

微機電元件市場應用趨勢及製造封裝探討

◆陶超

日月光半導體公司

研發處 研發副理

摘要

無論在資訊、消費性電子、工業用途、通訊、生物醫療等領域，整合微機電/微系統技術的新產品近年來不斷被開發出來。尤其隨著通訊網路的蓬勃發展所帶來的商機，使得已有數十年發展歷史的微機電/微系統技術重新引起大家的關注。本文中就微機電元件的市場現況、微加工、微封裝，依序提出說明並探討所面臨的課題。

關鍵詞

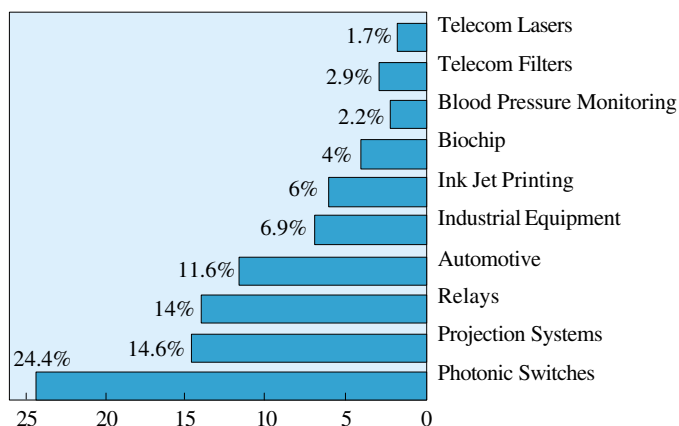
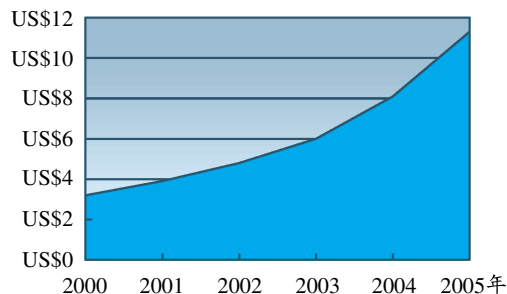
微機電/微系統 (Micro-Electro Mechanical System或Micro-System Technology)；感測器 (Sensor)；制動器(Actuators)；微光機電 (Micro-Optical-Electro Mechanical System)；面型微加工(Surface Micro-machining)；體型微加工(Bulk Micro-machining)；LIGA (Lithographie, Galvanoformung, and Abformung)

市場現況

微機電/微系統 (Micro-Electro Mechanical System或 Micro-System Technology) 元件，顧名思義它是整合了機械、流體、電流及光等物理量的微小組件，而透過積體電路(IC)批次作業的製造流程所呈現的IC元件。因為微機電元

件具有快速反應、精確及極小化等操作特性，故在現實生活中有許多廣泛且成功的應用範例：如汽車內的安全氣囊(Air Bag)之加速規感測器(Accelerometer)、醫療用途的心律調整器(Pacemaker)、血壓計(Blood Pressure Sensor)，又如IA產品中HP印表機特有的“Drop-on-demand”噴墨頭之熱泡(Thermal Bubble)技術等。除

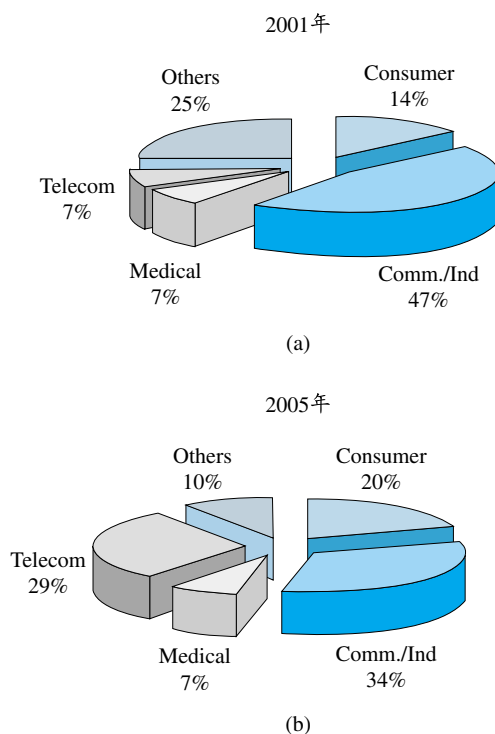
► 圖一 MEMS封裝晶片2000-2005年全球市場預估(\$ in Billions)
資料來源：In-State



▲ 圖三 2005年10大MEMS應用產品預估
資料來源：In-State

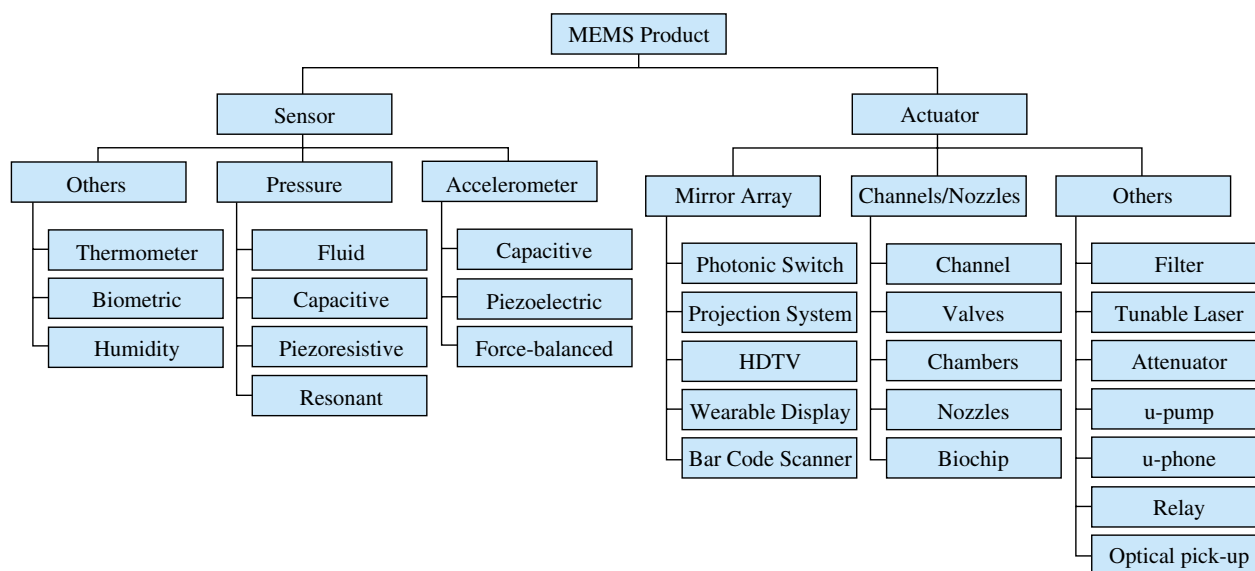
► 圖二

(a) MEMS封裝晶片2001年全球市場應用分佈預估：
(b) MEMS封裝晶片2005年全球市場應用分佈預估
資料來源：In-State



了這些在市場上被廣泛運用的成功案例外，根據In-State預測（如圖一）微機電封裝晶片(Packaged Chip)在2000年的市場銷售總值達US\$3B，預測至2005年可達US\$11B，實際上其市場銷售佔有率較全部IC應用領域可說是相對的微小。此情況說明出MEMS技術在市場產品應用上一一直未能出現所謂“殺手產品(Killer Product)”。如何利用精確的微加工封裝技術，配合自動化量產及製程檢驗技術實際上關係到MEMS技術能否成功地被整合(Emerged)到新產品應用領域或是取代現有的市場產品。

隨著最近幾年來網路通訊興起的同時，針對寬頻的需求大增，以及大量資料數據傳遞要求更快速、低成本的網路(Networking)，使得以全光網域(All Optical Network)或是光纖到家(FTTH)為基礎的下一代通訊網域架構因應而起。以微光機電(MOMES)技術為基礎的光切換(Optical Switch)元件正好具備不需經過電光(E-O-E)訊號轉換，而直接可用光子(Photonic)來傳遞訊號，並且可以低成本的方式量產製造，這使得光切換元件搭配高密度波長多工/分工技術(Dense Wavelength Division Multiplexing)在未來全光網域中具有關鍵性地位。此外，據In-State預測，光切換相關產品在2004年的市場銷售值可達US\$1B，在整個微機電技術應用產品中為成長最快速的產品之一。以光切換應用的光微機電(Optical MEMS or MOMES)技術是否能成為未來微機電技術應用成長之一驅動力(Driving Momentum)，將與全光網路或光纖到家通訊的發展趨向息息相關。根據In-State分析預測，微機電應用領域在2001-2005年市場佔有率比較（如圖二），以Telecom應用領域產品成長最為快速，且到2005



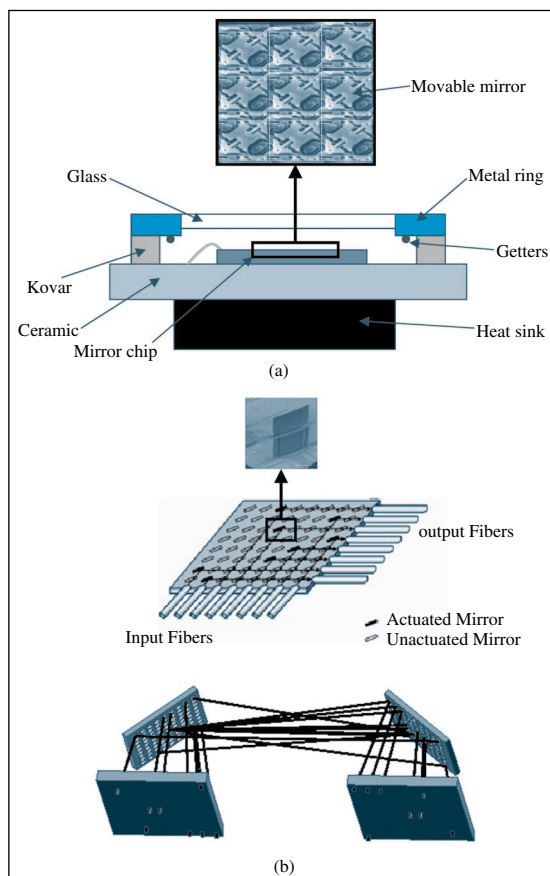
▲圖四 微機電技術分為感測元件(Sensors)及制動元件(Actuators)兩大類

年微機電元件市場佔有率約30%，其中10大微機電應用產品預測屬Telecom領域，計有光切換(Optical Switch)、通訊濾波器、通訊可調變雷射三項（如圖三），另外像 μ -Relay及微顯示(μ -Display)的應用值得注意。

微機電產品基本技術原理可分為感測元件(Sensors)及制動元件(Actuators)兩大類，如圖四所示整合汽車、消費性電子、通訊、醫藥、家庭應用等領域，將不斷有新應用產品被開發出。如圖五(a)是TI公司 Mirror Array制動元件在 Projection System之一應用；圖五(b)則是 Mirror Array制動元件在 Photonic Switch (2D/3D)之一應用。

微加工

微機電元件的製作過程，大體上來說可分成面型微加工(Surface Micro-machining)、體型微加工(Bulk Micro-machining)及LIGA三大類，其製造流程如圖六所示，其它依不同產品需求也有一



▲圖五 (a)TI DMD在Projection System (μ -Display)之Mirror Array應用；(b)通訊產業2D/3D Photonic Switch之Mirror Array應用



一、面型微加工

二、體型微加工

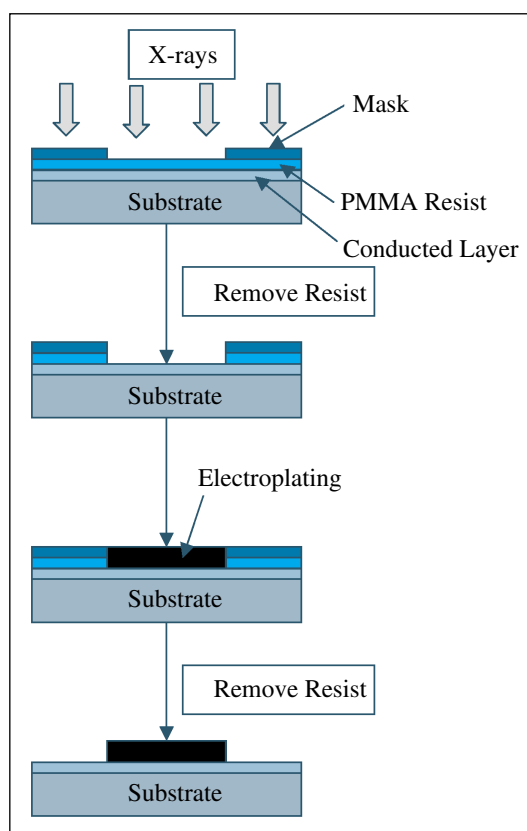
($\{1.0.0\}$, $\{1.1.0\}$, $\{1.1.1\}$)的原子間鍵結構造成差異，而產生不等方向性(Anisotropic)的蝕刻速率，而形成所需要的立體結構（尤其像具有尖銳端面結構）。另外一種以乾式蝕刻方式（深反應性離子蝕刻DRIE）亦可達到高縱深立體空間尺寸的微加工方式。體型微加工流程如圖七所示：矽基板→氮化矽層沉積→光阻塗佈→光阻微影→蝕刻→去光阻→矽基蝕刻。

LIGA(Lithographie, Galvanoformung, and Abformung)德文原意為微影、電鍍、成型之縮寫。針對高縱深比(Aspect Ratio)的微結構需求而發展出一項微加工技術，LIGA技術應用到微影、電鍍及製模等過程，而主要的特點在微影過程中使用高能量之X-ray取代一般之UV光照射到高縱深比之光阻層，之後利用電鍍方式將光阻模(Resist Mold)內填入金屬，最後去除光阻模，即可形成最終產品，或者成為精密射出成型模之Mold Insert，LIGA技術同時適用於矽基及非矽基（如

表一 晶圓密封接合方式

Bonding Method	Tem.(C)	Intermediate	Hermeticity	Stress
Si fusion bonding	>1000	no	yes	low
Anodic bonding	300-450	no	yes	low
Eutectic bonding	363	Au	yes	high
Glass bonding	415-650	glass frit, SOG	yes	high
Pb/Sn solder bonding	240-300	63/37 eutectic	yes	high
Polymer bonding	130	SU-8, AZ4000	no	low
Epoxy bonding	120-150	epoxy	no	low

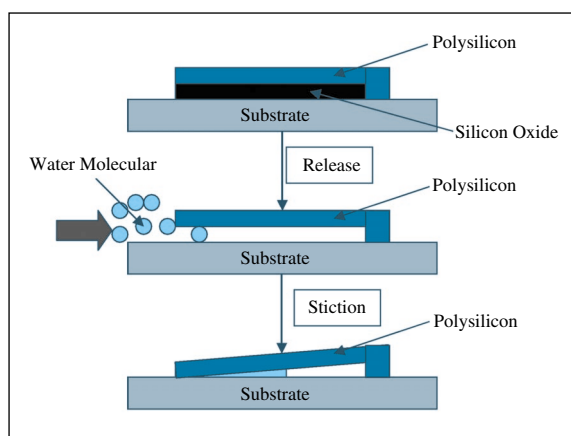
▼圖九
Release後易產生微元件附著



▲圖八 LIGA微加工基本流程

Polymer、Plastics) 之微加工件上。LIGA微加工流程如圖八所示。

微加工（尤其是面型微加工）最後需要經過微元件釋放(Release)製程，經HF蝕刻液去除犧牲層後，通常用水將殘留物去除，由於水的表面張力容易使微元件附著(Sticking)於底材（圖九），如何



達到抗附著(Anti-sticking)效果也是微加工過程中要考量的重點。

晶圓級微元件接合 (Wafer Bonding)

經過加工處理的晶圓級微元件，會因為微元件一旦經過Release後直接暴露於環境中極容易損壞及污染，因此需要立即作晶圓密封接合，依據產品不同需求有幾種方式，如表一所示。

矽熔接合(Si Fusion Bonding, SFB)適用於兩種矽Wafer間的直接熔結，透過矽Wafer SiO_2 薄膜表層上的O-H群之間的化學反應及鍵結作用而成，SFB技術目前大量被使用在絕緣體上長矽(SOI)的製程，操作溫度達 1000°C 以上。陽極接合

表二 微元件封裝製程及關切點

MEMS Packaging	Concerns	Remarks
Release	Stiction	Non-stick coating, Dimple design, special drying
Wafer bond/ Capping	Delamination, MEMS over-stressed	Cleaniness, Oxidation control, Working temperature, Low residual stress
Wafer saw	Contamination	Release after sawing Wafer cleaving
Housing	Ceramic	Hermetic, Widely used, High cost
	Metal	Hermetic, Early adopted tech, High cost
	Molded Plastic	Not hermetic, Low cost
Die attach	Die over-stressed	Placement accuracy, Collet, Low module material, Thermal management
Cure	Outgassing/stress	Low outgassing material, Long time relaxation
Wire Bond	Low bonding strenght	Low working temperature, Low die attach module
Encapsulation	Die stress	Relieving gel coating, Low stress encapsulation
Sealing	Hermeticity	Vacuum, Reactive, Getters
Inspection/Testing	KGD, Process yield	Infrastructure, Methodology
Automation	Packaging cost	Infrastructure

(Anodic Bonding)適用於玻璃Wafer對矽Wafer之間的直接熔結，相較於SFB可以使用較低的作業溫度(300~450°C)，達到同樣低殘留應力的熔結方式。無論是矽熔接合或是陽極接合，因為是直接熔結故可達到密封(Hermeticity)，但對於要熔結的Wafer表面的平整度要求相當高，也不容許有任何表面污染或異物存在於該熔接面上，否則會影響熔接效果。除了直接熔結方式以外，依需求情況而選擇，可利用不同接合材料如Glass (Frit)、Au、Pb/Sn、Polymer甚至於Epoxy。利用旋轉塗佈方式(SOG)將Glass塗佈需熔結表面，亦可利用Glass溶塊(Frit)以塗佈(Screen Printing)方式處理，一般作業所需溫度約250~650°C之間，Au-Si的共晶熔結也是另外一項選擇，在需要的矽Wafer熔結面上鍍上Au薄膜層，可以造成熔結強度很高的結合，一般作業溫度約

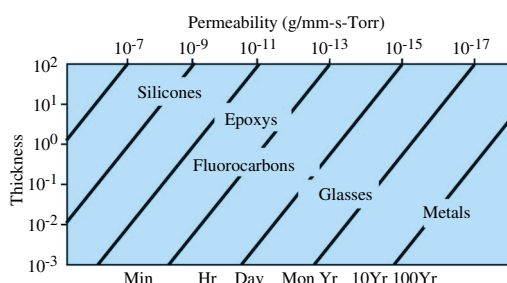
363°C，唯因有氧化問題，所以不利於大面積之晶圓接合。另外殘留應力也是一項要考慮的因素。使用Pb/Sn Solder接合物則需搭配UBM製程，唯作業溫度可在降至約240°C左右。除了金屬接合物以外，另外像聚合物(Polymer)或是像樹脂類材料(Epoxy)也可以拿來作Wafer Bonding的接合物，一般使用微影用途的光阻材料(UV Photoresist)，如SU-8，AE-4000或LIGA光阻之PMMA等Polyimide材料，皆可被使用於晶圓級微元件接合用途，最大優點在於低溫作業溫度（低於150°C），對於一些需要低溫作業條件的微元件而言是一項有利的選擇，利用樹脂類(Epoxy)作為接著劑則是被廣泛使用於下游IC元件封裝製程中，一般可利用點膠(Dispensing)或塗膠(Screen Printing)方式達成。圖十所示為各種不同密封劑(Sealant)對於50%外界溼度條件下的濕氣

滲透性比較，一般而言，金屬密封劑較Glass密封劑抗滲透約高3個等級，而Glass密封劑又較Organic密封劑抗滲透約高3個等級。

Organic密封劑選擇除考慮製程因素外，也要考慮密封劑Outgassing的問題，而直接造成微元件表面污染，進而影響微元件的正常功能。市場有多種化合物材料(Polymer Based Getters)被成功地開發用來“捕獲”(Capture or Kill)密封腔(Sealed Cavity)內不想要的氣體(Organic Vapors)、液體(Moisture)及固體(Particles)。

微封裝

微元件通常運用到機械、熱、電機、光子、電子等物理量之間，快速並精確地被轉換(Transducer)而產生想要的功效，所以微元件後段封裝製程關係著如何經最低成本價之封裝過程後，仍然確保元件正確無誤的功能。微元件封裝型態大致可分為陶瓷基板封裝(Ceramic Packaging)、金屬殼封裝(Metal Packaging)及塑膠封裝(Molded Plastic Packaging)三類。使用陶瓷基板封裝可以得到優良電氣特性、密封性及元件機械可靠性，但相對封裝成本昂貴。金屬殼封裝(如TO Can封裝)是最早為工業界採用的一種封裝技術，且具備容易作業、密封性佳等特點。使用塑膠封裝又可分為預型(Pre-molded)及後型(Post-molded)兩種。預型塑膠封裝方式仍具有像陶瓷基板封裝及金屬殼封裝之密封腔體(Sealed Cavity)結構，但後型塑膠封裝方式則與一般IC封裝製程相近，利用移轉法(Transfer Molding)或點膠方式(Liquid Encapsulation)完成微元件封裝。塑膠封裝成本相



▲圖十 幾種不同密封劑對於50%外界溼度條件下的濕氣滲透性比較

對較低但有密封性不足的缺點。微元件封裝將使前段晶圓封裝(Wafer Level or Level 0)及後段封裝(Package Level or Level 1)面臨的挑戰如精確的組裝、低應力組裝、嚴格的環控、適用的製程檢驗、測試設備及開發量產設備。表二列舉一些微元件封裝製程面臨的挑戰。

結論

通訊產業是否帶動微元件發展而形成主要Killer Application，值得拭目以待。

目前至少超過20家微元件代工廠(Foundry)或微元件垂直整合廠(IDM)提供製造服務，但仍然很少提供微元件專業封裝測試廠出現。微元件封裝測試需求是少量多樣、客制化(Customerized)程度高且相關產業之基礎構造(Infrastructure)並未成熟是其背後主要原因。

臺灣已具備IC半導體製造垂直整合優勢，微機電元件製造亦需要這種整合趨勢，且後段封裝測試在整個元件製造過程中無疑將較以往扮演更重要角色。