

微機電封裝簡介

王欽宏
工研院電子工業研究所
微系統整合技術部 經理

摘要

微機電技術的發展始自1970年，歐、美、日、韓等世界大國在過去十幾年間皆投資於微機電技術的研發，主要是看好此項技術將帶來另一波的工業革命，製造技術不但將被重新定位，而廣大的市場更提供了競爭的舞台。微機電元件更需相關封裝技術之配合，才得以完成配合系統之運用。本文將簡介微機電封裝技術，使吾人得以了解，並進而提升能力，儘速建立微機電產業。

關鍵詞

熱膨脹係數(CTE)、真空密封(Hermeticity)

前言

微機電技術的發展始自1970年，但一直到了1990年代才廣受各國政府研發單位重視，其起因於人類對於未來產品短小輕薄以及一機多功能、多用途需求的形成。在90年代，除了美國各名校發表之微馬達外，德國卡斯魯研究中心(Karlsruhe Forschungszentrum)更是首先將其發展二十餘年的LIGA技術公諸於世，其深寬比(Aspect Ratio)高達幾百，使得微機電技術成為全世界五十大重要技術之一，並將微

機電系統技術及產業推上了二十一世紀初明星產業的舞台。

歐、美、日、韓等世界大國在過去十幾年間皆投資於微機電技術的研發，主要是看好此項技術將帶來另一波的工業革命，製造技術不但將被重新定位，而廣大的市場更提供了競爭的舞台。微機電技術之所以如此搶眼，主要是因為其產品本質為：①低價格批次生產；②節約能源、體積輕巧；③多功能而多用途。

微機電產品基本技術原理可分為感測元件(Sensors)及制動元件(Actua-

tors)兩大類，如圖一所示，其整合汽車、消費性電子、通訊、醫藥、家庭應用等領域。微機電系統的真正量產實用化，早期集中在各式感測器之發展及應用，在過去微機電技術成功的打入汽車、工業消費市場，至今隨著無線、光通信及生物產業科技發展的腳步擴展到其相關產業，將不斷有新應用產品被開發出來。而其發展的主要領域依技術和關鍵產品則可分為下列幾類：

- ①慣性量測（加速度器）
- ②微流體（生醫晶片）
- ③光學的微機電系統產品（光開關）
- ④壓力量測
- ⑤射頻(RF)的MEMS（微波開關）

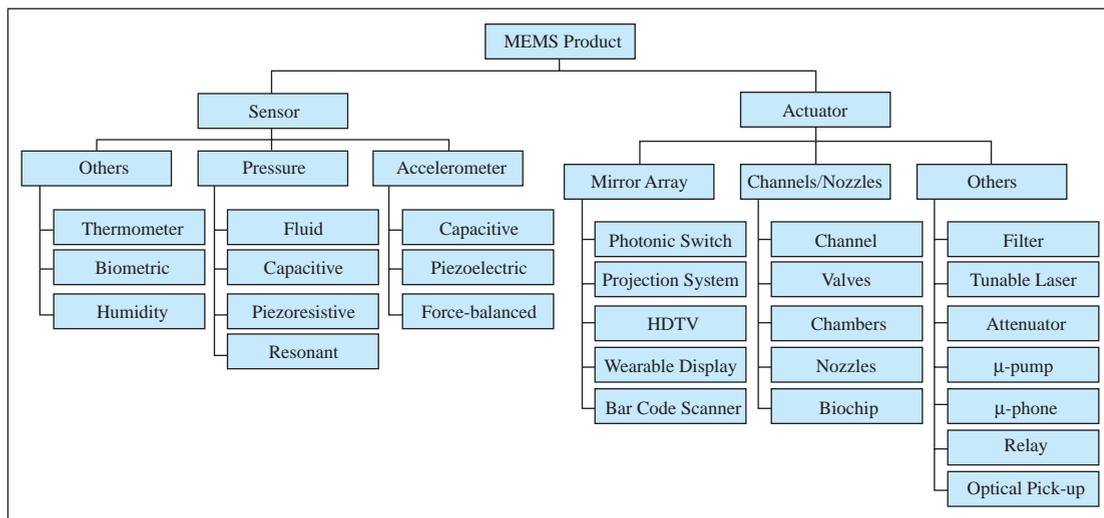
微機電製程簡介

微機電元件的製作過程，可分成

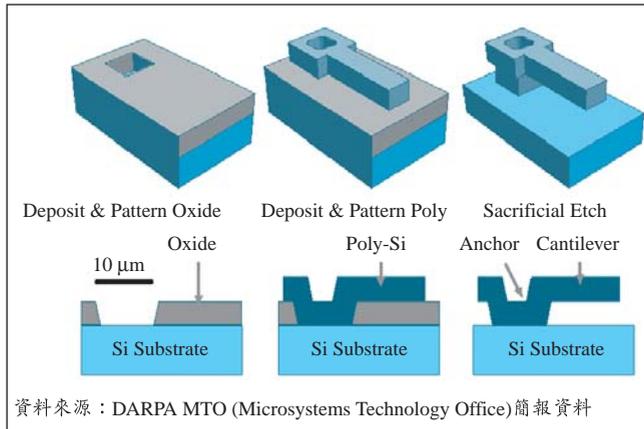
面型微加工(Surface Micromachining)、體型微加工(Bulk Micromachining)及LIGA三大類，敘述如下。

一、面型微加工

在矽基板表面上，利用沉積增層的方式，使用化學氣相沉積法(CVD)先沉積氧化層作為犧牲層，再將厚度僅達數 Micro之多晶矽(Poly -Si)往上沉積形成結構層，並利用黃光製程將所需之結構圖案成形，最後，再利用等向性(Isotropic)蝕刻方式選擇性地將中間犧牲層蝕刻挖空，使得剩下的多晶矽層形成可微細移動的表面結構。面型微加工流程如圖二所示：矽基板(Base Silicon)→二氧化矽(Silicon Dioxide)→多晶矽沉積與圖案成形→氧化層蝕刻去除（犧牲層）。有時面型微加工會以金屬作為犧牲層之材料，此設計可在

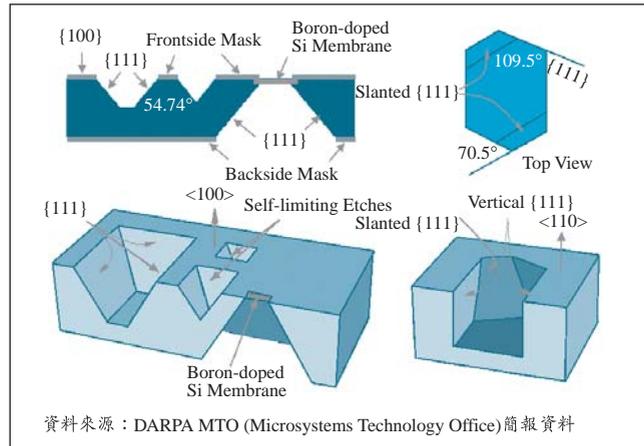


▲圖一 微機電產品分類



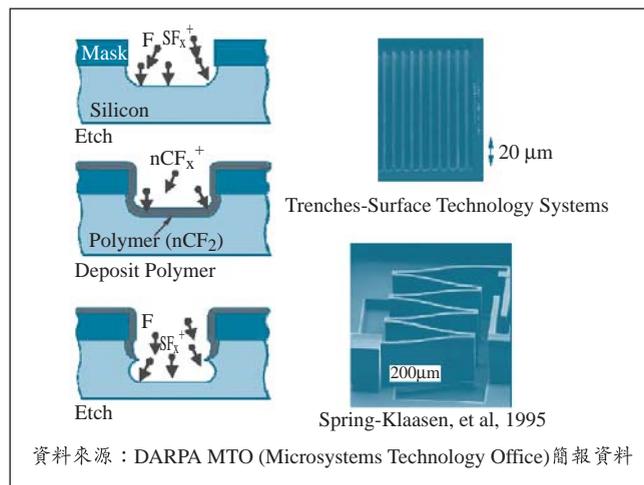
資料來源：DARPA MTO (Microsystems Technology Office)簡報資料

▲圖二 面型微加工流程



資料來源：DARPA MTO (Microsystems Technology Office)簡報資料

▲圖三 濕蝕刻



資料來源：DARPA MTO (Microsystems Technology Office)簡報資料

▲圖四 乾蝕刻

CMOS-MEMS製程發現。

二、體型微加工

體型微加工方式是直接在矽基板利用蝕刻動作達到立體空間大尺寸之微加工方式，有濕蝕刻與乾蝕刻兩種。採用濕式鹼性（如KOH、TMAH等）蝕刻液，則利用矽基板不同平面（{1.0.0}，{1.1.0}，{1.1.1}）的原子間鍵結構差異，產生不等方向性（Anisotropic）的蝕刻速率，形成所需要的立體結構。而乾式蝕刻方式（深反應性離子蝕刻 DRIE）則以不同反應氣體交叉使用，以完成高縱深立體空間尺寸的微加工方式，但此做法成本較高。體型微加工流程如圖三、四所示。

三、LIGA

LIGA(Lithographie, Galvanofornung, and Abformung)，德文原意為微影、電鍍、成型之縮寫。此微加工技術是針對高縱深比(Aspect Ratio)的微結構模仁開發需求而發展，LIGA 主要產品應用為精密射出成型模之 Mold Insert，其技術應用塗佈微影、電鍍及翻模等製程，而製程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，經過顯影後利用電鍍方式將光阻模內(Resist Mold)填入金屬，最後去除光阻模，即可形成最終產品。LIGA技術可

適用於矽基及非矽基（如Polymer、Plastics）之微加工件上。LIGA微加工流程如圖五所示。

封裝的功能

完成製程之微機電元件需利用封裝來完成元件與系統的連結。而微機電封裝需具有下述主要功能。

一、環境的保護

很多微機電元件在不同使用環境中可能會因濕氣或其他氣氛滲入，造成腐蝕、產品中的金屬線連結損毀，以及結構附著基板之元件特性失準等狀況。因此藉由密封封裝，可避免相關問題發生。

二、機械支持

機械支持的主要目的是保護微機電內部結構。由於微機電元件為一可移動元件，與固定化之傳統IC元件不同，因此需要封裝給予機械支持，保護產品避免被刮傷，造成結構斷裂或微顆粒雜質進入而影響結構作動；除此之外，亦需考慮其他問題如散熱、熱震以及操作性等種種失效原因。外罩材

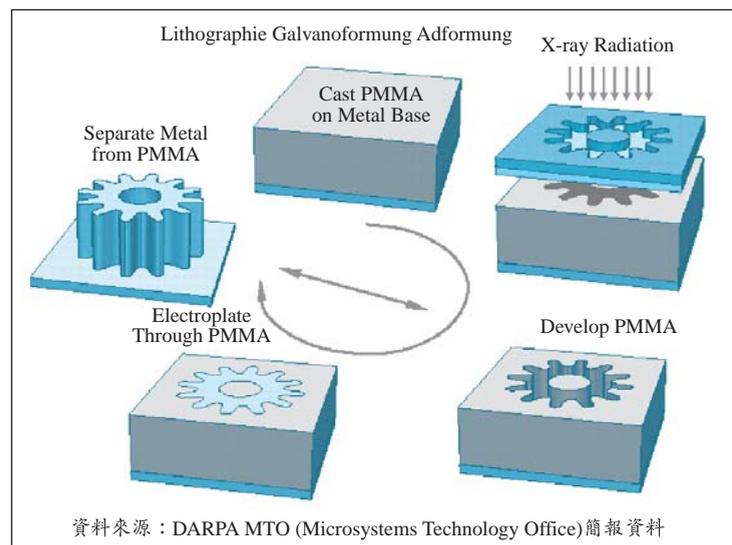
料之CTE最好大於或等於矽基板，以免因快速熱衝擊或熱循環造成外罩與矽基板剝離，通常此外罩材料為玻璃(Glass)與陶瓷(Ceramic)。使用玻璃與陶瓷主要原因在於提供良好的絕緣性與氣密性。

三、熱的考量

傳統IC元件為固定化元件，但微機電元件為一可移動元件，其對環境之熱衝擊所造成之熱應力影響相當敏感，因為熱應力會造成結構變形，使得微機電元件特性與原設計產生差異而造成失效，因此封裝之製程與設計需考慮此一效應。

四、電性連結到其它系統

封裝主要是作為介面將微機電元件與系統做一連結。其可利用SiP 或



▲圖五 LIGA

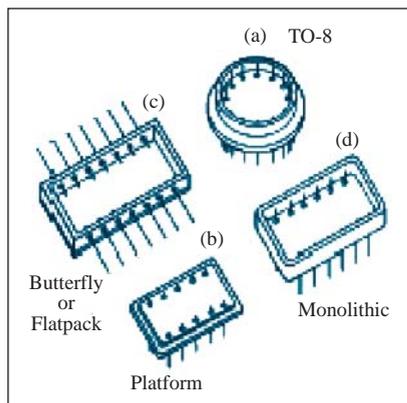
SoC 來達到變換直流電放大率與處理某些RF高頻訊號。此微機電封裝特性非常相似於微電子封裝(IC Packaging)。

微機電封裝

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 Can Packaging)及塑膠封裝(Molded Plastic Packaging)三類。除此之外，晶圓級封裝亦是市場趨勢。

一、金屬殼封裝

金屬殼封裝如圖六所示。圖六(a)為Transistor Outline，亦稱TO Can，通常使用在壓力感測器。而圖六(b)~(d)一般使用在RF MEMS 或Optical MEMS。金屬外殼主要是成為封裝產品的外牆，裡面有基板與元件等。金屬外殼高熱傳導性有助於將內部產生的高熱源藉由金屬本身傳遞出去，保持產品正常運作與延長使用壽命，但要注意的是封裝材料本身的熱傳導性、焊接

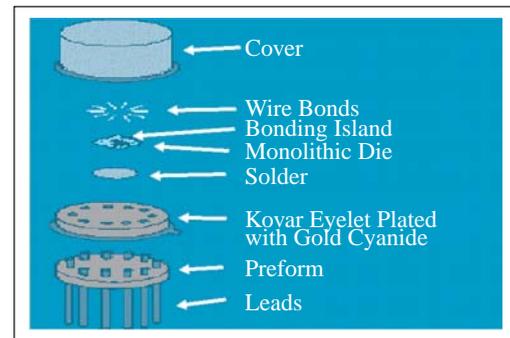


▲圖六 各種金屬殼封裝型式

性、組裝性與熱膨脹係數等，使其能保有產品的密封性。由於金屬封裝提供優異熱消散與電磁輻射屏蔽，通常使用在微波元件、光通訊模組或其他有EMI考量之微機電元件上。圖七為TO封裝之相關結構。

二、陶瓷板封裝

陶瓷板封裝常使用在微電子與微機電上，它提供了低質量、量產化以及低成本，更可以做成密封與容易做成陶瓷電路板。這類封裝在可靠度方面有幾個問題：一是陶瓷材料經燒結後會有微量收縮，如果該產品屬於密封封裝，將會造成密封不佳致使產品失效。二是陶瓷與金屬的黏著力比陶瓷與陶瓷來得弱，容易形成剝離。三是陶瓷高燒結溫度，易造成產品之金屬線有位移或擴散，通常導線選用W或Mo材，以避免陶瓷高溫燒結所造成的問題。圖八為DMD之陶瓷封裝結構。

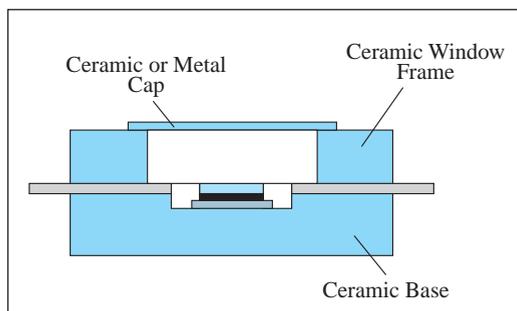


▲圖七 TO金屬封裝結構

三、塑膠封裝

塑膠封裝在電子工業上已廣泛應用多年，通常分為預封型(Pre-molded)與後封型(Post-molded)兩種，如圖九所示。在預封型封裝方面，可分為射出成型(Injection Molding)與轉移成型(Transfer Molding)等。射出成型是使用在有凹槽且需真空密封微機電封裝。而轉移型之用法如同一般微電子IC封裝。預封型與後封型之差異乃在於本體中有一空穴(Cavity)並在黏晶與打線後，密封(Sealing)上一外蓋(Cap)來保護(圖十)。使用塑膠封裝的主要原因在於其製作成本較低，但它無法使用在氣密式的封裝，因為使用在高溫濕環境中，有吸濕(Moisture)問題(圖十一)，而造成Crack 和Delamination與氣密失效等狀況。

由於微機電元件種類繁多，不同功能需求其封裝要求也不同，表一所列為各種不同微機電元件封裝之各項需求。



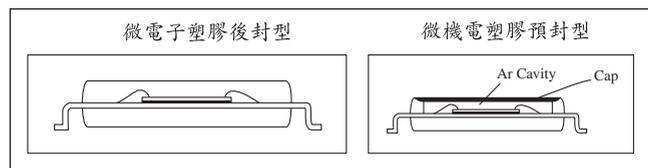
▲圖八 DMD陶瓷封裝結構

晶圓級微元件封裝

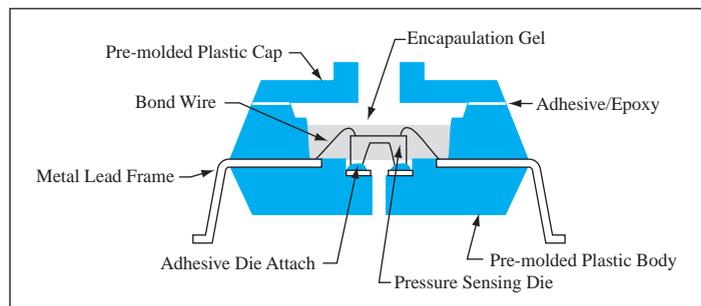
利用晶圓密封接合之製程可以達到制動元件密封之效果，且可使封裝縮小成為晶圓級封裝，目前晶圓密封接合製程依據產品不同需求有幾種方式，如下所述。

1. 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技術目前被大量使用在絕緣體上長矽(SOI)的製程，操作溫度達 1000°C 以上(圖十二)。圖十三為一利用的矽熔接合所形成之晶圓級封裝RF Switch產品。

2. 陽極接合(Anodic Bonding)，適用於玻璃Wafer對矽Wafer之間直接熔結，相較於SFB可以使用較低的作



▲圖九 塑膠封裝結構



▲圖十 壓力感測器預封型塑膠封裝

表一 Illustrating the Diversity of MEMS Packaging Requirements

	Electrical Contacts	Fluid ¹ Ports	Media Contact	Transparent Window	Hermetic Sealing	Stress Isolation	Heat Sinking	Thermal Isolation	Calibration & Compensation	Types of Packaging ²
Sensors										
Pressure	Yes	Yes	Yes	No	Possibly	Yes	No	No	Yes	P.M.C
Flow	Yes	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes	P.M.C
Acceleration	Yes	No	No	No	Yes	Possibly	No	No	Yes	P.M.C
Yaw-rate	Yes	No	No	No	Yes	Possibly	No	No	Yes	P.M.C
Microphone	Yes	Yes	Yes	No	No	No	No	No	Yes	P.M.C
Hydrophone	Yes	Yes	Yes	No	Possibly	No	No	No	No	M.C
Actuators										
Optical Switch	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	C
Display	Yes	No	No	Yes	Yes	No	Possibly	Possibly	No	C
Valve	Yes	Yes	Yes	No	No	No	Possibly	Possibly	Possibly	M.C
Pump	Yes	Yes	Yes	No	No	No	Possibly	No	Possibly	M.C
PCR Thermal Cycler	Yes	Yes	Yes	Possibly	No	No	Possibly	Yes	No	P.M.C
Electroporesis Passive	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	No	No	No	P.M.C
Nozzles	No	Yes	Yes	No	No	No	No	No	No	P.M.C
Fluid Mixer	No	Yes	Yes	Possibly	No	No	No	No	No	P.M.C
Fluid Amplifier	No	Yes	Yes	No	No	No	No	No	Possibly	M.C

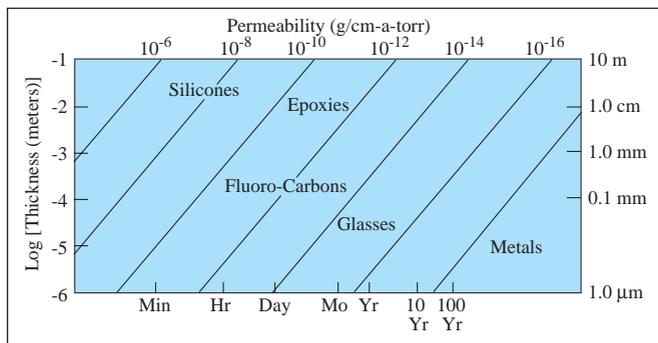
¹Fluid includes liquid or gas ²P: Plastic, M: Metal, C: Ceramic

業溫度(300~450°C) (圖十四)，達到同樣低殘留應力的熔結方式。使用陽極接合時，需要較高電壓，在降到室溫時，會因材料的膨脹係數(CTE)不同而產生應力，導致產品彎曲或破裂。

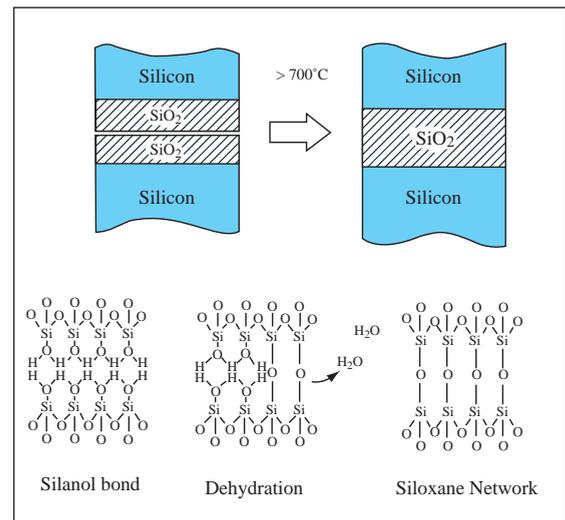
無論是矽熔接合或是陽極接合，因為是直接熔結故可達到密封(Hermeticity)，但對於要熔結的Wafer表面的平整度要求相當高，也不容許有任何表面污染或異物存在於該熔接面上，否則會影響熔接效果。

3. Au-Si的共晶熔，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。

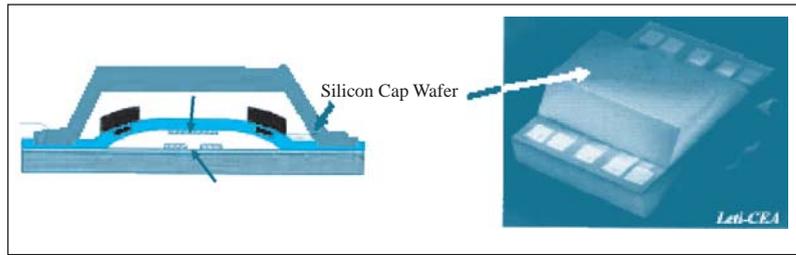
4. Pb/Sn Solder接合，需搭配UBM



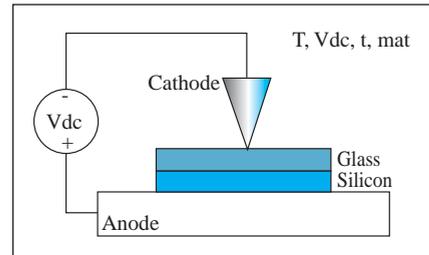
▲圖十一 不同密封材料之防滲特性



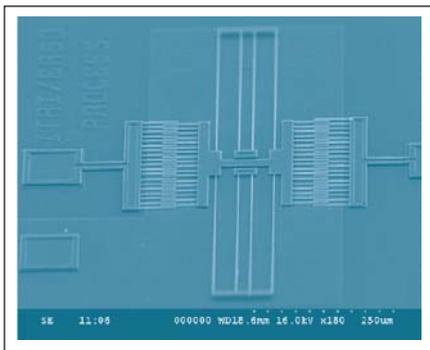
▲圖十二 矽熔接合



▲圖十三 晶圓級封裝



▲圖十四 陽極接合



▲圖十五 梳狀結構

製程，其作業溫度可降至約 240°C 左右。

5. 除了金屬接合物以外，另外像聚合物(Polymer)或是樹脂類的材料(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。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。

微機電封裝問題

由於微電子封裝之製程已發展數十年，因此微機電封裝大多依循微電子封裝之製程予以進行，但因應微機電元件之特殊需求而增加幾種特殊之製程。在微電子構裝中幾乎有95%不需真空密封構裝，但對於有些非常靈敏的微機械動作，則需使用真空密封，否則空氣所產生之阻尼效應會影響元件效能而無法達到設計需求。此外，不同微機電產品其構裝方式與需求差異過大，造成製程開發與量產成本提高、良率不易提升，使得封裝成本超過元件成本60%。如果能在微機電產品設計時加以考量，必可節省製程成本、提高良率與縮短製程時效。

針對目前微機電封裝所面臨的相關問題，簡述如下。

一、熱應力(Stress)

懸臂樑、梳狀結構（圖十五）與薄膜結構常被使用來進行加速度、壓力等相關感測應用，但這些結構很容易受製程中之高溫製程所衍生之殘留應力，造成元件特性偏移而影響效能。在封裝過程中會有部分高溫製程，以及在密封蓋與本體間，兩者材料的熱膨脹係數差異過大所產生的收縮造成之應力殘留（圖十六）等問題，這些因素都會使元件失去效能而無法符合客戶需求。為解決此一問題，需由封裝廠與設計公司針對元件設計特性及封裝製程進行討論與模擬，以求得最佳之封裝條件，才可加速產品量產化。

二、晶粒切割(Dicing)

此為另一個微機電封裝的挑戰，晶粒切割是將晶圓切割成單一小塊。通常切割使用幾密耳(Mils)厚度的鑽石刀，它需要良好的冷卻液順著切割方向流過晶圓表面，將切屑與鑽石粒子衝掉，防止刮傷晶圓表面。而冷卻液另一功用乃是晶圓的洗淨，其主要的參數在於切割速度、進刀深度、鑽石粒徑以及冷卻液沖刷的速度、角度與方向等。但懸臂樑、梳狀結構與薄膜結構很容易受切割製程中之冷卻液沖刷，而造成結構斷裂毀損，或因水之毛細作用而使結構與基板產生附著，

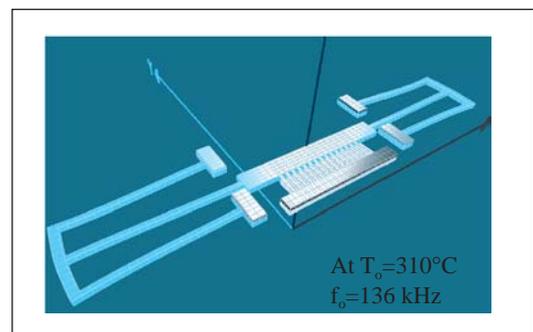
這些都是封裝廠面臨與微電子封裝所不同之情形。

三、裸晶處理(Die Handling)

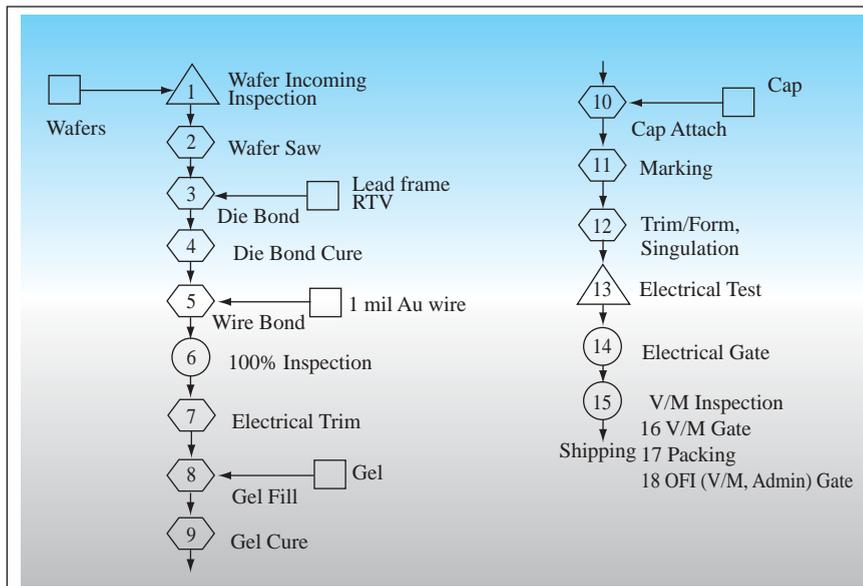
微機電晶圓上之微結構是非常脆弱的，不像傳統微電子封裝可以使用真空盤予以抓取並放置定位。所以微機電封裝在做移動裸晶片時，必須從裸晶片本體的邊緣做夾取動作並小心移至定位。因此 Pick and Place設備之要求需重新思考，如此才可提高製程能力與良率。

四、排氣(Outgassing)

此種製程類似微電子封裝，做吸濕測試中的除濕。因為當使用環氧樹脂或 Cyanate 脂時，這些沉積在封裝內部的水氣與有機氣體必須予以排除，否則將導致產品之結構附著與腐蝕。排氣主要的挑戰包括非常低的排氣黏晶材料與省略黏晶後的烘烤。圖十七為一標準壓力感測器封裝流程，可供



▲圖十六 熱應力變形



▲圖十七 壓力感測器封裝流程

吾人了解其流程，並進一步對各項製程參數影響進行自我評估，以減少製程對元件特性之影響。

測試與可靠度

測試在微機電製造也是一個重要的問題。從微機電元件的晶圓製程開始至封裝，每一個製程均潛藏許多影響品質之因素。以微電子為例，從晶圓製造開始就有無數之線上檢測以確保晶圓製作之品質，在封裝時也會做不同程度之電性量測來達到品質控管。但微機電元件從晶圓製造開始就有無法利用線上檢測來量測結構相關之機械性質，來確保晶圓製作之品質，在封裝時更無法進行結構驅動特性量測來達到品質控管。也因如此，微機電元件常到封裝完成後才能測得

性能以判別好壞，這樣一來就失去改善品質之先機，而造成良率無法提升。因此，有效的晶圓製程線上機械性質量測方法與機台之建立，以及低成本晶圓級元件測試，皆可協助品質與良率之提升。

微機電元件的可靠度測試(Reliability)主要希望能測試結構的可信度與使用壽命。但因為微機電元件種類繁多，尚無標準規範可供參考，不若微電子元件有JEDAC為依據，更造成其發展之阻礙。目前 NIST與日本相關協會成立委員會針對可靠度量測定出規範，希望能加速微機電產業之發展。

結論

雖然微機電封裝佔整體成本約50~95%，但提供微元件專業封裝測試廠

仍是少數。主要在於微機電產品封裝測試需求是少量多樣、客制化(Customized)程度高，使得廠商進入門檻變高。而且某些封裝製程造成元件結構特性改變，常使元件產品化時間延誤。雖然台灣已有完整半導體代工整合之經驗，但在微機電產業仍需學習如何有效整合元件設計公司、元件代工與封裝廠，使其能站在同一平台資訊進行相關技術討論分享，來解決微結構造成之機械問題，如此才能加速

產品量產低價化。

參考文獻

1. Gerke, "MEMs Packaging", Ch.8 ,Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, Jan., 1999, USA.
2. 陶恕, "微機電元件市場應用趨勢及製造封裝探討", 電子與材料雜誌, 第11期, pp. 143 to 149。
3. 賴建芳、林裕城, "微機電系統製程之接合技術", 國立成功大學工科系。
4. 謝慶堂, "微機電封裝技術之簡介", 工業材料雜誌, 第193期, pp. 175 to 180。
5. NADIM MALUF, "An Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering"

名揚翻譯 翻譯界的典範 www.fmi.com.tw

本公司以專業、優質之翻譯見長
屢獲各公民營交通機構之倚重並推薦

優質筆譯 / 專業口譯 / 公證服務 / 人力派遣

Tel:02-2705-3335 Fax:02-2705-3330

E-Mail:famous@fmi.com.tw 台北市安和路二段七號七樓之一