



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本 (11)證書號數：TW I600609 B

(45)公告日：中華民國 106 (2017) 年 10 月 01 日

(21)申請案號：101146048

(22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 12 月 07 日

(51)Int. Cl. : *B81B7/02 (2006.01)* *B81C1/00 (2006.01)**H01L21/56 (2006.01)* *H01L21/3065(2006.01)**H03H9/02 (2006.01)* *H03H9/125 (2006.01)*

(30)優先權：2011/12/07 美國 61/567,877

(71)申請人：喬治亞理工研究公司(美國) GEORGIA TECH RESEARCH CORPORATION (US)  
美國

(72)發明人：柯爾 保羅 A KOHL, PAUL A. (US)；薩哈 拉賈許 SAHA, RAJARSHI (US)；弗里茲 納坦 FRITZ, NATHAN (US)

(74)代理人：閻啟泰；林景郁

(56)參考文獻：

TW 588441

CN 101094804A

US 2007/0273013A1

審查人員：曾維國

申請專利範圍項數：24 項 圖式數：11 共 50 頁

(54)名稱

MEMS 裝置之封裝相容晶圓級封蓋

PACKAGING COMPATIBLE WAFER LEVEL CAPPING OF MEMS DEVICES

(57)摘要

本發明揭示且主張一種有成本效益之用於微機電裝置(MEMS)之晶圓級封裝程序。具體而言，MEMS 裝置之可移動部分在呈晶圓形式時被囊封及保護，使得可使用商品引線框架封裝。塗飾聚合物(諸如，環氧環己基多面體寡聚倍半矽氧烷(EPOSS))已用作用以圖案化犧牲聚合物以及塗飾空氣腔室之遮罩材料。所得空氣腔室為清潔、無碎屑且穩固的。腔室具有在 MEMS 裝置之引線框架封裝期間耐受模製壓力之實質強度。已製造自  $20\mu\text{m}\times 400\mu\text{m}$  至  $300\mu\text{m}\times 400\mu\text{m}$  之寬範圍的腔室且該等腔室展示為機械穩定的。此等可能容納具有寬範圍之大小的 MEMS 裝置。已使用奈米壓痕調查腔室之強度，且使用分析及有限元素技術模型化腔室之強度。使用此協定封裝之電容式諧振器展示了清潔的感測電極及良好的功能性。

This invention discloses and claims a cost-effective, wafer-level package process for microelectromechanical devices (MEMS). Specifically, the movable part of MEMS device is encapsulated and protected while in wafer form so that commodity, lead-frame packaging can be used. An overcoat polymer, such as, epoxycyclohexyl polyhedral oligomeric silsesquioxanes (EPOSS) has been used as a mask material to pattern the sacrificial polymer as well as overcoat the air-cavity. The resulting air-cavities are clean, debris-free, and robust. The cavities have substantial strength to withstand molding pressures during lead-frame packaging of the MEMS devices. A wide range of cavities from  $20\mu\text{m}\times 400\mu\text{m}$  to  $300\mu\text{m}\times 400\mu\text{m}$  have been fabricated and shown to be mechanically stable. These could potentially house MEMS devices over a wide range of sizes. The strength of the cavities has been investigated using nano-indentation

and modeled using analytical and finite element techniques. Capacitive resonators packaged using this protocol have shown clean sensing electrodes and good functionality.

指定代表圖：

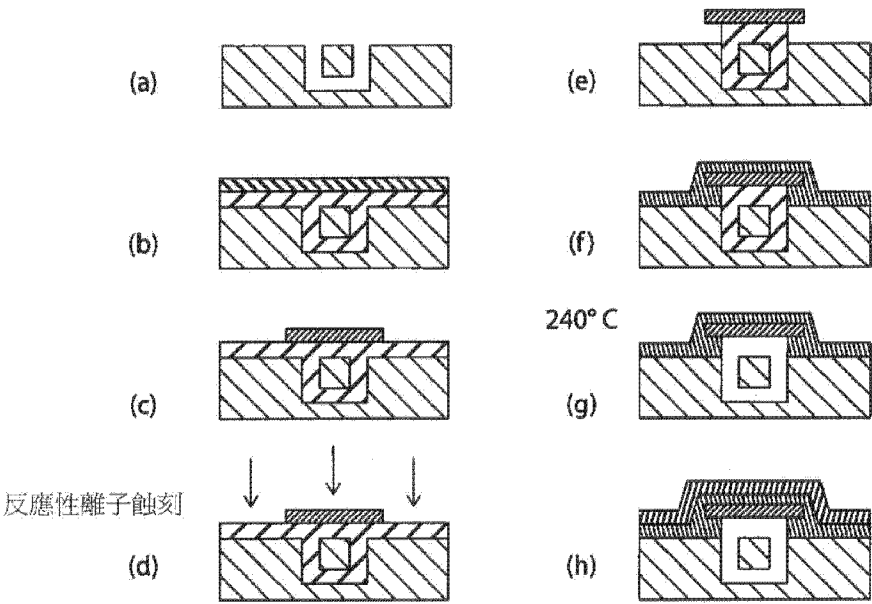


圖 1

## 發明摘要

※ 申請案號： 101146048

※ 申請日： 101/12/07

※IPC 分類：

B81B 7/02 (2006.01)

B81C 1/00 (2006.01)

H01L 21/56 (2006.01)

H01L 21/3065 (2006.01)

H03H 9/02 (2006.01)

H03H 9/125 (2006.01)

## 【發明名稱】(中文/英文)

MEMS 裝置之封裝相容晶圓級封蓋

PACKAGING COMPATIBLE WAFER LEVEL CAPPING OF MEMS

DEVICES

## 【中文】

本發明揭示且主張一種有成本效益之用於微機電裝置(MEMS)之晶圓級封裝程序。具體而言，MEMS 裝置之可移動部分在呈晶圓形式時被囊封及保護，使得可使用商品引線框架封裝。塗飾聚合物(諸如，環氧環己基多面體寡聚倍半矽氧烷(EPOSS))已用作用以圖案化犧牲聚合物以及塗飾空氣腔室之遮罩材料。所得空氣腔室為清潔、無碎屑且穩固的。腔室具有在 MEMS 裝置之引線框架封裝期間耐受模製壓力之實質強度。已製造自  $20\mu\text{m}\times 400\mu\text{m}$  至  $300\mu\text{m}\times 400\mu\text{m}$  之寬範圍的腔室且該等腔室展示為機械穩定的。此等可能容納具有寬範圍之大小的 MEMS 裝置。已使用奈米壓痕調查腔室之強度，且使用分析及有限元素技術模型化腔室之強度。使用此協定封裝之電容式諧振器展示了清潔的感測電極及良好的功能性。

## 【英文】

This invention discloses and claims a cost-effective, wafer-level package process for microelectromechanical devices (MEMS). Specifically, the movable part of MEMS device is encapsulated and protected while in wafer form so that commodity, lead-frame packaging can be used. An overcoat polymer, such as, epoxycyclohexyl polyhedral oligomeric silsesquioxanes (EPOSS) has been used as a mask material to pattern the sacrificial polymer as well as overcoat the air-cavity. The resulting air-cavities are clean, debris-free, and robust. The cavities have substantial strength to withstand molding pressures during lead-frame packaging of the MEMS devices. A wide range of cavities from  $20\ \mu\text{m} \times 400\ \mu\text{m}$  to  $300\ \mu\text{m} \times 400\ \mu\text{m}$  have been fabricated and shown to be mechanically stable. These could potentially house MEMS devices over a wide range of sizes. The strength of the cavities has been investigated using nano-indentation and modeled using analytical and finite element techniques. Capacitive resonators packaged using this protocol have shown clean sensing electrodes and good functionality.

**【代表圖】**

**【本案指定代表圖】：**第（1）圖。

**【本代表圖之符號簡單說明】：**

無

**【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：**

無

# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

## 【發明名稱】(中文/英文)

MEMS 裝置之封裝相容晶圓級封蓋

PACKAGING COMPATIBLE WAFER LEVEL CAPPING OF MEMS  
DEVICES

【0001】 本申請案主張 2011 年 12 月 7 日申請之美國臨時申請案第 61/567,877 號的權利，該案之全文以引用的方式併入本文中。

## 【技術領域】

【0002】 本發明係關於一種微機電系統 (MEMS) 裝置封裝。更具體而言，本發明係關於一種製造微機電系統 (MEMS) 裝置封裝之程序。

【0003】 【背景技術】最近，微機電系統 (MEMS) 結構及裝置之製造方面已取得許多進步。然而，以減少之成本進行恰當封裝仍為達成其總體潛能之關鍵挑戰 (見，例如，Fritz 等人，「Lead frame packaging of MEMS devices using wafer-level, air-gap structures」，NSTI-Nanotech 2011，2，2011，314-317 頁)。舉例而言，基於 MEMS 之產品的典型封裝費用可高達此產品總成本之 20%至 40%。因此，有成本效益之積體電路 (IC) 相容 MEMS 封裝程序將顯著改良 MEMS 裝置之總體潛能。

## 【發明內容】

【0004】 本發明揭示且主張一種有成本效益之用於微機電裝置 (MEMS) 之晶圓級封裝程序。

## 【圖式簡單說明】

## 【0005】

圖 1 展示根據本發明之具體實例的用於晶圓級封裝之程序流程。

圖 2A 及 2B 分別地展示根據本發明之具體實例的形成於較小模擬裝置上之腔室的不同放大倍率的 SEM 顯微照片，其展現犧牲層之無碎屑分解。

圖 3A、圖 3B 及圖 3C 分別展示在分解犧牲材料以形成腔室之後的破裂之薄塗飾層，具有自 60%之塗飾材料溶液之單一旋轉塗佈形成的厚的未破裂塗飾層之腔室，及具有自 40%之塗飾材料溶液之多次旋轉塗佈形成的厚的未破裂塗飾層之腔室。

圖 4A、圖 4B、圖 4C 及圖 4D 分別展示在第一時間及溫度下材料經由厚塗飾層不完全分解犧牲材料之後的具有殘餘犧牲材料之空氣腔室的橫截面視圖，在高於第一溫度之第二溫度下犧牲材料分解之後具有破裂塗飾層之空氣腔室的俯視圖，以及在最佳化時間及溫度下犧牲材料分解之後具有無殘餘物、機械穩固外觀之空氣腔室的俯視圖，及圖 4C 的橫截面視圖。

圖 5A 及 5B 分別地展示根據本發明之具體實例形成之用以封裝壓電裝置的大腔室，其中此等腔室展示寬溝槽及不平坦構形，同時提供具有無殘餘物、機械穩固外觀之腔室。

圖 6 展示以 4 mN 之力對具有  $1\ \mu\text{m}$  鋁塗飾之  $20\ \mu\text{m}$  寬之腔室的奈米壓痕會引起此腔室之完全坍塌（插圖展示腔室上之奈米壓痕點）。

圖 7A、圖 7B 及圖 7C 分別展示  $20\ \mu\text{m}$  寬之具有  $1\ \mu\text{m}$  之 Al 塗飾的腔室在 4 MPa 之壓力下的壓縮模製下保持完整， $50\ \mu\text{m}$  寬之腔室在 10 MPa 之壓力下的壓縮模製下完全坍塌，及  $50\ \mu\text{m}$  寬之腔室在 10 MPa 之壓力下的壓縮模製下僅展現  $0.5\ \mu\text{m}$  偏斜，其中  $1\ \mu\text{m}$  之 Al 塗飾被  $3\ \mu\text{m}$  之銅替換。

縮模製下僅展現  $0.5\ \mu\text{m}$  偏斜，其中  $1\ \mu\text{m}$  之 Al 塗飾被  $3\ \mu\text{m}$  之銅替換。

圖 8A 及圖 8B 分別展示壓縮腔室之正規化應力分佈及有效腔室設計可經由受控的犧牲材料分解而導致模製期間之較低應力/損壞。

圖 9 展示將在 8 小時內分解之聚碳酸酯的等溫 TGA。

圖 10A 及圖 10B 分別展示橫截面原位分解/固化晶片級封裝：藉由  $190^\circ\text{C}$  下之 PPC 分解形成的  $2\ \text{mm}$  直徑、 $18\ \mu\text{m}$  高之腔室 (A)；藉由  $185^\circ\text{C}$  下之 PEC 分解形成的  $2\ \text{mm}$  直徑、 $12\ \mu\text{m}$  高之腔室 (B)。

圖 11A 和 11B 分別地展示已封裝電容式諧振器裝置：裝置展示清潔感測電極 (圖 11A)；及裝置效能被成功地量測 (圖 11B)。

### 【實施方式】

【0006】 如本文中所使用，術語「腔室 (cavity)」將理解為意謂藉由分解犧牲材料而產生之空間。另外，應理解此術語包括如用於已知技術中的術語「空氣腔室 (air-cavity)」、「氣體腔室 (gas-cavity)」、「真空腔室 (vacuum-cavity)」、「氣隙 (air-gap)」及其他類似術語。

【0007】 如本文中所使用，術語「滲透 (permeate 及 permeation)」指氣體材料溶解至固體材料中，經由此固體材料擴散及自其蒸發之過程。

【0008】 當前存在用於 MEMS 結構及裝置之各種市售晶圓級封裝方法。此等晶圓級封裝方法尤其包括：PYREX®玻璃蓋（其具有與矽類似之熱膨脹係數）之界面結合；結合此等蓋與中間熔融材料（諸如低熔融溫度玻璃及焊料）；及使用表面微機械加工進行囊封。可藉由在適當高溫下將負電壓施加至玻璃而使玻璃蓋陽極結合至 MEMS 晶圓或藉由電漿活化結合來達成界面結合。對於此類型之結合，通常經由蓋或晶圓進行電饋通。使用中



間熔融材料可應用於使用側向電饋通之非平面表面。在使用表面微機械加工的情況下，通常藉由蝕刻犧牲層而製成腔室，接著藉由沈積密封材料而填塞移除犧牲層所需之任何開口，因而囊封 MEMS 結構/裝置。在需要真空腔室之情況下（通常在諸如諧振器及紅外線感測器之 MEMS 裝置的情況下），在適當低壓力下實現以上方法中之任一者的最終密封。用於電互連之電饋通結構對於晶圓級封裝為必需的。見 Esashi, 「Wafer level packaging of MEMS」, J. Micromech. Microeng. 18 (2008), 1-13 頁。

【0009】 氣隙結構或腔室已用於製造具有平面內及穿平面運動能力之 MEMS 及奈米機電系統 (NEMS) 的微表面及奈米表面微機械加工程序中（見，例如 Saha 等人，「Three dimensional air-gap structures for MEMS packaging」, Proceedings of the 2010 Electronic Components and Technology Conference, NV, 2010, 811-815 頁）。此等腔室結構使用用於隔離電部分與機械部分所需要之低溫可熱分解犧牲材料。塗飾材料通常用於此等結構上，且應容許應力及溫度影響以及可滲透至上述犧牲材料之分解副產物。在需要密閉式密封或增強之機械強度的情況下，可使用金屬塗飾（見 Gan 等人，「Getter free vacuum packaging for MEMS」, Sensors and Actuators A: Physical, 149, (2009), 159-164 頁）。總體而言，用於犧牲層、塗飾及密閉式密封之材料應與現有程序相容且提供優良的層間黏著。

【0010】 已公佈使用空氣腔室技術進行 MEMS 結構之晶圓級封裝的眾多報告。Joseph 等人使用經由薄  $\text{SiO}_2$  膜的 UNITY® 2303 聚合物分解以製造作為已封裝 MEMS 諧振器之部分的腔室（見，Joseph 等人，「Wafer-level packaging of micromechanical resonators」, IEEE Transactions on Advanced

Packaging, 30(1), 2007, 19-26 頁)。然而，Joseph 等人之處理方案為複雜的，此係因為首先將氧化物遮罩用以圖案化 UNITY 層。使用氧化物/聚合物 (AVATREL<sup>®</sup>) 塗飾以獲得機械強度且曝露結合襯墊。類似方法被用以封裝變容器及加速度計。

【0011】 在藉由 Monajemi 等人之空氣腔室方法封裝之後，觀察到 MEMS 裝置之效能的改良（見，Monajemi 等人，「Characterization of a polymer based MEMS packaging technique」，11th International Symposium on Advanced Packaging Materials: Processes, Properties and Interface, 2006, 139-144 頁）。Monajemi 等人成功地使用光可界定及非光可界定 UNITY 兩者形成腔室來封裝寬範圍之 MEMS 裝置。然而，儘管此處理方案藉由使用自身光可界定材料（諸如 UNITY）而簡化，但此等材料通常會留下殘餘物（見 Monajemi 等人「A low-cost wafer level MEMS packaging technology」，IEEE International Conference on MEMS, 2005, 634-637 頁）。Rais-Zadeh 等人亦使用 UNITY 作為犧牲聚合物且使用 AVATREL 作為塗飾材料來封裝可調諧電感器，然而由於 Rais-Zadeh 等人未使用自身光可界定 UNITY，因此單獨材料被用於其圖案化（見 Rais-Zadeh 等人「A packaged micromachined switched tunable inductor」，Proceedings of MEMS 2007, Japan, 2007, 799-802 頁）。Reed 等人開發含有空氣腔室之順應式晶圓級程序，所述空氣腔室提供高的晶片上電流且允許實現百萬兆位元頻寬（見 Reed 等人「Compliant wafer level package (CWLP) with embedded air-gaps for sea of leads (SoL) interconnections」，Proceedings of the IEEE 2001 International Interconnect Technology Conference, 151-153 頁）。

【0012】 現已發現用於 MEMS 結構/裝置封裝之腔室可在最終封裝程序期間（例如，在模製材料之固化期間）製造。舉例而言，發現環氧環己基多面體寡聚倍半矽氧烷（EPOSS）可用於圖案化犧牲材料（諸如聚丙烯碳酸酯（PPC））及提供作為塗飾之結構剛性（見 Fritz 等人「Photodefinable epoxycyclohexyl polyhedral silsesquioxane」，Journal of Electronic Materials，39(2)，2010，149-156 頁）。EPOSS 為混合有機/無機介電質，其具有重要的機械及化學穩定性以供用作電子裝置之微製造中的永久介電質。因此 EPOSS 可用以圖案化犧牲材料（例如，PPC），且用於腔室塗飾。因此，處理步驟之數目減少，此降低封裝之成本。已發現，三材料系統（PPC/EPOSS/金屬）可用以產生腔室，該等腔室可在晶圓級容納寬範圍之 MEMS 裝置而不管裝置大小及功能性如何。

【0013】 本文中描述之腔室系統亦具有根據晶片級封裝要求來改變環繞腔室之超結構的強度的靈活性。舉例而言，引線框架封裝包括在高壓力下模製且在高溫下固化之模製材料（諸如環氧樹脂）。儘管各種模製技術為已知的且被使用（例如，射出模製、壓縮模製及轉移模製），但已發現作為此等模製技術之一部分，根據本發明之具體實例可用以形成腔室。亦即，根據本發明之具體實例的含有 MEMS 裝置之各種腔室的封裝可藉由在上述模製程序期間或之後原位分解犧牲材料來執行。此尤其可用於大的半密閉引線框架封裝。根據一些具體實例，晶片級封裝在模製程序期間基本上保持所有犧牲材料，且犧牲材料之分解（腔室形成）在模製材料（諸如環氧樹脂）之固化步驟期間抑或其之後執行。以此方式，在模製步驟期間存在的犧牲材料防止腔室之任何坍塌，此係因為直至模製材料之固化期間或之 5

後才形成此腔室。因此，此原位方法之具體實例允許形成用於一系列封裝裝置之極大通道及腔室，包括密閉式密封可能不必要的情況。

【0014】 因此，根據本發明之實踐，提供一種用於製造晶圓級微機電系統（MEMS）裝置封裝的程序，其包含：

- a) 提供其上具有獨立可移動微機電結構之基板；
- b) 在該基板上形成可熱分解犧牲層，該犧牲層基本上囊封該獨立可移動微機電結構；
- c) 圖案化該犧牲層；
- d) 視需要形成鄰接之第二塗飾層，該第二塗飾層囊封該經圖案化犧牲層且覆蓋該基板之部分；
- e) 視需要將該基板耦接至晶片級封裝基板；
- f) 在第一溫度下在第一時段內藉由模製化合物囊封該基板，且若存在亦囊封該封裝基板，其中該犧牲層保持實質上存在；及
- g) 在第二溫度下固化該模製化合物使得該經圖案化犧牲層熱分解以形成環繞該獨立可移動微機電結構之氣體腔室。

【0015】 基板

【0016】 典型地，用於製造 MEMS 裝置之半導體基板中之任一者可在本發明之具體實例中用作基板或其部分。例示性材料包括（但不限於）矽、矽化合物、鍺、鍺化合物、鎵、鎵化合物、銦、銦化合物，或其他半導體材料及/或化合物。另外，此等基板可包括非半導體基板材料，包括介電材料（諸如玻璃、鑽石、石英及藍寶石）、金屬（諸如銅、金、銀或鋁）、陶瓷材料（諸如氧化鋁或碳化矽），或印刷線路板中發現的有機材料中之任

一者。接點自諸如金屬及/或金屬合金之導體（要滿足諸如黏著及熱性質之適當考慮）形成。

【0017】 根據本發明之一些具體實例，基板涵蓋矽材料。具體而言，基板為矽晶圓。在一些其他具體實例中，基板涵蓋非矽材料。合適的非矽材料包括（但不限於）先前列出的基板材料中之任一者。具體而言，非矽材料包括（但不限於）金屬、玻璃、陶瓷或塑膠材料，以及上文列出之其他材料。

#### 【0018】 犧牲層

【0019】 此項技術中已知之各種犧牲材料可用以形成供根據本發明之具體實例使用的犧牲層。如上文所指出，此種犧牲材料中之一者為聚碳酸酯。具體而言，聚丙烯碳酸酯（PPC）。PPC 為在存在催化劑的情況下在高壓力下聚合的二氧化碳與環氧丙烷之共聚物（見例如，Chen 等人「Copolymerization of carbon dioxide and epoxides with a novel effective Zn-Ni double-metal cyanide complex」，Journal of Applied Polymer Science，107，2008，3871-3877 頁）。高純度形式之 PPC 存在於常規交替單元中而主鏈中不存在醚鍵雜質。咸信 PPC 藉由鏈切斷及解鏈機制而分解。分解在低溫下經由解鏈而進行，此係因為環狀單體在熱力學方面優於直鏈聚合物（見 Du 等人「Synthesis and degradation behavior of poly(propylenecarbonate) derived from carbon dioxide and propylene oxide」，Journal of Applied Polymer Science，92，2004，1840-1846 頁）。在較高溫度下，鏈切斷與解鏈分解機制競爭。PPC 對於微電子裝置為有吸引力之犧牲材料，此係因為其在惰性及富氧氛圍中乾淨地分解為低分子量產物而殘餘物極少（見，Spencer 等人「Stabilization of the

thermal decomposition of poly(propylenecarbonate) through copper ion incorporation and use in self-patterning」, Journal of Electronic Materials, 40(3), 1350-1363 頁)。

【0020】 藉由分解 PPC 層且使分解產物滲透穿過塗飾因而離開腔室而形成腔室。亦可用作犧牲層之若干其他聚碳酸酯系統在文獻中為已知的。此等其他聚碳酸酯系統在通常不同於 PPC 之分解溫度的溫度下經歷熱分解。此等例示性聚碳酸酯包括（而不限於）聚乙烯碳酸酯（PEC）、聚環己烯碳酸酯（PCC）、聚環己烯丙烯碳酸酯（PCPC）、聚降冰片烯碳酸酯（PNC）及其類似者。應進一步注意，亦可使用此等聚碳酸酯中之一或多者的任何組合以及可自其形成之共聚物的任何組合。

【0021】 在本發明之其他具體實例中，亦提供可用以形成犧牲層之多種聚合物。此等聚合物之實例包括（不限於）聚降冰片烯、聚醚、聚酯、每一者之官能化化合物，及其組合。聚降冰片烯可包括（但不限於）烯基取代之降冰片烯（例如，環丙烯酸降冰片烯）。此等聚合物中之任一或多者亦可與上述一或多種聚碳酸酯相結合使用。

【0022】 根據本發明之一些具體實例，犧牲層之另一特徵為在曝露於合適輻射時形成圖案之能力。因此，上述聚合物中之任一者可被單獨使用或結合適當添加劑使用，其限制條件為所得調配物可合適地圖案化以及熱分解，如上文所描述。

【0023】 已知可將諸如光酸產生劑（PAG）之添加劑添加至聚碳酸酯組合物（諸如 PPC 組合物），不僅用以降低分解溫度亦用於圖案化。Fritz 等人已使用動態熱重量分析（TGA）展示不同聚碳酸酯在不同溫度下熱分解。舉例而言，PEC 在 165°C 下分解（50%重量損失），PPC 在 210°C 下分解且 PPC

及 PCPC 共聚物兩者在 275°C 下分解。因此，可取決於所製造之 MEMS 裝置的預期使用及所使用之基板材料的類型而將不同聚合物用以形成犧牲層。

見 Fritz 等人，「Polycarbonates as temporary adhesives」，International Journal of Adhesion & Adhesives，38 (2012)，45-49。

【0024】 另外，如上文所指出，各種其他添加劑/組份可添加至調配物或組合物，該調配物或組合物用於形成犧牲層使得可按需要定製熱分解輪廓及溫度。又，其他添加劑可用以更改處理性能，其包括增加或降低犧牲聚合物對熱及/或光輻射之穩定性。就此而言，添加劑可包括（但不限於）光引發劑及光酸引發劑。舉例而言，將合適 PAG 添加至聚碳酸酯通常降低聚碳酸酯之分解溫度。亦即，PAG 材料熱分解為酸，從而降低聚碳酸酯（例如，PPC）之分解溫度。當曝露於紫外線輻射時，在較低溫度下產生酸，從而在低至 100°C 之溫度下催化 PPC 分解。因此，在本發明之具體實例中的一些中，犧牲層進一步涵蓋 PAG。

【0025】 將引起上述結果之熟習此項技術者已知的 PAG 中之任一者可用於本發明。概括而言，可用於本發明之 PAG 為親核鹵化物（例如，二苯基銻鹽、二苯基銻鹽）及錯合金屬鹵化物陰離子（例如，三苯基銻鹽）。例示性 PAG 包括（但不限於）肆(五氟苯基)硼酸 4-甲基苯基[4-(1-甲基乙基)苯基銻（DPI-TPFPB））、肆(五氟苯基)硼酸參(4-第三丁基)苯基銻（TTBPS-TPFPB）、六氟磷酸參(4-第三丁基)苯基銻（TTBPS-HFP）、三氟甲磺酸三苯基銻（TPS-Tf）；三嗪（TAZ-101）；六氟銻酸三苯基銻（TPS-103）；RHODOSIL™光引發劑 2074（FABA）；三苯基銻雙(全氟甲烷磺醯基)醯亞胺（TPS-N1）；二(對第三丁基)苯基銻雙(全氟甲烷磺醯基)醯亞胺（DTBPI-N1）；

參(全氟甲烷磺醯基)甲基化物 (TPS-Cl)；參(全氟甲烷磺醯基)甲基化二-(對第三丁基苯基)鎢 (DTBPI-Cl)；六氟磷酸二苯基鎢、六氟銻酸二苯基鎢、六氟磷酸雙(4-(第三丁基)苯基)鎢、六氟銻酸雙(4-(第三丁基)苯基)鎢 (DTBPI-Tf)、三氟甲烷磺酸二苯基鎢、1,1,2,2,3,3,4,4,4-九氟丁烷-1-磺酸二苯基鎢；三氟甲烷磺酸雙(4-(第三丁基)苯基)鎢；1,1,2,2,3,3,4,4,4-九氟丁烷-1-磺酸雙(4-(第三丁基)苯基)鎢；及其組合。

【0026】 若單獨使用犧牲聚合物而無任何光敏添加劑（諸如 PAG），則圖案化可藉由其他已知方法中之任一者執行，諸如在形成覆蓋犧牲聚合物之圖案化層之後進行反應性離子蝕刻（RIE），或藉由任何其他合適方法。

【0027】 應進一步注意，可基於本發明之程序的後續步驟來進行犧牲層之適當選擇。舉例而言，若環氧樹脂材料在射出模製之後用作模製化合物（其典型地需要約 180°C 之固化溫度），則在大約相同溫度分解之合適犧牲材料將允許腔室產生及環氧樹脂固化同時進行。因此，可使用在此溫度範圍分解之犧牲材料，諸如聚乙烯碳酸酯（PEC）。有利地，所使用之犧牲材料大體上展現類似物理性質但以不同分解溫度為特徵。亦即，舉例而言，PEC 及 PPC 皆展現類似物理性質但展現不同分解溫度。分解溫度可進一步由諸如 PAG 之添加劑改質，如上文所描述。

【0028】 所揭示之犧牲組合物或調配物的具體實例包括（但不限於）犧牲聚合物及一或多種正型或負型組份。如上文所指出，正型或負型組份將輔助圖案化犧牲層。正型組份可包括如上文描述之光酸產生劑。

【0029】 負型組份可包括產生將引起犧牲聚合物之交聯的反應物之化合物。負型組份可包括諸如（但不限於）光敏自由基產生劑之化合物。



可使用替代負型組份，諸如 PAG（例如，在可交聯環氧化物官能化系統中）。

【0030】 負型光敏自由基產生劑為在曝露於光時分裂為兩種或兩種以上化合物之化合物，該等化合物中之至少一者為自由基。詳言之，負型光引發劑可包括（但不限於）雙(2,4,6-三甲基苯甲醯基)-苯基磷氧化物（IRGACURE 819，Ciba Specialty Chemicals Inc.）；2-苯甲基-2-二甲基胺基-1-(4-N-嗎啉基苯基)-丁酮-1（IRGACURE 369，Ciba）；2,2-二甲氧基-1,2-二苯基乙-1-酮（IRGACURE 651，Ciba）；2-甲基-1[4-(甲硫基)-苯基]-2-(N-嗎啉基)丙-1-酮（IRGACURE 907，Ciba）；安息香乙醚（BEE，Aldrich）；2-甲基-4'-(甲硫基)-2-N-嗎啉基-苯丙酮；2,2'-二甲氧基-2-苯基-苯乙酮（IRGACURE 1300，Ciba）；2,6-雙(4-疊氮基苯亞甲基)-4-乙基環己酮（BAC-E）及其組合。

【0031】 光活性化合物（諸如 PAG）可以按犧牲聚合物之重量計約 0.5%至約 5%的量存在。詳言之，PAG 可以按犧牲聚合物之重量計約 1%至約 3%的量存在。

【0032】 犧牲組合物之未由光酸產生劑及犧牲聚合物佔據的剩餘百分比（例如，自約 50%至約 99%）可大體上由溶劑組成，該溶劑諸如（但不限於）均三甲苯、N-甲基-2-吡咯啉酮、丙烯碳酸酯、苯甲醚、環己酮、丙二醇單甲醚醋酸酯、N-丁基醋酸酯、二乙二醇二甲醚、3-乙氧基丙酸乙酯及其組合。

【0033】 多種技術可用以將可熱分解犧牲層塗覆於基板上，例如旋轉塗佈、刮刀、濺鍍、疊層、網板或模板印刷、熔融分配、化學氣相沈積（CVD）及基於電漿之沈積系統或任何其他類似已知技術。

【0034】 晶片級封裝

【0035】 應理解，本文中對 MEMS 封裝之提及指代釋放機械結構及在其周圍形成保護性結構。亦應理解，本文中對晶片級封裝之提及指代針對向晶片或晶粒提供結構及環境保護並結合提供用於將此晶片電連接至另一部件之部件的封裝。例示性晶片級封裝包括（但不限於）單列及雙列封裝、球柵陣列及接腳格柵陣列、引線晶片載體及平整包裝（flatpak），其中此等例示性封裝中之每一者包括晶片級封裝基板。

【0036】 先前，在任何晶片級封裝之前將此 MEMS 封裝執行為相異程序，因而需要能夠耐受可能在晶片級封裝期間出現之任何應力的結構。有利地，根據本發明之具體實例在單一程序中提供 MEMS 封裝及晶片級封裝兩者。

【0037】 塗飾層

【0038】 如上文所指出，根據本發明之具體實例的 MEMS 封裝程序可僅使用犧牲層執行。有利地，具體實例之此特徵可更適合用於自身可圖案化，或可藉由添加合適添加劑（諸如上文描述之 PAG）來製成為可圖案化組合物之此等犧牲材料。亦如上文所提及，犧牲層之此圖案化亦可使用已知光微影及蝕刻技術中之任一者執行。另外，此犧牲材料大體上以優良機械、化學及物理性質為特徵，使得其將耐受如下文進一步描述之嚴格模製囊封條件。

【0039】 有利地，根據本發明之具體實例進一步涵蓋在圖案化犧牲層之前提供覆蓋犧牲層之第一塗飾層。各種有機/無機材料及/或化合物可用作塗飾層。用以形成塗飾層之塗飾材料的性質在腔室結構之設計中為重要的。大體而言，環繞腔室之塗飾層對 MEMS 裝置提供機械保護、電保護、

化學保護及/或環境保護。取決於特定 MEMS 裝置或特定應用，可需要不同等級之保護。大體而言，腔室為可含有未必為呼吸用空氣之氣體的圍封區，且在一些具體實例中，腔室處於真空條件下。腔室通常由超結構圍封。

【0040】 通常，封裝 MEMS 結構以確保保護裝置不受工作環境影響且保護環境不受裝置材料及操作影響。舉例而言，一種等級之保護提供保護以防干擾其他機械結構或物件以確保 MEMS 結構之結構完整性。在此類型之圍封中，塗飾層可由可耐受 MEMS 裝置之特定操作環境的一般嚴格性之材料製成。另一額外等級之保護可進一步提供保護以防曝露於氧或水（例如，密閉式圍封）。因此，對於此類型之保護，塗飾層大體上由在空氣腔室周圍提供氣密密封之金屬材料製成。另外，一些塗飾層亦可提供額外等級之保護，其進一步提供保護以防曝露於任何外部氣體。對於此最後等級之保護，在空氣腔室內部產生真空且塗飾層大體上由維持空氣腔室內部之真空的金屬材料製成。亦可需要能夠允許由犧牲層之分解形成的分解氣體及/或產物滲透及/或穿過的塗飾層。另外，在本發明之具體實例的一些中，亦可有利地提供第二塗飾層，其可囊封圖案化犧牲層及基板之覆蓋部分。

【0041】 因此，取決於所製造之 MEMS 的類型，眾多材料可用作塗飾層。適合作為塗飾層之例示性聚合物、化合物及/或材料包括（不限於）混合無機/有機介電化合物，諸如多面體寡聚倍半矽氧烷(POSS)。眾多 POSS 材料在文獻中為已知的，且所有此等單體及/或聚合化合物可用作本發明之塗飾層。POSS 以重要之膜性質為特徵，且具有具可用於交聯之官能化有機側基的剛性氧化矽籠。此 POSS 之實例為環氧環己基多面體寡聚倍半矽氧烷(EPOSS)。適合用作塗飾層之其他材料包括聚醯亞胺、聚降冰片烯、環氧樹

脂、以苯并環丁烯為主之聚合物、聚醯胺及聚苯并噁唑（PBO）。此等材料中之許多為市售的。舉例而言，可購得各種聚醯亞胺：Pyralin PI-2540、PI-2555、PI-2611、PI-2734、PI-2771 及 HD4000（HD Microsystems, Parlin, NJ）；Photoneece DL-1000 (Toray) 及 PWDC-1000（Dow Corning, Midland MI）。可獲得各種聚降冰片烯，如 Avatrel EPM、Avatrel 2090P 等（Promerus LLC, Brecksville, OH）。商業環氧樹脂尤其包括 SU-8 2025（Microchem Corp., Newton, MA）。可購得以苯并環丁烯為主之聚合物，如 Cyclotene 3022-63（Dow Chemical, Midland MI）。可購得 PBO，如 Sumiresin Excel CRC-8650（Sumitomo Bakelite, Japan）。塗飾層亦可使用上述技術沈積於基板上，該等技術諸如旋轉塗佈、刮刀、濺鍍、疊層、網板或模板印刷、化學氣相沈積（CVD）、基於電漿之沈積系統等。

【0042】 有利地，現已發現旋轉塗佈、光敏、混合無機/有機介電質（諸如 EPOSS）充當有效塗飾材料的用途。另外，現已發現，可藉由將光引發之催化劑添加至 EPOSS 而產生 EPOSS 之光可界定介電質形式。EPOSS 可溶解於均三甲苯中以製成 40%重量%或 60 重量%之溶液。按 EPOSS 之 1 重量%添加鎢光酸產生劑且按 EPOSS 之 0.33 重量%添加敏化劑以便使調配物在 365 nm 下為光敏的。因此，根據本發明之具體實例的此態樣，犧牲層之圖案化涵蓋首先圖案化第一塗飾層及將第一塗飾層之圖案轉印至犧牲層。

【0043】 有利地，現已發現，透過利用 EPOSS，現可能易於圖案化犧牲材料（諸如聚丙烯碳酸酯（PPC））而不需要將添加劑包括於犧牲材料中或移除僅可用於圖案化此犧牲層之層。因此，EPOSS 可保持作為塗飾以提供結構剛性。如上文所指出，EPOSS 為混合有機/無機介電質，其具有重

要的機械及化學穩定性以供用作電子裝置之微製造中的永久介電質。有利地，藉由利用 EPOSS 來圖案化 PPC 且作為腔室塗飾材料，處理步驟之數目得以減少且因此封裝之成本得以降低。有利地，根據本發明之具體實例亦可提供由犧牲層（例如，PPC）/塗飾層（例如，EPOSS）/保護層（例如，金屬）組成之三材料系統以產生腔室，該等腔室可在晶圓級容納寬範圍之 MEMS 裝置而不管裝置大小及功能性如何。

【0044】 在本發明之其他具體實例中，在圖案化犧牲層之後移除第一塗飾層，其中使用技術中已知之方法中的任一者來實現此移除以移除此圖案化塗飾層。一般而言，此移除程序涉及乾式蝕刻程序或濕式蝕刻程序。一種此程序為使用適於在受激發時產生電漿之氣體的乾式或電漿蝕刻（例如，反應性離子蝕刻（RIE）），其中此電漿提供展現在塗飾層與犧牲層之材料之間的足夠選擇性的蝕刻。

【0045】 在本發明之一些具體實例中，第一塗飾層自環氧環己基多面體寡聚倍半矽氧烷（EPOSS）形成。犧牲層及塗飾層之厚度可經定製以適合於所需 MEMs 裝置。因此，可形成各種厚度之犧牲層及塗飾層。舉例而言，在一些具體實例中，犧牲層之厚度自約  $1\ \mu\text{m}$  至約  $10\ \mu\text{m}$ 。在一些其他具體實例中，犧牲層之厚度自約  $2\ \mu\text{m}$  至約  $7\ \mu\text{m}$ 。

【0046】 在本發明之一些具體實例中，第一塗飾層之厚度自約  $0.1\ \mu\text{m}$  至約  $3\ \mu\text{m}$ 。在其他具體實例中，第一塗飾層之厚度自約  $0.5\ \mu\text{m}$  至約  $2\ \mu\text{m}$ 。

【0047】 在具有第二塗飾層之本發明之又其他具體實例中，此塗飾層之厚度自約  $0.1\ \mu\text{m}$  至約  $3\ \mu\text{m}$ ；而在其他具體實例中，此第二層之厚度自約  $0.5\ \mu\text{m}$  至約  $2\ \mu\text{m}$ 。

**【0048】 模製化合物**

**【0049】** 如上文所指出，根據本發明之具體實例製造的 MEMS 裝置可最終使用合適模製化合物囊封。可射出模製及/或壓縮模製之任何材料可用於此囊封。此合適材料包括已知熱塑性及/或熱固性材料中之任一者。此等材料之實例包括（不限於）聚酯、聚醯胺、聚醚、聚醚酮、聚醯亞胺、聚苯硫醚、環氧樹脂及其組合。此模製化合物可有利地含有某些無機填充材料（諸如玻璃、滑石、碳黑及其類似者）以便增強經囊封之 MEMS 裝置的機械性質。在本發明之一些具體實例中，所利用之模製化合物為環氧化合物。

**【0050】** 在本發明之一些此等囊封具體實例中，模製化合物之厚度自約 0.1 mm 至約 5 mm；而在其他此等囊封具體實例中，模製化合物之厚度自約 0.2 mm 至約 2 mm。

**【0051】 模製**

**【0052】** 本文中描述之腔室系統亦具有根據封裝要求來改變環繞腔室之超結構的強度的靈活性。舉例而言，如先前所指出，引線框架封裝大體上包括在高壓力下模製囊封劑。一般而言，使用壓縮模製、射出模製或轉移模製中之一者實現此高壓力模製。射出模製程序迫使模製化合物（例如，環氧樹脂模製化合物，EMC）在模具中之裝置周圍。此為用於晶片封裝之較傳統程序且使用高模製壓力（例如，10 MPa）。壓縮模製程序僅模製裝置之頂側且使用比射出模製低之壓力（例如，4 MPa 至 10 MPa）。壓縮模製通常用於晶片堆疊封裝。有利地，上述封裝方法中之任一者在模製程序期間提供犧牲材料之原位分解。此尤其可用於大的半密閉引線框架封裝。

新的晶片級封裝在模製程序期間保持犧牲材料，且一旦包覆模製材料為剛性的便在固化步驟期間執行分解步驟（腔室形成），從而防止腔室坍塌。原位方法允許用於密閉式密封並非必要的寬範圍之封裝裝置的極大通道及腔室之模製及釋放。對於需要密閉式腔室之具體實例，在模製之後，可藉由額外材料（通常為金屬）塗飾先前描述之封裝中之任一者以達成密閉性。

【0053】 通常，模製係藉由射出模製在自約 160°C 至約 200°C 之溫度下及自約 8 MPa 至約 12 MPa 之射出計示壓力下執行。

【0054】 在本發明之程序的另一具體實例中，犧牲層在自約 180°C 至約 250°C 之溫度下分解。一般而言，犧牲聚合物之分解以低速率及在穩定溫度範圍下執行，以便確保形成無碎屑之腔室且同時經由滲透或經由其他機制自塗飾層移除分解氣體。因此，若使用較高分解溫度，則犧牲層以較快速率分解，以下實施例中更詳細地論述此態樣。

【0055】 在根據本發明之又一具體實例中，進一步提供一種晶圓級微機電系統（MEMS）裝置封裝及用於製造此等裝置之程序。各種已知 MEMS 裝置、微流體裝置及微反應器可藉由本發明之程序製成。例示性裝置包括（不限於）電容式諧振器、變容器、加速度計、迴轉儀、壓電相關裝置及其類似者。在一些此等具體實例中，所封裝及/或製成之 MEMS 裝置為電容式諧振器。在本發明之其他具體實例中，所封裝及/或製成之 MEMS 裝置為加速度計。在又其他具體實例中，所封裝及/或製成之 MEMS 裝置為迴轉儀。在本發明之又其他具體實例中，所封裝及/或製成之 MEMS 裝置為電容式諧振器，或壓電相關裝置。

【0056】 在本發明之又一具體實例中，進一步提供一種晶圓級微機電

系統（MEMS）裝置封裝，其包含：

- a) 具有獨立可移動微機電結構之基板；
- b) 環繞該獨立可移動微機電結構之腔室；該腔室如所指出可為「氣體腔室」、「空氣腔室」或僅為真空；
- c) 安置於該腔室周圍之一或多個鄰接塗飾層；及
- f) 囊封該基板之至少部分的模製化合物，其中該腔室係藉由經圖案化犧牲層之原位熱分解而形成。

【0057】 在本發明之又一具體實例中，本發明之晶圓級微機電系統（MEMS）裝置封裝包含電容式諧振器。

【0058】 在本發明之另一具體實例中，亦提供一種晶圓級微機電系統（MEMS）裝置封裝，其包含：

- a) 具有獨立可移動微機電結構之基板，該基板係藉由模製化合物囊封；及
- b) 環繞該獨立可移動微機電結構且接觸該模製化合物之腔室。

【0059】 藉由以下實施例進一步說明本發明，出於說明之目的而提供以下實施例且該等實施例絕不限制本發明之範疇。

【0060】 實施例

【0061】 使用波希法在 100 mm 直徑矽晶圓中蝕刻深溝槽。此等溝槽類似於且表示實際電容及壓電 MEMS 裝置。溝槽寬度在  $2\mu\text{m}$  與  $6\mu\text{m}$  之間變化且溝槽深度為約  $6\mu\text{m}$ 。取決於裝置之類型，每一裝置被置放於 2 到 6 個溝槽中，且每一晶圓具有幾百個裝置。接著使用 PPC 或 PEC 作為犧牲層及 EPOSS 作為塗飾材料系統來執行晶圓級封裝。在完成封裝步驟之後，藉



由鑽石鋸分割晶圓且使用掃描電子顯微鏡（SEM）、奈米壓痕及用於金屬黏著之帶測試而加以特性化。

【0062】 轉向圖 1，展示本發明之具體實例中的一者的程序流。最初將 PPC 旋轉塗佈於矽溝槽（圖 1（a））上且在熱板上在 100°C 下軟烘烤 5 分鐘。對於較深及較寬的溝槽，需要若干旋轉塗佈步驟。在烘烤之後，PPC 厚度在 3  $\mu$ m 與 4  $\mu$ m 之間變化。爲了圖案化 PPC，以 4000 rpm 旋轉塗佈 EPOSS，從而導致 0.6  $\mu$ m 厚膜（圖 1（b））。將 EPOSS 在 85°C 下預烘烤 5 分鐘，以 365 nm 圖案化且在 85°C 下後烘烤 5 分鐘。使用異丙醇而噴霧顯影 EPOSS（圖 1（c））。使用導致 PPC/EPOSS 蝕刻速率選擇性爲 24 的 6% CHF<sub>3</sub> 及 94% O<sub>2</sub> 電漿來反應性離子蝕刻 PPC（圖 1（d））。PPC 蝕刻速率爲 0.66  $\mu$ m/min（圖 1（e））。接著將塗飾 EPOSS 旋轉塗佈爲 3  $\mu$ m 至 6  $\mu$ m 之厚度且予以圖案化（圖 1（f））。根據第一 EPOSS 層來烘烤塗飾 EPOSS。最後，使用如在 Wu, X.等人的「Fabrication of microchannels using polynorbornene photosensitive sacrificial materials」，Journal of The Electrochemical Society，150(9)，2003，H205-H213 頁中描述的程序使用逐步斜線上升率在氮氣（N<sub>2</sub>）環境中在 240°C 下分解 PPC 歷時 4 到 10 個小時。晶圓在金屬化之前經受短期氧電漿以改良金屬與 EPOSS 黏著。使鋁蒸發至 0.7  $\mu$ m 至 2  $\mu$ m 之厚度且對其圖案化以曝露電極區域（圖 1（g））。爲了獲得較剛性的塗飾，使用銅（1  $\mu$ m 至 3  $\mu$ m）以代替鋁。鈦（50 nm 厚）充當銅金屬塗飾之黏著層。表 1 中列出不同腔室類型及尺寸及塗飾厚度。

【0063】 表 1

| 模擬裝置 | 寬度（ $\mu$ m） | 長度（ $\mu$ m） | 金屬塗飾（ $\mu$ m） |
|------|--------------|--------------|----------------|
|------|--------------|--------------|----------------|

|           |         |         |                                                                                     |
|-----------|---------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 電容式（小）諧振器 | 10-50   | 300-400 | Al : 0.7 $\mu\text{m}$ , Cu : 1.5 $\mu\text{m}$ 、 3 $\mu\text{m}$                   |
| 電容式（大）諧振器 | 50-150  | 300-400 | Al : 0.7 $\mu\text{m}$ 、 2 $\mu\text{m}$ , Cu : 1.5 $\mu\text{m}$ 、 3 $\mu\text{m}$ |
| 壓電諧振器     | 150-200 | 300-400 | Cu : 1.5 $\mu\text{m}$                                                              |

【0064】 在製造之後，使用 Hitachi FE3500 掃描電子顯微鏡（SEM）檢查個別封裝的邊緣以查看是否存在熱機械破裂。使用聚焦離子束（FIB）（FEI Nova Nanolab）割截工具來進行溝槽之精密檢查。分割晶圓且檢驗橫截面之形狀及清潔度。分割並檢查小的及大的裝置。執行奈米壓痕以評估腔室之機械強度。使用 Hysitron 奈米壓痕器來開發壓力測試。奈米壓痕器使用 20  $\mu\text{m}$  直徑之錐球形尖端。在 30  $\mu\text{m}$  至 50  $\mu\text{m}$  寬之腔室之中心的測試位置在實驗期間不會遇到來自側壁之阻力。在室溫下以高達 8.5 mN 之力對腔室壓痕。將交叉影線帶測試用以判定較厚金屬塗飾之黏著強度（見，[http://www.defelsko.com/technotes/adhesion\\_methods.htm](http://www.defelsko.com/technotes/adhesion_methods.htm)）。在應用且撕開帶之後，接著檢查及評定切割區域。

【0065】 轉移模製由將環氧樹脂模製注射於裝置周圍呈所要形狀而組成。除非另外指出，否則在 175°C 下在 10 MPa 下執行轉移模製歷時 105 秒且接著在 175°C 下執行後模製固化歷時 8 小時。亦在若干封裝上完成壓縮模製。壓縮模製將模製化合物置於裝置上且施加相對低之壓力（例如，4 MPa）以形成封裝形狀。取樣本之橫截面以評估損壞之程度。執行拉曼光譜法以調查腔室中留下之碎屑。聚焦離子束影像證實在模製之前腔室無碎屑。此外，為了防止在模製期間歸因於高壓力之坍塌，藉由較厚銅塗層來金屬化大腔室。將鈦用作黏著層。模製後續封裝且觀察其是否有腔室損壞。

【0066】 使用 Ansys (ANSYS 13.0) 有限元素模型化來執行空氣腔室封

裝之二維機械分析。線性彈性各向同性模型假定了在聚合物與金屬層之間的完美黏著。將在高壓力下塗飾與晶圓之間的粗糙摩擦接觸（無滑動；無限摩擦係數）假設為邊界條件。藉由 PLANE42 元素來進行所有層之模型化：具有 4 個節點之 2D 結構。使用與 PLANE42 相容之 CONTACI71 及 TARGE169 元素來模型化 EPOSS 與晶圓之間的接觸。CONTACI71 及 TARGE169 元素兩者皆為線元素。自頂部施加模製壓力且量測腔室偏斜並與實驗情況比較。亦與標準解析解進行比較。研究不同金屬及厚度對腔室內之變形及應力分佈的影響。自模擬得出之結論有助於設計用於較大腔室之較堅固塗飾。

【0067】 因此開發之封裝方案已在大小為約  $100 \times 400 \mu\text{m}$  之實際電容式諧振器上成功地驗證。在封裝之後評估裝置之電效能。

【0068】 所研究之第一樣本為使用 40% EPOSS 作為用於圖案化 PPC 犧牲材料及腔室塗飾材料之遮罩材料而封裝的較小裝置。腔室寬度在  $20 \mu\text{m}$  與  $50 \mu\text{m}$  之間變化且長度在  $200 \mu\text{m}$  與  $600 \mu\text{m}$  之間變化。為了防止腔室破裂或斷裂，將 PPC 分解程序從恆定熱斜線上升率修改為恆定重量百分比分解速率。恆定分解速率允許分解產物更有序地擴散通過塗飾，從而避免高內部壓力。將聚合物之熱重量分析（TGA）用以判定恆定分解速率之參數。反應動力學可表示為 n 階阿瑞尼斯（Arrhenius）關係，如方程式 1 所示。

$$\tau = A e^{\frac{-E_a}{RT}} (1 - rt)^n \quad (1)$$

其中 r 為分解速率，A 為前指數因子， $E_a$  為活化能（kJ/mol），T 為溫度（K），且 t 為時間（秒）。判定分解反應為一階（ $n=1$ ），其中前指數因子（A）及活化能（ $E_a$ ）分別為  $9 \times 10^{12} \text{ min}^{-1}$  及 120 kJ/mol。方程式 1 可針對溫度（T）與分解時間（t）重新配置，如方程式 2 所示。將 0.25 wt.%/min 之分解速率

用以分解 PPC。未觀察到腔室之降級。

$$T = \frac{Ea}{R} \left[ \ln \frac{A(1-r)^n}{r} \right]^{-1} \quad (2)$$

【0069】 SEM 橫截面展示於圖 2 (A) 及圖 2 (B) 中且展現具有穩固堅實塗飾之無碎屑腔室。塗飾穩定性允許腔室在塗飾下保持原始 PPC 結構之形狀。使用 FIB (圖 2B) 對溝槽的精密檢查亦展示清潔的腔室。除來自 FIB 之材料之無意中的沈積之外，溝槽無碎屑。PPC 可在旋轉塗佈期間形成不均勻形狀，此導致剛好在溝槽上方之塗飾內的偶然下沉。只要塗飾不與裝置區域接觸，此等下沉就不影響 MEMS 裝置之功能性。然而，由於腔室高度在溝槽上方減小，所以此等區域在接觸或射出模製期間仍為易受損的。又，若溝槽寬度增加，則此等下沉變大。藉由改變聚合物黏度及旋轉塗佈條件來調整 PPC 厚度可減輕非平面問題。旋轉塗佈多個層，繼之以在室溫下乾燥 (亦即，軟烘烤) 可改良回流至溝槽中之量。室溫軟烘烤防止 PPC 熱回流至溝槽中且多個層改良裝置特徵之平面化。

【0070】 針對不同腔室尺寸調整塗飾調配物以提供較好均勻度。對於大腔室 (寬度 > 100  $\mu\text{m}$ )，薄塗飾層傾向於在 PPC 分解期間破裂且塗飾不能提供支撐腔室所必要的機械強度，如圖 3 (A) 中所示。改變 EPOSS 對溶劑比有助於調節塗飾之性質。聚合物濃度可自 40% 升至 60% 以用於較好地控制塗飾均勻度及厚度。60% EPOSS 調配物導致在熱分解期間較低之膜破裂程度 (與 40% 調配物相比)。較厚膜改良腔室之邊緣的覆蓋及平面化，如圖 3 (B) 所示。或者，40% EPOSS 調配物之若干旋轉塗佈產生無破裂腔室，其中邊緣覆蓋與 60% EPOSS 類似，同時維持整體較薄的膜，如圖 3 (C) 所示。在圖 3 (C) 中，腔室被從中間劈開且因此展示波浪表面構形。當使用

較厚塗飾時降低分解斜線上升率，以便降低壓力積聚。

【0071】 現轉向圖 4 (A)，此說明 4 小時分解程序的長度不足以完全分解 PPC。較高分解溫度導致塗飾歸因於分解期間之壓力積聚而破裂，如圖 4 (B) 所示。慢斜線上升率，繼之以長時間保持溫度對於形成具有尖銳側壁之接近完美空氣腔室為必要的。在此等實驗中， $0.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$  之斜線上升率及保持於  $240^{\circ}\text{C}$  歷時 6 至 8 小時對於寬度自  $50\ \mu\text{m}$  至  $150\ \mu\text{m}$  之腔室為必要的，見圖 4 (C)。必須稍微修改用於封裝電容式諧振器 ( $\sim 50$  至  $150 \times 400\ \mu\text{m}$ ) 之方案以執行大於  $150$  至  $300 \times 400\ \mu\text{m}$  之裝置的晶圓級封裝。

【0072】 除相當大 ( $\sim 200\ \mu\text{m}$  寬及  $500$  至  $600\ \mu\text{m}$  長) 之外，此等裝置具有複雜構形。藉由使用較厚塗飾 (60% 聚合物) 及多個旋轉塗佈，現可能在犧牲聚合物之 10 小時分解狀態之後成功地封裝此等複雜幾何形狀。發現所得腔室 (圖 5) 為清潔且機械上穩定的。因此，對於較小裝置 (寬度小於  $150\ \mu\text{m}$ )，40% 聚合物之多個旋轉塗佈與 6 至 8 小時之分解時間便足夠。然而，寬度大於  $150\ \mu\text{m}$  之裝置需要 60% 聚合物混合物之多個旋轉塗佈與較長分解時間。分解時間取決於 PPC 之厚度。較寬腔室需要較厚 PPC 膜以防止腔室在分解或模製期間坍塌。

【0073】 使用奈米壓痕來評估腔室塗飾之穩固性。對於  $3\ \mu\text{m}$  之 EPOSS 塗飾 (40% EPOSS 調配物) 及  $0.7\ \mu\text{m}$  厚鋁金屬化，在  $4\ \text{mN}$  下觀察到  $3.5\ \mu\text{m}$  高之腔室的完全坍塌，如圖 6 所示。此轉化為  $51\ \text{MPa}$  之腔室強度。測試寬度自  $10\ \mu\text{m}$  至  $40\ \mu\text{m}$  之腔室。將尖端置放於腔室中間以最小化側壁效應。表 2 中列出奈米壓痕結果。若鋁被  $1.5\ \mu\text{m}$  厚之銅替換；則歸因於銅與鋁相比具有較高彈性模數，剛性增加。如表 2 中概述，腔室在  $8.46\ \text{mN}_5$  下

偏斜  $1.3\text{ }\mu\text{m}$ 。偏斜類似於  $2\text{ }\mu\text{m}$  之鋁塗飾。此展示對於具有大偏斜之空氣腔室設計，可藉由增加塗飾材料之模數及/或增加塗飾厚度來防止空氣腔室坍塌。

【0074】 表 2

| 金屬 | E (GPa) | t ( $\mu\text{m}$ ) | F <sub>max</sub> (mN) | d <sub>max</sub> ( $\mu\text{m}$ ) |
|----|---------|---------------------|-----------------------|------------------------------------|
| Al | 70      | 0.7                 | 4                     | 3.5                                |
| Al | 70      | 2                   | 8.5                   | 1.1                                |
| Cu | 128     | 1.5                 | 8.5                   | 1.3                                |

【0075】 一旦產生晶圓級封裝腔室，接著可分割及模製該等腔室以用於引線框架封裝。使用環氧樹脂模製化合物（EME-G700E，Sumitomo Bakelite，Japan）來模製腔室。觀察到，具有  $0.7\text{ }\mu\text{m}$  之鋁塗飾且寬度為  $20\text{ }\mu\text{m}$  之初始腔室能夠耐受  $4\text{ MPa}$  之模製壓力（圖 7（A））。然而，其在  $10\text{ MPa}$  之壓力下完全坍塌（圖 7（B））。使用拉曼光譜法研究圖 7（B）中之腔室內的碎屑且光譜展示為拋光材料。觀察到較大腔室（ $75\text{ }\mu\text{m}$  寬）在兩個壓力下完全坍塌。若以  $3\text{ }\mu\text{m}$  厚之銅塗飾更換鋁塗飾，則腔室能夠耐受較高壓力。觀察到寬達  $100\text{ }\mu\text{m}$  之腔室能夠耐受  $10\text{ MPa}$  之壓力且僅稍微變形（圖 7（C））。為了增加腔室強度，對於特定腔室寬度，需要增加金屬厚度或彈性模數。增加腔室高度亦將為優點，此係因為必須有較大變形才能造成裝置故障。然而，此將需要較厚 PPC 塗飾且隨後需要較厚 EPOSS 塗飾以用於保形覆蓋。在某一模製壓力下之腔室偏斜密切地匹配如下文解釋之 FEM 及分析模型。增加 EPOSS 塗飾厚度將影響腔室強度；然而 EPOSS 之彈性模數約為  $4\text{ GPa}$ ，其比鋁或銅低得多。歸因於殘餘應力，較厚金屬層亦可有問題。

【0076】 將 2D FEM 模型用以理解模製期間之腔室偏斜的壓力極



限。針對特定組態計算正規化 Von Mises 應力。如自圖 8 所見，FEM 模型展示具有  $0.7\ \mu\text{m}$  厚的鋁的  $40\ \mu\text{m}$  寬之腔室在 4 MPa 及 10 MPa 之壓力下的偏斜。在 4 MPa 之壓力下，所量測偏斜為  $1.5$  至  $2\ \mu\text{m}$ ，其基本上與  $1.5\ \mu\text{m}$  之模擬值相同。在 10 MPa 之壓力下，實驗腔室完全坍塌至表面，從而不展示腔室之存在。然而，10 MPa 模擬展示腔室之中心的坍塌。模擬僅包括彈性性質。完全坍塌可涉及塗飾之塑性變形。

【0077】 將 FEM 結果與先前導出之分析模型（矩形凸起方程式）比較以使自有限元素技術獲得之偏斜值相關，如方程式 3 所展示。見 Vlassak 等人，「A new bulge test technique for the determination of young modulus and Poisson ratio of thin-films」，Journal of Materials Research，7(12)，3242-3249 頁。

$$P = \frac{2ht\sigma_0}{a^2} + \frac{4h^3Et}{3a^4(1-\nu^2)} \quad (3)$$

其中  $P$  為模製壓力。考慮塗飾材料性質，其中  $E$  為彈性模數， $\nu$  為柏松比，且  $\sigma_0$  為初始膜應力。變數  $a$ 、 $t$  及  $h$  指代腔室之幾何形狀。值  $a$  為腔室之寬度的一半， $t$  為塗飾之厚度，且  $h$  為塗飾自其初始位置之最大偏斜的高度。

【0078】 假設塗飾之彈性模數由金屬-聚合物複合物之金屬部分主導，因為金屬之模數比聚合物之模數大約 30 倍。發現退火之電沈積銅膜之初始膜應力  $\sigma_0$  約為 30 MPa 至 100 MPa，此取決於來自文獻之厚度。見，例如，Huang 等人，「Stress, sheet resistance, and microstructure evolution of electroplated Cu films during self-annealing」，IEEE Transactions on Device and Materials Reliability，10(1)，2010，47-54 頁。當使用文獻值進行初始計算時，方程式之第一項顯著小於第二項。假設對於估計腔室之偏斜的進一步計

算，第一項可忽略。兩個可控設計因子為金屬厚度及腔室高度之調整以防止完全偏斜。

【0079】 如圖 8 中所展示，對於 40 MPa 及 10 MPa 之壓力，對應偏斜值分別為  $2\ \mu\text{m}$  及  $2.8\ \mu\text{m}$ 。此等值匹配實驗值及 FEM 值兩者。可經由對厚度及退火條件之最佳化來進一步減小塗飾中之總體應力及空氣腔室之偏斜。舉例而言，藉由在側壁中形成  $30^\circ$  之斜坡，觀察到沿著腔室側壁之最大應力減小 10%。經由圖案化及 PPC 之回流將腔室自筆直側壁結構改變為傾斜側壁將有助於最佳化腔室，該腔室更能抵抗如先前公佈之應力。自方程式 3 發現  $3\ \mu\text{m}$  之銅塗飾在 10 MPa 之壓力下的總偏斜為  $0.56\ \mu\text{m}$ ，此與圖 7 (C) 中之實驗偏斜相同。

【0080】 發現 EPOSS 與基板，以及 EPOSS 與金屬塗飾之間的黏著為極佳的。然而，為了增加腔室強度，需要較厚金屬塗飾。當使用較厚金屬塗飾（例如， $2\ \mu\text{m}$  鋁）時，威信電子束沈積期間的殘餘應力足夠大到引起鋁與 EPOSS 之間的黏著失效。在金屬沈積之前使用氧電漿清潔以改良黏著。對於較厚銅塗飾，以低電流密度將銅電鍍於濺鍍晶種層上，繼之以在  $180^\circ\text{C}$  下退火 1 小時以減小內部應力。在退火之後，金屬膜展現極佳黏著。

【0081】 上文呈現之結果展示存在眾多加強塗飾及製造更寬之腔室的方法。然而，金屬厚度（例如，金屬黏著及殘餘應力）存在限制，且腔室形狀之最佳化具有有限益處。為了製造顯著更寬之腔室，開發產生半密閉晶片級封裝之新方法，其防止腔室在模製期間坍塌。在上文描述之程序中，在注射模製之前緩慢地分解 PPC。塗飾經設計以耐受模製壓力。在模製期間，環氧樹脂囊封劑迅速硬化。新方法在初始模製步驟期間將犧牲聚



合物留於腔室中。一旦囊封劑已硬化，腔室中之犧牲聚合物便可分解，從而在囊封劑之後模製固化期間產生腔室。由於在 PPC 分解期間囊封劑為剛性的，因此對腔室之大小限制極少且不必將金屬支撐件用於模製程序。

【0082】 此原位腔室產生程序需要配合於後模製固化溫度-時間循環內。典型後模製固化條件為在 175°C 至 190°C 之間歷時 8 小時。因此，需要選擇犧牲材料以便在此溫度-時間剖面內完全分解。犧牲材料亦必須足夠穩定以便不會在環氧樹脂囊封劑並非剛性之模製早期階段分解。

【0083】 收集一組聚碳酸酯之等溫 TGA 資料以識別在模製期間保持完整且在後模製固化期間仍將分解的材料。圖 9 展示 PPC 在 190°C 之重量改變及 PEC 在 185°C 之重量改變。分解緩慢地發生，而完全分解發生在目標八個小時時段內。在等溫掃描之前幾分鐘內很少發生分解，其對應於在高壓力下在模具中之時間。針對保持於單一溫度之樣本量測如圖 9 中所展示的重量百分比改變。可藉由將聚合物樣本保持於不同溫度來改變重量改變之速率（亦即，圖 9 中之曲線的斜率）。若使用較高溫度，則聚合物中之每一者將更快速地失去重量。如上文已論述，Spencer 等人將 PPC 的重量改變量化為溫度及其他添加劑之函數。Spencer 等人藉由將 TGA 資料擬合至如上文論述之一種形式之阿瑞尼斯方程式來捕捉重量改變之細節。將來自不同供應者之幾批 PPC 的資料擬合至阿瑞尼斯方程式 1。此研究示範時間及溫度皆為重要的且可被獨立地調整。可在較低溫度下藉由等待較長時間或藉由在較短時間量內升高溫度達成相同量之重量損失。見 Spencer 等人，「Decomposition of poly(propylene carbonate) with UV sensitive iodonium salts」，Polymer Degradation and Stability 2011，96，686-702 頁。

【0084】 所調查之第三犧牲聚合物為具有 3 wt.% PAG 負載之 PPC。此混合物在目標溫度下比純淨聚合物分解得快，且可留下來自 PAG 負載的殘餘物。使用 EPOSS 遮罩繼之以 RIE 來圖案化每一材料，如上文所描述。腔室為 1 mm 及 2 mm 直徑的圓及正方形且高度為  $10\ \mu\text{m}$  及  $18\ \mu\text{m}$ 。以  $3\ \mu\text{m}$  之 EPOSS 塗飾來塗佈圖案化犧牲材料以密封腔室以用於分割及處置。在分割之後，在  $175^\circ\text{C}$ 、10 MPa 下射出模製該等腔室歷時 100 秒。腔室集合在  $185^\circ\text{C}$  及  $190^\circ\text{C}$  下分解及固化歷時整 8 個小時。接著取腔室之橫截面以用於檢驗。具有 PAG 之 PPC 腔室在模製條件下坍塌，如自 TGA 資料所預期。此歸因於在環氧化合物變剛性之前犧牲材料快速分解。在  $185^\circ\text{C}$  下使用 PPC 形成之腔室在 8 個小時分解之後具有少量殘餘 PPC，然而相同腔室在  $190^\circ\text{C}$  固化，從而產生清潔結構，如圖 10 (A) 中所展示。PEC 腔室在  $185^\circ\text{C}$  以上完全分解，從而給出清潔腔室。歸因於在圖案化及塗飾期間 PEC 之回流，圖 10 (B) 中之 PEC 腔室稍微變形。PPC 及 PEC 腔室皆不展現大小或形狀限制。形成 1 至 2 mm 之正方形及圓的良率為高的，且預期可形成大的多之腔室，此係因為當犧牲材料分解時極小力施加於結構上。

【0085】 已使用高縱橫比多晶矽及單晶矽 (HARPSS) 製造程序在絕緣體上矽基板上製造高效能、高頻率單晶矽電容式諧振器。見 Pourkamali 等人，「Low-impedance VHF and UHF capacitive silicon bulk acoustic wave resonators - Part I: Concept and fabrication」，IEEE Transactions on Electron Devices, 54(8), 2007, 2017-2023 頁。此等裝置含有與圖 10 中展示之結構大小相同的腔室，除了以下事實：在 SOI 晶圓中製造溝槽且蝕刻氧化物，因而釋放懸臂以形成具有金屬結合襯墊之功能裝置。使用 EPOSS/PPC/Al 系統

對此等裝置執行晶圓級封裝。在封裝之後，用電測試該等裝置以查看其封裝完整性且隨後分割該等裝置以用於 SEM 分析。圖 11 (A) 展示裝置橫截面之 SEM 顯微照片。觀察到無碎屑腔室。量測裝置效能，如圖 11 (B) 中所展示。由於不能在封裝之前量測裝置效能，因此不可能分析封裝對效能之影響。然而，在分割之後觀察到清潔感測電極表面，其展示封裝對裝置效能之可忽略影響。量測裝置效能且在對於伴隨裝置為典型的 141 MHz 之諧振頻率下觀察到 29 dB 之損失。損失類似於此等裝置之公佈值。見例如 Pourkamali 等人，「Low-impedance VHF and UHF capacitive silicon bulk acoustic-wave resonators— Part II: Measurement and characterization」，IEEE Transactions on Electron Devices，54(8)，2007，2024-2030 頁。

【0086】 現有材料之簡單性及使用在此封裝方法之可靠性方面振奮人心。已測試此等腔室之溫度循環及熱-機械可靠性。此等腔室在 175°C 之溫度/8 小時及 10 MPa 壓力下之模製程序期間保持完整。

【0087】 此等實施例清楚地說明本發明之實用性，其中已成功地將包含 PPC/EPOSS/金屬之三材料系統用以製造空氣腔室以在晶圓級封裝 MEMS 裝置。空氣腔室在大小及形狀上靈活、機械穩固且無碎屑。執行奈米壓痕以估計腔室之機械強度。對具有不同金屬塗飾之腔室執行壓縮/射出模製。較強及較厚金屬塗飾提供較佳腔室強度。將 2D FEM 分析用以使實驗觀察結果相關。FEM 及分析方程式皆能夠預測腔室在所施加之模製壓力下的變形行為。使用用於產生大腔室晶片封裝之原位犧牲分解/環氧樹脂固化模製步驟產生新穎的半氣密封裝。另外，使用此程序成功地封裝及特性化電容式諧振器裝置集合。

【0088】 儘管已藉由先前實施例中的某些說明本發明，但其不應解釋為受限於此；實情為，本發明涵蓋如前文揭示之一般區域。可在不脫離本發明之精神及範疇的情況下製作各種修改及具體實例。

【符號說明】

無

## 申請專利範圍

1. 一種用於製造一晶圓級微機電系統(MEMS)裝置封裝之程序，其包含：
  - a) 提供具有一獨立可移動微機電結構之一基板；
  - b) 形成覆蓋該基板之一可熱分解犧牲層，其中該犧牲層基本上囊封該獨立可移動微機電結構；
  - c) 圖案化該犧牲層；
  - d) 在一第一溫度下在一第一時段內藉由模製化合物囊封該基板，其中該犧牲層保持實質上存在；及
  - e) 在一第二溫度下固化該模製化合物使得該經圖案化犧牲層熱分解以形成環繞該獨立可移動微機電結構之一腔室。
2. 如申請專利範圍第 1 項之程序，其中該基板包含一矽材料。
3. 如申請專利範圍第 2 項之程序，其中該基板為一矽晶圓。
4. 如申請專利範圍第 1 項之程序，其中該基板包含一非矽材料。
5. 如申請專利範圍第 1 項之程序，其中該犧牲層自一材料形成，該材料選自由聚碳酸酯、聚降冰片烯、聚醚、聚酯及其組合組成的群組。
6. 如申請專利範圍第 1 項之程序，其中該犧牲層自聚碳酸酯形成，該聚碳酸酯選自由聚丙烯碳酸酯(PPC)、聚乙烯碳酸酯(PEC)、聚環己烯碳酸酯(PCC)、聚環己烯丙烯碳酸酯(PCPC)、聚降冰片烯碳酸酯(PNC)及其組合組成的群組。
7. 如申請專利範圍第 1 項之程序，其中該犧牲層自聚丙烯碳酸酯(PPC)形成。
8. 如申請專利範圍第 1 項之程序，其中該犧牲層自聚乙烯碳酸酯(PEC)形成。
9. 如申請專利範圍第 6 至 8 項中任一項之程序，其中該犧牲層進一步包含光酸產生劑(PAG)。

10. 如申請專利範圍第 9 項之程序，其中該光酸產生劑（PAG）為二苯基鎂鹽或三苯基鎂鹽。
11. 如申請專利範圍第 9 項之程序，其中光酸產生劑（PAG）選自由肆(五氟苯基)硼酸 4-甲基苯基[4-(1-甲基乙基)苯基鎂（DPITFPFB）、肆(五氟苯基)硼酸參(4-第三丁基苯基)鎂（TTBPS-TPFPB）及六氟磷酸參(4-第三丁基苯基)鎂（TTBPS-HFP）組成之群組。
12. 如申請專利範圍第 1 項之程序，其進一步包含在圖案化該犧牲層之前，提供覆蓋該犧牲層之一第一塗飾層，其中該第一塗飾層自聚合物形成，該聚合物選自由環氧環己基多面體寡聚倍半矽氧烷（EPOSS）、聚醯亞胺、聚降冰片烯、環氧樹脂、以苯并環丁烯為主之聚合物、聚醯胺及聚苯并噁唑（PBO）組成之群組。
13. 如申請專利範圍第 12 項之程序，其中圖案化該犧牲層包含首先圖案化該第一塗飾層及將該第一塗飾層之圖案轉印至該犧牲層。
14. 如申請專利範圍第 13 項之程序，其中在該犧牲層之該圖案化之後移除該第一塗飾層。
15. 如申請專利範圍第 12 項之程序，其中該第一塗飾層自環氧環己基多面體寡聚倍半矽氧烷（EPOSS）形成。
16. 如申請專利範圍第 1 項之程序，其中該犧牲層具有自約  $1\ \mu\text{m}$  至約  $10\ \mu\text{m}$  之厚度。
17. 如申請專利範圍第 12 項之程序，其中該第一塗飾層具有自約  $0.1\ \mu\text{m}$  至約  $3\ \mu\text{m}$  之厚度。
18. 如申請專利範圍第 1 項之程序，其中該模製化合物具有自約  $0.1\ \text{mm}$  至約  $5\ \text{mm}$  之厚度。
19. 如申請專利範圍第 1 項之程序，其中該模製化合物具有自約  $0.2\ \text{mm}$  至約  $2\ \text{mm}$  之厚度。

20. 如申請專利範圍第 18 或 19 項之程序，其中該模製化合物為環氧化合物。
21. 如申請專利範圍第 1 項之程序，其中該模製藉由一射出模製在自約 160°C 至約 200°C 之溫度下及在自約 8 MPa 至約 12 MPa 之射出計示壓力下執行。
22. 如申請專利範圍第 1 項之程序，其中該犧牲層在自約 180°C 至約 250°C 之溫度下分解。
23. 一種晶圓級微機電系統（MEMS）裝置封裝，其由申請專利範圍第 1 項之程序製成。
24. 一種電容式諧振器，其根據申請專利範圍第 1 項之程序封裝。

圖式

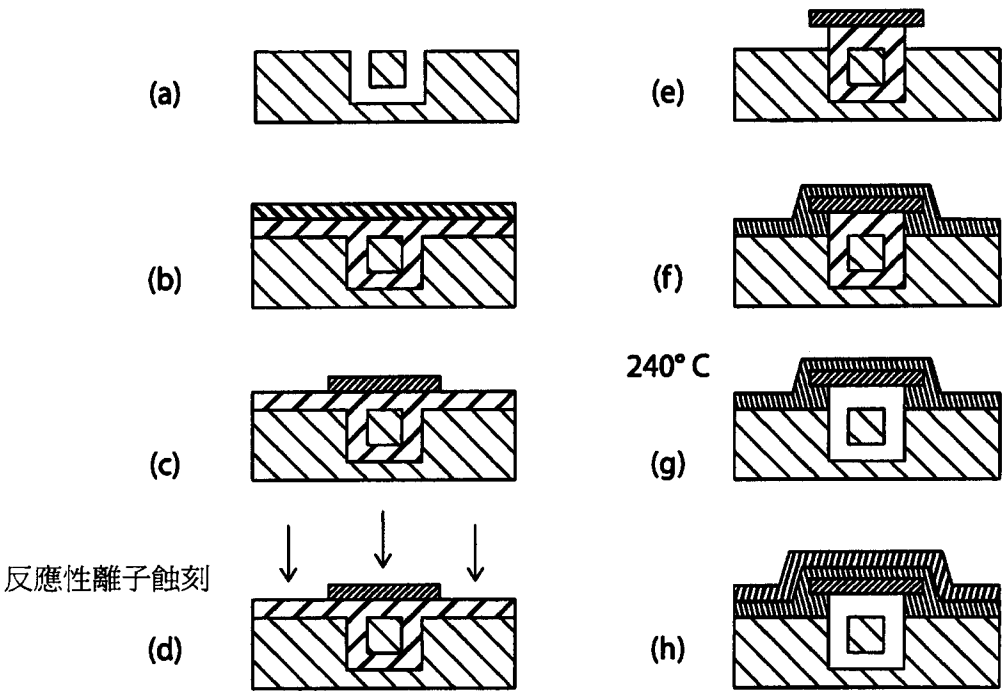


圖1