

(21)申請案號：099141473

(22)申請日：中華民國 99 (2010) 年 11 月 30 日

(51)Int. Cl. : **H03H9/02 (2006.01)**

H03H9/24 (2006.01)

(30)優先權：2009/12/03 歐洲專利局

09177918.1

(71)申請人：伊塔瑞士鐘錶製造公司 (瑞士) ETA SA MANUFACTURE HORLOGERE SUISSE (CH)

瑞士

(72)發明人：艾萬斯古 亞卓安 IONESCU, ADRIAN MIHAI (RO)；葛羅格 丹尼爾 GROGG, DANIEL (CH)；亞尤茲 蘇瓦特 AYOZ, SUAT (GB)

(74)代理人：林志剛

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：15 項 圖式數：6 共 35 頁

(54)名稱

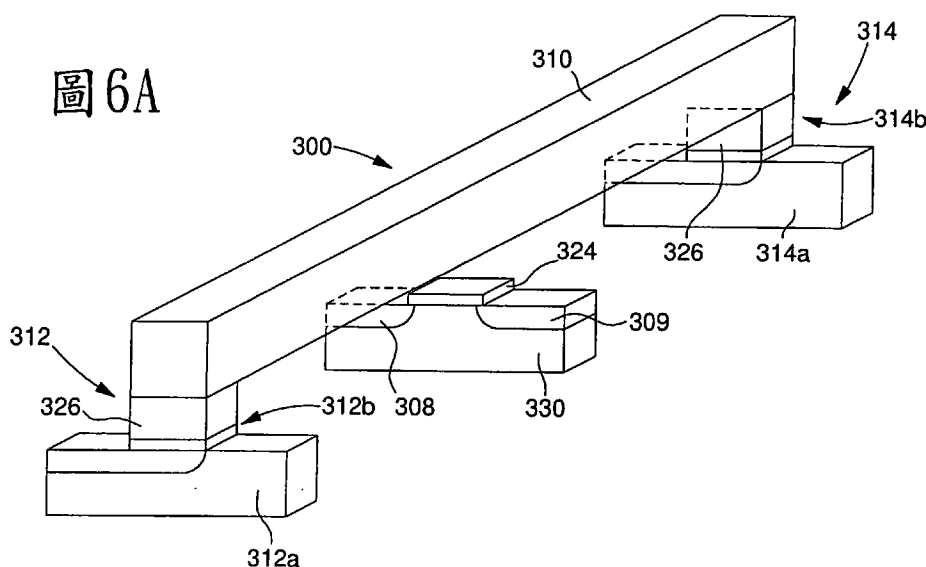
微機電 (MEMS) 電晶體共振器及包含此種共振器之振盪器

MEMS TRANSISTOR RESONATOR AND OSCILLATOR COMPRISING SUCH A RESONATOR

(57)摘要

該微機電(MEMS)電晶體共振器，包含：封裝組件，其中，電晶體的主體係形成而包含源極區(108；208；308)、汲極區(109；209；309)、及形成連接源極區和汲極區的通道之半導體區；振動結構(110；210；310)，與基板為整體的且同時可隨意地振動；以及固定結構(112；212；330)，係由基板所支撐，基板具有配置在固定結構與振動結構之間的空間(或間隙)；其中，封裝組件係以通道相對於該空間延伸如此之方式而被整合至振動結構(210)內或固定結構(112；330)內，且該空間包圍具有壓電材料的厚度之耦合微結構(126；226；328)，且被設置以確保振動結構(110；210；310)與通道之間的機電耦合，以便讓電晶體的主體之導電率能夠被調變至振動結構的振動頻率。

圖 6A



300：電晶體共振器

308：源極區

309：汲極區

310：振動柱

312：支撐座

312a：腳部

312b：超結構

314：支撐座

314a：腳部

314b：超結構

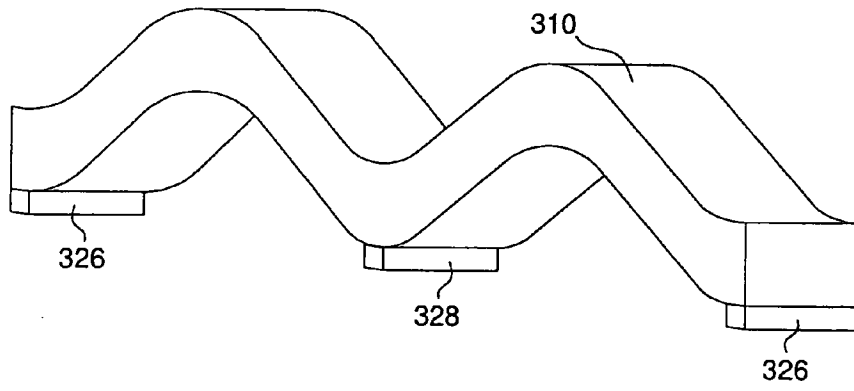
324：絕緣氧化矽層

326：壓電材料層

328：壓電耦合元件

330：半導體封裝組件

圖 6B



(21)申請案號：099141473

(22)申請日：中華民國 99 (2010) 年 11 月 30 日

(51)Int. Cl. : **H03H9/02 (2006.01)**

H03H9/24 (2006.01)

(30)優先權：2009/12/03 歐洲專利局

09177918.1

(71)申請人：伊塔瑞士鐘錶製造公司 (瑞士) ETA SA MANUFACTURE HORLOGERE SUISSE (CH)

瑞士

(72)發明人：艾萬斯古 亞卓安 IONESCU, ADRIAN MIHAI (RO)；葛羅格 丹尼爾 GROGG, DANIEL (CH)；亞尤茲 蘇瓦特 AYOZ, SUAT (GB)

(74)代理人：林志剛

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：15 項 圖式數：6 共 35 頁

(54)名稱

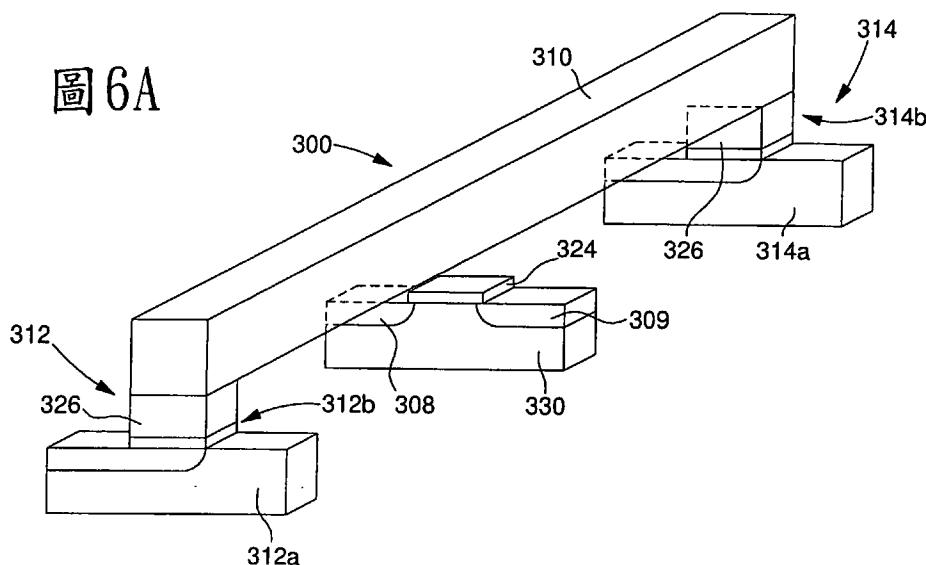
微機電 (MEMS) 電晶體共振器及包含此種共振器之振盪器

MEMS TRANSISTOR RESONATOR AND OSCILLATOR COMPRISING SUCH A RESONATOR

(57)摘要

該微機電(MEMS)電晶體共振器，包含：封裝組件，其中，電晶體的主體係形成而包含源極區(108；208；308)、汲極區(109；209；309)、及形成連接源極區和汲極區的通道之半導體區；振動結構(110；210；310)，與基板為整體的且同時可隨意地振動；以及固定結構(112；212；330)，係由基板所支撐，基板具有配置在固定結構與振動結構之間的空間(或間隙)；其中，封裝組件係以通道相對於該空間延伸如此之方式而被整合至振動結構(210)內或固定結構(112；330)內，且該空間包圍具有壓電材料的厚度之耦合微結構(126；226；328)，且被設置以確保振動結構(110；210；310)與通道之間的機電耦合，以便讓電晶體的主體之導電率能夠被調變至振動結構的振動頻率。

圖 6A



300：電晶體共振器

308：源極區

309：汲極區

310：振動柱

312：支撐座

312a：腳部

312b：超結構

314：支撐座

314a：腳部

314b：超結構

324：絕緣氧化矽層

326：壓電材料層

328：壓電耦合元件

330：半導體封裝組件

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關於微機電（MEMS）電晶體共振器，且更明確的是有關於包含電晶體的共振器，其中，此電晶體的閘極（可能有多個閘極）及主體係設置而彼此相對移動。此閘極或多個閘極可為移動的且此電晶體的主體可為固定的，或者是此閘極或多個閘極可為固定的且此電晶體的主體可為移動的。本發明也有關於MEMS振盪器，其包含此種電晶體，且可特別被使用作為時基（time base）。

【先前技術】

使用機電共振器的共振來產生界定頻率的訊號之振盪器一般係由積體化振盪電路，及並非此積體電路的部分之壓電耦合共振器所構成。要瞭解的是，此設計致使在此類裝置的尺寸及成本方面不想要的增加。因此，已提出不同的解決方式，以提供完全積體化的共振器振盪器。

專利文件US 3,413,573特別說明包含機電共振器，且原則上可使用標準積體電路製造技術來予以構成的振盪器。所提出的振盪器係組構在電晶體共振器的周圍，更明確是在共振閘極電晶體的周圍。共振閘極電晶體係由表面電位控制電晶體，與配置成面向此電晶體，且設置以產生此電晶體的表面上之振盪電場的共振器之結合所構成。做為範例，表面電位控制電晶體可為組構於半導體基板中的場效電晶體（FET）。此共振器本身係由可撓性懸臂柱（其

係由導電材料所製成)所構成。此可撓性柱延伸於此基板(此電晶體係形成於其中)之上,且被設置而在靜電激勵的效應下振動。

此柱的自由端係相對於此FET電晶體而移動,以便讓此柱的振動能夠控制此電晶體。對此而言,此柱係以相對於此基板(此電晶體係形成於其中)的固定電壓來予以極化(polarised)。此極化電壓必須為足夠地高,以致使源自此柱的此末端之電場能夠影響此場效電晶體的導電率。當符合此條件,且此柱的此末端振盪而交替地自此電晶體移開及朝向此電晶體移動時,此電晶體的表面上之電場的擾動強度具有調變其導電率的效果,因此有「共振閘」電晶體的詞語(expression)。

電晶體共振器(其操作原理剛才已被說明)具有一些缺點。特別而言,僅非常少量之在此可撓性柱周圍的電場作用於此FET電晶體上。此可撓性柱的極化電壓因此必須相當高,亦即,甚至必須高於平常的積體電路所耐受之最大電壓。另一方面,因為機電耦合不是最佳的,所以因而增加此共振器的諧振電阻(motional resistance)。

標題為「包含至少一個電晶體之對移動靈敏的裝置("device sensitive to movement comprising at least one transistor")」之專利文件WO 2007/135 064說明用以改善機電耦合之使用複數個電晶體的MEMS電晶體共振器之多種變型。此外,此文件教導取代組構表面電位控制電晶體於基板中,且致使振動表面扮演閘極之角色的是,等效測

量係要將電晶體的主體整合入振動結構內，且提供閘極而使得電晶體的主體係相對於閘極而移動。

美國紐約梅爾維爾 (Melville) 之美國物理學會的應用物理通訊 (Applied Physics Letters) 之 1998 年的卷 73 (8) 之第 1149-1151 頁之標題為「用於低溫掃描探針顯微鏡的 GaAs/AlGaAs 自我感測懸臂 ("GaAs/AlGaAs self sensing cantilevers for low temperature scanning probe microscopy")」之由 Beck 等人所提出的論文說明根據聯想起共振閘極電晶體的原理之原理來操作之感測器。此感測器包含具有壓電材料的中間層之可撓性柱，當此柱彎曲時，壓電材料受到應力且被極化。將會瞭解的是，此壓電材料層並非被配置於移動結構與固定結構之間的空間中，而是完全被包含於移動結構中。

瑞士洛桑之 Elsevier Sequoia S.A. 之感測器與致動器之 2003 年的卷 103 (1-2) 之第 150-155 頁之標題為「用於整合 CMOS 的微機械共振器之電磁致動與 MOS 電晶體感測 ("Electromagnetic actuation and MOS-transistor sensing for CMOS-integrated micromechanical resonators") 之 Lange 等的論文，以及 2008 年 9 月 15 日之愛丁堡的 2008 年固態裝置研究會議之第 302-305 頁之標題為「作為遲滯開關的雙倍閘極可移動主體微機電 FET：資料發送系統的應用 ("Double gate movable body micro-electro-mechanical FET as hysteretic switch : Application to data transmission systems") 之 Grogg 等的論文均說明根據聯想

起共振閘極電晶體的原理之原理來操作之感測器。然而，這些感測器並不使用壓電效應。

【發明內容】

本發明之目的在於藉由提供包含具有共振閘極的電晶體，或含有具有改善的機電耦合之振動主體的電晶體（而與電晶體的數量無關），及降低的能量消耗之MEMS共振器來改進習知技術的缺點。本發明藉由提供如申請專利範圍第1項之MEMS電晶體共振器來達成此目的。

應該瞭解的是，正如習知技術及依據本發明之共振閘極電晶體中的情況，包含源極區、汲極區、及連接源極區和汲極區的通道之電晶體的主體可被整合至固定結構內，且耦合微結構和振動結構可為整體的。反之，具有整合至振動結構內之此電晶體的主體，且具有和固定結構為整體的之耦合微結構也符合本發明。在此稍後的情況中，我們將參考振動主體電晶體，而不是參考共振閘極電晶體。

不管電晶體的主體是被整合入固定結構內或是被整合入振動結構內，可想到兩種變型。根據本發明的第一種變型，狹窄空間（空氣間隙）使耦合微結構與電晶體的主體分離。此第一種變型使振動結構能夠具有較高振幅的振盪。根據第二種變型，耦合微結構與振動結構及封裝組件兩者為整體的。在此情況中，與第一種變型相反的是，我們將參考「固體間隙」。第二種變型的優點是使共振器操作於真空中，或至少可使其以較低的真空而操作不是絕對必

要的。

根據本發明的特定實施例，共振器的主平面係平行於基板，且共振器的主平面通過源極區、汲極區、通道、耦合微結構及振動結構。換言之，以上所概述的不同元件被微機械入晶圓的同一層內（平面內）。或者，根據本發明的另一個特定實施例，共振器的主平面係垂直於基板，且共振器的主平面通過源極區、汲極區、通道、耦合微結構及振動結構。換言之，共振器為多層的結構，且以上所概述的不同元件之各個元件係形成於不同的層中（平面外）。

根據本發明的另一實施例，耦合微結構與振動結構及封裝組件兩者為整體的，且電晶體的主體係另外由壓阻材料所製成。在這些情況中，電晶體的主體之導電率也可藉由跨於耦合微結構之上的機械耦合來予以調變。

最後，本發明也有關於如申請專利範圍第13項之MEMS振盪器。要瞭解的是，依據本發明的MEMS振盪器係組構於依據本發明的電晶體共振器之周圍。與依據本發明的電晶體共振器之使用相關聯的一個優點為共振器的低諧振電阻致使具有低耗損的振盪器能夠被形成。由於電晶體的單一增益而不需要振盪器的回授迴路中存在有另一個放大元件，所以仍可保持振盪。

依據本發明的MEMS振盪器之特定實施例，振動結構的致動係藉由反向壓電效應來予以達成。

【實施方式】

圖 1、2A、2B 及 3 顯示相當於本發明的第一實施例之 MEMS 共振器。振盪器之與本發明不直接相關的某些組件已被省略，以便不使圖式過於擁擠。本實施例的 MEMS 共振器係根據依據本發明的電晶體共振器。共振器 100 係完全藉由蝕刻入諸如矽的結晶質或非晶質材料之晶圓內來予以形成。如同可特別從圖 2A 及 2B 中所看到的，此第一實施例的特別特徵在於共振器及其電晶體係形成於同平面（與晶圓平行）。

在本實施例中，晶圓為絕緣體上矽（SOI）晶圓，且包含厚的矽基板 102、絕緣氧化矽的中間層 104、及矽的上方層 106，而共振器被蝕刻於此晶圓中。特別參考圖 1，顯而易見的是，本實施例的共振器主要係由共振框架（frame）110 所構成，而共振框架 110 於其兩端係藉由支撐座 112 及 114 來予以固持。如可於圖 2A 中所視，支撐座 114 係由腳（由二氧化矽所製成）所構成，而且，位於支撐座 114 的頂部上之矽的臂部和共振框架 110 一起構成單體（single piece）。支撐座 112 也包含二氧化矽的腳。然而，與支撐座 114 相反的是，支撐座 112 並非與框架 110 直接接觸。實際上，如圖式中所顯示，耦合微結構 126 及絕緣氧化物層 124 係插置於支撐座 112 與框架 110 之間（在本實施例中，耦合微結構 126 僅會由壓電材料層所構成）。

由矽所製成的支撐座 112 之上方部分構成電晶體的 p 型半導體封裝組件。由源極區 108、汲極區 109、及形成連接

此源極區和此汲極區的通道之n摻雜區（無參考標號）所構成的電晶體主體係形成於此封裝組件中。已提及的絕緣氧化物層124覆蓋此通道區，且壓電材料層126係插置於氧化物層124與框架110之間。由氧化物層124和壓電材料層126所構成的水平堆疊構成所謂的閘極堆疊。依據本發明的變型，此閘極堆疊的結構可比剛才所說明的閘極堆疊更為複雜。首先，形成二氧化矽層於此壓電材料的兩側上是有助益的（此變型相當於圖5A至5H的一系列圖式中所繪示之結構）。另一方面，此壓電材料層可被夾置於例如具有提高的介電常數之材料的兩層之間，以便改善機電耦合。最後，正如圖6中所繪示的實施例中之情況的事實，可設置此閘極堆疊具有空氣間隙，亦即，使此堆疊的兩個連續層分離之空的空間。如同已陳述的，應該再次注意的是，在本實施例中，構成支撐座112的矽係已提供有p型摻雜，且源極108和汲極109為已被n摻雜的區域。然而，本發明顯然不受限於此變型。特別而言，形成此電晶體主體的三個區域（源極、通道、汲極）可全部皆具有相同的摻雜。在此情況中，此電晶體將為所謂的無接面電晶體。依據另外的變型，此電晶體的三個區域可以相同型式的摻雜物，但是以不同的摻雜程度來予以摻雜。在此情況中，此電晶體將為所謂的累積/空乏模式電晶體。

如同圖1也顯示，此共振器基本上具有矩形框架110的形狀，而矩形框架110係藉由其連接至支撐座112及114的兩個小邊而被固持於適當之處。此框架的大邊係可隨意變

形的。比較圖1與圖3（其顯示相同的共振器），可看出框架110具有非常長的形式，且圖1及2A中之框架110的中心部分已被切除掉。從功能的觀點來看，圖1的共振器可被比作為音叉式共振器，此音叉式共振器於其兩個末端被封閉，或甚至較佳的是，此音叉式共振器成為一對音叉，此對音叉係與其結合的臂部端對端地設置。圖3繪示在特定模式的振動中，框架110所經歷的變形。將瞭解的是，在所顯示之振動模式中，此共振器的兩個臂部總是對稱的，其具有防止此結構的重心橫向地任意位移至其縱軸之優點。然而，將瞭解的是，本發明不受限於特定的振動模式。此外，本發明不受限於本實施例中所述之此特定型式的共振器。

現在參照圖2B，可看出除了此兩個支撐座112、114之外，共振框架110也被支撐於兩個結構116、118上。與支撐座112、114一樣，此兩個結構116、118各自係由二氧化矽的腳部及矽的臂部所構成。如同圖1中所顯示者，結構116、118的臂部各自係連接至框架110的大邊之其中一邊。也顯而易見的是，壓電材料層122係插置於這些臂部的各個臂部與框架110的對應邊之間。由於反向壓電效應的結果，設置結構116、118而致使框架110的兩個大邊振動。為此目的，此兩個結構116、118接收致動訊號，其功能在於由於壓電效應而致使層122交替地擴張與收縮。因為此壓電材料的厚度變化之幅度非常有限，所以結構116及118較佳實際上被設置於支撐座114之靠近框架110之大邊

的其中一個末端處。要瞭解的是，此配置致使槓桿效應能夠被利用。

當框架 110 在致動訊號的效應下振動時，大邊之彎曲的角度對稱地改變。要瞭解的是，此對稱變化的結果係要致使框架 110 交替地加長及縮短。如同圖 1 顯示，框架 110 之末端的其中一個末端係藉由支撐座 114 與結構 116、118 的連結動作來予以保持固定。在這些情況中，框架 110 的長度之任何變化將會被反映在支撐座 112 的水平（level）上。與框架 110 的變形相關聯之機械應力因此相當特別地作用於耦合結構 126 上。構成本實施例中的此結構之壓電材料層 126 將會被交替地拉伸及壓縮，其具有致使其被週期性地極化之效應。最後，以其本身熟知的方式，使源極區 108 連接至汲極區 109 的通道之導電率將會被調變做為壓電材料 126 之極化程度函數。

依據本實施例之有利的變型，電晶體主體之形成通道的區域被組構及摻雜，以便使其為壓阻的。根據此變型，當壓電材料層 126 被交替地拉伸及壓縮時（如同以上所解釋的），這些機械應力於源極區 108 和汲極區 109 之間的通道之區域中被反映出。在這些情況中，要瞭解的是，此通道的導電率將不僅藉由此壓電層的極化，而且也藉由施加於此通道上的彈性變形來予以調變。

如同以上所陳述的，經常構成振盪器的部分之某些組件不被包括於圖式中，而且沒有被說明。這些組件特別包括建立源極區 108 與汲極區 109 之間的極化之電源供應電路

，及回應於源極區 108 與汲極區 109 之間的電流，而將致動訊號供應至結構 116 及 118 的回授電路。因為剛才已提及的電路可以用完全典型的方式來予以組構，且對於熟習此項技術者而言，解釋是不需要的，所以該等電路沒有被說明。此外，依據本發明的共振器顯然包含使此振盪器連接至外部的連接端子或接腳（未顯示出），以及使此振盪器之不同的組件彼此電氣連接之導電軌道。導電軌道（未顯示出）可藉由摻雜矽而被形成靠近矽層 106 的上方表面。或者，這些軌道可藉由金屬沈積於矽上來予以構成。

用以將致動訊號供應至結構 116 及 118 的回授電路可具有完全典型的組態已被陳述於上。在此情況中，振盪器的回授電路將典型上包含具有足夠增益的放大級，以補償共振器中所預期的損失。然而，依據本發明之共振器的電晶體之增益係如此而使得其有可能在沒有額外的放大級之下管理。因此，依據本發明之另一個有利變型，振盪器的回授電路將不具有額外的放大級，且電晶體共振器的轉移函數本身係可與自我維持的振盪器相容。

另一方面，依據本發明之另外有利的變型，MEMS 振盪器也可包括用以施加偏移電壓，以讓此範圍（在此範圍內，壓電材料的極化電壓變化）能夠被集中於通道的操作點上之機構。對此而言，框架 110 及支撐座 114 可藉由適當的摻雜而被做成導電的。因此，藉由將支撐座 114 連接至電壓源，調整框架 110 的極性電壓是有可能的。因為壓電材料層和此框架為整體的，所以此框架的極化電壓構成參

考電位，在此參考電位附近，此壓電材料的極化振盪。

圖 4 顯示依據本發明的 MEMS 振盪器 200。此振盪器相當於有關圖 1 至 3 中所述的實施例之變型。如同在先前的實施例中，共振器 200 係完全藉由蝕刻入矽晶圓內來予以組構，且此共振器及其電晶體係形成於與此晶圓平行的相同平面中。此共振器具有共振框架 210，共振框架 210 於其兩端係藉由支撐座 212 及 214 來予以支撐。這些支撐座各自係藉由腳部（由二氧化矽所製成）所構成，而且，矽的臂部係配置於腳部的頂部上。支撐座 212、214 並非與框架 210 直接接觸。實際上，可自圖 4 中看出，絕緣氧化物層 224' 係插置於框架 210 與支撐座 214 之間，而且壓電材料層 226 與絕緣氧化物層 224 係插置於框架與支撐座 212 之間。

框架 210 的兩個小邊各自構成場效電晶體主體的 p 型半導體封裝組件。這些電晶體各自包含源極區（分別是 208、208'）、汲極區（分別是 209、209'）、及形成連接此源極區和此汲極區的通道之 n 摻雜區（無參考標號）。絕緣氧化物層（分別是 224、224'）覆蓋各個電晶體的通道區。如同在先前實施例的情況中，構成框架 210 的小邊之矽可能已被設有例如 p 型摻雜，而源極區 208、208' 和汲極區 209、209' 可能已被給予 n 摻雜。支撐座 214 用作為這些電晶體的其中一個電晶體之閘極，而插置於框架 210 與支撐座 212 之間的壓電材料層 226 則扮演另一個電晶體的閘極之角色。與支撐座 214 相關聯的場效電晶體可為除能的（inactive），其僅用作為控制成為支撐座 214 的極化之函數

的可變電阻。

與第一實施例的振盪器之情況中一樣，兩個結構 216、218 被設置而致使框架 210 的兩個大邊振動。對此而言，兩個結構 216、218 接收激勵訊號，其功能係要藉由反向壓電效應而致使壓電材料層 222 交替地膨脹與收縮。依據已針對第一實施例所解釋者，框架 210 的振動係藉由於框架的長度上之週期性變化來予以達成，其中，介電材料 226 的厚度因而交替地拉伸及壓縮，而致使電晶體的閘極之週期性的極化。

圖 5A 至 5H 為顯示僅做為使圖 1、2 及 3 中所顯示的共振器 100 能被被形成，且特別致使壓電材料層 126（圖 1）能夠被被形成的製造程序之主要步驟。

如同已經提及者，共振器 100 可完全藉由蝕刻入絕緣體上矽（SOI）晶圓內來予以組構。此晶圓包含矽的厚基板 102、絕緣氧化矽的中間層 104、及矽的上方層 106，其中，依據本發明之 MEMS 振盪器的組件，且特別是共振器 100，被蝕刻。此共振器的結構首先可被蝕刻入矽的上方層 106 中，以達成圖 5A 中所顯示的結果。熟習此項技術者可藉由視為是適當的任何機構來實施蝕刻。另一方面，雖然未顯示於圖 5A 中，但是連接接腳或端子，以及用以使振盪器的組件彼此連接之導電軌道較佳被組構於此第一步驟期間。如同已經提及者，這些軌道可藉由矽的表面摻雜來予以形成。或者，這些軌道可例如藉由金屬沈積於矽上來予以構成。

如同圖 5B 中所顯示者，介電層 132 然後被形成於此矽上，包括形成於垂直壁上。介電層 132 特別被設置來形成閘極介電層 124（圖 1）。介電層 132 可由二氧化矽（例如，由矽的熱氧化所構成）所構成。此氧化物然後可在不是有用的位置處被局部地去除。二氧化矽係唯一有可能被用來形成介電層 132 的材料。SiO₂ 可被另一種介電材料所取代，或者可與另一種介電材料相結合，以便改善介電常數，而且也改善蝕刻期間的選擇性。

如圖 5C 中所顯示者，壓電材料 134 然後被致使而生長於上方矽層 106 中之初始蝕刻的開口中。對於熟習此技藝者而言，許多製程係可用以達成此。特別值得提及的是由 Takayuki Watanabe 等人所提出之文獻 "Liquid Injection Atomic Layer Deposition of Pb (Zr, Ti) O₃, Thin Films on Three Dimensional Structures", Applications of Ferroelectrics, 2008. ASAF 2008 中所述之原子層沈積 (ALD) 的方法。電化學與固態快報 (Electrochemical and Solid-State Letters), 9 (1) C15-C18, 2006 之由 Atsushi Nagai 等人所提出之 "Conformality of Pb (Zr, Ti) O₃ Films Deposited on Trench Structures Having Submicrometer Diameter and Various Aspect Ratios" 的論文中特別所述之金屬有機化合物 (MOCVD) 的化學氣相沈積應該也被提及。再者，壓電聚合物也是已知的。這些可以多種方式而被沈積於晶圓上。諸如剛才所述的那些之製程能夠使結構（由具有提高的壓電係數之良好品質的材

料所製成)被構成。

此晶圓的表面然後藉由如圖 5D 中所繪示的光阻 136 來予以組構。此光阻層係設置來保護位於有用的位置處之壓電材料 134。壓電材料 134 的其餘部分係藉由化學動作來予以去除，以提供圖 5E 中所繪示的結果。

新掩罩 138 然後被形成，以便保護覆蓋垂直壁的介電層 132 (圖 5F)。經蝕刻的 SOI 晶圓然後被浸沒於電解池 (bath) 中，以使露出的二氧化矽 104 溶解，以便部分地釋放矽及壓電材料 134。假設理想的曝光時間已事先根據某些測試而被判定，使二氧化矽溶解的步驟之結果提供圖 5G 中所顯示的結果。最後，光阻 136、138 被去除，以提供圖 5H 中所顯示的結果。

剛才已被說明的製程具有簡單，且僅由相當有限數量的步驟所組成之優點。然而，用以形成依據本發明的電晶體共振器之感興趣的另一種製程係類似於 2010 年之關於 MEMS 2010 的 IEEE 會議之由 Tiffany J. Cheng 等人所提出之 "High-Q, Low Impedance Polysilicon Resonators with 10 nm Air Gaps" 的論文中所述之製程。根據此另外製程，首先形成固定結構或振動結構。壓電材料層然後被沈積於整個表面之上。最後，用以構成此兩種結構的材料係沈積於壓電材料的頂部上。被用來形成此等結構的材料可例如是多晶矽。後者製程的優點為壓電材料的厚度界定出固定結構與振動結構之間的固體間隙。由於此製程，可防止壓電材料中有破裂 (breaks) 的風險。

圖 6A、6B 及 6C 係依據本發明的第二實施例之電晶體共振器 300 的立體圖。與先前實施例之共振器 100 及 200 相反的是，共振器 300 被設置而較佳地延伸於垂直平面（與基板垂直）上。

更特別的是，參照圖 6A，可看出共振器 300 主要係由振動柱 310 所構成，振動柱 310 於其兩端係藉由支撐座 312 及 314 來予以支撐。支撐座 312、314 各自具有腳部 312a、314a（由摻雜的矽所製成），而且，超結構 312b、314b 係配置於支撐座 312、314 各自的頂部上。超結構 312b、314b 各自具有壓電材料層 326。由壓電材料所製成的此兩個部件 326 被設置而致使柱 310 根據振動的特定模式而振動。對此而言，此兩個部件 326 接收致動訊號，其功能係要致使此兩種厚度的壓電材料各自交替地擴張與收縮。因為壓電材料的厚度之變化的幅度非常有限，所以此兩個部件 326 較佳實際被設置於柱 310 的末端處。

如圖 6B 及 6C 顯示，電晶體共振器 300 也包含配置於柱 310 的中心中之壓電耦合元件 328。壓電耦合元件 328 基本上具有平面形狀，且和柱 310 的下方表面為整體的。此振動柱被設置而被激勵至其基頻的第一諧波（overtone）。在這些情況中，依據圖 6B 中所顯示者，由於此柱的振動所產生的駐波具有藉由此柱的中心處之節點所分離之兩個波腹（antinode）。因此，當此柱振動時，其中心部件明顯地彎曲，但基本上不位移。因此，和此柱的中心為整體的壓電元件 328 受到顯著的拉伸應力，而同時保持幾乎不動

。在圖 6A 中，也可看出半導體封裝組件 330 相對於壓電偵測元件 328 係配置於柱 310 的下方。源極區 308 和汲極區 309 以及設置於源極區與汲極區之間的通道結構（無參考標號）係形成於封裝組件 330 中。自圖 6A 中也可看出絕緣氧化矽層 324 覆蓋使源極區 308 連接至汲極區 309 的通道結構。氧化物層 324 面向壓電偵測元件 328，這兩個元件不會直接接觸，而是藉由小的空氣間隙而被分離。

圖 6C 概要地顯示壓電耦合元件 328 係由於柱 310 的振動而變形時之壓電耦合元件 328 的極化。當此柱的中心通過彎曲與拉直的連續階段時，壓電元件 328 被交替地極化及去極化。因為壓電元件與封裝組件 330 之間的間隙係非常窄，所以使源極區 308 連接至汲極區 309 的通道之導電率係藉由與壓電元件 328 的極化相關聯之週期性電場來予以調變。

如同第一實施例的情況，經常構成振盪器的部分之某些組件不被包括於圖式中，且沒有被說明。這些組件特別包括建立源極區 308 和汲極區 309 之間的極化之電源供應電路，及回應於通過連接源極區 308 和汲極區 309 的通道之電流，而將激勵訊號供應至部件 326 的回授電路。如同在先前的實施例中，未做說明的組件可以完全典型的方式來予以組構，且對於熟習此項技術者而言，解釋是不需要的。

將瞭解的是，在不違離如同藉由後附申請專利範圍所界定之本發明的架構之下，對於本發明中所感興趣的實施

例，可實施熟習者顯然可知的各種修改及/或改善。特別而言，使用壓電裝置來致動根據本發明之共振器的振動結構不是必要的。以本身熟知的方式，上述的壓電元件122（圖1、2A及2B）、222（圖4）及326（圖6A及6B）可例如藉由電容裝置來予以取代。

【圖式簡單說明】

在閱讀參考附圖之僅給予作為非限制範例的底下說明之後，本發明的其他特性及優點將立即變成顯而易見的：

圖1係依據本發明的第一實施例之電晶體共振器的概要平面圖，此圖也顯示用以激勵共振器的兩個壓電膜；

圖2A及2B係分別沿著A-A及B-B所取得之圖1的共振器之概要剖面圖；

圖3係顯示圖1及2之電晶體共振器的特定振動模式之變形的詳細圖形；

圖4係根據圖1中所顯示之實施例的變型之電晶體共振器的平面圖；

圖5A至5H顯示能形成圖1及2中所顯示的電晶體共振器之製造程序中的不同階段；

圖6A係根據本發明的第二實施例之電晶體共振器的立體圖；

圖6B係顯示圖6A之共振器的振動之特定模式的變形之立體圖；以及

圖6C係顯示由用以確保圖6A之微機械共振器與電晶

體的通道之間的機電耦合之壓電材料所製成的微結構之概要立體圖。

【主要元件符號說明】

- 100：共振器
- 102：基板
- 104：中間層
- 106：上方層
- 108：源極區
- 109：汲極區
- 110：共振框架
- 112：支撐座
- 114：支撐座
- 116：結構
- 118：結構
- 122：壓電材料層
- 124：絕緣氧化物層
- 126：耦合微結構
- 132：介電層
- 134：壓電材料
- 136：光阻
- 138：掩罩
- 200：MEMS振盪器
- 208：源極區

- 208' : 源極區
- 209 : 汲極區
- 209' : 汲極區
- 210 : 共振框架
- 212 : 支撐座
- 214 : 支撐座
- 216 : 結構
- 218 : 結構
- 222 : 壓電材料層
- 224 : 絕緣氧化物層
- 224' : 絕緣氧化物層
- 226 : 壓電材料層
- 300 : 電晶體共振器
- 308 : 源極區
- 309 : 汲極區
- 310 : 振動柱
- 312 : 支撐座
- 312a : 腳部
- 312b : 超結構
- 314 : 支撐座
- 314a : 腳部
- 314b : 超結構
- 324 : 絕緣氧化矽層
- 326 : 壓電材料層

328：壓電耦合元件

330：半導體封裝組件

發明專利說明書

(本申請書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：099141473

H03H 9/02 (2006.01)

※申請日：099年11月30日

※IPC分類：

H03H 9/34 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

微機電 (MEMS) 電晶體共振器及包含此種共振器之振盪器

MEMS transistor resonator and oscillator comprising such a resonator

二、中文發明摘要：

該微機電 (MEMS) 電晶體共振器，包含：

封裝組件，其中，電晶體的主體係形成而包含源極區 (108；208；308)、汲極區 (109；209；309)、及形成連接源極區和汲極區的通道之半導體區；

振動結構 (110；210；310)，與基板為整體的且同時可隨意地振動；以及

固定結構 (112；212；330)，係由基板所支撐，基板具有配置在固定結構與振動結構之間的空間 (或間隙)；

其中，封裝組件係以通道相對於該空間延伸如此之方式而被整合至振動結構 (210) 內或固定結構 (112；330) 內，且該空間包圍具有壓電材料的厚度之耦合微結構 (126；226；328)，且被設置以確保振動結構 (110；210；310) 與通道之間的機電耦合，以便讓電晶體的主體之導電率能夠被調變至振動結構的振動頻率。

三、英文發明摘要：

The MEMS transistor resonator comprises:

- a package in which the body of said transistor is formed comprising a source region (108; 208; 308), a drain region (109; 209; 309) and a semiconductor region forming a channel connecting the source region and the drain region;

- a vibrating structure (110; 210; 310) integral to a substrate while being free to vibrate;

- a fixed structure (112; 212; 330) supported by the substrate with a space (or gap) arranged between the fixed structure and the vibrating structure;

wherein the package is integrated either into the vibrating structure (210) or into the fixed structure (112; 330) in such a manner that the channel extends in relation to said space, and said space encloses a coupling microstructure (126; 226; 328) having a thickness of piezoelectric material and provided to assure an electromechanical coupling between the vibrating structure (110; 210; 310) and the channel in order to allow the conductivity of said body of the transistor to be modulated to the vibration frequency of the vibrating structure.

七、申請專利範圍：

1. 一種微機電（MEMS）電晶體共振器，包含：

封裝組件，其中，該電晶體的主體係形成而包含源極區、汲極區、及形成連接該源極區和該汲極區的通道之半導體區；

振動結構，與基板為整體的且同時可隨意地振動；以及

固定結構，係由該基板所支撐，間隙係配置在該固定結構與該振動結構之間；

其中，該封裝組件係以該通道圍繞該間隙如此之方式而被整合至該振動結構內或該固定結構內；

其中，該間隙包圍具有一層壓電材料層的耦合微結構，且係配置成提供該振動結構與該通道之間的機電耦合，以便讓該電晶體的該主體之導電率能夠被調變至該振動結構的振動頻率。

2. 如申請專利範圍第1項之微機電電晶體共振器，其中，該封裝組件被整合至該固定結構內。

3. 如申請專利範圍第2項之微機電電晶體共振器，其中，該耦合微結構和該振動結構為整體的，且藉由開放空間而使該耦合微結構與該通道分離。

4. 如申請專利範圍第2項之微機電電晶體共振器，其中，該耦合微結構與該振動結構及該封裝組件兩者為整體的。

5. 如申請專利範圍第1項之微機電電晶體共振器，其

中，該封裝組件被整合至該振動結構內。

6. 如申請專利範圍第5項之微機電電晶體共振器，其中，該耦合微結構與該封裝組件為整體的。

7. 如申請專利範圍第6項之微機電電晶體共振器，其中，該耦合微結構與該固定結構及該封裝組件兩者為整體的。

8. 如申請專利範圍第1至7項的任一項之微機電電晶體共振器，其中，該共振器的主平面係平行於該基板，而該共振器的主平面通過該源極區、該汲極區、該通道、該耦合微結構及該振動結構。

9. 如申請專利範圍第1至7項的任一項之微機電電晶體共振器，其中，該共振器的主平面係垂直於該基板，而該共振器的主平面通過該源極區、該汲極區、該通道、該耦合微結構及該振動結構。

10. 如申請專利範圍第4或7項之微機電電晶體共振器，其中，該電晶體的該主體係由壓阻材料所製成，且其中，該電晶體的該主體之導電率也藉由跨越該耦合微結構之上的機械耦合來予以調變。

11. 如申請專利範圍第1至7項的任一項之微機電電晶體共振器，其中，該電晶體為無接面電晶體。

12. 如申請專利範圍第1項之微機電電晶體共振器，其中，該耦合微結構與該共振器的導電部分為整體的，該導電部分係連接至電壓源，以便讓參考電位能夠被設定用於該耦合結構。

13. 一種微機電（MEMS）振盪器，包含：

封裝組件，其中，該電晶體的主體係形成而包含源極區、汲極區、及形成連接該源極區和該汲極區的通道之半導體區；

電源供應線路，被設置以建立該源極區與該汲極區之間的極化；

振動結構，與基板為整體的且同時可隨意地振動；

回授電路，係設置成回應通過導電元件的電流，而將致動訊號供應至該振動結構；以及

固定結構，係由該基板所支撐，間隙係配置於該固定結構與該振動結構之間；

其中，該封裝組件係以該通道圍繞該空間如此之方式而被整合至該振動結構內或該固定結構內；

其中，該空間包圍具有壓電材料的厚度之耦合微結構，且被設置以確保該振動結構與該通道之間的機電耦合，以便讓該電晶體主體之導電率能夠被調變至該振動結構的振動頻率。

14. 如申請專利範圍第13項之微機電振盪器，其中，該微機電振盪器包含用以致動該振動結構的壓電裝置，且其中，該致動訊號係設置成藉由反向壓電效應而致使該振動結構振動。

15. 如申請專利範圍第14項之微機電振盪器，其中，該電晶體的增益足以使振盪器的振盪能夠自我維持。

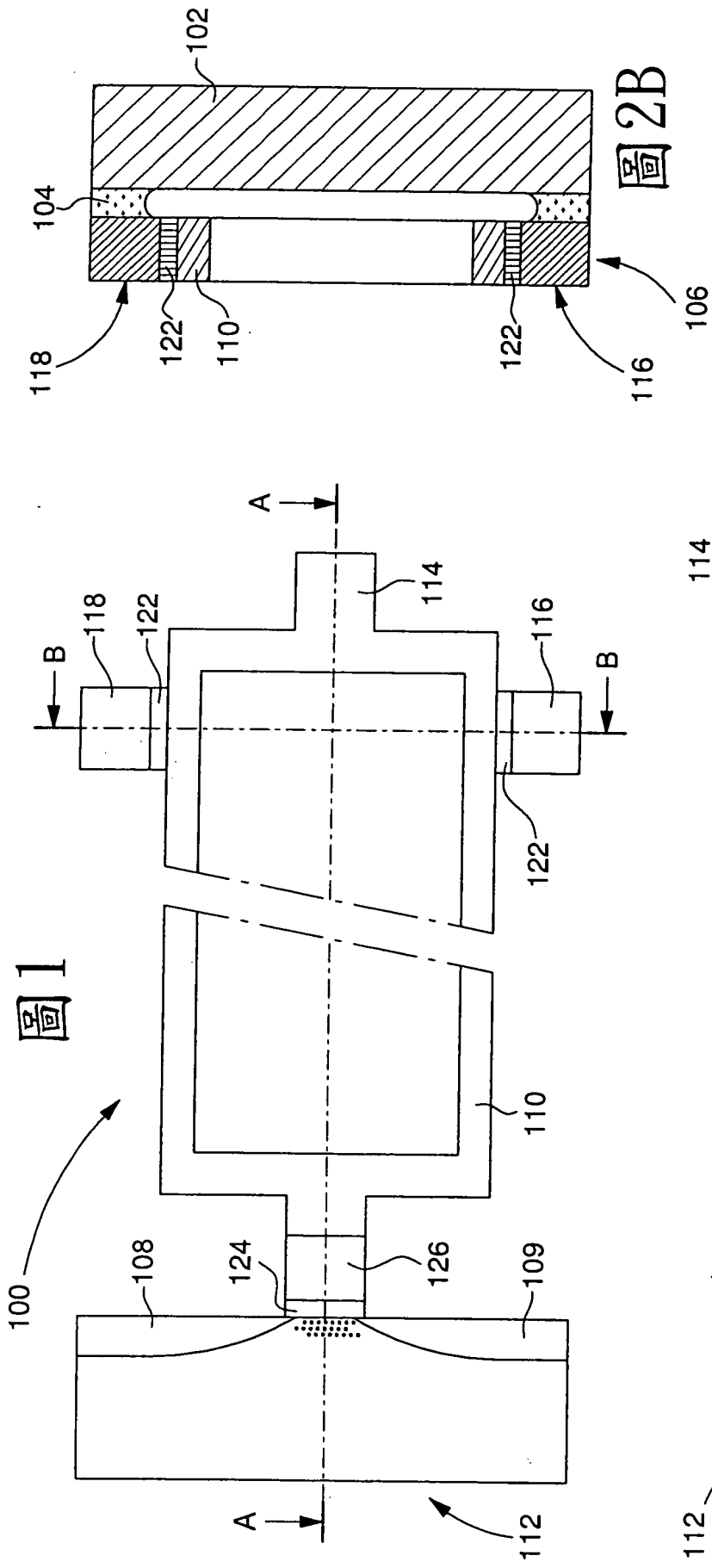


圖 1

圖 2B

圖 2A

圖 3

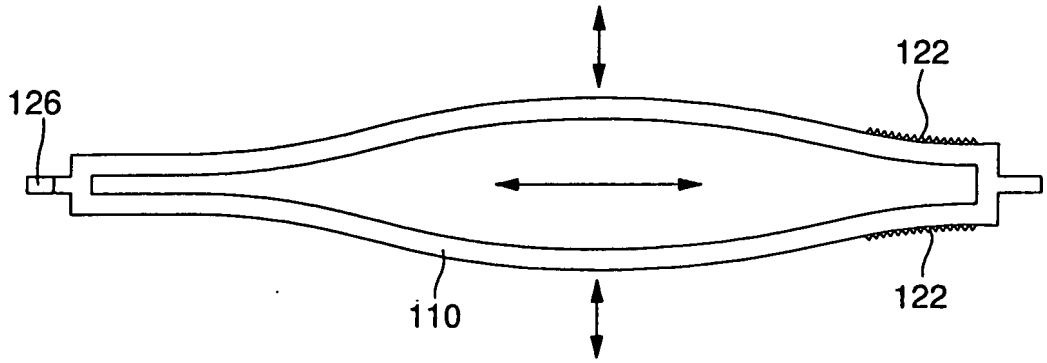


圖 4

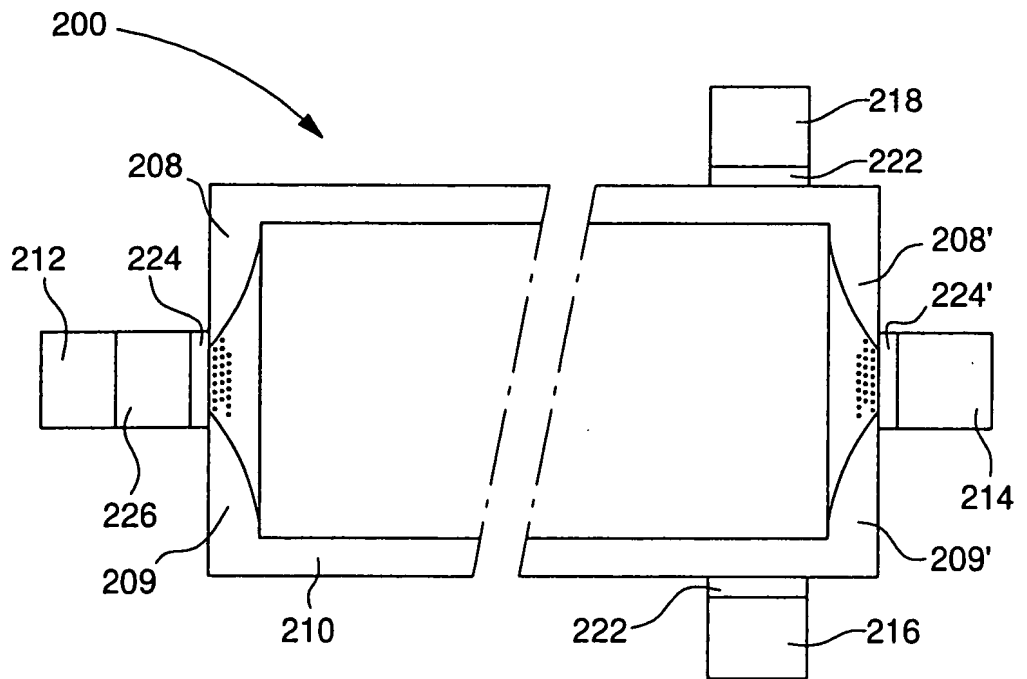


圖 5A

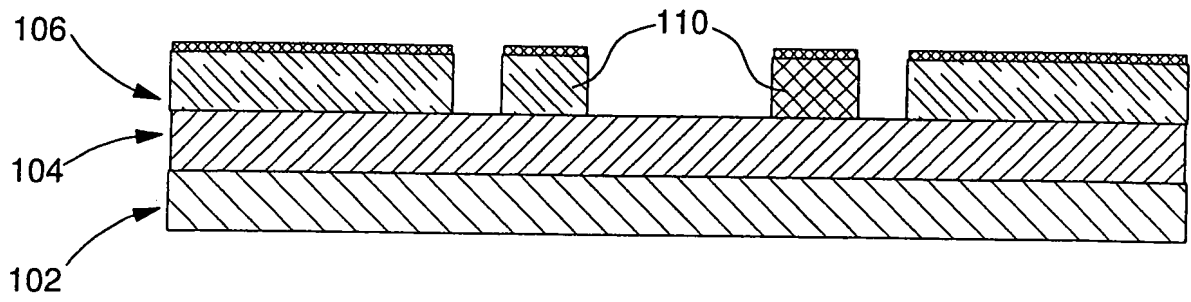


圖 5B

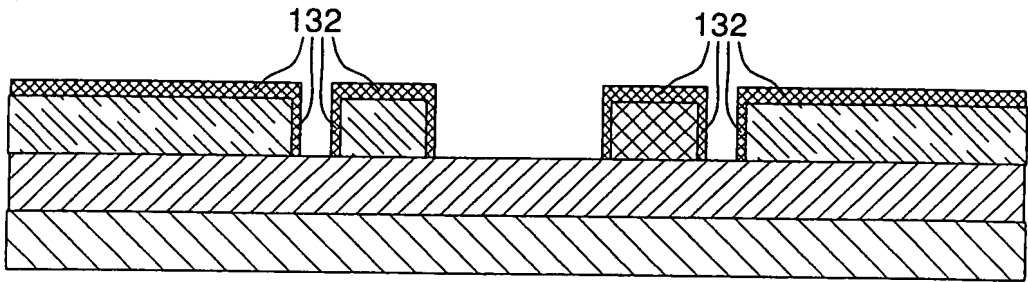


圖 5C

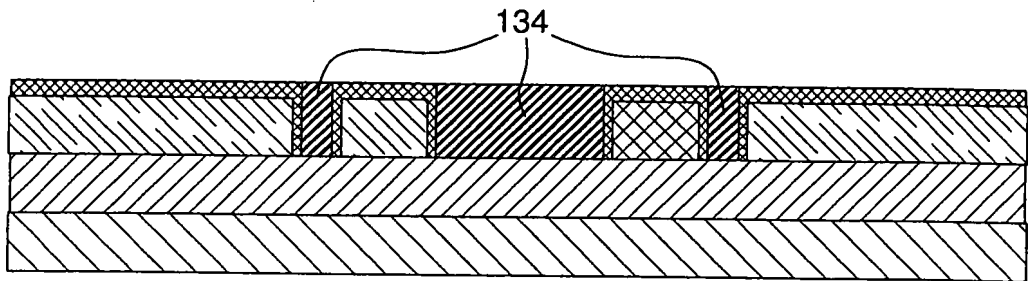


圖 5D

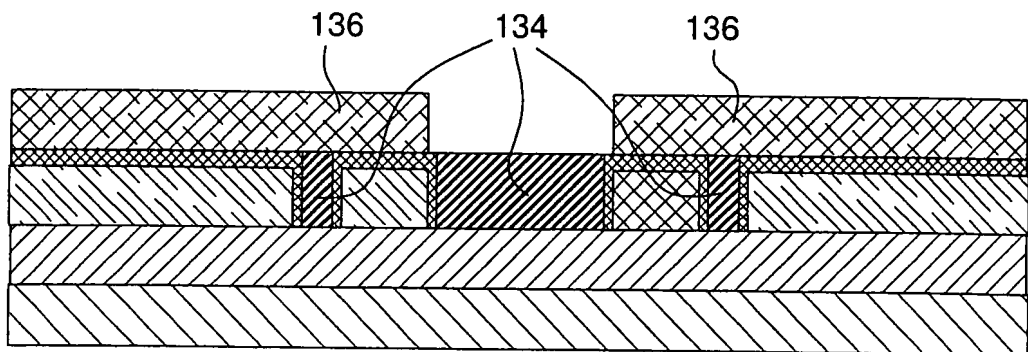


圖 5E

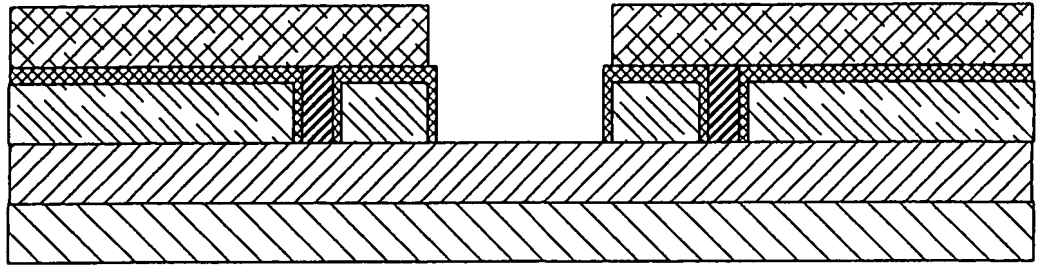


圖 5F

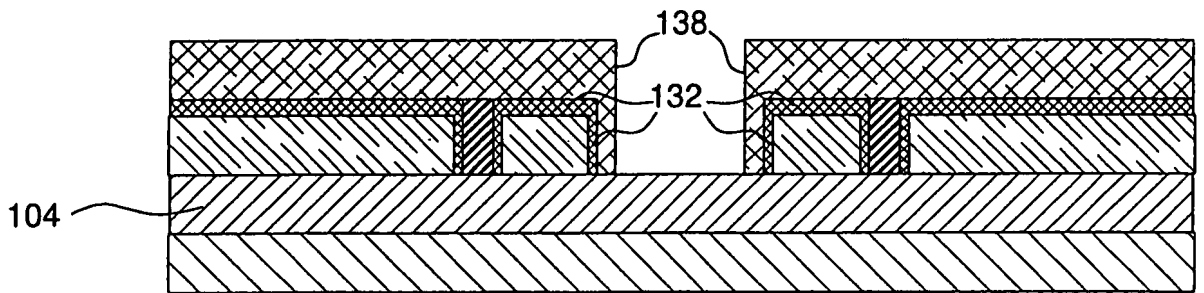


圖 5G

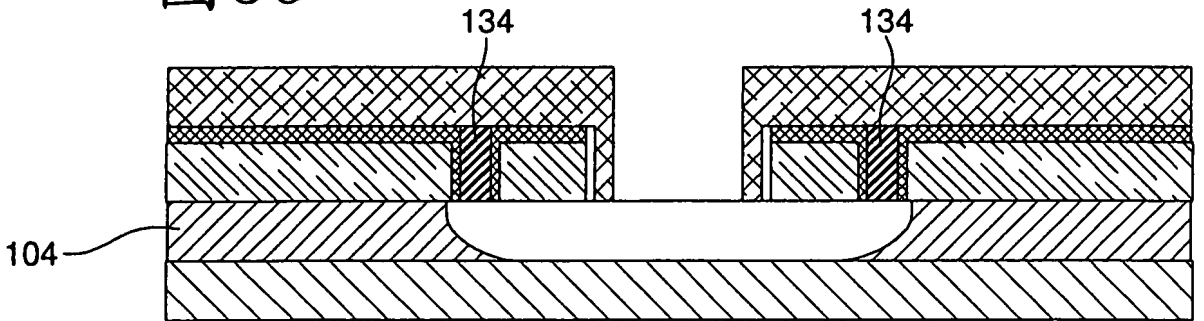


圖 5H

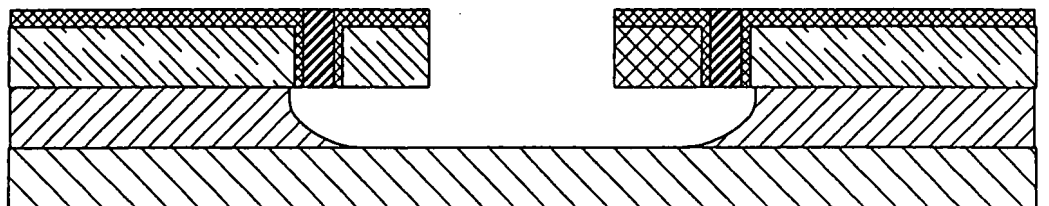


圖 6A

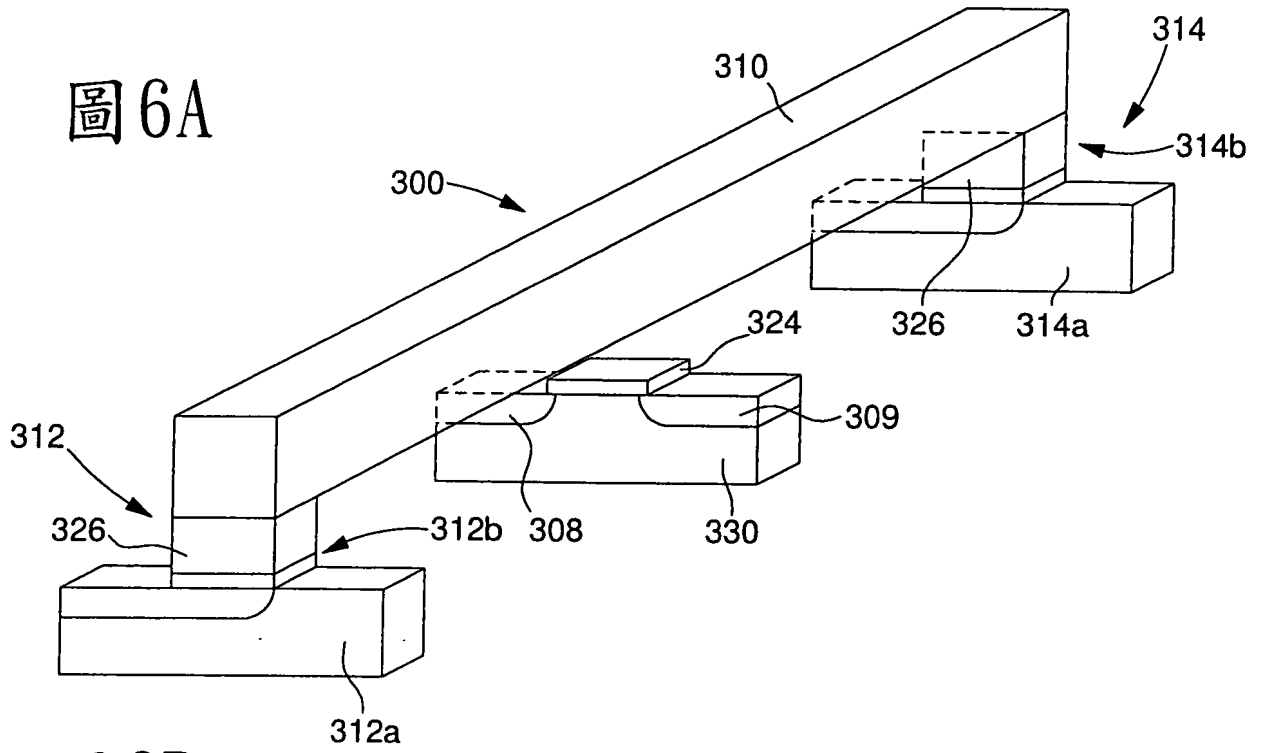


圖 6B

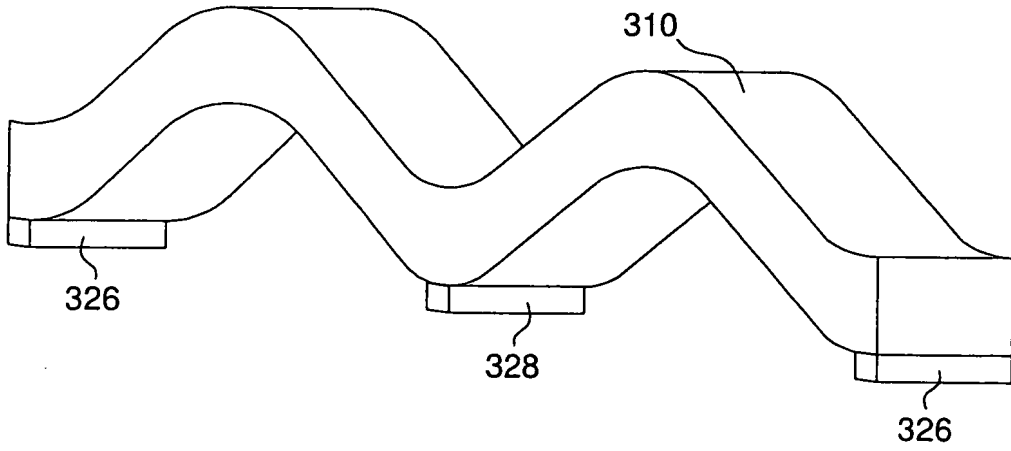
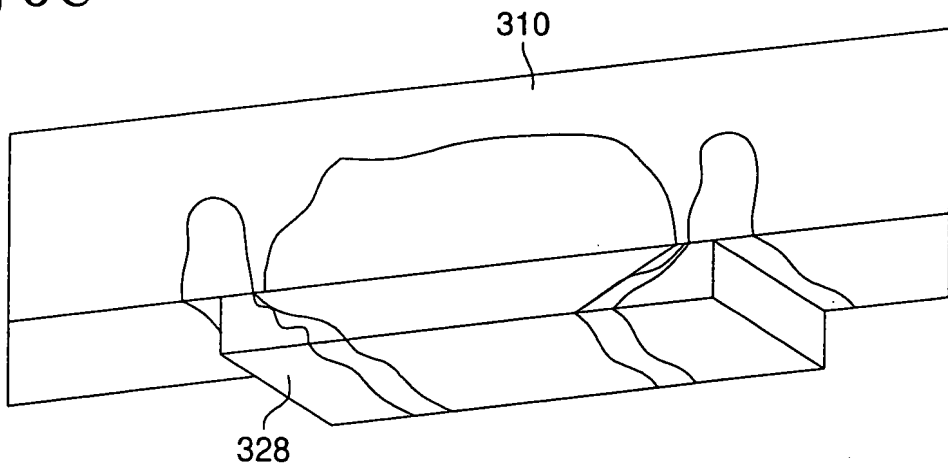


圖 6C



四、指定代表圖：

(一) 本案指定代表圖為：第 6A、6B 圖。

(二) 本代表圖之元件符號簡單說明：

- 300：電晶體共振器
- 308：源極區
- 309：汲極區
- 310：振動柱
- 312：支撐座
- 312a：腳部
- 312b：超結構
- 314：支撐座
- 314a：腳部
- 314b：超結構
- 324：絕緣氧化矽層
- 326：壓電材料層
- 328：壓電耦合元件
- 330：半導體封裝組件

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：無