

### 第三章 半導體產業及個案公司探討

#### 第一節 半導體產業概況

近年來，我國半導體產業的成長已成為國際矚目的焦點，如表 3-1 所示，以 2000 年為例，在全球半導體市場規模達到 2,044 億美元之際，我國半導體產業以 68.7% 之高超越全球市場成長率，其中代工產值的成長率更高達 111.3%，若依產值評比，我國目前已是僅次於美、日、韓的全球第四大積體電路(簡稱 IC)生產國，更是全球最大的晶圓代工生產國，未來，隨著全球供應鏈的形成，台灣半導體業在國際市場上的地位將益形重要。

表 3-1 我國半導體產業之重要指標

產值單位：億台幣

項目\年度	1996	1997	1998	1999	2000	2000/1999
產業產值	1,882	2,476	2,834	4,235	7,144	68.7%
IC 設計業	218	363	469	742	1,152	55.3%
IC 製造業	1,256	1,532	1,694	2,694	4,686	76.9%
晶圓代工值	560	842	938	1,404	2,966	111.3%
IC 封裝業	358	478	540	659	978	48.4%
國資封裝業	252	362	420	549	838	52.6%
IC 測試業	50	106	131	185	328	77.3%
產品產值	914	1,053	1,225	1,987	2,872	44.5%
內銷比例	39.5	47.0	49.7	54.7	53.9	-
市場值	2,036	2,355	2,744	3,457	5,065	46.5%

資料來源：工研院經資中心 (2001 年 3 月)

回顧我國半導體產業的發展，儘管發展之初是以封裝、測試為主軸，之後，逐漸由後段向前段發展，至 90 年代積體電路(簡稱 IC)製造業的蓬勃發展帶動了相關產業，例如前段的 IC 設計、後段的封裝測試，以及周邊的原料供應、光罩製作等，因而逐步形成了目前完整的產業鏈，截至 2000 年底為止，我國半導體業計有 140 家的 IC 設計公司、8 家晶圓材料公司、4 家光罩公司、16 家晶圓製造公司、48 家封裝公司、37 家測試業者、以及 13 家導線生產廠商，形成綿密的相互支援系統。

對於我國半導體業的成功，特有的產業群聚現象以及上、中、下游垂直分工的產業結構被認為是主要的決定因素，所謂垂直分工，係指個別廠商均致力於價值鏈中的特定功能領域，例如：設計、製造或測試等，彼此支援，由於各企業

僅專注於一特定領域，因此具有技術專精、管理單純、規模經濟與機動彈性等優點，適足以因應資本支出日益增加的產業趨勢與快速多變的產業環境。

表 3-2 我國 IC 製造業之重要指標

項目/年度	1996	1997	1998	1999	2000
營運廠商數	15	17	20	21	16
營業額(億台幣)	1256	1532	1694	2649	4686
成長率(%)	5.3	22.0	10.6	56.4	76.9
最先進製程能力(μm)	0.35	0.3	0.25	0.18	0.13
內銷:外銷比重	32:68	44:56	45:55	50:50	34:66
投資額/營業額(%)	68.6	78.5	74.4	71.4	65.9
研發支出/營業額(%)	5.4	7.7	10.5	7.0	5.3

資料來源：工研院電子所 IT IS 計劃 (2001 年 3 月)

在我國各半導體相關產業中，IC 製造業居於最關鍵性的角色，影響上下游的成長至鉅，過去兩年，隨著半導體產業的景氣復甦，國際 IDM 廠商委外代工比例增加，加以代工價格上漲、投資效應顯現，如表 3-2 所示，我國 IC 製造業產值與成長率急遽升高，1999 年及 2000 年的成長率皆達 56% 以上，目前晶圓代工產值已居世界第一。

另一方面，IC 製造業也是所有半導體相關產業中資本密集度最高者，具體而言，興建一座典型的八吋晶圓廠需要超過 200 億台幣的投資，十二吋晶圓廠更高達近 1000 億台幣<sup>1</sup>，且隨著製程的演進，投資金額會不斷增加，約每三年增加一倍，因此能否充分利用產能成為影響企業成本優勢的主要因素。

<sup>1</sup> 參見 2001 年 Dataquest IT IS 報告。

## 第二節 個案公司之介紹

### 一、 個案公司之背景：

個案公司為一家專業晶圓代工公司，主要致力於專業積體電路製造服務。由於其自我定位為客戶半導體生產的虛擬晶圓廠，因此僅提供產能為顧客服務，而不從事設計或生產自有產品，目前已為全球知名之專業積體電路製造公司，顧客範圍主要有國際整合性元件製造廠以及無晶圓廠積體電路設計公司。

基於該公司的願景在於成為一全球最有聲譽、以服務為導向、並替顧客創造最大利益的專業積體電路製造服務公司，反應在經營策略上具有重視顧客長期關係的維繫、製程技術能力的提昇以及製造彈性的強化等特性。

在顧客關係方面，為與散布全球各地之顧客建立溝通網路，以利長期關係的維繫及交易成本的降低，該公司透過網際網路，與顧客建立資訊共享的關係，一方面，公司隨時將最新技術服務資訊傳遞給顧客，而另一方面，顧客亦可直接傳遞需求，線上即時查詢產品生產進度，以及瀏覽各項品質測試報告及技術資訊。

在製程技術能力方面，為因應顧客在產品設計上的需求，個案公司以保持技術領先為目標，投入高資本於製程發展，致力於最先進製程的研發與量產能力，目前個案公司在專業積體電路製造上已居於技術領先地位。

在製造彈性方面，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，如何提高生產彈性，成為公司關注的焦點，具體而言，個案公司除了計劃性地提昇產能以因應顧客需求外，並持續地透過高度的自動化生產提昇製造彈性，例如：製程整合與電腦化輔助生產。截至八十九年底，個案公司在國內已有二座六吋晶圓廠、六座八吋晶圓廠以及二座十二吋晶圓廠。

在產品組合策略上，目前該公司主要以邏輯性產品為主，服務範圍包括：極大型及超大型積體電路製造、晶圓針測、包裝與測試、光罩製作、以及設計支援等，但以積體電路的製造為大宗，約佔全年營收的 90% 以上；在製程種類上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；在製程的世代上，以爭取先進製程訂單為努力方向。

### 二、 積體電路製造流程：

基本的晶片製造過程包括：原料的準備、長晶與晶圓的準備、晶圓的製造、測試與封裝，本節僅就積體電路的製造流程加以說明。一般而言，積體電路包含多層的導體，這些導體以介電層相連，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，以下詳細介紹之：

#### (一) 電路設計

晶片設計是製造積體電路的第一步。在晶片設計的過程中，需先清楚定義晶片功能，進而將其轉譯為符號圖以確認晶片上的元件數目與連接方式，最後，透過電腦輔助設計軟體，將其繪成完整的晶片形狀，即成所謂電路佈局圖。

#### (二) 氧化

將矽晶圓暴露於氧氣中一段時間可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。

#### (三) 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分面，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。

#### (四) 微影

在積體電路的製造過程中，首先需要將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。

#### (五) 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。

#### (六) 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。

#### (七) 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。

#### (八) 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(又名物理氣象沉積)與化學氣相沉積。

### 三、 個案公司製造彈性之管理：

關於個案公司對製造彈性的需求，本研究首先以製造彈性的理論為基礎<sup>2</sup>，從策略、環境不確定性與組織特性三方面分析個案公司對製造彈性的需求，之後，進一步檢視個案公司如何透過組織設計達成提昇製造彈性的目的。

#### (一) 個案公司對製造彈性的需求：

(1) **服務導向的策略定位**：儘管個案公司屬於半導體製造業，但成為顧客的虛擬晶圓廠是其策略定位，影響所及，在產品策略上，持續開發新製程、力行產品多樣化；在業務範圍方面，有 80% 的銷售額來自於專業晶圓代工；在管理控制系統的設計上，著重生產週期時間的縮減、交期績效與品質的提昇。

(2) **不確定性高的生產環境**：晶圓廠大抵可區分成微影、蝕刻、擴散、化學氣相沉積、離子植入、金屬濺鍍與化學研磨等功能性區域，而晶圓則以批量的方式在各區域間來回穿梭，至各機台進行處理，是為迴流式生產型態，一般而言，生產一項積體電路產品需要數以百計的生產步驟，且一個生產批量可能會經過相同區域、相同型態的機台數次，以典型的 CMOS

---

<sup>2</sup> Vokurka and O'Leary-Kelly (2000)彙總既有的製造彈性文獻，歸納出影響廠商對製造彈性之需求的主要因素有四：策略、環境不確定性、組織特性與科技水準。本研究採用其架構，從三方面分析製造彈性對個案公司的重要性。

為例，整個完整的生產流程需要經過黃光區 10 次，蝕刻區 26 次之多。由於此迴流特性，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有高度的不確定性，增加產能規劃、排程與派工等生產管理決策的困難度。

**(3) 資本密集度高、設備折舊快的組織特性：**半導體的製造成本主要包括設備、人工、原物料成本與其他製造費用，儘管各類成本的相對比例會隨著元件的大小、複雜度、產品/製程的成熟度、以及晶圓廠自動化的程度而改變，但一般而言，以設備成本所佔比例最高，因為每部機台的價格可達數百萬、千萬、甚至億元，而且隨著製程的快速變化，機台生命週期日益縮短、折舊速度加快，因此，就短期而言，既有產能資源的有效利用便成為獲致成本優勢的關鍵因素，達成此目標的途徑有主要有二：良率與設備生產力。

由於以上的特性，個案公司不僅消極地需要製造彈性降低環境的不確定性，積極地更憑藉高於同業的製造彈性創造競爭優勢，因此，個案公司對製造彈性的需求水準甚高。此外，生產控制與管理上著重品質、時間與設備生產力的提昇。

## **(二) 製造彈性的達成與管理：**

給定製造彈性對公司的重要性，個案公司透過現場佈置、設備投資、人力資源管理以達成提昇製造彈性的目的：

在現場的佈置方面，為了能夠同時處理多種不同種類的生產批量(流程彈性)，採用流程導向的設計，亦即依照功能別的不同，區分成諸如：黃光、蝕刻、擴散、離子植入等生產區域，在製造過程中，各生產批量在各功能區域間來回移動，接受不同的處置(operations)，且每一生產批量並有多種生產路徑可供選擇，降低其受當機與緊急批量影響而延誤生產的機會(即路徑彈性)，以增加設備與人員指派的彈性。

在彈性設備投資方面，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。這類設計的主要優點在於提昇機器彈性，進而可減少生產步驟、縮短運送時間、提高良率與減少機台的佔地面積，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。

製程整合的設計主要是受到技術與經濟因素所驅動，在技術層面，有些整合性的設計可製造出更好的產品，例如：使不同化學材料在同一製程室內先後沉積，在這種情況下，由於在各生產步驟間，晶圓不會暴露在

空氣中，因此可生產出較佳的產品，目前製程整合設計可區非成兩類：一為整合性處理(integrated processing)，係指兩項或更多項順序製程進行整合謂之，另一類為水平整合處理(parallel processing)。

在自動化方面，電腦整合製造的方式普遍應用於半導體產業，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，導致生產效率的損失，因此，透過流程自動化減少生產系統對操作員技術、訓練與士氣的依賴，可增加流程與產品的一致性。在電腦整合製造系統中，涵蓋了晶圓運送、控制系統、生產流程以及工廠的全面自動化。具體而言，在生產過程上，各產品在機台上所作的處理均由電腦程式控制，執行條件會儲存於製程配方(recipe)中；在晶圓的運送上，採用自動搬運車(automated guided vehicle)，以避免因人員交接所造成的生產力波動及減少人員的工作傷害等。

在人員管理方面，加強員工具備多項技術的能力，具體而言，訓練出所謂的多能工，使人員可處理多種不同的產品型態、可操作不同種類的機台，增加人員間的替換與互補的能力，提昇人員彈性。