

製造彈性對生產績效與生產成本之 影響：實證研究

尤隨樺*

國立中正大學

摘要

本研究以一家晶圓代工廠商為研究對象，蒐集六個月的機台別與生產批量別資料，實證檢視製造彈性對生產品質、生產週期時間、設備生產力與生產成本之影響。不同於過去研究，以外部彈性（例如：產品組合彈性、新產品彈性等）為研究重心，本研究以內部彈性為研究範疇，涵蓋機器彈性與路徑彈性兩類彈性型態。實證分析結果顯示：在晶圓代工的製造環境中，路徑彈性不僅有助於生產週期時間的縮短，也對品質績效具有顯著的正向影響，而機器彈性雖有助於設備生產力的提昇，但對生產品質則有顯著的負向影響；在財務績效方面，本研究則發現機器彈性與路徑彈性均有助於生產成本的降低。此外，本研究並發現：製造彈性與設備生產力、生產週期時間及生產成本之間存在非線性關係，並呈現報酬遞減的趨勢，隱含：極大化製造彈性並非最佳，有限的彈性水準即可達到最大的彈性利益。

關鍵詞：路徑彈性、機器彈性、生產績效、晶圓代工產業

* 作者感謝兩位匿名評審之細心指正與建議，同時感謝吳安妮教授、杜榮瑞教授、林祖嘉教授、王文英教授、陳文華教授、郭瑞祥教授與張世佳教授所給予之諸多寶貴意見，此外，並特別感謝個案公司在研究期間於實地訪談及資料提供上所給予之各項協助。

收稿日：2005 年 11 月

接受日：2006 年 6 月

二審後接受

Impact of Manufacturing Flexibility on Production Performance and Production Costs: An Empirical Examination

Sui-Hua Yu

National Chung Cheng University

Abstract

This study examines the impact of manufacturing flexibility on production quality, cycle time, equipment productivity and production costs within the context of semiconductor wafer fabrication facilities. To fill the gap in existing research, I attempt to study internal flexibility, rather than external flexibility (e.g., product flexibility, mix flexibility). Two types of internal flexibility are selected, which are machine flexibility and routing flexibility. Using six-month machine-level production data and lot-level data from one semiconductor wafer fabrication company, this study investigates the impact of manufacturing flexibility on production performance and production costs. Empirical results suggest that greater routing flexibility has a significant positive impact on quality and time performance. As for machine flexibility, it has a significant positive impact on equipment productivity, but has a significant negative impact on production quality. Moreover, I find support for the hypotheses that routing flexibility is negatively associated with production costs and that machine flexibility is helpful in improving cost performance. Besides, the two flexibility types not only directly impact production cost but also indirectly affect production cost through time performance. Furthermore, I also find a non-linear relation between manufacturing flexibility and equipment productivity, cycle time, and production cost. This implies that maximizing the level of manufacturing flexibility is not necessarily optimal for firms. Limiting the flexibility level may actually have the greatest benefit.

Keywords: *Routing flexibility, Machine flexibility, Production performance, Semiconductor Wafer fabrication industry.*

Submitted November 2005

Accepted June 2006

After 2 rounds of review

壹、前言

由於競爭環境的改變，製造彈性近年來日益受到重視，例如：時間基礎競爭(time-based competition)、產品多樣化(product variety)與產品生命週期縮短等因素，增加了現代製造環境的不確定性，而製造彈性被認為是因應的有效機制，有助於組織在多變的環境中獲致競爭優勢，因此成為廠商努力的目標。然而，相較於實務上對彈性議題的關注，學術上對製造彈性之成本與效益的瞭解仍然十分有限¹。

依據生產管理文獻，所謂製造彈性，係指製造系統吸收環境不確定性的能力，也是一種因應改變的能力(Gerwin 1993; Upton 1994)，換言之，當廠商的製造彈性愈高時，愈有能力處理來自內部與外部環境的不確定性及未預期變動，例如：廠商可以較快速因應顧客需求數量的改變、可以迅速轉換生產多種不同產品、也可以有效率地處理製造過程中所發生的當機或原物料瑕疵的突發事件，因此，愈有能力較快速地提供高品質的顧客服務，對銷貨收入及公司獲利具有正向影響(Upton 1995; Anand and Ward 2004; Chandra, Everson and Grabis 2005)。

然而，提昇製造彈性也不是沒有成本的，例如：要具有較高的製造彈性，廠商可能需要購買較具彈性的生產設備、需要訓練員工可執行多種不同工作、會有較複雜的生產排程等，因而可能導致生產成本的提高或品質、生產力績效的降低(De Toni and Tochia 1998)，故而，對廠商而言，要能決定最佳的彈性水準，首須能釐清製造彈性與各項績效衡量之間的關係。

回顧製造彈性文獻，儘管有許多研究分析製造彈性對績效的影響，但大部分著重於探討製造彈性與銷貨收入及公司獲利等財務績效之間的關係（例如：Swamidass and Newell 1987；Vickery, Droge and Marklan 1997；Chang, Yang, Cheng and Sheu 2003；Llorens, Molina and Verdu 2005），迄今，吾人對於製造彈性與生產績效間之關係的了解仍然十分有限，例如：彈性與品質、時間、成本績效之間是否存在取捨關係？不同彈性型態對生產績效的影響是否相同？製造彈性與時間或成本績效之間是否存在非線性關係？等均極少研究探討之(Vokurka and O’Leary-Kelly 2000)。因此，為彌補既存文獻的不足，本研究著眼於二項研究重心：一是實證檢視製造彈性對成本、品質、時間與設備生產力等四項績效衡量之影響；二是分別從財務面與非財務面的角度探討不同彈性型態之成本效益，並檢測製造彈性與生產績效及生產成本間之非線性關係。

¹ Ittner and Larcker (2001) 針對 148 家公司進行調查，瞭解管理者如何形成組織策略，結果發現：製造彈性是決定企業組織策略的四項關鍵因素之一，但他們回顧過去二十年的管理會計實證文獻，卻發現該項因素在管理會計文獻中一直被忽略，尤其是在策略衡量以及成本與價值動因的探討上。

關於研究對象的選擇, 具備國際競爭力的台灣半導體產業則提供了最佳的研究環境, 具體而言, 國內的半導體製造業在全球 IC 供應鏈中向來佔有舉足輕重的地位, 以 2004 年為例, 台灣的半導體製造業產值達到 6,239 億新台幣, 其中, 晶圓代工產值全球佔有率約達七成, 居世界第一, 無疑地, 採行產品多樣化策略, 具有複雜的生產流程, 且面臨多變的國際市場, 而仍能維持競爭優勢於不墜的台灣半導體製造廠商, 其製造彈性能力值得深入探究之。

以下之內容依序為: 第二部分回顧製造彈性之相關文獻, 並發展本研究之實證假說; 第三部分描述個案公司現況; 第四部分說明實證模型之設計與變數衡量, 同時介紹本研究之樣本選取與資料分析方法; 最後兩部分則分別說明實證結果與研究結論。

貳、文獻探討與假說發展

一、製造彈性之相關文獻回顧

所謂製造彈性, 一般係指系統吸收環境不確定性的能力, 也是一種因應改變的能力(Gustavsson 1984; Koste and Malhotra 1999)。Upton (1994)則明確地定義彈性是指一種可以極少的時間、努力、成本或績效上的損失來因應改變的能力。依據生產管理的觀點, 組織之所以需要製造彈性的原因, 主要來自於(1)產品與流程多樣性, 以及(2)環境不確定性(Slack 1983; D'Souza 2002)。為了因應此多樣性及不確定性, 衍生出了多種彈性的觀念, 各類彈性型態可再進一步區分為內部彈性與外部彈性, 所謂外部彈性, 亦稱彈性能力(flexibility capability), 係指與顧客需求及市場改變直接攸關的彈性能力, 例如: 新產品彈性、數量彈性、產品組合彈性等; 所謂內部彈性, 又稱彈性競爭力(flexibility competence), 則是指因應來自於製造資源與管理之不確定性, 而與市場間接相關的彈性能力, 例如: 機器彈性、路徑彈性等(Chen, Clinton and Chung 1992; Upton 1995; Zhang, Vonderembse and Lim 2003)。

然而, 儘管大部分文獻均認同製造彈性的提升可因應來自於內外部環境的不確定性, 因而有助於組織績效的提升(例如: Upton 1994; Jordan and Graves 1995; De Toni and Tochia 1998), 但亦有研究指出: 提昇製造彈性可能增加設備投資成本與提高營運複雜度, 繼而導致營運成本的上升, 例如: 儘管路徑彈性可平衡工作負荷, 降低未預期事件的影響, 提升產出率, 但路徑彈性也會需要較高的工具與機台閒置, 因此會產生較高的資本支出, 此外, 路徑彈性愈高, 生產排程的複雜度也愈高, 因此容易造成營運成本的提高(Sheikhzadeh, Benjaafar and Gupta 1998); 至於增加機器彈性則可能需要購買多功能機台, 而非單功機台, 要降低啟動時間需要投資於數位控制機器、自動化管理與運送系

統(Sethi and Sethi 1990)，同時處理較多種類的產品也會有較頻繁的機器啟動與物料處理工作量，因而增加營運成本(Sheikhzadeh et al. 1998)。

因此，關於製造彈性與績效之間的關係，一直有許多實證研究探討之，例如：Vickery et al. (1997) 實證探討產品彈性與流程彈性對銷貨報酬率與投資報酬率等六項公司績效衡量的影響，結果發現：製造彈性對財務績效具有顯著的正向影響；Chang et al. (2003)則以 87 家中小企業為研究對象，實證檢視新產品彈性、數量彈性與產品組合彈性等三項彈性型態與公司策略間之配適對事業績效之影響，結果發現彈性與策略之間的相容有助於提升公司獲利與銷售成長率；Anand and Ward (2004)針對 101 家製造公司進行問卷調查，分析環境動態性(environmental dynamism)與製造彈性之間的相容程度對公司績效之影響，結果發現二者的交互作用對銷貨成長率與市場佔有率具有顯著的正向影響。然而，這類研究均以外部彈性的探討為主，同時多著重於分析製造彈性與財務績效之間的關係。

其中，僅有 Suarez, Cusumano and Fine (1996)是少數涉及生產績效之分析者，以個別電路板裝配廠為分析單位，作者檢視產品組合彈性、新產品彈性與數量彈性等三項彈性型態與品質及成本之間的相關性。然而，由於該研究僅用相關分析(correlation analysis)進行測試，並無法檢驗製造彈性對品質及成本績效之影響以及三者間之關聯性，此外，該研究主要係以外部彈性為研究範疇，並未檢視與生產績效及成本最直接相關的內部彈性，因此，迄今製造彈性文獻仍缺乏關於製造彈性如何影響生產績效與生產成本的實證證據。

另一方面，既存實證文獻亦很少針對製造彈性與績效間之函數關係進行深入探討，但根據分析性研究，製造彈性與績效之間可能存在非線性關係，例如：Benjaafar (1994)及 Benjaafar and Gupta (1998)透過數學分析，評估路徑彈性對生產週期時間及存貨水準的影響，結果發現：當製造彈性愈高時，個別批量的生產週期時間愈短，但是彈性對生產績效的影響呈現規模遞減的現象；Jordan and Graves (1995)及 Chandra et al. (2005)亦有類似的發現，作者以同一廠房中生產不同產品的能力定義製造彈性，繼而分析製造彈性對銷貨收入的影響，結果發現：隨著彈性水準的提升，銷貨收入增加的幅度會隨之遞減。

彙總前述文獻回顧，吾人可發現：既存製造彈性研究存在幾項限制：第一，多數研究均著重於檢視製造彈性對財務績效的影響，而較少涉及品質、時間等生產績效之分析；第二，大部分實證研究在探討彈性與績效之間的關係時，均假設二者間的關係為線性，而忽略彈性與績效之間可能存在非線性關係的可能性；第三，大部分研究均集中於探討外部彈性，例如：新產品彈性、數量彈性，而極少探討內部彈性，例如：機器彈性、路徑彈性。因此，為彌補既存研究的空缺，本研究乃以內部彈性為範疇，實證檢視製造彈性對生產品質、生產週期

時間、設備生產力及生產成本之影響，同時檢測彈性與各項績效衡量間之非線性關係。至於製造彈性型態的選擇，則依據半導體製造環境的特性，以製造彈性文獻中最基本的兩種彈性型態——機器彈性與路徑彈性為研究標的。以下詳細說明與這兩類彈性型態有關之實證假說。

二、路徑彈性對生產績效與生產成本之影響

路徑彈性(routing flexibility)是指一製造系統可有效地採用不同路徑生產特定生產批量的能力(Gupta and Buzacott 1989; Sethi and Sethi 1990; Gerwin 1993; Upton 1995; Petroni and Bevilacqua 2002)，或者是每一項作業(operation)可以在超過一部以上的機台上處理時謂之(Browne, Dubois, Rathmill, Sethi and Stecke 1984; Koste and Malhotra 1999)。一般而言，路徑彈性可藉由持有多種相同的機台、多功能的機台及一多變的物料處理系統而提升，由於路徑彈性允許多種生產路徑，可平衡機器的負荷量，允許較有效率的生產排程，因此有助於在發生設備當機、原物料瑕疵及原物料延遲運送時使系統維持持續生產而不中斷，同時也有助於處理緊急訂單插入等突發事件(Chen et al. 1992; Tsubone and Horikawa 1999; Zhang et al. 2003)。

關於路徑彈性對生產週期時間的影響，有數篇分析性研究探討之，例如：Benjaafar (1994, 1995)以製造系統下，個別生產批量可選擇的工作站數目定義路徑彈性，據以評估其對生產週期時間的影響。透過數學分析，作者發現：生產週期時間是路徑彈性的嚴格遞減函數，但彈性對生產績效的影響呈現規模報酬遞減的現象。

採用模擬分析，Tsubone and Horikawa (1999)首先建構以下生產情境：假設在一訂單生產(make-to-order)的環境中，製造系統是由 M 部機台所組成，每一部均負責處理特定的作業，生產批量到達各工作站的時間間隔符合指數分配，處理時間符合 Erlang 分配，當先後處理不同產品族群的生產批量時需要額外的啟動時間，假設啟動時間為固定值，路徑彈性是以個別生產批量可以選擇的生產路徑數目決定，結果發現：與預期一致，當存在機器當機、處理時間變異、啟動時間等環境不確定性下，平均每一生產批量的生產週期時間會隨著彈性的增加而遞減。

Sheikhzadeh et al. (1998)則指出：增加製造資源可處理的範圍，可增加個別產品的路徑彈性，而路徑彈性可以減少製造延遲及降低在製品存貨。因此，吾人可推論生產週期時間會隨著路徑彈性的增加而降低。據此，可提出假說一：

假說一：給定其他條件不變，生產週期時間會隨路徑彈性的增加而降低。

除了等候時間外，既有文獻並指出路徑彈性的利益尚可能來自於品質的提昇，例如：Dopuch and Gupta (1994)採用一家飲料公司的實地資料，檢視生產變動頻率對良率的影響，結果發現：生產流程變動次數的下降，可減少瑕疵品的比例，對良率有正面影響，Zhang et al. (2003)也指出路徑彈性有助於因應機器當機與系統的過度負荷，裨益一致性品質的提升。依據半導體的生產特性，路徑彈性對品質的影響可能來自於兩方面：一方面，路徑彈性的增加賦予了線上工程師較高的派工彈性，具體而言，當每一生產批量可選擇的生產路徑增加時，工程師可選擇讓該生產批量進入之前處理類似生產批量的工作站中生產，藉以降低換機的頻率，因此，減少晶圓發生報廢的機會；另一方面，隨著等候時間愈長，晶圓受到微塵與水氣污染的機會愈大，需要進行重製的可能性愈高，因此，可預期等候時間的減少對良率有正面影響。綜而言之，關於路徑彈性對品質績效的影響，本研究推論：

假說二：給定其他條件不變，生產品質會隨路徑彈性的增加而增加。

在生產成本方面，吾人可分別由路徑彈性的直接與間接影響來看，在直接影響方面，隨著路徑彈性的增加，生產改變的頻率降低，產能耗用於不具生產力之用途的比例隨之減少，因此，可降低個別生產批量所耗用的間接製造費用；在間接影響方面，當品質與時間績效隨著路徑彈性的增加而提昇時，可預期地，直接與間接生產資源的耗用會隨之減少，進而導致生產成本的降低。故而，關於路徑彈性對成本績效的影響，本研究推論：

假說三：給定其他條件不變，生產成本會隨路徑彈性的增加而降低。

三、機器彈性對生產績效與生產成本之影響

機器彈性 (machine flexibility) 是指一部機台可以執行多種作業 (operations)，且在不同作業間轉換時不會發生重大績效損失的能力 (Sethi and Sethi 1990; Gupta 1993; Zhang et al. 2003)，或是一部機器可以極短的啟動時間處理多種生產批量或處理不同作業的能力 (Tsubone and Horikawa 1999; Petroni and Bevilacqua 2002)。依據作業管理文獻，機器彈性與路徑彈性同樣被歸類為製造系統的彈性製造能力 (flexible manufacturing competence)，二者均有助於整個廠房之數量彈性的擴充與組合彈性的增加 (Sethi and Sethi 1990; Tsubone and Horikawa 1999; Zhang et al. 2003)，此外，當一部機器有效執行多種作業或生產多種批量的能力愈高，可提供特定生產批量較多生產路徑的選擇，有助於路徑彈性的達成 (Browne et al. 1984)。

然而，儘管機器彈性與路徑彈性具有其關聯性，但代表的卻是二種不同的觀念，Tsubone and Horikawa (1999)即指出雖然可處理多種生產批量的機器（即機器彈性）有助於增加生產路徑的選擇（即路徑彈性），但路徑彈性也可藉由

多部單一功能的機台來達成。另一方面, 機器彈性與路徑彈性適用的情境也不相同, 由於路徑彈性可以有效因應機器當機所造成之生產中斷, 因此, 當機器當機頻率高且時間長時, 對廠商而言, 路徑彈性的重要性高於機器彈性, 而機器彈性則有助於提升機台的利用水準, 因此, 當工作站的負荷量較高時, 機器彈性會優於路徑彈性(Tsubone and Horikawa 1999; Bengtsson 2001)。

一般而言, 機器彈性可由一部機台所能處理的作業數目或異質性來加以評估(Koste and Malhotra 2000; Koste, Malhotra and Sharma 2004)。由於機器彈性可允許較小的生產批量, 因此會有較高的機台利用率, 對設備的生產力具有正向影響(Tsubone and Horikawa 1999)。假設在彈性製造系統的環境下, Nandkeolyar and Christy (1992)透過模擬分析, 以每部機器可處理的產品族群數衡量機器彈性, 測試機器彈性對製造系統的生產力及產能利用率的影響, 結果發現: 機器彈性對生產力與產能利用率具有正向影響。

Boyer and Leong (1996)則以單一廠房所生產之產品種類衡量流程彈性, 以換機成本(changeover cost)衡量機器彈性, 採用模擬分析, 分別檢視機器彈性與流程彈性的關係, 以及流程彈性對預計產出量的影響, 結果發現: 較高的機器彈性有助於流程彈性的提升, 而流程彈性對整廠的預計產出量有顯著的正向影響, 換言之, 機器彈性會間接造成整廠生產力的提高。

Sheikhzadeh et al. (1998)亦指出: 當機器彈性愈高, 愈有助於平衡各工作站的工作量, 裨益機台利用率的提升, Son and Park (1987)則發現: 製造系統的彈性愈高, 愈有助於生產力與品質績效的提升, Chandra et al. (2005)亦證明當製造系統的彈性愈高時, 產能利用率愈高。因此, 綜合分析性研究之發現, 吾人可推論, 機器彈性對設備生產力具有正向影響。據此, 可提出假說四如下:

假說四: 給定其他條件不變, 設備生產力會隨機器彈性的增加而增加。

另一方面, 當機台彈性愈高時, 機台處理多種生產批量的能力愈強, 發生換機的頻率也愈高, 依據 Dopuch and Gupta (1994)的實證研究, 當生產改變的頻率愈高時, 對良率有負向影響, Koste and Malhotra (2000)也提出: 機器彈性的增加與生產品質之間存在取捨關係, 亦即, 當個別機台可處理的作業種類愈多, 啟動與更換設定的頻率愈高, 可能造成生產品質的降低。在積體電路的製造環境中, 由於產品良率對生產環境與物料品質的敏感度很高, 當在個別機台上功能轉換的次數愈多時, 機台設定的更改愈頻繁, 生產環境的穩定性愈低, 可能因此增加發生重製或報廢的機率。故而, 本研究預期:

假說五: 給定其他條件不變, 生產品質會隨機器彈性的增加而降低。

關於機器彈性對生產成本的影響，吾人可由晶圓代工的特性觀之，半導體製造業被認為是製程最複雜與資本密集度最高的產業之一，設備成本佔總製造成本的六成以上，因此，在此一產業，產能利用率是決定生產成本的關鍵因素，故而，當設備生產力隨著機器彈性的增加而提高時，可預期地，個別生產批量的製造成本也會隨之下降。據此，本研究推論：

假說六：給定其他條件不變，生產成本會隨機器彈性的增加而降低。

參、個案公司

個案公司為一家晶圓代工公司，主要致力於積體電路(Integrated Circuit, 簡稱 IC)的製造服務，由於個案公司採大量化的客製生產，製程種類繁多，複雜性高，加上半導體產品生命週期短，時間優勢與交期的掌握十分重要，因此，如何提昇製造彈性能力，成為公司管理的重心。

在產品組合策略上，目前該公司主要以邏輯性產品為主，製程種類則有互補金氧半導體邏輯製程(CMOS logic)、類比數位/混合製程(mixed-signal)、射頻互補金氧半導體邏輯製程(RF CMOS logic)、單晶片或嵌入式記憶體製程(embedded)、雙載子互補金氧半導體製程(BiCMOS)以及銅製程等。

一般而言，積體電路包括多層導體，這些導體是以介電層相連，形成於晶圓表層，為建構此複雜結構，需要數以百計的生產步驟，但基本的處理與流程是相似的，主要製造程序包括黃光微影、蝕刻、氧化、擴散、離子植入、化學氣相沉積與金屬沉積等。以下依據 Chang and Cheng (1997) 與 Vant Zant (2000)，以及個案公司之實際生產情況，逐項詳細介紹之：

一、黃光微影

在積體電路的製造過程中，首先需要將電子零件與線路一層層的由電路佈局圖轉換至晶片上，此即所謂的黃光微影技術，主要係藉由光學成像原理，在晶片上塗上感光材料，使光線可經過光罩與透鏡成像於晶片表面。在此成像的過程中，需要先後經過將晶圓去水烘烤、塗上光阻液、去除光阻內殘餘溶劑(軟烤)、對準、曝光、顯影、去除顯影後殘餘的溶劑與水氣(硬烤)等步驟，待將光罩上的圖案顯影完成後，則需進行所謂的顯影後檢查，以確保線寬均勻度符合預期標準。

二、蝕刻

在積體電路的製造過程中，除了需要黃光微影技術將光罩上的圖案顯影於晶片上之外，尚需採用蝕刻技術去除未被光阻覆蓋的部分以將圖案轉印至光阻

底下的薄膜上，以形成積體電路的架構，因此，蝕刻與微影技術被合稱為圖案轉印技術。蝕刻技術的種類大致可區分成濕蝕刻與乾蝕刻兩類，濕蝕刻主要是透過化學溶液與欲蝕刻之材質間的化學反應，達到去除薄膜的目的；而乾蝕刻則是利用輝光放電的方式產生帶電粒子、中性原子以及電漿來進行。

三、氧化

在整個積體電路的製造過程中，需要將矽晶圓暴露於氧氣中一段時間，以在晶圓表面生成一層與矽有著良好的氧化層，謂之二氧化矽，由於二氧化矽具有多種好的性質，因此，為矽元件中最常用的層級，例如：可作為隔離層、介電層、保護層、絕緣層等。

四、擴散

擴散是半導體製程中常見的生產步驟，主要目的在於利用高溫，使物質之原子或分子產生活化作用，因而得以由高濃度區域移至低濃度，形成所須之半導體區域。半導體內之擴散必須具備兩項要件：一是濃度呈現梯度；二是溫度必須高到足以使離子移動。氣相或液相之擴散在常溫或較低之溫度下即可發生，但固態之擴散則需超過攝氏 800 度以上才行。

五、離子植入

離子植入是除了擴散之外的另一種摻雜技術，此種技術係利用離子佈植機，藉由能量的提昇，將雜質以離子的形式，植入半導體內，由於此種技術可精確控制植入的雜質劑量，因此，為目前被廣泛採用者。

六、化學氣相沉積

基本上，化學氣相沉積製程包括氣體傳輸、熱能傳遞及反應進行三方面，具體而言，氣體被導入反應器內，藉由擴散方式到達晶片表面，而由晶片表面提供反應所需的能量，反應氣體即在晶片表面產生化學變化，生成固體生成物，沉積在晶片表面。

七、金屬沉積

當積體電路的尺寸縮小、積集度提高時，晶片表面可能無法提供足夠的面積容納所有的電晶體，而需採用兩層以上的金屬化設計，此時，需藉由多重金屬內連線連結不同層級，因而，需要金屬沉積技術。金屬沉積方法可區分成三種：真空蒸鍍、金屬濺鍍（又名物理氣相沉積）與化學氣相沉積。

由於積體電路的製造需要經過前述各項程序，因此晶圓廠係依照功能別的不同區分成黃光微影、蝕刻、擴散、離子植入、化學氣相沉積、金屬濺鍍與化學研磨等各個生產區域。在製造過程中，晶圓會以批量方式在各功能區域之間

來回穿梭，至各機台進行處理，是為迴流式生產(reentrant flow)，且在冗長的生產過程中，一個生產批量可能會經過相同區域、相同型態的機台多次，以典型的 CMOS 為例，整個完整的生產流程需要經過黃光區 10 次、蝕刻區 26 次，生產步驟則高達 200~300 步之多。

此外，由於積體電路係採迴流式生產，儘管生產不同的產品所需的作業活動相似，但在執行各項作業活動的時間、順序、次數、處方及所使用的機台上則各有差異，加上機台種類眾多、製程複雜、良率與機器當機的不可預測等特質，使半導體的製造環境具備高度的不確定性。因此，當產品多樣性愈高，不僅生產批量到達各工作站的時間愈難預測，各工作站處理時間的變異性也愈大，故而，容易造成等候時間的延長與交期績效的降低，另一方面，生產步驟繁多、不定期進行偵誤作業及隨機性的機台當機等因素，也無可避免地造成機台負荷量的異常波動與生產流程的中斷。

儘管如此，基於交期績效與生產週期時間的長短是決定顧客服務品質的關鍵因素，個案公司在現場控制、生產規劃與流程設計上乃致力於減少產品多樣性與生產環境不確定性對生產績效的負面影響，其中，路徑彈性的提昇為主要的途徑之一。另一方面，由於個案公司各期間所生產的產品組合完全取決於當期的顧客下單，具有高度的需求不確定性，為因應此不確定性對產能利用的影響，在產能的投資上，重視彈性的取得，亦即強化各工作站的機台處理多種產品型態的能力（即機器彈性），以避免工作站的利用率因特定型態之產品需求的波動而下降。

在路徑彈性方面，主要透過持有多種相同的機台及多功能的機台來達成，亦即將可執行相同作業的機台歸類為同一機台群組，使一項作業可被指派至一部以上的機台上處理，同時也使單一生產批量有多種生產路徑可選擇，因而平衡各部機台的負荷量，允許有效率的生產排程，以減低機器當機、緊急批量、產品重製等突發事件對生產過程的影響，使製造系統可持續生產而不中斷，降低等候時間與生產週期時間。

在機器彈性方面，主要透過製程整合與自動化的方式為之。所謂製程整合，係指將前後相關的製程整合於同一系統內完成，具體而言，包括將各種不同功能的機台彼此連結以及採用多製程室(multi-chambers)的設計，例如：通常在黃光區會將 tracker 機台與 stepper 機台連結，使上光阻、曝光、顯影能在同一系統下完成。在自動化方面，電腦整合製造的方式普遍應用於半導體製造業，主要原因在於半導體製程的複雜性與產品多樣性，容易造成人為失誤，而失誤一旦發生，將會造成生產排程紊亂，導致生產效率的下降，因此，透過流程自動化可減少生產系統對操作員技術與情緒的依賴，而增加流程與產品的一致性，同時亦可減少換機所需時間(Chang and Cheng 1997)。

肆、研究方法

一、實證模型與變數衡量

由於本研究擬檢視製造彈性對生產週期時間、設備生產力、生產品質與生產成本之影響，基於各項績效衡量之決定因素不同，因此，分別設計不同實證模型檢視之，試說明各項模型之設計如下：

1. 製造彈性對生產週期時間之影響

依據生產管理文獻，影響生產週期時間的因素，除了製造彈性之外，還包括：環境變異性與工作負荷量(Benjaafar 1994, 1995)，具體而言，當環境的變異性(variability)愈大時，生產批量的等候時間愈長，生產週期時間也愈長，另一方面，當製造系統的工作負荷量愈大(即產能利用率愈高)時，等候時間也會愈長(Banker, Datar and Kekre 1988; Benjaafar 1995; Benjaafar and Gupta 1998)，因此，在檢測路徑彈性與生產週期時間之間的關係時，應能控制此二種因素的影響。其中，因環境變異性可能來自於製程時間的變異性以及生產批量到達時間的變異性，需分別衡量並控制之，此外，每一生產批量的製造時間不同，也會造成生產週期時間的差異，故而，本研究亦將其納入作為控制變數。

關於製造彈性之衡量，由於彈性是一項較為抽象的觀念(Sethi and Sethi 1990; Upton 1995)，文獻上對於製造彈性的定義與分類經常有多種不同的看法，舉例而言，有些研究的流程彈性會與其他研究的營運彈性定義重疊，有些研究傾向從彈性的屬性來定義，有些則從彈性的組成要素加以定義，因此要對製造彈性下操作性定義並不容易，這也是製造彈性之所以不易管理且實證研究較為有限的原因(Zhang et al. 2003; De Toni and Tochia 2005)。為了克服前述問題，本研究乃訴諸於理論文獻，參考既存分析性文獻對本研究所擬探討之二種彈性型態的定義，並以大多數研究所採用者作為本研究的衡量依據。

具體而言，依據作業研究，所謂路徑彈性係指一個製造系統可以多種路徑生產特定生產批次的的能力，一般係透過機台群組的設計或增加個別工作站的生產路徑而達成(Chen et al. 1992; Sethi and Sethi 1990; Tsubone and Horikawa 1999; Petroni and Bevilacqua 2002)，因此，大部份分析性研究係以執行特定作業(operation)時個別生產批量可選擇的機台數目或個別生產批量在整個生產過程中可選擇的生產途程數目衡量(例如：Benjaafar 1994, 1995; Tsubone and Horikawa 1999)，考慮個案公司的情境，本研究乃採用特定機台群組中個別生產批量可選擇的生產路徑數目衡量之，換言之，即以特定生產步驟個別生產批量可選擇之機台數目衡量之，例如：當進行蝕刻作業時，若有 A、B 兩機台群組可選擇，A 機台群組是由 7 部機台所組成，亦即經過該機台群組的生產批量可由 7 部機台中選擇任一進行生產，而 B 機台群組則是由 3 部機台所組成，經

過該機台群組的生產批量只能從 3 部機台中選擇任一進行生產，則前者的路徑彈性高於後者。

依據前述考量，並評估個案公司之生產特性後，形成本研究之實證模型²如下：

$$CYCLE_t = \alpha^{FI} + \beta_1^{FI} ROU_t + \beta_2^{FI} VAR_PT_t + \beta_3^{FI} VAR_AR_t + \beta_4^{FI} TIME_t + \beta_5^{FI} UTIL_t + \beta_6^{FI} CYCLE_{t-1} + \varepsilon^{FI} \quad (M1)$$

其中，各變數定義請參見表一 A。

2.製造彈性對設備生產力之影響

依據 Jordan and Graves (1995)之分析性模式，影響設備生產力的因素包括：製造彈性及產品需求變異性，具體而言，當總產能固定時，設備生產力會隨著產品需求變異性的增加而降低，因此，在檢測製造彈性與設備生產力之間的關係時，應將前述因素納入作為控制變數，另一方面，考慮設備生產力也會受到外部產品需求高低的影響而改變，因此，本研究並額外納入生產數量作為控制變數。

關於設備生產力，本研究依據半導體產業的特性，以設備綜合效率值（Overall Equipment Effectiveness，簡稱 OEE）衡量之，該變數為三項比率交乘的結果³，可反映出導致設備效能下降的原因，包括：因當機、機器停頓或等待所導致之產能可用度(availability)的減少，因作業速度減慢所導致的效率損失，以及因品質瑕疵及重製所導致之品質損失(Murphy, Saxena and Levinson 1996)。至於製造彈性之衡量，依據生產管理文獻，所謂機器彈性係指一部機台可以輕易轉換，以執行不同作業的能力(Gupta and Goyal 1989; Koste and Malhotra 1999; Sethi and Sethi 1990; Petroni and Bevilacqua 2002; Zhang et al. 2003)，而在文獻上主要採用的定義方式有：個別機台可處理的產品族群數目、可執行的作業種類及換機成本等(例如：Nandkeolyar and Christy 1992; Benjaafar 1994; Boyer and Leong 1996; Tsubone and Horikawa 1999)，依據個案公司實際的生產環境中，機台有單功與多功之別，當產品組合改變、或特定作業的產能不足時，這些機台可透過設定的改變，轉換執行的功能以因應之，機台功能轉換次數愈多，可處理的產品種類數愈多，因此，考量理論基礎與實地情境，本研究以特定期間內個別機台功能轉換次數作為機器彈性的衡量。

² 由於本研究係採用六個月的生產資料，經測試發現存在一階自我相關現象，因此在實證模型中額外納入落後一期的生產週期時間（即 $CYCLE_{t-1}$ ）作為控制變數。

³ 所謂設備綜合效率，為半導體業特有之設備生產力衡量指標，具體定義為：

$$\begin{aligned} \text{設備綜合效率值(OEE)} &= \text{可用度(availability)} * \text{績效比率(performance rate)} * \text{品質比率(quality rate)} \\ &= [(\text{總時間}-\text{當機時間}-\text{計劃性的機台閒置時間})/\text{總時間}] * [(\text{實際每小時的產出數})/(\text{理論每小時的產出數})] * [\text{良好品數目}/\text{總生產數量}] \end{aligned}$$

表一 A 變數定義彙總表-機台水準分析

變數名稱	變數代號	定義與說明
生產週期時間	CYCLE _t	第 t 期在個別機台上處理之生產批量之實際生產週期時間的平均值
設備生產力	OEE _t	第 t 期個別機台之設備綜合效率值
報廢率	SCRAP _t	第 t 期在個別機台發生報廢之晶圓數目佔該機台所處理之晶圓總數的比例
重製率	REWORK _t	第 t 期在個別機台發生重製之晶圓數目佔該機台所處理之晶圓總數的比例
生產週期時間 (落後一期)	CYCLE _{t-1}	第 t-1 期在個別機台上處理之生產批量之實際生產週期時間的平均值
設備生產力 (落後一期)	OEE _{t-1}	第 t-1 期個別機台之設備綜合效率值
報廢率 (落後一期)	SCRAP _{t-1}	第 t-1 期在個別機台發生報廢之晶圓數目佔該機台所處理之晶圓總數的比例
重製率 (落後一期)	REWORK _{t-1}	第 t-1 期在個別機台發生重製之晶圓數目佔該機台所處理之晶圓總數的比例
路徑彈性	ROUT _t	第 t 期個別機台群組中個別生產批量可選擇之生產路徑數目
機器彈性	MACH _t	第 t 期個別機台之功能轉換次數
產品多樣性	VARIETY _t	第 t 期個別機台處理之製程種類數
製程時間變異	VAR_PT _t	第 t 期個別機台所處理之生產批量實際製造時間的變異係數
到達時間變異	VAR_AR _t	第 t 期到達個別機台之生產批量到達時間的變異係數
產品需求變異	VAR_OUT _t	第 t 期個別機台所處理之晶圓數目的變異係數
製造時間	TIME _t	第 t 期個別機台所處理之生產批量實際製造時間的平均值
生產總數	QTY _t	第 t 期個別機台所處理之晶圓數目
產能利用率	UTIL _t	第 t 期個別機台之產能利用率

以理論文獻為基礎，考量個案公司之生產特性後，形成本研究之實證模型如下：

$$\begin{aligned}
 OEE_t = & \alpha^{F2} + \beta_1^{F2} ROUT_t + \beta_2^{F2} MACH_t + \beta_3^{F2} VAR_OUT_t \\
 & + \beta_4^{F2} QTY_t + \beta_5^{F2} OEE_{t-1} + \varepsilon^{F2}
 \end{aligned}
 \tag{M2}$$

其中，各變數定義請參見表一 A。

3. 製造彈性對生產品質之影響

關於品質模型之設計，本研究係以製造基礎(manufacturing-based)品質為應變數，並以報廢率(scrap rate)與重製率(rework rate)作為品質的衡量。依據晶圓代工的製程特性，影響生產品質的因素除了製造彈性之外，尚包括：產品組合、原物料品質與製程變異等，吾人可進一步將之歸類為：與產品組合有關以及與製造環境有關二類。

在產品組合方面，由於晶圓代工廠商係提供製造技術，為顧客製造各種不同的晶片，因此產品多樣性是由製程種類數加以定義。其中，匣極線寬(width of transistor)是決定良率最重要的製程特性，故而，在本研究中，係以匣極線寬為基礎區分製程等級，並據以衡量產品多樣性。在製造環境方面，則以環境變異性為影響生產品質的主要因素(Bohn 1995)，依據作業研究（例如：Anupindi, Chopra, Deshmukh, Miethem and Zemel 1999；Hopp and Spearman 2000），本研究將環境變異性區分為三類：處理時間變異性、生產批量到達時間變異性以及產品需求變異性，據以檢視製造環境的變異性對生產品質的影響。

綜而言之，依據理論文獻與個案公司的生產特性，本研究設計品質模型如下：

$$\begin{aligned} SCRAP_t = & \alpha^{F3} + \beta_1^{F3} ROUT_t + \beta_2^{F3} MACH_t + \beta_3^{F3} VARIETY_t \\ & + \beta_4^{F3} VAR_PT_t + \beta_5^{F3} VAR_AR_t + \beta_6^{F3} VAR_OUT_t \\ & + \beta_7^{F3} UTIL_t + \beta_8^{F3} SCRAP_{t-1} + \varepsilon^{F3} \end{aligned} \quad (M3)$$

$$\begin{aligned} REWORK_t = & \alpha^{F4} + \beta_1^{F4} ROUT_t + \beta_2^{F4} MACH_t + \beta_3^{F4} VARIETY_t \\ & + \beta_4^{F4} VAR_PT_t + \beta_5^{F4} VAR_AR_t + \beta_6^{F4} VAR_OUT_t \\ & + \beta_7^{F4} UTIL_t + \beta_8^{F4} REWORK_{t-1} + \varepsilon^{F4} \end{aligned} \quad (M4)$$

其中，各變數定義請參見表一 A。

4.製造彈性對生產成本之影響

依據管理會計文獻，決定生產成本的因素包括：製造彈性、產品複雜性與產能利用率(Anderson 1995; MacArthur and Stranahan 1998)，若欲檢視製造彈性對生產成本之影響，必須控制其他因素的改變。在產品複雜性方面，依據積體電路的生產特性，決定製程複雜性最重要的因素有二：即匣極線寬與光罩層數(Hatch and Mowery 1998)。所謂匣極線寬係指連結電晶體之金屬線的寬度，當線寬愈細時，所需的製程技術愈高，電路元件對微塵、雜質或水氣的敏感性也愈高。另一方面，在積體電路的製造過程中，需要重複地進行電路圖的圖像轉印，當電路設計愈複雜，所需的光罩層數愈多，生產過程愈長，所耗用的生產資源愈多，因此，本研究納入匣極線寬與光罩層數二項變數以控制不同產品種類對生產成本的影響。

在產能利用率方面，Cooper and Kaplan (1991, 1992)指出單位產品成本的變化可能來自於生產效率的改變或是產能利用率的改變，二者應加以區分，方能觀察到生產效率的提昇對生產成本的影響 因此，與 Anderson (1995)及 Fisher

and Ittner (1999)一致, 本研究納入產能利用率作為控制變數, 以釐清製造彈性對生產成本之影響。在其他控制變數方面, 由於單位產品成本會因個別生產批量的報廢率與重製次數的增加而增加, 是故, 本研究額外加入個別生產批量的報廢率與重製次數作為控制變數。

另一方面, 由於本研究係採用生產批量水準資料檢測製造彈性對生產成本之影響, 因此, 製造彈性與產能利用率也採用生產批量水準的衡量。具體而言, 在機器彈性的衡量上, 本研究首先以生產區域為基礎, 比較各生產區域內各機台的相對彈性高低, 當機台的彈性衡量大於該區域內各機台彈性衡量水準的中位數時, 即歸類為高彈性機台, 低於或等於中位數者歸類為低彈性機台。進而, 計算生產過程中個別生產批量經過高彈性機台的次數佔總生產步驟的比例, 據以衡量該生產批量之機器彈性。

路徑彈性的衡量亦然, 首先, 本研究以生產區域為基礎, 比較各生產區域內各機台群組之相對路徑彈性高低, 當機台群組的彈性衡量大於該區域內各機台群組彈性衡量水準的中位數時, 即歸類為高路徑彈性, 低於或等於中位數者歸類為低路徑彈性。進而, 計算生產過程中個別生產批量經由高彈性群組處理的次數佔總生產步驟的比例, 據以衡量該生產批量之路徑彈性。

至於產能利用率的衡量, 則是以 90% 的產能利用率水準為門檻⁴, 將各生產區域區分成高、低二種不同產能水準, 再依據生產過程中, 個別生產批量經過高利用率機台次數佔總生產步驟數目的比例衡量之。

綜而言之, 以理論文獻為基礎, 考量個案公司之生產特性後, 形成實證模型如下:

$$COST = \alpha^{F5} + \beta_1^{F5} ROUTH + \beta_2^{F5} MACHP + \beta_3^{F5} TECH + \beta_4^{F5} LAYER + \beta_5^{F5} UTILP + \beta_6^{F5} SCRAPER + \beta_7^{F5} REWORKN + \varepsilon^{F5} \quad (M5)$$

其中, 各變數定義請參見表一 B。

⁴ 依據作業管理文獻, 當產能利用率達到 90% 以上時, 容易發生擁擠現象, 進一步導致營運成本的提高(e.g., Banker et al. 1988; Benjaafar 1995; Benjaafar and Gupta 1998), 因此, 本研究乃以 90% 的產能利用率水準為門檻, 同時控制產能利用率與擁擠效果對生產成本的影響。

表一 B 變數定義彙總表-生產批量水準分析

變數名稱	變數代號	定義與說明
生產成本	COST	平均每一單位產品之實際生產成本
高路徑彈性比例	ROUTP	個別生產批量在生產過程中經過高路徑彈性之機台群組的比例
高機器彈性比例	MACHP	個別生產批量在生產過程中經過高機器彈性之機台的比例
匣極線寬	TECH	個別生產批量之匣極線寬
光罩層數	LAYER	個別生產批量之光罩層數
報廢率	SCRAPR	個別生產批量的晶圓報廢數目佔該生產批量之晶圓總數的比例
重製次數	REWORKN	個別生產批量之平均重製次數
高利用率比例	UTILP	個別生產批量在生產過程中經過高利用率機台的比例

二、樣本蒐集與資料分析方法

本研究採實地實證研究方式進行，以一家晶圓代工廠商為研究對象，作者除了透過實地訪談、觀察以及閱讀書面資料，了解個案公司之生產流程、營運及製程特性，並蒐集兩類不同型態的資料：包括 6 個月之個別機台水準與個別生產批量水準的資料進行實證分析，樣本期間涵蓋 2002 年 2 月至 2002 年 7 月，由於積體電路之生產週期時間長達 40~70 天，本研究刪除樣本期間內未完成完整生產程序之生產批量，最後共有 1804 筆生產批量納入本研究之樣本中。

在資料分析方法方面，為增加實證結果的可靠性，本論文同時採用多種方法。具體而言，本論文首先採用 OLS 檢測製造彈性與生產績效間之線性關係；繼而透過對數模型(log-log model)檢測非線性關係存在的可能性。此外，在時間模型的部份，基於本研究在理論分析時係假設為隨機過程(stochastic process)，為尋求實證模型與理論模型的一致性，本研究另外採用存活期間模型(duration model)分析之，分析程序為：本研究首先以 Cox 加速失敗時間模型為基礎，分別配適到一般化 Gamma 分配(即 Generalized Gamma Distribution，簡稱 GGD)母系下的四種分配型態：即 Exponential、Weibull、Lognormal 以及 Generalized Gamma；之後，再透過實地資料進行估計，分別驗證製造彈性與生產週期時間之關係；最後，則以最大概似估計值為基準，找出配適度最佳之實證模型。

伍、實證結果與討論

一、製造彈性對生產績效之影響

關於製造彈性對生產績效之影響，本研究係採用晶圓廠內個別機台的資料進行分析，各變數之敘述統計值列示如表二。結果顯示：全廠內各機台之路徑彈性與機器彈性衡量的平均值分別為 10 與 5，由於當路徑彈性與機器彈性衡量

值為 1 時, 代表機台功能單一, 生產只有單一途徑, 亦即在生產技術與生產路徑的安排上完全不具有彈性, 因此, 由敘述統計值顯示: 個案公司的確存在有路徑彈性與機器彈性。此外, 在產能利用率方面, 個別機台之平均利用率水準達 82.48%, 顯示: 在研究期間, 個案公司具有極高的產能利用率水準, 在這樣的生產環境下, 彈性對生產績效的影響愈為重要, 因此, 適合探討彈性議題。由表三檢視各變數之間的相關性, 可發現: 自變數間相關係數的絕對值均在 0.7 以下, 顯示本研究的迴歸模型並無共線性問題存在⁵。

表二 個案公司之製造彈性與績效變數之敘述統計值：機台水準分析

變數名稱	樣本數	平均數	標準差	極小值	中位數	極大值
路徑彈性	4390	10	7.061	1	9	29
機器彈性	3621	5	3.572	1	4	31
製程時間變異	4390	1.340	3.067	0.030	0.661	67.662
到達時間變異	7562	0.541	0.446	0	0.409	6.000
產品需求變異	7601	0.444	0.267	0	0.386	5.000
產能利用率(%)	4390	82.48	18.039	0	88	100.000
生產總數	3667	23354.69	30254.19	37.000	13847	333578.00
生產週期時間(分)	4390	106.56	142.779	4.000	63	3090.77
設備生產力(%)	3900	56.27	19.630	0.100	57.5	100.000
報廢率	4390	0.00071	0.0026	0	0.000068	0.080
重製率	4390	0.0122	0.0314	0	0.001297	0.784

關於製造彈性與生產週期時間的關係, 表四顯示: 路徑彈性的係數為 -0.224 (t 值 = -1.254), 方向與預期相符, 但未達統計顯著性, 由於依據分析性文獻, 路徑彈性與生產週期時間存在非線性關係, 在此種情況下採用線性模型估計可能造成係數估計的偏誤(Greene 1997), 因此, 本研究另採用非線性模型檢測之。在非線性模型的設定上, 考慮生產週期時間係由隨機過程所決定, 是故本研究同時應用對數模型與存活期間模型進行估計, 實證結果列示如表四與表五。

⁵ Hair, Anderson, Tatham and Black (1998) 指出: 判定是否存在共線性問題時, 可以 VIF 值小於 10, 相當於自變數間之相關係數小於 0.9 作為可接受標準。

表三 個案公司之製造彈性與績效變數之相關係數矩陣：機台水準分析

	路徑彈性	機器彈性	製程時間變異	到達時間變異	產品需求變異	產能利用率	生產總數	生週期時間	設備生產力	報廢率	重製率
路徑彈性		0.105**	0.007	-0.131**	-0.128**	0.091**	-0.031*	-0.168**	0.320**	-0.010	-0.138**
機器彈性	0.218**		0.027	-0.353**	-0.406**	0.316**	0.286**	-0.087**	0.381**	-0.028^	0.077**
製程時間變異	-0.064**	0.099**		-0.013	-0.007	-0.015	0.126**	0.113**	-0.008	0.021	0.058**
到達時間變異	-0.117**	-0.246**	0.100**		0.334**	-0.261**	-0.127**	0.193**	-0.356**	0.049**	0.004
產品需求變異	-0.107**	-0.327**	0.166**	0.663**		-0.479**	-0.371**	0.159**	-0.590**	0.069**	-0.001
產能利用率	0.053**	0.397**	-0.228**	-0.331**	-0.472**		0.165**	0.156**	0.620**	-0.013	-0.186**
生產總數	-0.035*	0.471**	-0.052**	-0.504**	-0.678**	0.441**		-0.209**	0.321**	-0.083**	0.086**
生產週期時間	-0.216**	0.059**	-0.282**	0.212**	0.180**	0.279**	-0.320**		-0.077**	0.081**	-0.053**
設備生產力	0.339**	0.368**	-0.127**	-0.458**	-0.610**	0.575**	0.495**	-0.067**		-0.105**	-0.148**
報廢率	-0.100**	0.132**	0.020	-0.127**	-0.158**	0.158**	0.199**	0.004	0.066**		0.009
重製率	-0.234**	0.206**	0.090**	-0.092**	-0.128**	0.050**	0.303**	-0.062**	-0.053**	0.232**	

註：1.表中右上角為 Spearman 等級相關係數；左下角為 Pearson 相關係數。

2.+, *, **: 分別代表顯著水準 10%, 5%, 1%。

表四 製造彈性對生產週期時間之影響

自變數	變數代號	預期符號	線性迴歸模型	對數模型
			迴歸係數	迴歸係數
截距項	INTERCEPT	(?)	-29.336** (-3.476)	0.106 (1.187)
路徑彈性	ROUT _t	(-)	-0.224 (-1.254)	-0.044** (-2.614)
製程時間變異	VAR_PT _t	(+)	7.265** (17.407)	0.108** (8.911)
到達時間變異	VAR_AR _t	(+)	10.818* (2.294)	0.009 (0.443)
製造時間	TIME _t	(+)	6.075** (3.723)	0.178** (4.241)
產能利用率	UTIL _t	(+)	0.298** (3.230)	0.007** (6.352)
生產週期時間 (落後一期)	CYCLE _{t-1}	(+)	0.890** (74.670)	0.845** (33.803)
樣本數			1731	533
Adj R ²			0.8215	0.8595
F 值			1327.907	543.461
(p 值)			(0.0001)	(0.0001)

註：1.表中括弧中的數值為 t 值。

2.+, *, **: 分別代表顯著水準 10%, 5%, 1%。

由表四可看出：在模型的解釋力方面，非線性模型高於線性迴歸模型；至於變數的顯著性方面，路徑彈性的係數為-0.044 (t 值 = -2.614)，其絕對值小於 1，顯示：路徑彈性對生產週期時間具有顯著的負向影響，且隨著彈性水準的提高，對生產週期時間的影響幅度將隨之下降。

至於存活期間模型的估計結果，表五顯示：在模型所配適的四種機率分配中，以 GGD 具有最大的概似函數值，配適度最佳，而以指數分配的概似函數

值最低，配適度最差；在係數的顯著性方面，包括 Weibull、Lognormal 與 GGD 三種分配下，路徑彈性的係數均顯著為負，與研究假說的預期一致。整體而言，路徑彈性與生產週期時間之間的關係與假說一的預期相符：亦即，生產週期時間會隨著路徑彈性的增加而遞減，且生產週期時間減少的幅度會隨著路徑彈性的增加而降低，即具有報酬遞減現象。

關於製造彈性對設備生產力的影響，分析結果列示於表六，從表六可發現：機器彈性的係數為 0.159 (t 值 = 2.346)，顯示：機器彈性對設備生產力具有顯著的正向影響，與研究假說的預期一致。為進一步檢測彈性與設備生產力之間是否存在非線性的關係，本研究採用對數模型估計之，實證結果同樣列示於表六。

結果發現：非線性模型的解釋力高於線性模型，顯示非線性模型的配適度較高；至於機器彈性的係數為 0.030 (t 值 = 2.264)，顯著為正，與線性迴歸模型的結果一致。此外，迴歸係數小於 1，隱含：製造彈性對設備生產力的影響會隨著彈性水準的增加而遞減，亦即，存在報酬遞減現象。

表五 製造彈性對生產週期時間之影響：存活期間模型

自變數	變數代號	預期符號	Exponential	Weibull	Lognormal	Generalized Gamma
截距項	INTERCEPT	(?)	2.893** (0.0001)	3.244** (0.0001)	2.541** (0.0001)	3.330** (0.0001)
路徑彈性	ROUT _t	(-)	-0.0041 (0.1156)	-0.0027** (0.0009)	-0.009** (0.0001)	-0.003** (0.0004)
製程時間變異	VAR_PT _t	(+)	0.063** (0.0001)	0.109** (0.0001)	0.028** (0.0001)	0.128** (0.0001)
到達時間變異	VAR_AR _t	(+)	0.022 (0.7359)	-0.010 (0.617)	0.162** (0.0001)	-0.004 (0.8261)
製造時間	TIME _t	(+)	0.169** (0.0001)	0.151** (0.0001)	0.145** (0.0001)	0.141** (0.0001)
產能利用率	UTIL _t	(+)	0.008** (0.0001)	0.004** (0.0001)	0.014** (0.0001)	0.003** (0.0001)
生產週期時間 (落後一期)	CYCLE _{t-1}	(+)	0.005** (0.0001)	0.006** (0.0001)	0.004** (0.0001)	0.006** (0.0001)
規模參數(scale parameter)			1.0000	0.32525	0.49707	0.29067
型態參數(shape parameter)			1.0000	1.0000	0.0000	1.38324
Log likelihood 值			-3242.740	-1398.732	-2159.771	-1385.262
觀察值數目			3000	3000	3000	3000

註：1.括弧內的數值為 p-value。

2.+, *, **: 分別代表顯著水準 10%, 5%, 1%。

表六 製造彈性對設備生產力之影響

自變數	變數代號	預期符號	線性迴歸模型	對數模型
			迴歸係數	迴歸係數
截距項	INTERCEPT	(?)	21.980** (16.966)	0.766** (11.379)
路徑彈性	ROUT _t	(+)	0.099** (3.209)	0.040** (3.422)
機器彈性	MACH _t	(+)	0.159* (2.346)	0.030* (2.264)
產品需求變異	VAR_OUT _t	(-)	-23.105** (-11.086)	-0.127** (-4.255)
生產總數	QTY _t	(+)	0.000014 (1.439)	0.0000013 (0.440)
設備生產力 (落後一期)	OEE _{t-1}	(+)	0.788** (59.233)	0.754** (36.672)
樣本數			1731	533
Adj R ²			0.7973	0.8347
F 值			1361.826	538.367
(p 值)			(0.0001)	(0.0001)

註：1.表中括弧中的數值為 t 值。

2.+, *, **: 分別代表顯著水準 10%, 5%, 1%。

關於路徑彈性與機器彈性對生產品質的影響，表七顯示：路徑彈性的係數為-0.00001 (t 值 = -2.025)，顯著為負，表示路徑彈性對報廢率有負向影響，與假說預期一致。至於重製率模型，路徑彈性的係數為-0.000089 (t 值 = -1.416)，方向符合預期但未達統計顯著性。整體而言，實證結果支持假說二：給定其他條件不變，生產品質會隨路徑彈性的增加而增加。

在機器彈性方面，表七顯示：在報廢率模型中，機器彈性的係數為 0.000013 (t 值 = 1.173)，方向與假說預期一致，但未達統計顯著性；而在重製率模型中，機器彈性的係數為 0.0003 (t 值 = 2.142)，顯著為正，與假說預期相符。整體而言，路徑彈性與機器彈性對生產品質的影響與研究假說一致，符合本研究對製造彈性之績效效果的預期。

綜合前述實證結果，本研究發現：廠商所具備的製造彈性能力確實有助於生產績效的提昇，具體而言，路徑彈性對時間與品質績效具有顯著的正向影響，而機器彈性則有助於設備生產力的提昇，但同時可能因生產改變次數的提高而對生產品質具有負向影響。

表七 製造彈性對報廢率與重製率之影響：線性迴歸模型

自變數	變數代號	預期符號	報廢率	重製率
截距項	INTERCEPT	(?)	-0.00008 (-0.257)	0.016** (4.226)
路徑彈性	ROUT _t	(-)	-0.000010* (-2.025)	-0.000089 (-1.416)
機器彈性	MACH _t	(+)	0.000013 (1.173)	0.0003* (2.142)
產品多樣性	VARIETY _t	(+)	0.000002 (0.389)	0.0002** (3.254)
製程時間變異	VAR_PT _t	(+)	0.000019 ⁺ (1.691)	-0.000047 (-0.333)
到達時間變異	VAR_AR _t	(+)	-0.00021 (-1.523)	0.00058 (0.323)
產品需求變異	VAR_OUT _t	(+)	0.0011** (2.976)	-0.0012 (-0.253)
產能利用率	UTIL _t	(+)	0.0000026 (0.980)	-0.0002** (-5.445)
報廢率 (落後一期)	SCRAP _{t-1}	(+)	0.1314** (11.347)	--
重製率 (落後一期)	REWORK _{t-1}	(+)	--	0.768** (46.145)
樣本數			1731	1731
Adj R ²			0.0768	0.6250
F 值			18.982	361.480
(p 值)			(0.0001)	(0.0001)

註：1.表中括弧中的數值為 t 值。

2.⁺, *, **: 分別代表顯著水準 10%, 5%, 1%。

二、製造彈性對生產成本之影響

關於製造彈性對生產成本之影響,本研究係採用生產批量水準資料進行分析,表八顯示:本研究樣本中所包含的產品種類橫跨 0.13 微米至 0.50 微米製程,涵蓋高階與低階製程,而另一項產品特性—光罩層數介於 12 至 34 層,具有高度的產品複雜性。就彈性衡量來看,平均而言,在每個生產批量的生產過程中,有 16.3%的生產步驟是在具有高機台彈性的工作站處理,有 87.9%的生產步驟會經過具有高路徑彈性的機台群組,顯示:為降低產品複雜性對生產績效的影響,個案公司在生產流程的設計上確實考慮了機器彈性與路徑彈性,而且,由於積體電路的生產屬於迴流式的生產型態,加以生產步驟多,生產週期長,因此個案公司在生產流程的設計上相對較重視路徑彈性的取得。由表九檢視各變數之間的相關性,可發現自變數間相關係數的絕對值均在 0.5 以下,顯示:本研究的迴歸模型並無共線性問題存在。

表八 個案公司之製造彈性與績效變數之敘述統計值：生產批量水準分析

變數名稱	樣本數	平均數	標準差	極小值	中位數	極大值
路徑彈性	1804	0.879	0.062	0.281	0.887	0.978
機器彈性	1804	0.163	0.059	0.021	0.163	0.339
匣極線寬	1804	27.672	6.852	13	25	50
光罩層數	1804	23	2.854	12	23	34
產能利用率	1804	0.436	0.096	0.04	0.438	0.772
報廢率	1804	0.026	0.111	0	0	0.960
重製次數	1804	2.654	1.582	0	2	11
生產成本	1800	24648	5844.369	14206	25198.2	84573

表九 個案公司之製造彈性與績效變數之相關係數矩陣：生產批量水準分析

	路徑 彈性	機器 彈性	匣極 線寬	光罩 層數	產能利用 率	報廢率	重製 次數	生產 成本
路徑彈性		-0.116	0.228**	-0.348**	-0.066	-0.034	-0.019	-0.254**
機器彈性	-0.257**		0.005	0.227**	0.225**	-0.003	0.201**	-0.003
匣極線寬	0.237**	0.047		-0.464**	0.167*	-0.303**	-0.073	-0.803**
光罩層數	-0.423**	0.222**	-0.460**		-0.013	0.228**	0.239**	0.699**
產能利用率	0.009	0.231**	0.086	0.056		-0.106	0.202**	-0.201**
報廢率	0.016	0.102	-0.212**	0.265**	-0.115		0.092	0.336**
重製次數	-0.042	0.179*	-0.125*	0.263**	0.258**	0.052		0.143 ⁺
生產成本	-0.417**	0.020	-0.672**	0.475**	-0.226**	0.266**	0.089	

註：1.表中右上角為 Spearman 等級相關係數；左下角為 Pearson 相關係數。

2.⁺, *, **: 分別代表顯著水準 10%, 5%, 1%。

關於製造彈性對生產成本之影響，由表十可看出：路徑彈性的係數為-24916 (t 值 = -3.267)，呈顯著的負向關係，與預期一致，至於機器彈性的係數則為-12923 (t 值 = -1.460)，方向符合預期，但未達統計顯著水準。針對機器彈性不顯著的結果，經深入探究可能原因在於：機器彈性的利益主要來自於提高設備產能的利用，然而本研究係以單位產品成本作為成本衡量，其中不僅包括設備的折舊費用，也包括直接與間接人工成本及原物料成本，可能因此掩蓋了機器彈性的影響。為測試此項可能性，本研究進一步以單位產品成本中所包含之設備折舊成本作為應變數，檢視其與機器彈性之間的關係，由於平均而言，設備折舊成本佔每單位產品成本的 38.7% 之高⁶，因此，若機器彈性確實有助於折舊成本的下降，則應能有助於生產成本的降低，模式估計結果同樣列示於表十，結果顯示：與預期一致，機器彈性確實透過對設備產能利用的影響，達成生產成本的節省。綜而言之，實證結果顯示：假說三與假說六均獲得支持。另一方面，為檢視製造彈性與生產成本之間是否存在非線性關係，本研究進一步採用對數模型分析之，估計結果同樣列示於表十，結果顯示：隨著製造彈性的增加，生產成本降低的幅度會隨之遞減，亦即存在非線性關係。關於本研究各假說之實證結果彙總於表十一。

⁶ 依據實地資料的統計分析，平均每一單位產品所包含之設備折舊成本約佔單位產品成本的 38.7%。

表十 製造彈性對生產成本之影響

自變數	變數代號	預期符號	線性迴歸模型		對數模型	
			生產成本	設備折舊成本	生產成本	設備折舊成本
截距項	INTERCEPT	(?)	50545 (5.697)	32918** (6.30)	10.036** (37.986)	9.126** (28.875)
路徑彈性	ROUTP	(-)	-24916** (-3.267)	-14559** (-3.24)	-0.815** (-3.019)	-0.556+ (-1.722)
機器彈性	MACHP	(-)	-12923 (-1.460)	-11763* (-2.26)	-0.053 (-0.729)	-0.197* (-2.257)
匣極線寬	TECH	(-)	-420.773** (-7.668)	-338.146** (-10.46)	-0.028** (-7.330)	-0.054** (-12.015)
光罩層數	LAYER	(+)	767.579** (5.758)	267.086** (3.40)	0.012* (2.143)	0.016* (2.481)
產能利用率	UTILP	(-)	-16260** (-3.603)	-14153** (-5.32)	-0.323** (-3.121)	-0.532** (-4.294)
報廢率	SCRAPR	(+)	5140.528* (1.995)	1713.930 (1.13)	0.158+ (1.766)	0.126 (1.181)
重製次數	REWORKN	(+)	-105.023 (-0.329)	98.478* (0.52)	0.025+ (1.835)	0.039* (2.404)
Adj R ²			0.6550	0.6787	0.7273	0.8367
F值			43.038	47.78	28.436	53.690
(p值)			(0.0001)	(0.0001)	(0.0001)	(0.0001)

註：1.表中括弧中的數值為 t 值。

2.+ , * , ** : 分別代表顯著水準 10% , 5% , 1%。

表十一 實證結果彙總表

研究假說	實證結果
假說一：給定其他條件不變，生產週期時間會隨路徑彈性的增加而降低。	支持
假說二：給定其他條件不變，生產品質會隨路徑彈性的增加而增加。	支持
假說三：給定其他條件不變，生產成本會隨路徑彈性的增加而降低。	支持
假說四：給定其他條件不變，設備生產力會隨機器彈性的增加而增加。	支持
假說五：給定其他條件不變，生產品質會隨機器彈性的增加而降低。	支持
假說六：給定其他條件不變，生產成本會隨機器彈性的增加而降低。	支持

三、敏感度分析

在前述分析中，本研究依據理論基礎與實地情境，採用個別機台的功能轉換次數作為機器彈性的衡量，吾人預期：當機器彈性愈高時，個別機台可以處理的製程種類愈多，愈不容易受到產品需求的不確定性所影響，因此有助於設

備生產力的提昇，而實證結果也支持吾人對機器彈性與各項績效間之關係的預期。

然而，由於在晶圓廠中，有一部份的機台儘管執行的功能單一（機器彈性低），但因為是所有產品在製造過程中必經的機台，即共用機台，因此實際處理的製程種類數甚多，較不易受到產品需求不確定性所影響，在此種情況下，若將這類機台與其他機台一起進行分析，可能會低估機器彈性對生產績效之影響。

因此，為了排除此項可能性，本研究首先透過實地了解找出廠區中的共用機台，包括：量測機台(WAT)、晶臂研磨機台(grinder)、刷洗機台(scrubber)以及雷射刻號機台(laser Scriber)等；之後，在本節的分析中將這些機台從樣本中刪除，繼而重複前述的分析程序，據以檢視實證結果是否會因這些機台的剔除而改變。分析結果列示於表十二至表十五。

由表十二及表十三，吾人可以發現：在線性與非線性的時間模型中，路徑彈性的係數均顯著為負，且係數值的差異亦極小，與原實證結果一致。此外，由表十四看來，機器彈性的係數分別為 0.145 (t 值 = 2.114)、0.033 (t 值 = 2.546)，與前述分析結果相同仍然顯著為正，且係數值亦十分接近。表十五則顯示：機器彈性對報廢率與重製率的影響均顯著為正，係數值分別為 0.0000242 (t 值 = 2.299)、0.00035 (t 值 = 2.375)，與前述結果相同，且係數值以及報廢率模型的解釋能力更高。整體而言，實證結果並未因將共用機台由樣本中剔除而改變，排除了實證結果可能受到機台特性之影響的可能性。

陸、結論與建議

本研究之主要目的在於詳細分析在晶圓代工的製造環境下，製造彈性對品質、時間、設備生產力與生產成本的影響，基於路徑彈性與機器彈性為半導體製造系統所具備的重要特性(Jeng, Xie and Chou 1998)，故而，以這兩種彈性型態為主要的研究重心。實證結果顯示：路徑彈性不僅有助於生產週期時間的縮短，也對品質績效具有顯著的正向影響，而機器彈性雖有助於設備生產力的提昇，但對生產品質則有顯著的負向影響，在財務績效方面，本研究則發現機器彈性與路徑彈性均有助於生產成本的降低。此外，本研究並發現：製造彈性對設備生產力、生產週期時間及生產成本之影響呈現規模報酬遞減的趨勢，亦即最初彈性的增加可帶來大幅的績效改進，但隨著彈性水準的提昇，彈性的增加只能帶來邊際利益。

表十二 以非共用機台檢定研究假設之敏感度分析結果(應變數：生產週期時間)

自變數	變數代號	預期符號	線性迴歸模型	
			迴歸係數	對數模型 迴歸係數
截距項	INTERCEPT	(?)	-34.451** (-3.760)	0.162+ (1.734)
路徑彈性	ROUT _t	(-)	-0.179 (-0.974)	-0.052** (-3.041)
製程時間變異	VAR_PT _t	(+)	7.324** (17.286)	0.109** (8.895)
到達時間變異	VAR_AR _t	(+)	11.307* (2.299)	0.011 (0.523)
製造時間	TIME _t	(+)	7.871** (4.314)	0.241** (5.228)
產能利用率	UTIL _t	(+)	0.342** (3.423)	0.007** (6.982)
生產週期時間 (落後一期)	CYCLE _{t-1}	(+)	0.889** (73.420)	0.811** (29.713)
樣本數			1673	526
Adj R ²			0.8203	0.8529
F 值			1273.063	508.380
(p 值)			(0.0001)	0.0001

註：1.表中括弧中的數值為 t 值。

2.+, *, **: 分別代表顯著水準 10%, 5%, 1%。

表十三 以非共用機台檢定研究假設之敏感度分析結果：
存活期間模型(應變數：生產週期時間)

自變數	變數代號	預期符號	Exponential	Weibull	Lognormal	Generalized Gamma
截距項	INTERCEPT	(?)	2.899** (0.0001)	3.247** (0.0001)	2.557** (0.0001)	3.335** (0.0001)
路徑彈性	ROUT _t	(-)	-0.00448+ (0.0899)	-0.0025** (0.0026)	-0.011** (0.0001)	-0.0023** (0.0015)
製程時間變異	VAR_PT _t	(+)	0.063** (0.0001)	0.109** (0.0001)	0.029** (0.0001)	0.131** (0.0001)
到達時間變異	VAR_AR _t	(+)	0.015 (0.8199)	-0.016 (0.4373)	0.146** (0.0001)	-0.011 (0.5365)
製造時間	TIME _t	(+)	0.182** (0.0002)	0.186** (0.0001)	0.132** (0.0001)	0.171** (0.0001)
產能利用率	UTIL _t	(+)	0.0085** (0.0001)	0.0040** (0.0001)	0.015** (0.0001)	0.003** (0.0001)
生產週期時間 (落後一期)	CYCLE _{t-1}	(+)	0.0053** (0.0001)	0.006** (0.0001)	0.0035** (0.0001)	0.0064** (0.0001)
規模參數(scale parameter)			1.000	0.324	0.495	0.284
型態參數(shape parameter)			1.000	1.000	0.000	1.440
Log likelihood 值			-3135.348	-1347.518	-2075.921	-1331.796
觀察值數目			2901	2901	2901	2901

註：1.括弧內的數值為 p-value。

2.+, *, **: 分別代表顯著水準 10%, 5%, 1%。

表十四 以非共用機台檢定研究假設之敏感度分析結果(應變數：設備生產力)

自變數	變數代號	預期符號	線性迴歸模型	對數模型
			迴歸係數	迴歸係數
截距項	INTERCEPT	(?)	22.958** (17.354)	0.783** (11.732)
路徑彈性	ROUT _t	(+)	0.099** (3.145)	0.034** (2.906)
機器彈性	MACH _t	(+)	0.145* (2.114)	0.033* (2.546)
產品需求變異	VAR_OUT _t	(-)	-23.805** (-11.026)	-0.138** (-4.612)
生產總數	QTY _t	(+)	0.000013 (1.367)	7.818 (0.275)
設備生產力 (落後一期)	OEE _{t-1}	(+)	0.778** (57.612)	0.748** (36.772)
樣本數			1673	526
Adj R ²			0.7892	0.8368
F 值			1252.734	539.339
(p 值)			(0.0001)	(0.0001)

註：1.表中括弧中的數值為 t 值。

2.+, *, **: 分別代表顯著水準 10%, 5%, 1%。

表十五 以非共用機台檢定研究假設之敏感度分析結果：線性迴歸模型

自變數	變數代號	預期符號	報廢率	重製率
截距項	INTERCEPT	(?)	0.0005 ⁺ (1.768)	0.0189** (4.550)
路徑彈性	ROUT _t	(-)	-0.000016** (-3.406)	-0.000093 (-1.432)
機器彈性	MACH _t	(+)	0.0000242* (2.299)	0.00035* (2.375)
產品多樣性	VARIETY _t	(+)	-0.000001 (-0.232)	0.00022** (3.091)
製程時間變異	VAR_PT _t	(+)	0.000019 ⁺ (1.846)	-0.000042 (-0.294)
到達時間變異	VAR_AR _t	(+)	-0.00018 (-1.36)	0.00046 (0.249)
產品需求變異	VAR_OUT _t	(+)	0.00048 (1.306)	-0.00077 (-0.152)
產能利用率	UTIL _t	(+)	-0.0000019 (-0.731)	-0.0002** (-5.942)
報廢率 (落後一期)	SCRAP _{t-1}	(+)	0.1316** (12.076)	--
重製率 (落後一期)	REWORK _{t-1}	(+)	--	0.762** (44.64)
樣本數			1673	1673
Adj R ²			0.0936	0.6182
F 值			22.575	339.459
(p 值)			(0.0001)	(0.0001)

註：1.表中括弧中的數值為 t 值。

2.+, *, **: 分別代表顯著水準 10%, 5%, 1%。

本研究結果在理論方面具有幾項貢獻：首先，本研究提供實證證據，驗證製造彈性對時間、品質、設備生產力及成本績效之影響，彌補了既存文獻的不足，也證實製造彈性為一重要的價值動因；其次，本研究證實製造彈性與生產績效及生產成本之間確實存在非線性關係，且係呈現報酬遞減的趨勢，顯示過去研究採用線性模式分析製造彈性與績效之間的關係可能高估彈性對績效之影響幅度；最後，本研究驗證廠商之製造管理決策有助於生產績效與成本績效之提升，顯示過去管理會計文獻僅著重於分析產品複雜性與成本之間的關係，並未能瞭解成本管理之全貌，未來應能延伸檢視企業之策略與管理政策對成本績效之影響。

在實務方面，本研究則提供了數項重要的管理意涵：首先，管理製造彈性的第一步在於能清楚定義及衡量製造彈性，本論文依據實地情境設計製造彈性的衡量，為廠商提供了衡量內部彈性（即機器彈性與路徑彈性）的參考依據。其次，本研究證實：機器彈性與路徑彈性的特性不同，不僅所影響之生產績效不同，對同一生產績效衡量之影響亦異，例如：機器彈性與品質績效之間可能存在取捨關係，但路徑彈性則否，因此，廠商應依據個別廠房特性與所重視的績效衡量指標，調整所需的彈性型態與彈性水準；此外，隨著新製程的持續開發，廠商也面臨是否要在同一廠內生產多種製程，或者將不同製程分開在不同廠房生產，這些均涉及多功機台的購置，以及生產途程的安排，而本研究所得之結果適可提供廠商作為參考；最後，由於製造彈性與生產績效及生產成本之間存在非線性關係，且呈現報酬遞減的趨勢，因此當廠商致力於提升製造彈性時，應能了解極大化製造彈性水準並非最佳，有限的彈性水準即可達到最大的彈性利益。

儘管本研究具有前述貢獻，但同時亦存在研究限制，在解讀上必須謹慎。首先，由於本研究係以個案公司為研究對象，可能使研究結果之一般化受到限制，不過，關於此點，Ittner and Larcker (2001)指出以個別或少數公司為研究對象之實地研究雖存在外部效度之限制，但卻能提供較詳細的資訊，對研究問題進行深入的分析，在增加理論洞察上具有其貢獻，另一方面，儘管本研究僅以一家公司為研究對象，但該公司之生產規模為同業中居於領先地位的幾家公司之一，具有代表性，且晶圓廠之生產流程與廠房布置均相似，本研究所得結果同樣適用於同產業其他公司；此外，儘管本研究是以晶圓代工廠為研究對象，但本研究對於製造彈性之衡量係依據理論文獻之定義，而這類文獻採用數學模型分析製造彈性對生產績效之影響時，並未假設為大量製造型態的生產環境，而是只要製造環境中存在變異性或不確定性，且一項生產批量有多種生產路徑可以選擇，則可達到時間績效的提升（例如：Benjaafar 1994, 1995），類似地，只要一部機台可以快速地進行轉換處理不同的作業或產品型態，則有助於機台利用率與生產力的提升（例如：Jordan and Graves 1995），因此本研究所得之結果應可應用至非代工廠等大量製造的生產環境。

其次，派工(dispatching)決策亦是決定生產績效的重要因素，然而，由於資料限制，本研究無法進一步檢視工程師的派工能力對生產績效的影響，儘管工程師的派工能力與彈性衡量並未呈系統性相關，不致於影響本研究之實證結果，但讀者對本文之研究結果作一般化推論時仍應注意此點限制。

參考文獻

- Anand, G., and P. T. Ward. 2004. Fit, flexibility and performance in manufacturing: Coping with dynamic environments. *Production and Operations Management* 13 (Winter): 369-385.
- Anderson, S. 1995. Measuring the impact of product mix heterogeneity on manufacturing overhead cost. *The Accounting Review* 70 (July): 363-387.
- Anupindi, R., S. Chopra, S. Deshmukh, J. Mieghem, and E. Zemel. 1999. *Managing business process flows*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Banker, R., S. Datar, and S. Kekre. 1988. Relevant costs, congestion and stochasticity in production environments. *Journal of Accounting and Economics* 10 (July): 171-197.
- Bengtsson, J. 2001. Manufacturing flexibility and real options: A review. *International Journal of Production Economics* 74 (December): 213-224.
- Benjaafar, S. 1994. Models for performance evaluation of flexibility in manufacturing systems. *International Journal of Production Research* 32 (June): 1383-1402.
- Benjaafar, S. 1995. Effect of routing and machine flexibility on manufacturing performance. *International Journal of Integrated Manufacturing* 8 (July): 265-279.
- Benjaafar, S., and D. Gupta. 1998. Scope versus focus: Issues of flexibility, capacity and number of production facilities. *IIE Transactions* 30 (May): 413-425.
- Bohn, R. 1995. Noise and learning in semiconductor manufacturing. *Management Science* 41 (January): 31-42.
- Boyer, K., and G. Leong. 1996. Manufacturing flexibility at the plant level. *Omega, International Journal of Management Science* 24 (May): 495-510.
- Browne, J., D. Dubois, K. Rathmill, S. Sethi, and K. Steckle. 1984. Classification of flexible manufacturing systems. *The FMS Magazine* 2 (April): 114-117.
- Chandra, C., M. Everson, and J. Grabis. 2005. Evaluation of enterprise-level benefits of manufacturing flexibility. *Omega* 33 (February): 17-31.
- Chang, C. Y., and H. C. Cheng. 1997. *Integrated-Circuit Fabrication Processing and Equipment Handbook*. Chinese Association for Industrial Technology

Advancement (in Chinese).

- Chang, S., C. Yang, H. Cheng, and C. Sheu. 2003. Manufacturing flexibility and business strategy: An empirical study of small and medium sized firms. *International Journal of Production Economics* 83 (January): 13-26.
- Chen, J., R. Clinton, and C. Chung. 1992. The marketing-manufacturing interface and manufacturing flexibility. *Omega* 20: 431-443.
- Cooper, R., and R. Kaplan. 1991. *The Design of Cost Management Systems*. Prentice Hall.
- Cooper, R., and R. Kaplan. 1992. Activity-based system: Measuring the cost of resource usage. *Accounting Horizons* 6 (September): 1-13.
- De Toni., A., and S. Tochia. 1998. Manufacturing flexibility: A literature review. *International Journal of Production Research* 36 (June): 1587-1617.
- De Toni., A., and S. Tochia. 2005. Definitions and linkages between operational and strategic flexibilities. *Omega* 33 (December): 525-540.
- Dopuch, N., and M. Gupta. 1994. Economic effects of production changes: Accounting implications. *Journal of Management Accounting Research* 6 (Fall): 1-23.
- D'Souza, D. 2002. Toward an understanding of how organizations create manufacturing flexibility. *Journal of Managerial Issues* 14 (Winter): 470-485.
- Fisher, M., and C. Ittner. 1999. The impact of product variety on automobile assembly operations: Empirical evidence and simulation analysis. *Management Science* 45 (June): 771-786.
- Gerwin, D. 1993. Manufacturing flexibility: A strategic perspective. *Management Science* 39 (April): 395-410.
- Greene, W. 1997. *Econometric Analysis*, 3th Ed. New Jersey: Prentice-Hall.
- Gupta, D. 1993. On measurement and valuation of manufacturing flexibility. *International Journal of Production Research* 31 (December): 2947-2958.
- Gupta, D., and J. A. Buzacott. 1989. A framework for understanding flexibility of manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems* 8: 89-97.
- Gupta, Y., and S. Goyal. 1989. Flexibility of manufacturing systems: Concepts and measurements. *European Journal of Operational Research* 43 (November): 119-135.
- Gustavsson, S. O. 1984. Flexibility and productivity in complex production

- processes. *International Journal of Production Research* 22 (May): 801-808.
- Hair, J., R. Anderson, R. Tatham, and W. Black. 1998. *Multivariate Data Analysis*, 6th Ed. Prentice-Hall.
- Hatch, N., and D. Mowery. 1998. Process innovation and learning by doing in semiconductor manufacturing. *Management Science* 44 (November): 1461-1477.
- Hopp, J., and M. Spearman. 2000. *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*. Irwin.
- Ittner, C., and D. Larcker. 2001. Assessing empirical research in managerial accounting: A value-based management perspective. *Journal of Accounting and Economic* 32 (December): 349-410.
- Jeng, M., X. Xie, and S. Chou. 1998. Modeling, qualitative analysis, and performance evaluation of the etching area in an IC wafer fabrication system using Petri nets. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing* 11 (August): 358-373.
- Jordan, W., and S. Graves. 1995. Principles on the benefits of manufacturing process flexibility. *Management Science* 41 (April): 577-594.
- Koste, L., and M. Malhotra. 1999. A theoretical framework for analyzing the dimensions of manufacturing flexibility. *Journal of Operations Management* 18 (December): 75-93.
- Koste, L., and M. Malhotra. 2000. Trade-offs among the elements of flexibility: A comparison from the automotive industry. *Omega* 28 (December): 693-710.
- Koste, L., M. Malhotra, and S. Sharma. 2004. Measuring dimensions of manufacturing flexibility. *Journal of Operations Management* 22 (April): 171-196.
- Llorens, F. J., L. M. Molina, and A. J. Verdu. 2005. Flexibility of manufacturing systems, strategic change and performance. *International Journal of Production Economics* 98 (December): 273-289.
- MacArthur, J. B., and H. A. Stranahan. 1998. Cost driver analysis in hospitals: A simultaneous equations approach. *Journal of Management Accounting Research* 10: 279-312.
- Murphy, R., P. Saxena, and W. Levinson. 1996. Use OEE; don't let OEE use you. *Semiconductor International* 19 (October): 125-132.
- Nandkeolyar, U., and D. Christy. 1992. An investigation of the effect of machine

- flexibility and number of part families on system performance. *International Journal of Production Research* 30 (March): 512-526.
- Petroni, A., and M. Bevilacqua. 2002. Identifying manufacturing flexibility best practices in small and medium enterprises. *International Journal of Operations and Production Management* 22 (August): 929-947.
- Sethi, A., and S. Sethi. 1990. Flexibility in manufacturing: A survey. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems* 2 (July): 289-328.
- Sheikhzadeh, M., S. Benjaafar, and D. Gupta. 1998. Machine sharing in manufacturing systems: Total flexibility versus chaining. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems* 10 (October): 351-378.
- Slack, N. 1983. Flexibility as a manufacturing objective. *International Journal of Operations and Production Management* 3: 4-13.
- Son, Y. K., and C. S. Park. 1987. Economic measure of productivity, quality and flexibility in advanced manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems* 6: 193-207
- Suarez, F., M. Cusumano, and C. Fine. 1996. An empirical study of manufacturing flexibility in printed circuit board assembly. *Operations Research* 44 (January-February): 223-239.
- Swamidass, P., and W. Newell. 1987. Manufacturing strategy, environmental uncertainty and performance: A path analytic model. *Management Science* 33 (April): 509-524.
- Tsubone, H., and M. Horikawa. 1999. A comparison between machine flexibility and routing flexibility. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems* 11 (February): 83-101.
- Upton, D. 1994. The management of manufacturing flexibility. *California Management Review* 36 (Winter): 72-89.
- Upton, D. 1995. What really makes factories flexible? *Harvard Business Review* (July-August): 74-84.
- Van Zant, P. 2000. *Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing*. 4th Ed. McGraw-Hill.
- Vickery, S. K., C. Droge, and R. E. Markland. 1997. Dimensions of manufacturing strength in the furniture industry. *Journal of Operations Management* 15 (November): 317-330.
- Vokurka, R., and S. O'Leary-Kelly. 2000. A review of empirical research on

manufacturing flexibility. *Journal of Operational Management* 18 (June): 485-501.

Zhang, Q., M. A. Vonderembse, and J. S. Lim. 2003. Manufacturing flexibility: Defining and analyzing relationships among competence, capability and customer satisfaction. *Journal of Operations Management* 21 (March): 173-191.