

第三章 全球半導體產業發展

本章將分析半導體產業過去、現在與未來的發展，開始將使用創新理論的概念解釋半導體是新市場的一項破壞性創新，並用價值鏈理論觀點說明半導體的演進，及為何會形成特定的產業結構與市場特性。

第一節、半導體產業發展概述

半導體是指在某些情況下，能夠導通電流，而在某些條件下，又具有絕緣體效用的物質；而積體電路（IC: Integrated Circuit）則是在一半導體基板上，利用氧化、蝕刻、擴散等方法，將眾多電子電路組成各式二極體、電晶體等電子元件，以執行某一特定邏輯功能，進而達成某些電路功能。隨著技術的進步，在單一晶片聚集佰萬顆以上電晶體，已非難事；通常需經過電路設計、光罩製作、晶片製造、晶片封裝和測試檢查等步驟才能製成一顆 IC，在 1961 年首顆商用積體電路上市後，技術快速發展，IC 產品挾其輕、薄、短、小、省電、多功能、低成本等特長，席捲大半的半導體市場，成為半導體的主流產品。

依據 2000 年 7 月的 Date Quest 估計 2000 年全球各式電子產品產值，約有一兆零七百億美元的規模；約消耗掉 2,044 億美元的半導體；而 IC 又佔其中的八成七左右。半導體對全球電子產業具有非常大的影響力，IC 半導體被認為是半個世紀以來對人類社會影響最大的技術創新。

在 1940 年代真空管大量使用於電話交換機系統，而市場對系統的性能要求不斷增加，體積龐大的真空管在空間與技術上都已到極限，因而，戰後許多研究機構投入新材料技術的研發，在各方努力下，終於在 1947 年由美國貝爾實驗室科學家 John Barden 與 Walter Brattain 成功發明第一顆點接觸電晶體，以取代體積龐大的真空管。點接觸電晶體發明後一個月，William Shockley 完成了 P-N 二極電晶體的構想，到了 1951 年 Shockley 開發更具實用性的(junction)電晶體。但因當時材料與處理技術尚未成熟，產品不穩定，不適合大規模生產，因而，貝爾實驗室將此技術授權給其他廠商共同發展商業化技術。

1952 年德州儀器 (Texas Instrument；以下簡稱德儀) 進入半導體產業，而 Motorola 公司也在鳳凰成建立固態電子實驗室研究電晶體，到了 1954 年德儀開發出第一顆商用矽晶 (grown-junction silicon) 電晶體，貝爾實驗室也開發出氧化、光罩、蝕刻與散佈 (oxidation, photomasking, etching, and diffusion) 製程技術，此後的半導體產業才真正開始商業化發展。

發明電晶體的 Shockley 在 1955 年時離開貝爾實驗室，到東岸加州新創 Shockley 電晶體實驗室，從事電晶體的生產，但因經營不善，1957 年手下大將 (who) 出走另外創立 Fairchild 公司，是世界第一家純半導體製造廠商。而當年度半導體產業的產值首度超過 1 億美元。

1958 年德儀的 Jack Kilby 發明積體電路，把電阻、電容等電晶體元件，用相同的材料設計在同一晶片上，開啟半導體產業的新時代；當年美國空軍亦首度把半導體納入 Minutemen 飛彈設計中，此後國防部與 NASA 成為美國半導體的兩大使用客戶，半導體產業的技術與市場因而快速成長。1961 年 Fairchild 與德儀雙雙成功推出第一顆商用積體電路，到了 1962 年半導體產業營收已超越 10 億美元。

若按其製程技術來區分，積體電路的技術可分為單極 (unipolar) 與雙極 (bipolar)，由於雙極的元件參數很多，製造技術相對複雜，單極技術則相對簡單，但雙極技術發展較早，在 1960 年代仍以雙極技術生產電晶體。單極技術又可分為 CMOS 與 NMOS 技術，MOS 技術雖然在 60 年代不斷的發展，但直到 1970 年 Intel 推出商用 1K DRAM 成為電腦記憶體標準產品後，MOS 技術才逐漸成為主流，此後 MOS 製程的產品攻佔了絕大多數的應用市場。

在 1970 年代記憶體技術不斷發展，而日本在 1970 年代中期 VLSI 計畫完成後，各大公司大舉進軍半導體市場，1980 年 Fujitsu 開始量產 64k DRAM，1983 年 Hitachi 開始量產 256k DRAM (陳宗文，2000)，日本在 1984 年在半導體市場的佔有率陡升至 31%，並在 1986 年時超越美國成為全球第一。

1971 年 Intel 的 Hoff 發明微處理器 4004 及隨後 TI 推出單晶片微處理器，開啟半導體產業新的里程碑。微處理器是邏輯電路產品，以電晶體構成運算單

元，不似記憶體那樣標編準化，是精心設計的組合產品。1972 年 TI 的 Murtha 等發明可程式數位訊後處理器（DSP: Programmable Digital Signal Processor），HP 推出科學用掌上型計算機，Intel 推出 PMOS 製程的八位元微處理器 8008，1974 年 Intel 成功商業化 NMOS 製程的微處理器 8080，1978 年 IBM 選取 Intel 微處理器 8088 為個人電腦標準元件後，微處理器技術逐漸成熟，到了 1985 年 Intel 正式退出 DRAM 市場，專心在邏輯電路上發展。

1980 年代之後，記憶體與微處理器技術發展快速，製程微細化的進步，晶片上聚集的電晶體數目成倍數成長，幾乎依循 Gordon Moore 在 1965 年所提出「每 18 個月積體電路的原件數目會倍增」的默爾定律，產品的高密度化與高複雜化，使半導體產業在 1990 年代後進入特大積體電路時代，特殊應用 IC 及其他多種產品快速開發，其主要技術與產品里程碑整理如表 3-1-1。

表 3-1-1：半導體主要技術/產品演進里程碑

年份	主要技術/產品	關係人
1947	點接觸電晶體	Bell Lab 的 Bardeen 與 Brattain
1958	積體電路	德州儀器的 Kilby
1959	商業化製造積體電路	Fairchild 的 Noyce
1959	MOS 電晶體	Bell Lab 的 Atalla 與 Kahng
1963	CMOS 電晶體	Fairchild 的 Wanlass
1964	1 吋晶圓	
1966	DRAM 記憶體	IBM 的 Robert Dennard
1966	1.5 吋晶圓	
1967	NMOS 電晶體	Wegener 等
1970	1K DRAM	Intel
1970	2.25 吋晶圓	
1971	微處理器 4004	Intel 的 Hoff，NMOS 10 微米製程，2.3K 電晶體
1972	8 位元微處理器 8008	Intel 的 NMOS 10 微米製程，3.5K 電晶體
1973	3 吋晶圓	
1974	8 位元微處理器 8080	Intel 的 NMOS 6 微米製程，4.5K 電晶體
1975	4 吋（100mm）晶圓	
1979	推出 64k DRAM	Fujitsu 的 NMOS 3 微米製程
1981	6 吋（150mm）晶圓	
1982	16 位元微處理器 80286	Intel 的 CMOS 1.5 微米製程，134K 電晶體
1983	1M DRAM	Intel 的 CMOS 1.2 微米製程

年份	主要技術/產品	關係人
1985	32 位元微處理器 80386	Intel 的 CMOS 1.5 微米製程，275K 電晶體
1985	8 吋 (200mm) 晶圓	
1989	32 位元微處理器 80486	Intel 的 CMOS 1.0 微米製程，1.2M 電晶體
1991	16M DRAM	NEC 的 CMOS 0.5 微米製程
1993	Pentium 微處理器	Intel 的 BiCMOS 0.8 微米製程，3.3M 電晶體
1994	64M DRAM	三星的 CMOS 0.35 微米製程
1996	12 吋 (300mm) 晶圓	
1997	Pentium II 微處理器	Intel 的 CMOS 0.35 微米製程，1M 電晶體，L2 Cache
1998	256M DRAM	三星的 CMOS 0.25 微米製程
1999	Pentium III 微處理器	Intel 的 CMOS 0.25 微米製程 PGA 封裝，9.5M 電晶體
2000	Pentium IV 微處理器	Intel 的 CMOS 0.18 微米製程 PGA 封裝，42M 電晶體，
2003	Pentium M 微處理器	Intel 的 CMOS 0.13 微米製程 PGA 封裝，77M 電晶體，

IC 是半導體產品的主要成員，而半導體則是整個電子零組件中主動元件的主力，電子零組件又是組成下游電子系統產品的主要部份，這些半導體、IC 廣泛應用於資訊、通訊、消費性和其他各式電子產品，其關係如圖 3-1-1 所示。

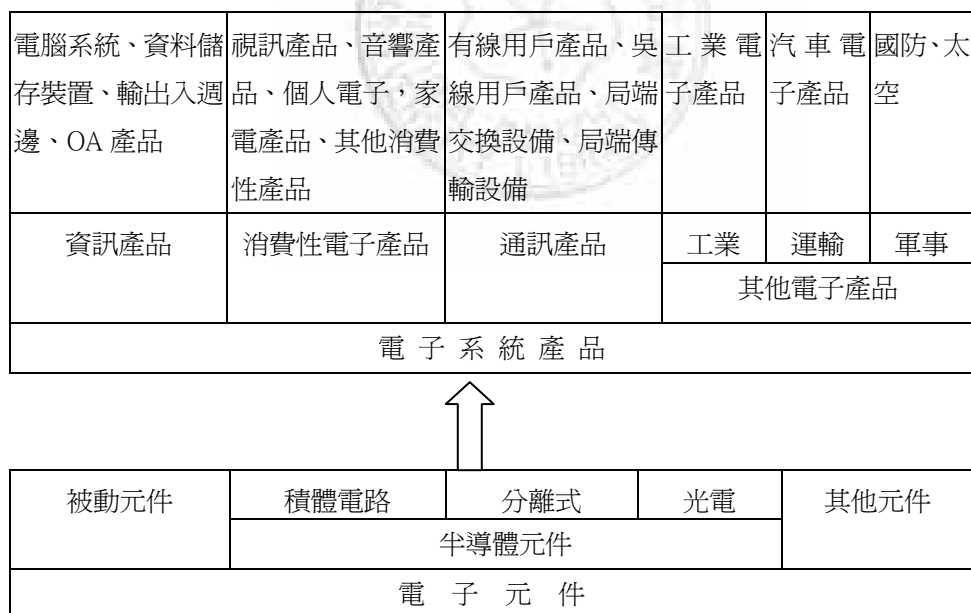
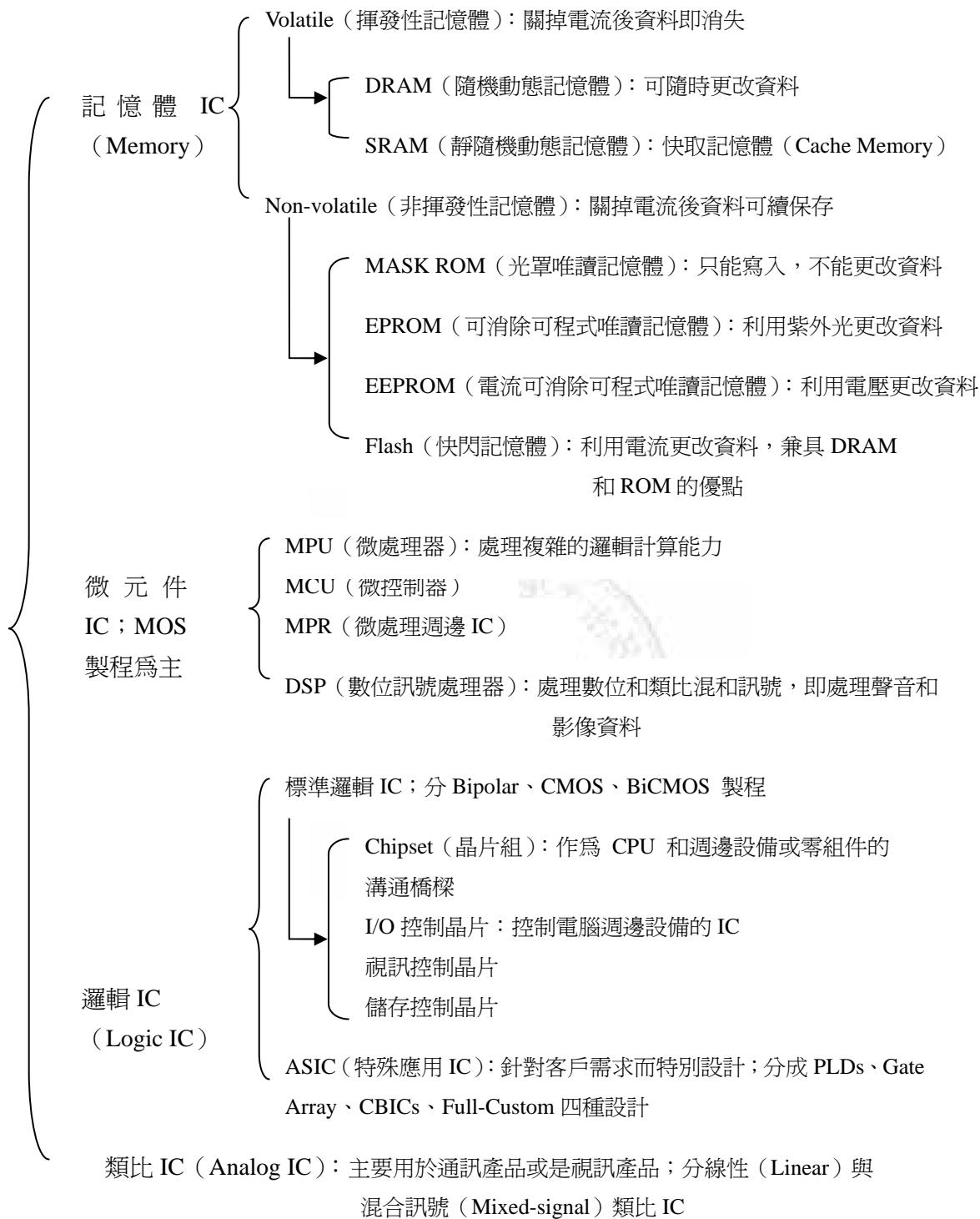


圖 3-1-1：電子元件分類與產品應用

而 IC 的產品分類與主要功能則如圖 3-1-2 所示，積體電路可以分為記憶體 IC、微元件 IC、邏輯 IC 與類比 IC，記憶體 IC 是用來儲存資料的元件，再依資料是否因電源關閉而消失分為揮發性及非揮發性兩類；微元件 IC 是指具備

特殊資料運算功能的 IC，其中微處理器具有複雜的邏輯計算能力，號稱是「電腦心臟」，數位訊號處理器則是處理聲音和影像資料，在網際網路時代越顯重要；邏輯 IC 中的晶片組，其主要功能是負責溝通 MPU 和週邊設備及其他零組件，發展深受 MPU 技術影響，而 ASIC 則是為了特殊資訊處理功能而設計的 IC，需求依客戶而定，常用於數位相機、遊戲機等產品；類比 IC 主要用來處理聲音、影像等連續性的波形資料轉換，主要被運用在通訊或視訊產品方面。





第二節、半導體市場發展與產業特性

半導體產業市場規模發展如表 3-2-1 所示，從 1955 年 1 千 2 百萬美元規模起，到 1962 年產值首度超越 10 億美元，從 1970 年開始，除了產品技術不斷創新外，製程技術微細化與增大晶圓尺寸是驅動半導體產品邊際單位成本持續下降，引發半導體產業市場快速成長的驅動力量（電子時報、2002），全球半導體市場平均每年以 17% 的幅度成長，至 2000 年達到 2,044 億美元高峰規模，後衰退而在 2003 年逐漸復甦達 1,603 億美元。

表 3-2-1：1955 -2003 年全球半導體市場規模（十億美元）

1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2003
0.012	0.65	1.30	2.35	4.9	13.9	21.8	50.5	144.4	204.4	162.3

資料來源：SIA: Worldwide Semiconductor Shipments (\$B)

半導體產業是一個高度景氣波動的產業，半導體產業依循著五年一次小循環、十年一次大循環的週期發展，稱為「矽週期循環」。從 1970 年代開始，半導體產業歷經三次大週期；第一次循環，從 1975 年市場負成長 6%，景氣一路下滑，到 1984 年反轉 46% 高度成長，平均複合成長率為 20.4%；第二次循環，從 1985 年負成長 16%，經過十年時間，到 1995 年反轉 46% 高度成長，平均複合成長率仍有 20.8%；最近一次的循環則是從 1996 年初價格再次下跌，到 2000 年中，達到歷史新高點，之後在快速滑落，2003 年才逐漸復甦（左克傑，2003）。

半導體是一個技術快速發展、市場版圖變化多端的產業，表 3-2-2 是半導體產業從 1955 年以來，世界前十大半導體廠商的排名，在 1955 年排名前十大廠商，到了 1975 年時只有 5 家仍在前五大之內，再經 20 年後的 1995 年則僅剩兩家，即德州儀器與 Motorola 分別排名第 7 與第 5 名。1980 年中期起日本廠商異軍突起，到 1990 有 6 家日本廠商分別進入前 10 名，其中又以 NEC、Toshiba 與 Hitachi 分居前三名；到了 1990 年代美國的 Intel 再度取得世界第一的頭銜，並有另外 4 家同時排入前 10 名，此年代另外的新興半導體國家則是韓國與台灣，韓國的三星電子從 1995 年入榜，到 2000 年時是世界第 2 名。

表 3-2-2：全球十大半導體廠商排名

廠商 \ 年份	1955	1960	1965	1975	1980	1984	1990	1995	1998	2002
Hughes	1	9								
Transitron	2	2	9							
Philco	3	3								
Sylvania	4	10								
Texas Instrument (1952)	5	1	1	1	1	1	7	7	3	5
General Instrument	6	4	4	7						
RCA	7	5	6	8						
Westinghouse	8									
Motorola (1952)	9	6	2	5	2	3	4	5	4	8
Clevite	10	7								
Fairchild (1957)		8	3	2	6					
General Electric			5							
Sprague			7							
Philco-Ford			8							
Ratheon			10							
Natioal (1959)				3	3	5				
Intel (1968)				4	4	6	5	1	1	1
Rockwell				6						
Sinetics/Phillips				9	8	8	10	10		10
American Microsystems				10						
NEC ()					5	2	1	2	2	6
Hitachi					7	4	3	4	7	
AMD (1969)					9	10				
Toshiba					10	9	2	3	6	3
Fujitsu						7		8	10	
Mitsubishi							8	9		
Matsushita							9			
Samsung ()								6	8	2
IBM									5	
Infineon Technologies										7
STMicroelectronics									9	4
TSMC (1987)										9

資料來源：1955-1975 年:Langlois and Steinmueller,2000; 1980-1990 年:
Duyster,1996;1995 年:Hong, 1997; 2002 年:半導體工業年鑑，2003

從表 3-2-3 中全球半導體市場佔有率的變化亦可以看到半導體產業在不同地區間的起落。1980 年代之前美國獨占全球市場，市場佔有率高達 50-70%，1980 年代日本興起，在 1986 年時超越美國成為世界半導體第一大生產國，直到 1993 年後美國才又奪回第一，但在 1980 年代末期起，在亞太地區新興許多半導體生產國，1990 年代是以韓國與台灣為主，1990 年代末期又加入中國大陸與新加坡等，到 20 世紀末亞太地區生產值已佔四分之一，並預估將持續增加。

表 3-2-3：1976-2003 年全球半導體地區別市場佔有率 (%)

	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	00	01	02	03
美國	67	64	55	60	45	32	30	29	31	33	32	33	31	26	22	19
歐洲	22	24	35	30	18	20	18	19	19	19	21	23	21	22	20	19
日本	5	5	4	4	31	40	40	39	32	29	26	20	23	24	22	23
亞太	6	7	6	6	6	8	12	13	18	19	21	24	25	26	24	29

資料來源：SIA: Total Semiconductor World Market Sales & Shares

1980 年到 1997 年間美國半導體產業的績效反應在產品與製程上的移動，比起日本廠商強調製造效率，美國廠商更強調設計密集的產品與製程上更多的靈活性，在此階段美國同時改善製程技術與管理以充分利用產品的創新，在 1980 年代初美國的製程技術落後日本一大截，在 1990 年是部分製程技術已經改上，在製程技術上的改上包括工作站流程的製程技術管理與新產品與新製程技術的開發與採用 (Macher, Mowery, and Hodges, 1998)。

表 3-2-4 是最近 13 年來全球半導體市場的規模，2000 年高達 2,044 億美元是最高峰，2003 年達 1,603 億美元，美國半導體協會 (SIA) 預估 2004 年會回復到 2,000 億美元左右市場規模，預估到 2006 年約有 2,250 億美元的市場規模 (SIA: 2003, Nov. forecast)。

表 3-2-4：1991-2003 全球半導體地區別市場規模（十億美元）

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
美國	15.4	18.4	24.7	33.6	47.0	42.7	45.9	41.4	47.5	64.1	35.8	31.2	32.3
歐洲	10.1	11.5	14.6	19.7	28.2	27.6	29.1	29.4	31.9	42.3	30.2	27.8	32.2
日本	20.9	19.4	23.8	29.4	39.7	34.2	32.1	25.9	32.8	46.7	33.1	30.5	38.9
亞太	8.2	10.6	14.2	19.2	29.5	27.6	30.2	28.9	37.2	51.3	39.8	51.2	62.8
總計	54.1	59.9	77.3	101.9	144.4	132.1	137.2	125.6	149.4	204.4	138.9	140.7	166.2

資料來源：SIA: World Market 1991-2003

若以應用別來區分市場規模，如表 3-2-5 所示，資訊產品與通訊產品佔 60% 以上，是驅動並維持過去十年半導體產業成長的兩大市場。

表 3-2-5 全球半導體應用別市場規模（百萬美元）

	2001	2002	2003e	2004f	2005f	2006f	02-06 複合成長率
國防太空	3,818	4,353	4,875	5,764	6,158	5,634	6.7%
工業電子	10,134	10,485	11,798	14,644	17,348	15,941	11.0%
資訊產品	62,707	65,541	68,541	83,203	103,036	92,394	9.0%
消費電子	26,084	26,738	29,379	36,151	42,801	43,430	12.8%
通訊產品	38,420	36,164	40,386	51,649	63,843	61,297	14.1%
運輸	11,028	11,750	12,854	15,334	18,537	19,860	14.0%

資料來源：Dataquest（2003/05）；工研院 IEK-ITIS 計畫（2003/05）

半導體產業是高度技術與資本密集產業的典範；以技術密集程度而言，目前一顆 IC 有上億顆的電晶體數量，而技術發展仍大致遵守莫爾定律，大致上每 18-24 個月，相同面積大小的晶片內，電晶體數量會成長一倍，這正是 IC 產品集積度不斷提升的最佳寫照。以 64M DRAM 為例，其可以儲存的資訊量，就相當於 256 頁報紙、或一個小時的電話留言錄音。

1980 年代電子產品中使用 IC 的比例只佔 6%，1990 年代電子產品中使用

IC 的比例上升至 12%，到了 2000 年 IC 的使用更加普及，一台個人電腦有超過 50% 的價值來自 IC，估計未來電子產品中 IC 的比例會成長到 20% 左右（左克傑，2003）。

半導體的研發與生產都是需要投入大量的資本，以晶圓廠資本支出為例如表 3-2-6 所示，一座 8 吋晶圓廠至少需要 10 億美元，一座 12 吋晶圓廠至少投資 25 億美元，其中 70% 為機器設備的投資，而且需要三個廠才能達到範疇經濟的綜效。除硬體的投資以外，一個新廠需要歷經相當程度的學習曲線階段，直到製程穩定、生產良率提升至一定水準後，方能進入正式量產，當技術層次越高，這些未進入量產前的學習與投資越是可觀（左克傑，2003）。

表 3-2-6；各式晶圓廠建廠資本支出

興建時點	1982	1986	1990	1992	1995	1997	1999	2001	2002	2004
晶圓尺寸	4吋	6吋	8吋	8吋	8吋	8吋	8吋	8吋	12吋	12吋
製程技術 (微米)	2	1.2	0.8	0.5	0.35	0.25	0.18	0.13	0.13	0.09
月產能 (片)	15K	20K	20K	20K	25K	30K	30K	30K	30K	30K
資本支出 (10億美元)	0.15	0.35	0.5	0.8	1.0	1.6	1.7	1.8	2.5	4.5

資料來源：電子時報，2002/2；黃乃文，2003

而 90 奈米的製程技術開發經費更是驚人，不含產品研發的一座 12 吋晶圓投資至少需 40-50 億美元，其中廠房設備約需 25-30 億美元，製程開發成本約需 15-20 億美元（黃乃文，2003）。

半導體是各種電子產品必須使用的關鍵性零組件，半導體產業技術的發展也被視為國家現代化的指標之一，因而除了歐美日技術先進國家持續發展外，亞洲後進國則視發展半導體產業為國家重大政策，紛紛積極投入，新加坡、台灣與韓國是近年來發展較成功的亞洲後進國（Hodbay, 1995）。

另外，由於半導體產品的開發與製造，必須集合無數的人才、資金、技術才能成功，而新產品發展的高風險與高成本及新生產設備投資的成本不斷上升，因此近年來，無論是歐美日先進國家或是韓台新等新興國家的廠商，都不斷進行跨國的合作，希望藉由廣泛的策略分工與聯盟，來降低技術、市場、投資與營運的風險（Macher, Mowery, and Hodges, 1998），尤其在進入奈米製程技

術世代，由於技術開發的高投資與高風險，新生產設備的巨大投資，更促使成立更多的跨國技術開發策略聯盟（黃乃文，2003）。促成跨國合作的另外一個原因是，先進資訊技術可以支援愈來愈複雜的產品設計與製造間的合作關係（Macher, Mowery, and Hodges,1998）



第三節、產業價值鏈與產業結構變遷

一顆 IC 的製作完成要經過產品企劃、產品設計、光罩製作、晶片製造、晶片封裝、晶片測試後才會交運使用者，其製作流程如圖 3-3-1 所示，這些主要的價值活動形成 IC 半導體產業價值鏈；其中 IC 設計屬於小投資、高附加價值階段，製造則屬於高投資、中等附加價值階段，至於封裝與測試，則屬於中等投資、低附加價值階段。

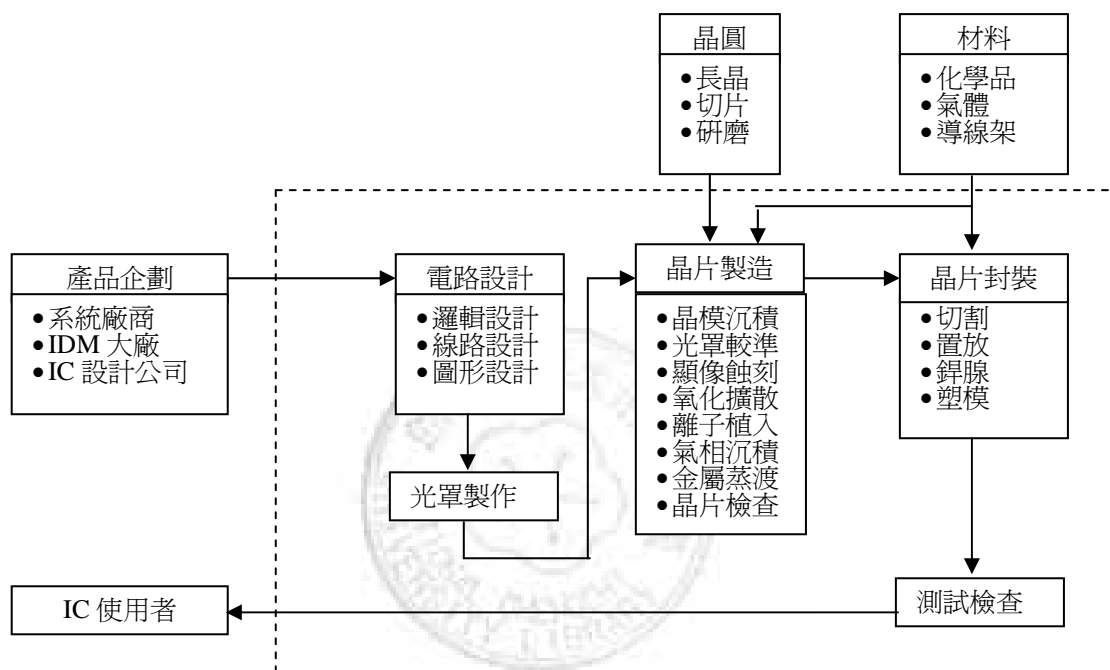


圖 3-3-1：IC 半導體製造流程

資料來源：工研院經資中心 ITIS 計畫，2000 年 9 月

由產業價值鏈所形成的半導體產業結構，在過去近五十年發展歷程中，因產品創新速度、技術成熟程度、產品與產業標準化程度、生產經濟競爭性、投資風險等各種因素的交雜影響下，發生了相當大的變革。每一次變革皆形成新的產業分工體制，也使得產業專業分工結構變得更為明顯、更為重要，每次變革也都使產業發生明顯的洗牌作用（李志忠，2001）。

自 1960 年代開始，半導體產業經歷三次變革，分別說明如下：

(1) 第一次產業變革（1960-1970）

第一次的產業變革是在 1960 年至 1970 年間微處理器與記憶體的誕

生，所產生的產業結構變化是：由產品系統廠商獨攬系統與 IC 設計製造的垂直整合，轉變為系統廠商與 IC 整合元件製造廠商（IDM: Integrated Design Manufacturing）的分工體制。

早期的電腦系統是利用小規模的 IC 在電路板上設計而成，現今所看到電腦的中央處理器和與記憶體，當時都是系統廠商自己開發組合而成的，沒有所謂的標準元件。系統廠商從元件、系統到軟體是完全自有專屬技術所整合的，因而，電腦系統設計非常困難，小廠商是無法獨立完成的。但在 1970 年左右，微處理器與記憶體等商用產品出現後，逐漸發展成為電腦系統的標準元件，而被大量採用，因此小廠商就可利用這些標準元件設計電腦系統。在此情形下，產業結構逐漸由系統廠商獨攬整合的情況，轉變為系統廠商與 IC 整合元件製造廠商兩者分工體制。

在此階段由於技術的私有性、高資本密集度常，能夠與願意投入的廠商並不多，加上產業標準尚未成形，沒有專業廠商存在的空間，所以，早期投入此一產業的廠商，都必須從上游的產品設計、原料與機台開發、到下游的封裝測試一手包辦，而形成整合元件製造商（左克傑，2003），此階段典型崛起的 IDM 大廠商如美國 Fairchild、Intel、National Semiconductor，日本的 NEC、Hitachi、Fujitsu 等。

(2) 第二次產業變革（1980 年代初）

第二次變革是 1980 年代初期發生，主要是特殊應用積體電路(ASIC) 的出現，所產生的產業結構變化是：由 IC 整合元件製造的「垂直整合」型態，解構成為 IC 整合元件製造廠商與無晶圓廠 IC 設計公司（Fabless Design house）、晶圓專業代工廠商（Foundry）、下游封裝測試廠商並存的「水平分工」體制。

半導體產業在邁入 1970 年代後，產業的成熟度提高，美國的 IDM 廠商逐步將低層次、附加價值不高的封裝測試工作，移至人工成本較低廉的亞洲新興國家，繼而逐步放棄自行投資，而仰賴當地具競爭力的專業封裝測試廠商（左克傑，2003），這是此階段產業結構因製造成本考量所致的較小變革，更大的變革是來自技術的突破。

此階段在設計電腦系統時，已有較標準的微處理器與記憶體積體電路元件可以運用，但其他系統間仍需用其他非標準的 IC 元件來整合系統效能，太多晶片介面間的傳遞，會有延遲或不穩定情形，無法達到預期運作效能，此時特殊應用積體電路(ASIC)的技術創新便應運而生（李志忠 2001）。

此階段出現無晶圓廠 IC 設計公司，推出 ASSP(特殊應用標準產品)，也就是適合多家系統廠商適用之 ASIC，並以標準產品之方式銷售，同時亦幫助客戶設計各種不同的 ASIC，然而在製造上只能委託擁有大量廠能的 IDM 廠商，IC 設計公司是 IDM 廠商的潛在競爭者，IDM 廠商製造通常以自有需求優先，把 IC 設計公司的需求視為填補廠能空缺的機會。

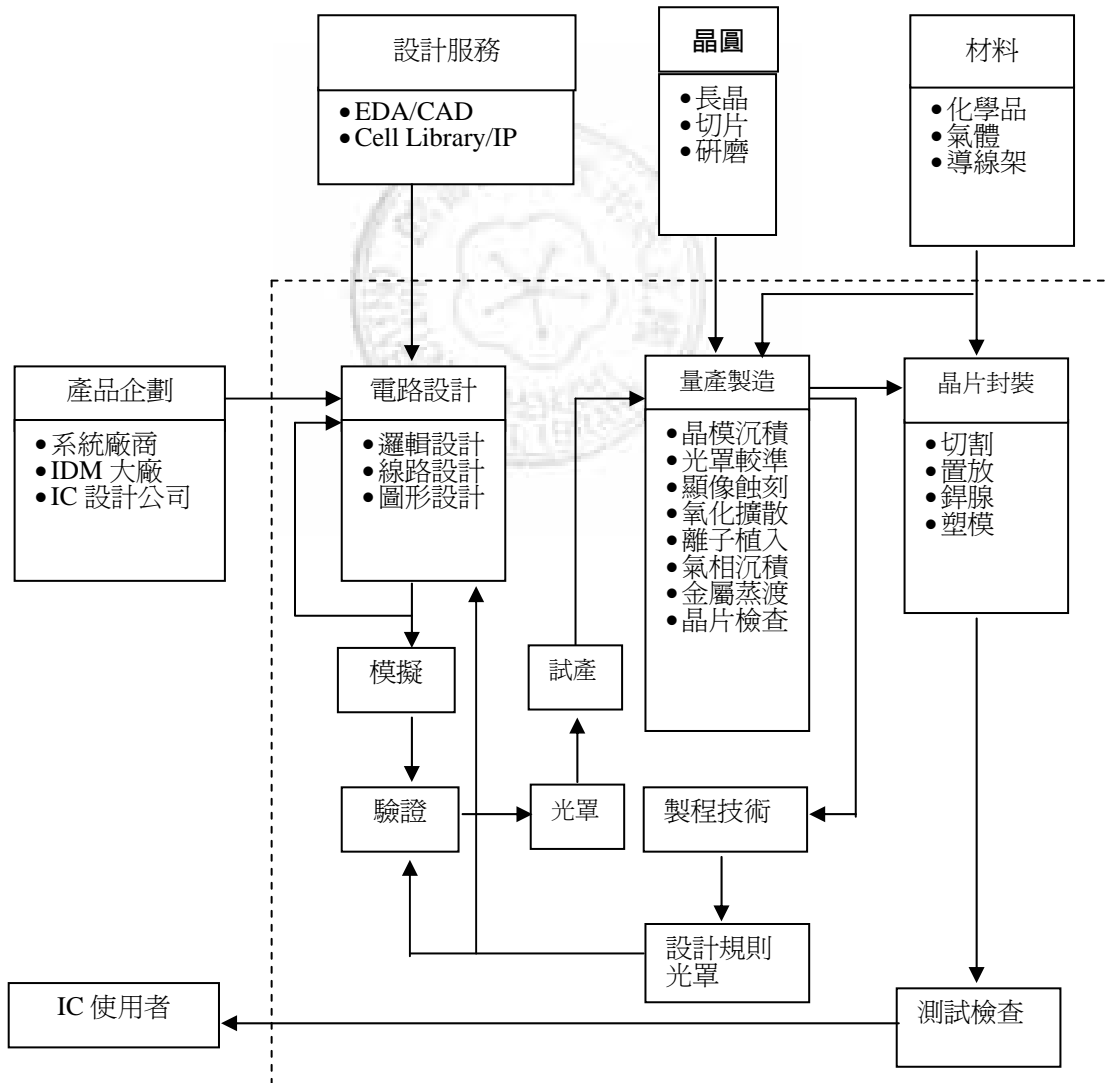


圖 3-3-2：晶圓代工廠興起的 IC 製造流程

資料來源：本研究整理

但當電子資料自動化 (EDA: Electronic Data Automation) 技術在 1985 年逐漸成熟後，解決廠商間設計製造過程中，大量複雜的資料傳輸效率與安全問題後，加上標準元件資料庫(Cell Library)的運用，使生產力快速提昇，Fabless IC 設計公司與晶圓專業代工廠則是此階段新型態企業，典型的 IC 設計公司如美商 Xilinx、nVIDIA，典型的晶圓代工廠商如台灣的台積電與聯電，新加坡的特許半導體。此階段晶圓代工廠的 IC 製造流程如圖 3-3-2 所示。

(3)第三次產業變革 (1990 年代中)

第三次變革是 1990 年代中逐漸發生，主要是智慧財產 (IP: Intellectual Property) 的出現，所產生的產業結構變化是：IC 整合元件製造廠商逐步釋出訂單給晶圓代工廠，IC 設計公司與晶圓專業代工廠的合作關係，解構產生新的商業模式，新崛起的 IP 廠商提供專業的 IC 設計代工服務，此為從「水平分工」模式轉換為「網路結構」模式 (王碩仁、蘇艷文、許佩君與洪立祥，2000；李志忠 2001)。

隨著製程微細化的進步，晶片上集積的電晶體數愈來愈多，從 0.25 微米到 0.18 微米，到 2002 年進展到 0.13 微米，積體電路的設計更複雜化，IC 設計逐漸整合成單一晶片，此即為 SoC (System on Chip) 的設計趨勢，SoC 晶片的設計相當困難與複雜，若能用經過驗證的標準設計元件，將可提升設計與製造上的效率，但當標準設計元件功能種類愈來愈多，全部由獨一公司製作，實行效率將降低且困難度將增高，此時對提供標準設計元件的需求刺激 IP Provider 興起，所提供的 IP 都經事先的量產驗證，因此可以加速產品設計及減低設計所需時間。

本階段半導體業進入更細緻地完全專業分工，特徵是設計 IC 時大量使用 IP，原有之專業分工體制結合 IP 衍生出之企業型態，包括 IP Provider、Design Service 公司、System Integrator、Chipless 公司等，各司其專業分工之職，配合網際網路等溝通工具的成熟，形成了「網路結構」的新事業模式 (Hsieh, Lin. and Chiu., 2002.;王碩仁等，2000；李志忠，2001)。此階段所形成的 IC 製造流程如圖 3-3-3 所示。

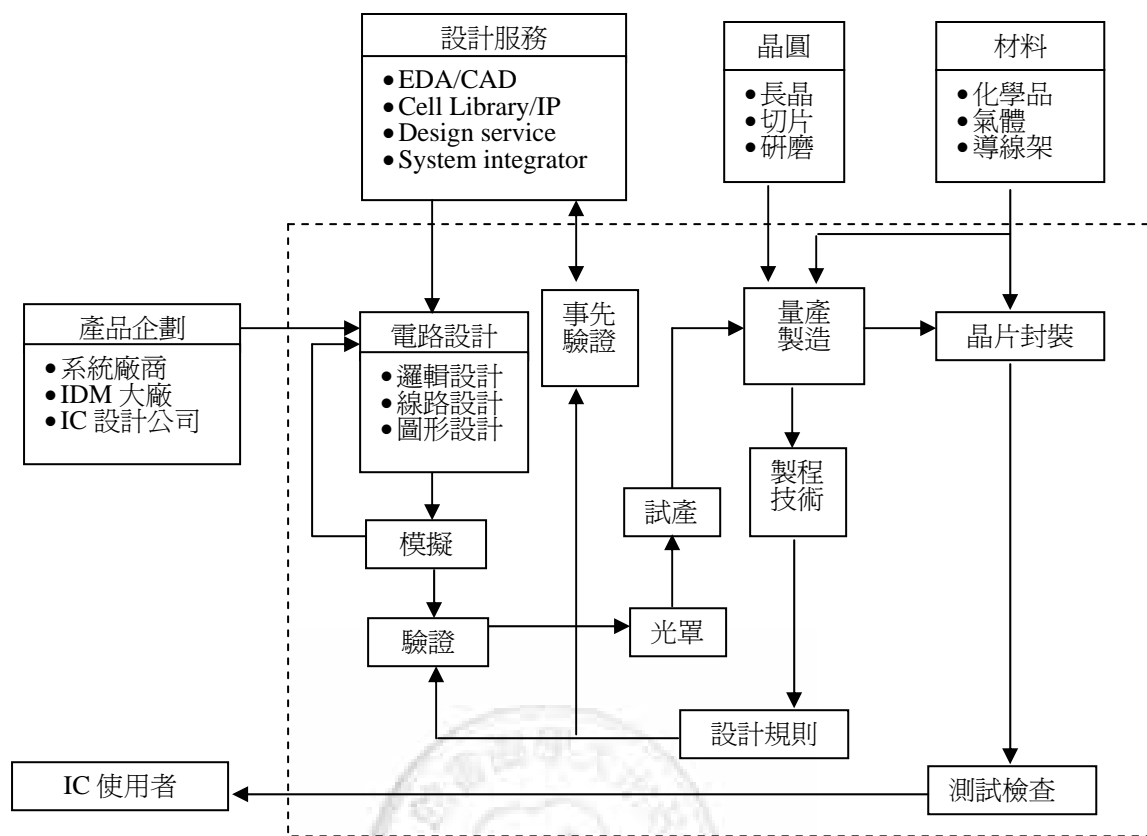


圖 3-3-3：IP 與設計服務公司興起的 IC 製造流程

資料來源：本研究整理

三次變革形成了不同產業結構型態，在第一次變革時，整合元件製造廠 (IDM) 在產業結構中扮演重要角色，到了第二次變革，IC 設計公司與晶圓代工廠商 (Foundry) 結合之型態加入市場，帶領產業結構再度進入另一分工體系。在製程技術進步，IC 功能快速複雜化壓力下，第三次變革因應而起，第三次產業變革使 IC 產業結構邁向高度專業分工，專業分工態勢日益趨於明顯，此時如 Chipless 公司結合 IDM 公司，Design Service 公司結合 IP 與代工廠，或是 Fabless 公司結合 IP 或 System Integrator 加上代工廠等，都將是新型態之企業型態，而多種不同型態之組合，都將使專業分工體系更為分散化。IC 設計公司展現出產業快速的發展，尤其是在個人電腦與通訊上，透過更複雜的設計與更快的交貨主導市場發展，從 1991 年至 1997 年平均年成長率高達 32% 是半導體產業成長率的 2 倍之多 (Macher, Mowery, and Hodges, 1998)。

1980 年到 1997 年間美國半導體產業的績效反應在產品與製程上的移動，在此階段美國同時改善製程技術與管理以充分利用產品的創新，在 1980 年代初美國的製程技術落後日本一大截，在 1990 年是部分製程技術已經改上；美國廠商除了在內部創新與技術上的改變外，對外有一個非常重大的改變，即擴大合作的趨勢，包括與設備供應商、非美國廠商的合作（Macher, Mowery, and Hodges, 1998）。

這種合作策略是 1980 年代以來，美國半導體產業在技術與新產品發展上最重大的結構轉變，此合作涵蓋垂直與水平合作、美國國內與國外廠商間合作、私人與政府資金贊助的合作與跨產業的合作，合作與上下游的專業分工趨勢，顯示出新產品發展的高風險與高成本及新生產設備投資的巨大成本上升，促成合作的另外一個原因是，先進資訊技術可以支援愈來愈複雜的產品設計與製造間的合作關係（Macher, Mowery, and Hodges, 1998）。

表 3-3-1：世界半導體產業/技術發展演化過程

年份	主要事件
1947	●12 月 Bell Lab 的 John Bardeen 與 Walter Brattain 成功發明第一顆點接觸電晶體
1948	●Bell Lab 首度申請電晶體專利（U.S. patent # 2,524,035），Teal 與 Little 開發鍺單晶（single germanium crystal）製造法
1951	●William Shockley 發明更實用的（junction）電晶體
1952	TI 進入半導體產業，Motorola 在鳳凰成建立固態電子實驗室研究電晶體，Bell Lab 的 Beuhler 開發矽單晶（single crystal silicon）製造法
1953	●Motorola 首度申請半導體專利
1954	●TI 開發出電晶體收音機並推出第一顆商用矽晶（grown-junction silicon）電晶體 ●Bell Lab 開發出氧化光罩（oxide masking）製程並推出全電晶體電腦
1955	●Bell Lab 推出光阻劑（photo resister）製程，沿用至今
1956	●GI 推出第一顆固態矽 SWITCH
1957	●Fairchild 成爲第一家純半導體製造商 ●半導體產業產值超越 1 億美元
1958	●TI 的 Jack Kilby 發明積體電路（U.S. patent # 3,138,743 ） ●美國空軍首度把半導體納入 Minutemen 飛彈設計，國防部與 NASA 快速成爲半導體兩大客戶
1959	●Fairchild 的 Robert Noyce 成功的商業化製造積體電路，Jean Hoerni 發明 Planar 技術 ●國家半導體公司在 Danbury 成立 ●Bell Lab 的 Atalla 與 Kahng 發明 MOS 技術生產電晶體
1960	●Bell Lab 開發出 Epitaxial Deposition 技術 ●Digital Equipment 公司生產第一部迷你電腦 PDP-1 ●AT&T 發明 Modem；0.525 吋晶圓問世

年份	主要事件
1961	<ul style="list-style-type: none"> •Fairchild 與 TI 雙雙成功推出第一顆商用積體電路 •Motorola 首度採用 Bell Lab 的 Epitaxial Deposition 技術生產半導體
1962	<ul style="list-style-type: none"> •半導體產業營收超越 10 億美元
1963	<ul style="list-style-type: none"> •Fairchild 的 Frank Wanlass 開發出 CMOS 技術 (U.S. Patent # 3,356,858)
1964	<ul style="list-style-type: none"> •1 吋晶圓問世
1965	<ul style="list-style-type: none"> •Fairchild 的 Gordon Moore 提出默爾定律，即每 18 個月積體電路的原件數目會倍增 •IBM 推出 16 位元 bipolar 記憶體晶片
1966	<ul style="list-style-type: none"> •IBM 的 Robert Dennard 發明 DRAM •1.5 吋晶圓問世
1967	<ul style="list-style-type: none"> •Wegener, Lincoln, Pao, O'Connell 與 Oleksiak 發表 NMOS 技術生產電晶體
1968	<ul style="list-style-type: none"> •Andy Grove, Robert Noyce 與 Gordon Moore 創設 Intel，同年推出第一顆 1k RAM •IBM 推出 64 位元 bipolar array 晶片。
1969	<ul style="list-style-type: none"> •Lin, Ho, Iyer 與 Kwong 發明 BiCMOS 技術
1970	<ul style="list-style-type: none"> •Intel 推出商用 1K DRAM 成為電腦記憶體標準產品 •2.25 吋晶圓問世
1971	<ul style="list-style-type: none"> •Intel 發明 SRAM 與 EPROM 技術，Ted Hoff 發明微處理器 4004 (400-800KHz, 10μm 線寬有 2,300 電晶體) •隨後 TI 推出單晶片微處理器 •IBM 的 Alan Shugart 發明軟碟技術
1972	<ul style="list-style-type: none"> •TI 的 John Murtha 等發明可程式數位訊後處理器(DSP: Programmable Digital Signal Processor) (Patent # 3,812,470) •HP 推出科學用掌上型計算機 •Intel 推出 PMOS 製程的八位元微處理器 8008 (500-800KHz, 10μm 線寬有 3,500 電晶體)
1973	<ul style="list-style-type: none"> •Motorola 推出可攜式收音機電話 •RCA 成功商業化 BiCMOS 技術 •3 吋晶圓問世
1974	<ul style="list-style-type: none"> •Intel 成功商業化 NMOS 製程的微處理器 8080 (6μm 線寬、1 層 polysilicon、1 層金屬、有 4,500 電晶體、2MHz 速度、20mm² die size) •Motorola 推出 6800 微處理器； •NMOS 製程的 4k DRAM 問世 (1 層 polysilicon、6 光罩、8μm 線寬，晶格大小 1,280μm²，die size 約 15mm²) •Xerox 發明內嵌式老鼠
1975	<ul style="list-style-type: none"> •4 吋 (100mm) 晶圓問世 •Altair 的第一部個人電腦上市 •Bill Gates 與 Paul Allen 創設微軟
1976	<ul style="list-style-type: none"> •NMOS 製程的 16K DRAM 問世 (2 層 polysilicon、7 光罩、5μm 線寬，晶格大小 500μm²，die size 約 19mm²) •Steve Wozniak 與 Steve Jobs 創設蘋果電腦
1977	<ul style="list-style-type: none"> •美國半導體廠商成立半導體協會 (SIA: Semiconductor Industry Association) •Monolithic Memories 公司發明 field programmable logic 技術
1978	<ul style="list-style-type: none"> •IBM 選取 Intel 微處理器 8088 為個人電腦標準元件 •Micron 在 Boise 設立，成為第一家半導體設計顧問公司 •GCA 發明 step and repeat system for wafer exposure，使線寬大幅縮小
1979	<ul style="list-style-type: none"> •Motorola 推出 16 位元微處理器 •Fujitsu 推出 NMOS 製程 64k DRAM (2 層 polysilicon、8 到 10 光罩、3μm 線寬，晶格大小 180μm²，die size 約 31mm²)

年份	主要事件
	<ul style="list-style-type: none"> •5吋 (125mm) 晶圓問世 •半導體產業營收超越 100 億美元
1980	<ul style="list-style-type: none"> •IBM 進入個人電腦市場，後成為微處理器的最大客戶 •Lucent 與 NEC 推出商用 DSP；Motorola 推出第一個呼叫器 •Fujitsu 開始量產 NMOS 製程 64k DRAM
1981	<ul style="list-style-type: none"> •6吋 (150mm) 晶圓問世
1982	<ul style="list-style-type: none"> •Xilinx 發明 field programmable gate arrays,是一種可客製化的晶片； •NMOS 製程的 256K DRAM 問世(2 層 polysilicon、8 到 10 光罩、2μm 線寬，晶格大小 70μm²，die size 約 45mm²)，後轉換為 CMOS 製程 •SIA 成立半導體研發公司來整合大學的半導體研發計畫 •Intel 推出 CMOS 製程 16 位元 80286 微處理器 (1.5μm 線寬、1 層 polysilicon、2 層金屬、有 134,000 電晶體、6 到 12MHz 速度、68.7mm² die size)
1983	<ul style="list-style-type: none"> •Motorola 推出第一支無線大哥大； •Intel 推出 CMOS 製程 1M DRAM，但旋即退出市場 •16K 位元 EEPROM 問世 (based on the floating gate and MNOS) •Hitachi 開始量產 256k DRAM
1984	<ul style="list-style-type: none"> •美國通過晶片保護法以保護半導體智財權，反拖拉司法修正已許廠商形成研發聯盟 •Toshiba 的 Masuoka 等發明 flash 記憶體
1985	<ul style="list-style-type: none"> •Toshiba 推出商用 256K flash 記憶體 •Intel 推出 CMOS 製程 32 位元 80386 微處理器 (1.5μm 線寬、10 層光罩、1 層 polysilicon、2 層金屬、有 275,000 電晶體、16 到 33MHz 速度、104mm² die size)，正式退出 DRAM 市場 •8吋 (200mm) 晶圓問世
1986	<ul style="list-style-type: none"> •半導體產業營收超越 200 億美元；Intel 推出 256K 的 ETOX flash •美國 11 家當中的 9 家退出 DRAM 市場，日本取代美國成為世界第一的半導體製造業 •CMOS 製程的 1M DRAM 問世 (18 光罩、2 到 3 層 polysilicon、8 到 10 光罩、1.2μm 線寬，晶格大小 25μm²，die size 約 70mm²)
1987	<ul style="list-style-type: none"> •SIA 成立 SEMATECH •美國在 EPROM 製造上仍保持世界第一
1988	<ul style="list-style-type: none"> •商業化精簡指令集晶片 (Reduced Instruction Set Chip: RISC) 技術問世 •CMOS 製程 4M DRAM 問世 (20 to 25 光罩、2 至 3 層 polysilicon、2 層金屬、0.8μm 線寬、晶格大小 12μm²，die size 約 95mm²)
1989	<ul style="list-style-type: none"> •Intel 推出 CMOS 製程 32 位元 80486 微處理器 (1.0μm 線寬、12 層光罩、1 層 polysilicon、3 層金屬、有 1.2M 電晶體、25 到 50MHz 速度、163mm² die size)
1990	<ul style="list-style-type: none"> •Panasonic 的產品 palmcorder 首先採用美國 LSI 公司邏輯晶片
1991	<ul style="list-style-type: none"> •NEC 的 CMOS 製程 16M DRAM 問世 (3 至 4 層 polysilicon、2 層金屬、0.5μm 線寬，晶格大小 4.2μm²，die size 約 130mm²)
1992	<ul style="list-style-type: none"> •半導體產業產值超越 500 億美元 •首度形成半導體技術路程圖 (technology roadmap)
1993	<ul style="list-style-type: none"> •Intel 推出 BiCMOS 製程的 Pentium 微處理器 (0.8μm 線寬、18 層光罩、1 層 polysilicon、3 層金屬、有 3.1M 電晶體、60 到 66MHz 速度、264mm² die size) •美國再度取代日本成為世界第一
1994	<ul style="list-style-type: none"> •半導體產業產值超越 1,000 億美金；三星的 CMOS 製程 64M DRAM 問世 (3 至 5 層 polysilicon、2 到 3 層金屬、0.35μm 線寬，晶格大小 1.5μm²，die size 約 170mm²)
1995	<ul style="list-style-type: none"> •Intel 推出 BiCMOS 製程的 Pentium Pro 微處理器 (0.35μm 線寬、20 層光罩、1 層 polysilicon、4 層金屬、有 5.5M 電晶體、150 到 200MHz 速度、300mm² die size)
1996	<ul style="list-style-type: none"> •12吋 (300mm) 晶圓問世 •高性能晶片使電腦網路、通訊與網際網路的連結更簡易，促使半導體產業快速成長

年份	主要事件
1997	<ul style="list-style-type: none"> •Intel 推出 CMOS 製程的 Pentium II 微處理器 (0.35μm 線寬、16 層光罩、1 層 polysilicon、4 層金屬、有 7.55M 電晶體、233 到 300MHz 速度、209mm² die size)
1998	<ul style="list-style-type: none"> •三星的 CMOS 製程 256M DRAM 問世 (4 至 5 層 polysilicon、2 到 3 層金屬、0.25μm 線寬，使用高 K 材料，die size 約 204mm²) • Samsung 宣佈開發出 144 百萬位元(Mb) Rambus DRAM，為目前全球最快速的記憶體產品 •Intel 投資 Micron 主導 Rambus DRAM 發展 •PC 整合型晶片形成風潮 •TI 重新定位，專注 DSP 產品開發 •IBM 推出四大影響未來技術
1999	<ul style="list-style-type: none"> •Intel 推出 CMOS 製程 PGA 封裝的 Pentium III 微處理器 (0.18μm 線寬、21 層光罩、1 層 polysilicon、6 層金屬、有 28M 電晶體、500 到 733MHz 速度、140mm² die size) •Intel 推出名為「英特爾 ISP 計畫」(Intel Internet Service Povidar Program)的全球通路服務，提供網際網路基礎元件，與專為網際網路量身訂做的產品與技術，並鎖定全球 1,400 家以上的 ISP 與應用服務商
2000	<ul style="list-style-type: none"> •全球半導體產業產值超越 2,000 億美元 •Intel 推出 CMOS 製程 PGA 封裝的 Pentium IV 微處理器 (0.18μm 線寬、21 層光罩、1 層 polysilicon、6 層金屬、有 42M 電晶體、1.4 到 1.5GMHz 速度、224mm² die size) • SIA 技術路程圖成為國際標準並發表 2000 年版
2001	<ul style="list-style-type: none"> •全球半導體產業產值大幅衰退至 1,389 億美元 •SIA 發表 2002 年版國際技術路程圖
2002	<ul style="list-style-type: none"> •SIA 發表 2002 年版國際技術路程圖
2003	<ul style="list-style-type: none"> •Intel 推出 CMOS 製程 PGA 封裝的 Pentium M 微處理器 (0.13μm 線寬、?層光罩、?層 polysilicon、?層金屬、有 1MB Low Power L2 cache、1.1 到 1.2GMHz 速度、?mm² die size)

資料來源：SIA, IC industry history and shipment statistics；半導體工業年鑑，1995-2003；Intel Innovation History，2003