個較佳的管理系統。使用者在建構模式時是求其有用而不一定是求其精確。從這個角度而言，模式對改善管理績效所能貢獻的程度，應該是判定系統動態模式效度的適當準則。

### 第三章 產業發展理論架構

產業環境的互動對半導體產業的發展有深遠影響。本研究根據 variety 與 internal learning 的觀念提出了如圖 2 的理論架構，來釐清產業發展過程中的環境互動。此理論架構主要的意涵為：一個產業系統可以在具有與本身 variety 相當的環境中維持穩定，因此產業系統本身的 variety 決定了產業能夠互動的範圍與能夠取得的資源；產業的 variety 可以透過某些學習的過程，在產業既有成員以及可取得的環境資源之間，建立適當的連結關係，共同形成內部協調機制，進而增加整體系統應付外部變化的能力，使得系統得以擴展其互動範圍，延伸到更複雜的環境中。

此概念模式中牽涉到的 variety, variety increasing, variety 與環境互動等，以及內部學習的觀念，在產業系統發展上的意涵，依序說明如下：

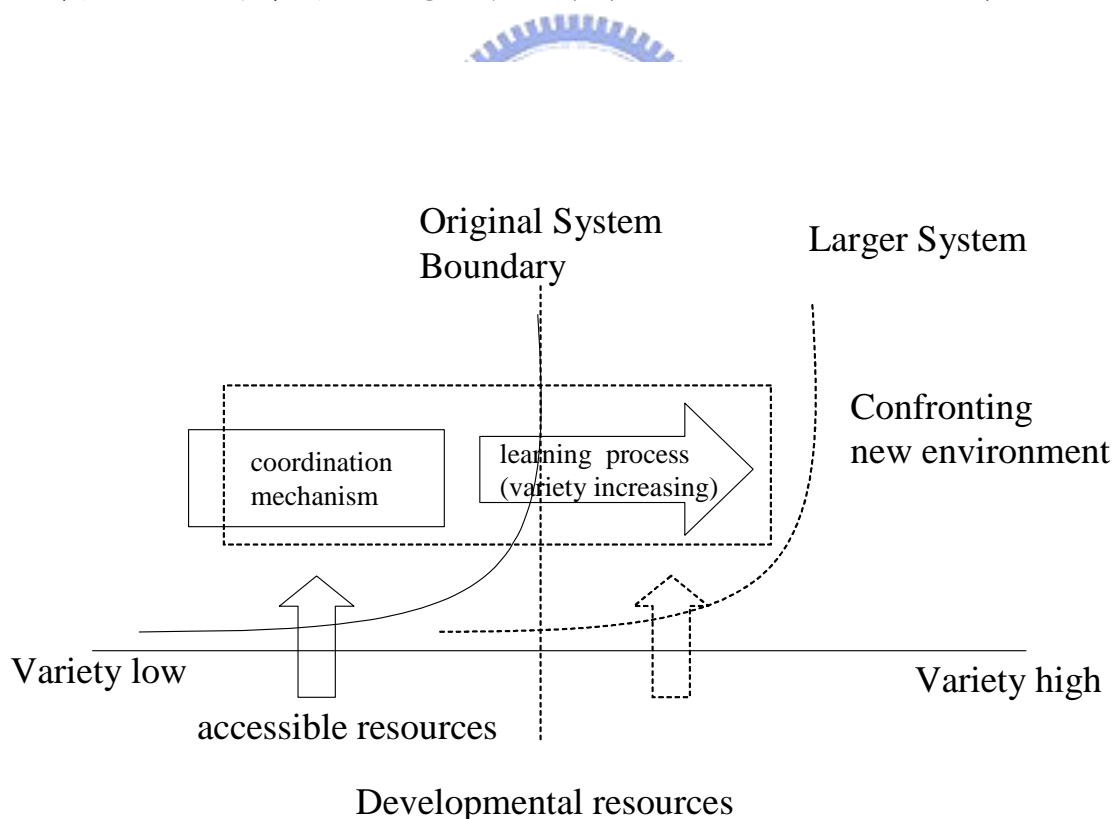


圖 2 依據 Variety 觀點提出之產業發展模式

### 3.1 產業系統的 Variety 觀念

- 複雜度 (Variety)

Variety 是 Cybernetics 中重要的觀念之一，Ashby [27] 在他提出的 the law of requisite variety 中主張：一個系統本身具備的 variety，要大於或等於其所處環境的 variety，才能夠在該環境中穩定存在；Revans [43] 提出了一個類似的觀點，認為一個組織內部的學習活動，必須大於或等於外在環境的改變，該組織才能在環境中存活下來。

關於 variety 的定義，Bear [28] 將一個系統的 variety 定義為該系統可能產生的狀態數量。在產業系統的層級，Miles 等 [44] 將產業複雜度 (industry variety) 定義為產業內廠商競爭策略的多樣性，這種 variety 可以透過一些如產品、製造、行銷、與研發等等各層面關鍵競爭因素的屬性來衡量。當一個國家的產業具有更寬廣的技術縱深、更廣泛的產品種類、更有力的行銷通路、或是更低的成本結構，這個產業體系就有更多的可選擇策略來贏得競爭，在市場上存活下來。

本研究參考上述的觀點，將產業系統的 variety 定義為該產業系統嘗試不同發展策略 (strategic options) 的潛力；對半導體產業而言，這種潛力可以透過一些包含製程技術、製造效率與穩定性、晶圓廠的產能、專利/智財的多寡、以及對產業標準的影響能力等等的關鍵競爭因素來評估。這些關鍵競爭因素中，有部分可以透過一些指標，例如先進製程的細微化程度、良率、晶圓廠數目或是晶圓產能，擁有的專利數等等來衡量。此外因為半導體技術日新月異，如同摩爾定律 (Moore's law [45]) 所描述的，持續取得足夠的資源來維持對產能與技術大量投資的能力，對產業的長期發展而言也非常重要。

- 複雜度的提升

一個系統除了可以透過將新的元件加入系統中，增加系統包含的成分來增加複雜度之外，也可以透過改變原有內部元件與環境資源之間的互動關係來產生綜效 (synergies) [46] 以增加整體的 variety。從系統思考的觀

點，一個系統透過內部組成元件的交連互動之後，展現出個別元件所無法展現的能力或行為。這種因整體互動而多增加的能力，Ackoff 將之稱為 variety-increasing [32]。在產業系統中，這種綜效的例子相當常見。例如：個別廠商的創新經驗與成果，常常會引起其他廠商的借鏡或模仿；這種“借用”別人經驗 [47] 的效果可以減少廠商嘗試錯誤的成本。此外廠商之間也常常會自發性的組成各種策略聯盟或是產業協會，集合群體力量來面對單獨無法克服的各種困難，例如財務、技術、或是市場競爭上的挑戰 [48]。還有種種無形的知識與經驗，透過產業網絡與產業組織更容易擴散交流，進而有助於產業的創新 [49]。對於開發中國家而言，一些產業體系以外的角色，像是政府政策、國外母廠策略、國內社會與經濟因素等等，都會對產業系統的發展產生影響。因此，產業系統處在於這種自發性交連影響的網絡中（self-organizing networks）[50]，可以透過建立適當的互動關係，而呈現出更複雜更多樣化的發展行為。對於產業系統中那些正式或是非正式的聯盟或是組織關係，可以將之視為如圖 2 中的內部協調機制；透過這些互動機制，達到提升產業系統整體 variety 的效果。

### ● 複雜度與環境

一個系統的環境不受系統的控制，卻會影響系統的行為與表現 [26]。但是隨著系統 variety 的提升，此系統有可能有能力可以將原本的環境因素，轉化為可以應用的資源，進而提升系統的能力以擴大互動範圍，延伸到原本無法觸及的更大環境中。對於在開發中國家發展的半導體產業而言，產業系統面臨的環境因素可能包含：政府政策、公立研發機構、國外先進廠商、以及國內外的市場、資金、技術與人力資源等等。在不同的發展階段，影響產業發展的主要環境因素不一定相同，在不同的時期常常會有不同的主要互動對象。以台灣為例，台灣早年的工業基礎薄弱，產業需要的各種發展資源都嚴重不足，產業廠商能夠採取的發展策略就相當有限，只能仰賴國外投資者以及政府的支持來發展。所以早期台灣的民間廠商沒有能力進行前段的製造程序，只侷限在後段低階且勞力密集的封裝測試部份，並且仰賴如工研院等公立研發機構的協助來提升技術。但是到後期產業廠商累積了更多的資金、產能、技術等能量之後，便逐漸有能力吸引國內外的資金與人才進入這個產業來發展，甚至與國外的領導廠商建立各種的合作關係。

### 3.2 產業系統的內部學習過程

一個系統可以透過建立適當的內部連結網路來提升其 variety，然而這個尋找網路連結方式的過程，會受到各種環境條件的限制，以及本身發展狀態的影響。從台灣的發展經驗來看，其學習方式可以看成是產業內部機制與外在環境因素共同演化的過程。本研究認為台灣半導體產業的學習過程可以透過 Miller [29] 在 Living systems theory 中提出的兩階段學習理論來理解。基於 Miller 的兩階段學習觀念，本研究提出如圖 3 所示的產業學習程序來說明台灣的發展經驗。

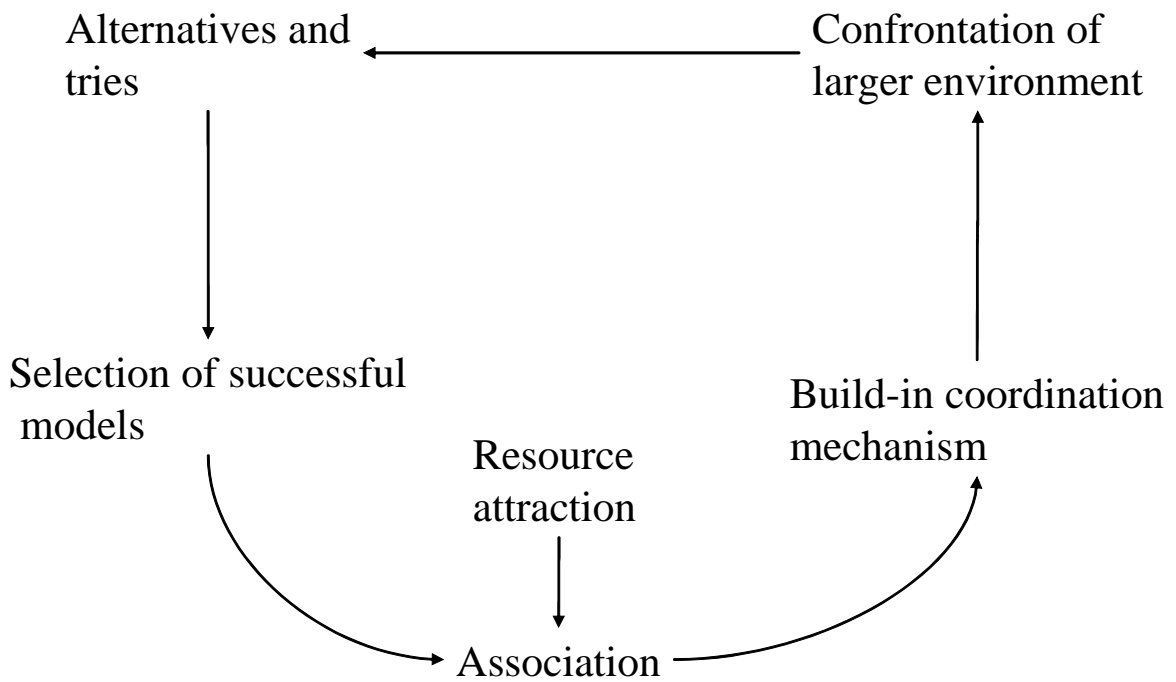


圖 3 台灣半導體產業的內部學習程序

Miller 在 Living systems theory 裏頭所提的兩階段學習，是藉由 associator 還有 memory 兩個 critical subsystems 來達成。第一階段的學習由 associator 來執行，主要目的是在系統內部尋找並建立穩固的連結體系，其過程包含一個 positive loop 以及一個 negative loop；第二階段的學習由 Memory 來完成，負責儲存從前一階段學習所得到的資訊，作為未來發展的基礎。當系統面臨新的環境的挑戰時，會先進入第一階段的 positive loop，以過去累積的經驗為基礎，透過增加內部元件之間交連方式的多樣性，嘗試各種不同的運作模式；當系統發現更適合於目前環境的內部組織方式時，就開始進入 negative loop，將內部分歧的組織關係收斂到新發現的模式，並加強新模式的運作效率。在搜尋過程中累積的資訊與狀態，則會留存在 Memory 中持續一段時間，協助改進現有模式與進行未來的新嘗試，成為系統未來持續提升 variety 的基礎。

從產業系統的層級來看，產業中的廠商在面臨競爭時，會根據各自的能力與限制，發展出不同的個別或是群體聯合的策略，試圖在市場中存活下來。在市場競爭之下，不適合的廠商被淘汰而消失，存活下來的公司逐漸會引起其他廠商跟隨模仿，或是依附該模式而建立相關的上下游產業。成功企業的經營模式或是競爭策略，會成為後進者學習的對象，進而逐漸集結與衍生；產業發展的主流就藉由這種嘗試錯誤與相互模仿擴散的互動過程而成形，逐漸建立起產業網絡與勢力，進而發揮影響力吸引更多系統的資源向產業系統流動。在第一階段的學習過程完成時，產業系統的內部所形成的各種正式或非正式的產業網路與機構，連結了廠商與可取得的環境資源，共同發揮了內部協調機制的功能來提升整體產業系統的競爭力。在發展過程中透過試誤而學到的各種知識經驗與資訊，就隱含在產業的結構以及實務運作的機制中，並隨著人員以及公司間的互動，擴散到整個產業系統中。產業的新進者可以從現有的運作模式與產業網絡，迅速取得適合的知識與資源，縮短摸索的過程，並進而使得整體系統因競爭而更有效率。在這種互動機制下，產業系統的效率與競爭力提升之後，產業的廠商基於提升後的基礎，更有能力執行新的策略，進一步與更大環境中的環境因素互動，拓展系統邊界而進入另一階段的 variety 提升過程。



## 第四章 台灣半導體產業之發展階段

本研究基於前述的產業發展理論架構，對台灣半導體產業過去的發展經驗進行分析。從實際的發展歷程來看，台灣的半導體產業在不同的時期面臨了不同種類的資源競爭。在最早的時期，產業的發展依賴政府政策的扶植，透過公立研發機構的協助建立產業初步的基礎；接下來產業系統開始爭取長期以來在國內的社會與經濟環境中累積的資金與人力資源，進一步提升產業的能力與規模；最後延伸到國際舞台，爭取更多的尖端技術與資金等。根據產業發展過程中，產業系統本身複雜度的變化與主要的環境互動，可以將台灣半導體產業發展的過程歸納為三階段，如表格 1 所示。從台灣半導體產業的三個發展階段，所觀察到的產業學習過程，則描述於後：

表格 1 台灣半導體產業之發展階段

	產業狀態	主要的環境互動	提升後產業狀態	新環境資源
階段一	毫無基礎	政府政策與公立研發機構	建立初步廠商	國內資源
階段二	少數小廠商	國內資金與人力資源	垂直分工的產業體系	國際資源
階段三	成熟而完整的半導體產業製造體系	國際資源	與國際產業網路緊密結合	台灣廠商國際化

### 4.1 發展階段（一）：1960s-1970s

在第一階段，台灣半導體產業的發展動力，主要來自政府的政策扶植。此階段產業學習的過程整理於圖 4。經過此階段的學習，產業系統從毫無基礎的情況下建立了初步的廠商與生產能量。

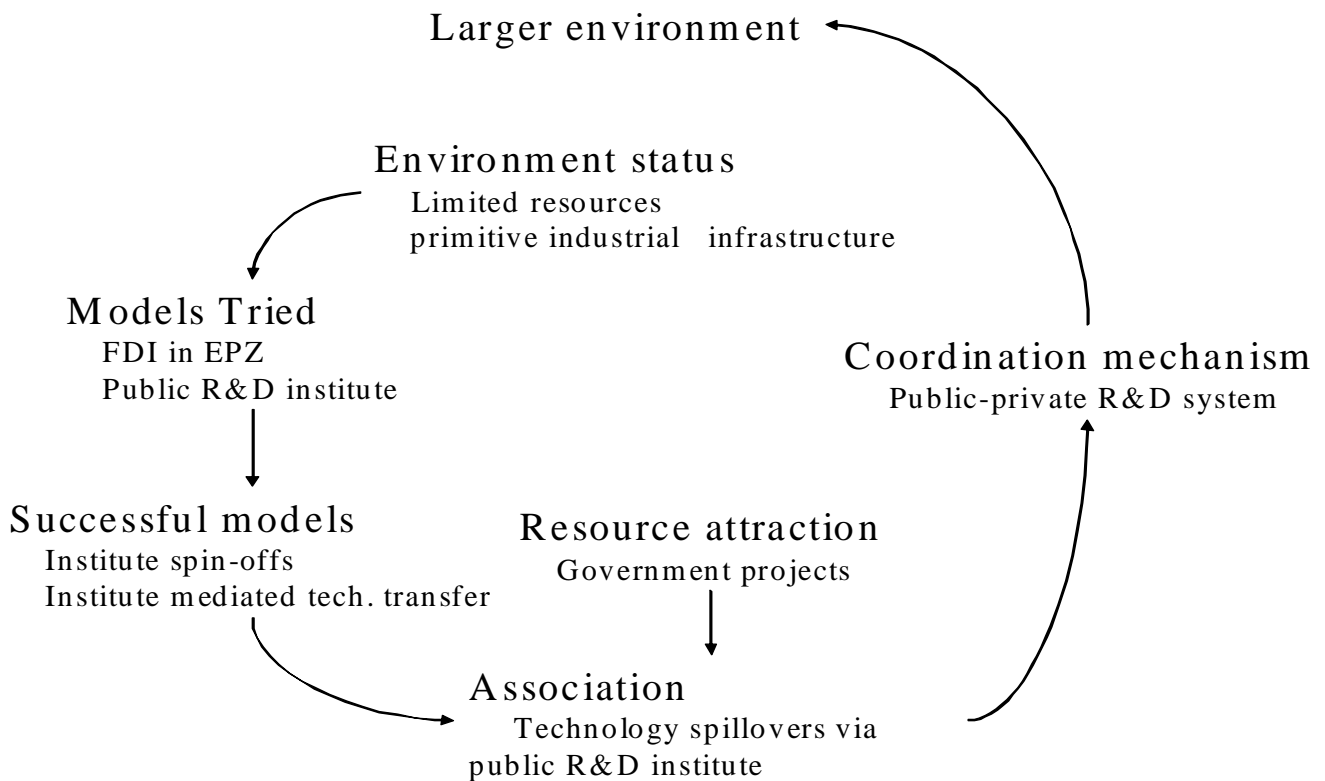


圖 4 發展階段 (一) 的學習過程

● 面臨的環境狀態

台灣從 60 年代開始工業化的腳步，此時的工業技術水準相當低，工業發展多半集中在民生工業上，缺乏半導體產業的基礎；在經濟環境部分，資本市場也沒有足夠的資金來支持資本密集產業的發展。因此民間企業無力進行資本密集與技術密集的半導體工業發展。但在另一方面，美國的電子工業因為內部競爭的壓力，開始在海外尋求製造據點，來降低其生產成本，因而提供了台灣藉由吸引外國廠商的投資，來加速工業化過程的機會。

## ● 嘗試的策略與選擇

因為國內產業基礎薄弱，台灣政府一方面透過設立加工出口區 (Export Processing Zone, EPZ)，提供租稅的優惠來吸引國外廠商來台灣投資設廠，另一方面則藉由設立公設研發機構，協助國內產業的升級，並提升產品與技術的水準。

加工出口區政策成功地吸引了許多國外廠商的直接投資，將他們原有產品生產過程中，部分的加工與製造程序移轉到台灣來進行。但是在半導體產業方面，國外投資只侷限在 IC (Integrated Circuits) 製造程序後段，勞力密集的低階封裝與測試製程。為了切入 IC 製造前段生產技術，台灣政府透過台灣最大的公立產業研發機構 -- 工業技術研究院，推動了一系列的電子工業發展計畫，其中包含了著名的 RCA 技術移轉專案 [23]，由政府出面向美國半導體製造公司 RCA，移轉過時的技術與設備，在工研院的電子所建立了台灣第一個半導體製造工廠，最後並移轉成為衍生公司。



第一階段的電子工業發展計畫的研發成果，透過衍生公司的方式連人帶技術移轉成立了聯華電子公司 (United Microelectronics Corp., UMC) 與其他幾家 IC 設計公司。因為當時台灣的民間企業普遍認為台灣沒有能力發展半導體產業，不願投資這些新成立的衍生公司，政府還出面協助這些公司籌募資金，協調官方的開發基金與部分民間企業出資投資。這些衍生公司後來陸續藉由生產電話、電子錶、與音樂卡片等電子產品使用的控制晶片而開始獲利。

## ● 建立內部協調機制


在這個階段，由公立研發機構與民間企業共同組成的研發體系，是推動產業發展的主要力量。透過公立研發機構以及政府經費支持的技術研發計畫，協助半導體產業提昇技術水準，並經由 spin-off 或是技術移轉等方式將研發能量轉移民間。因為此時的民間企業普遍缺乏足夠的資源與能力自行開發需要的技術，工研院扮演了技術提供者的角色，將自行研發或是與國外先進廠商移轉的技術，移轉擴散到台灣的民間企業。此外工研院過去並沒有嚴格限制員工轉換跑道，離職到業界發展，此舉也間接促進了技

術擴散的效果；透過人員的流動，將研發機構累積的技術與知識，轉換成民間可以運用的研發能量。

- 系統互動環境的擴展

此階段的主要環境互動為產業廠商與政府的互動，產業與公設研發機構所組成的「公設研發機構-民間企業」聯合研發體系提供了台灣的半導體產業系統良好的技術取得管道，進而成功地奠定了半導體產業發展的初步基礎。當這些初步設立的廠商開始藉由生產電子零件而獲利後，整個國家的產業體系逐漸發覺到半導體產業在台灣發展的可能性，進而吸引了更多的資金與人才進入這個產業，設立新公司或是發展新產品，嘗試更多樣的發展機會。產業的發展因此進入了第二階段。

#### 4.2 發展階段 (二)：1980s



在第二階段，台灣半導體產業的環境互動，從原先與政府和公立研發機構的互動，擴展到國內的社會與經濟環境。產業的廠商嘗試了許多不同的產品與經營模式，並逐步建立有效吸引國內資源的協調機制。經過如圖5所示的學習歷程後，台灣的半導體產業建立了一個垂直分工且完整的半導體產業聚落。

- 面臨的環境狀態

台灣在工業化的過程中，由於長期持續的貿易順差，再加上台灣社會的高儲蓄率，長期以來在台灣積蓄了大量的資金。此外由於中國人重視子女教育的天性，鼓勵子女接受高等教育，甚至將子女送出國深造，在台灣社會是一個相當普遍的現象。還有台灣社會對理工領域的偏好，也導致長期以來累積了許多的工程人才 [52]。

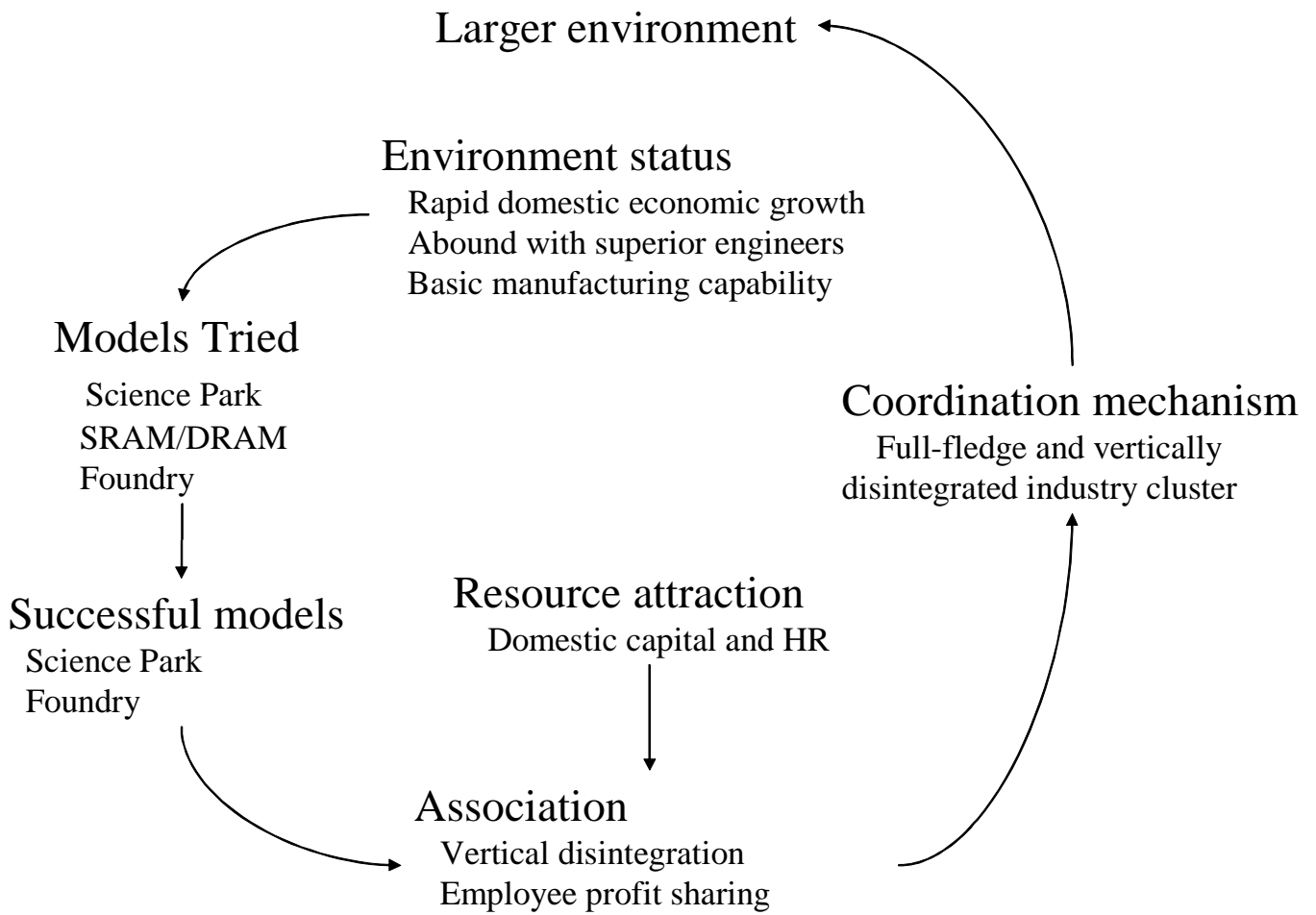


圖 5 發展階段 (二) 的學習過程

● 嘗試的策略與選擇

民間企業：

前一個階段獲取的初步成功，吸引了更多的廠商進入這個產業。一開始有一些產業的廠商嘗試要生產較先進的主流產品，例如聯電、茂矽投入 SRAM ( Static Random Access Memory )，國善與華智嘗試 DRAM，大王電子生產 power transistors 等；另外也有台灣廠商如日月光等，開始設立本土的公司，負責半導體後段的封裝測試工作。在嘗試生產 SRAM 的部分，因為生產技術不足，生產的產品品質不穩定等因素而放棄；DRAM 部分則因為無法取得足夠的資金與產能，最後宣告失敗；類比元件的部份則一直沒有顯著的成長。嘗試生產 DRAM 的失敗引發了業界開始思考，

建立可以讓業界共用的半導體生產廠房的想法，並導致後來晶圓代工業的實現。此外由於在標準型產品的嘗試受到挫折，後來陸續成立的一些公司便將發展方向調整到利基型產品上。例如旺宏生產 flash 記憶體與唯讀記憶體（Read Only Memory, ROM），矽統（Silicon Integrated Systems, SIS）專注於設計 Mask ROM，還有陽智替國內的個人電腦製造商（宏碁）設計主機板上的晶片等等。

### 政府政策：

在此階段政府仍繼續對半導體產業發展提供助力，主要有兩項措施：設立科學園區與繼續推動電子產業發展計畫。為了促進台灣高科技產業聚落的形成，政府在 1980 年決定在新竹設立新竹科學工業園區。科學園區內的廠商享有投資抵減，以及租稅減免等等多項優惠，並且有獨立的海關與良好的基礎建設等相關周邊設施的支援。值得一提的是，政府規定園區內的公司的股份，必須有超過二分之一為本國人所持有；換句話說只有本國人擁有股份超過一半的公司才能夠成為科學園區的廠商。這項規定雖然不利於吸引國外廠商的投資，但是卻造成園區廠商建立獨立自主技術能力的壓力，並且間接促成園區廠商更有意願建立與本土廠商的合作關係，加速產業聚落的形成。



在另一方面，第一階段電子產業發展計畫的成功鼓舞了政府繼續推動後續的次微米計畫，往 VLSI (Very Large Scale IC) 的技術繼續發展。當 VLSI 計畫結案時，正好碰上台灣嘗試發展 DRAM 失敗的事件，引發了建立可以讓業界共用的晶圓廠的想法。由於當時台灣已經有上游的無晶圓廠 IC 設計公司以及下游的封裝測試產業，這個計畫的研發能量就移轉成立了世界第一家專業的晶圓代工廠：台灣積體電路製造公司 (Taiwan Semiconductor Manufacturing Corp., TSMC) 與專業光罩製作公司：台灣光罩 (Taiwan Mask Corp., TMC)。

### ● 建立內部協調機制

在此階段中，台灣的半導體產業成功地建立廠商之間，還有與國內發展資源的連結。晶圓代工模式的出現使得虛擬晶圓廠的觀念得以實現，進而建立了一個獨特的垂直分工產業體系。因為台灣的產業主要由中小企業組成，不利於採取整合晶圓廠的模式來經營；傳統的半導體製造程序被切

分成 IC 設計、光罩製作、晶圓代工、以及封裝與測試等片段，每一個片段都由產業中不同的廠商來完成。許多小規模的廠商上下游交連合作而形成的垂直分工結構，使得每一個製造片段可以達到規模經濟，而產業整體卻可以保有充分的彈性。

從 1985 年聯電在台灣證券交易所公開上市以後，越來越多的台灣高科技廠商在台灣股市上市，從台灣的資本市場募集需要的資金，也啟動了半導體產業體系的資金與人力資源的吸引機制。在資金吸引部分，台灣的股市投資人偏好高成長性的股票，並且把發放股票股利認為是公司未來會持續成長的指標，比較不偏好現金股利。因此台灣的高科技上市公司可以享有較高的本益比，也有較大的機會可以把盈餘保留下來繼續投資，而不必以現金股利分配給股東。在人力資源的吸引部分，台灣的高科技產業盛行員工分紅配股的獎勵制度，公司的股東同意將一部分的股票股利，以股票的方式贈送給員工。對一個高股價的公司而言，平均每位員工每年可分到配股的市值可以高達新台幣數百萬元。高額的報酬吸引了大量的國內甚至旅居國外的人才，進入這個產業尋求發展的機會。

#### ● 系統互動環境的擴張

在有效的資源吸引機制的協助下，台灣的半導體產業建立了一個完整、有效率、而且是垂直分工的產業聚落。個別廠商專注在半導體製造程序中的特定片段，整個產業系統結合起來形成了一個競爭力強韌的半導體生產系統。有效率的製造優勢使得台灣的半導體廠商有機會與國外的廠商建立互惠的合作關係，產業的發展因此進入另一個階段，國際的產業互動開始成為影響發展的主要力量。

### 4.3 發展階段（三）：1990s

藉由累積的製造優勢與國內資源，台灣的半導體廠商逐漸有能力與國際的產業環境互動。此階段的產業學習歷程整理如圖 6。經過此階段的學習，產業系統的規模與技術層次快速地提升，並且更加深入地融入國際的產業網絡之中。

- 面臨的環境狀態

在 90 年代，由於韓國 DRAM 產業的興起，其他先進國家如美國、日本、與一些歐洲國家的 DRAM 製造公司倍感威脅，而開始尋求策略聯盟的夥伴。另外台灣的資訊設備製造產業也快速的成長，衍生出大量的半導體晶片需求，加上晶圓代工模式的興起，提供了台灣 IC 設計業良好的發展機會。

- 嘗試的策略與選擇

#### 晶圓代工業：

台積電晶圓代工模式的成功，吸引了其他半導體廠商的跟隨。聯電原本採取整合元件廠 ( Integrated Device Manufacturer, IDM ) 的模式來經營，在 1994 年推出了一顆 80486 相容的 CPU ( Central Processing Unit )，但是後來因為專利的關係宣告放棄；之後因為晶圓代工需求的增加，在 1995 年決定將原本的 IC 設計業務切割出去成為獨立的公司，本身則藉由與國外的無晶圓廠 IC 設計公司合資取得技術授權，轉型成晶圓代工廠。台積電則是透過替 Philips, NEC, AMD, 與 Fujitsu 等國際大廠代工，取得這些公司的技術移轉與授權來建立技術能量。這兩家晶圓代工廠之間的競爭，使得兩者積極投入產能與技術的研發，繼而發展成為世界最大的兩家晶圓代工公司。



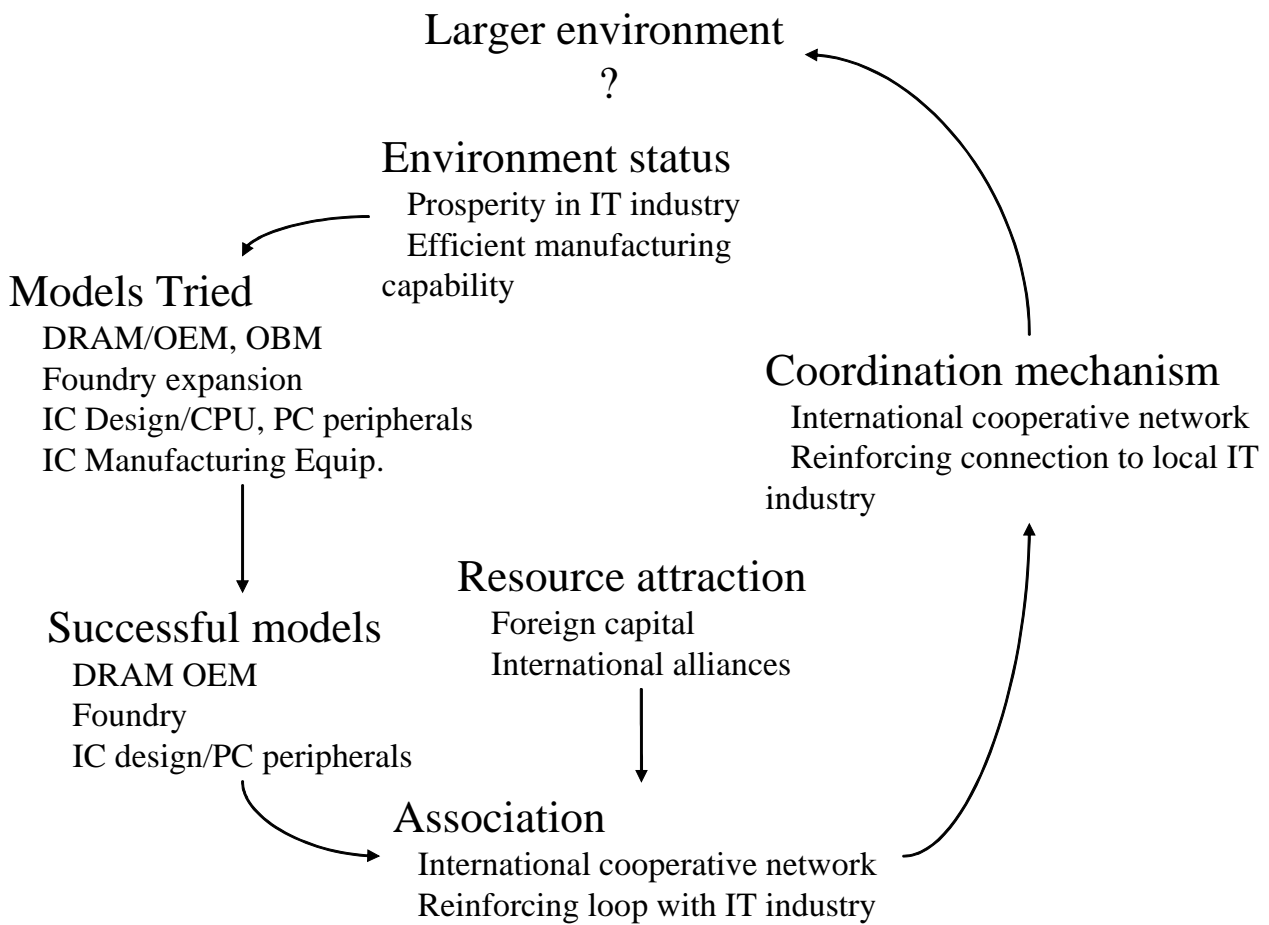


圖 6 發展階段 (三) 的學習過程

### DRAM 產業：

在 90 年代，台灣的製造能力與充沛的資金，吸引了許多國外的 DRAM 廠商來尋求合作，重新啟動了台灣在 DRAM 製造上的嘗試。台灣的廠商嘗試了幾種發展 DRAM 產業的策略：茂矽在 1991 年合併華智，開始自力研發 DRAM，但是在 1996 年放棄而轉向德商 Siemens 合資取得 64M DRAM 的技術；工研院的衍生公司世界先進，則是基於深次微米（Ultra Large Scale IC, ULSI）計畫的研發能量，完全仰賴自行研發的技術；力晶與華邦則採取 DRAM OEM 的代工策略，完全依賴合作夥伴提供奧援；南亞科技則是在不同階段與不同對象合作，例如從日商 OKI 取得最初的 16M 與 64M DRAM 技術，再與 IBM 合作取得 64M 到 256M DRAM 的

授權。合資設廠與 DRAM OEM 的合作模式在此階段相當成功，台灣廠商取得技術，而國外廠商取得資金與產能，雙方互蒙其利。世界先進則因為長期無法獲利，最後被台積電併購；其失敗突顯了國外技術母廠對台灣 DRAM 廠商的重要性。

### IC 設計業：

台灣的 IC 設計產業藉由晶圓代工業的崛起，以及個人電腦以及電子產品製造業快速成長的需求帶動下，與 IC 製造逐漸分家，脫離整合元件廠的經營模式而轉以無晶圓廠 IC 設計公司為主流。由於台灣資訊設備製造業的蓬勃發展，衍生出大量的半導體零件需求，進而促進了 IC 設計公司的快速增長。為了因應資訊科技產業短暫的產品生命週期，台灣的 IC 設計公司以快速跟隨主流產品的策略，逐步建立其低成本與快速上市的優勢。

### 政府政策：

因為民間產業在半導體製程技術上的發展速度，已經超越政府的研究計畫，台灣政府決定停止推動半導體製程技術，而轉向鼓勵半導體製造設備的研發。有少數廠商如楊鐵、鑫成等嘗試生產半導體的生產設備，但是其產品並無法取得國內半導體生產廠商的信心。台灣的半導體製造設備產業規模仍然很小，並且其主要的產品，也停留在後段製程中，技術層次較低的封裝測試設備。

### ● 建立內部協調機制

在 90 年代，台灣的半導體製造業透過建立國際合作網路，快速提升技術層次；而 IC 設計產業則成功地與晶圓代工業以及台灣的 IT 製造業建立相輔相成的互益連結而快速壯大。由於產業廠商的規模與競爭力的提升，產業系統對國際產業的影響力也日益增加，並逐漸得以參與國際的產業組織，進一步融入國際的產業體系。例如台積電為 SEMATECH 的會員，並在 1996 年參與了 International 300mm Initiative 會議，對未來世代的半導體生產技術產生影響力。此外，台灣的個人電腦晶片組設計公司，也曾經與國際上二線的 CPU 製造廠 AMD 與 Cyrix 合作，成功延長了 Socket-7 規格產品的生命週期；後來甚至在 DRAM 匯流排規格的競爭

中，協助將 PC-133 SDRAM 的架構推上主流，擊敗 Intel 的 Rambus 架構，迫使 Intel 推出相容產品。

在吸引發展資源的部分，台灣的半導體廠商也開始在海外募集資金。台灣在 90 年代高速地建構晶圓廠，十年內蓋了 27 座新的晶圓廠，其中包含 1995 年以後的 18 座當時最先進的八吋晶圓廠；龐大的資金需求已經超過台灣本地的資本市場所能負荷。從台積電成功地在美國發行 ADR ( American Deposit Receipt )，並在紐約證券交易所 (NYSE) 上市之後，越來越多的公司在海外發行存託憑證或是公司債，並且陸續在國際金融市場如 NYSE 或是 Nasdaq 上市。

#### 4.4 台灣半導體產業 variety 的連續提升過程

綜觀整個發展歷程，台灣半導體產業的發展是一個連續的複雜度提升的過程。產業系統持續地在不同發展階段間，透過建立廠商與環境中重要資源的連結機制，來提升產業系統的複雜度。在各個階段，產業的廠商在現有的基礎上嘗試各種可能的發展策略，吸收可能的環境資源，最後基於嘗試成功的模式繼續成長，在更大的環境中探索新的發展契機。在經歷過三階段的學習之後，台灣發展出了世界第四大的半導體產業，包括最大的晶圓代工業，第二大的 IC 設計業與封裝測試業，以及第四大的 DRAM 製造業。

圖 7 顯示了台灣半導體產業過去的探索歷程，在各個階段中，產業中的廠商嘗試了許多的經營策略，有些模式失敗而消失，有些成功而繼續往下一階段發展。整體產業則在各階段的探索與學習中，持續提升其 variety。然而在面對未來產業的發展態勢時，新環境的複雜與動態變化程度更甚以往，因此需要進一步對產業系統的細部結構與互動關係作深入的研究，以作為政策分析的基礎。本研究進一步利用系統動態學來建立台灣半導體產業的發展模式，結果呈現於下一章。

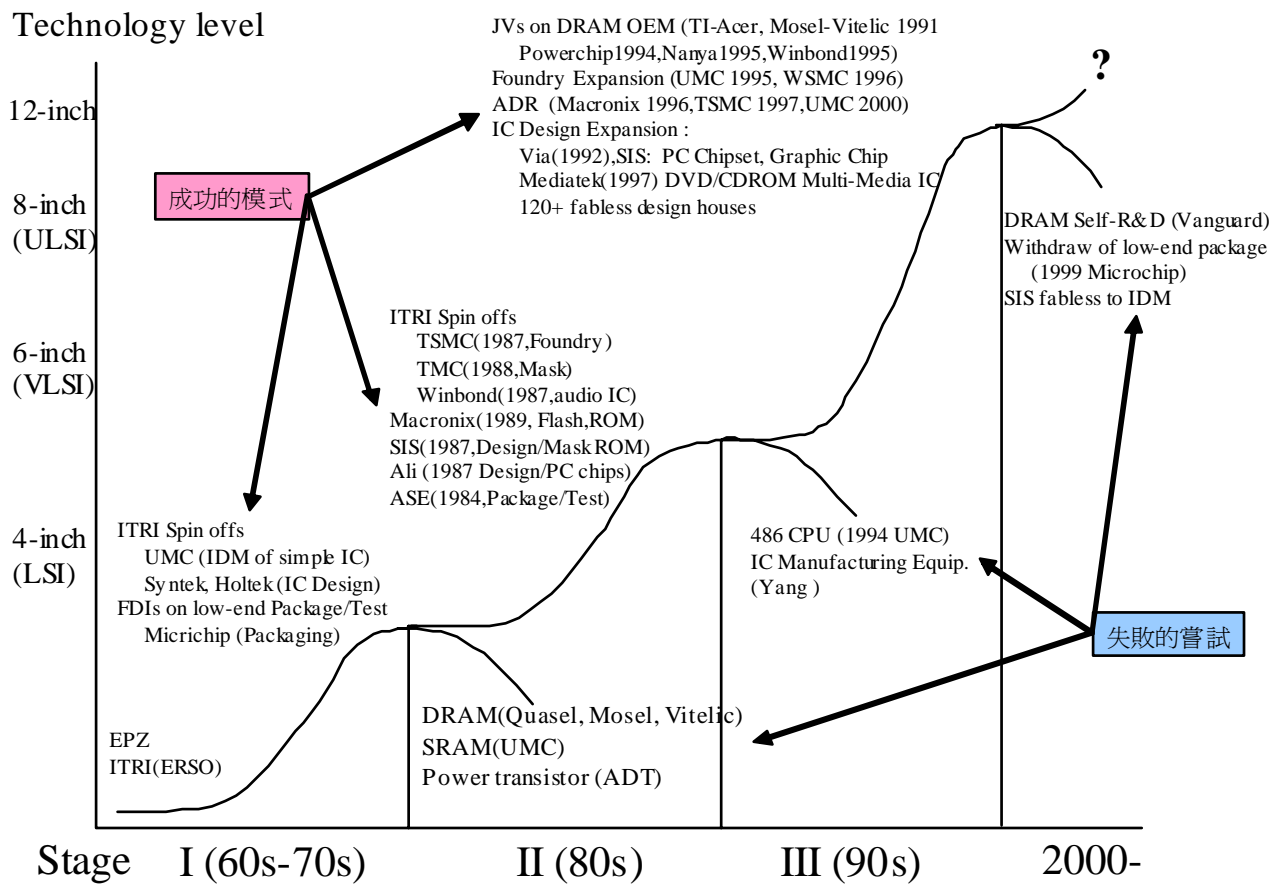


圖 7 台灣半導體產業 variety 的連續提升過程


## 第五章 台灣半導體產業系統動態學模式

對於產業長期發展與趨勢的研究，系統動態學為良好的方法論。本研究利用系統動態學建構台灣半導體產業的模式，首先討論半導體產業與新興工業化國家的特性，再就台灣半導體產業發展過程中的互動結構來建構質性與量化模式，最後並就量化模式進行模擬。

### 5.1 半導體產業一般特性

半導體產業有如下的特性，一般認為與資金、人力，技術，產能等資源的累積以及與市場互動有密切的關係。

- 資本密集



一座 12 吋晶圓廠的造價將近三十億美金，其中超過 80% 的成本在於購買機器設備，而這些生產設備在五到七年內，就會因為技術的演進而過時。先進半導體製程的技術與製造設備的研發金額，動輒高達數百億美金，即使是先進國家面對如此龐大的資金需求與風險，都不得不採取跨國合作或策略聯盟的方式來進行。因此要建立與維持先進晶圓廠的產能，需要持續投入大量的資金。

- 技術密集，競爭力依賴人力與技術的累積

現代 IC 製造的精密度，需要在比指甲小的範圍內植入數以百萬計的電晶體，而半導體產品需要的製造程序，常常超過三、四百個步驟，牽涉到眾多如電子學，光學，化學，精密機械以及材料科學等領域的整合技術，以及生產過程的控制與管理能力，這些因素都會影響 IC 製造的良率與穩定性 [57]。人力資源對半導體產業的發展非常重要，半導體廠中約有六成的人力是工程師，因此半導體廠產能的擴展，需要大量的高素質人力。由於產品設計變化，原料品質變異，機台特性等等因素的影響，IC 製造的工程師在生產過程中，時常要面對 problem solving 的情境 [58]，這種整合與處理問題的能力，需要靠經驗的累積來學習 [59]。

進階的製程技術能夠製造提供更快速，省電，體積更小的晶片，因而擁有更低的成本與更高的市場價值。實務上經常被提到的 Moore's Law 顯示了半導體生產技術進步快速 [45]，導致廠商必須在產品設計、製程研發、生產技術等的改良上投入大量的資源以避免失去競爭力。半導體的設計與製造牽涉到非常多專利與各種智慧財產(intellectual properties, IP)，各個方面的研發成果通常都會藉由申請專利保障這些 IP；廠商之間則經常會透過交換 IP 或授權的方式來取得需要的生產技術，擁有的 IP 數量越多越有能力與其他廠商交換。

- 規模經濟明顯，市場受電子產品影響

半導體產品面對的是國際化的市場，大部分的電子相關產品都需要用到半導體晶片，如各式記憶體、微處理器、與控制晶片等等，因此半導體晶片的需求會受到這些電子產品市場的影響。此外半導體廠商的產能大小會影響半導體生產廠商的供貨速度，一般半導體產品的加工時間大約為 4-6 星期，如果產能不足，將嚴重影響相關電子產品的生產與供應速度。因為電子產品的生命週期短，產品價格隨時間快速下滑，在半導體建廠量產的前置時間需要一年半到兩年的情況下，供需差距造成的景氣波動相當明顯。因為半導體廠的固定成本非常高，只要價格高於變動成本，半導體製造商仍會繼續出貨以分攤固定成本，造成在景氣不佳時的價格競爭更加劇烈；相反的在景氣旺盛時因為電子產品的高附加價值，也會造成製造商願意以數倍的價格購買半導體零件。

從需求面來看，綜觀過去的經驗，從個人電腦(personal computer, PC)的興起，接著網際網路，個人通訊以及資訊家電的發達，三十年來對半導體產品的需求長期處在持續成長的狀況。全世界半導體的產值從 1987 年的 29 億美金，到 2000 超過 1760 億美金，長期以來半導體產品的需求以驚人的速度擴張。就供給面而言，在長期擴張的需求帶動下，世界晶圓製造的總產能也急劇的擴增。到 2000 年底，世界半導體製造的總產能已經高達每星期 128 萬片約當八吋晶圓的規模 [60]。

## 5.2 新興工業化國家發展半導體產業的特性

- 技術能力落後先進國家

一般而言新興工業化國家在早期經濟發展落後，資金、機器設備、以及人力資源都相對的匱乏，因此只能憑藉天然資源，或是廉價的土地、勞力等，結合國外的投資，選擇性發展工業。在半導體產業方面，韓國集中在 DRAM 製造，新加坡投入晶圓代工，台灣的半導體產業也以製造為主都是明顯的例子。因為技術落後或是缺乏研發的基礎，新興工業化國家在技術的學習與追趕過程中，經常會透過向先進國家取得協助的方式來加速進步。例如向國際大廠招攬投資，取得技術移轉或購買授權，甚至透過收購國外的小公司的方式來取得技術。

- 資本隨經濟成長逐漸累積

一般新興工業化國家的經濟發展，由開發中國家逐步向已開發國家進步，伴隨著出口導向的工業化發展策略與國際貿易，逐步累積資本，國民所得逐漸提昇。這些國家可藉著早期低廉的工資或是生產資源，吸引國外資金的投資設廠，進而造成經濟發展的正向循環，讓資金藉由儲蓄或是再投資而持續累積。

- 政府早期對經濟發展介入較深

新興工業化國家的政府在發展工業的初期，時常會運用後進者優勢，透過政策的介入與學習先進國家模式的方式，加速資源的累積與學習過程。在半導體產業的發展上，常常會透過租稅優惠的方式吸引國外廠商的投資與技術移轉，並透過設立研發機構來吸引或培養人才。例如韓國政府協助財團與銀行融資，新加坡透過金融開放與設立特區與提供租稅優惠來吸引外商投資，台灣政府藉由租稅減免，設立研究機構與科學園區以促進產業發展等等 [61]。

### 5.3 台灣半導體產業發展質性模式

為了探討台灣半導體產業的資源累積結構，本研究運用系統動態學來建立發展模式。台灣半導體產業的成功發展，是在台灣產業轉型的過程中，透過各方面角色互動演化而成的結果。產業系統隨者產業的進展逐步擴大互動層面，早期由政府介入與業者互動，建立初步發展規模，並進一步吸引國家整體人才，資本等資源進入，以及建立與國外先進廠商的合作網路而加速發展。模式的結構分為政府與業者的互動，人力資源的累積，資金與產能的累積以及整體結構來說明。

#### 5.3.1 政府與業者的互動環路：

台灣的產業廠商以中小企業為主，早期的民間企業無力自行負擔發展半導體產業需要的巨額投資，因此政府在半導體產業發展的初期扮演重要的角色。台灣政府採取了設立公立研發機構、開闢科學園區、以及對高科技廠商提供租稅補貼等方式，來協助廠商提昇競爭力。在公立研發機構方面，因為早期台灣廠商的規模與技術層次偏低，台灣政府透過設立公設研發機構(如工研院的電子所)來協助台灣工業建立初步的研發能量。這些研發機構提供優渥的工作環境吸引海外與國內人才投入研發工作，並藉由這些機構向國外先進廠商移轉技術，並在適當時機移轉廠商。移轉的方式包含衍生公司，技術移轉或是技術授權等方式，或是藉由人力資源的自然擴散，將研發能量擴散到民間企業，以促成正性循環的產生。例如工研院的電子所藉由電子工業發展計劃，於1976年向RCA取得台灣最早的7 $\mu$ m半導體製程技術與設備，再於1980年spin off成立台灣最早的半導體公司聯華電子與幾家IC設計公司 [23]。台灣政府藉由工業研發機構來執行數階段的研發計劃，利用國家資源持續推動半導體產業技術水準的升級，再將這些計劃的研發結果，結合官方，民間以及跨國企業的資金成立民營的公司。表格 2 列出了由歷年來由工研院電子所移轉成立的半導體公司。

在設立科學園區方面，台灣政府參考美國矽谷的機制，在新竹成立新竹科學園區，提供低廉的土地與租稅優惠，協助廠商成長 [61]。在租稅制度上，台灣政府為了鼓勵台灣的高科技廠商提昇技術層次，對於研發支出與先進生產設備的投資可以享有投資抵減的優惠，對於台灣高科技產業初期建立產業發展基礎有相當的幫助。科學園區的政策也促進了產業聚落的形成。



事實上在台灣半導體產業發展的初期，當時民間企業普遍對投資半導體產業的態度相當保守，因此政府在這些衍生公司的設立初期的資金募集上，也提供了不少協助，讓這些早期競爭力不高的公司，得以取得從政府的開發基金或是部份民間資金的支援。

表格 2 由工研院移轉成立之半導體公司

Company	Year	Origin	Associated Project
United Microelectronics Corp. (UMC)	1980	Spin off from ERSO	EIDP phase II
Taiwan Semiconductor Manufacture Corp. (TSMC)	1986	Spin off from ERSO Joint venture of the government and Philips	VLSI project
Taiwan Mask Corp. (TMC)	1988	Spin off from ERSO	VLSI Project
WindBond	1987	Team-leave from ERSO Funded by traditional private firms	VLSI project
Vanguard International Semiconductor Corp. (VISC)	1994	Spin off from ERSO Funded by TSMC	ULSI Project

因為半導體產業的競爭力依靠產業所累積的製程技術、產能、和人力資源，擁有越先進的技術與充足與穩定產能，就越能生產高附加價值的產品，在市場競爭中獲取利潤。廠商的獲利能力越強，就越有能力取得資金再投入產能的擴充以及技術的研發，進一步提昇研發的能力與增加產能。台灣政府的政策，在台灣促成了如圖 8 所示之正性回饋環路的成形，奠定產業發展的基礎。

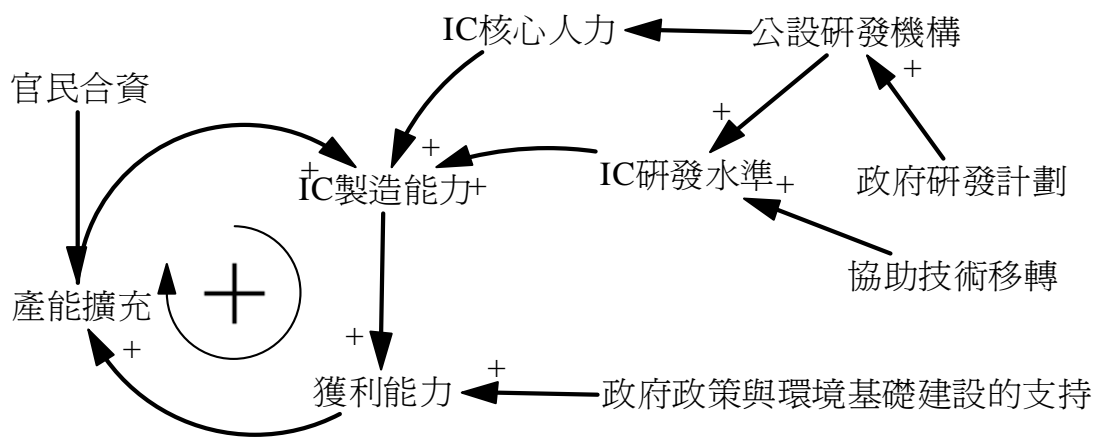


圖 8 政府與業者之互動環路

### 5.3.2 人力資源的累積

人力資源是半導體技術發展的重要基礎。台灣半導體製造的人力資源主要來自海外留學生，國內教育體系，以及政府研究機構三大來源，有幾項台灣特有的因素促成了這些人力資源的累積與流動：

- 重視教育

中國人重視對後代的培養，希望子女盡可能接受更高的教育，接受高等教育或是出國留學是一個普遍的理想 [62]。從 60 年代開始台灣旅美的留學生人數就持續的增加，人口只有兩千萬左右的台灣，在 1981 到 1985 年甚至位居美國外籍學生人數的第一名，如圖 9 所示 [53]。有不少留學生在學業完成後會選擇留在美國發展，在美國的業界接觸最先進的科技與市場資訊，成為台灣產業發展的潛在人力資源。以 1990 年為例，該年共有 33,530 台灣學生進入美國大學，其中四分之三是研究生，而且大部份就讀工程與科學相關領域。

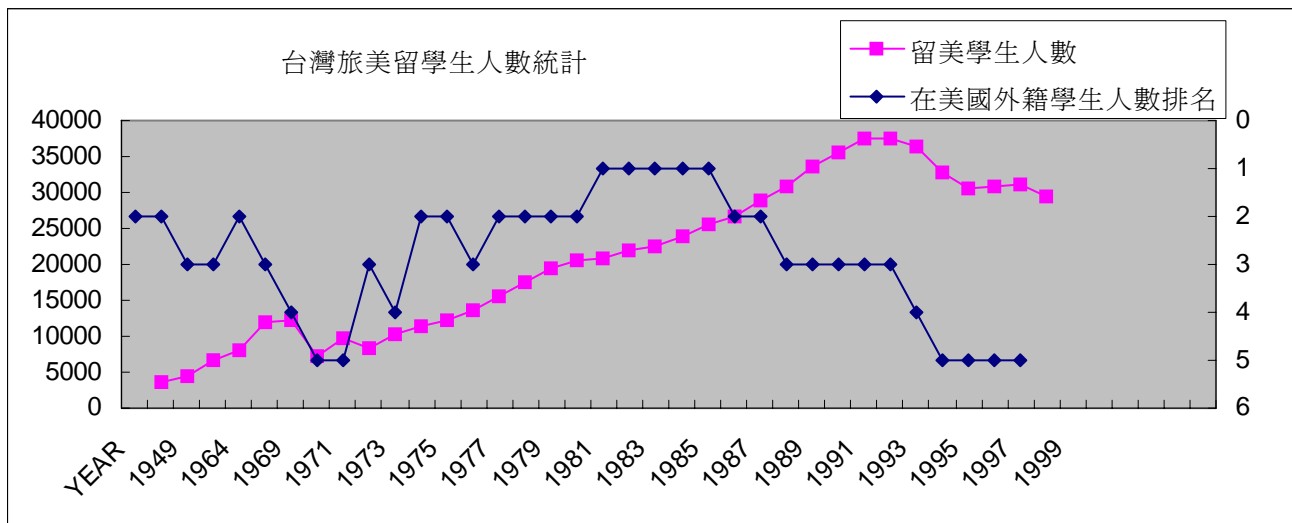


圖 9 美國之台灣留學生人數與排名

有部分的人在美國工作一段時間後會回到台灣發展，除了受中國人落葉歸根的觀念影響之外，當台灣產業的發展機會良好時，也會吸引這些人才回台灣開創事業。從 1980 到 1988 年之間就有大約 19,000 位科技人才從國外回流到台灣，其中包含許多台灣半導體公司的創辦人。例如曾在 Texas Instrument 擔任副總裁的張忠謀先生返國創立台積電，以及曾在 Intel 與 VLSI 工作多年的吳敏求先生回國共同創辦旺宏電子等等，即為其中著名的例子。

● 公立研發機構的影響

台灣的企業以中小企業為主，缺乏獨立研發的能力。台灣政府在半導體工業發展初期利用設立如工研院之半官方的研究機構累積研發能量，再透過技術移轉甚至研發團隊直接 spin off 成立公司的方式快速移轉民間。這些公設研究機構對於員工離職創業採取中性的態度，不會阻止員工將研發成果運用到業界去。

在台灣工業發展的初期，這些研究機構提供相對優渥的工作環境與待遇，吸引不少從教育體系培養出來的優秀人才投入研發工作，承接國家或是民間委託之研究計劃發展工業技術。當台灣的產業發展逐漸成熟，也有許多這些研究機構培養的人才離開單位進入業界。到 1998 年為止，累計從工研院流出者超過 12,000 人，其中大約有 86% 轉入產業界的私人公司，或是自行創業；這種人才的擴散對提昇整體產業的技術與研發水準有

不小的貢獻 [63]。許多台灣重要的半導體公司如台積電、聯電、華邦、旺宏、茂矽等的創辦人，都曾經在工研院任職。

### ● 理工掛帥

長久以來電機、資訊、與工程類科系一直在台灣的高等教育志願排行中名列前茅，整個國家最優秀的人力資源，不斷湧入工程與資訊領域，累積大量的高素質工程人才。這些教育體系培養出的人力，有些直接進入業界工作，部分出國留學，部分會進入研發機構。舉例來說，單是 1990 年就有 37,247 個學生進入大學的理工相關學系，以及 135,788 個學生進入技術學院的相關學系就讀。

### ● 員工配股制度對人力流的影響

台灣的科技產業普遍實行員工配股的分紅制度 [64]，這種配股制度與西方常見的股票選擇權不同，公司的股東每年將盈餘轉增資而配發的股票股利，其中一部份以低於市價、面額、甚至是免費贈送給員工；這些贈與員工的股票對公司而言是以面額計算，但是對員工而言卻可以市價到市場上出售。一般高科技公司員工配股的比例大約在當年盈餘的 5% 到 15% 左右，因此當公司的股價很高時，單一公司平均員工每人配股的市值甚至會超過台幣兩百萬元。這種高額報酬會吸引更多研究機構以及在國外就業的留學生投入台灣的產業界，加速人力資源向半導體產業流動，但相對的也會增加台灣的優秀人才在完成學業後直接進入職場的比例，進而排擠到出國深造與投身研發機構的人數，使得海外以及國內研發機構，累積高素質研發人力的功能受到影響。

整合以上的特性可以得到如圖 10 的人力資源模式：每年有眾多優秀學生被吸引進入相關的教育機構就讀，畢業之後會選擇出國留學，就業或進入政府的研發機構。部分在海外的留學生會回到國內發展，而研究機構中的人才也會藉由 spin off 或是離職的方式進入業界。部分投身業界的畢業生在業界經過一段時間的養成之後，成為成熟的 IC 製造與研發人才，進一步對提昇產業水準做出貢獻。

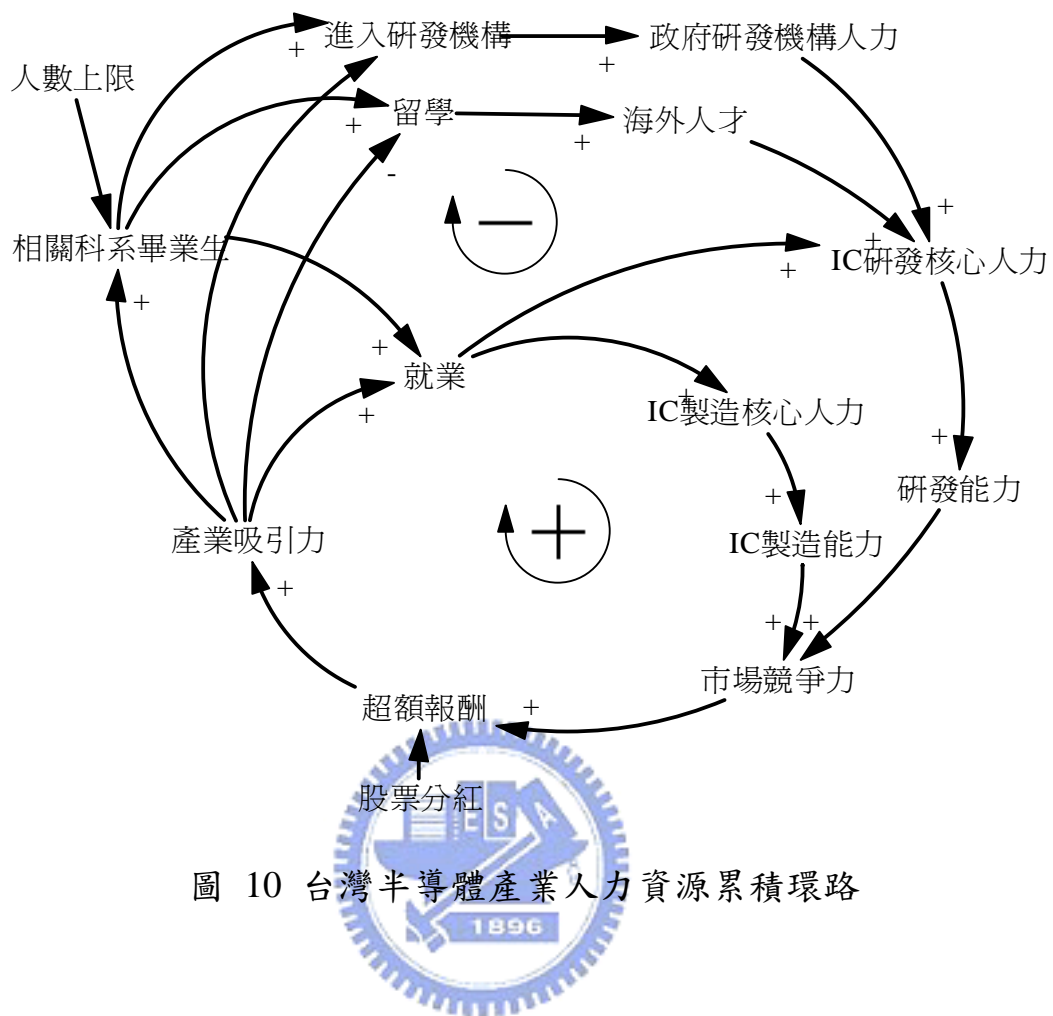


圖 10 台灣半導體產業人力資源累積環路

### 5.3.3 資本與產能的累積

產能的累積是半導體製造能力的重要指標，半導體廠房與設備的價格非常昂貴，產能擴充需要充分的資金來支持。一般半導體廠商的資金來源，通常來自本身營運所賺取的利潤，當廠商的獲利能力提昇，取得投資大眾的認同後，就更容易從資本市場取得資金。台灣的資本市場有下列的特性有助於產業的發展。

- 經濟持續成長，國內資金充裕

台灣的國民所得隨著工業化程度的進展，從 1970 的 360 美金，到 1997 年已經突破 12,000 美金，長期的貿易順差累積了大量的外匯，到 2000 年的外匯存底甚至超過美金一千三百億。台灣人民的儲蓄率很高，從 1970

年起幾乎都在 20% 以上，1986 與 1987 年甚至高達 33% [51]，長期以來在民間累積了大量的資金。這些累積的充沛資金成為後來半導體產業發展的重要資源。

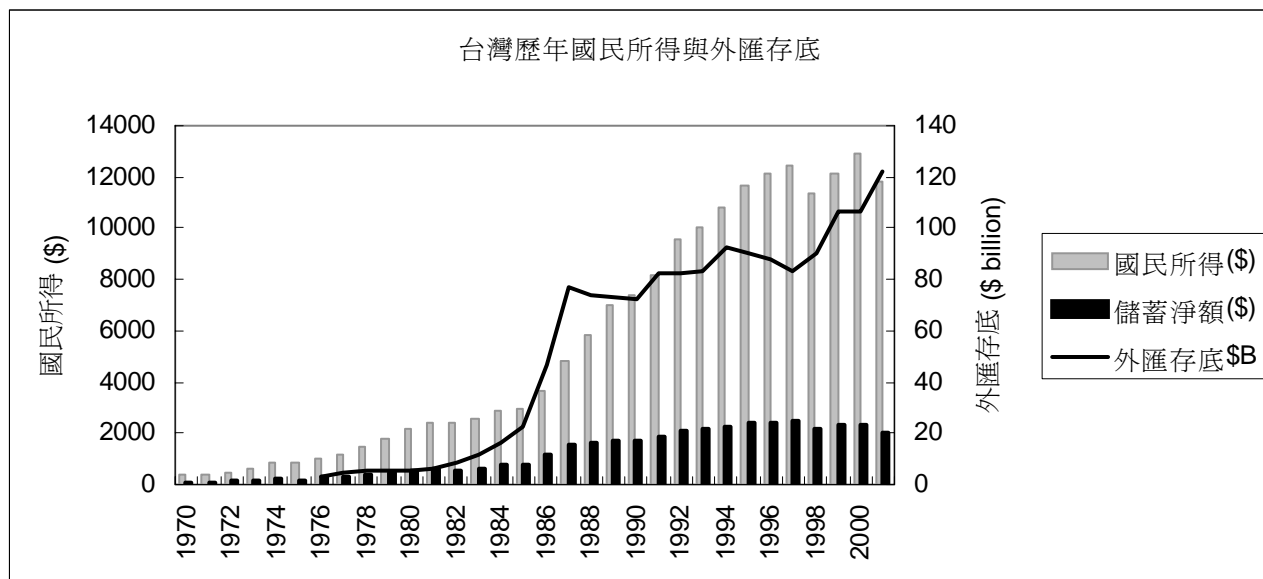


圖 11 台灣歷年國民所得與外匯存底

### ● 資本市場活絡與股票股利制度的風行

台灣的投資人相當熱衷於資本市場的投資活動，資本市場相當的活絡。2000 年時股市開戶人數甚至高達台灣總人口數的三分之一，平均的股票年週轉率可以超過 200%。當產業的成長性與獲利能力很強時，就能吸引更多資本市場的資金投入該產業；換言之當產業的獲利能力越強時，就越容易透過發行股票或是公司債的方式從資本市場上取得資金。一個發展性受到投資人的認同的產業，通常可以享有較高的本益比，也更容易從資本市場取得資金。台灣的投資人對高科技以及半導體產業前景的高度認同，對於半導體業的籌資相當有幫助。

台灣上市公司普遍傾向配發股票股利 (Stock dividends) 而較少配發現金股利 (cash dividends)，投資人將配發股票股利視為公司未來能持續成長的指標。因此台灣的上市公司可以透過配發股票股利的方式，將大部分賺取的資金保留在公司內，繼續進行產能或技術的投資。

- 產能與人力資源的互動

製造能力的高低，除了產能的大小之外，還受到晶圓加工良率與生產線穩定性的影響，這種生產線的管理與問題處理能力需要透過經驗的累積來養成 [65]。一座晶圓廠中具有足夠經驗的人員越充足，就越有能力達到高的良率與良好的生產穩定性。然而產能擴充會導致有經驗人力的比例被稀釋而下降，使得平均的管理效率降低，進而影響晶圓廠的良率或是生產穩定性。

- 資金，產能與國際大廠合作的關係

開發中國家常常會透過合資，技術移轉或是授權等策略向先進國家取得技術。當技術落後的半導體廠商擁有愈多的資金或產能時，就越有籌碼與國際大廠合作來提昇本身的研發水準 [66]。台灣早期由政府協助廠商向國外取得技術，當廠商發展到一定的規模之後，便開始直接與國外廠商互動，用技術移轉、授權、合資、策略聯盟等方式來提昇本身的技術水準，部分廠商到後期甚至發展到可以與國外大廠共同研發、交互授權、甚至併購國外公司來取得技術。例如在 90 年代，台積電專注於提昇其晶圓廠的生產效率，並且藉由替國外大廠代工而取得其先進的生產技術之授權。而在同一時期聯電則是與國外的無晶圓廠設計公司合作，大量建立合資設廠的合作關係來快速提昇產能與技術水準。台灣的 DRAM 製造公司大部分是透過與國外 DRAM 大廠合資的方式建立的。

結合以上特性可以得到如圖 12 所示的環路，製造能力影響產業的獲利能力，進而影響資本市場的資金流向，以及本身賺取的利潤多寡；廠商運用這些取得的資金再投入產能的擴充，形成兩個正性環路。廠商擁有的資金與產能越多，就有越多的籌碼吸引國際大廠合作，取得先進的技術來提昇研發水準與製造能力，形成另一個正性環路。當產能不斷擴充，隨著人力的增加而稀釋了有足夠經驗人力的比例，進而影響製造能力，形成一個負性環路。

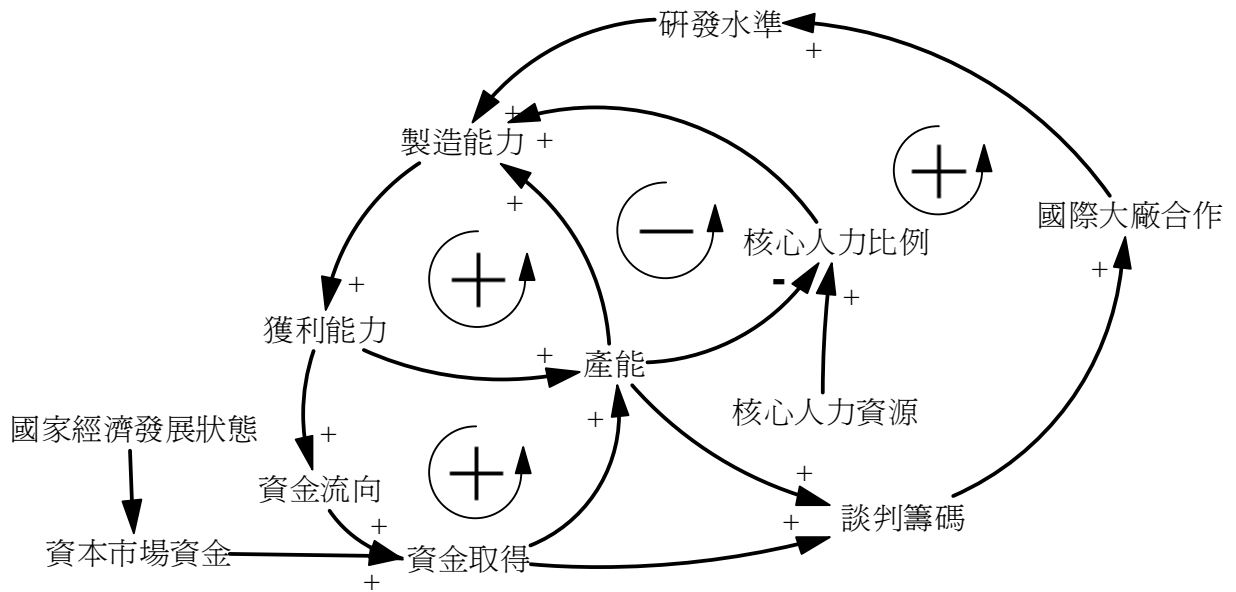


圖 12 產能資金互動環路

## 5.4 量化模式說明

### 5.4.1 動態流程圖



本研究綜合以上論述，建立了如圖 13 所示之動態流程圖，並據以建立台灣半導體產業量化模式。此量化模式乃使用 Vensim 軟體來實作，並進行模擬，其中共包含六個積量變數，55 條方程式。在模式中變數關係的量化處理上，本章就模式中幾個較重要，且不容易處理的變數，包括 IC 製造競爭力、IC 研發水準、與超額報酬三個變數與其關係，說明其量化的處理方式。



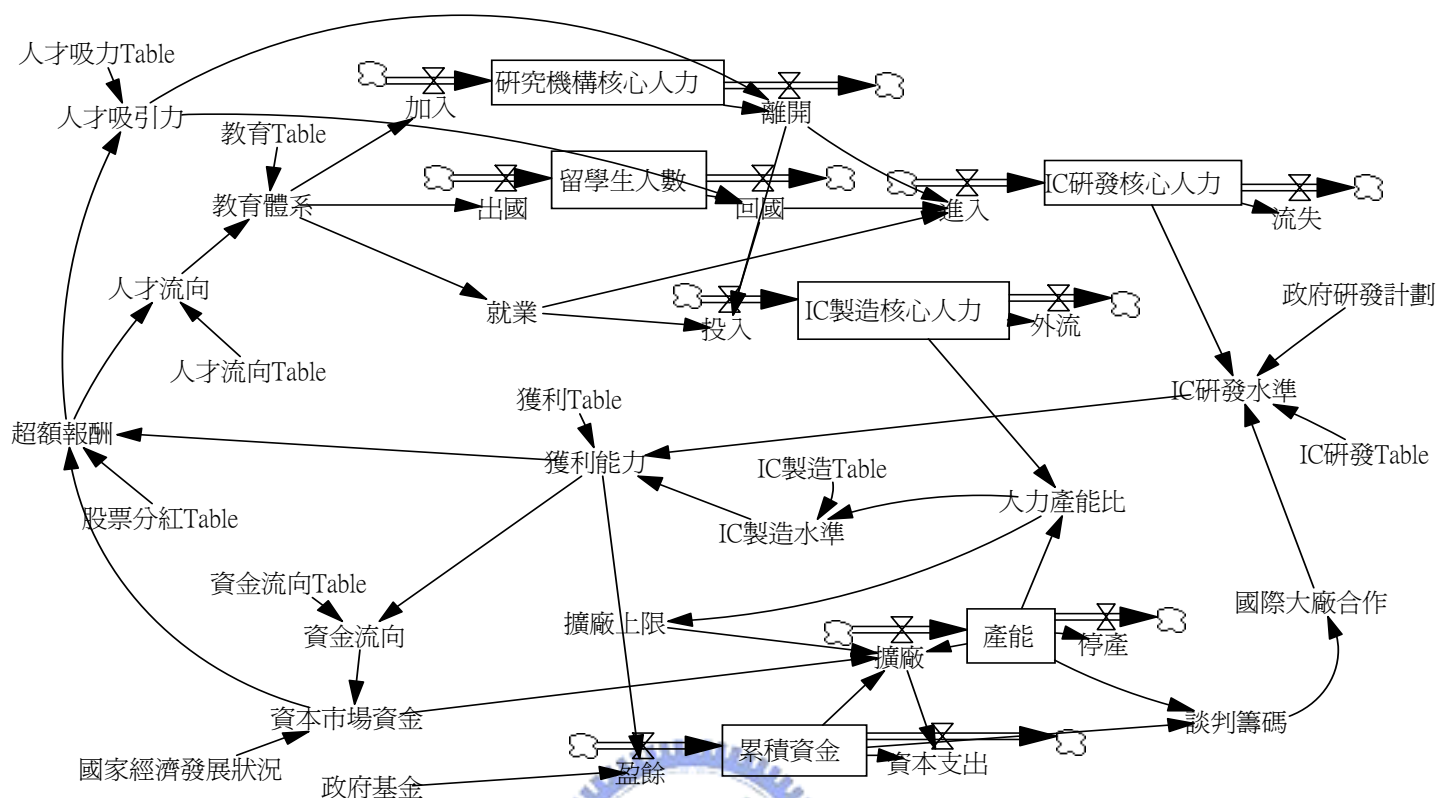


圖 13 台灣半導體發展模式動態流程圖

#### 5.4.2 模式重要變數量化說明

- IC 研發水準

此變數代表半導體製造技術的先進程度，最明顯的指標即為製程技術的精密度。此變數的衡量採用一個 0 到 1 的數值代表目前的研發水準，0 代表剛開始發展的基礎，1 代表達到世界一流水準。

製程技術除了可以透過研發人員的投入來提升之外，也可以從先進廠商授權或移轉技術來增強。在台灣的情況，台灣半導體產業的研發水準，早期主要靠政府的經費，透過公立研發機構推動如 EIDP, VLSI, ULSI 等研發計劃來提昇產業技術層次。因為研發能量最終是累積在產業研發人員的知識經驗中，模式中將官方研究計劃與國外廠商合作的投入金額，換算

成相當於核心 IC 研發人力的投入數量，產業中擁有的核心人力越多，就越有機會開發更高層次的製程技術。但是要開發越高層次技術，面臨的困難往往會需要涉及更多其他領域的知識來克服 [67]，因此研發水準與研發人員的關係應為一個 S-curve 的學習曲線。

以台灣的狀況而言，台積電在 2000 年完成 0.13 $\mu\text{m}$  logic process 的研發，並且在 2002 年發表了完整的 0.09 $\mu\text{m}$  process technology，此二者都超越了 International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) 所發布的半導體技術開發時程 [68]。為了增加模式的效度 [69]，本研究曾訪問數位業界人士，以取得其經驗與心智資料。根據本研究對一位台積電資深研發工程師之訪談，該公司有經驗的研發人員數量在 2001 年與 2002 年分別大約為 400 與 600 到 700 人左右。本模式假設當整個產業的人力資源累積情形達到台積電 2002 年的狀態時，可以達到世界一流的水準；因此以該公司歷年的 R&D 人員與其技術的發展歷程來推算，當整個產業累積的核心研發人力數量超過 4000 人時，研發水準可以到達 1，超過 400 個人才開始能較顯著的提昇研發水準；隨著技術難度的增高，需要累積與投入更多的 R&D 人員，才能繼續往更高的研發水準提昇，其關係如圖 14 所示。

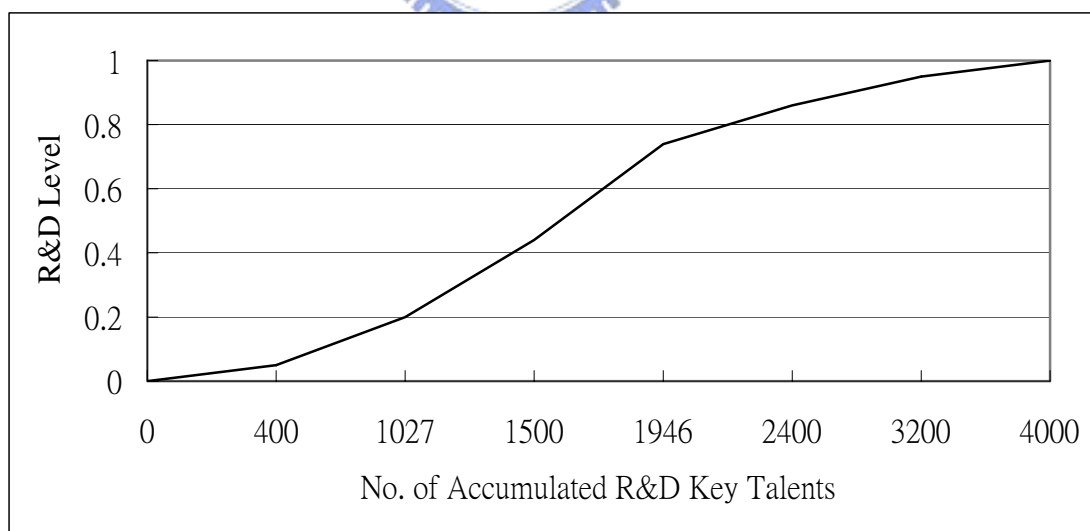


圖 14 累積人力資源與 R&D 能力之關係

## ● IC 製造競爭力

此變數代表產業在 IC 製造方面的整體能力，會受到 IC 研發水準以及生產管理能力的影響，在模式中由此二者的幾何平均數來代表 IC 製造競爭力的指標。在模式中 IC 研發水準的處理如前節所述，生產管理能力則用晶圓製造的良率來衡量。良率代表一片生產出來的晶圓，其所切割出來的晶片中，功能良好的晶片所佔的比例。各半導體廠商的實際運轉的良率資料很難取得，模式中以核心人力資源的比例來推算，一座晶圓廠中大約需要 400 名製程工程師，其中有經驗的工程師越多則越有助於維持生產線的效率。

本研究的作者曾經訪談台積電的一位資深副總，以確定該公司人力資源的狀態。根據訪談內容，製程工程師的經驗對於半導體製造廠的良率提昇非常重要，而製程工程師經驗的養成，主要靠工作中實際解決問題的經驗來累積。一個新進的製程工程師分別要經過大約兩年與五年的養成，才能成為成熟的以及資深的工程師。假設台灣半導體產業的情況與台積電相似，本模式以即以該公司的人力狀況作為量化的依據。該公司 2000 年在成熟 IC 製程的生產良率超過 95%，平均良率高達 90%；當年台積電的工程人員有 5739 人，有 7 座 8 吋晶圓廠與 2 座正在興建中的 12 吋廠，平均而言每座廠有超過 600 位工程師。因為台積電在台灣為半導體製造業的領導廠商，因此在該公司能招募到台灣最佳工程人員的假設下，本模式設定平均每座晶圓廠中的成熟工程師的數目與良率之間的非線性關係如圖 15 所示：平均每座晶圓廠的成熟工程師人數高於 600 時，良率的程度可以達到最高值 1；只要有一些有經驗的工程師，就可以達到基本的良率，但是要達到更高的生產效率要花費更多的知識經驗，因而需要更多的人力來解決，這個關係為一個凹向下的曲線。

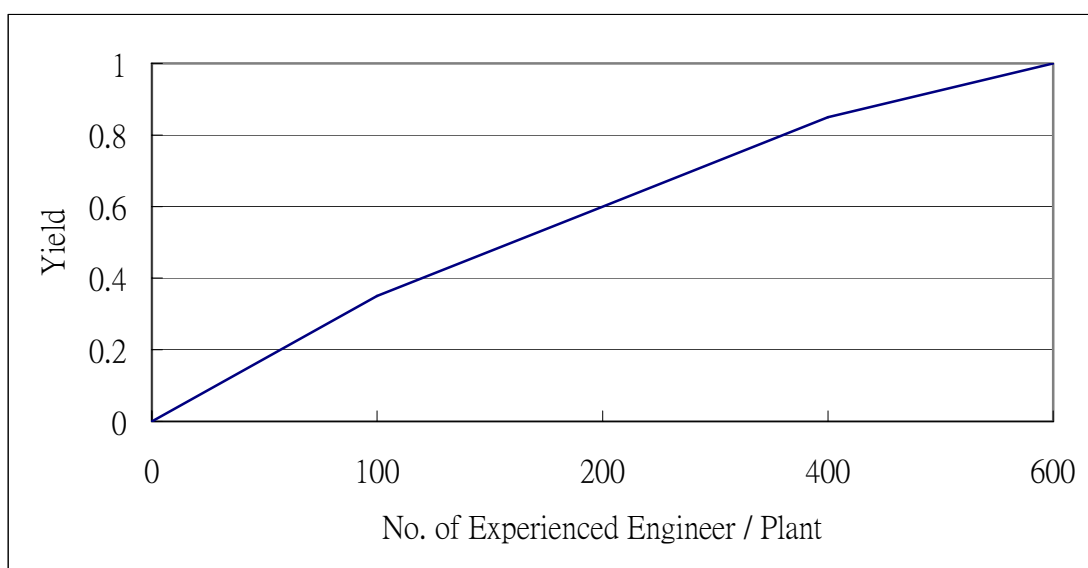


圖 15 工程師人數與良率之關係

● 超額報酬



台灣的電子業盛行員工分紅配股的獎勵制度，與stock options略有不同。廠商將當年度盈餘依照預定的比例，用股票的方式分配給員工，分配的比例是以面額來計算，一般約佔盈餘的 5% to 15%。員工領取股票的市場價值會受到該廠商股價的影響，當廠商的獲利能力越強，該廠商的股價也會越高；相對的賺取的利潤多，可供分配的盈餘就越多。以台積電為例，該公司 2000 年的營業淨利是美金 19.3 億 (Return On Equity 將近 0.25)，該公司當年提撥了大約美金一億三千六百萬的盈餘，以股票的方式分配給員工分享，這些股票的當時的市值高達美金 9 億元左右，平均每位員工可以分配到股票市值將近美金六萬元<sup>1</sup>，同年聯電的營業淨利是 15 億美金 (ROE 0.21)，而其股價為台積電的 70%，以相同的配股比例來算，平均每人所得股票市值只有台積電員工的 74%。此外，對於當年沒有盈餘的公司，則普遍沒有員工配股，或是配的数量很少。

<sup>1</sup> 參考主計處公佈之 2001 年平均匯率 33.8NT對USD\$1，參考股價為 2001/04/30 之收盤價

為了簡化起見，模式中假設股價只受獲利能力影響，也假設配股的比例固定不隨時間而變。模式設定超額報酬與獲利能力的關係如下圖所示，當獲利能力低時，投資人認同的股票本益比( Earning-Price Ratio )較低，隨著獲利能力上升，市場認同的股票價格呈現非線性的增加；在另一方面可供分配的利潤也會隨著獲利能力而變動，最後員工領到的配股報酬與獲利能力的關係為一個凹向上的曲線。

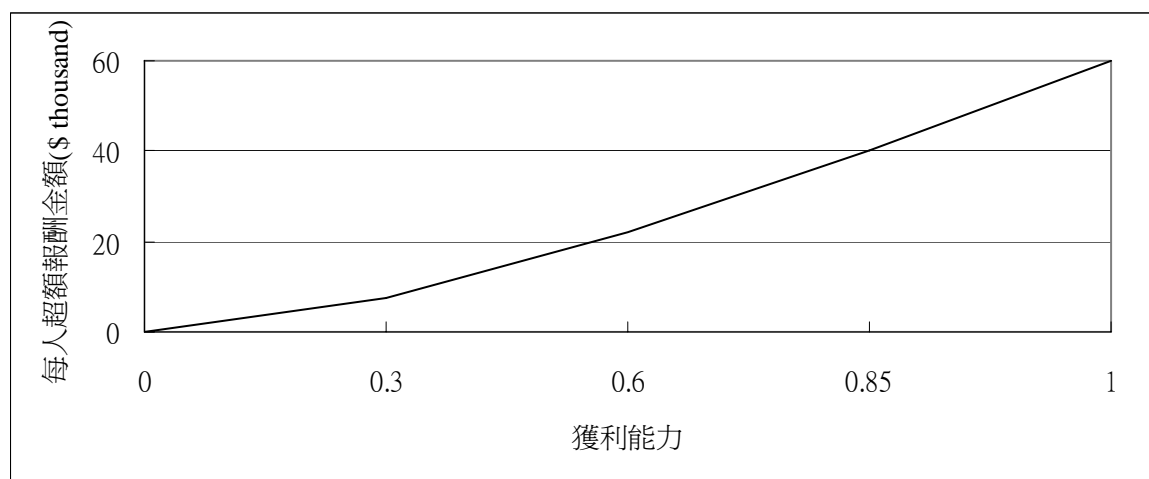


圖 16 產業獲利能力與超額報酬之關係

## 5.5 模擬結果與討論

Forrester 與 Senge 認為系統動態學模式的效度，可以從模式結構的可信度、模式展現之行為與真實世界的相似程度、以及模式對於政策分析產生的幫助與造成的影響三個層面來評估 [56]。在模式的結構部份：本研究依照業界的實際資料、實務上的狀況、輔以對產業中專業人員訪談所得的心智資料與看法，來建立模式變數間的關係與模式的結構；量化模式之參數的設定也根據產業的統計資料來設定或推估。在模式展現的行為部分：本章接下來將討論模擬的結果與歷史資料的比較。最後並嘗試透過情境模擬對未來可能出現的衝擊作評估。

模擬的結果與實際產業資料的比較如圖 17 與圖 18 所示，本章針對模擬的結果進行討論。在模擬使用之時間單位( Time bucket ) 的選擇上，由於模式中最短的延遲時間為兩年，因此不適合使用年為模擬的時間單位，模式中使用半年作為模擬時間的最小單位。

### 5.5.1 模擬結果

圖 17 顯示了產業產值、晶圓廠的數量以及從資本市場取得的資金數量三項模擬結果，與產業產值的歷史資料來比較；其中資金數量的部分為繪圖方便起見，數值經過調整。圖 18 則比較了 IC 製造能力、IC 研發能力兩個變數的模擬結果，與台灣半導體產業製程技術的實際成長資料。為了表達技術能力成長的趨勢，此實際成長資料，以相同製程技術落後國外先進國家的年數來表達。

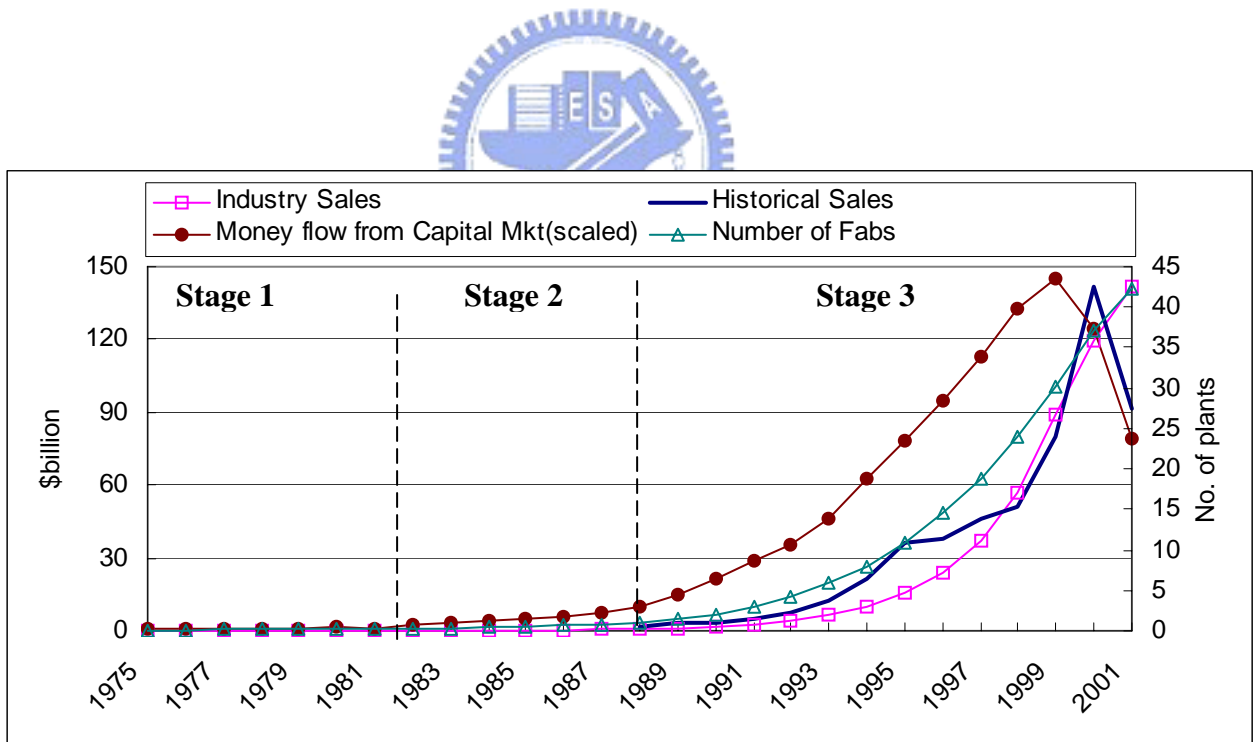


圖 17 模擬結果-產值比較

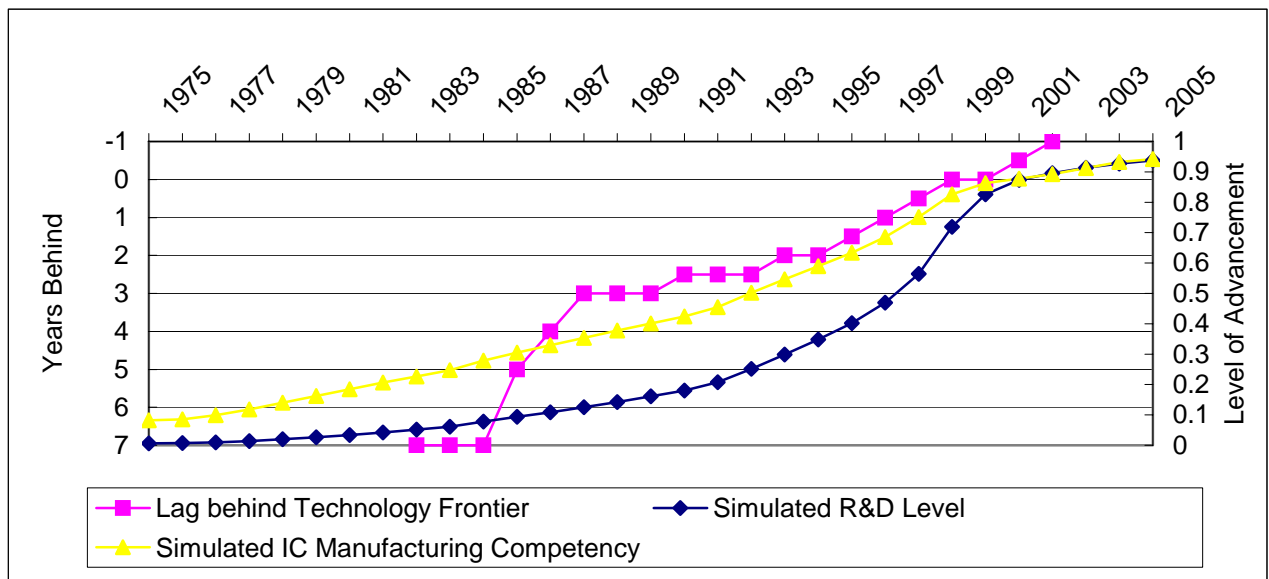


圖 18 模擬結果-技術發展比較



模擬結果大體上符合台灣半導體產業的發展趨勢，但是有幾點需要說明。

第一：世界半導體產業的景氣在 1995 年以及 2000 年開始的兩次衰退對台灣半導體產業造成了一些影響，使得歷史產值出現了一些波動，本模式並未考慮世界半導體市場的景氣週期，因此模擬結果中未出現相對的波動現象。

第二：實際產值在 2000 年出現大幅衰退，而在模擬結果中並未出現，此處的原因為模式假設台灣在產業發展的過程中面對的是一個無限的市場，只要不斷提昇競爭力就能持續擴大產業的規模。此一假設在台灣的半導體產業規模尚小時或許成立，但是到後期規模擴大以及與國際市場互動更密切時，半導體市場的景氣循環對台灣的影響就更為明顯。在後面情境模擬的部分有一個成長極限的情境，即對此一狀況進行測試。

第三：模擬結果之資本市場的資金供應在 1999 年開始下降，其原因為產業競爭力上升後提昇的獲利能力使得產業更有能力利用盈餘來應付擴充的資金需求。此部份在台灣半導體公司於 90 年代前後期於資本市場集資的規模變化似乎相符，但仍待實證研究證實。

第四：在技術能力方面（圖 18），模擬結果顯示製造管理能力之提昇先於 R&D 能力提昇，與實際情況相合，而技術的學習呈現典型的 S-Curve 學習曲線，也與文獻符合。”技術落後年數”此項數據乃以邏輯製程 (logic process) 來判斷，落後年份定義為台灣半導體產業中當時的最先進技術，與該項製程技術於先進國家出現的年份二者之差距，因為邏輯製程為台灣半導體製造最強的部分，因此若考量其他半導體製程技術，落後年數應該要更高。

### 5.5.2 台灣半導體產業的發展階段

以台灣的經驗來看，影響半導體產業發展最主要的關鍵在於其發展資源的累積結構，因為資源累積結構的不同，造成產業與環境的互動方式與廠商的生存策略也隨之改變。過去台灣半導體產業的發展隨者互動的範圍擴大，會有新的 dominate loop 產生。從模擬結果歸納出的發展階段看法，也與從理論模式整理出的三階段學習歷程大致相合。



## 第六章 情境模擬

台灣的半導體產業在經歷了 25 年的連續成長後，規模達到世界第四大。但是在 2001 年首次被國際景氣影響出現衰退，產業廠商也積極在評估往外擴張的可行性。本研究針對人力與市場的限制以及廠商競爭造成產業資源流失兩種情境進行模擬。底下分別就成長極限與產業資源外移兩種情境來模擬並討論。

### 6.1 成長極限

在成長極限的情境設計上，本研究針對人力供給極限與市場極限兩種限制，分別設計情境進行模擬與測試。各情境於模式中的參數設定，說明如下：



#### 情境一：人力供給限制

台灣的人口增加率從 70 年代的 2% 左右，到 2001 年已經降到 0.66%，又因為一些政治因素導致無法大規模引進國外人才，因此本地晶圓廠的人力供給無法無限制成長；此外當其他相關產業逐漸發展成熟時，對人才的排擠效果也會越來越強。事實上，從 1990 年後期開始，台灣的半導體公司的國際化活動更加積極，陸續有公司在美國(TSMC)，日本(UMC)與 Singapore(UMC, TSMC)設立或是併購晶圓廠，在海外發行公司債與上市的公司也日益增多；這些向外擴張活動的增加，也有可能是台灣半導體產業的發展，面臨國內資源極限的徵兆。

針對人力供給的限制，模式中設定兩種情境：第一種情境假設 2001 年後優秀人力的供給數量降為原來數量的 80%，第二種情境則假設降為 60%。模擬的結果如圖 19 所示：當人力資源的供應量依照原模式中隨台灣高等教育學校數增加而增加時，台灣半導體產業的規模到 2013 年仍然保持繼續成長，但是成長的速度會趨於緩和。在人力資源縮減的假設

下，產業的規模在達到高峰後呈現飽和甚至微幅衰退的狀態；當人力的供給降為原來的 80% 時，產業的產值很快就碰到瓶頸停止成長；當人力供給降到原來的 60% 時，產業產值甚至出現衰退的情形。由模擬結果推測人力資源的供給，會影響產業產值成長的上限；如果人才的供給數量受限，產業的成長將會遇到極限。

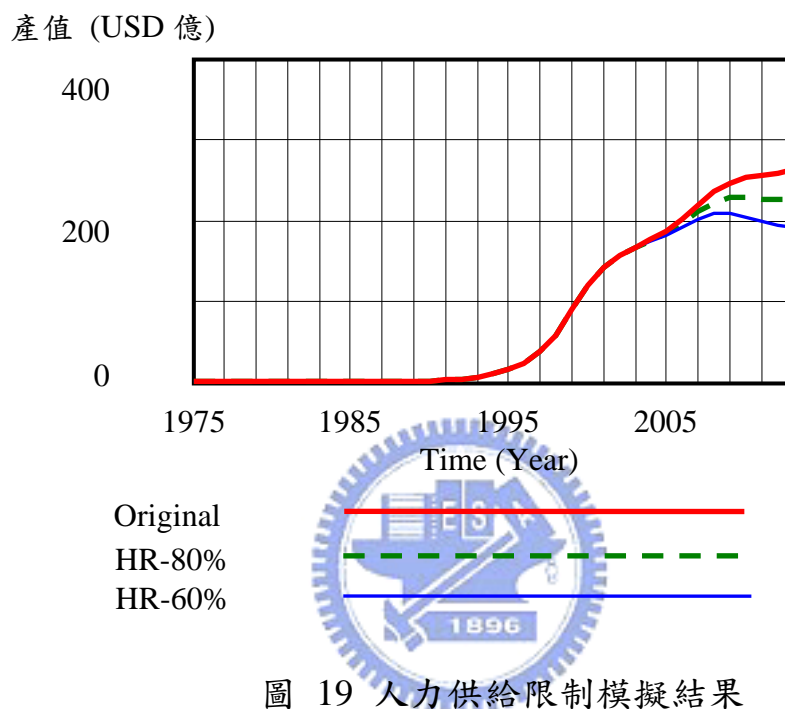


圖 19 人力供給限制模擬結果

### 情境二：市場極限

2001 世界半導體景氣衰退，台灣也受到世界景氣的影響，產值出現多年來首見的負成長，過去所面對市場不飽和的假設受到挑戰。本研究針對市場極限設定兩種情境：當總產能超過 50 座晶圓廠時，第一種情境假設為平均利潤會下降 15%。的第二種情境假設為下降 30%。

模擬的結果如圖 20，在市場極限的情境中，當產業的產能規模碰到設定的市場極限時，產業的產值有明顯的衰退，然後慢慢回復到一個穩

定的產值極限。在利潤下降 15% 的情境中，產量規模碰到市場極限之後，產值些微下降，然後繼續成長到一個極限值而保持穩定；在利潤下降 30% 的情境中，產量規模碰到市場極限之後，產值大幅滑落，然後繼續成長到一個更低的極限值而保持穩定。

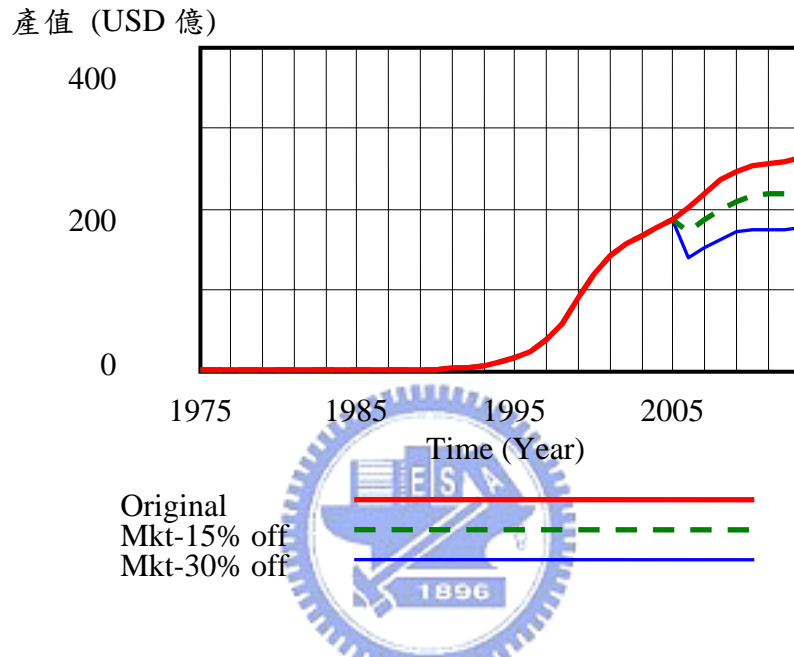


圖 20 市場極限模擬結果

## 6.2 人力資源流失

台灣半導體產業的成功吸引大量的優秀人才不斷投入，長期以來累積豐富的人力資源，這些人力資源是維持產業競爭力的重要因素。但若是產業發展呈現飽和之後，在競爭之下可能有部分的人力會選擇離開台灣到其他國家發展。此外超高標準的生產效率目標所帶來的工作壓力，也使得一些員工在員工配股制度下，累積足夠的財富後，選擇提早退休。台灣的半導體產業在 2001 年受國際景氣影響，產值出現 26.2% 的衰退；事實上，在產業面臨發展瓶頸時，有部分的人力資源外流到中國大陸，開創半導體公司。此外，台灣 TFT-LCD 產業的興起，也吸引了部分的半導體專業人才轉換跑道，到 TFT-LCD 產業發展。對於人力資源流失的情境，本研究

假設從 2002 年開始人才的流動比率，由原來的 10% 提高為 20 % 來進行模擬。

模擬結果於產業競爭力的變化如圖 21 所示，從這個 scenario 的結果可以看出，當台灣的資源無法再支持半導體產業繼續高速擴張時，產業的發展會面臨瓶頸甚至衰退。人力流失導致人力增強環路的效果反轉，IC 製造的競爭力呈現加速度的衰退。人才的累積需要經過時間長期的養成，進而維繫產業的長期競爭力；但是人才的流失卻會讓產業長期累積的能力，在短時間內快速散失。

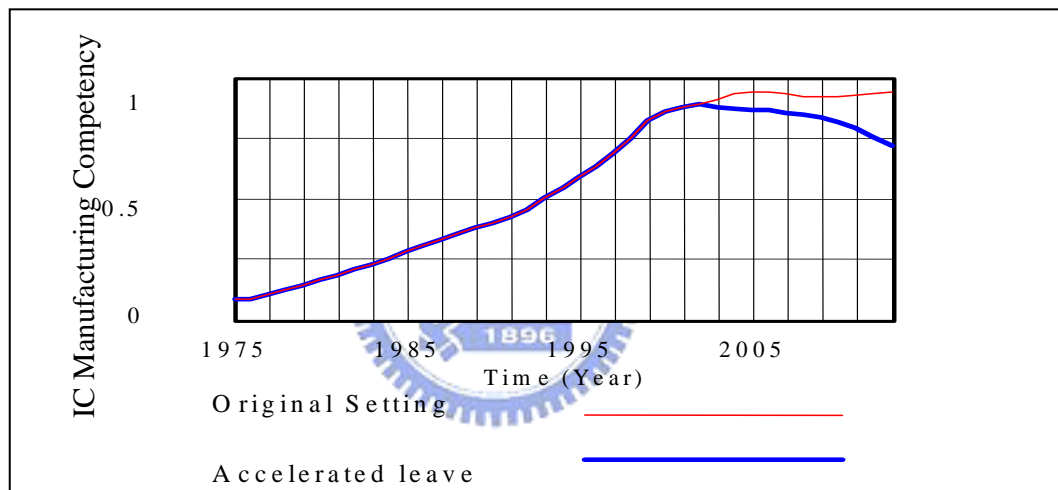


圖 21 人力資源流失模擬結果

## 第七章 討論

### 7.1 台灣半導體產業未來的發展態勢

隨著台灣在國際半導體產業上的角色日益重要，產業的廠商也面臨了進一步國際化的壓力。台灣半導體產業未來將面臨更複雜的環境挑戰。

#### 7.1.1 面對的新挑戰

台灣在未來面臨了更複雜的環境挑戰。在一方面，隨著產業競爭力的提升，對先進國家而言，台灣的半導體產業的角色已經從一開始的跟隨者，轉變成合作夥伴，再進一步在許多領域成為可能的競爭對手。因此產業的廠商也面臨了更多來自其他後進者甚至先進國家的攻擊與挑戰。舉例來說，台灣晶圓代工業的成功，不只引起其他來自如韓國、新加坡、以色列的後進者的模仿，甚至連領導廠商如 IBM 都加入戰局。尤有甚者，一些美國廠商在 1997 年控告台灣 SRAM 業者傾銷，又在 1998 年控告 DRAM 傾銷，台灣半導體廠商面臨越來越多的法律糾紛。在另一方面，台灣的產業體質也面臨轉型，隨著成本的上升，台灣的製造業也開始外移，IT 製造業與半導體後段的封裝測試業也開始遷往其他生產成本較低的國家。此外隨者筆記型電腦產業興起而開始擴張的台灣 TFT-LCD 製造業，也與半導體業開始競爭已經日顯不足的資金與人力資源。


#### 7.1.2 需要新的內部協調機制

面對新局勢的挑戰，台灣廠商不得不採取更積極的作為來因應。有些廠商透過併購國外公司或是在海外合資設廠的方式，取得最先進的技術，進入新的產品與市場。但是隨著廠商國際化程度的提高，國際環境的因素也會對既有的產業體制產生衝擊。例如說許多國外的投資人不認同台灣高科技業盛行的員工配股制度，認為該制度會傷害股東的權益。因此台灣的

廠商就必須在既有的員工獎勵制度與國外資金籌募之間作一些權衡與調整。此外台灣廠商也開始在海外設立據點，因而無可避免的要開始面對跨國公司在不同地區之間，因政治、法律、社會、與文化背景的差異而衍生的管理問題。

隨著台灣企業國際化程度的加深以及產業外移的現象的加劇，區域之間產業互動方式可能也會跟著轉變。早期的矽谷--台灣的互動型態有可能會轉變為矽谷--台灣--大陸 或是 矽谷--台灣--東南亞國家 的三角互動關係。為了促成台灣半導體產業，未來第四階段 variety 提升的學習過程，台灣的產業系統將會需要一個更全球化的世界觀與跨國性的產業協調機制，來面對與思考未來更動態更複雜的環境挑戰。

## 7.2 其他新興工業化國家的半導體產業發展



台灣半導體產業發展的學習方式是一個透過嘗試錯誤來尋找方向的演化過程，並在其間不停地探索往更大系統發展的可能性。然而不同的國家有不同的環境條件，導致產業發展的學習方式也各不相同。在幾個嘗試發展半導體的新興工業化國家中，韓國、新加坡、與台灣是其中較成功的例子。台灣的發展方式比較接近 Morgan 所提的 noxiant-avoiding [70] 方式，而韓國與新加坡則比較接近 goal-seeking 的方式。底下就從資源的累積結構來討論之間的差異性。

累積足夠的人力、資金、產能、技術等發展資源對半導體產業而言雖然重要，但並不是成功的充分條件。有不少國家曾經嘗試發展半導體產業，有些獲得不錯的成果，有些的成就則相對的不明顯。亞洲四小龍中的南韓、台灣與新加坡是較為成功的例子。從這些成功的經驗中可以觀察出一些共同點，但也存在一些差異處。本研究就資源累積結構、政府的角色以及產業廠商的策略三個部份來討論這些國家的發展經驗。

在資源的累積結構方面，在這三個國家開始發展半導體產業之前，部分需要的發展資源已經在國家工業化的過程中逐漸累積。台灣與韓國都在 50 年代選擇發展汽車工業作為工業化的目標，而新加坡則著重於建立吸引外資的基礎建設以及服務業。當這些國家要發展高科技產業時，都已經累積了某種程度的發展資源，然而這些國家的資源累積結構有相當大的差異。台灣的企業以中小企業為主，因此半導體產業需要的人力與資金是從國內的社會與經濟環境中取得，到後期才開始從國際的環境爭取資源。韓國的企業則是以財團為主，本身就有能力負擔半導體產業發展所需的資源，而新加坡則是依賴國外跨國公司的投資以及吸引區域人才的方式來取得資源。

在政府政策方面，三個國家的政府都對半導體產業有正面的幫助，但協助的方式不同。台灣政府致力於建立本土的半導體產業，因此利用各種政策促進本土產業的資源累積過程，並在早期主導將公設研發機構的研發能量移轉成民間的公司。而韓國政府則是扮演輔助者的角色，採取的策略為由政府與廠商共同承擔風險，協助財團向銀行籌募資金專注投入 DRAM 製造，新加坡政府則建立良好環境以及針對專業人才修改移民規定，以吸引跨國企業的資金、技術與人才。

在廠商的策略方面，台灣的廠商採取的策略比較接近試誤法，產業中的公司嚐試各種可能的生存模式，並且快速仿效成功的例子，再因為公司的規模普遍較小，因此也積極尋求各種可能的合作關係。韓國的大財團則採取“Goal seeking”的發展方式，專注在 DRAM 產業，持續投入大量資源購買技術，擴充產能與研發。新加坡則是由跨國公司來主導產業的發展方向。

對於其他有潛力的國家，如資金充沛的香港與人才充裕的印度，雖然這兩個國家也擁有一些產業需要的發展資源，但是缺乏適當的互動機制，如政府的政策或是廠商的策略等，將資源導入半導體產業的發展。在另一方面中國大陸在海外累積了大量的留學生，在開放政策後經濟快速發展也累積了大量的外匯，若在政府政策的適當引導下，有潛力成為下一個半導體產業發展成功的例子。

## 第八章 結論與建議

### 8.1 總結

本研究基於複雜度與產業學習的觀念，提出了一個產業發展的理論架構。從這個架構觀察台灣半導體產業的發展過程，可以發現這個發展經驗，是一個透過持續建立產業廠商與更大環境中重要資源的連結，而提升產業複雜度的過程。根據台灣產業複雜度與環境互動的變化，可以將台灣的半導體產業發展分為三個階段。在這三階段中，產業系統分別藉由與政府政策、與國內環境資源、以及與國際環境資源互動而成長。

本研究並運用系統動態學作為政策分析之方法論。運用系統動態學建構產業發展模式，來說明台灣半導體產業的資源累積結構，並進行模擬。結果顯示台灣的半導體產業的發展是一個互動層面不斷擴大的演化過程，成功累積與結合人力資源、資金、產能與技術對半導體產業的發展有重要的影響。此外本研究還對台灣半導體產業未來的兩個可能情境進行模擬，觀察可能產生的衝擊。

根據本研究的結果，對台灣半導體產業的發展提供了一些看法與理論的闡釋，認為台灣半導體產業的成功經驗，關鍵為在不同階段都能持續與成功的取得與累積各種重要的產業發展資源，並且建立適當的互動結構。因此對一個要發展半導體產業的新興工業化國家，應該要考量其產業環境中發展資源的累積結構，來決定適當的發展策略。



## 8.2 研究限制與未來研究建議

本研究探討了台灣半導體產業的發展經驗，並依之提出了一個以複雜度觀念為基礎的概念性架構，此架構適合用來理解產業與環境的互動行為，但是在面對區域發展中多角色的多邊關係時，仍有進一步思考的空間。此概念架構對於其他國家或是其他產業發展經驗的適用性，也待進一步探討。

在產業的學習部分，本研究所歸納的台灣半導體產業學習程序，並不適用於其他國家的發展過程。對於產業學習的理論建構，仍需要更多的觀察與研究。

在政策分析的部分，本研究運用系統動態學建構了一個發展模式作為政策分析的工具。系統動態學方法論於產業政策的分析上為十分有力的工具，值得繼續於其他產業或是其他應用領域進行更多的應用與研究。

## 參 考 文 獻

1. Hobday, M., Innovation in East Asia: the challenge to Japan, Edward Elgar, Vermont, 1995, p33.
2. Dahkman, C.J. et al, “Managing technological development: Lessons from the newly industrializing countries”, World Development, 15(6) pp. 759-775, 1987.
3. Mathews, J.A. and Cho, D.S., Tiger technology: the creation of semiconductor industry in East Asia, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1999.
4. Hatch, W. and Yamamura K., Asia in Japan’s embrace: Building a regional production alliances, Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
5. Borrus, M. and Zysman, J., “Globalization with borders: the rise of Wintelism as the future of global competition”, Industry and Innovation, 4(2), pp. 141-166, 1997.
6. Kojima, K., “The ‘flying geese’ model of Asian economic development: origin, theoretical extensions, and regional policy implications”, Journal of Asian Economics, 11, pp. 375–401, 2000.
7. Gereffi, G., “Commodity chains and regional divisions of labor in East Asia”, Journal of Asian Business, 12(1), 1996.
8. Krugman, P., “The myth of Asia’s miracle”, Foreign Affairs 73(6), pp. 62-78, 1994.
9. Young, A., “Lessons from the East Asian NICs: A Contrarian View”, European Economic Review, 38(3-4), pp. 964-973, 1994.
10. Bernard, M. and Ravenhill, J., “Beyond product cycles and flying geese: Regionalization, hierarchy, and the industrialization of East Asia”, World Politics, 47(2), pp. 171-209, 1995.
11. Hobday, Mike, “Innovation in East Asia:diversity and development”, Technovation, 15(2), pp. 55-63,1995.

12. Kim, L., From imitation to innovation: the dynamics of Korea's technological learning, Harvard Business Press, Boston, MA, 1997.
13. Koh, A.T., "Organization learning in successful East Asian firms: principles, practices, and prospects", Technological Forecasting and Social Change, 58, pp. 285-295, 1998.
14. Marguardt, M., Building the Learning Organization, Mcgraw Hill, New York, NY, 1996.
15. Chang, P.L. and Tsai, C.T., "Evolution of technology development strategies for Taiwan's semiconductor industry: formation of research consortia", Industry and Innovation, 7(2), pp. 185-197, 2000.
16. Wade, Robert, Governing the market: Economic theory and the role of government in East Asian industrialization, Princeton University Press, New Jersey, 1990.
17. Chu, Y.H., "The East Asian NICs: A state-led path to the developed world", In B. Stallings (ed.) Global Change, Regional Response: The New International Context of Development, Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
18. Chang, P.L. and Hsu, C.W., "The development strategies for Taiwan's semiconductor industry", IEEE Transaction on Engineering and Management, 45(4), pp. 349-356, 1998.
19. Hobday, M. et al, "Governance of technology in the electronics industry of East and South-East Asia", Technovation, 21, pp. 209-226, 2000.
20. Wang, J.C., "Cooperative research in a newly industrialized country: Taiwan", Research Policy, 23, pp. 697-711, 1994.
21. Chen, C.F. and Sewell, G., "Strategies for technological development in South Korea and Taiwan: the case of the semiconductors", Research Policy, 25, pp.759-783, 1996.
22. Hsu, C.W. and Chiang, H.C., "The government strategy for the upgrading of industrial technology in Taiwan", Technovation, 21, pp. 123-132, 2001.

23. 蘇立瑩. 也有風雨也有晴:電子所 20 週年的軌跡. 工研院電子所,新竹, 民國 83 年。
24. 新竹科學園區管理局,新竹科學園區 20 週年專刊, 新竹科學園區管理局, 新竹, 民國 92 年。網路版: <http://www.sipa.gov.tw/1/20th/index.html> Accessed 21 June 2004.
25. 半導體工業年鑑, 經濟部IT IS計劃, 新竹, 各年度 民國 80-92 年。
26. Churchman, C.W., The systems approach, Dell Publishing, NY, 1981.
27. Ashby, W.R., An introduction to cybernetics, Chapman & Hall and University Paperbacks, London, 1964.
28. Beer, S., The heart of enterprise, John Wiley & Sons, NY, 1979.
29. Miller, J.G., Living systems, McGraw Hill, New York, 1978.
30. Chen, J.H. and Jan, T.S., “A variety increasing view to the development of the semiconductor industry in Taiwan”, Technological Forecasting and Social Change, Forthcoming.
31. Chen, J.H. and Jan, T.S., “A system dynamics model of the semiconductor industry development in Taiwan”, working paper.
32. Ackoff, R.L., “Towards a system of systems concepts”, Management Science, 17(11), pp. 661-671, 1971
33. Forrester, J.W., Industrial Dynamics, MIT Press: Cambridge, MA, 1961.
34. Coyle, R.G., System Dynamics Modeling-a practical approach, Chapman & Hall: London, UK, 1996.
35. Morecroft, J. and Sterman, J.D., (eds), Modeling for learning organization, Productivity Press: Portland, Oregon, 1994.
36. Roberts, E.B. (eds), Managerial applications of system dynamics, Productivity Press, Cambridge, MA, 1978.
37. Ford, A., “System dynamics and the electronic power industry”, System Dynamics Review 13(1), pp 57-85, 1997.
38. Coyle, R.G. and Morecroft, J. (eds). Special issue: System dynamics for

- policy, strategy and management education. Journal of Operational Research Society, 50(4), 1999.
39. Berends, P.A.J. and Romme, A.G.L., “Cyclicalities of capital-intensive industries: a system dynamics simulation study of the paper industry”, Omega-International Journal of Management Science 29(6), pp. 543-552, 2001.
40. Jan, T.S. and Hsiao C.T., “A four-role model of the automotive industry development in developing countries: a case in Taiwan”, Journal of Operational Research Society.(Forthcoming).
41. Coyle, R.G., System Dynamics Modeling-a practical approach, Chapman & Hall, London, UK, 1996.
42. 謝長宏, 系統動態學-理論、方法、與實用, 中興管理顧問公司, 台北, 民國 69 年。
43. Revans, R., Action learning: new techniques for management, Blond and Brigges, London, UK. 1980.
44. Miles, G. et al, “Industry variety and performance”, Strategic Management Journal, 14, pp. 163-177, 1993.
45. Jovanovic, B. and Rousseau, P.L., “Moore's law and learning by doing”, Review of Economic. Dynamics, 5(2), pp. 346-375, 2002.
46. Ackoff, R.L., “Systems thinking and thinking systems”, System Dynamics Review, 10(2-3), pp. 175-188, 1994.
47. Huff, A.S., “Industry influences on strategy reformulation”, Strategic Management Journal, 3, pp. 119-131, 1982.
48. Esposito, E., “Strategic alliances and internationalisation in the aircraft manufacturing industry”, Technological Forecasting and Social Change, 71, pp. 443-468, 2004.
49. Olleros, F. and Macdonald, R.J., “Strategic alliances: managing complementarity to capitalize on emerging technologies”, Technovation, 7, pp. 155-176, 1988.

50. Kash, D.E. and Rycroft, R., “Emerging patterns of complex technological innovation”, Technological Forecasting and Social Change, 69, pp. 581–606, 2002.
51. 國家統計資料庫 <<telnet://rs570.dgbas.gov.tw>>, 行政院主計處
52. Yu, P.L. and ChiangLin., C.Y., “Five life experiences that shape Taiwan's Character”, in Made By Taiwan, Chang, C.Y. and Yu, P.L., eds., World Scientific, Singapore, pp. 347-377, 2001.
53. Bureau of International Culture and Education, Statistics of Taiwan overseas students, Ministry of Education, Taiwan, R.O.C. (In Chinese)
54. 陳建宏等, 「建構台灣半導體產業動態模式-以晶圓代工業為例」, 國立交通大學, 碩士論文, 民國 87 年。
55. Barlas, Y. and Carpenter, S., “Philosophical root of Model validation: Two paradigms”, System Dynamics Review, 6(2), pp. 148-166, 1990..
56. Forrester, J.W. and Senge, P.M., “Tests for building confidence in system dynamics models”, TIMS Studies in the Management Sciences, 14, pp. 209-228, 1980.
57. Clemens, J.T., “Silicon microelectronics technology”, Bell Labs Technology Journal, 2(4), pp.76-102, 1997.
58. Appleyard, M.M. and Brown, C., “Employment practices and semiconductor manufacturing performance”, Industry Relation, 40(3), pp.436-471, 2001.
59. von Hippel, E. and Tyre, M.J., “How learning by doing is done: problem identification in novel process equipment”, Research Policy, 24(1), pp.1-12, 1995.
60. SICAS capacity and utilization rates. Semiconductor International capacity statistics Aug. 2002. The Semiconductor Industry Association: CA, 2002.
61. Xue, L., “Promoting industrial R&D and high-tech development through science parks: The Taiwan experience and its implications for developing

- countries”, International Journal of Technology Management, 13(7-8), pp.744-761, 1997.
62. Fwu, B.J. and Wang, H.H., “The social status of teachers in Taiwan”, Comparative Education 38(2), pp.211-224, 2002.
63. 洪志洋等. 工研院對我國科技管理人才知供給與貢獻-以離職員工為例 (88IERC-1). 工研院:新竹, 民國 87 年。
64. Chen, J.F., The employee profit-sharing and stock-ownership plans in the Republic of China, Chinese Culture University Publisher: Taiwan, 1982.
65. Chung, S.G., “The learning curve and the yield factor: the case of Korea's semiconductor industry”. Applied Economics, 33(4), pp.473-483, 2001.
66. Park, S.H. et al. “Firm resources as moderators of the relationship between market growth and strategic alliances in semiconductor start-ups”, Academic Management Journal ,45(3), pp.527-545, 2002.
67. Lieberman, M., “The learning curve, diffusion, and competitive strategy”, Strategic Management Journal, 8, pp.441-452, 1987.
68. International technology roadmap for semiconductors. The Semiconductor Industry Association: CA, 2001.
69. Andersen, D.F., et al. “Group model building: adding more science to the craft”, System Dynamics Review, 13(2), pp.187-201, 1997.
70. Morgan, G., “Rethinking corporate strategy: a cybernetic perspective”. Human Relation ,36(4), pp.345-360, 1983.

附錄一 主要公司名稱對照表

中文名稱	英文名稱
大王電子公司 (大王)	Advanced Devices Technology Inc. (ADT)
日月光半導體公司 (日月光)	Advanced Semiconductor Engineering Corp. (ASE)
揚智科技公司 (揚智)	ALI Corp. (ALI)
旺宏電子公司 (旺宏)	Macronix International Corp. (MXIC)
聯發科技公司 (聯發)	MEDIATEK Inc.
台灣茂矽電子公司 (茂矽)	Mosel Vitelic Inc. (Mosel Vitelic)
南亞科技公司 (南亞)	NANYA Technology Corp. (NANYA)
力晶半導體公司 (力晶)	Powerchip Semiconductor Corp. (Powerchip)
矽統科技公司 (矽統)	Silicon Integrated Systems Corp. (SiS)
凌陽科技公司 (凌陽)	Sunplus Technology Corp. (Sunplus)
台灣光罩公司 (台灣光罩)	Taiwan Mask Corp. (TMC)
台灣積體電路製造公司 (台積電)	Taiwan Semiconductor Manufacturing Corp. (TSMC)
聯華電子公司 (聯電)	United Microelectronics Corp. (UMC)
世界先進積體電路公司 (世界先進)	Vanguard International Semiconductor Corp. (VIS)
威盛電子公司 (威盛)	VIA Technologies Inc. (VIA)
華邦電子公司 (華邦)	Winbond Electronics Corp. (Winbond)



## 附錄二 Model Equations from Vensim

Profitability= Profatbility Table(SQRT(IC Fabrication Competency\*min(RD Competency,1)))

IC Fabrication Competency= Competency Table(min(HR Fabs Ratio,600))

資本市場供應資金量= max(Expansion\*晶圓廠造價-Expenditure,0)

employ= Working+IF THEN ELSE(Time<=1989, Come Back\*1+quit\*1 , 0)

leave= IC fabrication Manpower\*0.1

quit= RD Institution HR\*min((0.05+Attractiveness\*0.1),1)

IC Industry Sales= Number of Fabs\*晶圓廠造價\*Profitability\*1.35

Expenditure=  
min(Accumulated Capital,Expansion\*晶圓廠造價+(International Cooperation+RD Manpower)\ \*0.0005)

~  
~ |

擴廠上限= max((HR Fabs Ratio/400-1)\*Number of Fabs,0)

Competency  
Table([(0,0)-(600,1)],(0,0.001),(100,0.35),(200,0.6),(400,0.85),(600,1))

Expansion=delay1(min(max(HR Fabs Ratio/400-1,0)\*Number of Fabs,(Accumulated Capital+Capital Market Funding)/晶圓廠造價),2)

Capital Mkt Endorsement= EndorsementTable(Profitability)/1.95

Capital Market Funding= delay1(Ecomonic Development Status(Time),1)\*Capital Mkt Endorsement

Profit= Government Funds+Profitability\*Number of Fabs\*晶圓廠造價\*0.1

Excess Compensation=

Compensation Table(min(Profitability,1))\*IF THEN ELSE(Capital Market Funding>=2, 1 , \ 0.85)

Profatbility Table(

[(0,0)-(1,1.5)],(0,0),(0.277946,0.138158),(0.586103,0.447368),(0.752266,0.763158),(0.873112,1.06579),(1,1.5))

Bargaining Chips=(Number of Fabs\*晶圓廠造價/2+Accumulated Capital/20)

Accumulated Capital= INTEG (+Profit-Expenditure,0)

IC RD Table(

[(0,0)-(1000,1)],(0,0),(114.804,0.0614035),(256.798,0.192982),(374.622,0.442982),(486.405\ 0.741228),(574.018,0.855263),(800,0.95614),(1000,1))

RD Competency= IC RD Table(min((Government Research Projects+International Cooperation+ \ RD Manpower\*1)/4,1000))

Obsolete= Number of Fabs/7

International Cooperation=min(Bargaining Chips,200)

Government Research Projects=delay3(IF THEN ELSE(Time<1983 :AND: Time>=1975, 50 , 0 ),5)

leakage= RD Manpower\*0.1

HR Fabs Ratio= IC fabrication Manpower/Number of Fabs

晶圓廠造價= 2

Working= delay1(min(Local Education System\*(Graduates Propensity\*0.2+0.32),8000),2)

Graduates Propensity= Propensity Table(Excess Compensation)

Propensity Table(

[(0,0)-(60,1)],(0,0.05),(8.88218,0.0789474),(20.8459,0.324561),(30.0906,0.675439),(39.8792\,0.846491),(50,0.934211),(60,1))  
 ~ 超額報酬的影響\!!\!

Enroll= delay3(max(Local Education System\*(0.05-Graduates Propensity\*0.02),600),2)

Go Abroad=delay3(Local Education System\*(0.15-Graduates Propensity\*0.1),2)

Local Education System= delay1i( EducationTable(Time+4)/2,2,5000)

Increase= Come Back\*0.12+quit\*0.45+delay3(Working\*0.001,2)

EducationTable(  
 [(1965,0)-(2020,20000)],(1965,5263.16),(1983,5316),(1985,6053),(1987,6415),(1989,6882\  
 ),(1991,8054),(1993,10169),(1995,11456),(1997,12256),(1999,13339),(2000.45,13639),\  
 2019.83,15877.2))  
 ~ 理工科系畢\!!\!



Attractiveness=  
 Attractiveness Table(Excess Compensation)

EndorsementTable([(0,0)-(1.5,1)],(0,0.01),(0.190332,0.105263),(0.339879,0.412281),\  
 (0.484894,0.649123),(0.738671,0.877193),(1.15106,0.964912),(1.5,1))

Economic Development Status(  
 [(1965,0)-(2020,55)],(1965,0),(1970,1.04),(1972,1.93),(1974,3.49),(1976,4.49),(1978,\  
 6.92),(1980,10.01),(1982,10.32),(1984,14.97),(1986,23),(1988,32.63),(1990.32,34.01)\  
 ,(1992,43.99),(1994,47.75),(1996,52.31),(1997.91,47.61),(2000,51.72),(2001,44.22),\  
 2020,48.7281))

RD Institution HR= INTEG (Enroll-quit, 100)

Come Back=Oversea HR\*(0.001+Attractiveness/100)

Oversea HR= INTEG (Go Abroad-Come Back, 0)

RD Manpower= INTEG (Increase-leakage, 0)

IC fabrication Manpower= INTEG (employ-leave, 1000)

Compensation Table(

[(0,0)-(1,60)],(0,0),(0.280967,7.89474),(0.6,22),(0.85,40),(1,60))

~ 依照獲利能力查出換算資金對超額報酬的比例\!\\\!

Government Funds=delay3(STEP(0.5, 1973)-STEP(0.5, 1974),4)

Attractiveness

Table([(0,0)-(60,1)],(0,0.05),(12.6888,0.149123),(25.3776,0.372807),\  
(35.3474,0.719298),(50,0.934211),(60,1))

Number of Fabs= INTEG ( +Expansion-Obsolete,0.1)

FINAL TIME = 2015

INITIAL TIME = 1975

SAVEPER = 1

