

發明專利說明書

年 月 日 修正替換頁
101. 7. 11

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：94136230

※ 申請日期：2005 年 10 月 17 日

※IPC 分類：H01L 41/08

一、發明名稱：(中文/英文)

41/22

以壓電轉換器形成元件的微機電元件與方法

MICROELECTROMECHANICAL DEVICE AND METHOD OF
FORMING A DEVICE WITH A PIEZOELECTRIC TRANSDUCER

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

美商·富士軟片迪瑪提斯股份有限公司

FUJIFILM Dimatix, Inc.

代表人：(中文/英文)

比博安德魯斯

BIBL, ANDREAS

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國新罕布夏州黎巴嫩市埃特納路 109 號

109 Etna Road, Lebanon, NH 03766, U.S.A.

國 籍：(中文/英文)

美國/U.S.A.

三、發明人：(共 4 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 比博安德魯斯/BIBL, ANDREAS

2. 希金森約翰 A/HIGGINSON, JOHN A.

3. 曼佐克里斯多夫/MENZEL, CHRISTOPH

4. 禾辛敦保羅 A/HOISINGTON, PAUL A.

國 籍：(中文/英文)

- 1.美國/USA
- 2.美國/USA
- 3.美國/USA
- 4.美國/USA

四、聲明事項：

☐ 主張專利法第二十二條第二項 ☐ 第一款或 ☐ 第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

☒ 申請前已向下列國家(地區)申請專利：

【格式請依：受理國家(地區)、申請日、申請案號 順序註記】

☒ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

美國；2004年10月15日；10/967,012

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

伍、中文發明摘要：

本發明係揭示具有壓電致動器(104)之結構的微機電元件。壓電島部分可藉由將切口(145)形成在厚層壓電材料中；將切口壓電層(107)接附至一具有蝕刻特徵之本體(200)；以及碾壓該壓電層至一小於切口(140)深度之厚度的方式形成。導電材料(158,210)可形成在壓電層上以形成電極(106,112)。

陸、英文發明摘要：

Microelectromechanical systems with structures having piezoelectric actuators (104) are described. The piezoelectric islands can be formed, in part, by forming cuts (145) into a thick layer of piezoelectric material, attaching the cut piezoelectric layer (107) to a body (200) having etched features and grinding the piezoelectric layer to a thickness that is less than the depths of the cuts (140). Conductive material (158, 210) can be formed on the piezoelectric layer to form electrodes (106, 112).

柒、指定代表圖：

(一)、本案指定代表圖為：第 1A 圖。

(二)、本代表圖之元件代表符號簡單說明：

- 100 MEMS 元件
- 104 壓電致動器
- 106 上電極
- 109 壓電層
- 110 轉換結構
- 112 底電極
- 118 膜狀物
- 200 本體
- 205 腔室

捌、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

玖、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關於形成微機電元件之壓電致動器。

【先前技術】

壓電材料在受到機械應力會形成電力或電磁。或者，施加電壓通過壓電材料時會形成反壓電性 (converse piezoelectricity)，亦即，當施加電壓時，壓電材料會出現機械變形，且反壓電性會致使壓電材料中有相當高的彎曲力。此兩種形成電力及反壓電性的特性常用於電子及機械元件中，例如致動器及感應器等轉換器。複合轉換器 (multiple transducers)，即包括制動器及感應器的結合物，便可相互結合於微機電系統 (MEMS) 中。

MEMS 通常具有利用習知半導體製程技術形成於半導體基材中的機械結構。MEMS 可包括單一結構或多個結構。MEMS 具有電子元件，其中每一電子訊號都是藉由啟動 MEMS 中各結構而致動或形成。

其中一種 MEMS 包括一本體，其具有數個形成在該本體內的腔室，以及一形成在該本體外表面上的壓電致動器。該壓電致動器具有一層壓電材料，例如陶瓷，以及用於傳送電壓的元件，例如電極。壓電致動器的電極可將電壓施加於壓電材料、或傳送在壓電材料變形時所產生的電壓。

一種具壓電致動器之 MEMS 類型為微流噴射元件。致

動器可包括能藉數個電極致動、致使壓電材料朝向元件腔室變形的壓電材料。此種變形致動器可加壓該腔室，移出腔室中的流體(例如藉由噴嘴的方式)。各結構元件(包括致動器、腔室及噴嘴)皆可影響該射出多少流體。在具有多個結構的 MEMS 中，對各通過 MEMS 的結構而言，形成均勻尺寸的元件可改善 MEMS 的均勻度表現，例如射出流體量的均勻性。然而在嘗試加工各結構以使 MEMS 中其他結構尺寸落於幾微米內時，形成均勻結構便將面臨挑戰。

【發明內容】

本發明大致係描述微機電元件，該元件具有一本體及數個壓電島(piezoelectric islands)，其具有第一表面、面對該第一表面的第二表面，以及連接該第一及第二表面的第三平面。該等壓電島具有實質包括壓電材料顆粒的表面，且其相對而言不含鬆散的壓電材料顆粒。導電材料位於第一表面上，而該等壓電島的第二表面上亦有導電材料。該等壓電島之至少一者係大致位在接近數個腔室之一對應腔室處。該等壓電島之至少一者在第三表面上具有導電材料，第三表面上的導電材料係電性接觸第一及第二表面上的導電材料。

於另一態樣中，本發明大致係描述微機電元件，該元件具有數個腔室。該元件也具有轉換層(transducer layer)，該轉換層有數個轉換器，各轉換器大至位於鄰近數個腔室之一對應腔室處，各轉換器包括一由該本體支撐

的壓電島。該壓電島係由第一表面及面對該第一表面的第二表面所界定，該第一及第二表面大致平坦，且第一表面大致平行於第二表面。該轉換層及該本體間設有一連接層。該連接層係延伸於該轉換層中的至少兩轉換器之間。

於另一態樣中，係描述形成具有壓電轉換器之元件的方法。壓電材料本體的第一表面係連接至半導體材料。壓電材料本體的第二表面則形成有數個凹口，該等凹口均具有壁面。在形成凹口後，壓電材料本體的第二表面會接附至元件本體。在將壓電材料本體接附至元件本體後，半導體材料會由壓電材料本體之第一表面移除。

本發明之潛在優點可包括一或多個(或不包含)下列所述。在形成導電層之前形成切入壓電材料的接地便可形成繞組電極(wrap-around electrodes)。此等繞組電極可形成壓電材料相對側(相對於有電極形成之側)上的電極接觸區。繞組電極可電性接觸電極及電極連接區。軟性電路可藉由將其僅接觸壓電材料一側的方式接附至元件及接地電極兩者。

因為腔室本體的靈敏度對形成致動器之製程沒有影響，故由接附至腔室本體之前先予處理的壓電材料形成壓電致動器的方式會增加製程步驟(可用於形成壓電材料)的變化。在將壓電材料連接至腔室本體前先予分割，可降低或排除腔室本體中形成的切口量，藉以減少腔室本體中的裂縫。將壓電材料塊切的較壓電致動器中最後壓電層的深度為厚、並將壓電材料碾至最後壓電層的所欲厚度，便可

形成一群均勻厚度的壓電致動器。當初始壓電材料塊的切口較最後壓電層的厚度為深時，鋸條片(saw blade)的磨損及半徑對壓電致動器的均勻度的影響就不會太大。均勻厚度的致動器可提供均勻壓電反應予所施加的驅動電壓。均勻的壓電反應可使得 MEMS 中結構間有類似表現。當類似電量施加至各結構致動器時，在流體射出 MEMS 中均勻的壓電反應便可使得各結構射出均勻流體量。因此，維持均勻厚度的壓電致動器便可維持自 MEMS 中該等結構射至另一 MEMS 結構的流體量。於形成一致動器中，在連接材料至腔室前先切口壓電材料可排除該等致動器間壓電材料的凸點(tabs)，藉以降低該等結構間的干擾。

壓電材料可在加工前先連接至操控層。操控材料可控制壓電材料受熱時的膨脹。當加熱特定壓電材料(例如銦鈦酸鉛)時，材料會以不同速率膨脹。當材料再回到室溫時，材料可能無法立即回復其預熱尺寸。由於溫度增加時，矽的膨脹是以可預測且是以固定速率膨脹，因此若腔室本體及操控層兩者都由矽所形成，操控層便可控制壓電材料在加熱結合製程期間的膨脹，使壓電材料以與腔室本體膨脹速率大致相同的速率作膨脹。因此，發生在加熱期間的偏差便可減少。此外，在壓電材料加工期間，操控層可藉由機械結合元件予以固定，並藉結合元件降低加工期間對壓電材料的潛在傷害。當機械操控元件直接固定壓電材料且壓電材料因太薄而無法同時固定並加工時，便可對原先不太可能處理的操控層進行額外的製程。操控層也可包括校

正特徵，以助壓電材料中致動器先驅物正確對齊 MEMS 本體中的該等腔室。該操控層可較壓電層為寬。校正特徵可位於壓電層的外側區域中。

本發明一或多個實施例的細節均載於附加圖示其下文說明中。然本發明的其他特徵、元件及優點將可在參照說明、圖示及申請專利範圍後輕易領會。

【實施方式】

本發明係提供一種用於形成具有數個結構之 MEMS 的方法，其中該等結構各含有壓電致動器。如第 1A、1B 及 1C 圖所示，MEMS 元件 100 具有一支撐壓電致動器 104 之本體 200，該本體 200 具有複合轉換器結構 110。本體 200 具有數個形成在一材料層中的腔室 205。該等腔室 205 可閉絕於外界氛圍（例如位於一壓力轉換器中）、或開放於外界氛圍（例如至射出流體）。本體 200 可為單一材料層，或者，該本體 200 可建構為多層結合在一起，或單層材料或多層材料。

壓電致動器 104 可包括一上電極 106、一壓電層 109 以及一底電極 112。壓電致動器 104 可包括一形成在腔室 205 上的膜狀部 118。該膜狀部 118 可將腔室 205 與壓電層 109 隔絕。於一實施例中，底電極 112 係藉由導電繞組 280 電性連接至底電極接觸區 211。於一實施例中，該底電極 112 可與其他底電極 112 連接。該導電繞組 280 係形成在接地切口 140 中，下文將再予詳述。絕緣層（未示出）例

如氧化層可位於底電極 112 及本體 200 之間。於一實施例中，本體 200 可作為底電極。若本體形成底電極，僅有上電極 106 及壓電層 109 需要形成壓電致動器。也可選擇其他電極配置，例如電極採並行(side-by-side)配置。結合材料層（例如黏著層）可選擇性設在壓電層 109 及本體 200 之間。

電路（未示出）可於底電極接觸區 211 處電性連接該底電極 112，並接至頂電極 106。電路可施加電壓至電極。所施加的電壓可啟動壓電層 109，致使壓電材料進行接觸。當壓電材料接觸時，接觸會使所連接的膜狀部 118 偏向腔室 205，並加壓腔室 205。於一實施例中，加壓腔室 205 會使流體由腔室 205 射出並噴向噴嘴 101。於另一實施例中，腔室 205 未以致動器加壓，而是藉由環境方式加壓（或洩壓）。腔室 205 中壓力的改變會使壓電層 109 進行接觸，藉以產生可由電極 112、106 傳遞、並由電路感應的電壓。

如第 1B 圖所示，於一實施例中 MEMS 可由兩列流體噴射結構桿建構而成，以使兩列面向元件中心及噴嘴的結構以大致直線的方式排列。該等結構各具有一沿著腔室 205 長度的縱向中心，其中一列結構的中心可對齊另一列結構中心。結構截面係圖示出第一列結構中心及第二列結構之虛影（第二結構的腔室係以虛影表示）。絕緣切口 168 可形成在噴嘴 101 上，以讓彼此面對的流體噴射結構可具有能電性及物理性彼此隔絕的致動器。

複合壓電致動器中，各壓電致動器為 MEMS（具有多個結構）之一結構的一部份，且可由單層壓電材料形成。此方式可讓複合致動器同時進行平行處理。為簡明起見，形成用於單結構壓電致動器的方法將參照大多數圖示予以描述。壓電層 109 及本體 200 可作切口或蝕刻以使各 MEMS 能與其他 MEMS 分隔。於一實施例中，係蝕刻切割道 103 並於本體 200 中形成鋸口 (saw cuts) 102。MEMS 可沿著切割道 103 及鋸口 102 作人工分離。如第 25 圖所示，本體 200 及壓電層 109 可個別處理，並於後段製程中相結合。

如第 2 及 25 圖所示，形成壓電致動器係由提供一起始壓電材料層開始（步驟 305），例如鋇鈦酸鉛（壓電層 107），然而也可使用其他壓電材料。於一實施例中，PZT 密度約 7.5g/cm^3 或更高，例如約 8g/cm^3 。壓電常數 d_{31} 可約為 200 或更高。經 HIP 處理的壓電材料則為日本 Sumitomo Piezoelectric Materials 上市的 H5C 及 H5D。H5C 材料表觀密度約 8.05g/cm^3 而 d_{31} 約 210。H5D 材料表觀密度約 8.15g/cm^3 而 d_{31} 約 300。基材一般約 1cm 厚，且可視為所欲工作厚度。壓電材料可由加壓、刮板 (doctor blading)、胚片 (green sheet)、凝膠或沈積法等技術形成。壓電材料的製造已於 Piezoelectric Ceramics (Academic Press Limited, 1971) 中由 B. Jaffe 做過討論，其全文係合併於此以供參考。包括熱壓等的形成方法，已描述在第 258-9 頁中。然也可使用單晶壓電材料，例如鎂鈮酸鉛 (PMN，

由賓州 T R S Ceramics 公司所上市)。塊狀 P Z T 材料的壓電係數 (d)、介電常數、耦合係數、韌度及密度較由濺鍍、網版印刷或凝膠形成的 P Z T 材料為高。

此等特性可藉由在接附至本體前先焙燒材料的技術建立於壓電材料中。例如，採模造及自體焙燒（朝與支撐件相反方向）的壓電材料具有可利用高壓將材料裝入模子（加熱或不加熱）的優點。此外，通常需要少許的添加物例如流動劑或結合劑。焙燒製程時可使用高溫（如 1200-1300 °C），以作較佳的燒成或晶粒成長。與利用凝膠或濺鍍技術形成的壓電層不同的是，塊狀壓電材料中的晶粒寬度約二到四微米。焙燒溫度（例如富含鉛的環境下）可用以減少陶瓷氧化鉛因高溫的損失。模造部外表面可能會有氧化鉛損失或其他劣化者可切除並丟棄。材料也可以熱均壓（Hot Isostatic Pressing, HIPs）處理，於熱均壓處理期間陶瓷也會受到高溫。於焙燒或在一塊壓電材料焙燒後可進行熱壓連接製程（Hipping process），且其可用以增加密度、降低空孔及增加壓電常數。熱壓連接製程可於氧氣或氧氣/氫氣環境下進行。

壓電材料起始層厚度可約 100 至約 400 微米間，例如介約 200 至約 300 微米厚。壓電材料具有一底面 113 及一頂面 115，其中底面 113 最後會是最接近腔室本體的面。

如第 3 圖所示，操控材料層 135（例如矽）係社於壓電層 107 的上表面 115 上。操控層 135 材料可與用於形成本體 200 的材料相同。操控層 135 可提供一層以固定及傳

送壓電層 107，以讓壓電層 107 於製程期間不受影響。如下文將再予詳述者，受熱及連結期間，操控層 135 也可控制壓電層 107 的膨脹。操控層 135 厚度可介於 400 至 1000 微米，然而實際厚度並不特別重要。於一實施例中，操控層 135 叫壓電層 107 為寬。

如第 4 圖所示，操控層 135 可結合至壓電層 107（步驟 313，見第 25 圖）。結合可藉由將一黏結物（例如聚合的苯並環丁烯）施加於壓電層 107 或操控層 135，並接著將兩層彼此按壓而為之。黏結物可接著利用加熱組件的方式固化。

參照第 5 圖，壓電層 107 可接著薄化以使之較致動器（第 1 圖元件 109）壓電部最後所欲厚度為厚，但較壓電材料起使層為薄（第 25 圖，步驟 318）。於一實施例中，壓電層 107 係經薄化以使厚度小於約 200 微米或約 50 微米。

為薄化壓電層 107，可使用準確的碾壓技術（例如水平碾壓）以形成具有平滑、低空孔表面型態的高均勻性薄層。於水平碾壓中，工件係安置於旋轉吸盤上，該吸盤具有一加工至高平坦公差的參考面。工件暴露的表面與水平碾壓輪接觸，並於高公差處對齊。碾壓可形成平坦及平行表面，如約 0.25 微米或更小（如約 0.1 微米或更小）並於基材上形成 5nm Ra 或更小的表面粗細度。碾壓也會形成均勻殘餘應力。

適合的精確碾壓設備為亞利桑納州 Chandler 市 Cieba

Technologies 公司所上市的 Toshiba Model UHG-130C。基材可以粗糙輪碾壓後再以平滑輪碾壓。適當的粗糙及平滑輪係分別具有 150 粒量 (grit) 及 2000 粒量的人造鑽石樹脂材料。適當的碾壓輪則由日本 Adoma 或 Ashai Diamond Industrial 公司所上市。

碾壓處理的一實施例係使用下列參數。工件轉軸以 500rpm 操作，而碾壓輪轉軸則以 1500rpm 操作。對利用粗糙輪的前 50-300 微米而言，X 軸推進速為 10 微米/分；而對利用平滑輪的後 50-100 微米而言，X 軸推進速為 1 微米/分。冷卻劑為 18megohms-cm 去離子水。

如第 5A 圖所示，在碾壓後，壓電層實質上平坦表面會有穩固附著的晶粒及鬆散壓電材料顆粒，以及由壓電材料及碾壓流體微粒製成的糊狀物 119。碾壓處理可劈裂大多數壓電材料顆粒，以及一些鬆散顆粒。如第 5B 圖所示，在碾壓之後，壓電材料可於 1% 的氟硼酸 (HBF_4) 溶液中清洗，以移除碾壓所導致的表面傷害。由碾壓處理而鬆散的壓電材料顆粒大致移除後，會留下小凹口 121，同時留下穩固附著的晶粒 120。潔淨處理也可移除任何留在壓電材料表面上的多餘材料，例如糊狀物 119。表面型態可以利用具有 Metroview 軟體的 Zygo model Newview 5000 干涉儀作測量，其係由 Zygo 公司 (Middlefield, CT) 所上市。

如第 6 圖所示，接地切口 140 係設於壓電層 107 的第二表面 113 (步驟 324，第 25 圖)。壓電層 107 係經鋸切或切除以形成接地切口 140。當繼而結構完成時 (第 1 圖元

件 109)，接地切口 140 的製作可使其延伸如致動器壓電部最後厚度般深或更深。於一實施例中，接地切口 140 約四十微米深，而完成的致動器中壓電材料層厚度則介約十五至三十五微米。接地切口 140 的切口底部截面係呈圓形。

參照第 7 圖，其係圖示一壓電層 107 實施例的底面圖。圖示多個切口遍及壓電材料整個表面，以表示形成的複合致動器。接地切口 140 沿壓電層 107 底部寬度延伸夠深，可使各壓電致動器都具有接地切口 140。為簡化製造，接地切口 140 可延伸壓電層 107 整個寬度。於所示實施例中，壓電層 107 底部會與具有十八個晶粒 150 的本體對齊，其等位置則以虛影表示。一對接地切口可通過各晶粒，因為各晶粒 150 包括兩列結構，且兩列各將需要各自連接至接地電極。

如第 8 圖所示，導電層 158 係形成在壓電層 107 底表面 113 上（步驟 327，第 25 圖）。導電層 158 最後會形成底電極，以及可自底電極電性接觸壓電層 107 上表面的導電繞組 280。導電繞組 280 部位在接地切口 140 的壁面上。塗層可藉由真空沈積（例如濺鍍）方式形成。用於沈積的導體可包括銅、金、鎢、錫、氧化銦錫（ITO）、鈦、鉍、金屬結合物或其他適於作為電極的材料。於一實施例中，導電層包括鈦-鎢、金-錫的堆疊層。

參照第 9 圖，絕緣切口也穿設該導電層 158 並進入壓電層 107（步驟 333，第 25 圖）。絕緣切口可將壓電致動器的壓電材料與鄰近壓電致動器的壓電材料分隔開，以降低

並有時消除鄰近致動器間的干擾。絕緣切口設的較壓電層最後厚度為深。於一實施例中，切口並未如設有切口的壓電層 107 總厚度般深。於一實施例中，絕緣切口 165 至少為 15 微米深。若接地切口 140 沿設於壓電層 107 的 X 軸，絕緣切口 165 便可沿壓電層 107 的 Y 軸設置，以使接地切口 140 垂直於絕緣切口 165。絕緣切口 165 係在形成導電層步驟後設置，以使未含有導電材料的切口可沿著其垂直壁，而與接地切口 140 不同。

如第 10 圖所示，額外的軸絕緣切口 168 可平行於接地切口 140 形成。此等軸絕緣切口 168 可用於具有兩列結構的 MEMS 元件中，以將相面對鄰近結構的壓電致動器分隔開，例如第 1C 圖中結構 130 及 131。壓電層 107 底面圖係顯示接地切口 140，以及可選擇性設置的 X 軸絕緣切口 168 及沿著 Y 軸的絕緣切口 165，各個晶粒的對應位置以虛影表示。此絕緣切口 165 係設於該對應於印刷晶粒位置 152 的區域中。

參照第 11 圖，校準切口 171 係形成在壓電層 107 的底表面 113 中（步驟 336，第 25 圖）。切口 171 可用於連續校準步驟中，下文將再予詳述。校準切口 171 整個延伸至壓電層 107 並部分延伸至操控層 135。於一實施例中，校準切口深度約 80 微米。校準切口 171 可沿著壓電層 107 的 X 軸（亦即，平行於接地切口）或沿著 Y 軸。校準切口 171 可設於壓電層 107 的外圍部，例如與印刷晶粒位置 152 相對應之壓電層 107 的外側區域，例如印刷晶粒位置 152

及壓電層 107 邊緣之間。校準切口 171 並未與其後形成各個致動器的壓電層 107 部分重疊。或者，若操控層 135 較壓電層 107 為寬，則校準切口 171 可設於壓電層 107 外側之區域中的操控層 135 中。

如第 12 圖所示，校準狹口 182 係設於壓電層 107 中(步驟 340，第 25 圖)。校準狹口 182 可藉由插入一鋸條(saw)至操控層 135 上表面中的方式形成，此可形成一半導體輪廓切口。為降低破壞或弱化組件(壓電層 107 及操控層 135)的風險，校準狹口 182 係垂直於校準切口 171，並僅設一對校準狹口。校準狹口 182 深度僅需夠與校準切口 171 相交。如第 13 圖所示，通過操控層 135 的俯視圖便顯現出切口與狹口的相交。通孔 185 可用於對齊壓電層 107 及本體。

參照第 14 圖，係揭示具有數個腔室 205 的本體 200 以用於連接壓電層 107。該等腔室 205 彼此相間隔以使其在壓電層 107 與本體 200 接觸時，腔體 205 會與導電層 158 (位於絕緣切口 165 之各者間)對齊。腔體 205 可更窄，寬度與各絕緣切口 165 間之壓電層 107 相同或更寬。

本體 200 可由多層或單一層形成。當本體由多層形成時，該等層可彼此結合以形成層壓結構。若該等層各為相同材料(例如矽)時，將該等層彼此連接便可形成具有幾乎無法察覺接縫的塊狀本體，如描述於 2003 年 10 月 10 日申請之美國臨時申請案第 60/510,459 號，標題為「Print Head with Thin Membrane」乙文中，其全文係合併於此以供參考。腔體可由一可彎曲且可傳遞壓電層 107 之移動至

腔體的膜狀物覆蓋。

於一實施例中，本體 200 為一流體噴射元件，經建構用於噴射微滴或流體束，例如墨水。除腔體 205 外，本體可具有一墨水傳遞路徑，用以流體連接該腔體 205 至一儲存墨水的儲槽。腔體 205 也可包括一濾器結構（未示出），以避免碎屑隨墨水流過腔體 205。腔體 205 可藉由下降路徑連接至出口，例如噴嘴。

連接層 193 可形成在本體 200 上，例如藉由旋佈一層黏結材料於其上。連接層 193 可包括一黏著物（例如 BCB）。或者，連接層 193 可形成在導電層 158 上。連接層 193 可非常薄，例如約 0.1 至 0.3 微米。

參照第 15 圖，壓電層 107 係經定位並對齊本體 200（步驟 344，第 25 圖）。更明確而言，壓電層 107 及本體 200 係對齊 Y 軸，以使分隔切口 165 對齊本體 200 中該等腔體 205 間的壁面 208。於一實施例中，壓電層 107 係對齊 X 軸，以使接地切口 140 不位在腔體 205 上。

若本體 200 係由矽形成，便可用紅外線相機看出壁面 208 位置。紅外線光可大致穿透平滑的矽表面，以讓相機檢測到矽本體 200 中形成的特徵。校準標記（alignment mark）可形成在矽本體 200 的周圍部。通孔 185 可與校準標記對齊，以將壓電層 107 對齊本體 200，藉以使絕緣切口 165 對齊壁面 208。

如第 16 圖所示，在校準後，導電層 158 或本體 200（取決於何者表面施有黏著物）會與連接層 193 接觸（步驟

349, 第 25 圖)。若使用 BCB 作為黏著物, 本體 200 及壓電層 107 會彼此固定在一起並被加熱。於一實施例中, 組件係被加熱至約 200°C 大約 40 個小時以聚合 BCB。若本體 200 表面或導電層 158 略微粗糙, 便可避免壓電層 107 及本體 200 間的滑動。於一實施例中, 係將一定量的 BCB 施加至導電層 158 或本體 200, 以使其在本體 200 及壓電層 107 彼此接觸時 BCB 可填充分隔切口 165 及/或絕緣切口 165 的至少一部份。於一實施例中, 金屬共晶會接(eutectic bond)係將本體 200 及壓電層 107 黏附在一起。

如第 17 圖所示, 操控層 135 及一部份壓電層 107 係由組件移除(步驟 352, 第 25 圖)。操控層 135 及壓電層 107 可接地以完全移除操控層 135 並將壓電層 107 薄化至接地切口 140 底部之導電材料被移除的程度。於一實施例中, 壓電層 107 係薄化至 10 及 35 微米間, 例如約 20 微米。此薄化步驟可將壓電層 107 薄化至其最後厚度, 並形成個別的壓電材料島。為簡明起見, 連接層 193 並未示於此圖及接下來的圖示中。

參照第 18 圖, 上導電層 210 係形成在經薄化的壓電層 107 島上(步驟 359, 第 25 圖)。上方導電層 210 可利用真空沈積技術形成, 如前文所述者。上方導電層 210 將用於形成上電極 106。

如第 19 圖所示, 光阻層 214 係沈積在上導電層 210 上, 例如以旋佈塗覆的方式。光阻會接著被暴露並顯影以界定上電極的位置, 如第 20 圖所示。

如第 21 圖所示，上導電層 210 接著被蝕刻以形成各個電極（步驟 364，第 25 圖）。上電極寬度可與下方的壓電島相同或更窄。於一實施例中，上電極寬度窄於泵腔 (pumping chamber)。上電極寬度及泵腔間的比例可約為 0.5 至 1.2，例如約 0.65 至約 0.9。或者，壓電島可較其下方的腔室為寬、窄或相同寬度。若壓電島較泵腔為寬，例如介約 10 至 20 微米寬，泵腔間的壁面將可支撐 PZT 島。形成較腔室為寬的壓電島可使 MEMS 本體及壓電層組件於結合期間承受較大的壓力，同時降低壓電部份受壓時穿通膜狀部的風險。若較少電極為接地電極，各壓電致動器的接地電極便可彼此連接、或各結構的接地便可絕緣。

如第 22 圖所示，於圖案化上導電層 210 中，係形成下電極接觸區 211 以用於壓電層 107 上表面上的下導電層 157。因為接地切口 140 係設的較壓電層 107 最後深度為深，在壓電層 107 接地至其最後厚度時，導電繞組 280 會延伸以使導電材料與壓電層 107 上方同高。上導電層級下電極接觸區 211 係電性接觸下導電層 158 或底電極。(導電繞組 280 係藉由形成接地切口 140 後形成導電層之步驟(步驟 327，第 25 圖)形成的)。圖案化製程可移除電極缺口區 220 的導電材料，以電性隔絕下電極與上電極 106 導電材料。

各具有多個結構的多晶粒可由數層共同層形成，例如單一矽基材及單層壓電材料。於本體 200 製程期間，切割道 103 可形成在本體底表面中以界定該等晶粒間的晶界。

該等切割道 103 為未橫斷本體厚度的凹口 121。額外的鋸口 102 可設於壓電層 107 頂部與切割道相對應的位置處。該等鋸口 102 不需整個延伸至切割道 103。反之，各個晶粒可以人工分離組件的方式沿著切割道 103 彼此分隔（步驟 367）。切割道 103 可（且晶粒可分離）於一與接地切口 140 對齊的區域中形成。

參照第 23 圖，電性導電材料 215, 225（例如導電黏著物或鐳錫）可設於致動器上（步驟 371，第 25 圖）。軟性電路及致動器係相接觸。軟性電路 229 也藉由電極接觸區 221 與接地或底電極接觸。驅動電極可施加至該等電極，以驅動壓電層 107。

參照第 24 圖，於一實施例中，結構可經建構以最小化至壓電層 107 部分的輸入電源而不啟動腔室 205。接觸墊 224 可做充分的尺寸設計以連接至軟性電路 229。若壓電島的整個長度無法驅動泵腔室，可形成窄電極部 230 以降低不需啟動之壓電島部分的電源損失。

習知形成壓電致動器方法的困難處可藉由此處揭示的方法予以克服。由預熱 (pre-fired) 壓電材料之切割道形成的壓電層可藉由可能會傷害本體的技術來處理壓電材料。例如，若壓電致動器係與本體分隔下而形成，壓電材料便可加熱至形成較佳燒成及晶粒成長的溫度。然而 MEMS 的其他元件可能無法忍受同樣的高溫。此外，塊狀壓電材料的壓電係數 (d)、介電常數、耦合係數、韌度及密度較由濺鍍或凝膠形成的壓電材料為高。而由其他方法（例如應用於

本體的凝膠)形成的壓電材料，便需要在壓電前體(pre-cursor)中加入添加物。添加物通常可燃燒移除，而形成密度較低、且在塊狀壓電材料與本體個別形成時可形成的壓電材料。以與本體分隔的方式形成的塊狀壓電材料可讓材料有較少或無添加物。此外，塊狀材料可在壓力下加熱。較高的溫度及壓力可使材料緻密，而大致改善了材料特性，且特別是，減少材料中的空孔數量。空孔會形成短路並劣化元件。

然而，處理預熱的壓電材料片以形成壓電致動器也會有些風險。例如，若壓電層在結合壓電材料至本體後作切割以分隔各個致動器時，便會有切到腔室本體而造成潛在洩漏的風險。相反的，若壓電材料切的不夠深，也會有在鄰近結構間留下凸點的風險。若切口不均勻，各結構對相同的電源輸入便會有不同程度的壓電反應，且會在結構間形成干擾。切口深度不均勻的發生是因為鋸條的使用磨損或鋸條相對於壓電層的位置差異所致。

在將材料結合至腔室本體前以碾壓及切除方式形成壓電致動器，將可得到均勻厚度的壓電致動器。整個單一致動器便會有均勻厚度的壓電部份，即便是一群致動器也可在各處具有非常均勻的厚度。在一可達到晶粒中整個結構尺寸均勻的範例中，各結構具有寬度介約 25 至 200 微米、或約 150 微米的壓電致動器，該晶粒一列有 100 至 200 個結構，且一晶粒的整個壓電致動器厚度差異可小到 2 微米。切割各個島後向下碾壓該壓電材料，便可形成具有頂

及底表面、且彼此平行的島。此幾何結構可利用網板印刷方法或沈積陶瓷材料胚片、圖案化陶瓷材料並加熱陶瓷材料的方式達成。利用加熱胚片、網板印刷及凝膠應用等方法將可形成不具有矩形截面的壓電致動器。例如，此等方法可形成具有一平面，以及一看似矩形被移除之上彎角的曲狀頂部或截面部。藉由將島體切離塊狀壓電材料的方式，致動器寬度及長度上的整個厚度便可非常均勻。具有高尺寸均勻度的壓電致動器可展現相當均勻的壓電特性。

在結合壓電材料之前先形成切口可讓繞組電極結構得以形成。繞組電極結構可形成底部電極(位於壓電層上方之上)的接觸區域。繞組電極結構可簡化積體電路至致動器的連接。

形成較泵腔室寬度為窄的致動器可將致動器的替換集中在膜狀部絕大多數可彎曲部之上。藉由將致動器作的較窄的方式，只需以較少電壓啟動壓電材料。上電極可作的較壓電層為窄，以將電壓集中在壓電層中心部處，此方式可減少通過壓電層的競合(competing)壓電力。形成較壓電層為窄的電極可使致動器較佳反應輸入電壓。較佳致動器反應可使需施加過致動器以達所欲致動器反應的驅動電極較小。使致動器較泵腔室為寬的優點在於環繞泵腔室的壁面可支撐致動器。若壁面可支撐泵腔室，致動器穿破膜狀部的風險便可降低。更明確而言，若施加壓力至致動器(例如在連結製程期間)，便可降低傷害元件的可能性。

在將壓電層層連結至操控層後薄化該相當厚的壓電層

將有助於形成致動器的製程步驟。若壓電層在結合至腔室本體前未薄至一適當工作厚度，在結合後可能會需要較長的薄化製程。同樣的，吾人也希望操控層較壓電層為強韌。強韌的操控層可使得組件在被加熱時可隨操控材料的熱膨脹而膨脹。然而，在將壓電層連接至操控層之前先薄化至其最後厚度，可能無法達所欲厚度而不傷害壓電層。薄化期間，操控層可成為固定壓電材料的基底。在薄化期間，若薄化壓電材料的設備是固定操控層而非壓電層時，固定特徵便不太可能干擾薄化製程。於一實施例中，操控層係夾鉗至薄化設備，且碾壓輪會將壓電材料碾壓至所欲厚度。因為夾鉗僅需接觸操控層，故夾鉗不會干擾碾壓輪。

碾壓可使所暴露的晶粒的某部分較壓電材料為鬆軟。此外，糊狀物質係由碾壓而形成，糊狀(paste-like)物質包括壓電材料的破碎片段。糊狀物質在碾壓期間可沈積在壓電層上。糊狀物質及鬆散顆粒可於壓電層及導電層間的結合形成間隙。此等間隙的程度可隨著點至點而改變並使表現有差異。

在碾壓移除鬆散壓電材料顆粒及糊狀物後便清潔該壓電材料，以及使壓電材料表面大致形成完全固定的壓電材料顆粒。清潔可形成粗糙表面，但可改善壓電材料(整個平坦表面有鬆散壓電材料顆粒)之壓電特性的效率及均勻性。在碾壓後清潔壓電材料也可改善表面，以便應用導電材料。若表面未有糊狀物及鬆散材料顆粒，導電材料及具有黏著性的壓電材料塊間的間隙可能性便會降低。

壓電材料的熱膨脹可藉由在將壓電材料結合至本體之前先將壓電材料結合至操控層的方式予以控制。當壓電材料及腔室本體被加熱以形成兩結構間的結合時，壓電材料（或其他合適壓電材料）及用於形成本體的材料便可以不同速率膨脹，特別是在本體是由除壓電材料以外的材料製成的時候。此外，由於熱變化而造成壓電材料的膨脹及收縮也可能不同。亦即，被加熱並冷卻回其原始溫度的壓電材料可能無法立即返回其初始尺寸。熱膨脹及收縮的速率會隨著不同因素而改變，例如材料多久前被支撐（poled）以及材料已歷經過多少次熱循環。由於熱所導致的腔室本體及壓電材料之尺寸變異會改變腔室壁相對於分隔切口的校準。

若操控層是由與本體相同材料製成，則操控材料便可控制壓電材料的膨脹速率，以使壓電材料及本體的膨脹速率大致相同。特別是在操控層較壓電材料為厚時，操控層會迫使壓電材料膨脹並與操控層接觸。於一實施例中，壓電材料為 PZT，而操控層為厚度大於 PZT 層十倍的矽。矽為 PZT 的三倍強韌。在厚度及韌性的差異間，矽具有 PZT 的三十倍彈性速率。具有較高彈性速率的材料會驅使其他材料的膨脹及收縮，藉以使 PZT 以與矽相同的速率膨脹。

前述壓電致動器可用於形成數個微機電元件，例如感應器、轉換器或具有壓電致動器的噴墨印刷頭。

本發明之該等實施例已描述如上。然而，應瞭解的是各種潤飾仍可在不悖離發明精神及範圍下進行。例如，可

形成彼此平行、但相對於壓電層呈一角度的致動器。該等致動器可於未垂直於表面、但呈一角度的壓電材料本體中形成數個凹口。或者，該等凹口之中心軸可垂直於本體表面，但側壁則與本體表面呈除 90 度角外的角度。例如，該等側壁可形成梯形島，且其梯形較寬部距離泵腔室比較窄部更遠。驅動電極連接可位在壓電材料上方之一島上，且接地電極連接可位於靠近晶粒邊緣(如接觸島)之壓電材料之一島上，而非在泵腔室上方的島上皆具有驅動及接地連接。或者，壓電島不需繞組電極。底電極可延伸超過壓電島，並與上電極電性分隔。於一實施例中，該等電極僅形成在壓電材料之一表面上。於一實施例中，碾壓係在暴露切口或凹口前停止。此方式將可在該等致動器之間留下壓電材料橋。該橋可相當小，以使元件間的干擾最小化。壓電材料接附的本體也可不需有腔室形成其中。若本體中欲形成該等腔室或其他特徵，該等腔室可在壓電材料接附於本體後形成。因此，本發明其他實施例將落於下文申請專利範圍中。

【圖式簡單說明】

第 1A 圖係具有壓電致動器之一部分 MEMS 的截面端視圖。

第 1B 圖係一具有兩個含壓電致動器之流體射出 MEMS 之晶粒的一部份截面側視圖。

第 1C 圖係具有壓電致動器之 MEMS 元件的俯視圖。

第 2 圖係圖示壓電材料。

第 3 圖係圖示壓電材料及一矽晶圓。

第 4 圖係圖示壓電材料結合至矽晶圓的組件。

第 5 圖係圖示在薄化壓電材料後的組件。

第 5A 圖係圖示接地壓電材料的表面放大圖。

第 5B 圖係圖示一酸清洗(acid clean)的接地壓電材料部份。

第 6 圖係圖示材料底部形成接地切口的組件。

第 7 圖係分割壓電材料之一實施例的底面圖。

第 8 圖係圖示在形成導電層後沿著 X 軸之壓電材料的截面圖。

第 9 圖係圖示在做分隔切口後沿著 Y 軸之壓電材料的截面圖。

第 10 圖係具有分隔切口、絕緣切口及接地切口之壓電材料之一實施例的底面圖。

第 11 圖係圖示沿 X 軸具有接地切口及校準切口之壓電材料的截面圖。

第 12 圖係在矽層中形成校準狹口後組件的截面圖。

第 13 圖係具有校準狹口之矽晶圓的俯視圖。

第 14 圖係圖示腔室本體的截面圖。

第 15 圖係圖示與不完整致動器組件對齊的腔室本體。

第 16 圖係圖示腔室本體及壓電材料相結合。

第 17 圖係圖示具有部分形成致動器之腔室本體。

第 18 圖係圖示在上方導電層形成後之壓電島。

第 19 圖係圖示在施行光阻後之壓電島。

第 20 圖係圖示在圖案化後之光阻。

第 21 圖係複合結構之端視截面圖，其中各腔室具有單獨的致動器。

第 22 圖係具有完整壓電致動器之結構的截面側視圖。

第 23 圖係圖示具有軟性電路接附至該致動器之單一結構。

第 24 圖係一致動器實施例的平面圖。

第 25 圖係形成具有壓電致動器之結構的 MEMS 之步驟流程圖。

應注意的是，不同圖示中相同參考號係指相同元件，且圖示中的元件並未按比例繪製。某些元件已放大以便說明。

【主要元件符號說明】

101	MEMS 元件
105	壓電致動器
106	上電極
109	壓電層
110	轉換結構
112	底電極
118	膜狀物
200	本體
205	腔室

年	月	日	修正	替換頁
101	7	1	1	

拾、申請專利範圍：

1. 一種微機電元件，其包含：

一本體，具有數個腔室；

數個由該本體支撐之壓電島，該壓電島包含一預熱 (pre-fired) 壓電材料，其中每一該等壓電島各具有一第一表面、一面對該第一表面之第二表面以及一連接該第一及第二表面之第三平面，其中該第一、第二或是第三表面的至少一者大致包含具有約 2 到 4 微米寬的預熱壓電材料顆粒與數個凹口；以及

一導電材料，位於該第一表面上，以及一導電材料，位於該壓電島之第二表面上，其中該導電材料係位於該些凹口中且與該些凹口中的該預熱壓電材料接觸；

其中該等壓電島之至少一者大致係鄰近於該等腔室之一對應腔室；

其中該等壓電島之至少一者具有一導電材料於該第三表面上，該第三表面上之該導電材料係電性接觸該第一及第二表面上之導電材料。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之元件，其更包含一結合層，其中該結合層係位於該第一導電層及該本體之間，且該結合層之至少一部份係位於該等壓電島之至少兩壓電島之間。

年 月 日修正替換頁
101. 7. 1 1

3. 如申請專利範圍第 1 或 2 項所述之微機電元件，其中該些壓電島具有一為 200 或更高的壓電常數 d_{31} 。
4. 如申請專利範圍第 3 項所述之微機電元件，其中該些壓電島具有一約 7.5g/cm^3 或更高的密度。
5. 如申請專利範圍第 1 或 2 項所述之微機電元件，其中該些凹口具有一約 2 至 4 微米間的寬度。
6. 如申請專利範圍第 2 項所述之微機電元件，其中該結合層包含一熱固式黏著物。
7. 一種微機電元件，其包含：
 - 一本體，具有數個腔室；
 - 一轉換層，設有數個轉換器，各轉換器係大致鄰近該等腔室之一對應腔室，各轉換器包括一由該本體支撐的壓電島，該壓電島包含一預熱壓電材料，其中該壓電島具有約二到四微米寬的預熱壓電材料晶粒 (grain)，且係由一第一表面及一面對該第一表面之第二表面所界定，該第一及第二表面係大致為平面且該第一表面大致平行於該第二表面；以及
 - 一結合層，位於該轉換層及該本體之間，其中該結合層係位於該些轉換器之至少兩轉換器之間。

8. 如申請專利範圍第 7 項所述之微機電元件，其中該壓電島具有一為 200 或更高的壓電常數 d_{31} 。
9. 如申請專利範圍第 7 或 8 項所述之微機電元件，其中該壓電島具有一約 7.5g/cm^3 或更高的密度。
10. 如申請專利範圍第 7 項所述之微機電元件，更包含一導電材料，其位於該壓電島之第一表面上，其中該壓電島具有數個凹口，且該導電材料係位於該些凹口中並與該些凹口中的預熱壓電材料接觸。
11. 如申請專利範圍第 7 項所述之微機電元件，其中該些凹口具有一約 2 至 4 微米間的寬度。
12. 如申請專利範圍第 7 項所述之微機電元件，其中該結合層包含一熱固式黏著物。
13. 一種形成一具有一壓電轉換器之元件的方法，其包含下列步驟：

 將一預熱壓電材料之一本體之一第一表面結合至一半導體材料；

 在該預熱壓電材料之該本體之一第二表面上形成數

個凹口，該些凹口具有數個壁面；

在形成數個凹口後，將該預熱壓電材料之該本體之該第二表面接附至一元件本體，其中該元件本體係由該半導體材料形成；以及

在該預熱壓電材料之該本體接附至該元件本體後，將半導體材料由該預熱壓電材料之該本體的第一表面移除。

14.如申請專利範圍第 13 項所述之方法，其中該方法更包含自該預熱壓電材料之該第一表面移除材料，至少直至暴露出該些凹口為止。

15.如申請專利範圍第 16 項所述之方法，其中該結合步驟係在形成該些凹口的步驟前進行。

16.如申請專利範圍第 15 項所述之方法，其中自該預熱壓電材料之該第一表面移除材料的步驟包括薄化該半導體材料之本體。

17.如申請專利範圍第 13 項所述之方法，其中將該預熱壓電材料之該本體接附至該元件本體的步驟包括以一熱固式黏著物將該預熱壓電材料之該本體結合至該元件本體。

- 18.如申請專利範圍第 17 項所述之方法，其中將該預熱壓電材料之該本體接附至該元件本體的步驟包括加熱該預熱壓電材料之該本體以及該元件本體。
- 19.如申請專利範圍第 13 項所述之方法，更包含清潔該預熱壓電材料之該本體，以自該預熱壓電材料之該本體釋放鬆散的預熱壓電材料碎片。
- 20.如申請專利範圍第 19 項所述之方法，其中清潔該預熱壓電材料之該本體的步驟包括於一氟硼酸溶液中清洗該本體。
- 21.一種形成一具有一壓電轉換器之元件的方法，其包含下列步驟：
- 清洗一預熱壓電材料之一本體；
 - 於該預熱壓電材料之該本體的一第一表面中形成數個凹口，該等凹口具有數個壁面；
 - 在形成該等凹口後，將該預熱壓電材料之該本體之第一表面接附至一元件本體；以及
 - 在將該預熱壓電材料之該本體接附至該元件本體後，移除該預熱壓電材料之該本體之一第二表面的至少一部份。

22.如申請專利範圍第 21 項所述之方法，其中清洗該本體的步驟包括於一氟硼酸溶液中清洗該預熱壓電材料之該本體。

23.如申請專利範圍第 21 或 22 項所述之方法，其中清洗該預熱壓電材料之該本體的步驟係在將該預熱壓電材料之該本體接附至該元件本體之前進行，且該方法更包含在將該預熱壓電材料之該本體接附至該元件本體後清洗該預熱壓電材料之該本體。

24.如申請專利範圍第 23 項所述之方法，其中在接附該本體後清洗該本體之步驟包括於一氟硼酸溶液中清洗該預熱壓電材料之該本體。

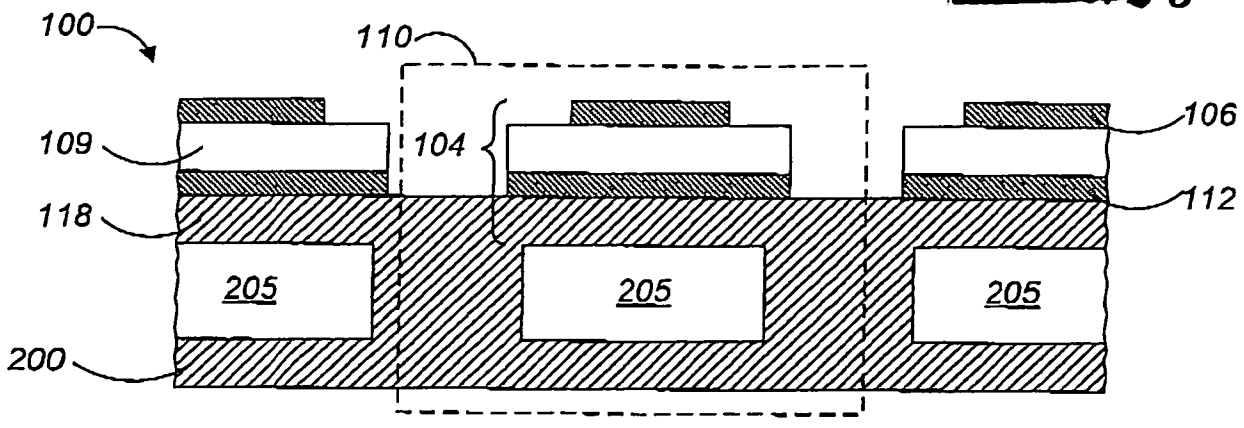
25.如申請專利範圍第 21 項所述之方法，更包括於該預熱壓電材料之該本體上形成一第一導電層。

26.如申請專利範圍第 25 項所述之方法，其中形成一第一導電層之步驟係在將該預熱壓電材料之該本體接附至該元件本體前進行。

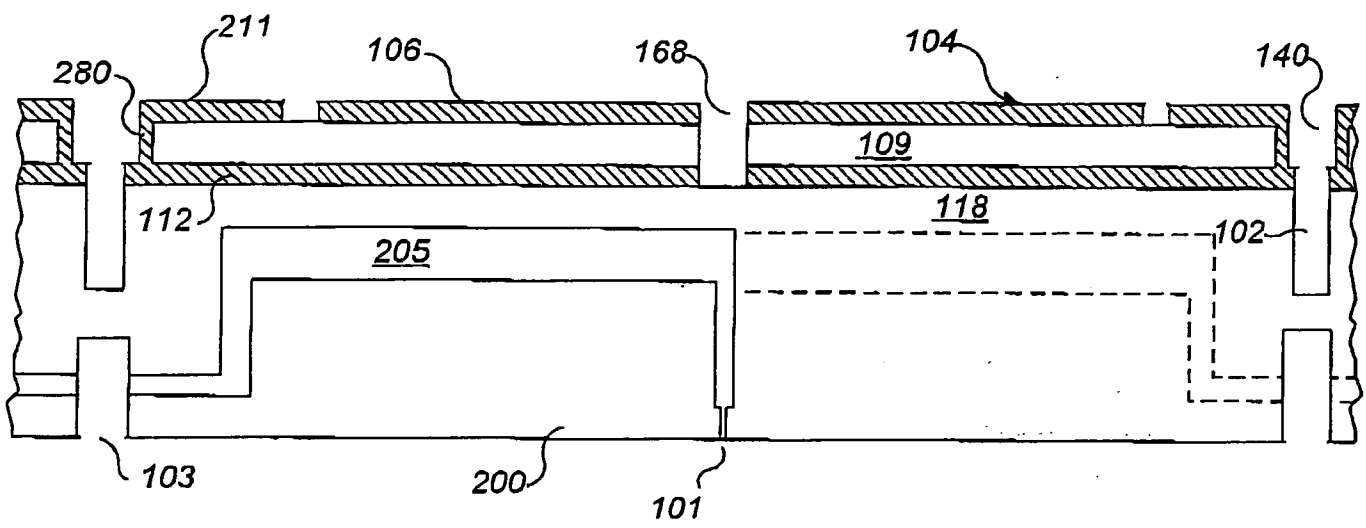
27.如申請專利範圍第 26 項所述之方法，更包括在移除該

預熱壓電材料之該本體之一第二表面的至少一部份後，形成一第二導電層。

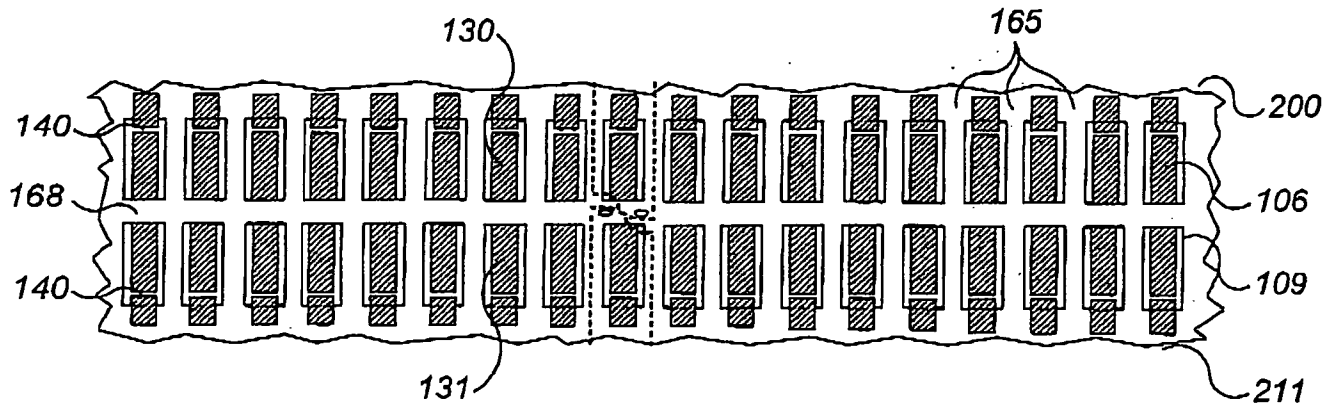
28.如申請專利範圍第 27 項所述之方法，其中將該預熱壓電材料之該本體之第一表面接附至一元件本體的步驟包含將一熱固式黏著物施加至該預熱壓電材料，並使該黏著物熱固化。



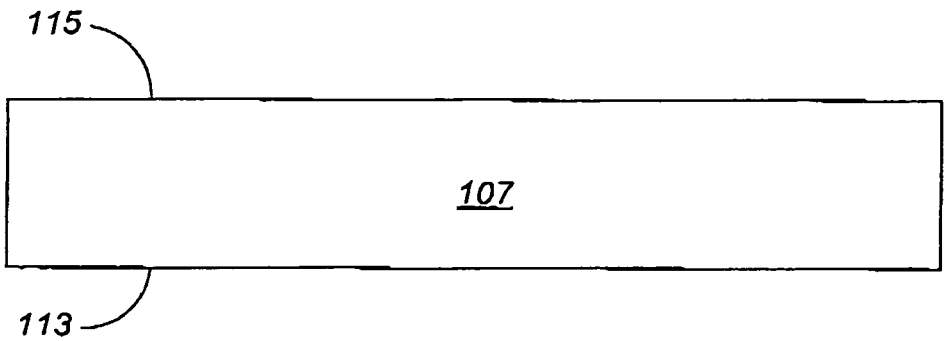
第 1A 圖



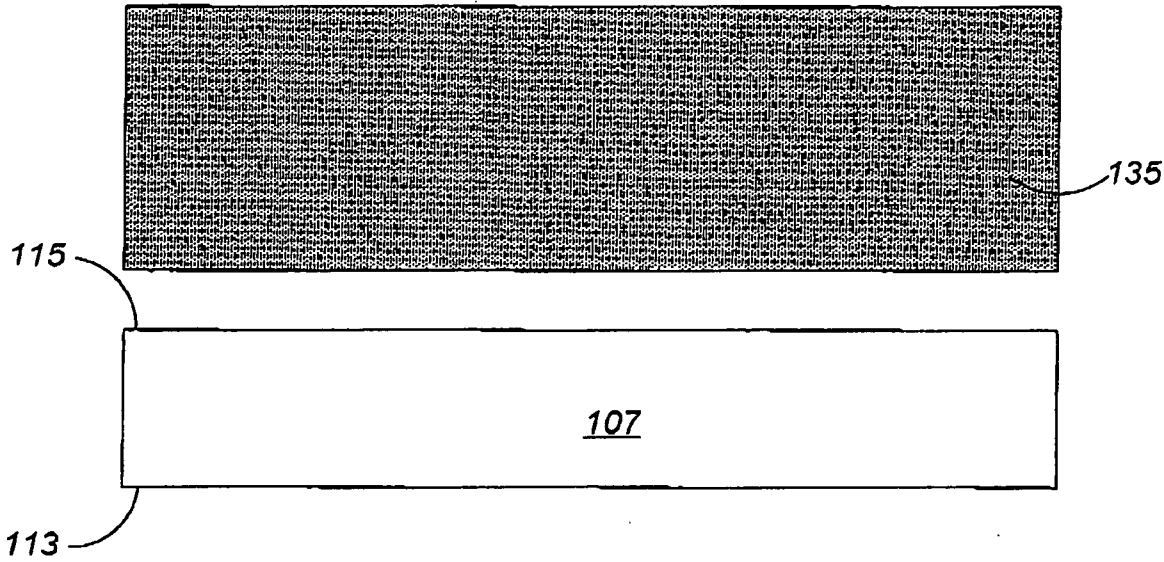
第 1B 圖



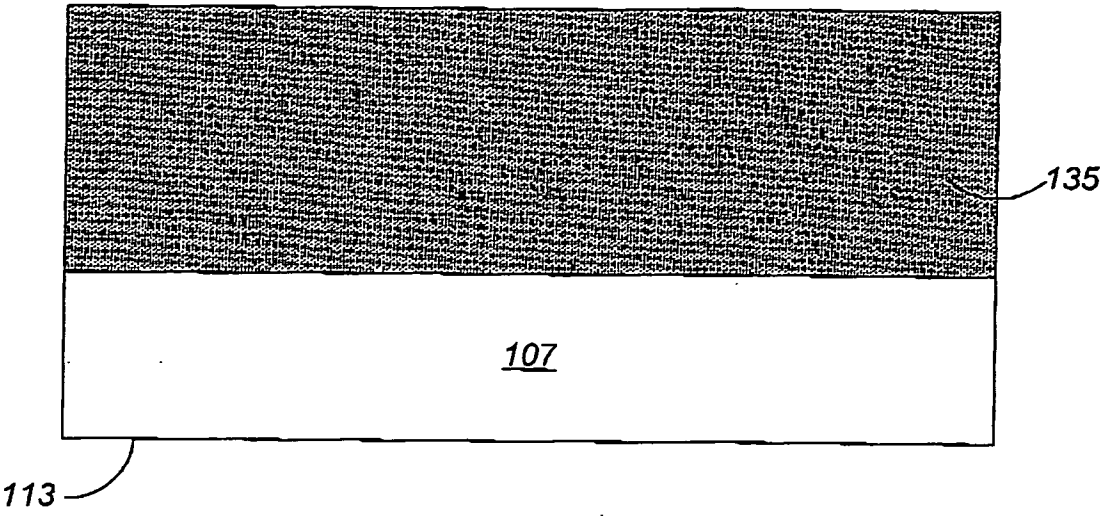
第 1C 圖



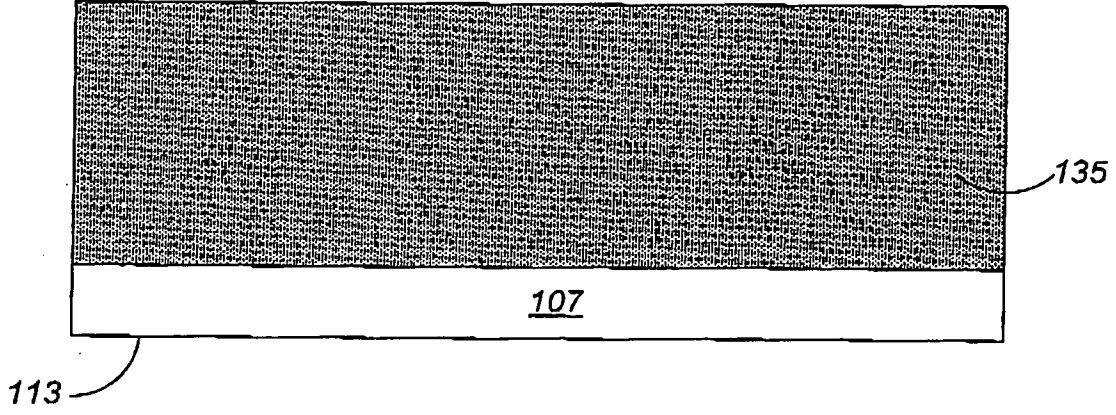
第 2 圖



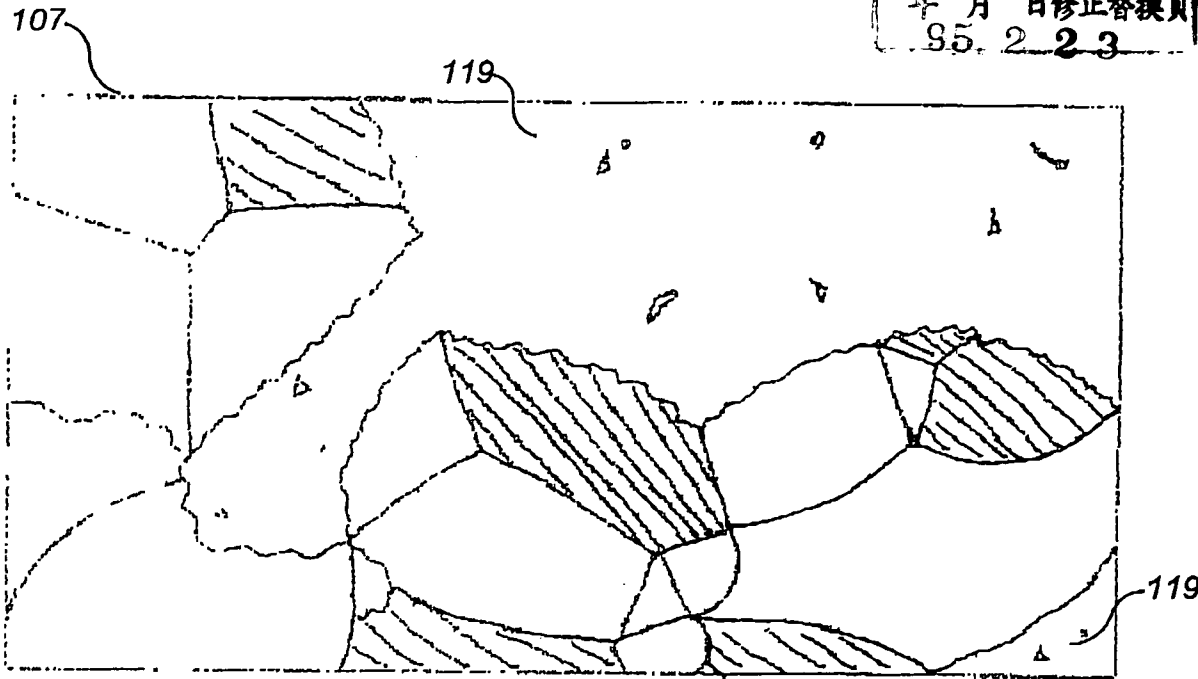
第 3 圖



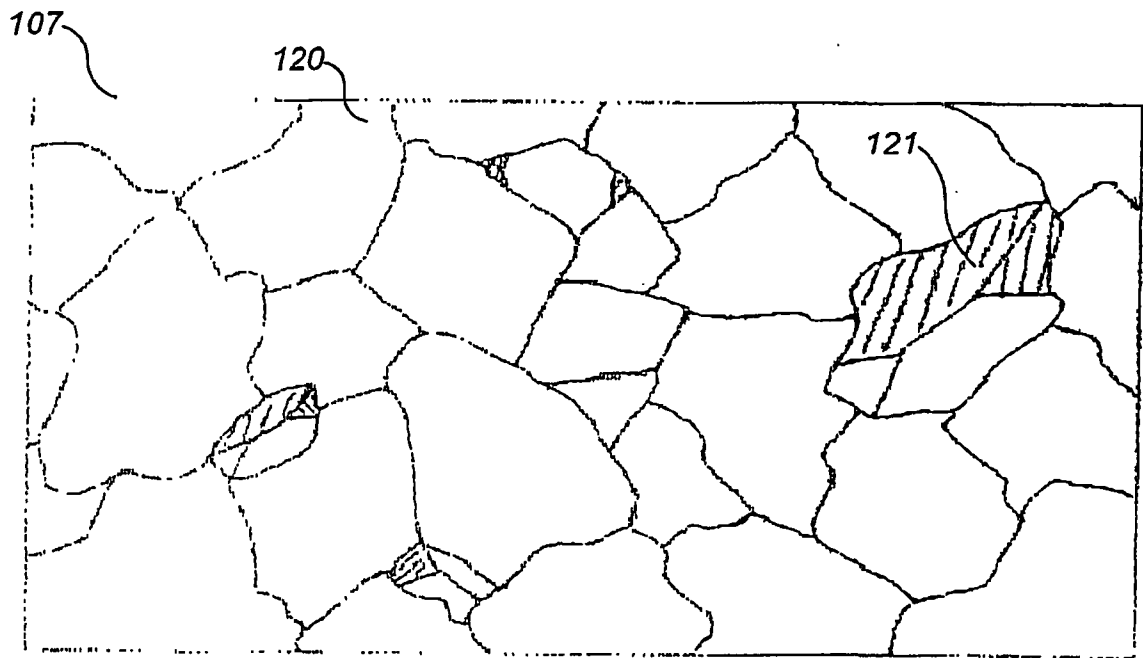
第 4 圖



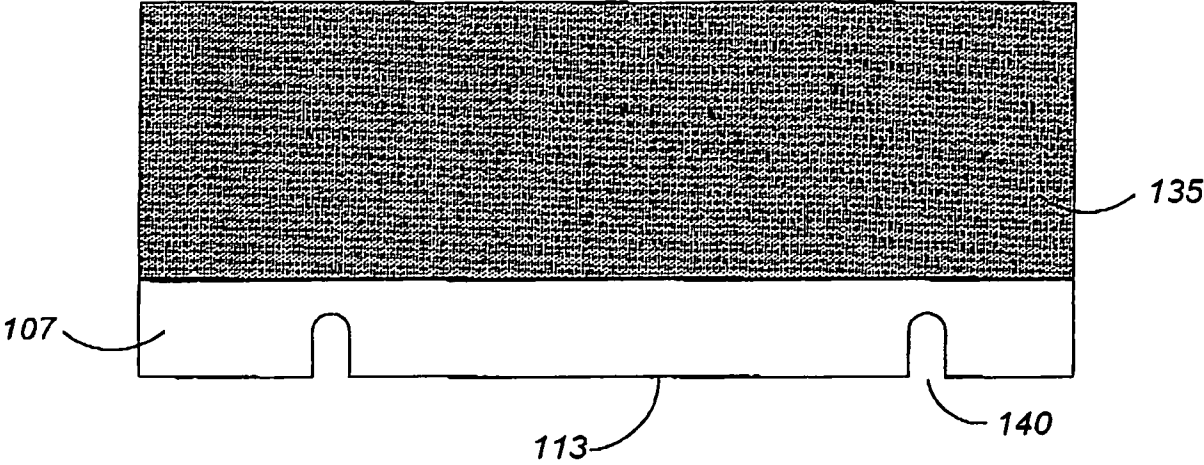
第 5 圖



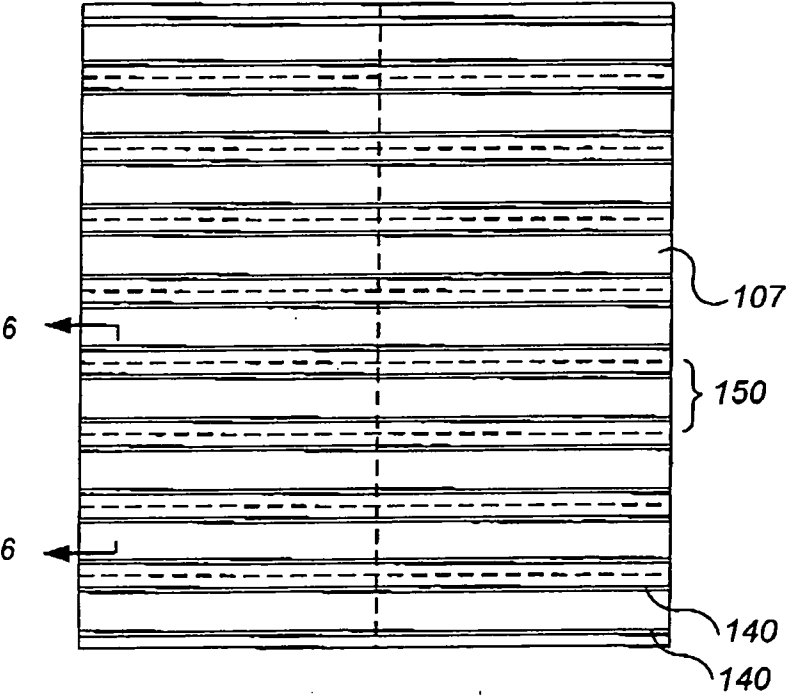
第 5A 圖



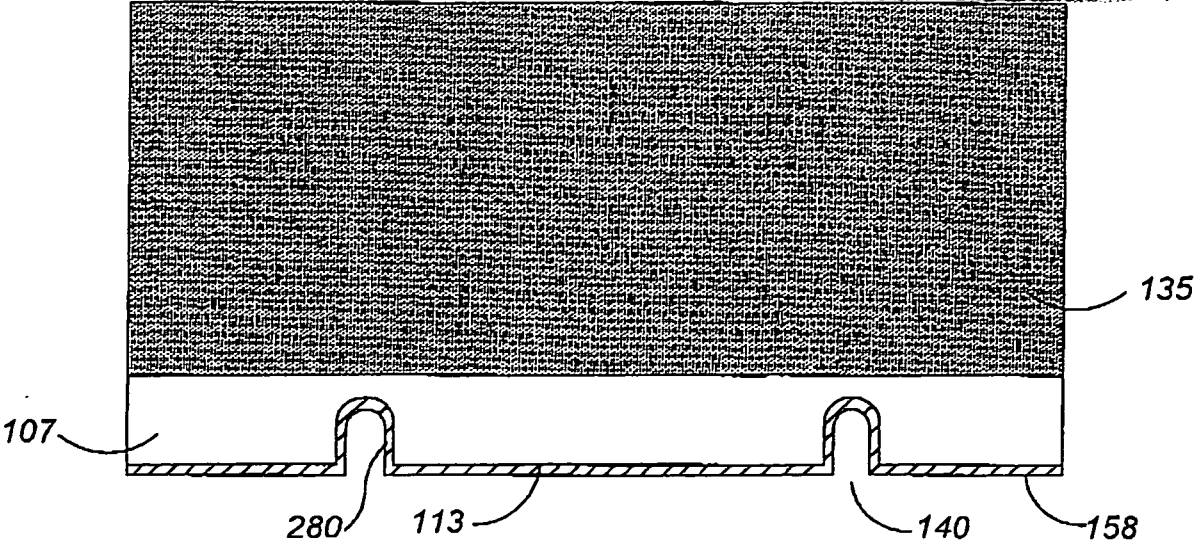
第 5B 圖



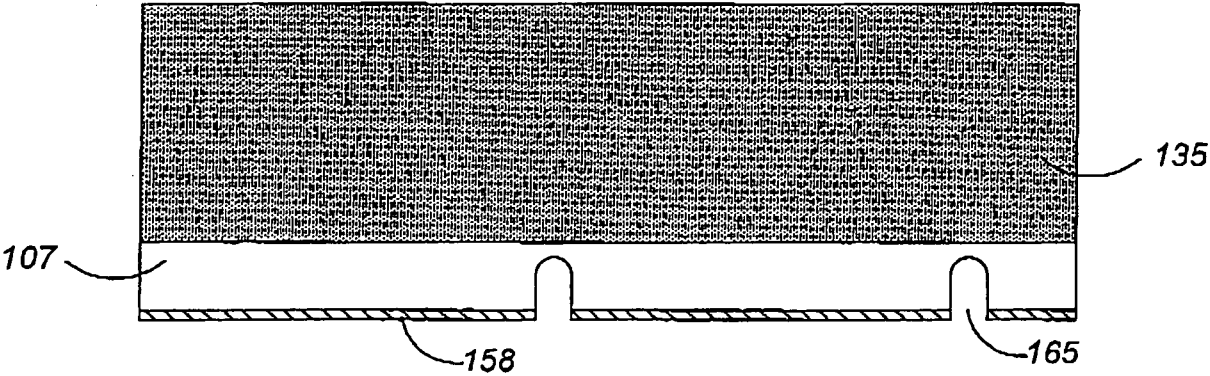
第 6 圖



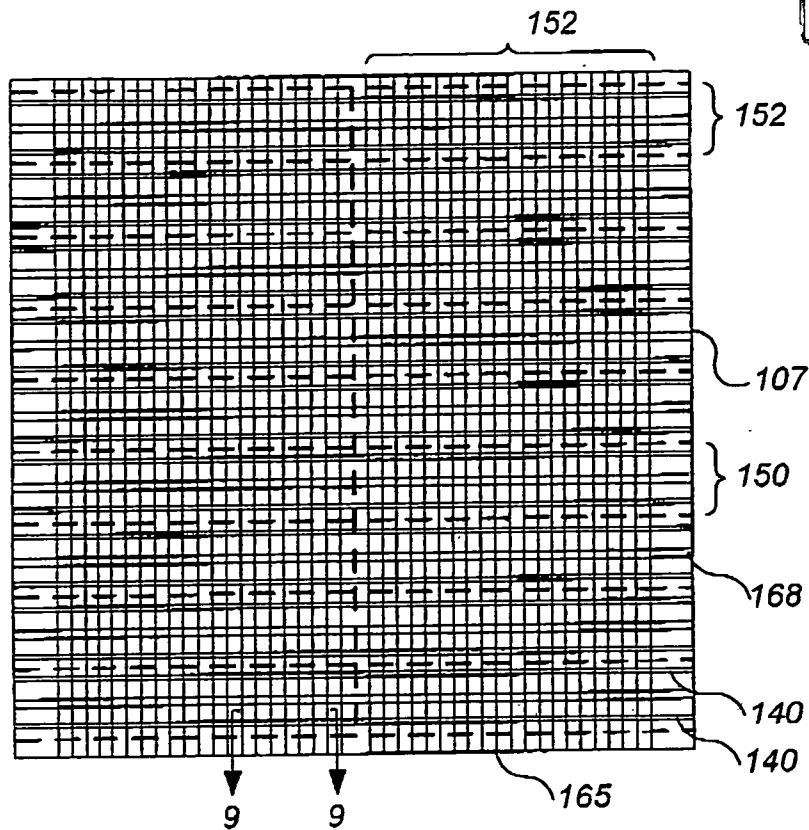
第 7 圖



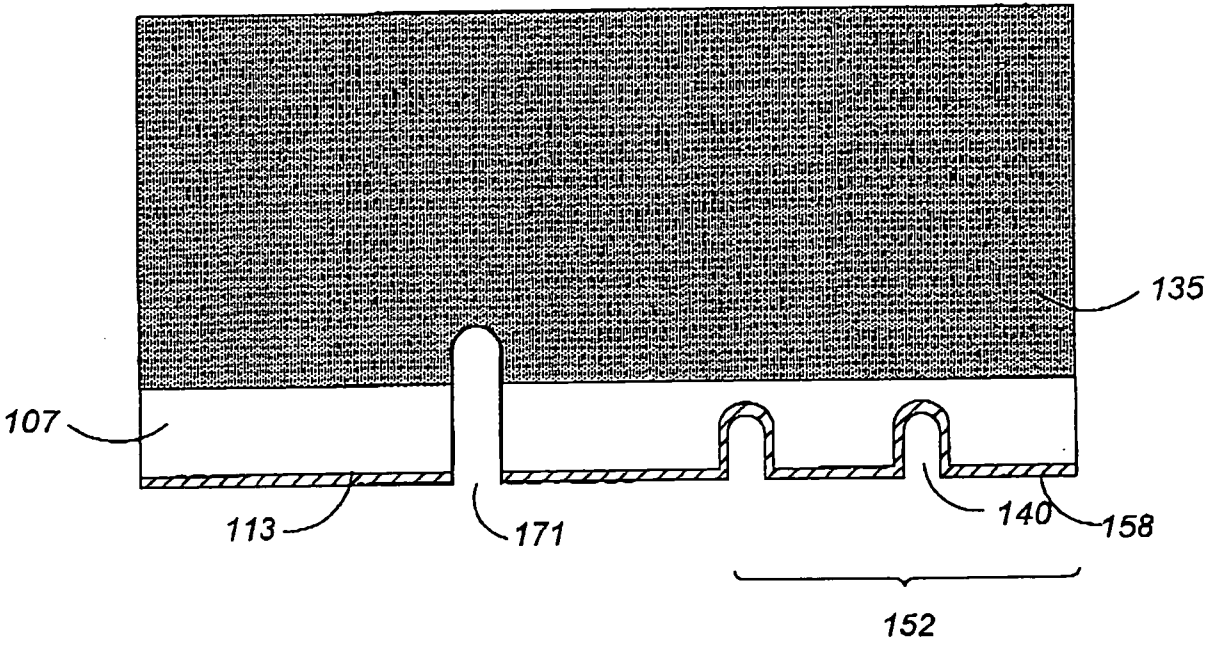
第 8 圖



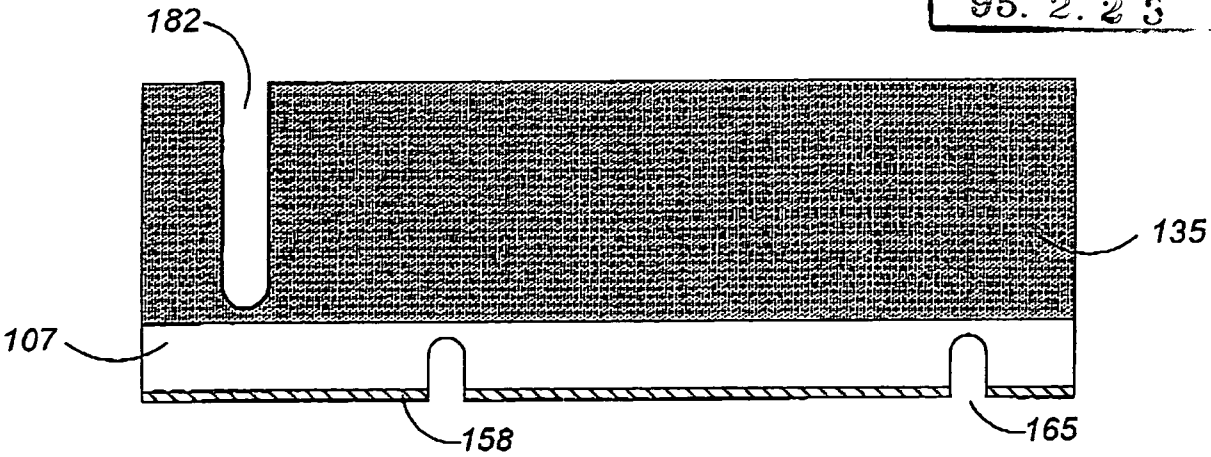
第 9 圖



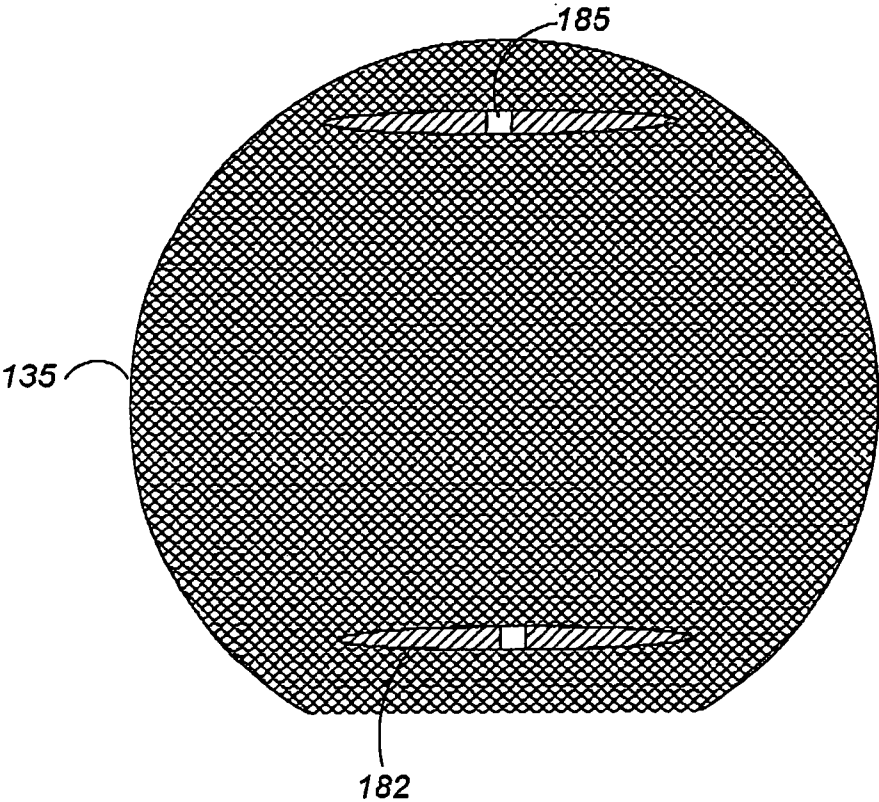
第 10 圖



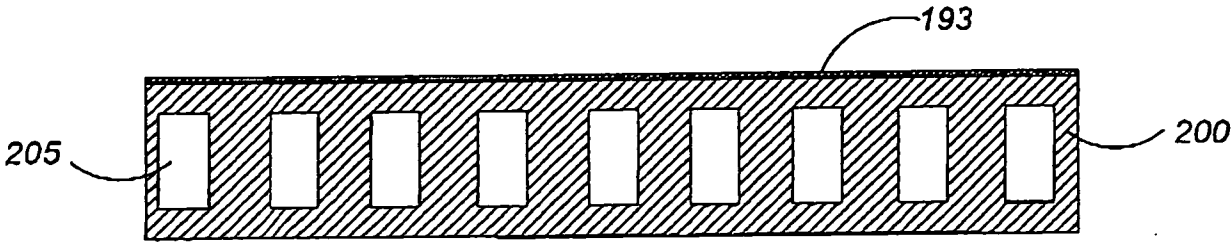
第 11 圖



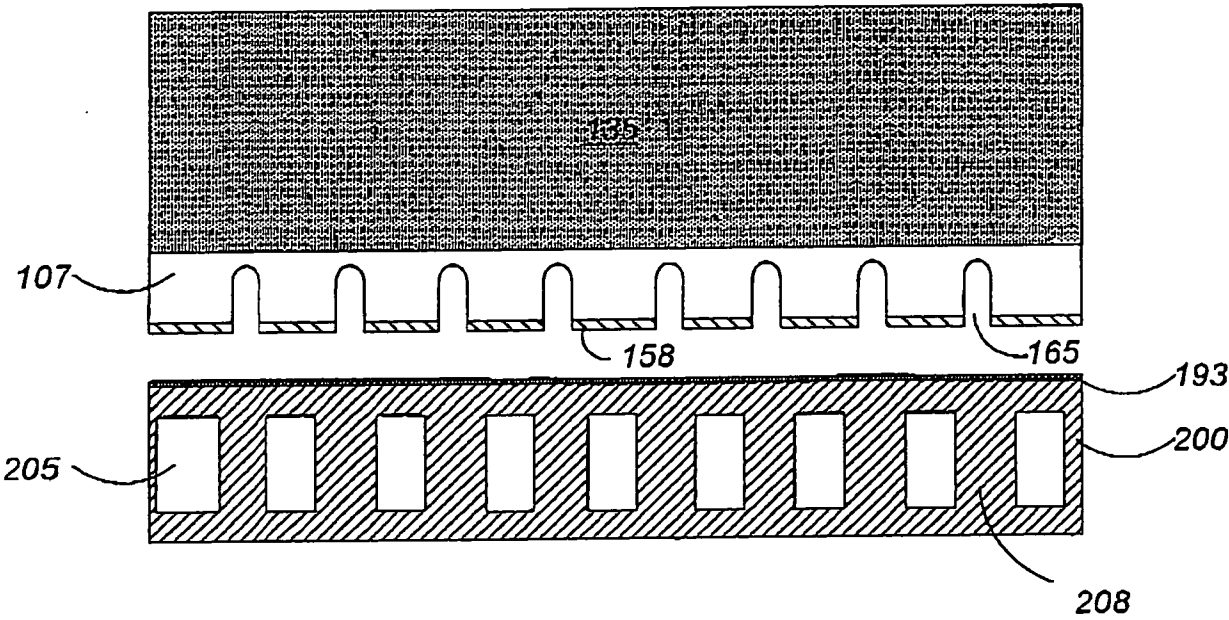
第 12 圖



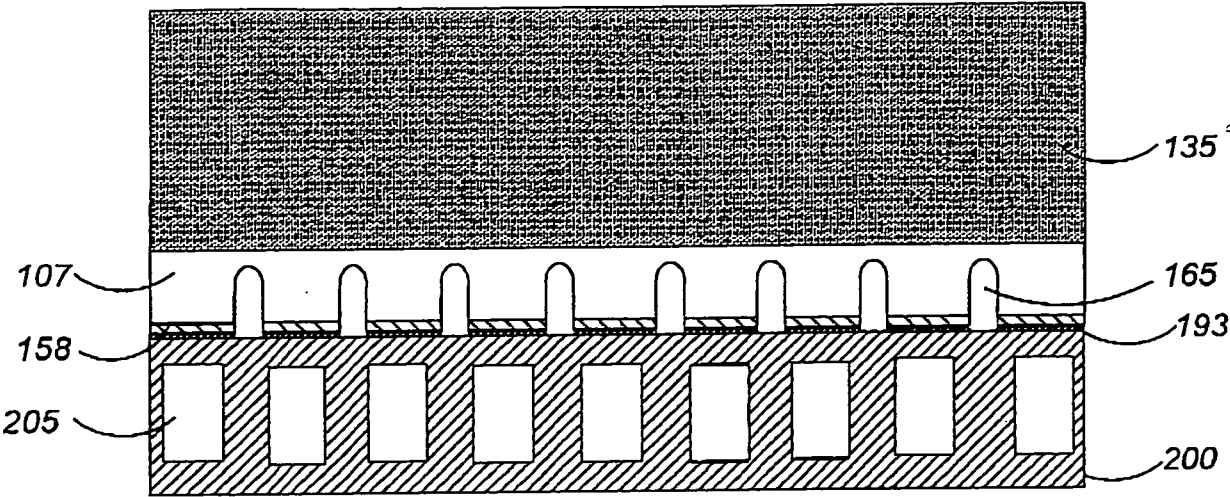
第 13 圖



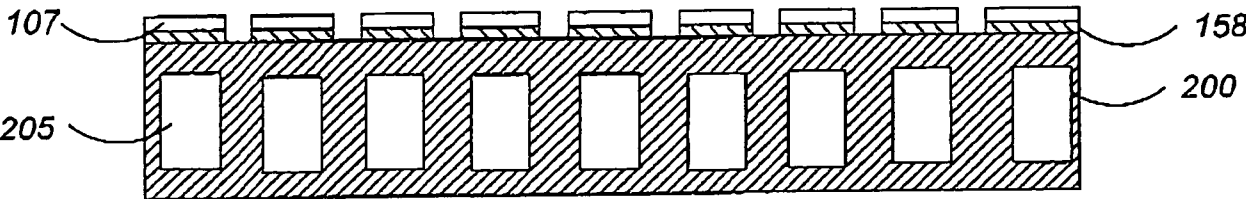
第 14 圖



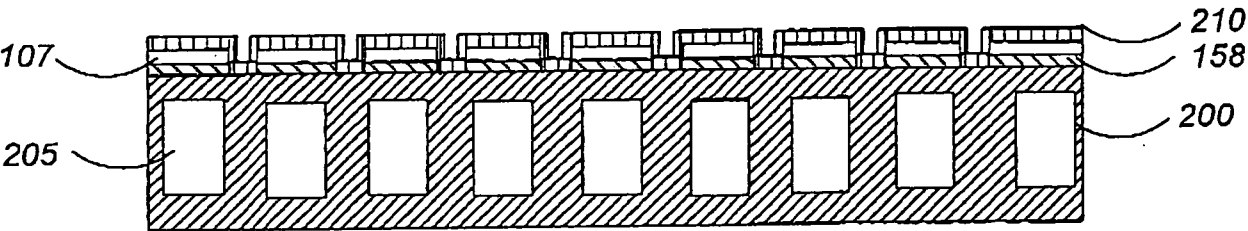
第 15 圖



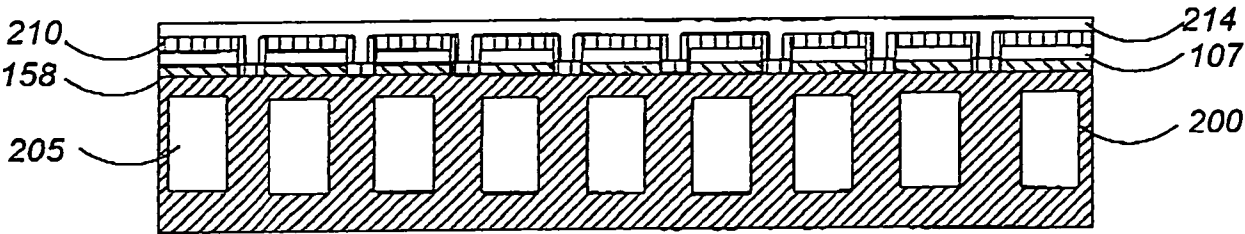
第 16 圖



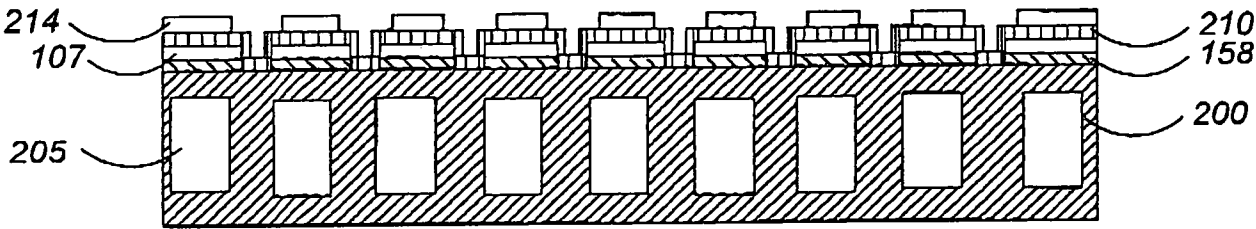
第 17 圖



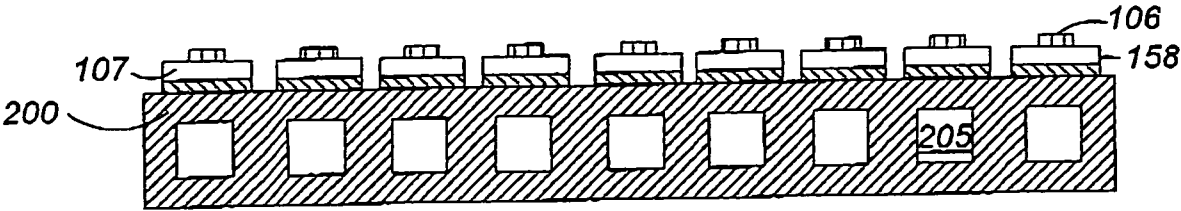
第 18 圖



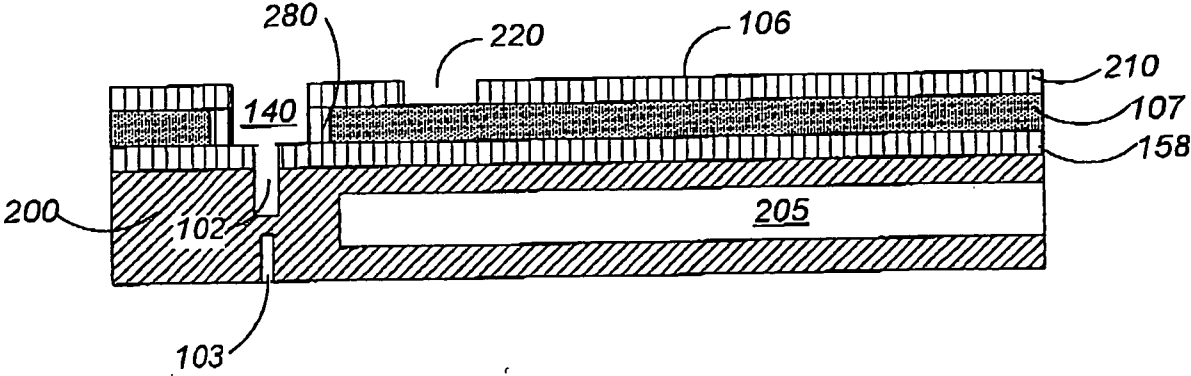
第 19 圖



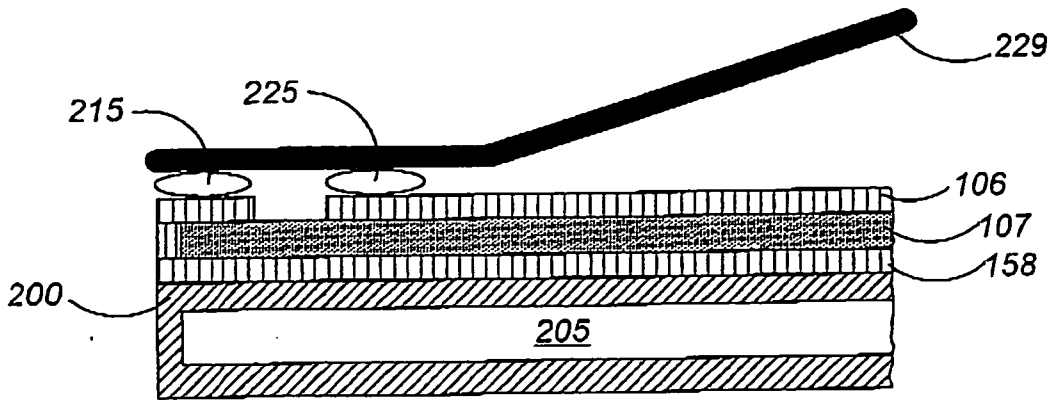
第 20 圖



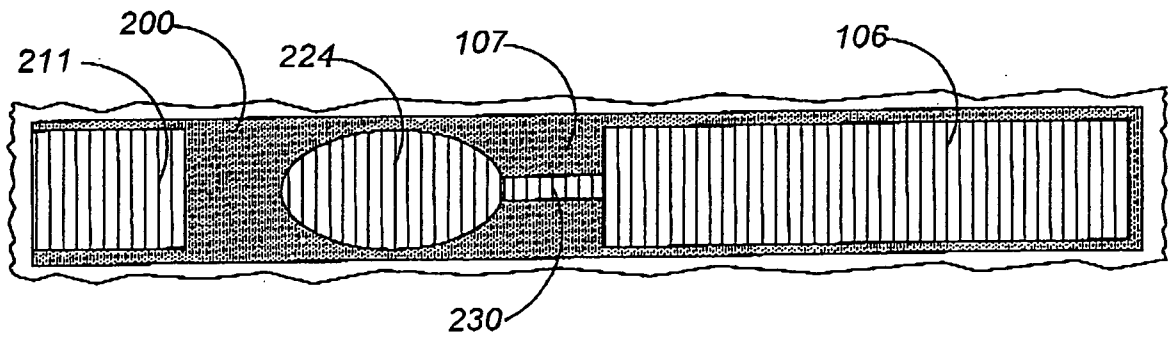
第 21 圖



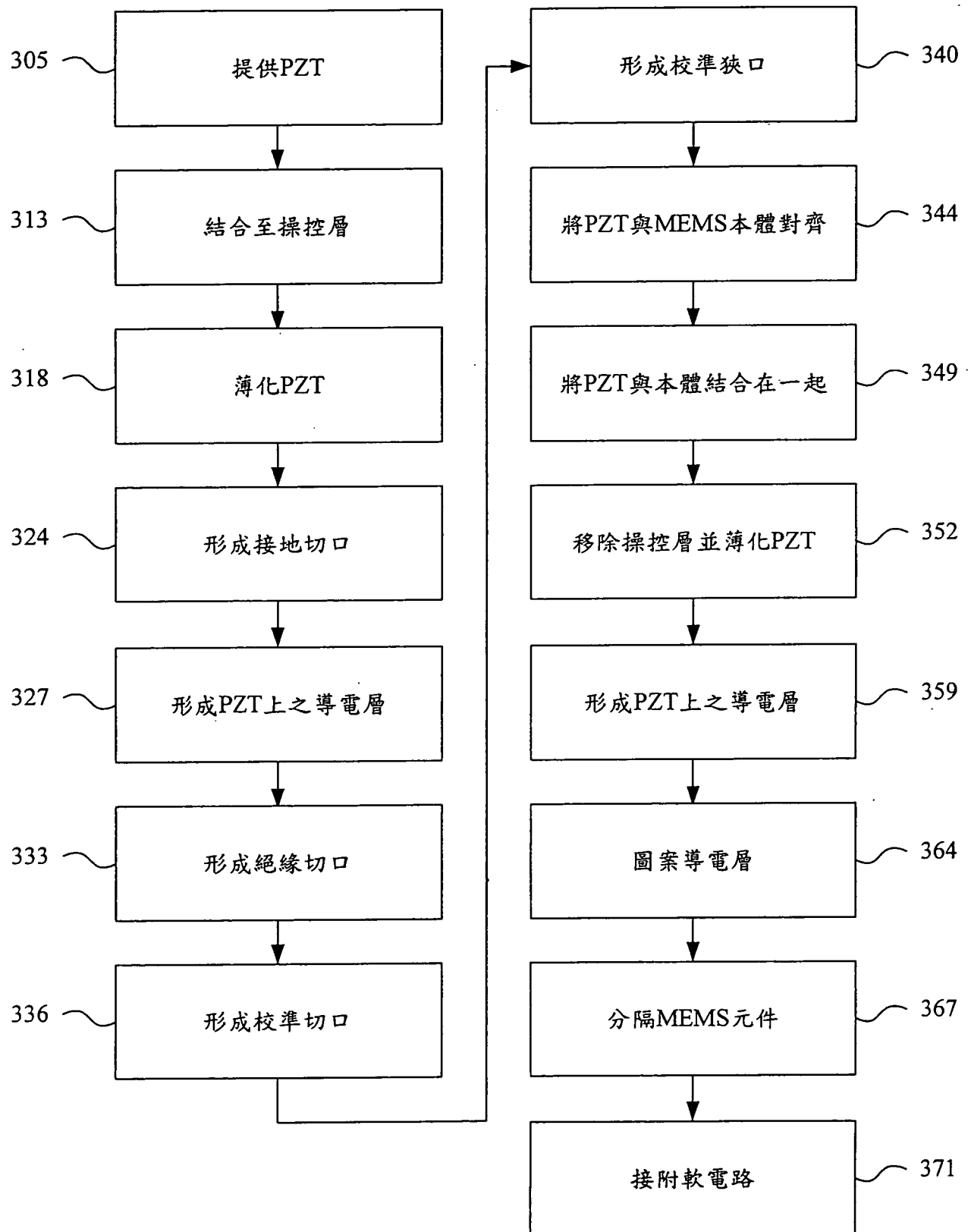
第 22 圖



第 23 圖



第 24 圖



第 25 圖