

國立交通大學

管理學院 碩士在職專班 科技管理組

碩 士 論 文

台灣 CMOS 微機電產業之發展機會



The Development Opportunities of CMOS MEMS in Taiwan

研究生：黃嘉宏

指導教授：虞孝成 教授

中 華 民 國 九 十 九 年 六 月

台灣 CMOS 微機電產業之發展機會
The Development Opportunities of CMOS 微機電 in Taiwan

研究生：黃嘉宏

Student：Chia-hung Huang

指導教授：虞孝成 博士

Advisor：Dr. Hsiao-Cheng Yu

國立交通大學

管理學院 碩士在職專班 科技管理組

碩士論文



A Thesis
Submitted to Graduate Institute of Management of Technology
College of Management
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Business Administration
in
Management of Technology

June 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年六月

台灣 CMOS 微機電產業之發展機會

學生：黃嘉宏

指導教授：虞孝成 博士

國立交通大學管理學院 碩士在職專班 科技管理組

中文摘要

微機電系統(Micro Electro-Mechanical Systems, MEMS)在消費性產品的應用領域具備高度的成長性，其中，MEMS 的製程設備與 CMOS 的製程設備相容性高，調整過的 CMOS 的設備，配合 MEMS 製程技術與配方後，可以應用於製造 MEMS。因此，台灣若能夠妥善運用過去在 CMOS 半導體產業的成功經驗並整合既有優勢，提出高附加價值的創新商業模式，將可藉由高度成熟的 CMOS 產業帶動 MEMS 產業的發展。也可以提高台灣 CMOS 晶圓廠及 IC 封測廠舊有設備的利用價值，拓展台灣晶圓代工與封測業者的市場範疇。並有助於 MEMS 設計業者能夠跨越自有廠房的高昂投資門檻，快速的設計市場所期待的新產品，並且透過 CMOS 的標準製程技術，快速量產上市。然而，要在不改變既有 CMOS 的 IC 晶圓代工標準流程中，導入 MEMS 結構設計，必須克服諸多機械及電路設計製造技術之間互不相容之跨領域技術瓶頸。本研究運用產業分析模式與關鍵成功因素理論，透過國內外相關研究與文獻之蒐集與評論，彙整台灣半導體產業進入 MEMS 市場時，所面臨的機會與挑戰，並提出具體的發展策略建議。作為台灣半導體業者複製成功經驗時，策略佈局之參考。

關鍵字：半導體、微機電、產業分析、CMOS MEMS

The Development Opportunities of CMOS MEMS in Taiwan

Student: Chia-hung Huang

Advisor: Dr. Hsiao-Cheng Yu

Institute of Management of Technology
National Chiao Tung University

英文摘要

As micro technology keeps improving dramatically in these two decades, MEMS(Micro Electro-Mechanical Systems) products are more widely adopted recently. MEMS creates many miniaturized mechanical functional devices in addition to the well known electrical transistors on VLSI.

However, what kind of manufacturing technology advantages and supply chain advantages does Taiwan possess to play a key role in this worldwide competing industry?

This thesis analyzes the opportunity of Taiwan to compete with existing IDM companies based on Taiwan's uniqueness through several industry analysis theories such as Life Cycle、Key Success Factor、SWOT、Porter's Diamond Determinants of National Advantage and Sun-Wu Art of War. The conclusion is: by using Post-CMOS MEMS standard manufacturing process together with CMOS layer bulk micro-machining, Taiwan can leverage existing advantages on CMOS supply chain of design、manufacturing and packaging, with least additional hardware equipment investment, to produce most cost effective MEMS devices for 3C markets. Meanwhile, more Taiwan design houses can take advantage of this manufacturing environment and design new applications to compete with existing players and gain market share.

Key words: Sun-Wu Art of War, Competitive Advantage, CMOS MEMS,

Industry Analysis

誌 謝

從民國 93 年開始到科管所選修學分，隔年如願通過激烈的入學考試以來，科管所諸位老師的訓練賜給了來自工學院的我一連串的驚喜，也擴大我的視野。虞孝成老師在學分班生動的創業與創投課程啟蒙了我不再誤以為只要有技術，產品就賣得出去；還要考慮許多商業因素諸如創業資金的募集、行銷管道的串聯、經營團隊、有需求的市場以及找出對的產品的重要性不遜於技術本身。感謝他的引導，幫助我下定決心來交大就讀，並且為我找到能夠發揮又可以對國內科技產業發展有所貢獻的論文題目。徐作聖老師的宏觀策略課程讓我對於中國大陸的國策能夠有更多認識。在林亭汝老師的國際行銷課程中，老師對我簡報的指導與肯定給予我跨入管理領域極大的信心。袁建中老師的技術預測訓練，幫助我學到許多有用的預測理論。洪志洋老師一系列的財務訓練給予我面對銀行理財專員時平起平坐的自信。感謝整個科管所溫馨的環境與熱情的同學們使我在清大畢業 20 年之後，有幸再次享受人生舞台中扮演學生的自在與樂趣。

其實我原本並沒有在職進修的念頭。很幸運的，我遇見改變了我這一生的貴人與恩人：張剛豪先生。他年近七十而仍保持終身學習的熱情，積極取得空大學位；即使只是一個唱歌的興趣，他也設法找到音樂老師去學習。他極有耐心地指引我建立為人處世與學院學問各方面都要持續不停地自我提昇的觀念，幫助我跳出茫然失落的心態重新規劃人生，賜予我信心與希望再度回到校園學習；沒有他，就不會有這篇論文的產生。而他的夫人對待小孩溫柔體貼的心，更時時提醒我在工作與課業之外，要找機會關懷小孩與家人，取得平衡。

感謝妻子麗美無怨的支持，讓我下班後能夠無後顧之憂地悠游於浩然圖書館書海之中，盡情汲取知識的活水。

感謝口試委員朱克聰老師對結論的補充，與陳芃婷老師在產業分析方法給我深入且詳盡的指導和建議，是我最終能夠完成論文的重要助力與關鍵。

目 錄

中 文 摘 要.....	i
英 文 摘 要.....	ii
誌 謝.....	iii
目 錄.....	iv
表 目 錄.....	vii
圖 目 錄.....	viii
一、緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.3 研究架構.....	1
1.4 研究方法.....	2
二、文獻探討.....	3
2.1 微機電相關文獻.....	3
2.2 競爭優勢理論.....	3
2.2.1 企業競爭優勢理論.....	3
2.2.2 國家競爭優勢理論.....	5
2.2.3 孫子兵法與競爭優勢理論.....	7
2.2.4 關鍵成功因素理論.....	9
2.3 產業分析.....	12
2.3.1 SWOT 分析.....	13
2.3.2 五力分析.....	14
2.3.3 六力分析.....	16
三、CMOS 微機電製造技術及產品元件.....	18
3.1 CMOS 與微機電技術原理.....	18
3.1.1 技術發展歷程.....	19
3.1.2 微機電製造技術分類.....	20
3.2 微機電元件介紹.....	22
3.2.1 慣性元件.....	22
3.2.2 微機電麥克風.....	25
3.2.3 RF MEMS.....	26

3.2.4	微機電開關.....	28
3.2.5	噴墨印字頭.....	28
3.2.6	數位光學處理 DLP(Digital Light Processing).....	29
四、	微機電產品應用市場	30
4.1	全球微機電產業發展概況	30
4.2	主要廠商.....	30
4.3	微機電產品應用	32
4.3.1	消費性電子產品	33
4.3.2	Computer 資訊電子產品	38
4.3.3	Communication 通訊電子產品.....	40
4.4	全球微機電市場概況與產值規模	42
4.4.1	主要市場商機	43
4.4.2	微機電慣性元件市場	45
4.4.3	微機電麥克風市場	46
4.4.4	RF MEMS 市場.....	47
五、	台灣 CMOS 微機電產業發展與未來.....	48
5.1	台灣微機電產業發展歷程	48
5.1.1	台灣 CMOS 微機電相關廠商發展動態	49
5.2	台灣 CMOS 微機電產業分析	52
5.2.1	微機電製造技術分析	52
5.2.1.1	體型微加工(Bulk Micro- machining).....	52
5.2.1.2	面型微加工(Surface Micro- machining)	53
5.2.1.3	LIGA	54
5.2.2	CMOS 製造技術	55
5.2.3	CMOS 與微機電製造技術差異	57
5.2.4	CMOS 與微機電整合製造技術	58
5.2.4.1	Pre-CMOS.....	58
5.2.4.2	Intermediate-CMOS.....	59
5.2.4.3	Post-CMOS	59
5.2.4.4	System in package	59
5.2.4.5	CMOS/標準微機電製程的優缺點比較.....	61
5.2.5	台灣發展 CMOS 微機電產業之 SWOT 分析.....	61
5.2.5.1	集團經營模式	62

5.2.5.2	專利技術的改變	62
5.2.5.3	生產設備資源	63
5.2.5.4	產品市場.....	63
5.2.5.5	市場反應能力	63
5.2.5.6	政府的因素.....	64
5.2.5.7	人才.....	64
5.2.5.8	CMOS 微機電系統產品特性	65
5.2.5.9	SWOT 分析矩陣	65
5.2.6	CMOS 微機電產業成長之關鍵成功因素	67
5.3	台灣 CMOS 微機電產業之發展機會	68
六、	結論與建議.....	70
6.1	結論.....	70
6.2	建議.....	70
參考文獻		72



表 目 錄

表 1	始計篇於軍事與企業導引的綜合表解.....	8
表 2	確認關鍵成功因素之分析方法彙整.....	10
表 3	Weihrich SWOT 策略矩陣.....	13
表 4	微機電製程技術比較.....	21
表 5	台灣微機電產業主要廠商.....	51
表 6	CMOS 與微機電製造技術差異	57
表 7	CMOS/標準微機電製程的優缺點比較.....	61
表 8	目前全球已採用 CMOS 微機電設計產品的主要業者	64
表 9	台灣晶圓產業切入 CMOS 微機電的 SWOT 分析.....	66
表 10	台灣晶圓產業切入 CMOS 微機電的 SWOT 策略矩陣....	67
表 11	CMOS 微機電生產技術分析	68

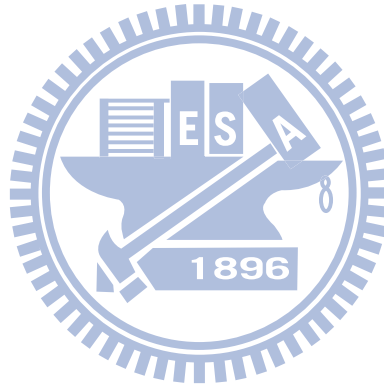


圖 目 錄

圖 1	研究架構.....	2
圖 2	競爭優勢之來源.....	4
圖 3	Porter 鑽石模型	5
圖 4	SWOT 分析與資源基礎模式和競爭優勢模式的關係	14
圖 5	五力分析模型.....	15
圖 6	微機電技術製作的微型車.....	18
圖 7	微機電涵蓋領域.....	19
圖 8	微機電加工技術種類.....	21
圖 9	三軸加速度計.....	23
圖 10	運用對流法則的熱感測加速度計.....	24
圖 11	傳統麥克風 與微機電麥克風電路與構造比較.....	25
圖 12	無線通訊 RF 模組前級架構.....	26
圖 13	CMOS 微機電電感與電容	27
圖 14	微機電開關.....	28
圖 15	MOEMS(MicroOptoElectroMechanical System)	28
圖 16	噴墨印字頭.....	29
圖 17	使用於投影機的數位光學處理器.....	29
圖 18	微機電營收排名 Top 20 之微機電製造商(2006).....	31
圖 19	微機電代工業者營收排名(2008).....	32
圖 20	微機電慣性元件產品應用範例.....	33
圖 21	GPS 應用微機電的實例	34
圖 22	手機應用加速度計與磁感計以輔助導航實例	35
圖 23	於空中顯示圖文的電子火把.....	35
圖 24	配備慣性感測計的 Wii 遊戲控制器.....	36
圖 25	各種可能運用微機電的遊戲控制器.....	37
圖 26	配備防手震技術的數位相機.....	38
圖 27	噴墨印字頭模組.....	38
圖 28	配備微機電投影功能的手機.....	39
圖 29	微機電應用在硬碟讀取頭.....	40
圖 30	Augmented Reality	41

圖 31	Apple iPhone 應用加速度計實例.....	41
圖 32	全球微機電元件產值與出貨量(2006~2012).....	42
圖 33	微機電元件應用市場分佈(2009).....	43
圖 34	微機電的應用市場規模.....	44
圖 35	消費性電子與手持裝置市場規模.....	44
圖 36	微機電感測計/致動器元件市場規模	45
圖 37	微機電麥克風市場規模.....	46
圖 38	微機電體型微加工技術製造流程.....	53
圖 39	微機電面型微加工技術製造流程.....	54
圖 40	微機電 LIGA 加工技術製造流程	55
圖 41	CMOS 製造技術剖面圖	56
圖 42	Pre-CMOS MEMS 剖面圖	59
圖 43	Post-CMOS MEMS 加工技術製造流程	60
圖 44	以封裝結合 CMOS 與微機電	60



一、緒論

1.1 研究動機

所謂微機電系統，簡稱為 MEMS(Micro Electro-Mechanical Systems)，是一種整合電子、機械、光學、磁學、熱力、化學、材料、控制等多種科技，利用既有半導體技術或是精密加工技術，將機械元件和電子元件微小化，並整合在同一矽晶片上的元件製造技術。

自從 Dr. Richard P. Feynman 在 1959 年的美國物理協會年會提出「There is plenty of room at the bottom」，勾勒出微機電系統發展的具體藍圖，迄今已經五十年。由於科技進步，微機電系統這幾年商品化的成果增多。微機電系統讓世人在矽基材上，除了建構微電子學的場效電晶體(Field Effect Transistor, FET)及大型積體電路(Very-Large-Scale Integration, VLSI)之外，進一步建築出原本在宏觀世界才看得見的微縮結構體，技術更涵蓋了光學、電學、磁學、化學、材料科學、聲學、流體力學、牛頓力學、熱學、控制以及醫學。

然而在純科學與技術的開創與探索之外，還有哪些因素，影響此一產業的茁壯與普及？長久以來，其產值以磁碟機讀寫頭與印表機噴墨頭為大宗。對於未來，還有哪些產品應用深具潛力？台灣在這個產業當中，擁有什麼樣的競爭優勢與機會，可以再次創造經濟奇蹟？這些有趣的議題，促成了本研究的開始。

1.2 研究目的

近年來微機電的製造技術，除了原本專屬的生產方式之外，開始有朝向 CMOS 製程發展的趨勢。本研究希望以產業分析的理論來達成下列目的。

1. 了解微機電產業在全球發展的現況與市場；
2. 探討 CMOS 微機電製造技術在微機電產業價值鏈中的定位；
3. 提出台灣在 CMOS 微機電的發展機會。

1.3 研究架構

本論文為產業發展與競爭力分析之研究，著眼於產業的現況與未來發展方向。研究架構整理如[圖 1]。

1.4 研究方法

本論文主要採用文獻回顧法(literature surveys)。由於產業具有商業競爭的本質，最原始的初級資料通常屬於營業機密，因此本研究以蒐集次級資料為主，藉由資料的歸納分析，整理出整體產業發展現況；再結合相關產業競爭理論與產業分析理論，配合台灣獨特的發展條件，以提出未來台灣在 CMOS 微機電產業發展的機會。

資料取得來源包括：

1. 國內外研究報告：iSuppli、WTC、Yole Development、工研院 IEK、拓璞產業研究所(TRI)等；
2. 研討會：工研院機械所微機電技術發展與應用研討會等；
3. 報章雜誌：電子時報、EETimes 等；
4. 期刊論文；
5. 學校研究單位網站；
6. 國內外研究對象之企業網站。

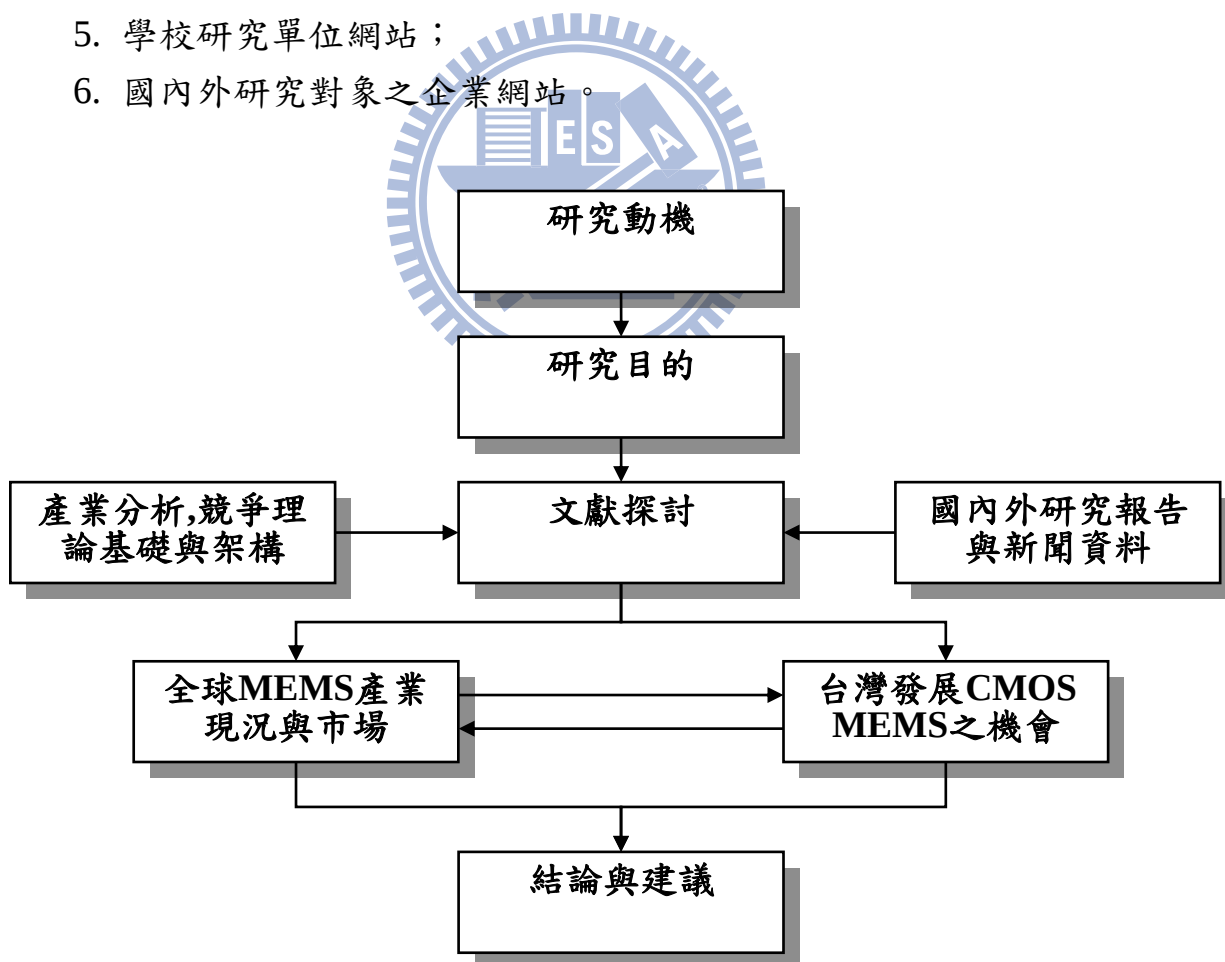


圖 1 研究架構

資料來源：本研究

二、 文獻探討

2.1 微機電相關文獻

國科會黃楓台[16]在「國家科技前瞻計劃前期研究：奈米與微機電」報告中，列舉了世界各國對於發展微機電科技的政策，提供了產業分析時，政府政策影響力因素的重要參考。交大陳宗義[19]在「微機電技術在無線通訊產業之發展策略」論文中，特別針對 RF MEMS 單一產品的發展策略進行研究。在交大卜明世[20]的「台灣微機電產業經營策略與競爭優勢之研究-以亞太優勢公司為例」論文中，則主要是以亞太優勢公司的強項與弱項，作為企業進入產業競爭優勢之研究。

工研院產經中心黃蓉芬[17]於「微機電構裝製程與設備市場發展」報告中，針對微機電封測的挑戰作了詳細說明，主要是原本 CMOS 封測技術與設備，並不適用於微機電對孔隙保護的封裝需求，以及對壓力、慣性、加速度等物理特性的測試與校正，因此必須重新開發客製化技術，導致封測費用佔元件總成本約 70%~80%。謝孟珵[18]在「台灣在 CMOS 微機電應用於消費性電子商機探討」以及拓璞產業研究所劉舜逢[22]在「2009 年全球微機電元件應用市場展望」報告中，對於 CMOS 微機電則側重在消費性電子的應用作了詳細的研究，但並未探討台灣 CMOS 微機電製造技術的發展機會與策略。

2.2 競爭優勢理論

2.2.1 企業競爭優勢理論

Porter(1980)將競爭優勢(Competitive Advantage)定義為，企業和產業的競爭優勢是相對於其他競爭者而言，長期擁有的獨特且優越的競爭地位。亦即企業利用其獨特的資產、技能、資源或活動而發展出相對於競爭者獨特而有利的地位。Hofer and Schendel(1978)認為競爭優勢是企業經由資源分配而發展出有別於其他競爭者的獨特資源定位。Aaker(1984)提出企業若要建立競爭優勢，必須找出該企業之「持久性競爭優勢」(Sustainable Competitive Advantages)，具有三項特徵條件：

1. 持久性競爭優勢，必須涵蓋該產業的關鍵成功因素；
2. 持久性競爭優勢，應與競爭者有明顯差異，並足夠形成實質價值；

3. 持久性競爭優勢，必須足以因應環境變動與競爭者的對抗。

Bamberger(1989)則認為，企業競爭優勢為企業在產業與市場上所發展出的獨特優越地位，其中包含低成本與價格、較佳服務、快速運送及良好形象等。Ansoff & McDonnell(1990)認為競爭優勢是指企業在其產品、市場範疇中所擁有的特質，而這些特質能為企業帶來較其他競爭者具有強勢的競爭地位。在相關文獻當中，學者認為競爭優勢的來源可以歸納為下述兩類。

(1) 競爭定位(Competitive Positioning)

強調競爭策略(Competitive Strategy)以獲得競爭優勢。以 Porter 為例，他認為競爭優勢存在於企業內部每一項價值活動之內，當企業透過價值鏈連接每一項價值活動之後，利潤也就隨之而產生了。這說明了只要適當地分配資源，有效地運作價值鏈活動，就是企業產生競爭優勢的最主要來源。Hill & Jones(1995)認為競爭優勢意指一個企業的利潤高於產業的平均水準，優於競爭者的能力，並將競爭要素歸納為效率(Efficiency)、品質(Quality)、創新(Innovation)以及顧客回應(Customer Responsiveness)，並提出彼此之間具有高度的關聯性如[圖 2]。

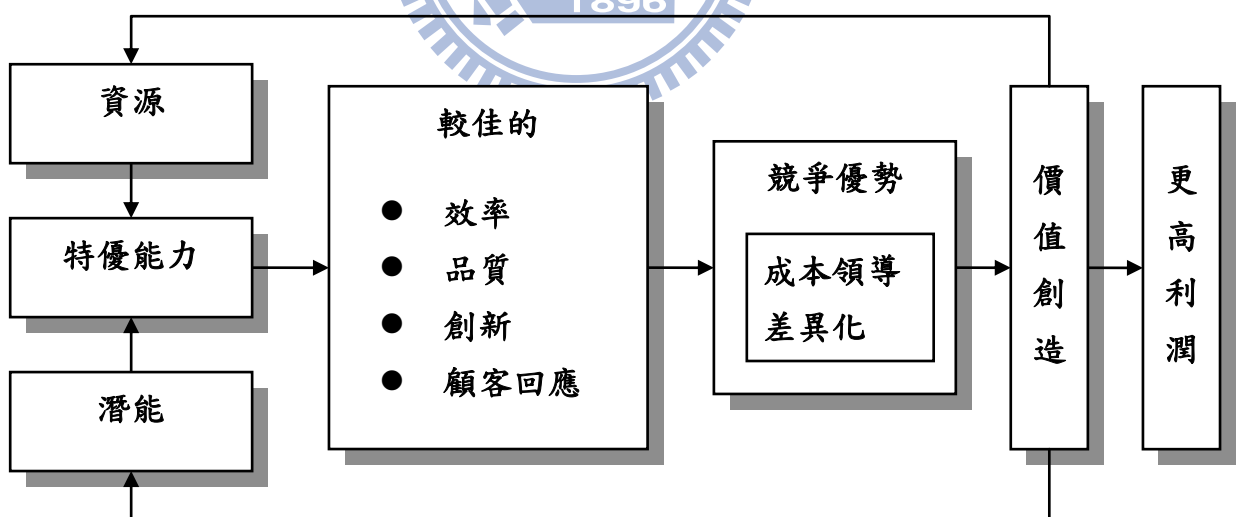


圖 2 競爭優勢之來源

資料來源：Hill & Jones(1995), Strategic Management Theory

(2) 資源基礎論(Resource-Based)

強調核心競爭力(Core Competence)的重要性。例如 Day &

Wensley(1988)認為競爭優勢源於技術與資源的優勢、地理上的優勢與績效上的優勢。Prahalad & Hammel(1990)認為，企業可以藉由對核心智能的掌握，降低成本或提升價值，因此可視為企業競爭優勢的來源。

2.2.2 國家競爭優勢理論

根據 Porter(1990)的觀點，國家是企業最基本的競爭優勢之所在。他提出以鑽石模型理論(Diamond Determinants of National Advantage)來找出國家競爭優勢，也就是一個國家或地區，是否具有成為某一產業的發展基地的特質，其關係如[圖 3]。這些特質分別說明如下。

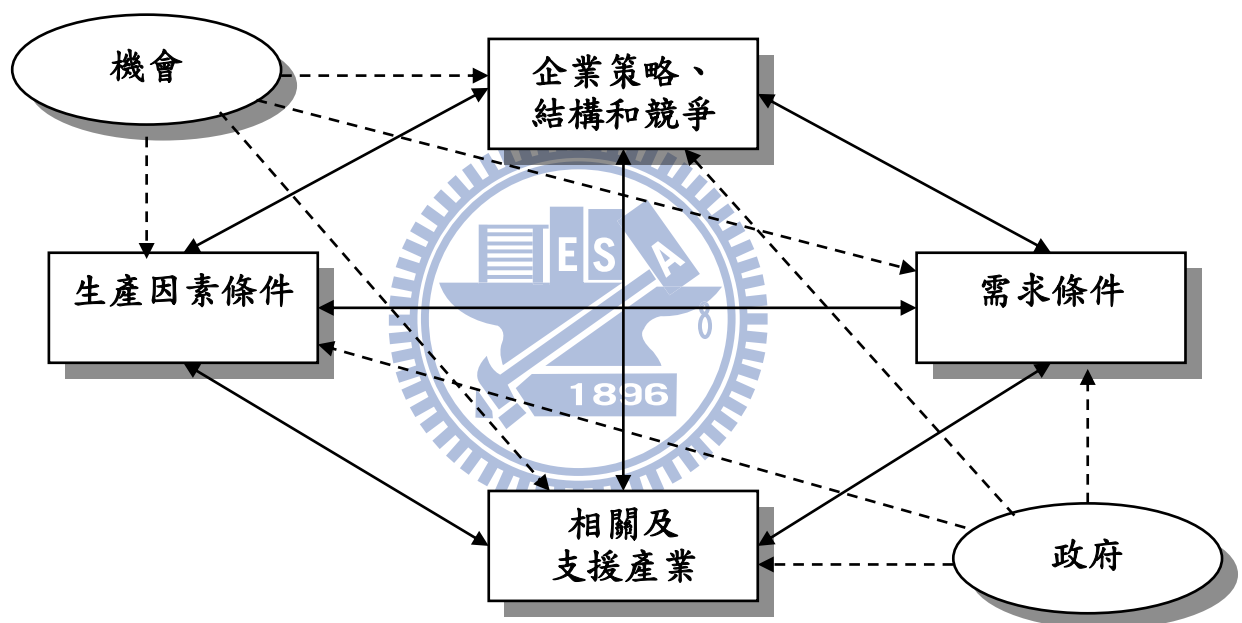


圖 3 Porter 鑽石模型

資料來源：Porter, M. (1990): The Competitive Advantage of Nations

1. 生產因素條件

代表一個國家在特定產業競爭中，有關生產方面的表現，包含：(1)人力資源；(2)天然資源；(3)知識資源；(4)資本資源；(5)基礎建設等生產因素。Porter 特別從基本經濟理論觀點強調生產因素之成本與品質是競爭優勢的主要決定因素，同時指出在大部分的產業中，其國家天生的因素稟賦之影響並非壓倒性的，更重要的是那些被創造出來的因素。也就是如果缺乏某些因素優勢，只要透過創新及行銷策略，仍然對競爭優勢有所助益。

2. 需求條件

亦即本國市場對該產業所提供產品或服務的需求。Porter 認為國內需求扮演提高競爭優勢衝力的任務。國內消費者的需求愈挑剔，企業不斷改造與創新的壓力也就愈大，此有助於企業提升進軍國際市場的競爭力。一般而言，需求條件可由三方面來分析：(1)國內市場的性質；(2)需求規模和成長模式；(3)本國需求的國際化。

3. 相關及支援產業

如果一個產業在國內存在具有國際競爭力的相關和支援產業，則可以為產業創造出優勢。因具有國際競爭優勢的相關及支援產業能對產業提供低成本、高性能、具時效及創新的優勢。這也是一種基於密切工作關係所形成的優勢，與地點的鄰近有關，透過上下游共同合作形成，無形中促進創新的產業群聚。

4. 企業策略、結構和競爭

這是指在國家狀況與所處的時空背景裏，企業如何利用內部資源追求企業目標、形成策略、設立組織結構、建立管理模式、發展技能，來形成最佳組合條件的競爭優勢。此外，刺激競爭優勢的持續力和創造力，還要看本地的競爭狀態。國內競爭會賦予企業創新與改善的壓力，而此壓力則會促使競爭優勢持續升級，最終將形成企業尋求全球市場的壓力，特別是已達經濟規模時，企業將迫使彼此向外進軍全球市場。

以上四大特質，構成產業的競爭環境。而足以影響或改變此四股力量的因素則為政府與機會。

5. 政府

政府在鑽石體系中扮演影響者的角色。他無法直接創建有競爭力的產業，而是透過政策的鼓勵刺激其他四股力量，進而形成產業的競爭力。也就是說，他創造一個企業能從中獲得競爭優勢的環境。因此政府應該包含下述角色。

1. 形成總體經濟和政治的穩定性；
2. 改善企業、機構能力及提升人力素質；

3. 促進國內市場競爭、刺激創新；
4. 促進產業群聚發展與升級；
5. 推動長期經濟活動方案，鼓勵業者持續投資；
6. 執行嚴格的產品、安全性和環境的標準；
7. 避免介入生產因素與貨幣市場；
8. 追求各國市場的開放。

6. 機會

機會是指企業或政府無法掌握的偶發事件，它可能會對市場競爭地位現況或鑽石模型的四股力量產生影響，造成競爭優勢的改變。一般而言，形成機會的事件有：(1)基礎科技的發明與創新；(2)傳統技術出現斷層；(3)金融市場或匯率失衡；(4)全球或區域市場需求遽變；(5)各國政府政策的改變；(6)戰爭等。

2.2.3 孫子兵法與競爭優勢理論

春秋時代末期所完成的孫子兵法，由李建中&虞孝成[3]巧妙地應用於企業競爭優勢分析，充分體現企業「商場即戰場」的事實。所謂「多算勝，少算不勝，而況於無算乎？」直陳「廟算」可以決定軍隊的勝負與企業的成敗。始計篇記載：「故經之以五事：一曰道，二曰天，三曰地，四曰將，五曰法。」，「故校之以計，而索其情，曰：主孰有道？將孰有能？天地孰得？法令孰行？兵眾孰強？士卒孰練？賞罰孰明？吾以此知勝負矣」。此篇於軍事與企業導引的綜合表解與說明整理如[表 1]。

企業為了處於有利的競爭態勢，達到企業獲利的目的，必須衡量內部與外在的有利因素，靈活調整而制定出深思熟慮的長程策略構想與佈局。企業營運的技巧或經營的手段要靈活，避免與市場中實力強大的競爭者正面衝突，在不同的競爭態勢之下，採取不同的策略定位，選擇不同的策略方案：或爭取先機；或策略結盟以增加優勢；或形成競爭者進入的障礙。例如採取低成本的老二策略，或集中資源於技術研發，或採取產品性能差異化，或建立自有品牌，或走高價、高品質的產品策略，或採取產品少樣大量的低價策略，或採產品線完整的策略，或是強調服務的經營方式等。企業競爭行動應注意創新與保密：在時機沒有成熟之前儘量隱藏自己的企圖與實力、將要在市場上競爭的產品功能不要過早曝光、新產品的功能與上市之時機要讓競爭對手措手不及。總之，企業競爭因時、因地、因不同

環境、因不同競爭態勢而應採取不同的方式，其巧妙各有不同，此即「兵者，詭道也」的經驗法則。

表 1 始計篇於軍事與企業導引的綜合表解

始計篇 (國家全程 戰略構 想、企業全 程策略構 想)	指導	國家	戰略指導：「慎戰」乃國家存亡之道
		企業	策略指導：「競爭」乃企業成敗之關鍵
	判斷	國家	國防判斷：「五事」-道、天、地、將、法。 敵情判斷：「七計」-主、將、天地、法令、 兵眾、士卒、賞罰。
		企業	企業狀況判斷：SWOT、價值鏈分析。 競爭對手判斷：五力分析。
	決心	國家	戰略決心(戰或不戰)
		企業	決策下達(投資或暫緩)
	構想	國家 (備戰構想)	指導：因利而制權也。 欺敵：能、用、近、遠。 攻敵：出其不意、攻其不備。 乘敵：利、亂、實、強、怒、卑、佚、親。
		企業 (競爭構想)	指導：通權達變。 影響競爭者行動：爭先、佔位、障礙、結 盟。 結構性佈局：對良性與惡性競爭對手結構 規劃整體佈局。 掌控：持續獲利位置。
	評估	國家	廟算多者，創造優勢而致勝。
		企業	評估周延，維持優勢而獲利。

資料來源：李建中&虞孝成[3]，孫子兵法與競爭優勢

另外，謀攻篇亦指出：「故上兵伐謀，其次伐交，其次伐兵，其下攻城。」，「故善用兵者，屈人之兵，而非戰也」，「故兵不頓而利可全，此謀攻之法也」也提示企業經營者，在 IDM 垂直整合的生產經營模式之外，還有策略性委外的另一種選擇，以供應鏈上中下游的策略聯盟作為進入市場的捷徑。這是企業伐謀、伐交的綜合運用，形成企業「不戰而屈人之兵」的大

戰略模式。

虛實篇「兵無常勢，水無常形」，則描述競爭不是靜止不動的。當其他國家在專用領域的微機電產品已經有先行者優勢，就形成「凡先處戰地而待敵者佚」，其他國家的企業也勢必注意各種可能的關鍵應用。因此在動態競爭中，我們除了分析競爭環境之外，需要不斷地評估後續發展，才能預期競爭對手的行為與反應。如果先進國家察覺我們的定位合理，策略有效而開始做不同反應時，我們必須模擬情境，針對各種假設性條件進行推演，以形成動態策略，包括注意內部或是外部環境是否有組織使用不合法的手段而造成壟斷的行為，熟悉各國法律環境以避免外國機構的傾銷或是專利訴訟，以維持公平合理的競爭態勢。

2.2.4 關鍵成功因素理論

關鍵成功因素(Key Success Factor, KSF 或稱為 Critical Success Factor, CSF)的觀念始於 Daniel(1961)發表的「管理資訊的危機」，指出關鍵成功因素是公司為了成功必須做得特別好的重要工作。在大部分的產業中，通常有三到六個決定是否成功的因素，廠商經營成功的條件是必須將這些關鍵工作做得特別好。例如在汽車產業中，款式、有效率的經銷體系、製造成本的嚴格控制是其關鍵成功因素；在人壽保險產業中，經紀人員的培養、業務員的有效控制、創造新型態的保險商品，會造成各家公司的差異。在食品加工業中，新產品發展、良好的配銷系統以及有效果的廣告，是主要的成功因素等等。

接著由著名的產業經濟學派前導者 Commons(1974)提出了「限制因子(limited factor)」理論，並將之應用於經濟體系中管理及談判的運作；Ansoff(1984)認為關鍵成功因素之目的在於指引企業發展與產業關鍵成功因素一致的策略，以取得企業本身相對的競爭優勢。國內學者徐作聖[2]指出，產業關鍵成功因素會隨著產業特性、產業驅動力、產業競爭狀況與時間的變化而有所改變。對企業經營者而言，若能掌握一到兩個關鍵成功因素，便能取的該產業的競爭優勢。同時 Aaker(1988)亦指出關鍵成功因素有兩種型態：(1)策略的必要性，亦即擁有此種關鍵成功因素不一定能夠提供競爭優勢，因為其他競爭者也可以同時擁有，但若缺少它則會導致嚴重的缺失；(2)策略的強制性，也就是企業所擅長的，且這些資產及技能優於競爭者，能為企業帶來競爭優勢。

部分學者在認定關鍵成功因素的技術與方法，彙整如下表[表 2]：

表 2 確認關鍵成功因素之分析方法彙整

出處	研究產業	關鍵成功因素
曾雪卿 (1998)	積體電路 產業	開拓國際市場、人力資源、技術研發能力、制訂適宜的政策與獎勵措施、全球或區域市場需求遽增、國際合作之策略與方向。
蔡俊鵬 (1999)	動態記憶 體	優異的生產管理能力、領先的製程技術、完整的支援產業、健全的財務結構、優秀的人力資源、政府政策性的支持。
徐作聖 (1999)	科技產業	創新研發能力、產品規格的制定、關鍵技術與專利的掌握、技術資訊獲取能力、規模經濟優勢、零組件採購及來源控制、運籌管理能力、JIT 與自動化能力、員工素質與人事管理、行銷通路的掌握、產品設計與創新運用、品牌與企業形象、全功能服務的能力、顧客需求的掌握、市場領導優勢、技術多元化、組織制度與管理能力、範圍經濟優勢。
劉炳慶 (2000)	半導體產 業	製程掌握能力、量產提升能力、產品良率的控制能力、製造週期的降低能力、全面成本的控制能力、交貨穩定度的控制能力、廠商技術合作關係的掌握能力、開發新製程能力、企業內部相互的競爭與合作(地理性之集中)，對營運效能的加強有正面的作用、台灣因企業文化所產生的彈性與速度。
丁立寧 (2000)	應用材料	卓越遠見及領導能力的領導者、專注於半導體設備產業，但全面性擴展各設備區間市場、Semitech 組織之成立及美國業者在 80~90 年代合作與日本業者競爭之助益、率先深耕日本市場及建立全球化支援體系、建立一個全球在各地本土的忠實合作夥伴、能吸引國際一流人才並留住人才為其效力、永遠搶先進入新市場及持續推出新產品及技術、利用市場規模及擴大產品線之優勢。
蔡明岡 (2001)	磊晶廠商	提升產品品質、原料的供應穩定、擴充產品線降低營運風險、與國外大廠保持穩定的客戶關係、掌握技術

出處	研究產業	關鍵成功因素
		人才、培育具國際關的多樣化人才、鼓勵協助研發投入、法令政策更新。
陳彥澍 (2001)	IC 設計 產業	業者方面： (1)應注意 IP 的取得與應用。 (2)與同業、晶圓廠和系統廠商發展合作關係。 (3)利用併購和策略聯盟來發展核心技術。 政府方面： (4)應加強設計人才的培育。 (5)鼓勵業者投入研發與創新。 (6)提高半導體政策的開放程度，厚植台灣消費性 IC 設計產業競爭能力。
章義明 (2001)	半導體產 業	生產良率的控制能力、交貨穩定度的控制能力、全面成本控制的能力、生產製程創新的能力、研發人員的培育能力。
Gupta(1 986)	晶片與磁 片驅動供 應商	找到對的經營人才、具備了解兩國雙方文化，且有工程技術背景及製造經驗、與政府單位談判、員工進用等。
Sivadas & Dwyer(2 000)	半導體製 造	溝通、協調、整合；經營管理、合作夥伴類型、相互關係、創新產品種類、組織制度支持、合作夥伴競爭及互補性。

資料來源：許文誠、徐木蘭、歐陽惠華[11]

Rockart(1979)的研究指出，關鍵成功因素有以下四種來源。

1. 產業的特殊結構。每個產業裏都有一組關鍵成功因素，此因素是決定於該產業本身的經營特性，該產業內的每一個企業都必須注意到這些因素。
2. 企業的競爭策略、地理位置及其在產業中所佔的地位。在產業中每一企業因其競爭地位不同，而有其個別的狀況及競爭策略，對於由一或二家大公司主導的產業而言，領導廠商的行動常為產業內小公

司帶來重大問題，所以小公司的競爭策略勢必有別於領導廠商的策略。因此對小公司而言，大公司競爭者的一個策略可能就是攸關其生存的關鍵成功因素。相同地，地理位置與競爭策略的差異也能使產業內的各企業產生不同的關鍵成功因素。

3. 環境因素。當總體經濟環境有所變動時，如國民生產毛額、經濟景氣的波動、政治因素、法律的變革等，都會影響每一個企業的關鍵成功因素。
4. 暫時性因素。大部分是由組織內特殊的理由而來，通常是在某一特定時期對組織的成功產生重大影響的活動領域。例如在市場需求波動大時，存貨的管制可能就會被高階主管視為關鍵成功因素之一。

由於產業或企業的關鍵成功因素均非靜態，它會隨著時間、環境而改變。在不同時間、環境中，每一個階段中產業的關鍵成功因素，都可以看成是當時產業的「遊戲規則」，參加此一產業競爭的廠商，如果未能熟習這些規則，則難以面對產業內的激烈競爭。

2.3 產業分析

產業(Industry)是指提供高度替代性產品或服務的一群企業的總稱。高度替代性產品或服務代表滿足同樣顧客需求的產品或服務。而產業分析即是針對一特定的產業進行分析，以了解該產業內各種相互作用的力量。除了要對產業的演進本質與現況作描述外，更重要是要解析各種影響力與原因，並且應用於對產業未來發展的預測，提供經營者與政府作決策時的參考。產業分析的內容必須限定在相當類似或同質的業務上，才能使分析的結果不致於無效。

產業分析主要內容包括產業結構、市場與技術生命週期、競爭情勢、上下游相關產業與價值鏈、成本結構與附加價值分配、與產業創新需求要素等。不同的產業分析理論，著眼於不同的立論基礎，可能選擇迥然不同的衡量工具與指標，其思考與運作的結果有時可能會很靠近，但有時也有可能大相逕庭。二十世紀的資本主義與共產主義就是不同經濟理論作用於相同時空因素下的最好例證。以下針對有關產業分析之相關理論進行整理與探討。

2.3.1 SWOT 分析

SWOT 分析法是廣為人知而且廣泛被運用於各個領域的環境情勢分析工具，由 Albert Humphrey 所提出。此理論將企業內部的優勢(Strengths)及劣勢(Weakness)與外部環境的機會(Opportunities)及威脅(Threats)等相互配對，尋求利用最大的優勢和機會及最少的劣勢和威脅來界定出所在地位，進而擬定因應策略。Weihrich (1982) 提出了 SWOT 矩陣[表 3]的概念，他針對 SWOT 分析之後的策略制定，以優勢、劣勢、機會、威脅相互配對，界定 SWOT 矩陣中的企業位置地圖，尋求最大的優勢與機會，以及最小的劣勢與威脅的對等因應策略方案。

表 3 Weihrich SWOT 策略矩陣

SWOT 矩陣		內 部 分 析	
		優勢(S)	劣勢(W)
外在環境	機會(O)	「SO 策略」(Max-Max) 利用優勢與機會	「WO 策略」(Min-Max) 利用機會改進內部弱點
	威脅(T)	「ST 策略」(Max-Min) 利用優勢避免威脅	「WT 策略」(Min-Min) 克服弱點、避免威脅

資料來源：Weihrich, H.(1982)

Barney(1991)則將 SWOT 分析歸納為兩個思想脈落[圖 4]；一是近年來發展的主流，強調外在環境的分析，以競爭策略獲得優勢，稱之為「競爭優勢模式」，用以解釋企業所面臨的產業環境狀況，此已獲得相當的認同及採用；另一是「資源基礎模式(Resource Based)」的理論，對企業內部強、弱點做分析，強調組織能力的培養與強化。Barney 提出以下的概念作說明，利用分析公司內部的資源與能耐的分析，找出強點與弱點的內部分析，並利用外部分析找出機會與威脅。

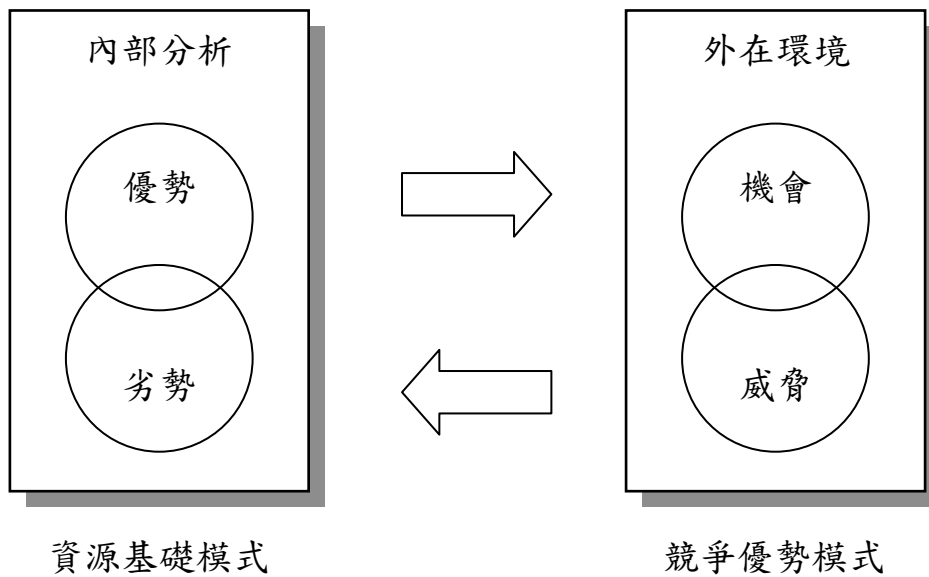


圖 4 SWOT 分析與資源基礎模式和競爭優勢模式的關係

資料來源：Barney, D.F.(1991), Time Paths in the Diffusion of Product Innovation

2.3.2 五力分析

Porter (1979)主張以競爭的觀點來探討產業結構，以產業分析來辨認產業結構中的產業利潤和成長驅動力，而其中最強的成長驅動力，便成為最具決定性的關鍵成功因素(KSF)。他提出有名的「五力分析」，其用途是定義出一個市場吸引力高低程度，認為產業結構之組成，主要是與五股競爭作用力有關，產業競爭的激烈及獲利的程度便由此五力加總來評估。這些力量是個體經濟學面，而非一般認為的總體經濟學面 [圖 5]。

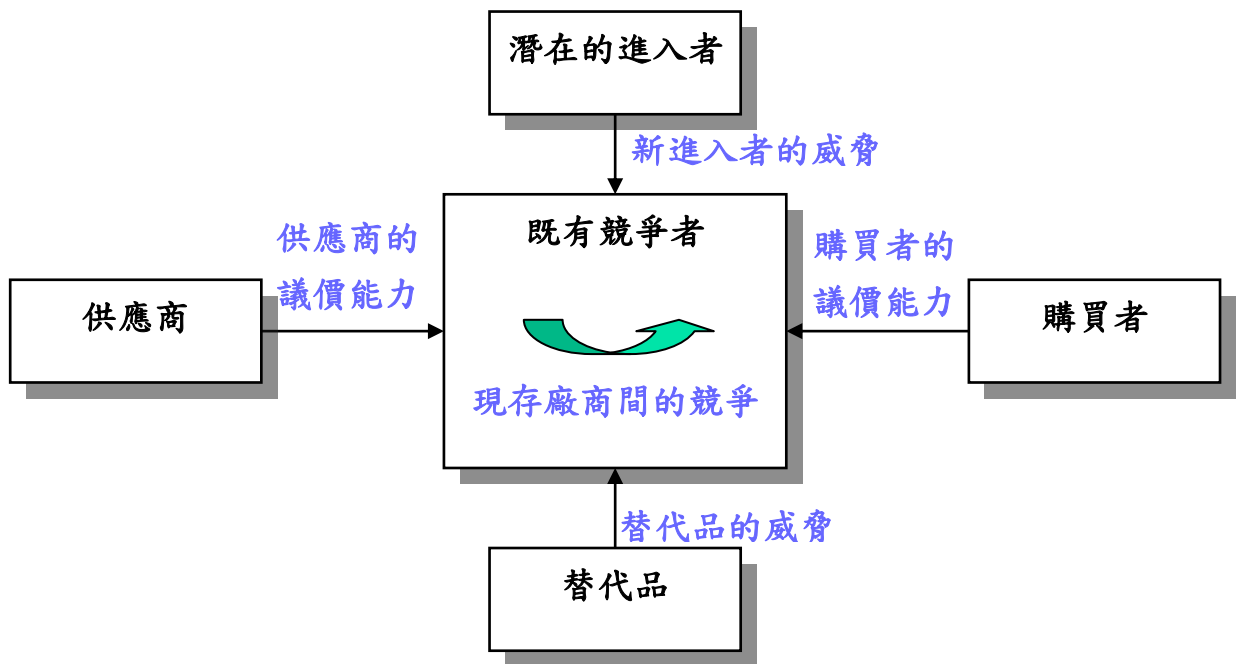


圖 5 五力分析模型

資料來源：Porter, M.E. (1985), Competitive Advantage

茲就五力分析的內容整理簡述如下(周旭華，1998)。

1. 同業競爭的程度

在大多數的產業裡，當一家公司的競爭行動開始對對手產生顯著的影響時，就可能遭受還擊。一般而言，企業可能用的還擊形式包括價格競爭、促銷戰、提昇客戶服務、延長保固期限與挖角等等的手法。這些形式所產生的結果各有不同，有的可能會使得整個產業中的企業營利損失；有的可能會擴大整體市場需求；有的可以增強企業之間的产品差異化程度，進而使整個產業都能夠受益。

2. 潛在進入者的威脅

產業中的潛在進入者一旦進入市場時，會帶來新產能並引進相當的資源，導致產業中的原有公司將產品降價求售，進而使得成本攀升而導致獲利下降。潛在進入者的威脅要視當時的進入障礙，及原有競爭者所可能產生的反應而定。所謂進入障礙，是指產業中因為產品特性、專業技術或是現有廠商策略及進入時機等因素，導致潛在進入者無法進入該產業，和進入該產業可以得到的利益不如既有業者。影響潛在進入者的進入障礙主要

來源如：規模經濟、產品差異化、資本需求、轉移成本、獲取配銷通路、現有者的絕對成本的優勢、政府政策、對既有競爭者反應的預期心理等等。

3. 替代品的威脅

所謂替代品就是能發揮和原產業產品相同功能的其他產品。替代品的存在限制了原產業的可能獲利，使公司需考量價格上限的問題，而無法隨意定價。替代品在價格和性能上如果提供的替代方案越彈性、越多樣，對原產業的利潤限制與威脅就越大。

4. 供應商的議價能力

供應商可以因為供應的產品僅由少數幾家所支配、沒有替代品競爭威脅、供應的產品或服務對買方產業有其特殊重要的地位、轉移成本過高等因素，威脅調高售價或降低品質，對產業成員產生力量強大的議價能力。

5. 購買者的議價能力

一般而言，客戶在採購時總是設法壓低價格，以取得價格更低、品質更高或更多的額外服務，或是讓競爭者之間產生對立，以便從中獲利。產業中購買者的議價力量，除了本身的採購能力之外，如果還有以下幾種因素加持時，則議價能力會更強，如集中採購、替代選擇很多、轉移成本低、對市場的資訊掌握充分等等的因素。

2.3.3 六力分析

六力分析的概念出自於 Intel 前總裁 Grove(1996)，以 Porter(1985)的五力分析架構為出發點，重新探討並定義產業競爭的六種影響力。他認為影響產業競爭態勢的因素分別是：(1)現存競爭者的影響力、活力、能力；(2)供應商的影響力、活力、能力；(3)客戶的影響力、活力、能力；(4)潛在競爭者的影響力、活力、能力；(5)產品或服務的替代方式；(6)「協力業者」的力量。

協力業者是指與自身企業具有相互支援與互補關係的其他企業。在互補關係中，該公司的產品與另一家公司的產品互相配合使用，可得到更好的使用效果。協力業者間的利益通常互相一致，也可稱之為「通路夥伴」，彼此間產品相互支援，並擁有共同的利益。

但任何新技術、新方法或新科技的出現，都可能改變協力業者間的平

衡共生關係，使得通路夥伴從此形同陌路。

透過此六種競爭力量的分析，有助於釐清企業所處的競爭環境，點出產業中競爭的關鍵因素，並界定最能改善產業和企業本身獲利能力的策略性創新。



三、 CMOS 微機電製造技術及產品元件

3.1 CMOS 與微機電技術原理

微機電系統(Micro Electro-Mechanical Systems, MEMS)又稱為微系統技術(Micro Systems Technology, MST)，是一種包括光學、電學、磁學、化學、材料科學、聲學、流體力學、牛頓力學、熱學、控制以及醫學等多重科技整合的技術。更具體而且簡單的解釋，即微機電是「巨觀世界系統的微縮化」[圖 6]。微機電包含機械與電子系統雙重部分，比較傾向於自然界的「系統」。其中機械部分主要為系統機械結構（例如支架、溝渠、槽）、受力/出力裝置（例如引擎、活塞、齒輪、馬達）等具備物理實體外觀的部分；電子部分則是大家較熟悉的訊號輸出入（I/O）、儲存(Memory)、處理(Processing)、訊號傳送(Transmission)等線路，或是積體電路（Integrated Circuit, IC）。簡單的說，微機電包含兩大部分，機械部分負責結構、動力與傳動，電子部分則專工訊號與處理。

另外，自然界的訊號屬於類比訊號，如聲、光、震動、溫度等，經由感測計（Sensor）接收上述訊號後，經過類比數位轉換（Analog-to-Digital Converter, ADC）成為數位訊號，再交由控制器（Controller）處理，再經過數位類比轉換（Digital-to-Analog Conversion, DAC）後交由致動器（Actuator）反應做出控制器所欲傳達的動作。因此，微機電也可以解釋成由感測計、致動器與電子控制線路所組成的微小系統技術。利用此製造技術可使產品因微小化而提高其性能、品質、可靠度及附加價值，降低功率消耗與雜訊，同時降低製造成本，繼微電子技術之後再次為我們帶來輕、薄、短、小的機電系統產品[圖 7]。

目前歐美日等先進工業國家都積極投入此項核心製程技術。可應用的產業諸如：資訊、通訊、消費性電子、工業生產、生醫保健、環保工安、國防工業、農林水產、太空航空等，可見微機電應用範圍的廣泛。因此，微機電系統可被視為下世代重要的核心製造技術。



圖 6 微機電技術製作的微型車

資料來源：DENSO

3.1.1 技術發展歷程

在歐洲的瑞士與德國歷來就有精密機械研究領域。自從半導體產業蓬勃發展後，微系統技術研發方向才逐漸開始轉變到利用製造微電子電路的IC晶片製造技術衍生出來，製造出尺寸更小的微機電產品，並在美、日等主要晶片生產國中快速發展。但以半導體技術生產微機電產品，常遇到因不同的功能要求而導致之技術不相容，例如半導體製程所做的微零件仍屬於二維平面零件，而微機電領域無可避免必須使用三維立體零組件，如微馬達、微閥等，導致量產規模等商業化過程遇到生產、組裝與測試等等的瓶頸。



圖 7 微機電涵蓋領域

資料來源：修改自 ITRI-IEK 計畫(2006/3)

以下摘要列出自從電晶體發明以來，微電子技術發展以及微機電加工技術發展的歷程。

1. 微電子技術發展：

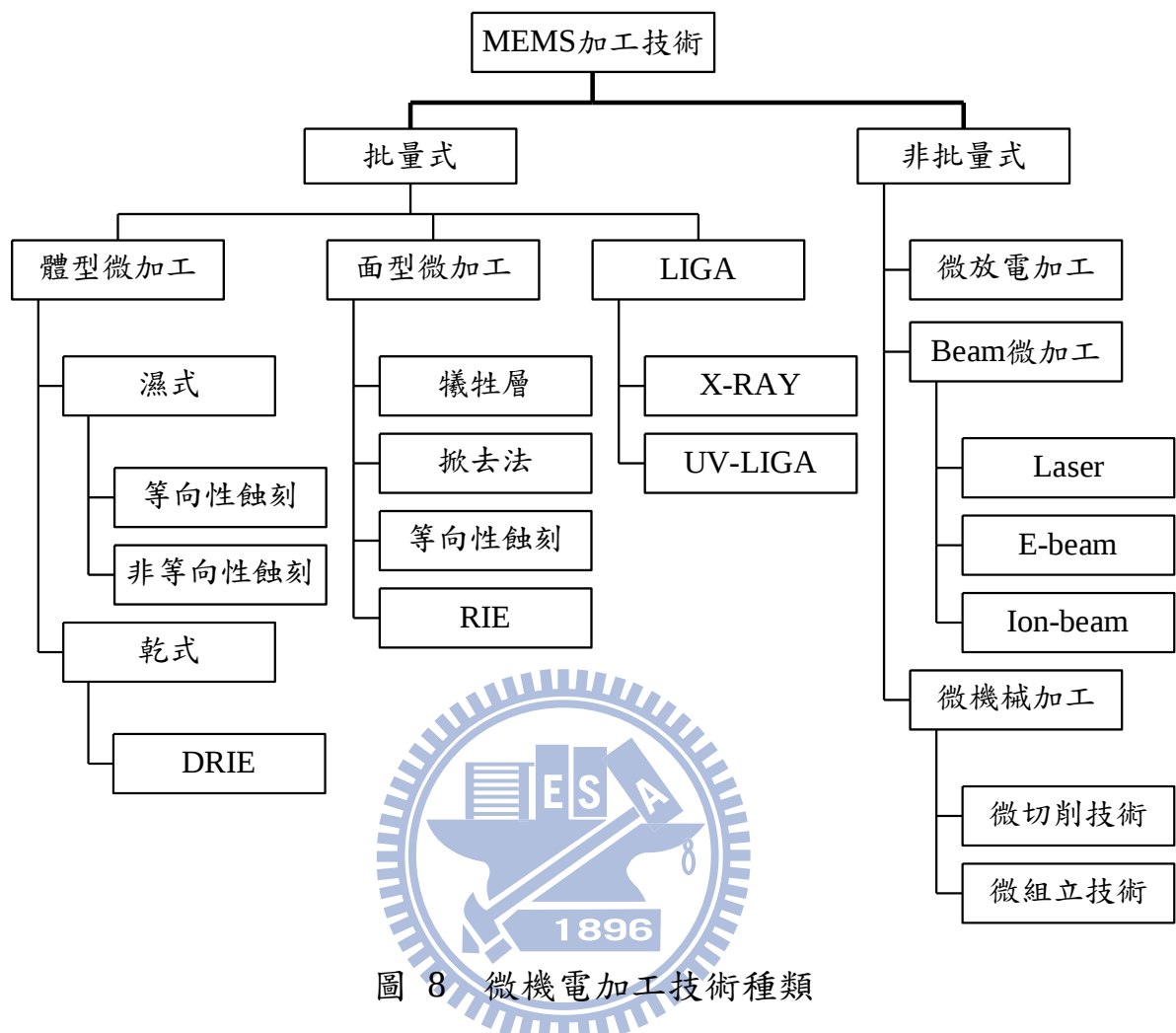
- 1947 Bell 實驗室發明第一個電晶體(Transistor)
- 1959 Kilby 發明第一個積體電路(IC)
- 1960 Fairchild 和 TI 製造出第一個商業用 IC
- 1969 電路集積度達 10k 元件/晶片，即 LSI 等級

2. 微機電加工技術發展：

- 1959 Feynman “There is plenty of room at the bottom”
- ’70 體型壓力感測計，加速度計(安全氣囊、定位陀螺儀)
- 1976 噴墨噴嘴(Ink Jet Nozzle)
- 1977 以懸臂樑設計之 electrical switch
- 1982 Petersen 命名矽微加工(Silicon Micromachining)
- 1983 Howe 開發出面型微加工製程
- 1986 Karlsruhe 等人開發出 LIGA 製程
- 1986 面型微加工製程的 resonant micro-bridge
- 1987 開始有經由組合而成之可動微加工結構的概念(渦輪)
- 1988 MEMS (Micro Electro-mechanical System)在經過三次研討會後命名
- 1988 第一個可動的組合微加工結構，包括 sliders、hinges 和 cranks
- 1988 第一個 IC 製程微加工馬達
- 1989 第一個微加工線性致動器
- ’90 噴墨列印頭、投影機微鏡陣列
- 1991 Analog Devices 引進第一個商業用表面微加工的加速度計
- 1995 厚微加工結構(Klassen, DRIE)
- 1996 光學桌(Silicon Optical Bench)
- 1997 以熱致動器驅動之複雜機構
- ’00 微光學元件(光開關)

3.1.2 微機電製造技術分類

在微機電製程方面，主要存在體型微加工 (Bulk Micro Machining)、面型微加工 (Surface Micro Machining) 與 LIGA(Lithographie Galvanoformung Abformung)三類技術[圖 8]，製造技術的比較如[表 4]；電路部分，主要是 CMOS(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)製程製造技術。



資料來源：修改自 NKFUST 余志成，微機電系統導論

表 4 微機電製程技術比較

製程技術	加工方法	使用材料	適用產品
體型微加工	在矽晶圓上根據不同晶格方向的蝕刻速率不同而蝕刻出所需要的深寬比，形成機械構件。	單晶矽、Pyrex 玻璃及 PMMA 或其它高分子材料，壓電材料如 PZT、ZnO、AlN 等。	懸臂 (Cantilevers)、橋 (Bridges)、溝槽 (Channels)。
面型微加工	利用 IC 製程中薄膜之成長與蝕刻方法來建構所需之元	以矽晶為主要材料如：多晶矽、氧化矽、氮化矽、氮化	齒輪、微發動機、微反射鏡。

製程技術	加工方法	使用材料	適用產品
	件結構，而鍍膜層可達五層或更高，屬於精密 3D 結構。	矽、磷矽玻璃，其它像各種金屬如：鋁、金、銅等都是適合材質。	
LIGA	利用 X 光進行厚膜光阻曝光，並利用電鑄、熱壓或旋鍍等技術翻成子模，再利用子模製作出最終元件。	塑膠、金屬、陶瓷或玻璃。	同位素分離噴嘴、微渦輪機、噴墨印表機噴嘴。

3.2 微機電元件介紹

3.2.1 慣性元件

加速度計 (Accelerometer) 和陀螺儀 (Gyroscope) 都可稱為慣性元件 (Inertial Sensor)，其中加速度計主要感測線性動作 (Linear Movement)；而所謂三軸加速度計就是用來感測 3 個平面上的線性動作。相較之下，陀螺儀用於感測圍繞某個軸發生的旋轉，與重力或線性動作無關；與加速度計不同的是，陀螺儀測量偏移或者斜度。

1. 加速度計

加速度計的工作原理如下：當加速度計連同外界物體(該物體的加速度就是待測的加速度)受到外力一起進行加速運動時，慣性質量就受到慣性力的作用向相反的方向運動。而慣性質量發生的位移將會受到彈簧和阻尼器的限制，這兩者之間的關係相當密切，當外界加速度固定時，慣性質量將會具有確定的位移，而外界加速度變化時(只要變化不是很快)，慣性質量的位移也發生相應的變化 [圖 9]。

而壓電阻抗型加速度計，一般是採用懸臂式十字型微薄橫樑的構造，當施加了加速度時，重量的移動讓該微薄橫樑產生變形。而壓電阻抗

就是內建於這個微薄橫樑，隨著變形的大小來更動變化電阻值。製造商通常都是以「體型微加工技術」的手法來製造。這種壓電阻抗型的方式，比較有利的地方在於其構造的單純，對小型化產品會比較有利。

至於電容式加速度計主要的原理是：其中一個懸吊的物體在受到加速度作用的情況下，就會產生位移，而這個位移就會造成正中央與這個懸吊物質相連的平面與周圍固定的平面所形成的差動電容值改變。經由量測電路測出這個差動電容值的改變，即可獲得加速度的值，而達到量測加速度的目的。另一方面，當慣性質量發生位移時，感測計之間的電容就會發生相應的變化；如果測得感測計輸出電壓的變化，就等同於測得了慣性質量的位移，因此透過輸出電壓的感測就能得知外界的加速度。這兩種技術同時也是目前加速度計主流技術。

熱感測加速度計的工作原理則是運用了對流法則。位於矽晶片中央的熱源，會產生一個熱梯度，進而使空氣在密封包裝中形成密度梯度。當加速度計被施加外部力量(如加速、減速、重力和振動等)時，氣體會由於其微小的慣性品質而在密封包裝內運動。加速度計透過感應並測量熱源周圍溫度的改變來感測施加的力度 [圖 10]。

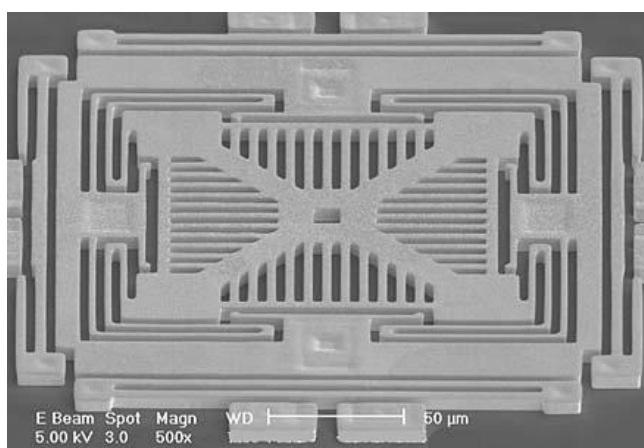


圖 9 三軸加速度計

資料來源：IC Mechanics, Inc.

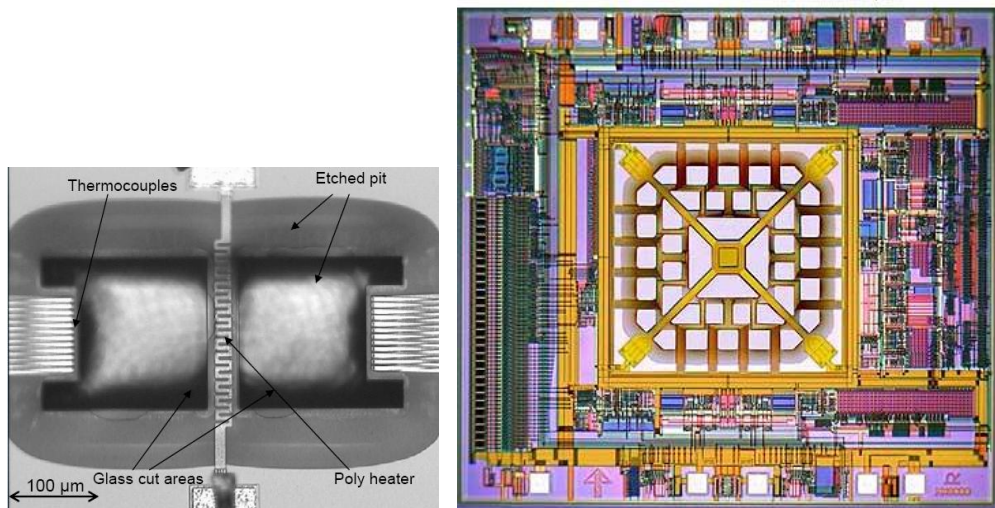


圖 10 運用對流法則的熱感測加速度計

資料來源：MEMSIC

2. 陀螺儀

陀螺儀的應用與發展已有一段歷史，諸如慣性導航、羅盤定位及角速度量測等等，目前在包含衛星、飛機、艦、船與車輛被廣泛的使用。其原理乃利用陀螺效應(Gyroscopic Effect)，換言之，陀螺儀是一種角度或角速度感測元件，用以量測載具的姿態與方向，是穩定控制、慣性導引與姿態量測的重要元件，假設當一自轉之物體，承受到 Y 方向外來力矩時，此物體將會沿 X 軸方向翻轉。也正因為陀螺儀具有此一特殊的動態性質，使其穩定性相關之問題受到許多學者的討論與研究，諸如單軸(Single-axis)、雙軸(Two-axis)陀螺儀之分析，混沌理論及其應用，甚或非線性控制理論。依據典型之陀螺儀數學模型，藉由伺服馬達加以控制轉子之翻覆運動，以消除陀螺儀平衡環(Gimbals)之偏斜，並假設載台只受到 Z 向(向上)角速度之激勵。陀螺儀主要可以區分為轉子式陀螺儀、光學式陀螺儀以及振動陀螺儀，其中振動陀螺儀構造簡單，是藉著結構元件的振動來感測角速度，由於是以元件振動方式感測，故無轉子式陀螺儀的啟動時間限制、耗能與軸承損耗等缺點。

雖然陀螺儀乍看之下與加速器是處於互相競爭的局面，但加速度計已經逐漸普及於 3C 應用產品中，而陀螺儀由於成本較高勢顯得稍弱，但對於未來將應用於手機和遊戲機、數位視訊和數位相機穩定和「空中

飛鼠」(Air Mouse)甚至在空中揮手就可以控制螢幕上的游標的空間位置追蹤感測計(Space Position Tracker)等不同應用領域，不管是從系統精確度或是反應速度以及生產成本等等因素分析，未來 Motion Sensor 勢必走向陀螺儀與加速計整合使用，預期藉兩者的合併式的設計可以提供更全面的操控應用體驗。

3.2.2 微機電麥克風

一般的微機電麥克風包含微機電晶片和 ASIC(Application-Specific Integrated Circuit)晶片。兩顆晶片被封裝在一個表面貼裝元件中[圖 11]。微機電晶片包括一個剛性穿孔背電極和一片彈性矽膜，微機電晶片可作為電容，將聲壓轉換為電容變化。ASIC 晶片則用於檢測微機電電容變化，並將其轉換為電訊號，傳遞給相關處理元件，如基頻處理器或放大器等，並採用標準的 IC 技術。因此，這種雙晶片方案能夠快速為 ASIC 增添額外功能。這種功能既可以是額外構件，如音訊訊號處理、RF(Radio Frequency)屏蔽，也可以是任何可以整合在標準 IC 上的功能。

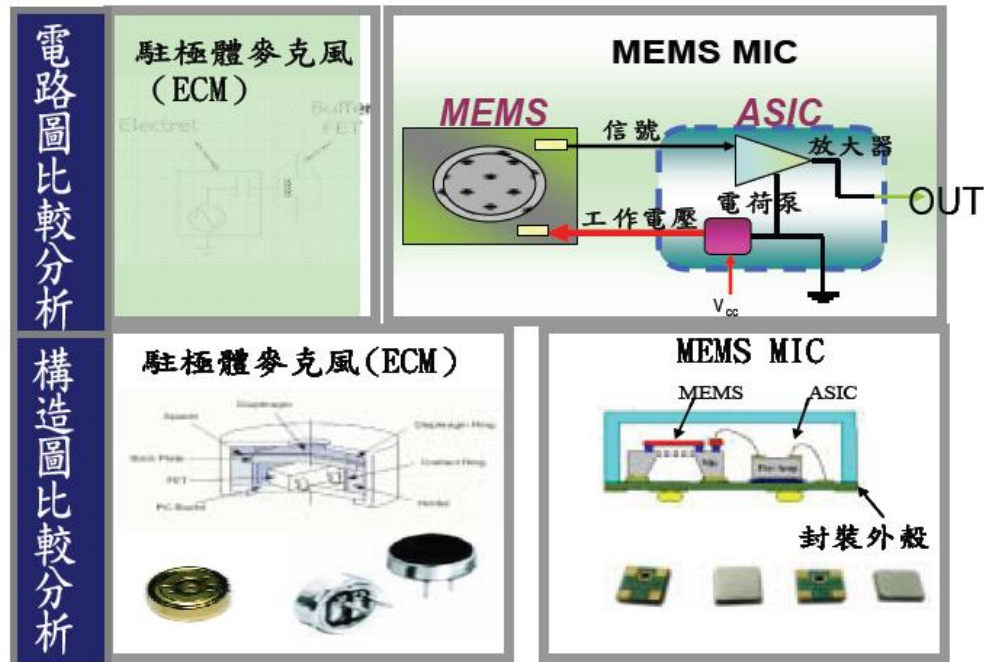


圖 11 傳統麥克風 與微機電麥克風電路與構造比較

資料來源：Goer Tek Presentation；拓璞產業研究所整理(2007)

隨著 CMOS 技術的不斷成熟，將前級放大和 A/D 等信號調理電路和微傳感器整合在一個晶片中成為可能，一些業界領先企業還開發出可完全用標準 CMOS 技術生產的微機電產品，例如 Akustica 利用 CMOS 設備和微機電代工廠生產出微機電麥克風晶片。而 Akustica 開發出單晶片微機電麥克風製造商將 ECM 微型駐極電容器麥克風的所有功能，包括一個分離式 FET、一個獨立型運算前置放大器晶片，以及一個類比數位轉換器晶片整合在單一 CMOS 微機電麥克風晶片。

3.2.3 RF MEMS

在無線通訊電路中，被動元件(Passive Component)扮演著極重要角色，在很多單元裏發揮調變功能[圖 12]，但是其困難處在於電感、電容、電阻不易作到單晶片且又低損耗(High-Q)；因此低損耗(High-Q)的被動元件是目前單晶片化的主要困難點之一，其中又以電感最為棘手。

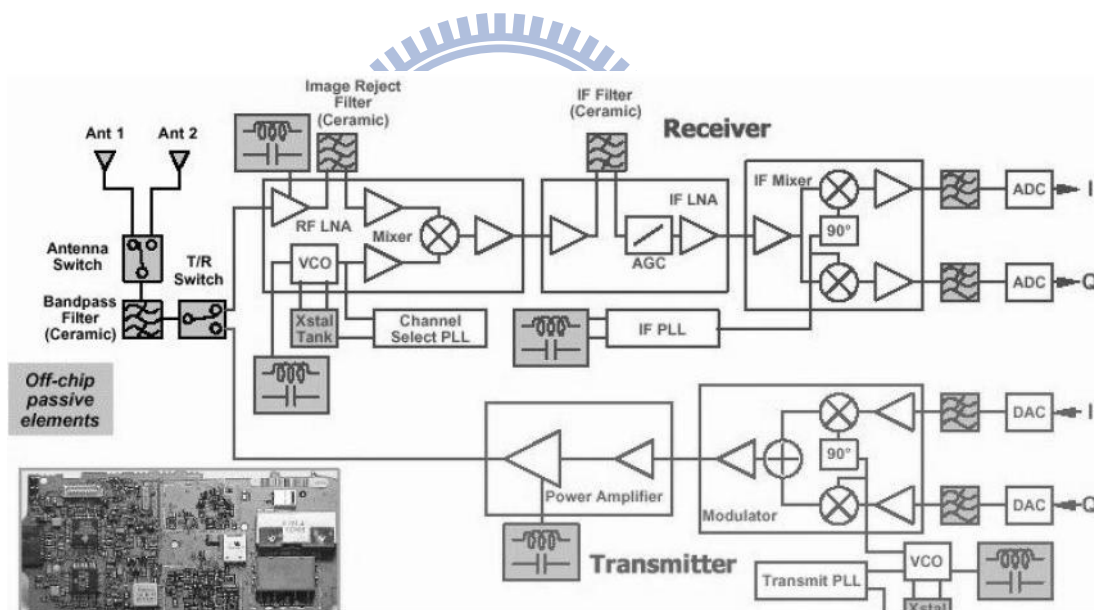


圖 12 無線通訊 RF 模組前級架構

資料來源：工研院材料所

電感主要應用於電路阻抗匹配 (Impedance Matching) 或 VCO(Voltage-Controlled Oscillator)的 LC tank，在減少外接分立零組件的要求下，扮演非常重要角色；不過長期以來其 Q 值都無法作高，主要受限於其值是正比於電感繞線所圍繞面積，但 IC chip 面積資源是有限的，無可避免要受到極大限制，因此需要其它的辦法克服，目前作法大都是從減低其

串聯電阻和減少基材電磁損耗兩方面著手，包括加厚金屬層、多層金屬層作連接並聯、挖空電感底下基材、墊厚底下介電質等，但這些改善措施對 Q 值的提昇仍有限，僅能達到 5~20 之間，其中 Q 值最高者同時利用半絕緣基材及加厚金屬層，但比起 Q 值約為 50~500 的 off-chip 電感仍遜色不少。

為了進一步達到單晶片且不會影響到 Q 值，微機電製程開發將是最有效而且整合度最高方式，如 3D coil 電感以電感線圈垂直於晶片有效降低對基材的電容和磁渦流損耗(Eddy Current Loss)，其 Q 值可達 30 以上；又如 tunable inductor 由交連的 RF 和 Drive 兩個線圈組成，利用兩者的相位差調出適量偏移，可使電阻損耗大幅降低，以得到 Q 值近於 2,000 的電感。未來藉著 RF CMOS 微機電研發，利用微機電技術在晶片上製作出高效能被動元件[圖 13]，涵蓋 tunable inductor、tunable capacitor、switch、resonator，以達到單晶片化目標。

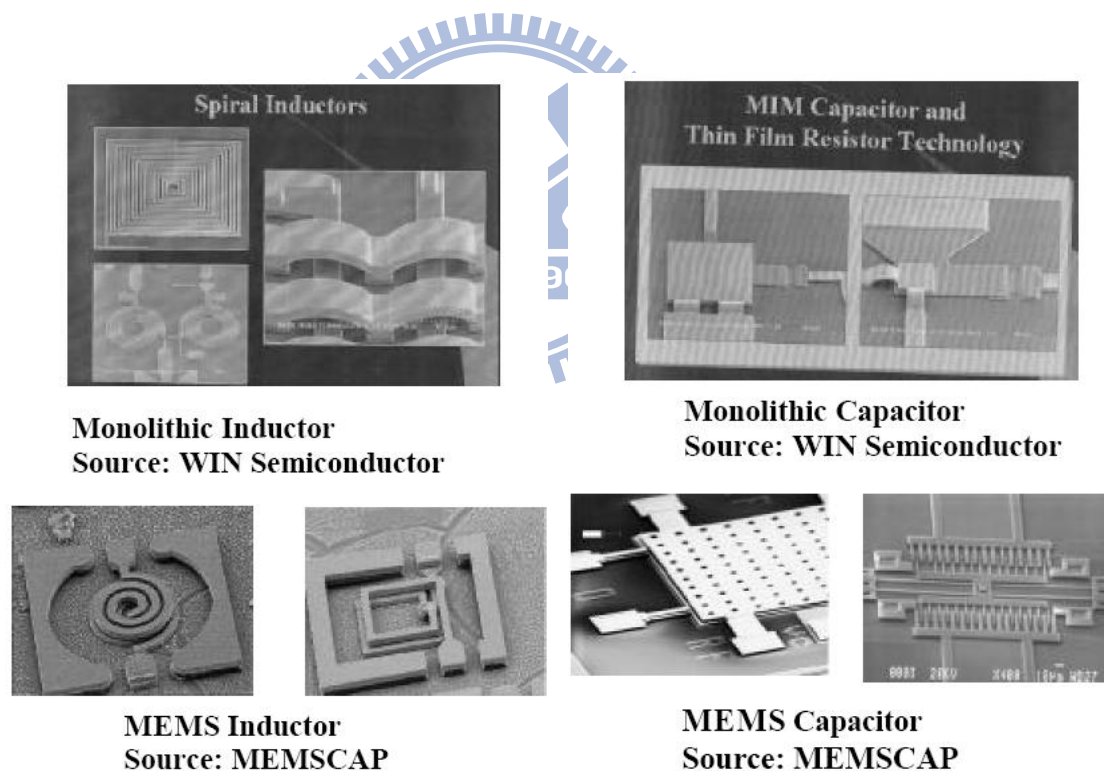


圖 13 CMOS 微機電電感與電容

資料來源：WIN Semiconductor；MEMSCAP

3.2.4 微機電開關

在所有 RF 所需要的被動元件中，開關是其中相當重要的一個元件[圖 14]，可用於手機、衛星、車電以及各種通訊設備，其主要功能為：無線通訊、震盪電路及信號處理等。它的基本組成大致可分為：微型之機械結構、靜電制動器及信號線路等三大部分，其原理是藉由靜電驅動而使得機械結構產生 Pull-In 現象進而控制信號傳輸之開放或閉合[圖 15]。

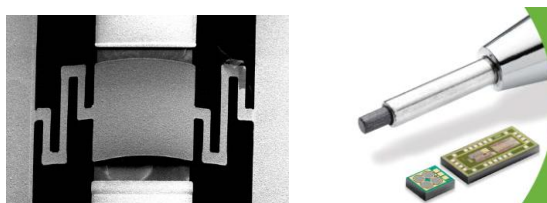


圖 14 微機電開關

資料來源：tronics microsystems, product brochure

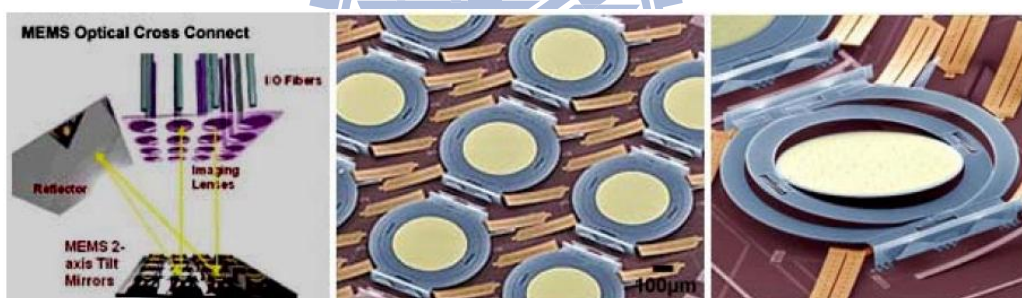


圖 15 MOEMS(MicroOptoElectroMechanical System)

資料來源：Texas Christian University, Department of Engineering

3.2.5 噴墨印字頭

噴墨印表機原理可分為運用壓電材料通以電流，對微小的墨滴加壓使其噴出列印於物體表面，以 EPSON 為代表[圖 16]；或利用加熱方式使墨滴膨脹而噴出，以 HP、Canon、Lexmark 為代表。其採用的微機電技術相對已經成熟，近年來市場需求有增無減。

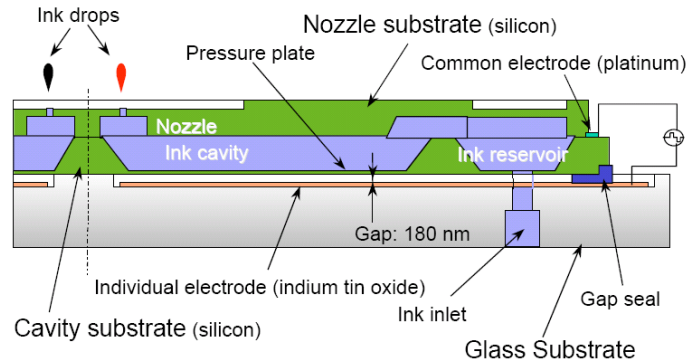


圖 16 噴墨印字頭

資料來源：EPSON

3.2.6 數位光學處理 DLP(Digital Light Processing)

這種處理器把數百萬個微型鏡片整合在一個晶片上[圖 17]。在投影機的應用方面與 LCD 最大的不同點在於，由於光源不經過濾器阻擋，而是直接由鏡片反射到投影幕，因而能夠進行超高亮度投影顯示。

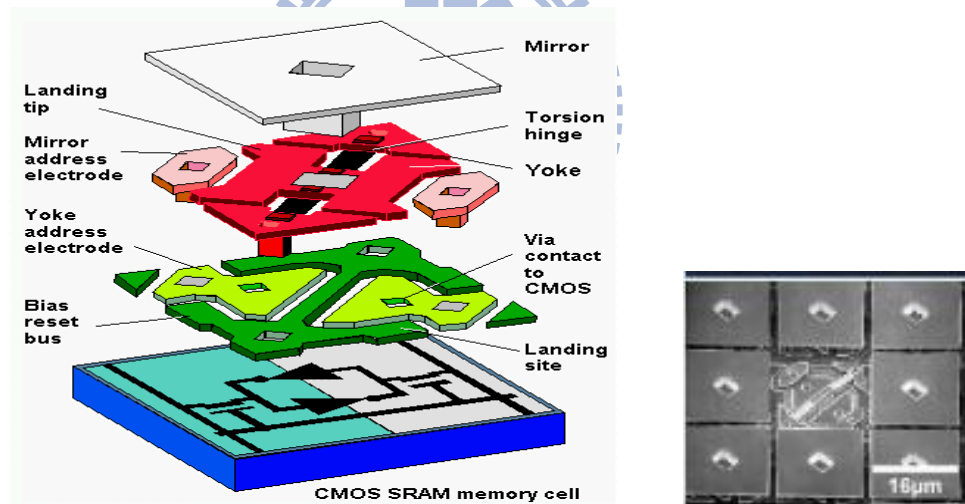


圖 17 使用於投影機的數位光學處理器

資料來源：Computer Desktop Encyclopedia

四、微機電產品應用市場

目前有關於全世界微機電系統產業趨勢的評估，各家有不同的看法。不同市場規模的預估結果，通常源自於對微機電產品的定義不同(如元件產值或系統產值)、推估調查訪談的對象不同(如 IDM(Integrated Device Manufacturer)供應商、代工業者或使用者)，或是成本推估使用模式的不同等因素。但是其中對趨勢的推估上，各家的看法都一致認為微機電產品市場具有很大的成長潛力。根據市調研究機構 iSuppli 資料顯示，2009 年微機電系統市場規模將達 70 億美元，相較 2008 年其成長幅度將達 7%，而出貨量成長率為 11%。

4.1 全球微機電產業發展概況

依據 2007 年 Yole 的調查，目前整個微機電產業以廠商家數來看，亞洲 191 家排名第一，其餘依次為北美 148 家，歐洲 136 家，其他區域 11 家。而就目前的產業結構來看，以 IDM 系統大廠如 TI、HP、Bosch 為主導者。以 2006 年為例，前 30 大業者的產值占整體市場的 89%，與半導體產業具備明顯的垂直分工體系不同，整體產業結構仍以垂直整合為主。

4.2 主要廠商

現今微機電企業的商業模式大多屬於垂直整合型態的公司，習稱 IDM；多數是大型企業多角化的事業部，或是大型企業分出去的子公司。根據 WTC(2007)統計資料顯示，2006 年微機電營收排名 Top 20 之微機電製造商當中，可以發現營收排名前七名的微機電製造商當，有五家生產噴墨印字頭：HP(#2)、Canon(#3)、Lexmark(#5)、以及 Seiko Epson(#6)生產自有的噴墨印字頭，STMicroelectronics(#7)則是替 HP 代工生產噴墨印字頭，五家營收累計達 US\$1,790M。營收第一名的 TI 以數位投影機所使用的 DLP 產品遙遙領先其他廠商，單一公司營收\$905M 即達到該五家廠商總營收的 50%，顯示出其獨特的產品競爭優勢[圖 18]。

歐洲則為僅次於美國的全球微機電技術領先者，包括 Bosch、STM 等在相關領域皆舉足輕重。德國為歐洲之微機電代表，進入產值排行榜前 30 名的企業有 5 家。德國民族性嚴謹守紀律，在光學、材料、精機等需要投入大量基礎技術開發並耐心等候開花結果的產業表現相當傑出，德國車尤

以功能、性能與品質聞名世界，因此很早就開始應用微機電於汽車產業。在研究機構方面則有位於法國的 MINATEC (Micro and Nanotechnologies Innovation Campus) 負責技術研發與技術移轉。

日本方面，自 2006 年底任天堂遊戲機 Wii 推出後立即蔚為風潮，一年半之內全球出貨量即超過 200 萬台。但是所配備的慣性元件卻都是來自 ADI、STM 等歐美大廠。因此自 2007 年起，Omron、OKI、Fujitsu、Mitsubishi、Ricoh 等大廠亦開始進行慣性元件的開發。產官學研各界也展開串聯與整合，由學界與研究機構主導專門知識的彙集及材料與設備的基礎性研發，政府及相關公協會則負責人才的教育訓練，及定期的國際研討與策略合作。

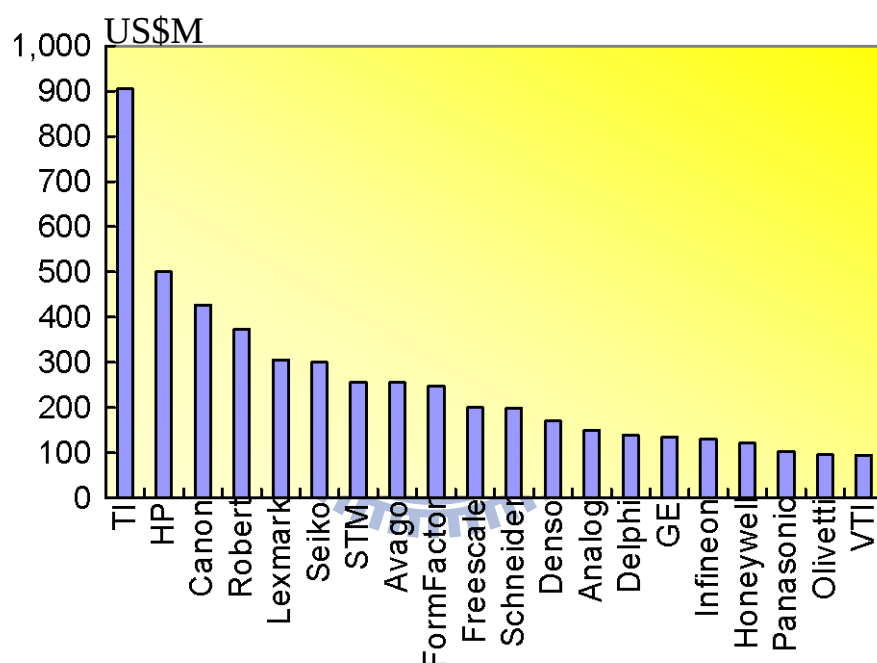


圖 18 微機電營收排名 Top 20 之微機電製造商(2006)

資料來源：WTC(2007)

觀察目前投入微機電代工業務的業者種類可以發現，主要代工服務提供者仍為半導體 IDM，這可能是因為 MEMS 剛發展時，產品的規格與功能並未有一致的標準，企業因應之道往往是採取差異化策略為客戶量身訂做。但是如果資源不足，很可能在尚未能回收產品銷售的收入之前，即因流動現金不足而倒閉。所以存活至今的，大多是在大型企業內部發展，人才、資金及設備充裕的 IDM 企業，例如 TI、HP 以及 Canon 等。

不過隨著微機電 fabless 業者的浮現，並獲得各種創投資金的挹注，已經陸續有半導體代工業者如 APM、TSMC、UMC 等的投入。由於 STM 與 TI 分別為 HP 與 Lexmark 簽訂專屬代工合約，不屬於對外開放代工服務的業者，因此底下營收排名予以排除 [圖 19]。

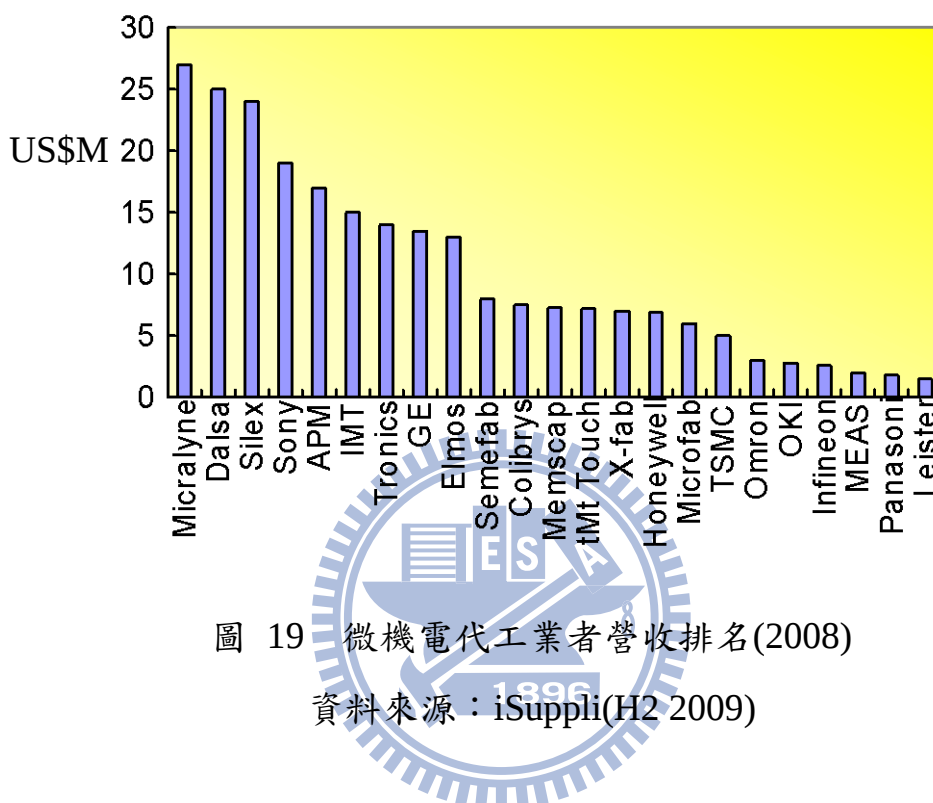


圖 19 微機電代工業者營收排名(2008)

資料來源：iSuppli(H2 2009)

4.3 微機電產品應用

消費性電子產品、資訊電子產品、以及通訊電子產品(3C)市場並不是塊人人可分食的餅。除了產品的生命週期短，對外型與尺寸十分要求外，在上市時程和成本價格上更是斤斤計較。因此，欲投入該市場的半導體公司無不竭盡所能，在技術與策略上進行攻防，希望能在這一競爭激烈的市場上，佔得一席之地。微機電技術在這些方面擁有相當豐富的應用市場，茲分別敘述如下 [圖 20]。



圖 20 微機電慣性元件產品應用範例

資料來源：拓璞產業研究所，2008/08

4.3.1 消費性電子產品

2006 年下半以來，在媒體的密集曝光下，PS3、Wii，或是手機如 iPhone，乃至於寵物恐龍 Pleo 都成為近年來最受矚目的電子產品。由於這些具備互動功能的電子產品所帶來的新奇體驗，成功的攫取了消費市場的眼光，進一步使得在背後扮演重要角色的微機電元件成為市場感興趣的對象。消費性電子產品中的導航系統(Personal Navigation Device, PND)、遊戲機、MP3、MP4 播放機、數位相機、數位錄影機等裝置，也漸加入微機電功能，強化其運作與使用便利性。

在媒體的推波助瀾下，系統業者亦開始思考如何藉由微機電元件的導入，提供給消費大眾嶄新的使用體驗，並提高本身產品所能提供的價值與新商機。在這些因素的帶動下，微機電產業逐漸走向新的產業結構與成長態勢。由於電子系統產品如遊戲機、手機等逐步導入「互動」以及「主動感知」的功能，進而帶動對於微機電產品的需求；近年微機電已漸脫離傳統的車用與工業領域，朝向消費性與資通訊應用發展。

1. 導航系統

導航系統(Global Positioning System, GPS)產品應用類別包含汽車導航類、運動休閒類及安全/保全類等三大項；汽車導航包含：影音娛樂導航整合系統、後視鏡整合導航、語音辨識導航；運動休閒包含：慢跑、高爾夫、自行車等 GPS 追蹤加上運動管理的整合機，也就是所謂的戶外休閒掌上型定位導航產品。除此之外，安全/保全類的產品包含：小孩/老人的定位導航追蹤產品、行車紀錄器等。相關應用範例如[圖 21]。從 GPS 應用產品的多元化反應未來 GPS 產品朝向客製化、無線連網服務的趨勢前進。



圖 21 GPS 應用微機電的實例

資料來源：拓璞產業研究所，2009/06

微機電慣性元件有一項重要的應用，那就是將 3 軸加速度計、陀螺儀和羅盤等微機電元器件與 GPS 結合，能夠提供所謂的方位推估(Dead Reckoning, DR)功能。當汽車在無法接收 GPS 信號的地方或 GPS 信號不良時，DR 功能就能取代 GPS 繼續進行導航定位，透過上述各種感測計，DR 可以推算出汽車的行進距離和方向；在短距離內，DR 系統所提供的資料比 GPS 的信號來得準確，因此可做為短距離內的汽車定位誤差修正輔助。不過，當時間增加時，誤差累積效應會愈來愈大，導航的精確度就會大幅

下降[圖 22]。



圖 22 手機應用加速度計與磁感計以輔助導航實例

資料來源：STMicroelectronics(2010)

2. 遊戲應用

在 2008 年舉行的北京奧運會開幕式上，大多數的電視觀眾很難不注意到現場閃閃發亮的 9 萬 2,000 名觀眾就像是 9 萬 2,000 顆閃耀著紅、綠、藍、黃、白等顏色光芒的星星。那些五彩閃光是現場觀眾手中所揮舞的一種名為 Waving Torch、配備了微機電元件的電子火把所製造出來的效果。這些火把可以顯示出各種資訊和圖案，例如北京奧運會的吉祥物福娃、各個運動項目的圖示、奧運會標誌和北京奧運會標誌，以及「北京歡迎你」等中國字 [圖 23]。



圖 23 於空中顯示圖文的電子火把

資料來源：電子工程專輯(2008)

然而，微機電打入消費性市場，真正最為人所稱道的例證，則是任天堂(Nintendo)電視遊樂器 Wii 的成功。遊戲機的控制把手，是玩者控制整個遊戲的關鍵，長久演化至今，大多定型在雙類比搖桿、4 按鍵與十字鍵、

前方左、右共 2 個扳機鍵及 2 個緩衝鍵的配置，加上震動功能等，無論是位置與操控方法，已經過長期發展，許多人認為變化不可能再大了，畢竟人體自身的手部控制能力有限。

Wii 最具創新的特色是一款新奇的控制器「Wii Remote」。它採用了運動感知技術，使玩家可透過舞動該無線的操縱桿上下左右地控制遊戲的行動。例如，可控制螢幕上的網球拍或棒球球棒。該遙控器可以憑直覺來操縱，同時還具有令人驚喜的反應性。Semiconductor Insights 公司對於該遙控器的拆解報告揭示，這種回應性的來源是基於由 ADI 和 STM 的慣性感測元件所提供的三軸運動訊號處理技術 [圖 24]。



圖 24 配備慣性感測計的 Wii 遊戲控制器

資料來源：Nintendo Wii

憑藉著有創意的操控模式，Wii 的銷售量大勝競爭對手，檢視其內涵，可以說是微機電的大成功。因此在 2007 年底，Wii 繼續推出類似概念的 Wii Fit 平衡板控制器(Wii Balance Board)，這個腳踏墊形式的裝置，可以偵測玩家的平衡、體重、壓力等各種訊號，並且藉此控制、進行遊戲，也相當受到市場歡迎。

在 Wii 成功後，對於非傳統遊戲機廠商來說，遊戲市場也產生新商機。過去遊戲機市場的商機，不外乎主機本身、上下游零組件，以及組裝或遊

戲軟體開發，但在特殊及專屬控制器起飛的新浪潮，各種新型態的遊戲控制器，預計將不斷推陳出新，使用包括感壓、加速度感測、影像辨識等技術，未來還可能出現諸如利用觸控板或繪圖板、手寫辨識來操作的控制器等，因此從 IC 設計到組裝，都有切入的空間 [圖 25]。



圖 25 各種可能運用微機電的遊戲控制器

資料來源：各公司

3. 相機

相機防手震技術以大分類來說，主要是應用了兩種方式。一種是內建在鏡頭的鏡片位移式，另一種則是數位相機才能用的感光元件位移式，也就是 CCD(Charge-Coupled Device)防手震功能(Anti-Shake, AS)。但所有的防手震技術都脫離不了三個東西，分別是震動偵測、震動修正以及驅動修正 IC 元件。當防手震處於開啟狀態下時，會有一個震動偵測來感偵上下以及左右的震動幅度，同時震動幅度訊號會被傳送到修正 IC 元件進行補正計算。計算完畢的結果出來後，IC 元件會開始驅動鏡片(或 CCD)進行位移動作，修正抵消掉震動所造成的模糊 [圖 26]。



圖 26 配備防手震技術的數位相機

資料來源：Konica

CCD AS 的原理是讓 CCD 感光元件置於浮動的機構上，根據機身的各種震動(小至顫動、大至移動)來做補償以抵銷震動對成像的影響，這是利用內部的角速度感測計來偵測機身的震動。理論上 AS 可在不靠調高 ISO 值或是三腳架的狀況下，讓安全快門值再加三級，這在長鏡頭或光源不足的拍攝環境下，更能增加拍攝的成功率。

4.3.2 Computer 資訊電子產品

1. 印表機

其實資訊科技產業中，有不少產品在相當早期就加入了微機電技術，例如以惠普(HP)之氣泡式噴墨印表頭[圖 27]，以及運用德儀(TI)之數位微鏡裝置(Digital Micro-mirror Device)晶片的 DLP 數位投影機。目前印表機噴墨頭仍是 IT 產業中，運用微機電最大宗的產業。

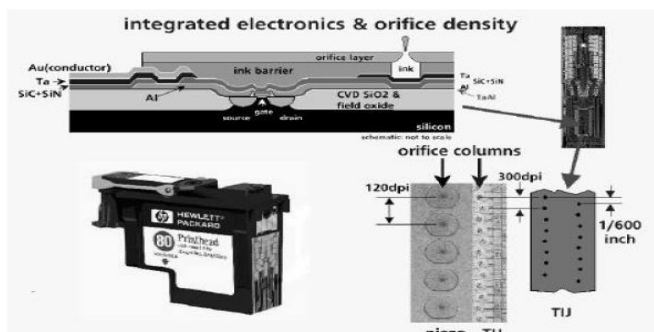


圖 27 噴墨印字頭模組

資料來源：HP

2. 投影機

投影機過去的價格相當昂貴，通常只有研討會、展覽館、商務簡報等場合會用上，使用者必然是機構、企業等用戶，屬於商務類型的市場。但是微機電技術成熟後，投影機價格不斷下滑，讓消費型的投影機出現，使用於家用投影機上。微機電投影機相對於 LCD 投影機而言，具有高對比及高反應速度優點。甚至特殊的微型投影機也有商品化的架勢[圖 28]。



圖 28 配備微機電投影功能的手機

資料來源：TI

3. 硬碟

硬碟也是微機電運用相當重要的領域。首先是硬碟內部，硬碟關鍵性零組件為讀寫頭滑塊及碟片製作。在極高精度的需求之下作高速轉動(5,400~15,000rpm)，讀寫頭滑塊在碟片上的飛行高度為 25nm，如同一架 747 貼地 2.5 公尺飛行。較大型硬碟的軸承穩定，但微型硬碟反而有相當的難題，只能降低轉速犧牲效能。因此目前利用微機電製程，直接將微致動器與讀寫頭整合在一起，同時做掃瞄與讀寫，可以製造出在更高容量與更佳效能的微型硬碟。

而硬碟外部應用微機電作保護，更已經商品化，即硬碟防摔落系統。在設備的電路板上安裝加速度計，就能保障其在三軸方向上發生自由落體狀態時的保護。即當內含硬碟的產品掉落時，加速度計會感測到重力加速度，此時特定的微控制器訊號，會要求讀寫頭從敏感的磁碟上移開，以避免摔落地面時，讀寫頭會撞擊磁碟，進而造成資料或硬碟機損壞 [圖 29]。

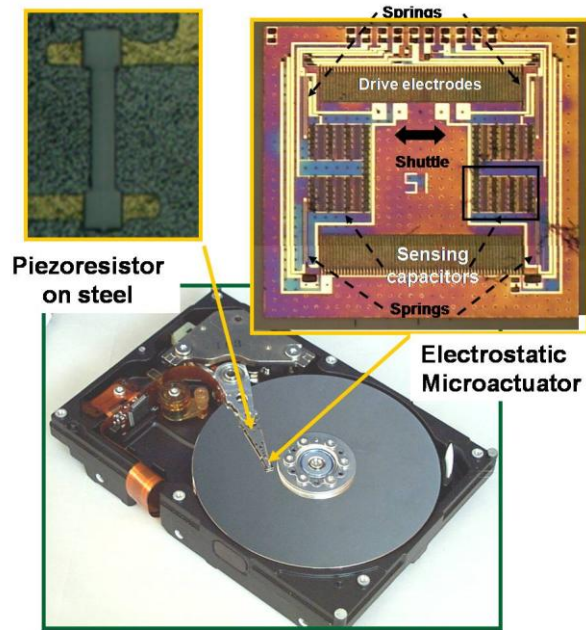


圖 29 微機電應用在硬碟讀取頭

資料來源：University of Michigan

4.3.3 Communication 通訊電子產品

1. 手機

手機有了 RF MEMS、微機電麥克風、慣性元件(加速度計、陀螺儀)等微機電元件加持之後，絕對是未來個人化行動平台載具最佳人選。因為微機電麥克風帶來更小體積、更清晰立體聲以及更低 EMI 干擾，以及更強的耐熱、抗震和防射頻干擾性能。多功能選項需要更簡單且直接人機介面、手機照相功能防手震增加影像穩定度或是衛星導航死角，以及精確定位手機以實現虛擬實境在環境影像中直接鑲入資訊連接，也就是 AR (Augmented Reality) [圖 30]等，都可以藉由微機電慣性元件(加速度計和陀螺儀)來解決；加上未來手機通訊朝向更高頻發展，RF 端對於更低損耗 (High-Q)以及更高整合度元件需求更加殷切。因此，手機將為微機電產業帶來新的藍海商機。

當然除了成本下降是產品普及化主要驅動力，事實上產品應用面亦是推昇市場重要推手。例如：當慣性元件進入手機後，手機的操控與應用將產生變化。例如，它能夠成為動作感應滑鼠，手持操縱器的左/右、前/後方向(或加/減速)的控制，讓你上下左右晃動手機即可以輕鬆瀏覽行動版的

網際網路。或在手持產品中加入計步器功能，測量你行進步伐、速度以及卡路里的燃燒，來計算你運動成果。或幫助照相手機、數位相機、PMP 的 LCD/TFT 顯示螢幕圖像自動修正。並能檢測手持設備的振動/晃動幅度，當振動/晃動幅度過大時，則會利用馬達對鏡頭進行微動調整，以補償手晃動的影響，實現防手震拍照。



圖 30 Augmented Reality

資料來源：iSuppli, 2009

以 2007 年 6 月發行的 Apple iPhone 為例，用到的感測計主要有加速度計、近距感測計(Proximity Sensor)、環境光源感測計(Ambient Light Sensor)及 CIS(CMOS Image Sensor)4 顆感測計。其中加速度計的功用之一是當你將 iPhone 旋轉至某個角度後，螢幕畫面便會從直式轉正到橫式，或是你從橫式轉至直立式時，螢幕也將自動轉正成為直式顯示，因此自動調整最佳化螢幕，使手機多媒體功能更加發揮乘數效果[圖 31]。



圖 31 Apple iPhone 應用加速度計實例

資料來源：Apple；拓璞產業研究所(2007)

未來，三軸座標加速感測計與陀螺儀進行結合，能夠讓系統測量旋轉速度，配備這些技術的手機能夠提高拍照時的穩定性，並精確進行定位與導航服務。除此之外，未來手機製造商亦可利用來慣性元件偵測手機是否處於靜止不動的休眠狀態，以便讓系統關閉鈴聲或者降低螢幕顯示亮度，以節約手機耗電。

4.4 全球微機電市場概況與產值規模

根據市調研究機構 iSuppli 2009 年的資料顯示，2009 年微機電系統市場規模達 70 億美元，相較 2008 年其成長幅度將達 7%。而出貨量成長率為 11%，出貨量則將由 2009 年的 3,109 百萬顆，擴大到 2012 年的 5,024 百萬顆[圖 32]。

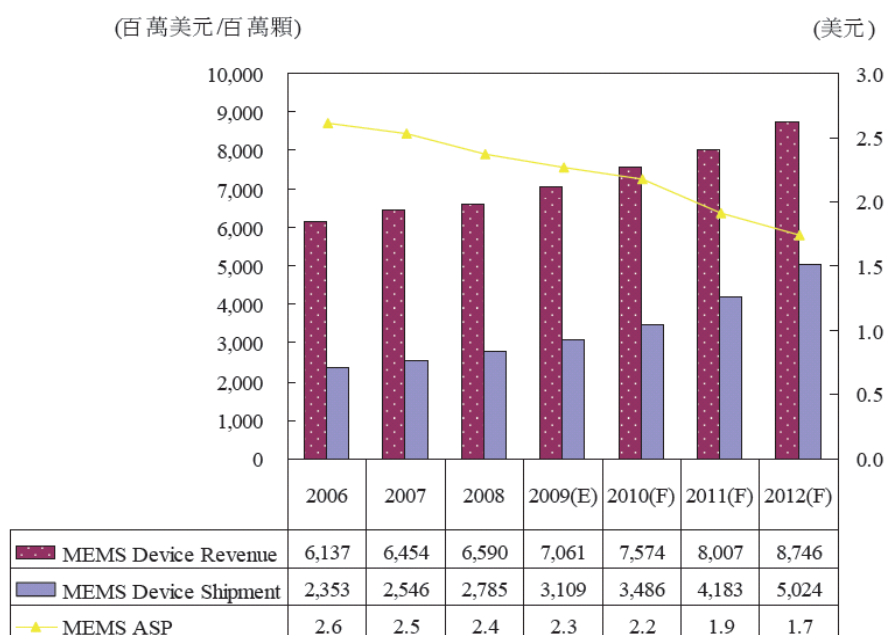


圖 32 全球微機電元件產值與出貨量(2006~2012)

資料來源：iSuppli, TRI (2009)

平均售價部份，則預計將由 2009 年的 2.3 美元，向下調降到 2012 年的 1.7 美元。當然，CMOS 微機電的製造技術所導致的製造成本下降以及垂直分工與 design house 興起後的產品多樣化，必然是促使 ASP 持續下降的重要因素之一。

4.4.1 主要市場商機

微機電元件主要應用市場可區分成 8 大類，分別為無線通訊(Wireless Communications)、消費性電子(Consumer Electronics)、車用(Automotive)、資料處理(Data Processing)、工業控制(Industry and Process Control)、醫療電子(Medical Electronics)、國防安全(Aerospace Defense and Security)及有線通訊(Wired Communications)[圖 33]。

根據市調機構 iSuppli 統計資料，估計 2009 年前四大應用類別分別為無線通訊(佔 35%)、資料處理(佔 29%)、車用(佔 22%)及消費性電子(佔 21%)。其中在無線通訊應用市場是由於加速度計與微機電麥克風產品被手機產品大幅採用，而快速成長成為主流應用市場。資料處理包含硬碟防撞擊保護與讀取頭的需求。車用微機電感測計元件包括加速度計、陀螺儀、壓力計、流量計、紅外線感測計。其中以壓力計為最大宗，主要應用於汽車胎壓監測系統(Tire Pressure Monitoring System, TPMS)、車門安全氣囊及引擎管理，其次分別為速度計與陀螺儀。

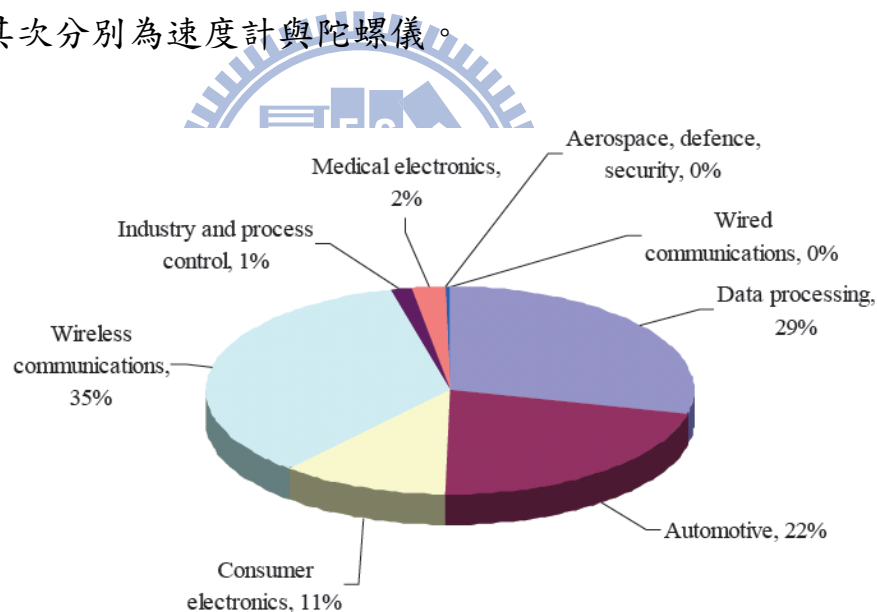


圖 33 微機電元件應用市場分佈(2009)

資料來源：iSuppli, TRI (2009)

市場應用的預測方面，最顯著的成長變化來自於手持裝置市場與消費性電子產品，市場規模預計將由 2009 年的 11 億美元，呈倍數成長到 2013 年的 25 億美元。這個部分包括手機、導航機、遊戲機、多媒體撥放機等等的需求成長。反觀車用電子的市場規模，則由 2009 年的 21 億美元，萎縮到 2013 年的 18 億美元[圖 34]。

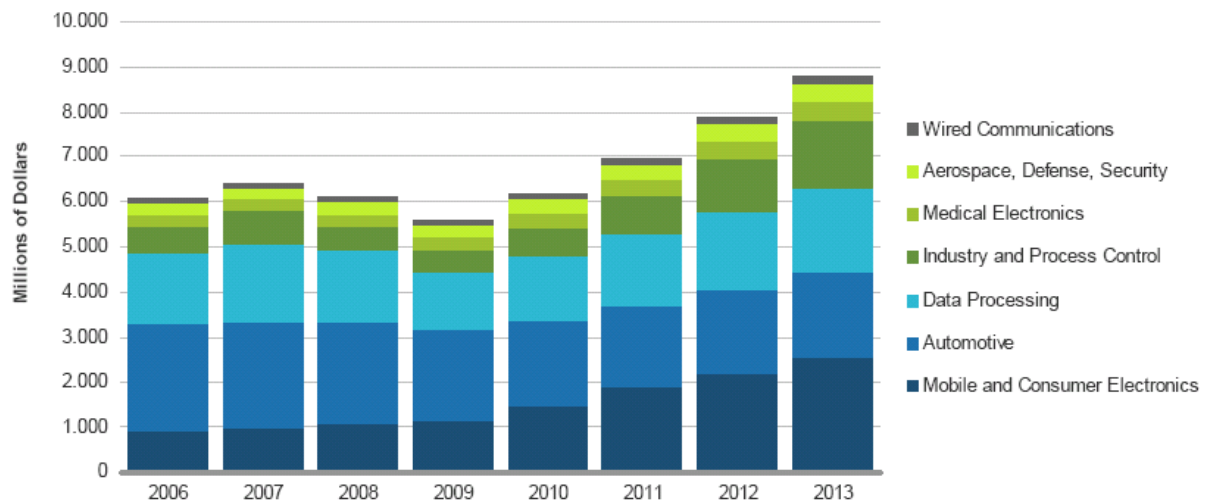


圖 34 微機電的應用市場規模

資料來源：iSuppli, (H2 2009)

如果針對手持裝置與消費性電子產品的市場進一步探討，可以看出在 2009 年最大宗為手機，大約佔 7 億美元，其次是遊戲機控制器約 1.5 億美元。預計到 2013 年手機市場可以成長到 15.5 億美元，其餘產品的市場則持平[圖 35]。

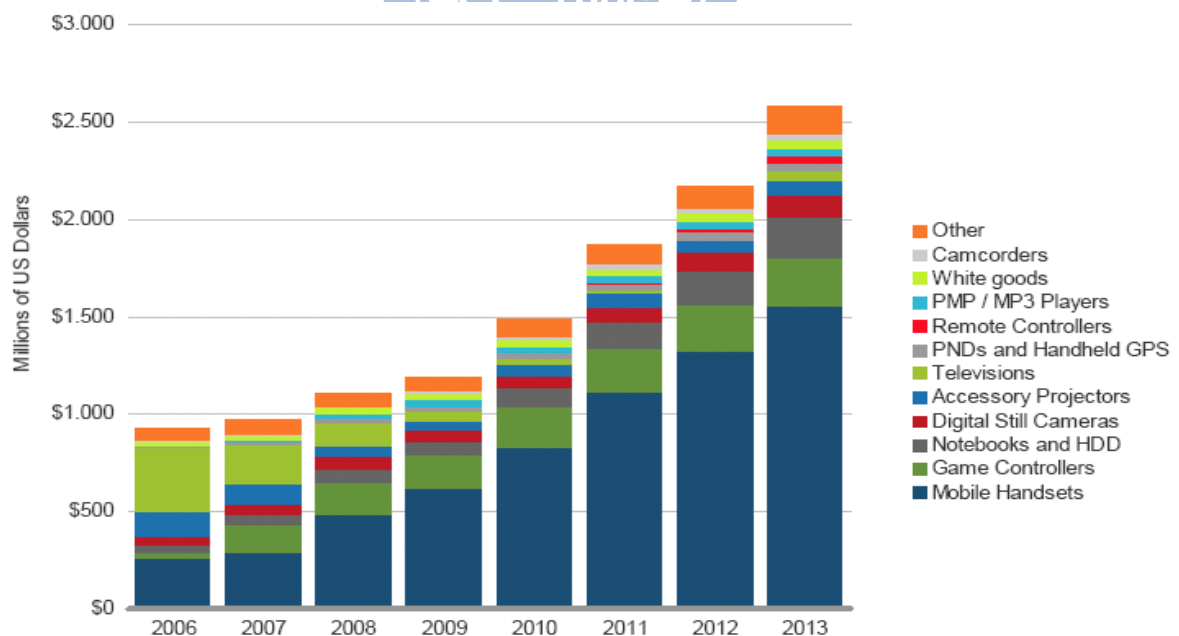


圖 35 消費性電子與手持裝置市場規模

資料來源：iSuppli (H2 2009)

4.4.2 微機電慣性元件市場

全球加速度計市場發展已有相當久一段時間，一開始主要將加速度計應用在汽車電子產業，像是用在中範圍約 50G 的一軸或是兩軸加速度計，應用範圍在於偵測車子離心力，1995 年開始採用 LOW-G 的加速度計時，則將應用範圍擴大至汽車 ESP（Electronic Stability Program）系統，而這時則屬於三軸加速度計，且數量上呈現穩定成長。

隨後加速度計大量用於消費性電子產業，如眾所皆知 Wii，以及影像投影機使用的一軸加速度計與一軸陀螺儀，另外像是筆記型電腦所使用的硬碟保護裝置與數位相機的穩定裝置，均內建加速度計與陀螺儀，而用於消費性電子品加速度計大多屬於三軸產品，且出貨量上呈現大幅成長，但售價上卻遠不如用於汽車電子上加速度計。

目前三軸加速計的平均銷售價格(ASP)約為 2 美元[圖 36]；而陀螺儀目前主要應用於汽車領域，價格一般接近每軸 10 美元，但是如果每軸低於 1 美元，則陀螺儀在消費性應用領域的比例就可能擴大，日前動作感測微機電供應商 InvenSense，宣佈量產一系列整合式雙軸(Dual-Axis)陀螺儀，未來目標價格是每個低於 2 美元，或者每軸價格不到 1 美元。

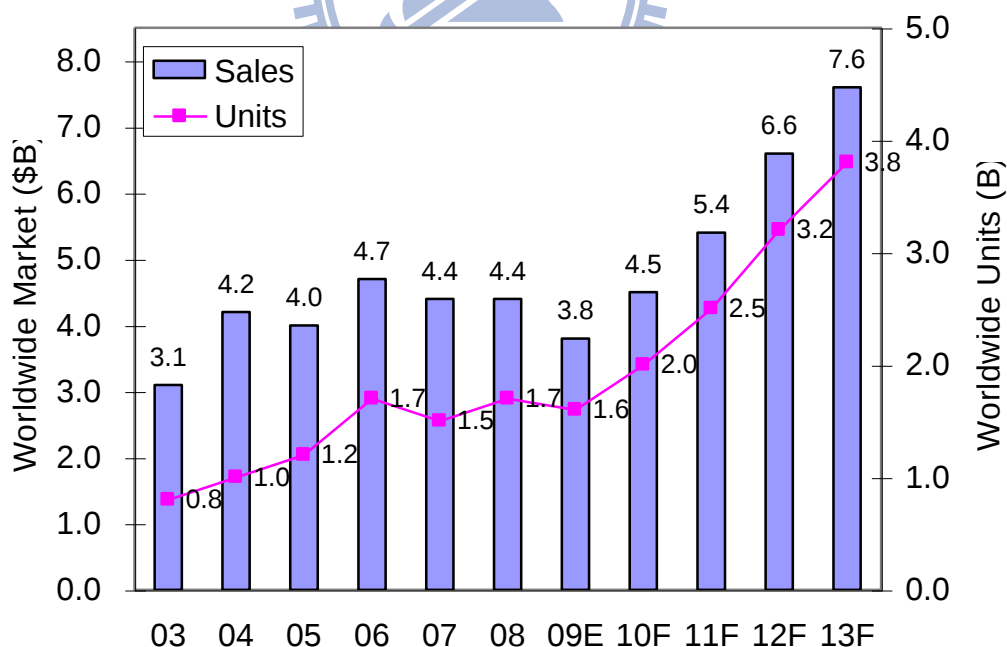


圖 36 微機電感測計/致動器元件市場規模

資料來源：IC Insights (2010)

隨著微機電在消費電子產品和汽車領域的進一步擴大應用，目前微機電生產除了將由 6 吋晶圓轉移至 8 吋晶圓之外，最重要是持續製程改善。原本微機電元件通常採用基於 IC 製造技術和材料的製程，或採用微型射出成形等製造技術，其製程是透過由下而上的方式一層層地構築元件，其中必須經過幾次材料沈積和蝕刻等步驟。但是目前一般消費性微機電元件將可能採用與 CMOS 製程相同的設備，只是設備的使用方式有些差異，換言之，即為 CMOS 微機電製造技術，預期這些改善將帶動相關慣性元件持續降低生產成本。

4.4.3 微機電麥克風市場

根據 TRI 的分析報告指出，2007 年整體麥克風晶片市場將近 23 億片，而微機電麥克風晶片市場約佔整體麥克風晶片市場 15%，也就是 3.5 億片；但是到了 2010 年整體麥克風晶片市場有 32 億片規模，而微機電麥克風晶片市場約佔整體市場 25%，也就是 8 億片[圖 37]。也就是說，那些能夠提供小尺寸易於整合的元件，並會充分利用 CMOS 微機電在製造和成本結構之優勢的公司將成功勝出。

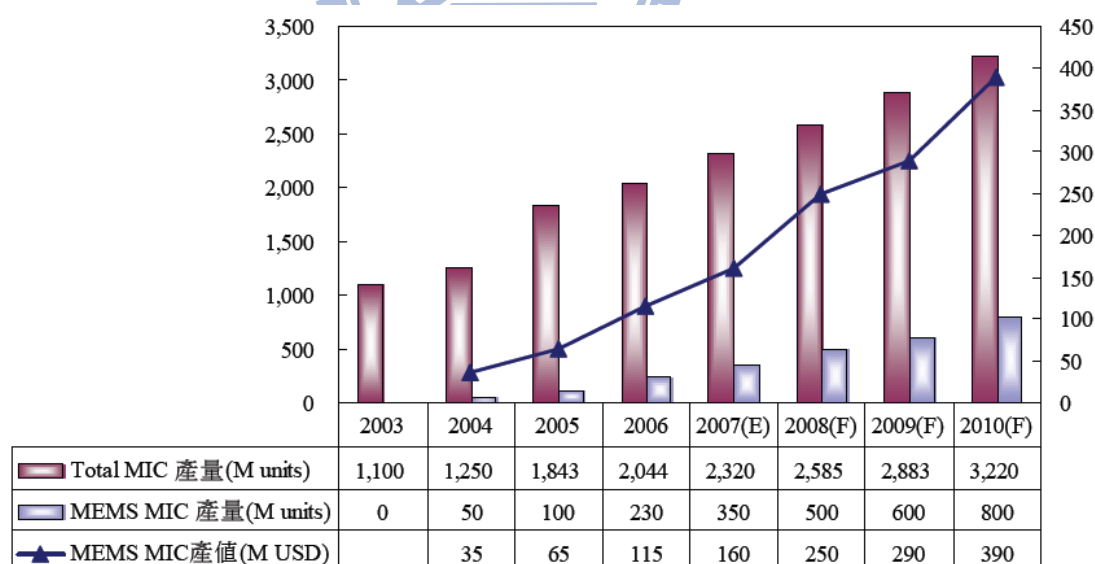


圖 37 微機電麥克風市場規模

資料來源：Yole Development；拓璞產業研究所整理(2007)

對於微機電麥克風製造商而言，無論是新進者 Wolfson 或是已在市場上已有相當知名度的 Akustica 來說，均會是相當感興趣的一塊市場，而之所以會有如此大興趣，最主要原因在於每年藍牙耳機的市場需求量成長幅度仍舊相當驚人，再者現階段藍牙耳機內部所使用大多還侷限在傳統的 ECM 麥克風，基於成本與體積考量，均符合微機電麥克風所要求的市場。因此光是在使用微機電麥克風來替代傳統的市場潛力，更是讓這些微機電麥克風廠商趨之若鶩的主要原因。就售價來說，雖說到現階段為止，微機電麥克風的售價依然高於傳統麥克風，不過也因為藍牙耳機本身的售價便已較高，因此也較能夠接受價格較高的微機電麥克風。

因此近來包括 Wolfson、ADI、Akustica 等設計業者或 IDM 廠，已開始利用標準 CMOS 製程量產微機電麥克以搶進藍牙耳機市場。

4.4.4 RF MEMS 市場

未來多媒體手機將整合影音視訊、娛樂、通訊、導航、商務和電腦功能，手機又要求輕、薄、短、小。功能不斷增加體積又不能變大，系統整合的單晶片將成為未來手機發展趨勢。RF MEMS 不僅有助於產品體積縮小更對於特性有正向幫忙，因此必將成為未來手機重要應用技術之一，以及微機電產業發展重要項目之一。對此德國的市調公司 Wicht Technologie Consulting GmbH(WTC)便看好未來 RF MEMS 發展，分析指出 2004 年 RF MEMS 市場為 1.25 億美元，2005 年接近 2 億美元，2006 年達 3 億美元，2007 年和 2008 年將分別達到 4.5 億和 7.25 億美元，預計 2009 年成長到 11 億美元，市場複合年增率為 55%。

五、 台灣 CMOS 微機電產業發展與未來

5.1 台灣微機電產業發展歷程

2000 年代初期，台灣挾過去近 30 年的半導體產業發展經驗，加上廠商與人才對於製程的掌握度日益成熟，造就台灣微機電技術的誕生。1997 年成立的全磊微機電(Metrodyne Microsystem Corp.)，是台灣第一家以微機電技術製作壓力感測計的公司。接著於 2001 年成立的亞太優勢微系統(Asia Pacific Microsystems Inc., APM)，則是台灣第一家微機電專業代工廠。2004 年由華新麗華集團分割獨立的探微科技(Touch Micro-System Technology Corp., tMt)，目前則為同時擁有四吋、六吋及八吋的微機電專業代工廠。在此階段投入的公司均屬於自有廠房，自行開發製程技術。

由於自有廠房，所以對製程與半導體材料掌握度高，對於微機電結構設計彈性較大，缺點則是不相容於標準 CMOS 製程，所以如果需要整合電路元件時，與大多數國外廠商一樣，必須採用 SiP 封裝技術來整合分別來自於微機電與 CMOS 的晶片。然而如此卻造成難以去除的雜訊以及封裝打線的高成本。

受到通訊產品與消費性電子產品龐大市場需求，已經開始有 IC 設計公司(例如微智半導體)陸續投入微機電的設計領域。台積電於 2008 年 5 月正式對外宣布進軍微機電代工後，調撥旗下 6 吋廠 Fab2 及 8 吋廠 Fab3 的產能投入微機電代工市場，轉投資封測廠精材及采鈺也建置了微機電封測產能；由聯電集團轉投資的亞太優勢，也計畫將已有的 2 座 6 吋廠，產能大約為 1.2 萬片，均升級為 8 吋廠。

看好全球微機電市場成長性，包括台積電、聯電、亞太優勢、意法半導體、日月光、矽品、京元電等國內外晶圓代工及封測大廠，已於 2010 年 3 月共同參加由國際半導體設備材料產業協會 (SEMI) 號召成立的「SEMI 台灣 MEMS 委員會」，並決定合作整合生產鏈，建立台灣在微機電產業的良好共生系統 (Ecosystem)。日月光、矽格、菱生等則已成為國外微機電廠重要封測代工夥伴。台灣微機電產業主要廠商整理如下[表 5]。

從產業的生命週期而言，綜觀台灣現有的微機電產業環境，尚在萌芽期的後段，並未進入成長期。因為整體產值小且產品的種類、數量少；各企業的經營規模也小（台積電與聯電參與的時間不長），在台灣發展的時間不夠多。又因為政府資源有限，過去重點投入在「兩兆雙星」產業上，對資金、社會的關注力、知識工作者的投入等產生排擠效應。例如前幾年多數剛畢業的學生到半導體產業就業，首選是台積電或是聯發科等。

根據 Yole Development 最新統計資料顯示，隨著全球手機、遊戲機及消費性產品中微機電技術運用越來越多，2006~2011 年微機電裝置的年複合成長率達 13%，而全球微機電晶圓代工市場 2011 年成長幅度可達 25%，2012 年更有機會接近 30%。

5.1.1 台灣 CMOS 微機電相關廠商發展動態

以晶圓代工起家的台積電、聯電等公司，自然期望複製過去在 CMOS 半導體的成功經驗，走 CMOS 微機電途徑，以建構標準化流程及共通生產平台來搶攻量大的 3C 消費電子市場。而歐美日則大多期望維持聚焦單一產品、透過專案運作的方式，來維持自身在某一應用領域的獨霸地位；其主要目的也是在於希望讓產品透過加值，維持一定客製化水準，以便保有產品獲利能力，避免落入殺價競爭的窘境。

新聞顯示，台積電已獲得美國 IDM 大廠亞德諾（ADI）的微機電代工訂單，並開始接單生產噴墨印刷頭（Inkjet Head），未來準備好 RF-MEMS 及數位微鏡元件（DMD）的矽智財資料庫後，就會直接接單量產。

IDM 大廠旺宏電子與微機電晶圓代工廠亞太優勢，則於微機電麥克風市場共同合作，由旺宏承接微機電麥克風前段 CMOS 製造部分，至於後段微機電製造部分則由亞太優勢接棒。雙方會合作，主要原因應該還是看好未來微機電麥克風龐大市場成長潛力。

對於亞太優勢來說，雖說現階段代工微機電商品種類相當多元化，但整體仍未達到產能 100% 的滿載目標，因此為能進一步填滿現有晶圓廠產能，也需要再額外找到替代方案。

工研院為協助台灣廠商快速進入加速度計市場，目前也正由傳統的微機電製程技術，轉移至標準 CMOS 製程，並預計在 2009 年完成 CMOS 微機電的陀螺儀設計與振動元件製作，至 2011 年則 CMOS 微機電的陀螺儀與加速度計的整合開發，一直到 2014 年將可完成三軸陀螺儀與三軸加速度計整合在一起的六軸產品。

行政院『矽導計劃』指導委員會主導整建之「矽導竹科研發中心」目的在於推動 SoC 創新產品設計創新知識服務產業。「矽導竹科研發中心」之定位以高附加價值之 SoC 整合服務，使國內新興設計廠商能設計精良之 SoC 科技產品。同時，也積極服務國外 SoC 設計廠商，促其採用國內半導體製造產品。

經國內外專家進行多次諮議討論，咸認為我國 SoC 的產業發展必須縮短與領先國的距離並擺脫後進者的糾纏，以維持我國半導體產業在國際上之不墜地位。猶如晶圓代工以新商業模式開創台灣經濟奇蹟，此時也必須儘速建立嶄新的商業模式，使產業升級，以提高台灣競爭力及國家 GDP。因此，針對我國較為薄弱的核心技術與設計環境，以專案方式整合資源，完成「SoC 創新結盟計畫(SoC Innovative Product Partnership, SIPP)」，推動高附加價值新商業模式。此外，為達「晶片系統設計為幹，創造優質生活為果」的目標，該計畫於區內設計「微系統研發中心」、「系統晶片研發中心」、「SoC 設計平台研發中心」、「育成中心」及「智權中心」，邀請學研單位進駐，提供產學研三方密切合作的生產環境。

SIPP 計畫關於異質整合技術建置擬定之策略為，在台灣優勢半導體 IC 晶圓代工標準流程中，導入微機電結構設計。主要因為台灣晶圓代工技術已是全球第一，CMOS 製程為其主流製程技術之一，與製作微機電感測計元件相容性高。以 CMOS 製程大量生產的特性，結合微機電技術製作感測計元件，除可為台灣爭取全球看好之微機電商機之外，更可為台灣半導體 IC/SOC 產業創造一大競爭優勢。

而事實上此一技術發展策略所帶來技術挑戰，非僅限於微機電開發或 CMOS 製程開發。為了在不改變既有 CMOS 的 IC 晶圓代工標準流程中，導入微機電結構設計，必須克服諸多機械及電路設計製造技術之間相互抵觸，互不相容之跨領域技術瓶頸。SIPP 計畫積極尋求台灣半導體 IC 製造廠商及國際 EDA 廠商合作，結合半導體製程、微機電設計，Mixed signal IC 設計，封裝測試團隊，繼與 Cadence 合作完成全世界第 1 個 MEMS IP Wrapping/ IP Reuse/Co-Design 平台與流程 SIMPLI(SIPP MEMS Platform Integrator 後，再度與聯電合作完成 8 吋廠 1P6M 與 Mixed signal/RF 完全相容的 Mixed signal/MEMS 製程。此項技術里程碑，讓台灣積體電路製程發展從過去數位邏輯、類比混合訊號、Mixed signal/ RF，一直到最先進的 Mixed signal/MEMS，如此成功跨越了電子領域，正式邁向聲、光、熱、力、流、生醫多元物理領域。

表 5 台灣微機電產業主要廠商

公司名稱	技術概況	主要產品	備註
亞太優勢	CMOS MEMS Foundry		UMC 集團
台積電	CMOS MEMS Foundry		
微智半導體	CMOS MEMS Design house	加速度感測計	清大學生創業
探微科技	MEMS Foundry	RF MEMS 及各式感測計	華新麗華集團
新磊微製造	MEMS Foundry & IDM	汽車感測元件及光通訊模組	光磊轉投資
崇電雷射	Laser LIGA Foundry	雷射加工	潤泰集團
微邦科技	Laser LIGA Foundry & IDM	噴墨列印頭及微幫浦	
全磊微機電	MEMS IDM	壓力感測計	
晶宇生物科技	MEMS Foundry & IDM	生物晶片	
研能科技	MEMS Foundry & IDM	噴墨列印頭及壓電元件	
坤德科技	MEMS Foundry & IDM	RF-MEMS 及各式感測計	
國際聯合	MEMS Foundry & IDM	噴墨列印頭	華碩集團
祥群科技	Design house	指紋辨識晶片及模組	UMC 集團
樺晶科技	Design house	MEMS IC 及傳感元件	

資料來源：本研究整理

5.2 台灣 CMOS 微機電產業分析

科技產業的製造技術決策分析，不可避免的要對相關技術作通盤的了解，再輔以科技管理的各種分析理論手法，跳脫科技人慣常以科技掛帥，技術主導營運方向的迷思，才有更大的成功機會。本章節先分別介紹微機電製造技術與 CMOS 製造技術，比較兩個技術之後，再針對 CMOS/標準微機電製程的優缺點進行綜合比較分析。

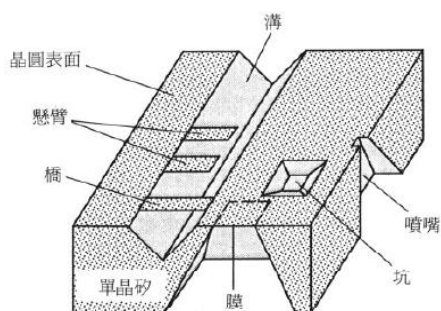
5.2.1 微機電製造技術分析

微機電製造技術主要包括體型微加工(Bulk Micro- machining)、面型微加工(Surface Micro- machining)、LIGA 等，分別說明如下。

5.2.1.1 體型微加工(Bulk Micro- machining)

在體型微加工技術方面，本質上為對矽晶圓的蝕刻技術，在矽晶圓上根據不同晶格方向對於特定蝕刻液的蝕刻速率不同（亦即所謂材料的非等向性特性，Anisotropic）而蝕刻出所需要的深寬比（Aspect ratio），形成機械構件。由於製程本質為矽蝕刻，適合機械構件中出力/受力的部分[圖 38]。在 CMOS 製造技術中也運用這類技術來形成元件與元件之間的電性隔離溝槽(trench)，因此具有技術相容性。然而微機電往往需要保持蝕刻後的空隙作為慣性元件移動或是壓力元件偵測的空間，相對於 CMOS 則是完全填滿。

1. 體型微加工所形成結構



2. 加工流程

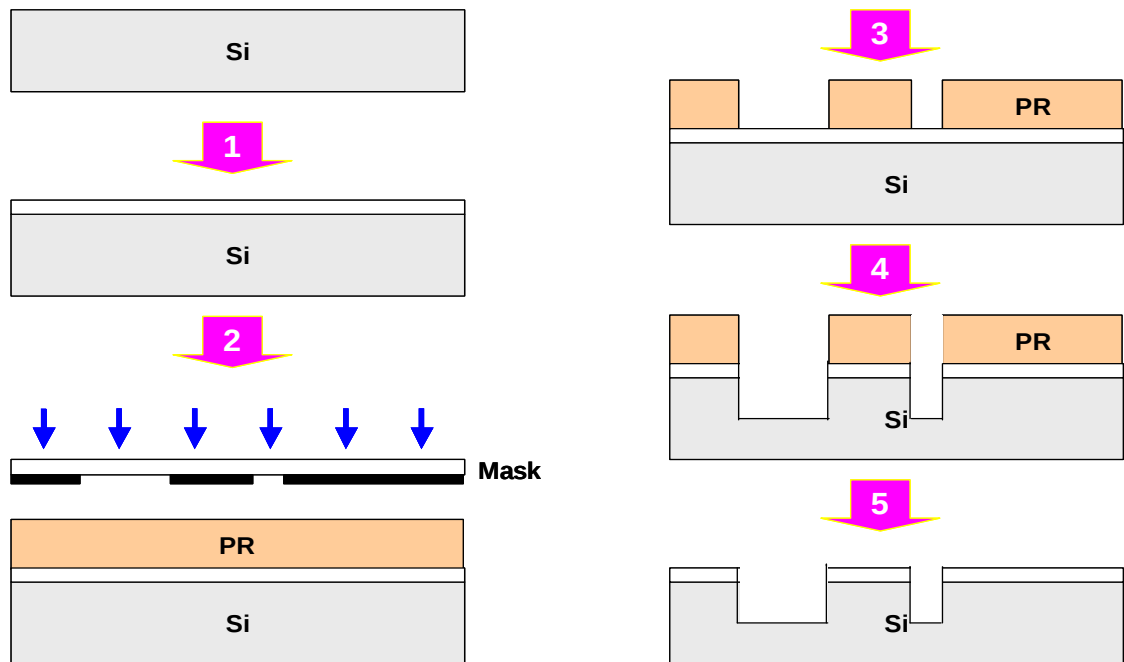


圖 38 微機電體型微加工技術製造流程

資料來源：本研究整理

5.2.1.2 面型微加工(Surface Micro-machining)

面型微加工方面，本質上為沉積（Deposition）製程，適合薄膜、隔膜（Diaphragm）、鏡面（Mirror）等非接觸式機械構件的製作，缺點是無法做出高深寬比的機械構件，優點為製程簡單，屬於可逆製程[圖 39]。在 CMOS 製造技術中同樣有運用這類技術來形成導線與隔離層等，因此具有技術相容性，兩者主要差異在於運用的材質不相同，以及是否留下孔洞。

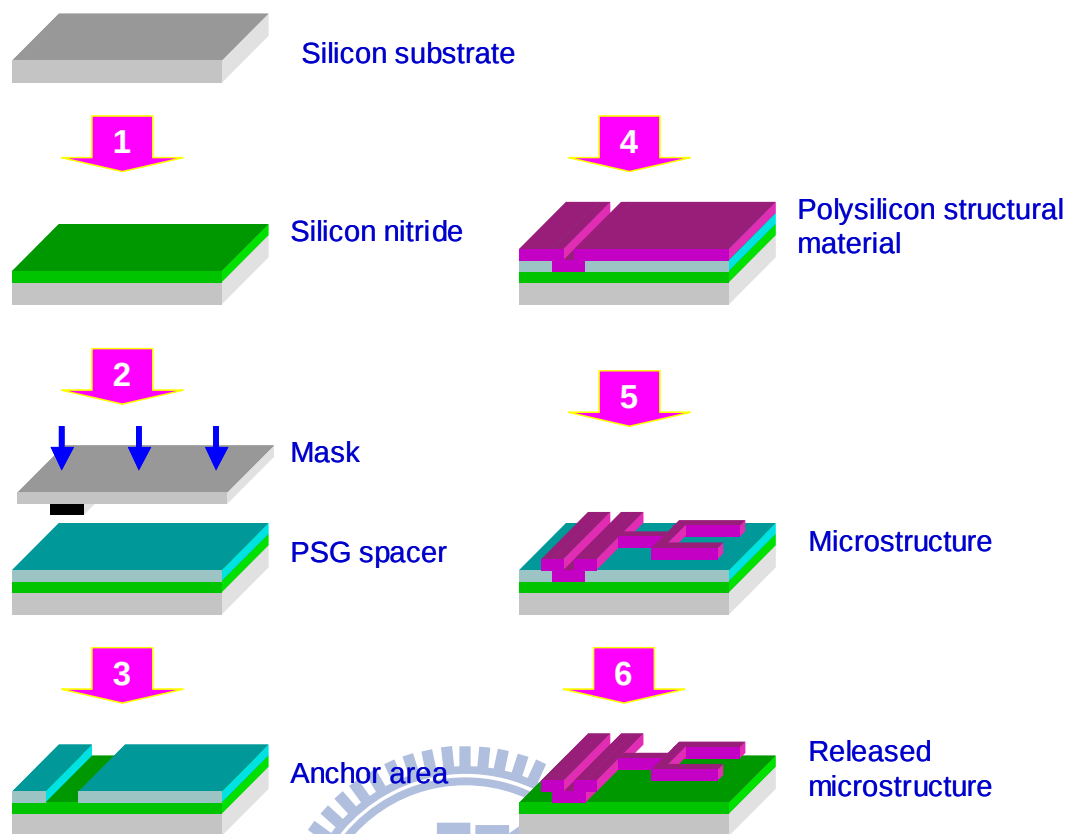


圖 39 微機電面型微加工技術製造流程

資料來源：本研究整理

5.2.1.3 LIGA

由於機械構件的要求，高深寬比的製程技術成為微機電技術中相當關鍵的一環，因此，能夠同時具備傳統體微加工與面微加工技術優點的 LIGA 製程，成為微機電技術中重要的進展之一。LIGA 製程綜合光學、電鍍、模造等三項技術，運用各種深光刻技術(Deep Lithography)，結合微電鑄及微模造成型(Micro Molding)技術來製作微機械元件。主要之核心技術包括 X 光光罩、X 光微影、微電鑄、微熱壓成型、微射出成型、微型結構模具、雷射深刻電鑄模造等[圖 40]。此類技術較偏向微機械精密加工，所使用的成像技術與 CMOS 差異較大，因此採用的設備並不相容。

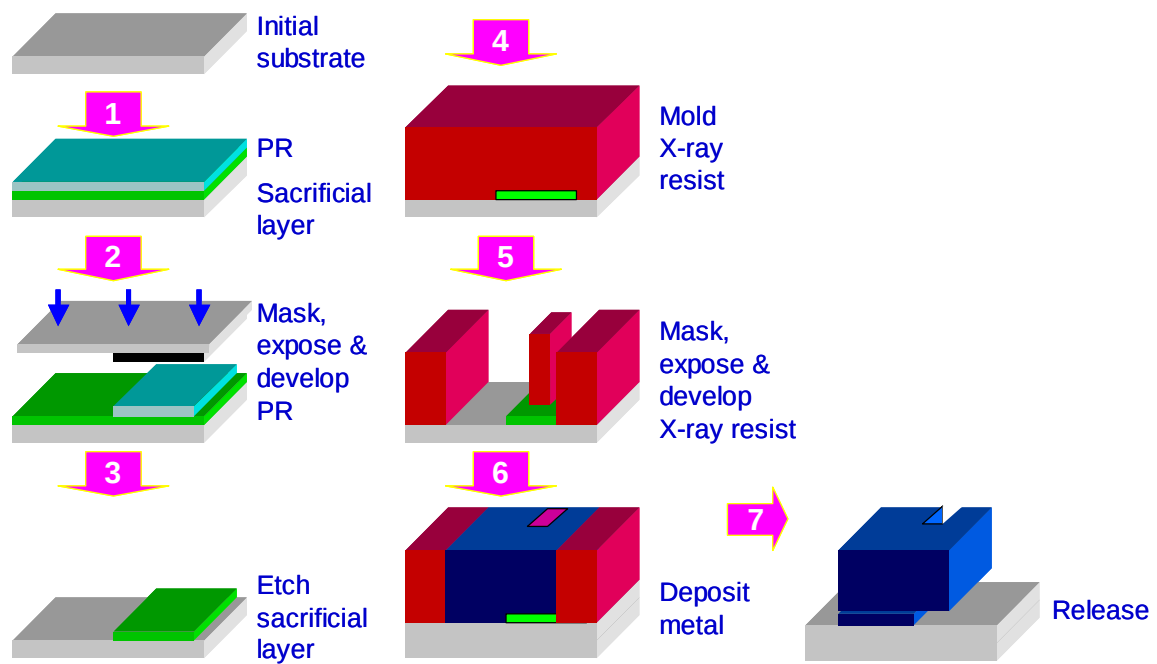


圖 40 微機電 LIGA 加工技術製造流程

資料來源：本研究整理

5.2.2 CMOS 製造技術

將電晶體、二極體、電阻器及電容器等電路元件，聚集在矽晶片上，形成完整的電路，以達成控制、計算或記憶等功能，即形成積體電路。晶圓廠將電子產品的設計圖透過光罩製作轉製在數層光罩上，再以矽晶圓為基材，經過一連串重複的製程步驟，包括晶圓清洗、薄膜沉積製程、微影製程、蝕刻製程、離子佈植製程等重複的製程，將每一層光罩上的設計圖案轉置在晶圓上。每片晶圓在完成製造程序後，即可在晶圓上形成數百到數千顆相同的積體電路小晶片。接著將晶圓送至晶片包裝廠切割、封裝，再送經最終電性測試，即可銷售上市[圖 41]。

薄膜沉積製程包括了二氧化矽、化學氣相沈積製程與物理氣相沈積製程等三大類。二氧化矽絕緣層在矽積體電路中有多種用途。依功能可區分為電性隔離、離子植入或熱擴散遮屏及表面保護層等，其成長的方式有熱成長及化學氣相沈積等兩種。所謂化學氣相沈積 (Chemical Vapor Deposition, CVD) 是指利用熱能、電漿放電或紫外光照射等形式的能源，使氣態物質在固體表面上發生化學反應，並在該表面上沈積，形成穩定固態膜的過程。化學氣相沈積 (CVD) 技術是半導體積體電路製程中運用極廣泛

的薄膜成長方法，諸如介電質、半導體、導體等薄膜材料，幾乎都能用 CVD 技術完成。至於物理氣相沉積法(Physical Vapor Deposition, PVD)，則是對欲沉積薄膜的材料源施加熱能或動能，使之分解為單原子或原子聚合體，並結合或凝聚在矽晶圓表面，形成薄膜。

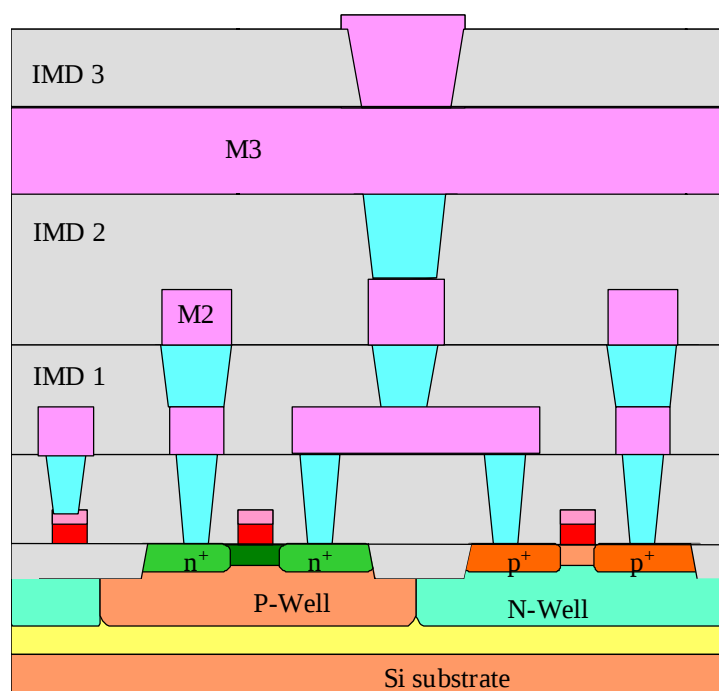


圖 41 CMOS 製造技術剖面圖

資料來源：本研究整理

微影的目的是將積體電路結構圖形製作在光罩上，然後將光罩上的圖形轉印在塗佈有機光阻薄膜的晶圓上，經過穿過光罩光線的照射及顯影處理，光阻層便可呈現出與光罩上相同圖形結構，並可將圖形尺寸適當地縮小，以便在晶圓上製造出許多相同電路結構的積體電路產品。我們常以一個製程所需要經過的微影次數，或是所需要的光罩數量，來表示這個製程的複雜程度。另外我們也常以一個工廠的微影製程所能處理最小線寬的能力，來評斷工廠的技術層次。如我們常說的 0.25、0.18 或 0.13 微米等製程，指的就是微影技術所能達到的最小線寬的製程。

蝕刻製程乃是將經過微影製程在表面定義出 IC 電路圖案的晶圓，以化學腐蝕反應的方式、物理撞擊的方式，或上述兩種方式的結合，以去除部份材質，留下 IC 電路結構。蝕刻技術主要分成兩大類，濕式蝕刻法與乾式

蝕刻法。濕式蝕刻法利用化學溶液腐蝕晶圓上擬去除的材料，並在完成蝕刻反應後，由溶液帶走腐蝕物。這種完全利用化學反應的方法來進行蝕刻的技術有其先天上的缺點，也就是其蝕刻結構的形狀是各方向均勻的，限制了元件尺寸向微細化的發展。乾式蝕刻法是利用氣體分子或其產生的離子及自由基，對晶圓上的材質進行物理式撞擊濺蝕及化學反應，來移除蝕刻部份。被蝕刻的物質變成揮發性的氣體，經抽氣系統抽離。乾式蝕刻法可以獲得良好的尺寸控制，在積體電路製程中，元件結構因此可被有效地微細化。

離子佈植是將所需的摻雜元素(如矽、硼)電離成正離子，並施加極高的偏壓，使其獲得一定的動能以射入矽晶圓的技術。當具有一定初始能量的入射離子射入固體靶時，會與靶中的原子發生碰撞，在碰撞過程中將部份能量傳給靶材內的原子核或電子，入射離子的能量因而減小，運動方向發生偏折，這個過程一直不斷地發生，直到入射離子停下來為止。離子佈植之後會嚴重地破壞晶圓內矽晶格的完整性，所以離子佈植之後的晶圓必須經過適度的退火處理。退火就是利用熱能來消除晶圓內晶格缺陷和內應力，恢復矽晶格的完整性。同時使摻雜原子擴散到矽晶格上的替代位置，有效地活化成具半導體電性功能的摻雜原子。最常用的退火方式是熱退火的方式，可利用傳統爐管來退火，或利用快速退火爐來退火等。

5.2.3 CMOS 與微機電製造技術差異

由於微機電在元件的大小上不同於 IC 產品，同一晶片上元件大小可從 $1\mu\text{m}$ 到 $30\mu\text{m}$ 都有，除此之外，採用材料的種類依不同應用而多樣化，例如：單晶矽、高分子材料、鋁、鈦、鐵鎳合金、玻璃、陶瓷等。製造技術差異彙整如[錯誤! 找不到參照來源。]。

表 6 CMOS 與微機電製造技術差異

	CMOS 製造技術	微機電製造技術
元件特性	● 元件電性為最重要考量因素	● 著重材料機械性質 ● 光阻厚度較 IC 製程厚
微影技術	● 奈米級(ex: 45nm)	● 微米級(10~100 μm)
晶圓尺寸	● 8吋或12吋為主流	● 4~6吋為主流，朝8吋發展
晶圓後續處理	● 切割、封裝及測試為標準化流程	● 特殊處理技術 ● 主要考慮機械結構的保護

	CMOS 製造技術	微機電製造技術
	● 主要考慮因素為散熱、結構強度	● 特殊封裝(真空封裝)及測試設備 ● 封測後大多需要逐個校正 ● 封測佔總成本約70%
通用標準製程	● 通用製程、低成本	● 無標準化製程、高成本
結構	● 低深寬比的結構 ● 薄膜 ● 無孔隙	● 高深寬比 ● 具有可動結構
電路	● 數位電路居多	● 類比電路

資料來源：本研究整理

5.2.4 CMOS 與微機電整合製造技術

微機電產品的生產過程大致與 CMOS 製造相同，從產品設計至量產端大致可分為四個步驟：(1)設計/分析(包括建立模型、模擬等)；(2)製造；(3)測試；(4)封裝。但不同 CMOS 產品之間的差異，主要來自於晶片本身線路的密度與運算的速度，以及導線連接的方式以形成不同的邏輯電路功能。

目前微機電在測試與封裝仍面臨許多挑戰，主要由於微機電產品測試與封裝目前尚未建立標準化製程(例如 CMOS 晶片測試電壓已有 5V 或 3.3V 標準)，而微機電產品的測試電壓須視所產生的物理效應而定，一般都遠大於 5V。另外，在產品的封裝上，由於濕度、塵埃都會影響元件運動時的摩擦、黏滯性等，因此通常需要因應客戶需求而特殊設計，相較 CMOS 封裝在成本上不具優勢而為隱憂。

以單一晶片整合 CMOS 與微機電的製造方法，可分為三大類：Pre-CMOS，Intermediate-CMOS，以及 Post-CMOS。將兩者結合的方式，則有 SiP (System in Package)。

5.2.4.1 Pre-CMOS

即是先完成微機電元件後，再開始進行 CMOS 製造的 MEMS first 製程。Sandia 早期的 SUMMiT 即屬此類[圖 42]。另外，歐美日之微機電 fabless、foundry、與學界近幾年來亦積極佈局 pre-CMOS 方案，並導入 SiGe

製程，生產壓力感測計、慣性元件等車用/消費電子用微機電元件。全球第四大微機電業者德國大廠 Robert Bosch 也大舉佈局此類技術。

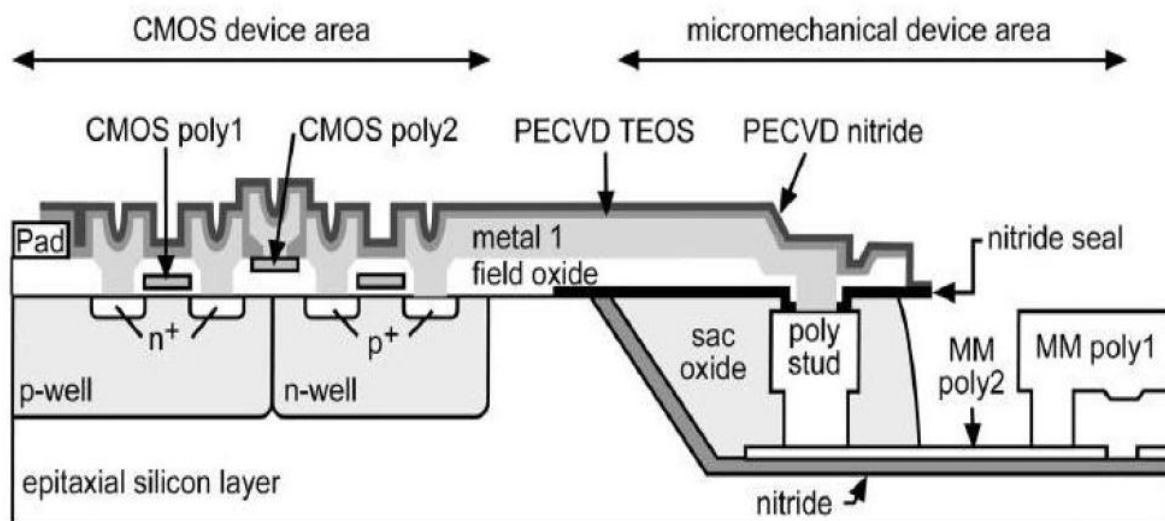


圖 42 Pre-CMOS MEMS 剖面圖

資料來源：Sandia National Laboratories

5.2.4.2 Intermediate-CMOS

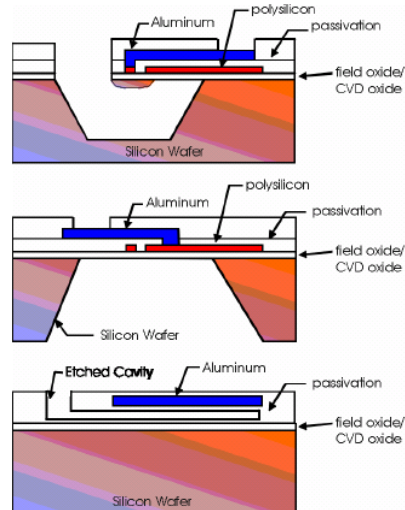
同步進行 CMOS 與微機電的製造流程。目前以 ADI 的 iMEMS 產品線為主要代表。

5.2.4.3 Post-CMOS

先完成 CMOS 製造，再進行微機電元件的 MEMS last 製程。目前除了 TI 的 DMD 為代表外，TSMC 等晶圓代工廠也多以此途徑著手 [圖 43]。

5.2.4.4 System in package

以 wafer level packaging, wafer level chip scale packaging, flip-chip 或 wire bonding 的方式，將兩者結合封裝在一起[圖 44]。



Etch from Top

Etch from bottom

Etch from side

圖 43 Post-CMOS MEMS 加工技術製造流程

資料來源：NTU

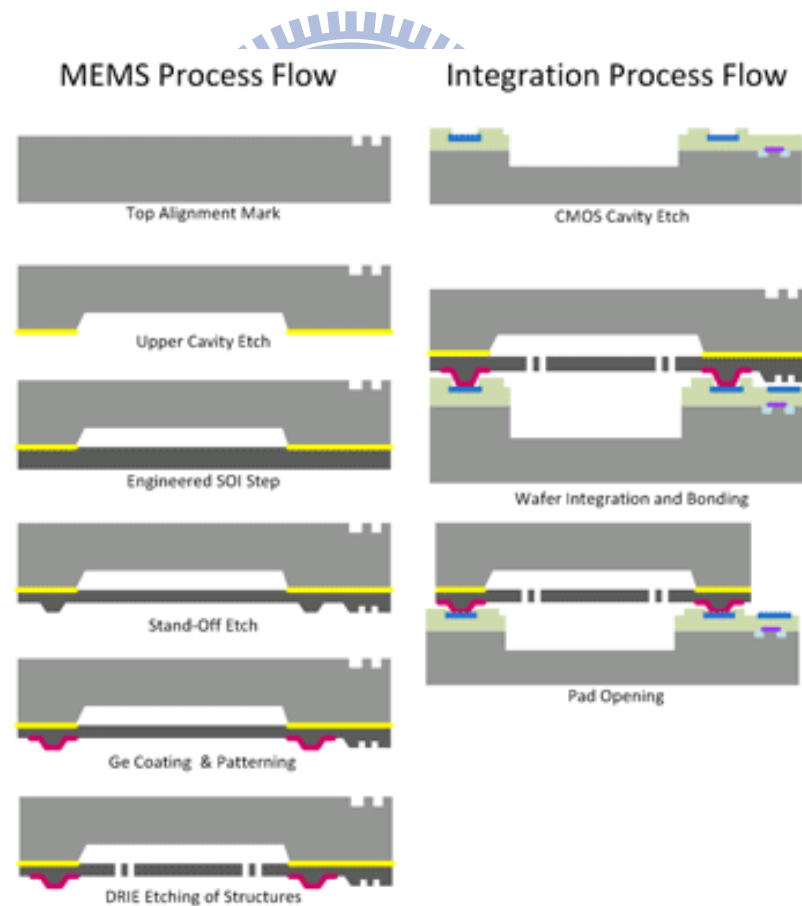


圖 44 以封裝結合 CMOS 與微機電

資料來源：InvenSense

5.2.4.5 CMOS/標準微機電製程的優缺點比較

就量產需求來看，微機電產業特質接近 ASIC，而不像 DRAM(Dynamic Random Access Memory)，因此較偏向設計、整合、行銷等較需要創新及快速反應能力，有較高之附加價值及經濟效益。微機電技術雖然是使用矽晶片材料，運用半導體製程技術，但其為立體型微結構，在雙面曝光、深蝕刻、微電鍍等特定製程，要求條件更為嚴苛；封裝上，微系統立體化與物理、化學特性信號量測的要求也較現有 IC 複雜。根據標準 CMOS 微機電和標準微機電製程的優缺點比較[表 7]，對於在半導體代工發達的台灣而言，發展 CMOS 微機電標準製程是最符合經濟效益的方式，可以達到節省製作成本及快速製作原型 (Fast Prototyping) 的優點，缺點方面，則可以藉由設計能力的建立逐步克服。

表 7 CMOS/標準微機電製程的優缺點比較

	CMOS 微機電製程	標準微機電製程
優點	● 快速製作原型 ● 電子電路整合度高 ● 小尺寸 ● 封裝成本較低， ● 封裝良率較高	● 設計彈性大，不受限於電子電路 ● MEMS 可靠度較高
缺點	● 限制 MEMS 設計範圍 ● MEMS 往往違反 CMOS 設計法則 ● 機械結構較弱 ● MEMS 可靠度較低	● 封裝採用覆晶、打線、MCM 等，成本較高

資料來源：本研究整理

5.2.5 台灣發展 CMOS 微機電產業之 SWOT 分析

台灣過去在 CMOS 半導體的研發、代工生產與製造方面，具有世界級之生產技術、上下游供應鏈及人才優勢。如何善用既有優勢在 CMOS 微機電的發展，根據兵法「始計」篇的企業導引指出，首先應進行企業狀況與競爭對手的判斷，也就是「知己知彼」，才能建立企業的競爭構想。接著藉

由設計、晶圓代工的模式形成一條捷徑，建立與傳統 IDM 大廠競爭的優勢，這是企業伐謀、伐交的綜合運用，形成企業「不戰而屈人之兵」的大戰略模式。

台灣 CMOS 代工半導體廠基於甚麼樣的優勢與機會，可以進入微機電產業？又將面臨到甚麼問題與困難？以下將從各個角度加以探討。

5.2.5.1 集團經營模式

在集團經營結構方面，一般 IDM 或是從母公司分出的事業部多半會聚焦在少數應用類型，所以製程的變化不大，但是產能擴充就會受到經濟規模的影響而受到限制。反觀較具經濟規模的 CMOS 半導體業者比較有各種資源可以開發模組化製程，提供相同或是類似的製程平台與產能，給與不同元件類別的設計公司，能匯集不同公司產品，因此比較能克服經濟規模的影響。然而台灣半導體業者在經營策略上是否有信心投入足夠的資源來開發這條產品線，努力追上 IDM 既有的技術落差，則是成功與否的重要因素。目前已知大型 CMOS 半導體業者如台積電與聯電等，雖然已經宣示其技術藍圖將納入微機電的發展，但是集團重心似乎有朝向綠能產業如太陽能與 LED 照明發展的趨勢，因此還要持續觀察其後續發展。

5.2.5.2 專利技術的改變

由於微機電製程，需針對機械結構部份，進行大量的製程處理，而此製程技術均被各家視為極機密之技術，並建立專利形成進入障礙，因此早期投入的 IDM 廠商均使用自有的半導體設備，進行研發及生產。除了 ADI 是採用 poly silicon 作為感測材料，並使用特殊之 CMOS 製程，將微感測結構與類比/數位電路整合為單晶片之外，其餘大多是採用 SiP(System in Package)封裝技術，分別將微機電製程生產之微結構晶片與 CMOS 製程生產之電路晶片封裝在單一的封裝材料中。

如今經由 CMOS 微機電製程，代表有機會繞過 IDM 廠商專利障礙之外，另闢一條新的道路，完成系統元件的生產。國外之微機電專業代工如 MEMSCAP 其微機電標準製程與 CMOS 標準製程最大的差異是其具有二至三層機械性質優良穩定而且厚達 $2\mu\text{m}$ - $20\mu\text{m}$ 的結構層，而目前 CMOS 製程用來當結構層厚度卻多半在於 $3000\text{\AA}$ - $5000\text{\AA}$ ，必須要多層堆疊，否則厚度並不適宜作為結構層之用。然而因金屬、多晶矽與氧化層以及矽底材之間具有不同的選擇性，恰可擇一作為結構釋放之犧牲層或是光罩。也就

是說 CMOS 製程上對微機械結構來說的先天缺點或是特點或許存在，但適時且靈活地避開或是反過來加以利用此特點則是 CMOS 微機電設計能否成功的關鍵技術之一。

5.2.5.3 生產設備資源

在 CMOS 微機電生產技術的全球競爭對手方面，由於早期的 IDM 大廠均以自有廠房的生產設備，開發專屬生產技術為主流，如今面對 CMOS 微機電，也就代表已經面臨技術革命(Paradigm Shift)的挑戰。假如要加入戰局，就必須重新投入大量資金與技術資源，才能建立 CMOS 生產線，比起半導體產業鏈完整的台灣而言，有較高的進入障礙門檻。

反觀台灣，CMOS 的 6 吋與 8 吋晶圓廠數量不少，不需建新廠來建立產能，只要經過少額投資以調整設備及技術，便可以擁有為數不少的微機電產能，這是極大的優勢。然而儘管硬體資源充沛，台灣熟悉微機電量產技術的系統級整合人才卻相當缺乏，不能迅速地將設備轉型，這是美中不足之處。

5.2.5.4 產品市場

在媒體的推波助瀾下，系統業者亦開始思考如何藉由微機電元件的導入，提供給消費大眾嶄新的使用體驗，並提高本身產品所能提供的價值與新商機。在這些因素的帶動下，微機電產業逐漸走向新的產業結構與成長態勢。由於電子系統產品如遊戲機、手機等逐步導入「互動」以及「主動感知」的功能，進而帶動對於微機電產品的需求；近年微機電已漸脫離傳統的車用與工業領域，朝向消費性與資通訊應用發展。

由於消費性電子及手持裝置需求大，加上中國龐大白牌內需市場，尤其新興市場成長快速，因此微機電未來成長動能來自消費性電子與手持裝置，而這些產品均為台灣製造強項，對於此一產業的發展具有相輔相成的效果。

5.2.5.5 市場反應能力

到目前為止，國外已採用 CMOS 微機電的主要業者，產品主要分布在微機電麥克風與微機電振盪器。反觀國內的微智半導體與工研院，則均能運用國內 CMOS 晶圓代工的充沛產能資源，快速地開發出適用於消費性電

子與手機的慣性元件[表 8]，顯示出 CMOS 微機電確實提供台灣設計業者一個新的發展舞台。然而所需的電子設計軟體標準相對於 CMOS 的成熟度而言仍舊不足，影響了產品開發的速度。

表 8 目前全球已採用 CMOS 微機電設計產品的主要業者

公司名稱	國別	主要產品
Memsmart 微智	台灣	電容式加速度計
ITRI 工研院	台灣	計畫於加速度計、陀螺儀、MEMS 麥克風與振盪器等
MEMSIC	中國	熱感測式加速度計，磁性感測計
Akustica (Bosch)	德國	MEMS 麥克風, Fabless
Wolfson	蘇格蘭	MEMS 麥克風
Discera	美國	MEMS 振盪器
SiTime	美國	MEMS 振盪器

資料來源：本研究整理

5.2.5.6 政府的因素

日本在產業空洞化時，仍不忘推出創新研發計劃，微機電便是其中重點項目之一，列為未來十年重要產業，影響所及，目前各國也都競相投入研發。從政府的角度來看，2009 年起台灣首度將微機電列入「政策性」補助產業，主要是研發經費已經不受經濟部 3 年 3 千萬的限制，並主動地鼓勵企業申請經費，顯示政府開始支持微機電產業的發展。例如，從經濟部的網站可知 2009 年 2 月 19 日公告通過緯拓科技投入智慧型單晶片 CMOS 微機電麥克風技術開發計劃、創意電子開發支援多芯系統單晶片設計驗證測試及除錯之系統層級設計的計劃；以及 2009 年 2 月 28 日公告的先進微系統科技股份有限公司所提「微機電雷射微投影顯示模組」計劃專案等。

5.2.5.7 人才

CMOS 相關設備與製程人才的供應充沛，熟悉電性的設計人才很多。此外因為應用多元化，產品設計與製造複雜度升高；若是朝向垂直分工，比較有機會讓現在 CMOS 產業的人才轉移到微機電。

另外，CMOS 微機電代工的服務得以有效降低新創微機電公司的資金

門檻，使得專注在產品特性上的新創設計公司數目有機會快速上升。雖然這些新創公司幾年後可能不會全部存活，但是對於提升國內整體產業的「人才基因庫」卻有很大的幫助。隨著產業的成長，各公司之間的競爭、合作乃至於合併都可以增進人才的培育。Porter 在其「國家競爭優勢」一文中提到「國內市場競爭壓力除了迫使企業的自我改善之外，成功者會吸引其他競爭者進入。形成創新的壓力以及升級的途徑。新廠商加入或是離職員工的自行創業也會形成產業的擴散效應；這種動力通常是良性的，因為會帶來更多競爭而釋放出更多的創造力。」。因為微機電的困難與複雜度的增加，使得專業分工在各領域的價值創造，將比在同一企業內垂直整合的領域更有效率。

5.2.5.8 CMOS 微機電系統產品特性

CMOS 微機電系統由於將感測計、致動器、控制電路在同一顆晶片上製造出來，因此本質上比一般封裝系統更具備下列優點。

1. 不需要進行 CMOS 與微機電的封裝接線，不僅縮小產品體積，而且降低錯誤率，提升良率，降低封裝成本。
2. 電子元件與微結構邊靠著邊佈局，可以形成陣列結構，創造全新的應用與更優異的特性(例如麥克風陣列)。
3. 整合訊號轉換器，可以直接將感測到的類比訊號轉換為數位訊號，再予以輸出。除了提升訊號品質以外，更有利於新產品的開發設計。
4. 排除封裝接線所產生的寄生電容，獲得更高的 S/N 比，元件的性能更優異。

5.2.5.9 SWOT 分析矩陣

台灣晶圓產業切入 CMOS 微機電的 SWOT 分析矩陣整理如下[表 9][表 10]。

表 9 台灣晶圓產業切入 CMOS 微機電的 SWOT 分析

內 部 分 析	
優勢(S)	劣勢(W)
◎ CMOS 產業朝向 12 吋規模發展，未來已攤提完畢的 8 吋廠可以轉型，建置產能投資金額低 ◎ 微機電未來成長動能來自消費性電子與手持裝置，均為台灣製造強項 ◎ 2009 年起首度將微機電列入“政策性”補助產業，有政府政策性支持	◎ 熟悉機電系統整合之系統級跨領域人才不足，並非擅長垂直分工、大量製造與標準化產品的台灣長處 ◎ 業界對於微機電關注有限，導致目前應用多屬於取代型產品，效益不易彰顯，進而影響投資意願

外 在 環 境	
機會(O)	威脅(T)
◎ 半導體垂直分工產業鏈有別於 IDM 集團經營模式，具快速反應與產品多樣化能力 ◎ 消費性電子及手持裝置需求大，加上中國龐大白牌內需市場，尤其新興市場成長快速 ◎ CMOS 微機電產品進一步降低系統成本，推動產業發展進入成長期 ◎ 應用空間寬廣，尤其創新應用將提升產品附加價值	◎ 國外廠商對於關鍵專利佈局較早而且綿密，不利於後進廠商切入，發展空間受到壓縮 ◎ 世界各主要國家已投入大量研發資源，整體技術水準超越台灣甚多

資料來源：本研究整理

表 10 台灣晶圓產業切入 CMOS 微機電的 SWOT 策略矩陣

SWOT 矩陣		內 部 分 析	
		優勢(S)	劣勢(W)
外 在 環 境	機 會 (O)	「SO 策略」(Max-Max) 政府可政策性補助設備轉型所需研發經費，並扶植設計業者，開發具價格優勢的創新 3C 應用裝置，帶動台灣整個高科技供應鏈	「WO 策略」(Min-Max) 經由垂直分工以重點性建立系統整合人才，加速終端產品的開發量產
	威 脅 (T)	「ST 策略」(Max-Min) 直接引進 IDM 技術專利縮短開發時程，以設備產能優勢創造價格競爭力	「WT 策略」(Min-Min) 培育人才，建立技術專利

資料來源：本研究整理

5.2.6 CMOS 微機電產業成長之關鍵成功因素

以關鍵成功因素的分析理論而言，決定 CMOS 微機電是否能成長之關鍵因素整理如下。

1. 低成本的要求：相對於過去擁有生產設備的 IDM 廠而言，CMOS 微機電製程擁有標準材料與製程，以及成熟的自動組裝生產線，而這正是過去晶圓代工廠能夠確保低成本與高產出良率的關鍵。藉由生產技術的突破所帶來的成本效益，將有機會進行產業市佔率的新洗牌。
2. 尺寸微縮的需求：將原本微機電微機械結構與 CMOS 電路兩顆晶片的封裝，簡化為單一顆晶片，不僅縮小外觀尺寸，符合新一代產品外觀的要求，同時可以降低雜訊，提升產品的性能。
3. 殺手級應用的出現：近年來消費性電子與手持裝置之市場應用多元化發展，微機電成為產品應用可以與對手拉開距離的重要因素。例如最成功的案例 Wii 與 iPhone，均利用慣性感測計來加強人機介面，創造前所未有的使用者體驗，也開創新的市場需求。
4. 更好的性能：由於微機電元件與電子電路在生產程序上的緊密結

合，降低兩者以獨立晶片型態封裝時所不可避免的接點寄生電容，所引發的高雜訊問題，因此可以提供更好的性能。

5.3 台灣 CMOS 微機電產業之發展機會

從目前已經有產品驗證的角度來看，Pre-CMOS 在面型加工有加速度計與光學開關，在體型加工有加速度計、壓力計與紅外線偵測計等。在 Intermediate-CMOS 部分在面型加工有加速度計、陀螺儀、壓力計、超音波轉換器、射頻開關與震盪器，在體型加工有壓力計、流量計、生化探針與加速度計等。

Post-CMOS 產品最為廣泛。在面型加工有加速度計、震盪器、Si/Ge 微機電、Varactor、微鏡陣列與陀螺儀等，在疊加層(add-on layer)進行體型加工有加速度計與壓力計等。在 CMOS 元件層進行體型加工有最多種類的產品，包括壓力計、化學偵測計、熱像感測計、觸覺偵測計、熱轉換器、近接偵測計、流量計、真空計、加速度計、陀螺儀、麥克風、喇叭以及可變電容等。

既然 CMOS 微機電產業值得投入，就應該選擇適當的生產技術，以發揮最大的綜效。根據生產技術的分析比較[表 11]以及上述產品驗證資料顯示，採用 Post-CMOS MEMS 標準製程，以及 CMOS 層的體型微加工，對於在半導體代工發達的台灣而言，是最符合經濟效益的方式。

表 11 CMOS 微機電生產技術分析

	優勢	限制
Pre-CMOS	直接採用已量產的微機電技術，設計彈性大，對現有微機電 IDM 廠最有利，把整合的工作交給 CMOS 製造端。	後續 CMOS 製程必須保護微機電孔洞結構，加溫過程也會影響微機電特性，因此無法直接採用標準 CMOS 製程，必須建立新的電路元件模型與製程條件，不利於標準 CMOS 代工廠。

	優勢	限制
Intermediate-CMOS	可以選擇微機電所需結構強化或機械動作取向的材質，彈性最大，適合微機電 IDM 的技術擴張。	CMOS 後段製程必須保護微機電孔洞結構，加溫過程也會影響 CMOS 特性，因此無法直接採用標準 CMOS 製程，必須建立新的電路元件模型與製程條件，不利於標準 CMOS 代工廠。
Post-CMOS	直接採用已量產的標準 CMOS 製程，縮短產品開發時程，有利於 design house，可以委託具有成本優勢的標準 CMOS 代工廠來生產。	微機電的部分是和 CMOS 電路部份同時設計與製作，所以在後製程的處理上，多半會受到電路部分的材料限制；此外 CMOS 金屬層並非結構強化或機械動作取向，故微機電元件的表現會受影響。

資料來源：本研究整理



六、 結論與建議

6.1 結論

未來，Post-CMOS MEMS 標準製程，以及 CMOS 層的體型微加工，既可符合系統單晶片之趨勢，亦可藉由高度成熟的 CMOS 產業帶動微機電之發展；對台灣眾多 CMOS 晶圓廠及 IC 封測廠而言，更可以讓其舊有設備的利用價值得到延伸，讓善於發揮規模優勢的台灣晶圓代工及封測業者，可將直接挑戰目前寡佔微機電市場的 IDM 廠商。而且一旦台灣晶圓代工及封測業者進入這個領域，將使微機電設計業者更有舞台可以發揮，並能提供更有吸引力的產品功能，因為這些設計業者可以因此快速跨越自有廠房的高昂投資門檻，以靈活的市場敏感度來設計市場所期待的新產品，並且經由 CMOS 標準製程快速生產，搶佔消費性電子市場。

6.2 建議

台灣 CMOS 微機電產業之發展機會的實現，可以透過 Weihrich SWOT 策略矩陣的分析結果來獲得方向的指引。

1. SO 策略：政府可政策性補助設備轉型所需研發經費，並扶植設計業者，開發具價格優勢的創新 3C 應用裝置，帶動台灣整個高科技供應鏈。
2. ST 策略：直接引進 IDM 技術專利縮短開發時程，以設備產能優勢創造價格競爭力。
3. WO 策略：經由垂直分工以重點性建立系統整合人才，加速終端產品的開發量產。
4. WT 策略：培育人才，建立技術專利。

由於微機電設備投資支出不像 IC 那麼龐大，設計的概念與技術的開發以生產成本低、性能可被接受的元件與模組以進入消費性市場，是最需要投入的資源，因此最重要的是足夠的高級跨領域整合型人才。即使從現在開始規劃並設計大學教育系所，也要等到多年以後，才有足夠師資與畢業生數量可以就職服務。因此短期內要設法從相關行業找人重新作定位，政府及企業應強化相關的訓練，培養整合型人才。換言之，台灣微機電產業

發展將可依循過去 IC 成功模式，以強大的晶圓製造、封測生產能力，培植並壯大具有創新能力的設計公司，在國際微機電舞台佔一席之地。



參考文獻

中文部分

- [1] 徐作聖，產業分析，全華，台北，民國九十五年。。
- [2] 徐作聖，策略致勝--科技產業競爭優勢策略分析的新模式，遠流，台北，民國八十八年。。
- [3] 李建中&虞孝成，孫子兵法與競爭優勢，交大出版社，新竹，民國九十五年。
- [4] 司徒達賢，策略管理新論，智勝文化，民國九十年。。
- [5] 麥可 波特(Porter, M.E.)著，競爭策略，周旭華譯，天下文化，台北，民國七十七年。
- [6] 麥可 波特(Porter, M.E.)著，國家競爭優勢，李明軒、邱如美譯，天下遠見，台北，民國八十五年。
- [7] 大前研一著，企業戰略思考，林傑誠譯，業強出版社，台北，民國八十年。
- [8] Hill, Charles W.L. and Jones, Gareth R. 著，策略管理，黃營杉譯，6th ed., 新陸書局，民國九十三年。
- [9] Fleisher, Craig S. 著，企業策略與競爭分析：工具與應用，陳苑欽譯，台灣培生教育，台北，民國九十六年。
- [10] Grove, Andrew S. 著，10 倍速時代，王平原譯，初版，大塊文化出版，民國八十五年。
- [11] 許文誠、徐木蘭、歐陽惠華，「台灣矽晶圓材料產業關鍵成功因素之探討」，科技管理學刊，3，69~96 頁，民國九十四年。
- [12] 曲威光，奈米科技與微製造產業，新陸，台北，民國九十三年。
- [13] 張志誠，微機電技術，商周，台北，民國九十一年。
- [14] 楊龍杰，掌握微機電，滄海，台北，民國九十六年。
- [15] 黃財丁，微機電技術之世界趨勢，行政院國科會科學技術資料中心，民國八十九年。
- [16] 黃楓台，奈米與微機電：國家科技前瞻計劃前期研究，行政院國科會科學技術資料中心，民國九十一年。
- [17] 黃蓉芬，微機電構裝製程與設備市場發展，工研院產業經濟與資訊服務中心，民國九十三年。

- [18]謝孟珏，台灣在 CMOS MEMS 應用於消費性電子商機探討，工研院產經中心出版，民國九十七年。
- [19]陳宗義，「微機電技術在無線通訊產業之發展策略」，國立交通大學，碩士論文，民國九十一年。
- [20]卜明世，「台灣微機電產業經營策略與競爭優勢之研究 - 以亞太優勢公司為例」，國立交通大學，碩士論文，民國九十五年。
- [21]林順利，「台灣微機電產業未來十年可能的定位與發展」，國立中山大學，碩士論文，民國九十八年。
- [22]劉舜逢，「2009 年全球 MEMS 元件應用市場展望」，拓璞產業研究所，民國九十八年。
- [23]劉舜逢，「全球 MEMS 應用市場與產業趨勢」，拓璞產業研究所，2008.
- [24]李永健，「由 Wii 看 Motion_Sensor 帶來人機互動的新思維」，拓璞產業研究所，2007。
- [25]李永健，「MEMS 在手機三大殺手級應用－MEMS MIC / Inertial sensors / RF MEMS」，拓璞產業研究所，民國九十六年。
- [26]李永健，「MEMS 產業發展現況與趨勢分析」，拓璞產業研究所，民國九十六年。
- [27]楊勝帆，「由 2009 年台北電腦展探究科技產業發展新趨勢」，拓璞產業研究所，民國九十八年。

英文部分

- [28]Aaker, D.A., Strategic Market Management, John Wiley and Sons Inc. , NY, 1984.
- [29]Ansoff, I.H., Implanting Strategic Management, Prentice Hall International, UK, 1984.
- [30]Bamberger, I., “Developing Competitive Advantage in Small and Medium-size Firms”, Long Range Planning, 22(5), pp.82, 1989.
- [31]Barney, D.F., Time Paths in the Diffusion of Product Innovation, MacMillan, London, 1991.
- [32]Barney J.B. “Firm Resources and Sustained Competitive Advantage”, Journal of Management, 17,1991.
- [33]Commons, John R. The Economics of Collective Action, MacMillan, NY, 1974.

- [34]Daniel, D.R. "Management Information Crisis", Harvard Business Review, 39(5), pp.111-121, 1961.
- [35]Dean, K.S., Career Paths and Creative Lives: A theoretical perspective on late life potential, 1950.
- [36]Gary K. Fedder, "MEMS Fabrication", ITC International Test Conference, Paper 27.3, 2003.
- [37]Grant, R.M., Contemporary Strategy Analysis, Blackwell, M.A., 1995.
- [38]Hammer, M., "The superefficient company", Harvard Business Review (September): pp.82-91, 2001.
- [39]Hill, Charles W.L. and Jones, G.R., Strategic Management Theory: An Integrated Approach, 3rd ed., Houghton Mifflin, Boston, 1995.
- [40]Hofer, C. W. & Schendel, D.E., Strategy Formulation: Analytical Concepts, St. Paul: MN West, 1978.
- [41]Kotler, P., Marketing Management, 8th ed., Prentices Hall, N.J., 1997.
- [42]Kotler, P., Armstrong, G., Principles of Marketing, 5th ed, Prentice Hall, N.J., 1991.
- [43]Leidecker, J.K. and Bruno, A.V., "Identifying and Using Critical Success Factors", Long Range Planning, 17, 1984.
- [44]Porter, M.E., Competitive Advantage, The Free Press, New York, 1985.
- [45]Rockart, J.F, "Chief Executives Define Their Own Data Needs", Harvard Business Review, 57(2), pp.81-93, 1979.
- [46]Rogers, E.M., Diffusion of Innovation, The Free Press, N.Y., 1962.
- [47]Weihrich, H., "The SWOT Matrix - A Tool for Situational Analysis", Long Range Planning, 15(2), 1982.
- [48]J. Smith, S. Montague, J. Sniegowski, J. Murray, and P. McWhorter, "Embedded micromechanical devices for the monolithic integration of MEMS with CMOS", Proc. IEDM '95, pp. 609-612, 1995.

網站部分

- [49]<http://www.nctutwt.net/sipp/about.php>
- [50]<http://www.wtc-consult.de/>
- [51]<http://www.memsmart.com.tw/>
- [52]<http://www.tmt-mems.com>

[53]<http://cdnet.stpi.org.tw/>

[54]<http://www.memsnet.org>

