



(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 I751231 B

(45)公告日：中華民國 111 (2022) 年 01 月 01 日

(21)申請案號：106141277

(22)申請日：中華民國 106 (2017) 年 11 月 28 日

(51)Int. Cl. : H01L23/34 (2006.01)

H01L21/67 (2006.01)

(30)優先權：2016/12/09 英國

1620982.7

(71)申請人：英商伊門勒汀斯有限公司 (英國) EVONETIX LTD. (GB)

英國

(72)發明人：海斯 馬修詹姆士 HAYES, MATTHEW JAMES (GB)；弗格森 安德魯詹姆士

FERGUSON, ANDREW JAMES (GB)；強古 法西爾丹 JUNCU, VASILE DAN

(GB)；坦伯 史提芬 TEMPLE, STEPHEN (GB)

(74)代理人：李世章；彭國洋

(56)參考文獻：

TW 200618221A

TW 200837907A

US 2016/0167518A1

審查人員：邱迺軒

申請專利範圍項數：16 項 圖式數：15 共 51 頁

(54)名稱

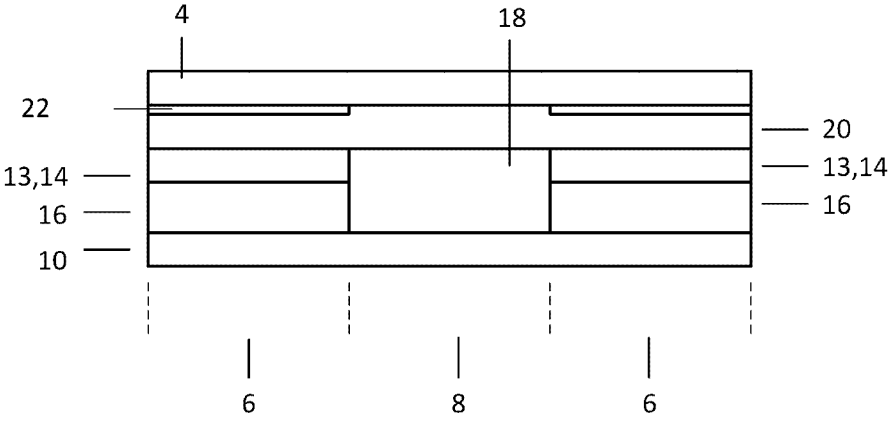
溫度控制裝置

(57)摘要

一溫度控制裝置 2，包含設置在基板 10 上的各別位置處的數個主動熱部位 6，且每一主動熱部位包含加熱元件 13 與絕熱層 16，加熱元件 13 用於施加可變量的熱至介質的對應部位，而絕熱層 16 設置在加熱元件與基板之間。至少一個被動熱區域 8 設置在基板 10 上的主動熱部位 6 之間，每一被動熱區域 8 包含導熱層 18，用於將熱從介質的對應部分傳導至基板 10。導熱層 18 在垂直於基板 10 平面的方向中具有較低的熱阻，相較於絕熱層 16。此例如賦能了對於流動流體中的個別部位的加熱與冷卻兩者的精確控制。

A temperature control device 2 comprises a number of active thermal sites 6 disposed at respective locations on a substrate 10, each comprising a heating element 13 for applying a variable amount of heat to a corresponding site of a medium and a thermal insulation layer 16 disposed between the heating element and the substrate. At least one passive thermal region 8 is disposed between the active thermal sites 6 on the substrate 10, each passive thermal region 8 comprising a thermal conduction layer 18 for conducting heat from a corresponding portion of the medium to the substrate 10. The thermal conduction layer 18 has a lower thermal resistance in a direction perpendicular to a plane of the substrate 10 than the thermal insulation layer 16. This enables precise control over both heating and cooling of individual sites in a flowing fluid, for example.

指定代表圖：



第 3 圖

符號簡單說明：

- 4 . . . 流體流動路徑
- 6 . . . 主動熱部位
- 8 . . . 被動熱區域
- 10 . . . 基板
- 13 . . . 加熱元件
- 14 . . . 溫度計(溫度感測器)
- 16 . . . 絕熱層
- 18 . . . 導熱層
- 20 . . . 電性絕緣區域
- 22 . . . 金墊



I751231

【發明摘要】

【中文發明名稱】溫度控制裝置

【英文發明名稱】TEMPERATURE CONTROL DEVICE

【中文】

一溫度控制裝置2，包含設置在基板10上的各別位置處的數個主動熱部位6，且每一主動熱部位包含加熱元件13與絕熱層16，加熱元件13用於施加可變量的熱至介質的對應部位，而絕熱層16設置在加熱元件與基板之間。至少一個被動熱區域8設置在基板10上的主動熱部位6之間，每一被動熱區域8包含導熱層18，用於將熱從介質的對應部分傳導至基板10。導熱層18在垂直於基板10平面的方向中具有較低的熱阻，相較於絕熱層16。此例如賦能了對於流動流體中的個別部位的加熱與冷卻兩者的精確控制。

【英文】

A temperature control device 2 comprises a number of active thermal sites 6 disposed at respective locations on a substrate 10, each comprising a heating element 13 for applying a variable amount of heat to a corresponding site of a medium and a thermal insulation layer 16 disposed between the heating element and the substrate. At least one passive thermal region 8 is disposed between the active thermal sites 6 on the substrate 10, each passive thermal region 8 comprising a thermal conduction layer 18 for conducting heat from a corresponding portion of the medium to the substrate 10. The thermal conduction layer 18 has a lower thermal resistance in a direction perpendicular to a plane of the substrate 10 than the thermal insulation layer 16. This

enables precise control over both heating and cooling of individual sites in a flowing fluid, for example.

【指定代表圖】第（ 3 ）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

4 流體流動路徑

6 主動熱部位

8 被動熱區域

10 基板

13 加熱元件

14 溫度計（溫度感測器）

16 絕熱層

18 導熱層

20 電性絕緣區域

22 金墊

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】溫度控制裝置

【英文發明名稱】TEMPERATURE CONTROL DEVICE

【技術領域】

【0001】 本技術相關於溫度控制的領域，更特定而言，本技術相關於控制介質的多個部位處的溫度。

【先前技術】

【0002】 控制施加在介質（例如流體或固體）中不同部位處的熱圖案，對於一些應用而言是有用的，如（例如）用於控制各別部位處的化學反應，此由於化學反應可指數性相依於溫度。為能夠設定不同部位處的不同溫度，或隨著時間改變給定部位處的溫度，可需要加熱一些部位，同時可需要冷卻其他部位。然而，提供允許在不同部位處快速雙向控制溫度，同時支援一些應用所需的溫度範圍的裝置，是具有挑戰性的。

【發明內容】

【0003】 至少一些實例提供一種用於控制介質的複數個部位處的溫度的溫度控制裝置，包含：
複數個主動熱部位，複數個主動熱部位設置於基板上的各別位置處，每一主動熱部位包含加熱元件與絕熱層，加熱元件經配置以施加可變量的熱至介質的對應部位，絕熱層設置在加熱元件與基板之間；以及

一或更多個被動熱區域，一或更多個被動熱區域設置在基板上的複數個主動熱部位之間，每一被動熱區域包含導熱層，導熱層經配置以將熱從介質的對應部分傳導至基板；

其中一或更多個被動熱區域的導熱層的熱阻在垂直於基板的平面的方向中要低於複數個主動熱部位的絕熱層。

【0004】 至少一些實例提供一種用於控制介質的複數個部位處的溫度的方法，包含：

提供介質於溫度控制裝置上，溫度控制裝置包含複數個主動熱部位與一或更多個被動熱區域，複數個主動熱部位設置在基板上的各別位置處，一或更多個被動熱區域設置在基板上的複數個主動熱部位之間；

每一主動熱部位包含加熱元件與絕熱層，加熱元件經配置以施加可變量的熱至介質的對應部位，絕熱層設置在加熱元件與基板之間；

每一被動熱區域包含導熱層，導熱層經配置以將熱從介質的對應部分傳導至基板；以及

一或更多個被動熱區域的導熱層的熱阻在垂直於基板的平面的方向中要低於複數個主動熱部位的絕熱層；以及控制複數個主動熱部位的加熱元件施加的熱量，以在介質的複數個部位處控制溫度。

【0005】 至少一些實例提供一種製造溫度控制裝置的方法，包含：

形成基板上的各別位置處的複數個主動熱部位以及一或更多個被動熱區域，一或更多個被動熱區域設置在基板上的複數個主動熱部位之間；其中：

每一主動熱部位包含加熱元件與絕熱層，加熱元件經配置以施加可變量的熱至介質的一對應部位，絕熱層設置在加熱元件與基板之間；

每一被動熱區域包含導熱層，導熱層經配置以將熱從介質的對應部分傳導至基板；以及

一或更多個被動熱區域的導熱層的熱阻在垂直於基板的平面的方向中要低於複數個主動熱部位的絕熱層。

【圖式簡單說明】

【0006】 在參閱下列實例說明後，將可顯然明瞭本技術的進一步的態樣、特徵與優點，下列說明應結合附加圖式來閱讀，在圖式中：

【0007】 第1圖示意圖示說明用於控制介質內各別部位處的溫度的溫度控制裝置的實例；

【0008】 第2圖圖示溫度控制裝置的俯視圖；

【0009】 第3圖更詳細圖示溫度控制裝置的截面；

【0010】 第4圖為圖示流體中溫度改變的實例的圖表，其中流體正流過溫度控制裝置的主動熱部位與被動熱區域；

【0011】 第5圖圖示說明主動熱部位的熱模型；

【0012】 第6圖圖示說明系統的一階估計，為由四個被動熱區域圍繞的一主動熱部位；

- 【0013】 第7圖圖示類似於熱模型的電路模型；
- 【0014】 第8圖圖示第7圖模型的精簡版本；
- 【0015】 第9圖圖示供應至介質的熱如何隨著加熱元件產生的熱而變化；
- 【0016】 第10圖圖示用於在控制給定主動部位處的溫度的回饋迴路架構；
- 【0017】 第11圖為圖示說明控制介質中各別部位處的溫度的方法的流程圖；
- 【0018】 第12圖圖示說明用於主動部位的熱絕緣層的柱型結構的實例；
- 【0019】 第13圖圖示說明兩個主動部位與數個被動部位的截面，其中熱絕緣層具有包含了孔隙的柱型結構；
- 【0020】 第14圖為圖示說明製造具有柱型熱絕緣層的溫度控制裝置的方法的流程圖；以及
- 【0021】 第15圖圖示說明第14圖的製造方法的各別階段。

【實施方式】

【0022】 一種用於在介質的多個部位處控制溫度的溫度控制裝置，包含設置在基板上的各別位置處的數個主動熱部位，且每一主動熱部位包含加熱元件與絕熱層，加熱元件用於施加可變量的熱至介質的對應部位，而絕熱層設置在加熱元件與基板之間。一或更多個被動熱區域設置在基板上的主動熱部位之間，而每一被動熱區域包含導熱層，用於將熱從介質的對應部分傳導至基板。被動冷卻區

域的導熱層在垂直於基板平面的方向中具有較低的熱阻，相較於主動熱部位的絕熱層。在使用時，基板可作為散熱器（藉由使基板暴露至室溫，或藉由冷卻基板（若需要更低的溫度））。因此，被動區域中的導熱層，賦能被動區域冷卻在主動熱部位之間的區域中的介質，使得主動熱部位自身僅需提供較少的冷卻。因為不再需要允許太多熱通過基板以支援冷卻，可在加熱元件與基板之間使用具有較高熱阻的絕熱層，此使得主動熱部位可被設計為更有效率地用於加熱。此表示在加熱期間內，損失至基板的熱較少，且因此裝置所支援的總和溫度範圍可為較高。

【0023】此可對比於一替代性作法，即提供作為單一加熱/冷卻源的數個主動部位，每一部位具有輸出可變熱的加熱器，且在來自加熱器的熱少於損失至作為散熱器的基板的熱時提供了冷卻（且主動部位之間的邊界具有相同或高於主動部位的熱阻）。然而，此作法的一種問題，為在給定主動站上方的介質位於相當低的溫度，但仍需要進一步的冷卻時，從主動部位流到基板的熱將相當低（因為熱流取決於跨於熱流路徑上的溫度差），因此，為了達成進一步的冷卻，主動部位的材料將需要足夠低的熱阻，以使得在低溫下足夠的熱流到基板。另一方面，在介質上對應部位處的溫度相當高時，跨於加熱部位上的溫度差異將大得多，且因此損失至基板的熱量將很大。因此，為了將介質的對應部位加熱至甚至更高的溫度，此將需要將大量的功率施加至加熱元件以抵銷損失至下方基板的熱。實際

上，由於設計限制條件，加熱元件所支援的最大功率可受到限制。因此，使用相同部位以提供完整加熱/冷卻功能性的作法，將受限於在介質的給定部位處可控制的溫度範圍中。

【0024】 相對的，在本技術中，主動熱部位間的被動熱區域包含一層，此層的導熱性比主動部位中加熱元件與基板之間的絕熱層要更高。由於被動熱區域可提供冷卻，此表示主動部位不需要提供太多的冷卻且因此可由更絕熱的材料製成，使得在主動部位處較少的熱損失至基板，且因此較多的加熱元件功率可用於加熱介質自身。因此，對於要提供的冷卻的給定量，以及加熱元件可提供的給定功率，可達成的最大溫度可被提升，相較於上文所論述的替代性作法。因此，可使用溫度控制裝置在每一部位處控制較寬範圍的溫度。

【0025】 被動部位之所以為被動的意義在於，儘管提供在被動部位處的冷卻量將取決於跨於被動部位上的溫度差異（可間接取決於在鄰接主動部位處的溫度設定），但溫度控制裝置不直接控制被動部位處的熱流量，相反的，導熱層僅對熱流提供給定的熱阻量，此熱阻量低於主動部位處的絕熱層。除了幫助改進使用主動部位所能達到的溫度範圍以外，在裝置被用於控制流體內的溫度時，被動區域亦可幫助減少流體所通過的先前部位處的熱「歷史」效應，由於被動區域可將流體冷卻為較接近基板溫度，而減少了進入給定主動部位的流體溫度的變異性。此減少了用

於在每一部位處控制加熱器的控制迴路所必需的迴路增益（此將於下文進一步論述）。

【0026】 另一方面，主動部位之所以為主動的意義，為可藉由改變加熱元件所提供的功率，來控制所提供的加熱量或冷卻量。然而，在主動部位處流至介質（或流自介質）的熱量，不僅取決於加熱元件提供的熱量，而更取決於主動部位周圍的溫度，主動部位周圍的溫度可影響有多少熱從加熱元件損失至基板（或損失至周圍的被動熱部位）。

【0027】 因此，可提供控制電路系統，以控制所選擇的主動熱部位使用加熱元件加熱介質的對應部位，或藉由使熱流動通過絕熱層至基板而冷卻對應部位，此係取決於在此主動熱部位中的加熱元件所產生的熱量是大於臨限量還是小於臨限量。臨限量可等效地代表加熱元件所產生以抵銷損失至基板或周圍被動熱部位的熱的熱量。

【0028】 此臨限量可取決於數個因素，包含在垂直於基板平面的方向中的主動熱部位的絕熱層的熱阻。在加熱器功率給定為最大之下，若絕熱層的熱阻較低，則所支援的溫度範圍將傾向移向較低的溫度（相較於絕熱層的熱阻較高時）。因此，可藉由選擇具有給定熱阻的絕熱層，仔細控制偏壓點（即加熱元件抵銷損失至除了介質散熱器以外的周圍區域的熱的點）。因此，藉由選擇具有不同熱阻的絕熱材料（例如藉由選擇不同的材料自身，或藉由改變給定絕熱材料的實體結構（諸如藉由包含孔隙）），可對不

同的應用設計不同的具體實施例（取決於所需的溫度範圍）。

【0029】 臨限量亦可取決於溫度，例如，較熱的主動部位將傾向損失較多熱至基板（相較於較冷的主動部位），因為跨於主動部位上的溫度差異較大。因此，取決於主動部位的溫度，加熱元件可需要傳遞不同的功率量，以獲得流至介質的給定熱量。此使得控制加熱元件以提供給定溫度設定更為複雜。

【0030】 因此，每一主動熱部位可包含溫度感測器以感測在對應主動熱部位處的溫度。可提供數個回饋迴路，每一回饋迴路對應於主動熱部位中之一個主動熱部位，以控制此主動熱部位的加熱元件。每一回饋迴路可實施一轉移函數，轉移函數用於根據對應主動熱部位的溫度感測器所感測到的溫度以及對介質的對應部位所指定的目標溫度，來判定要施加至介質的對應部位的目標熱量。另一函數（下面稱為線性化函數）隨後可將轉移函數判定的目標熱量，映射至用於控制對應主動熱部位的加熱元件的輸入訊號。線性化函數可為對應主動熱部位的溫度感測器感測到的溫度的函數，並可根據目標熱量與從主動熱部位的加熱元件損失至基板與周圍被動熱區域的熱量的總和，來判定輸入訊號。

【0031】 吾人可期望，根據在主動部位處測量到的溫度來控制加熱器的回饋迴路，應僅實施單一轉移函數，此單一轉移函數將目標溫度與測量溫度之間的誤差直接映射

至加熱器輸入訊號。然而，實際上此種控制迴路將非常難以實施。並不是所有由加熱器供應的熱都會供應至介質自身，因為一些熱會經由主動熱部位中的絕熱層損失至基板或損失至主動熱部位周圍的被動熱區域。損失至周圍區域的熱量係相依於溫度，且由於每一部位可位於不同的溫度，部位與部位之間的損失熱量將不同。因此，在受控體是由加熱器提供的熱而不是流入介質的熱的轉移函數中，迴路增益將成為主動部位溫度的函數，因此不存在確保所有可能的主動部位溫度上的穩定性和準確性的唯一性控制器（轉移函數）。

【0032】 相對的，藉由將加熱器的控制分成兩個部分，可設計穩定的控制迴路。第一控制部分為轉移函數將測量溫度與目標溫度之間的誤差，映射至要供應至流體的熱量（而不考慮如何控制加熱器以提供此目標熱量）。藉由提供閉迴路控制轉移函數（其中受控體是供應至介質的目標熱量，而不是加熱器供應的熱量），可使迴路增益獨立於部位溫度，此允許將迴路根據古典控制理論模型化為線性非時變系統。另一方面，隨後的線性化函數將轉移函數判定的目標熱量，映射至加熱器控制輸入。可根據給定主動部位處的熱流模型（取決於主動部位的測量溫度），來設計線性化函數。藉由將溫度相依熱損失提出閉迴路轉移函數，迴路增益可等效地被「線性化」（擬似為線性非時變系統），此即「線性化函數」之意義。此允許設計穩定的控制迴路。

【0033】 人們可能會質疑，如若已經可以使用線性化函數在活動位置將熱流模型化，為什麼提供閉迴路控制器 - 代表目標溫度和由加熱器供應的功率間的關係的熱流模型是否可在沒有閉迴路轉移函數之下使用？但是，所需供應至介質以設定給定目標溫度的熱量，不僅取決於目標溫度，而更取決於要加熱的介質的先前溫度（存在需要處理的一些「歷史」）。對於固體介質的加熱，歷史取決於在給定主動部位處的先前溫度設定（此可隨著時間改變）。對於流過主動與被動部位的流體介質的加熱，歷史取決於流體在到達當前主動部位之前所通過的其他部位所施加的加熱。例如，若給定的流體部分從較熱部位流至較冷部位，則吾人將期望需要提供冷卻以減少溫度而非加熱以提升溫度，而對於第二部位的相同目標溫度設定可需要加熱（若第二部位接續著更冷的部位）。儘管被動部位可藉由將介質冷卻接近基板溫度以幫助「重置」溫度歷史，但仍存在歷史相依效應，此將難以由單一熱流模型獨自處理。藉由使用閉迴路作法（其中根據特定轉移函數連續調整對流體的目標熱量，此特定轉移函數取決於目標/測量溫度之間的誤差），此使得人們能夠獲得更佳的溫度控制（即使不存在對於介質先前溫度的實際知識，例如，閉迴路轉移函數不需解釋抵達主動部位的流體的仍可未知的實際溫度）。

【0034】 用於線性化函數的關係，可被推導為代表溫度控制裝置的熱模型的推導反演（analytic

inversion)，此將於下面的實例中更詳細說明。在熱模型中，熱流的熱性質、熱阻與熱容量可分別由電流、電阻與電容來代表，以允許由類似於電路的方式來推導所需的非線性控制函數。

【0035】 特定而言，線性化函數可根據下面的關係式，將目標熱量 q_{fi} 映射至給定主動熱部位的加熱元件所供應的實際熱量 q ：

$$q = q_{fi} + \frac{T_i - T_{HS}}{\frac{R_{iz}}{2}} + \left\{ \frac{T_i - R_1 || R_3 \left[\frac{T_i}{R_1} + \frac{T_{HS}}{R_3} \right]}{R_1} \right\}$$

其中：

q_{fi} 代表在給定主動熱部位處要供應至介質的目標熱量（判定為對於給定主動熱部位的目標溫度與給定主動熱部位的溫度感測器感測到的溫度之間的差異的函數）；

T_i 代表給定主動熱部位的溫度感測器感測到的溫度；

T_{HS} 代表基板溫度（作為散熱器）；

R_{iz} 代表在垂直於基板平面的方向中的主動熱部位的絕熱層的熱阻；

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_1 || R_3} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \\ R_1 &= \frac{1}{\frac{4}{R_{ix}} + \frac{4}{R_{iy}}} + \frac{1}{\frac{4}{R_{cx}} + \frac{4}{R_{cy}}} \\ R_3 &= \frac{R_{cz}}{8} \end{aligned}$$

R_{ix} 與 R_{iy} 代表在平行於基板平面的兩個正交方向中，熱部位的絕熱層的熱阻；

R_{cx} 與 R_{cy} 代表在平行於基板平面的兩個正交方向中，被動熱區域的導熱層的熱阻；且

R_{cz} 代表在垂直於基板平面的方向中，被動熱區域的導熱層的熱阻。

【0036】 在一些實例中，加熱元件可包含電阻式加熱元件。儘管亦可使用熱電性裝置或其他類型的加熱，電阻式加熱元件的製造與控制可較單純。對於電阻式加熱元件，可根據 $I = \sqrt{\frac{q}{r}}$ 來判定要施加至加熱元件的電流 I ，其中根據上文所界定的線性化函數來判定 q ，且 r 為加熱元件的阻抗。

【0037】 在一些實例中，主動熱部位中的絕熱層在平行於基板平面的方向中具有較大的熱阻，相較於在垂直於基板平面的方向中。使得絕熱層在橫向方向中較不會「洩漏」（相較於跨基板厚度），允許絕熱層藉由使熱流至基板且同時減少透過經由周圍被動熱區域的寄生路徑所損失的熱量，以在主動熱部位處支援給定的冷卻量。減少損失至被動區域的熱量，不僅使得在主動元件處的加熱更有效率（支援給定最大功率的加熱器因此可支援較高的介質溫度），亦簡化了用於推導如上文所論述的非線性控制函數的熱模型，藉此可使用較單純的方程式，較單純的方程式在映射電路系統中的實施較不複雜。絕熱層可由數種方式

建置，以在基板平面方向中具有大於在橫向方向中的熱阻。

【0038】 例如，絕熱層可具有薄膜結構，其中在垂直於基板平面的方向中的絕熱層的厚度 z ，實質上小於在平行於基板平面的方向中的主動熱部位的絕熱層的最小尺寸 L 。例如， z/L 可小於 0.1。實際上， z/L 可小於 0.1，例如小於 0.05，或小於 0.01。一般而言，若厚度小於橫向尺寸，則絕熱層將呈現相對大的面積以讓熱流至基板，但呈現小得多的區域以讓熱流至周圍被動熱區域，而提供更有效率的加熱以及較單純的非線性控制函數。薄膜作法可適合用於一些類型的絕緣材料。

【0039】 然而，若厚度減少，則其他類型的絕緣材料可不具有足夠的熱阻，無法在垂直於平面的方向中提供足夠的絕熱。例如，若使用二氧化矽作為絕熱體，則二氧化矽的固有熱導率將限制絕熱層的厚度，若絕熱層需要提供足夠的絕熱度。在可選擇其他材料的同時，二氧化矽可製造可較為單純，因為此可允許將作為裝置其他部分的基板的矽氧化，以形成絕熱體。類似的，在給定的所需絕熱性質之下，薄膜作法（由單一實心材料製成）亦可無法實際用於一些其他材料。

【0040】 此可由提供包含了至少一個孔隙的絕熱層來解決。孔隙可為在溫度控制裝置的主體內的空氣、另一氣體、或真空的孔或室。由於空氣或真空的熱導率可相對高（相較於實心絕熱體材料），提供一些孔隙可允許更仔細

地控制平面內與跨平面（cross-plane）的方向中的熱阻（相較於在實心材料層中所能控制的）。

【0041】 在一個實例中，孔隙可實質垂直於基板而延伸，而絕熱層的其他部分由實心絕熱體材料製成。例如，絕熱層可包含一或更多個第一絕熱材料柱，該等柱在加熱元件與基板之間在主動熱部位的面積中實質垂直於基板平面地延伸，而孔隙可設置在該等柱之間或在該等柱周圍。孔隙與柱可具有廣泛的各種形狀，並可穿過絕熱層的整體厚度，或僅部分地穿過部分厚度。藉由提供實質垂直於基板平面的孔隙與柱，此可允許在垂直於基板平面的方向中的相當有效率的熱傳輸（因為熱可更輕易地通過較能導熱的柱），但熱可更難以橫向流向被動冷卻區域，因為橫向熱流將需要跨過一或更多個空氣、氣體或真空的孔隙。可改變填充比例（柱或孔隙所佔據的總和面積比例），以提供平面內與跨平面熱阻之間的不同比例，以精確控制加熱/冷卻的偏壓點。

【0042】 另一方面，其他實例可提供包含孔隙的絕熱層，此孔隙在加熱元件與基板之間實質通過主動熱部位的整體面積延伸。因此可不需要任何柱。絕熱層實質上可包含由氣體或真空所整體製成的層（而非外接主動熱部位邊緣的一些實心邊界）。

【0043】 包含具有孔隙的層的裝置的製造可由以下達成：在提供於主要晶圓第一表面處的裝置層內形成一或更多個孔隙，並將主要晶圓第一表面接合至次要晶圓以支撐

熱控制裝置的其他元件，諸如每一主動熱部位的加熱元件與每一被動熱區域的導熱層的至少一部分。可在接合主要晶圓與次要晶圓之前或之後形成孔隙。因此，藉由接合主要與次要晶圓，可能在溫度控制裝置主體內形成孔隙。

【0044】 然而，在絕熱層包含柱與孔隙時，可在將主要晶圓接合至次要晶圓之前在主要晶圓的裝置層中形成柱，且在接合主要晶圓與次要晶圓之後，可藉由從裝置層相對側至第一表面將柱之間的裝置層部分蝕刻掉來形成孔隙。例如，第一絕熱材料可包含氧化物（例如二氧化矽），且可藉由在裝置層中蝕刻出孔，並氧化孔邊緣處的裝置層材料以界定柱壁，來在裝置層中形成柱。主要晶圓可包含在相對於第一表面的裝置層側的埋藏氧化層，且在接合主要晶圓與次要晶圓之後，主要晶圓可被蝕刻回埋藏氧化層，可在孔隙位置處在埋藏氧化層中蝕刻孔，且隨後可經由埋藏氧化層中的孔蝕刻掉裝置層的部分，以形成孔隙。隨後可藉由沈積更多氧化物以覆蓋孔，來填充埋藏氧化層中的孔。此作法允許使用可得的矽 CMOS 與矽 MEMS 產業處理，來製造柱狀結構。在使用此作法之下，第一表面與主要晶圓的埋藏氧化層之間的裝置層厚度，將決定絕熱層中的柱的高度，且蝕刻入主要晶圓的孔的尺寸決定柱的尺寸，且因此決定了柱對孔隙的填充比例。可使用遮罩改變蝕刻孔的尺寸，允許仔細控制在垂直與平行於基板平面的方向中的熱阻之間的比例。

【0045】 溫度控制裝置可包含冷卻機構，以冷卻基板以作為散熱器。或者，可在不具有冷卻機構下提供溫度控制裝置，並可使用外部冷卻機構（例如，溫度控制裝置可被放置為使得基板接觸冷卻裝置以將基板維持在給定溫度），或可單純將基板維持在室溫。一般而言，基板溫度限制了在主動熱部位處可控制的最低溫度，因此，取決於特定應用，可需要不同的冷卻量。

【0046】 儘管溫度控制裝置可被用於加熱固體表面中的部位（例如對於半導體溫度控制）或在靜態流體中的部位，特別有用的是控制在流動流體內的各個部位處的溫度。因此，溫度控制裝置可包含流體流動控制元件，以控制在複數個主動熱部位與一或更多個被動熱區域上的流體流動。例如，為了支援化學反應，流體流可供應用於反應的試劑，且隨著試劑流過各個主動熱部位與被動熱區域，流體可被加熱或冷卻至所需溫度以在每一部位處進行反應。例如，溫度可被用於控制是否觸發在給定部位處的反應。

【0047】 在一個實例中，主動熱部位可被設置為一或更多列，一或更多列指向為實質平行於由流體流動控制元件控制的流體流動方向。每一列可包含兩或更多個主動熱部位，且一被動冷卻區域設置在列的每一對鄰接的主動熱部位之間。將部位設置為列，可使得裝置的製造更為直截了當。特定而言，若存在兩或更多列，則主動熱部位可被設置為矩陣結構，此可簡化用於將控制訊號選路至每一部位

的個別部位的定址，並可簡化讀出在每一部位處測量到的溫度（例如可使用列/行定址方案）。

【0048】 因此，在流體流過溫度控制裝置時，給定流體部分將沿著定向為平行於流體流動方向的一個列而流動。隨著流體沿著列通過，流體的此部分將遭遇給定的主動熱部位（在此處流體被加熱或冷卻至給定溫度），隨後流過被動部位（在此處流體經受冷卻），隨後遭遇另一主動熱部位（在此處流體可被加熱或冷卻至不同於第一主動熱部位的溫度），諸如此類。每一主動熱部位沿著列方向的長度，可大於設置在列的鄰接主動熱部位之間的每一被動冷卻區域沿著列方向的長度。使得主動熱部位長於中間的被動區域，允許更有效率地使用基板的總和面積（且因此可在每單位面積中使用更多的控制部位），由於對於主動熱部位，一旦流體達到所需溫度則流體應維持在此溫度一些時間以使反應發生，但在流體通過被動部位時唯一的功能只有冷卻（不支援反應），因此在主動部位之間提供足夠的間隙，以在流體到達下一主動部位之前提供足夠的冷卻，在被動區域的部分內溫度不需保持固定。因此，藉由使得被動區域小於主動區域，更多反應部位可被限制在給定量的空間內。

【0049】 在一些具體實施例中，每一主動熱部位可包含在與介質接觸的表面處的反應表面。例如，反應表面可由金製成，金可提供對於許多化學或生化性反應的中性平臺。

【0050】 本案描述一種方法，用於精確控制流動或靜態的流體的延伸體的空間局部化的區域（「虛擬井」）內的溫度。吾人藉由被動冷卻與電阻性加熱的結合來達成溫度控制，允許虛擬井內的溫度的快速雙向控制。為了有效率地控制溫度並允許廣泛範圍的液體溫度，吾人設計加熱器基板晶片內的熱流，同時亦發展賦能溫度回饋控制的熱流模型。

【0051】 對於許多化學或生化性製程，控制流體內的特定位置處的化學反應是有用的。化學反應發生的速率對溫度呈指數關係，賦能了熱性控制反應速率的能力。為了達成熱性控制化學反應的空間性控制，吾人說明二維熱部位矩陣（見第1圖與第2圖）。為了在流體內獲得對於溫度的雙向控制，需要將熱打入流體並打出流體。在此，吾人藉由使用兩種熱部位來實施此種雙向熱控制，一種熱部位的主要目的是將熱傳輸進流體，而另一種熱部位的主要目的是將熱傳輸出流體。

【0052】 第1圖圖示用於控制介質內各別部位處的溫度的溫度控制裝置2的實例。提供流體流動元件（例如幫浦），以控制通過跨溫度控制裝置2頂部的流體流動路徑4。在跨溫度控制裝置2平面的各個位置處提供數個主動熱部位6。每一主動熱部位6的頂部可包含反應表面（例如金蓋），在反應表面上可發生反應。每一主動熱部位6包含加熱元件以施加熱至流過此部位上的流體的對應部分，以控制流體溫度。如第2圖圖示，主動熱部位6被設

置為二維矩陣（柵格）、設置為兩個或更多個列，其中列方向平行於流體流動通過流體流動路徑4的方向。主動熱部位6之間的區域，形成一個或更多個被動熱區域8，被動熱區域8不包含任何加熱元件，但藉由將熱從流體導離朝向裝置2的基板10，而提供被動冷卻。每一熱部位6在列方向中的長度 x ，長於同一列中相鄰主動熱部位對6之間的每一被動熱區域8的長度 y 。如第1圖圖示，可提供冷卻機構12以冷卻基板10，以作為散熱器。

【0053】 原則上，相同的熱部位可將熱傳輸進流體並將熱傳輸出流體。例如，此可由能夠進行雙向熱幫浦的熱電元件來達成。然而，本文所說明的作法界定兩種個別的熱部位，吾人稱為主動部位與被動部位6、8。分開的主動部位與被動部位的所期望的屬性，為其可由標準半導體處理技術來製造，並可藉由使用在此產業內可用的材料來製造。

【0054】 第3圖更詳細圖示溫度控制裝置2的截面（第3圖為示意性且並非意為按比例繪製）。主動熱部位6包含加熱器13與溫度計（溫度感測器）14。加熱器13在閉迴路控制下操作，且加熱器13的輸出功率設定為在部位上方的流體中維持特定溫度。在主動站中的溫度計14提供用於閉迴路控制的測量。儘管主動部位主要被用於加熱流體（在小加熱器功率下），但由於對基板10的熱流，主動部位亦可能夠提供少量（相較於加熱能力）的冷卻。在加熱器13與基板10之間提供絕熱層16，以控制損失至基

板 10 的熱量。在主動部位頂端，流體接觸電性絕緣器 20 或放置在電性絕緣器上的金墊 22。

【0055】 相對的，被動部位 8 不在閉迴路控制下操作，且負責將熱傳輸出流體進入在基板 10 處（或基板 10 下方）的散熱器：被動部位的主要角色為作為良好的熱導體。因此，被動區域 8 包含導熱層 18，以將熱從流體傳導至基板 10。基板 10 的溫度係由個別的冷卻機構 12 維持，並可被假定為位於固定值。被動部位亦由電性絕緣區域 20 覆蓋。被動部位 8 的導熱層 18 在垂直於基板平面的方向中具有較低的熱阻，相較於主動部位 6 的絕熱層 16。

【0056】 將理解到，裝置 2 亦可包含未圖示於第 3 圖中的額外層。例如，可提供熱分散層以將熱從加熱器 13 分散至主要熱部位，以更均勻地施加熱至對應部位。

【0057】 隨著流體元件移動在晶片 2 的表面上，流體元件以交替方式通過主要部位 6 與被動部位 8 之上。在主要部位上，熱流入流體，且流體元件的溫度被設定至所需的「熱」值。在一段短時間之後，流體通過被動部位，且熱現在流出至散熱器，使得流體元件留在「冷」溫度。流體元件隨後流到下一主動部位上，諸如此類。

【0058】 因此，吾人包含被動熱部位以預先冷卻進入每一主動部位的流體，假定對於基於電阻式加熱器的主動部位而言具有相稱的冷卻與加熱能力是不實際的。被動部位 8 具有將熱導離流體的角色，因此進入主動部位上方的空間的流體係接近散熱器溫度。為了圖示說明主動部位與被

動部位的結合行為，第4圖描繪在主動-被動-主動序列上方的溫度。最左邊的主動部位將熱打入流體，提升流體溫度至最大值 80°C 。隨後，隨著流體通過被動部位，流體朝向 20°C 冷卻。最後，隨著流體通過最右邊的主動部位，熱流入，且熱的溫度提升至 40°C 。儘管該等溫度是任意選定的，但該等溫度代表了操作條件。如第2圖圖示，主動部位可具有比被動部位要大的空間範圍（長度 x 大於長度 y ）。儘管主動部位提供固定溫度區域以讓化學反應發生，但對於被動部位的唯一需求為被動部位要冷卻進入主動部位的流體。此預先冷卻減少對於主動部位的冷卻需求，使主動部位能更有效率地將熱傳輸入流體。

【0059】 為了設計主動與被動部位的熱性質，吾人由熱模型描述系統。在此，吾人發展一種電性類似法，其中由電阻替換熱阻；由電容器替換熱容量；並由電壓替換溫度。為了分散說明此結構，並賦能電性電路的建置，吾人將此結構分割成如第5圖所圖示的方塊。方塊可由主動或被動熱部位、或在該等部位之一者上方的流體方塊組成。

【0060】 作為此系統的一階估計，吾人考慮由四個被動部位圍繞每一主動部位（第6圖）。藉由將每一主動與被動部位說明為單一熱方塊，可能畫出說明主動部位的熱行為的電性模型的電路圖（第7圖），其中「導熱體」或「導熱部位」代表被動熱區域8，且「絕熱體」或「絕熱部位」代表主動熱部位6，且：

C_c 與 C_i - 導熱體與絕熱體各自的熱容量

R_{cx} , R_{cy} , R_{cz} - 導體在 x , y , z 方向中的熱阻（其中 z 為垂直於基板 10 平面的方向，且 x 與 y 為平行於基板平面的垂直方向）

R_{ix} , R_{iy} , R_{iz} - 在 x , y , z 方向中的絕熱體的熱阻

T_{HS} - 散熱器的溫度

T_c 與 T_i - 導熱部位與絕熱部位的溫度

【0061】由於實體結構的對稱性以及等溫（isothermal）基板，吾人考慮從絕熱區域流至四個導熱區域的熱是均等的，使得該等導熱區域可被一起考慮。在第8圖中，吾人圖示精簡熱模型，包含了此簡化，其中吾人亦包含由加熱器產生的熱流或熱電流（ q ）。

q - 加熱器產生的熱電流。

q_{fc} , q_{fi} - 流體通過導熱部位與絕熱部位所分別吸收的熱電流。

C_f - 流體方塊的熱容量。流體方塊具有由導熱部位（或絕熱部位）面積以及流體高度 h_f 所給定的容積。

R_f - 流體方塊的熱阻。流體方塊具有由導熱部位（或絕熱部位）面積以及流體高度 h_f 所給定的容積。

T_{fc} , T_{fi} - 分別在導熱部位與絕熱部位上方的流體溫度。

【0062】使用熱電路的電性模型，吾人可判定從絕熱部位流入流體的熱 q_{fi} 。使用第8圖中的電路，吾人將電阻簡化為：

$$R_1 = \frac{R_{ix}}{4} \parallel \frac{R_{iy}}{4} + \frac{R_{cx}}{4} \parallel \frac{R_{cy}}{4}$$

$$R_2 = \frac{R_{cz}}{8} + \frac{R_f}{8}$$

$$R_3 = \frac{R_{cz}}{8}$$

其中 $||$ 表示並聯電阻的等效結合電阻，例如

$$\frac{R_{ix}}{4} || \frac{R_{iy}}{4} = \frac{1}{\frac{4}{R_{ix}} + \frac{4}{R_{iy}}}$$

【0063】由於通過 R_1 的熱電流為進入 R_2 與 R_3 的熱電流的總和：

$$\frac{T_i - T_c}{R_1} = \frac{T_c - T_{fc}}{R_2} + \frac{T_c - T_{HS}}{R_3}$$

【0064】因此，吾人能夠將通過 R_1 的熱電流 (q_1) 寫為：

$$q_1 = \frac{T_i - T_c}{R_1} = \frac{T_i - R_1 || R_2 || R_3 \left[\frac{T_i}{R_1} + \frac{T_{fc}}{R_2} + \frac{T_{HS}}{R_3} \right]}{R_1}$$

$$R_1 || R_2 || R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

【0065】吾人知道溫度 T_i ，因為吾人由溫度感測器測量溫度，且吾人可計算從絕熱體流入流體的熱 q_{fi} 。

$$q_{fi} = q - \frac{T_i - T_{HS}}{\frac{R_{iz}}{2}} - \left\{ \frac{T_i - R_1 || R_2 || R_3 \left[\frac{T_i}{R_1} + \frac{T_{fc}}{R_2} + \frac{T_{HS}}{R_3} \right]}{R_1} \right\}$$

【0066】由於流體的相當低的導熱率 ($k_f = 0.6 \text{ W/m/K}$) (相較於矽 ($k_{si} = 130 \text{ W/m/K}$))，熱導體對散熱器的熱阻要比熱導體對流體的熱阻低得多。因此，

$$R_2 \gg R_3$$

【0067】在此假設之下，從絕熱體流入流體的熱變成：

$$q_{fi} = q - \frac{T_i - T_{HS}}{\frac{R_{iz}}{2}} - \left\{ \frac{T_i - R_1 || R_3 \left[\frac{T_i}{R_1} + \frac{T_{HS}}{R_3} \right]}{R_1} \right\}$$

【0068】 第9圖對於數個流體溫度定值，繪製流入流體的熱（ q_{fi} ）。在加熱器輸出熱是零的情況中（假設 $T_f > T_{HS}$ ），從絕熱體流入流體的熱是負的：亦即主動部位冷卻流體。主動部位提供的最大冷卻量，係由主動部位與散熱器之間的絕熱層16在垂直於基板平面的方向中的熱阻 R_{iz} 來調諧，且因此熱阻 R_{iz} 是主動部位的關鍵設計參數。如第9圖圖示，隨著絕熱體熱阻 R_{iz} 增加，偏壓點（在此點來自加熱器的熱 q 實際上抵銷了損失至基板10與周圍被動區域8的熱）降低。引此，絕熱體熱阻 R_{iz} 可被調諧，以改變主動熱部位6處的加熱與冷卻之間的平衡。

【0069】 發生在加熱器關閉且流體溫度位於最小值時的最小可用冷卻功率，係由散熱器溫度以及部位的熱阻設定。然而，除非散熱器溫度被保持在不實際的低值，否則流動通過部位的熱量將隨著流體溫度提升，亦即 $q_{HS, 最大} > q_{HS, 最小}$ 。此低效率性最終限制了主動部位可施加的冷卻功率，因為散熱器要移除廢熱的容量是有限的。因此，提供被動部位以預先冷卻主動部位之間的流體，能夠對於給定的加熱器功率量達成更有效率的加熱以及更大的溫度範圍。

【0070】 如先前段落所論述的，在此所說明的熱流控晶片（thermofluidic chip），具有由主動部位上方的流體的可變溫度所造成的本徵非線性度。因此，吾人說明一種熱控制系統（見第10圖），系統包含非線性控制函

數（「線性化函數」），以獲得所需要的溫度控制。以此方式，可控制通過加熱器 13 的電流，以在流體中維持固定溫度。

【0071】 第 10 圖圖示對於單一主動部位 6 的回饋迴路。每一主動部位 6 可具有此種回饋迴路的個別實例。目標溫度 $T_{\text{目標}}$ 被輸入控制器 30，控制器 30 亦接收由對應主動部位的溫度感測器 14 測量的溫度 T_i 。控制器 30 基於形式 $C(s) \cdot (T_{\text{目標}} - T_i)$ 的轉移函數來判定由主動部位 6 向流體供應的目標熱量 q_{fi} ，其中 $C(s)$ 是轉移函數，根據古典控制理論設置了此轉移函數的極點和零點。

【0072】 線性化函數 32 包含映射電路系統，映射電路系統將控制器 30 供應的目標熱量 q_{wi} 映射至輸入訊號 I ，輸入訊號 I 界定電流驅動器 34 要供應至加熱器 13 的電流量，取決於 T_i 與 T_{HS} 、基板 10 的溫度。可由所有主動部位 6 間所共享的單一感測器 36，或可由位於每一主動部位 6 本端處的個別感測器，來測量基板溫度 T_{HS} 。線性化函數 32 提供非線性映射函數，非線性映射函數賦能控制器 30 使用線性轉移函數（因此名為「線性化函數」）。線性化函數 32 提供的非線性函數，可為代表熱模型的推導反演的函數。根據前述模型，產生入加熱器以獲得進入流體的所要求溫度的總和功率為：

$$q(q_{fi}, T_i, T_{HS}) = q_{fi} + \frac{T_i - T_{HS}}{\frac{R_{iz}}{2}} + \left\{ \frac{T_i - R_1 || R_3 \left[\frac{T_i}{R_1} + \frac{T_{HS}}{R_3} \right]}{R_1} \right\}$$

【0073】 對於加熱器，達到特定溫度所需的電流為：

$I = \sqrt{\frac{q}{r}}$ ，其中 r 為加熱器的電阻。

【0074】 結合前兩個方程式，吾人獲得線性化函數的形式，此將要求的熱轉換成所需的電流：

$$I = \sqrt{\frac{q_{wi} + \frac{T_i - T_{HS}}{\frac{R_{iz}}{2}} + \left\{ \frac{T_i - R_1 || R_3 \left[\frac{T_i}{R_1} + \frac{T_{HS}}{R_3} \right]}{R_1} \right\}}{r}}$$

【0075】 第11圖為圖示說明溫度控制方法的流程圖。在步驟50，欲控制溫度的介質，被提供在溫度控制裝置上。例如，介質可為流過溫度控制裝置上的流體。在步驟52，在主動熱部位6處測量溫度 T_i 。在步驟54，根據 $q_{fi} = C(s) \cdot (T_{目標} - T_i)$ ，判定要傳遞至介質的對應部位的目標熱量。在步驟56，根據 $I = f(q_{fi}, T_i, T_{HS})$ 判定要供應至電阻式加熱器13的電流，其中 f 為代表前述線性化函數的函數。在步驟58，電流驅動器34將所判定的電流量 I 供應至加熱元件13，以控制介質的對應部位處的溫度。方法隨後返回步驟52，以基於測量到的溫度 T_i 與目標溫度 $T_{目標}$ 繼續控制部位處的溫度，並考慮從主動部位6流至除了介質自身以外的區域的熱（根據上文論述的熱模型）。對於溫度控制裝置2中的每一主動部位，並行執行 N 次步驟52至58。

【0076】 為了控制主動部位溫度，判定主動與被動區域6、8所需的熱阻，藉此可選定適合的材料與尺寸。存在主動部位的三維方塊應符合的兩種條件：

1 - 加熱器所產生的功率大部分應用於加熱流體，且僅有一小部分垂直洩漏到散熱器，亦即，主動部位應具有高熱力學效率 η 。

$$\eta = \frac{q_{fi}}{q}$$

2 - 加熱器所產生的功率不應水平地流向其他熱部位，亦即

$$R_z \ll \frac{R_x}{4} \parallel \frac{R_y}{4}$$

【0077】可藉由對主動部位的絕熱層16使用薄膜材料（使得 $z \ll x, y$ ，其中 z 為垂直於基板平面的方向中的厚度，且 x, y 為絕熱層的平面內長度/寬度），或藉由使用各向異性（anisotropic）熱材料（導熱性在穿過基板厚度的方向中比沿著基板平面要高（ $k_z \gg k_x, k_y$ ）），來滿足此不等式。

【0078】吾人主要調用第二個要求來簡化熱流模型，使線性化函數可以簡單地被判定。亦可能設計對於另一種極限的主動部位，其中沒有從主動部位到散熱器的垂直傳熱。吾人考量垂直傳輸限制的理由，為垂直傳輸限制給出較佳的對於流入流體的熱的知識。在水平傳輸限制中，晶片表面存在具有溫度梯度的額外區域，熱可從此額外區域流入流體。

【0079】吾人可選擇使用多種材料來製造主動部位，但在此作為實例而考慮具有低導熱率的常見材料 SiO_2 （ $k_{\text{SiO}_2} = 1.3 \text{ W/m/K}$ ）。對於主動部位材料，在 z 方向中的熱阻可被表示為洩漏至散熱器的最大熱的函數：

$$R_{iz} = \frac{T_{i, \text{最大值}} - T_{HS}}{q_{HS, \text{最大值}}} = \frac{1}{k_z} \cdot \frac{z}{xy}$$

【0080】 藉此吾人可演繹出所需的材料高度：

$$z = \frac{xyk_z(T_{i, \text{最大值}} - T_{HS})}{q_{HS, \text{最大值}}}$$

【0081】 判定散熱器的最大可接受的熱洩漏 $q_{HS, \text{最大}}$ 。

對於尺寸為 $100 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ 的矩形主動部位，吾人假定最大加熱器功率為 6 mW 。在最大加熱器功率下，吾人允許一半的功率前往散熱器。再者，吾人假定最大流體溫度 $T_{f, \text{最大}} = 90 \text{ C}$ ，散熱器溫度 $T_{HS} = 10 \text{ C}$ ，且熱部位的溫度大約相同於流體溫度（ $T_{f, \text{最大}} \approx T_{i, \text{最大}}$ ）。若主動部位的所有材料都由 SiO_2 製成（具有各向同性（isotropic）導熱率的材料），則主動部位的高度將需要為 $\approx 700 \mu\text{m}$ 。對於此種方塊，垂直方向中的熱阻為 $R_{iz} \approx 27,000 \text{ K/W}$ 。此種方塊（ $z > x, y$ ）並未滿足熱部位之間洩漏少量熱的第二條件。

【0082】 滿足部位之間洩漏少量熱的條件的一種方式，為藉由圖案化，使得主動部位材料為熱各向異性。例如，吾人可製造一種結構，其中 SiO_2 垂直柱由空氣空間隔開（ $k_{air} = 0.024 \text{ W/m/K}$ ）。所需的材料垂直高度，在此情況中為柱的高度，係被乘以柱填充因數。例如，在柱的填充因數為 10% 時，高度變為 $70 \mu\text{m}$ 。絕熱柱可具有數種不同的尺寸，第12圖圖示了數種實例。柱60被孔隙圍繞，孔隙包含空氣、氣體或真空。在其他實例中，柱可包圍孔隙。

【0083】藉由提供包括在垂直於基板的方向上延伸的柱和在柱周圍或柱之間的孔隙的柱狀結構，吾人在垂直方向上維持相同的熱阻（ $R_{iz} \approx 27,000 \text{ K/W}$ ），但清楚的是，橫向熱阻被減少，主要是因為 $k_{air} < k_{SiO_2}$ ，但亦是因為主動材料的高度較低。

【0084】計算對於10%填充因數的橫向熱阻，吾人發現：

$$\frac{R_x}{2} \approx \frac{y}{2k_{air}xz}, \quad \frac{R_y}{2} \approx \frac{x}{2k_{air}yz}$$

【0085】此給出總和橫向熱阻：

$$\frac{R_x}{4} \parallel \frac{R_y}{4} = 60,000 \text{ K/W}$$

【0086】注意到，藉由減少柱高度同時減少填充因數，可進一步提升橫向熱阻。或者，可由真空將矽柱隔開，而進一步顯著提升橫向熱阻。

【0087】然而，隨著主動材料塊中的橫向熱阻變大，考慮蓋層的橫向熱阻變得重要。例如，2 μm 厚的二氧化矽蓋層對於總和橫向熱阻的貢獻為：

$$\frac{R_x}{4} \parallel \frac{R_y}{4} = 38,000 \text{ K/W}$$

【0088】一般而言，將絕熱體圖案化為由以空氣（或真空）隔開的絕熱柱組成，提供了一滿足主動部位的熱條件的方法。此情況的限制（其中填充因數成為零，而孔隙覆蓋主動部位的整體面積）產生獨立式膜，獨立式膜可被視為滿足熱要求的替代性作法。

【0089】第13圖圖示可如何將柱式作法整合入完整裝置中。圖式圖示通過裝置基板的截面，穿過兩個主動熱部

位與數個被動熱部位。使用垂直陰影圖示矽70，使用對角陰影圖示二氧化矽72，並且使用水平陰影圖示金屬層74。以白色圖示孔隙。注意到，此圖示並非按照比例繪製，上層被圖示為在垂直方向中放大。矽對基板提供了高度導熱材料，且能夠被熱性氧化以產生絕熱柱60，柱之間具有孔隙62。在包含了柱結構的基板頂部上，存在數個包含加熱器的層；熱分散器（以使所產生的熱均勻分佈）；溫度計（以賦能熱控制）；以及表面蓋層。

【0090】 可使用矽CMOS與矽MEMS產業中可得的處理，來建置第13圖的裝置2。第14圖與第15圖圖示處理流程，此處理流程獲得被動與主動區域中所需的熱阻。在第14圖的步驟80（第15圖的a部分），處理由絕緣層覆矽（SOI）晶圓100開始，SOI晶圓100包含相對厚的矽主體102、埋藏氧化層104、以及矽裝置層106。矽裝置層106的厚度給出二氧化矽柱的高度，且埋藏氧化物的厚度為約1 μm 。因為在後面的處理會使用到第二晶圓，吾人將SOI晶圓稱為「主要的」。下文將主要晶圓100的表面稱為「第一表面」，裝置層106形成在第一表面。

【0091】 在步驟82（第15圖的b部分），主要晶圓100被光微影成像圖案化，且使用光阻劑作為蝕刻遮罩，將矽裝置層106各向異性地向下蝕刻至埋藏氧化物104，以形成孔108。為了獲得蝕刻的各向異性，使用深反應離子蝕刻（deep reactive ion etch）。

【0092】 在步驟84（第15圖的c部分），晶圓被氧化，給出例如具有約1 μm 厚度的熱氧化物。孔108的邊緣被氧化，以形成二氧化矽柱110的壁。

【0093】 在步驟86，提供次要晶圓120。次要晶圓120包含經處理的CMOS晶圓，包含加熱與控制功能性所需要的電性主動與電性被動裝置（例如加熱器13、溫度感測器14、以及被動部位8的導熱層的上部分）。次要CMOS晶圓120內的該等金屬層與裝置未圖示於第15圖中，但可如第13圖圖示地被提供。

【0094】 在步驟88（第15圖的d部分），主要晶圓100被反轉，且主要晶圓100的第一表面被接合至次要晶圓120。可藉由熱壓縮接合獲得晶圓接合，在此情況中主要與次要晶圓兩者的表面上需要金屬層（例如金）。

【0095】 在步驟90（第15圖的e部分），所接合的主要晶圓的背面（SOI晶圓的原始主體層102）被蝕刻回，留下SOI晶圓100的埋藏氧化物104為在堆疊頂部。在此步驟之後，可在次要晶圓120上建置用於加熱器/溫度計/熱分散器堆疊的金屬跡線（未圖示於第15圖）。

【0096】 因為來自原始SOI晶圓的矽裝置層中的孔隙仍需要被移除，在步驟92（第15圖的f部分），在頂部二氧化矽層104中蝕刻孔122被光微影成像圖案化並蝕刻。隨後，在接續的處理步驟94中（第15圖的g部分），執行該等矽區域的各向異性乾式蝕刻（例如由 XeF_2 ），以藉由經由氧化物104中的蝕刻孔122蝕刻掉矽裝置層

106 的部分，來形成孔隙 124。在步驟 96，由介電質填充氧化層 104 中的蝕刻孔 122（第 15 圖的 h 部分），完成主動與被動熱部位的處理。

【0097】 在本申請案中，用詞「經配置以...」被用於表示一設備的元件具有能夠施行所界定之作業的配置。在此背景內容下，「配置」表示硬體或軟體的交互連結的設置或方式。類如，設備可具有提供所界定之作業的專屬硬體，或可編程其他處理裝置以執行功能。「經配置以」並非隱含設備元件需要被由任何方式改變以提供所界定之作業。

【0098】 儘管本文已參照附加圖式詳細說明了本揭示內容的說明性具體實施例，但應瞭解到本發明並不限於該等精確的具體實施例，且在本發明所屬技術領域中具有通常知識者將可進行各種改變與修改，而不脫離如附加申請專利範圍所界定的本發明的精神與範疇。

【符號說明】

【0099】

2 溫度控制裝置

4 流體流動路徑

6 主動熱部位

8 被動熱區域

10 基板

12 冷卻機構

13 加熱元件

1 4 溫 度 計 (溫 度 感 測 器)

1 6 絕 熱 層

1 8 導 熱 層

2 0 電 性 絕 緣 區 域

2 2 金 墊

3 0 控 制 器

3 2 線 性 化 函 數

3 4 電 流 驅 動 器

3 6 感 測 器

5 0 - 5 8 步 驟

6 0 柱

6 2 孔 隙

7 0 矽

7 2 二 氧 化 矽

7 4 金 屬 層

8 0 - 9 6 步 驟

1 0 0 絕 緣 層 覆 矽 (S O I) 晶 圓

1 0 2 矽 主 體

1 0 4 埋 藏 氧 化 層

1 0 6 矽 裝 置 層

1 0 8 孔

1 1 0 二 氧 化 矽 柱

1 2 0 次 要 晶 圓

1 2 2 蝕 刻 孔

1 2 4 孔 隙

【生物材料寄存】

【 0 1 0 0 】 國內寄存資訊 (請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

【 0 1 0 1 】 國外寄存資訊 (請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註

記)

無

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種用於控制一介質的複數個部位處的溫度的溫度控制裝置，包含：

複數個主動熱部位，該複數個主動熱部位設置於一基板上的各別位置處，每一主動熱部位包含一加熱元件與一絕熱層，該加熱元件經配置以施加一可變量的熱至該介質的一對應部位，該絕熱層設置在該加熱元件與該基板之間；以及

一或更多個被動熱區域，該一或更多個被動熱區域設置在該基板上的該複數個主動熱部位之間，每一被動熱區域包含一導熱層，該導熱層經配置以將熱從該介質的一對應部分傳導至該基板；

其中該一或更多個被動熱區域的該導熱層的一熱阻在垂直於該基板的一平面的一方向中要低於該複數個主動熱部位的該絕熱層；

其中一給定主動熱部位的該絕熱層包含：

一第一絕熱材料的一或更多個柱，該等柱在該主動熱部位的該面積中在該加熱元件與該基板之間實質上垂直於該基板的該平面而延伸；以及

一或更多個孔隙，該等一或更多個孔隙設置在該等柱周圍。

【第2項】 如請求項 1 所述之溫度控制裝置，該溫度控

制裝置包含一控制電路系統，該控制電路系統經配置以控制一所選擇的主動熱部位是否使用該加熱元件加熱該介質的該對應部位，或藉由使熱流動通過該絕熱層至該基板而冷卻該對應部位，此係取決於在該所選擇的主動熱部位中的該加熱元件所產生的一熱量是大於還是小於一臨限量。

【第3項】 如請求項 2 所述之溫度控制裝置，其中該臨限量係取決於該絕熱層在垂直於該基板的該平面的該方向中的該熱阻。

【第4項】 如請求項 1 所述之溫度控制裝置，其中每一主動熱部位包含一溫度感測器，該溫度感測器經配置以感測該對應熱部位處的一溫度。

【第5項】 如請求項 4 所述之溫度控制裝置，該溫度控制裝置包含複數個回饋迴路，該複數個回饋迴路之每一者對應於一各別的主動熱部位；

每一回饋迴路經配置以實施一轉移函數，該轉移函數用於根據該對應主動熱部位的該溫度感測器所感測到的該溫度以及對該介質的該對應部位所指定的一目標溫度，來判定要施加至該介質的該對應部位的一目標熱量。

【第6項】 如請求項 5 所述之溫度控制裝置，其中每一回饋迴路經配置以實施一線性化函數，以將該轉移函

數判定的該目標熱量，映射至用於控制該對應主動熱部位的該加熱元件的一輸入訊號。

【第7項】 如請求項 6 所述之溫度控制裝置，其中該線性化函數為由該對應主動熱部位的該溫度感測器所感測到的該溫度的一函數。

【第8項】 如請求項 6 所述之溫度控制裝置，其中該線性化函數根據該目標熱量與從該主動熱部位的該加熱元件損失至該基板與周圍被動熱區域的一熱量的一總和，來判定該輸入訊號。

【第9項】 如請求項 1 所述之溫度控制裝置，其中該加熱元件包含一電阻式加熱元件。

【第10項】 如請求項 1 所述之溫度控制裝置，其中該複數個主動熱部位的該絕熱層在平行於該基板的該平面的一方向中具有較大的一熱阻，相較於在垂直於該基板的該平面的一方向中。

【第11項】 如請求項 1 所述之溫度控制裝置，該溫度控制裝置包含一冷卻機構，以冷卻該基板以作為一散熱器。

【第12項】 如請求項 1 所述之溫度控制裝置，其中該介質包含一流體，且該溫度控制裝置包含一流體流動控制元件，該流體流動控制元件經配置以控制在該複數個主動熱部位與該一或更多個被動熱區域上的該流

體的流動。

【第13項】 如請求項12所述之溫度控制裝置，其中該等主動熱部位設置為一或更多列，該一或更多列指向為實質平行於由該流體流動控制元件控制的流體流動的該方向；

每一列包含兩或更多個主動熱部位，且一被動冷卻區域設置在該列的每一對鄰接的主動熱部位之間。

【第14項】 如請求項13所述之溫度控制裝置，其中每一主動熱部位沿著該列方向的一長度，大於設置在該列的鄰接主動熱部位之間的每一被動冷卻區域沿著該列方向的一長度。

【第15項】 一種用於控制一介質的複數個部位處的溫度的方法，包含以下步驟：

提供該介質於一溫度控制裝置上，該溫度控制裝置包含複數個主動熱部位與一或更多個被動熱區域，該複數個主動熱部位設置在一基板上的各別位置處，該一或更多個被動熱區域設置在該基板上的該複數個主動熱部位之間；

每一主動熱部位包含一加熱元件與一絕熱層，該加熱元件經配置以施加一可變量的熱至該介質的一對應部位，該絕熱層設置在該加熱元件與該基板之間；

每一被動熱區域包含一導熱層，該導熱層經配置以將熱從該介質的一對應部分傳導至該基板；以及

一或更多個被動熱區域的該導熱層的一熱阻在垂直於該基板的一平面的一方向中要低於該複數個主動熱部位的該絕熱層；以及

控制該複數個主動熱部位的該等加熱元件施加的該熱量，以在該介質的該複數個部位處控制該等溫度；

其中一給定主動熱部位的該絕熱層包含：

一第一絕熱材料的一或更多個柱，該等柱在該主動熱部位的該面積中在該加熱元件與該基板之間實質上垂直於該基板的該平面而延伸；以及

一或更多個孔隙，該等一或更多個孔隙設置在該等柱周圍。

【第16項】 一種製造一溫度控制裝置的方法，包含以下步驟：

形成該基板上的各別位置處的複數個主動熱部位以及一或更多個被動熱區域，該一或更多個被動熱區域設置在該基板上的該複數個主動熱部位之間；其中：

每一主動熱部位包含一加熱元件與一絕熱層，該加熱元件經配置以施加一可變量的熱至該介質的一對應部位，該絕熱層設置在該加熱元件與該基板之間；

每一被動熱區域包含一導熱層，該導熱層經配置以

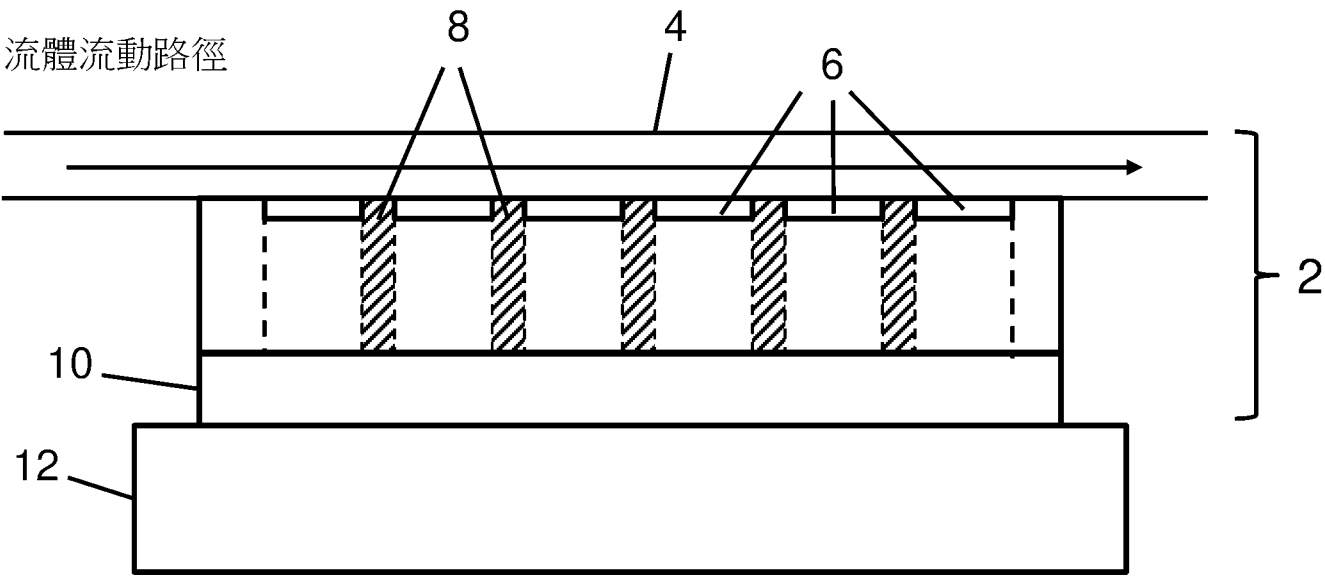
將熱從該介質的一對應部分傳導至該基板；以及

該一或更多個被動熱區域的該導熱層的一熱阻在垂直於該基板的一平面的一方向中要低於該複數個主動熱部位的該絕熱層；

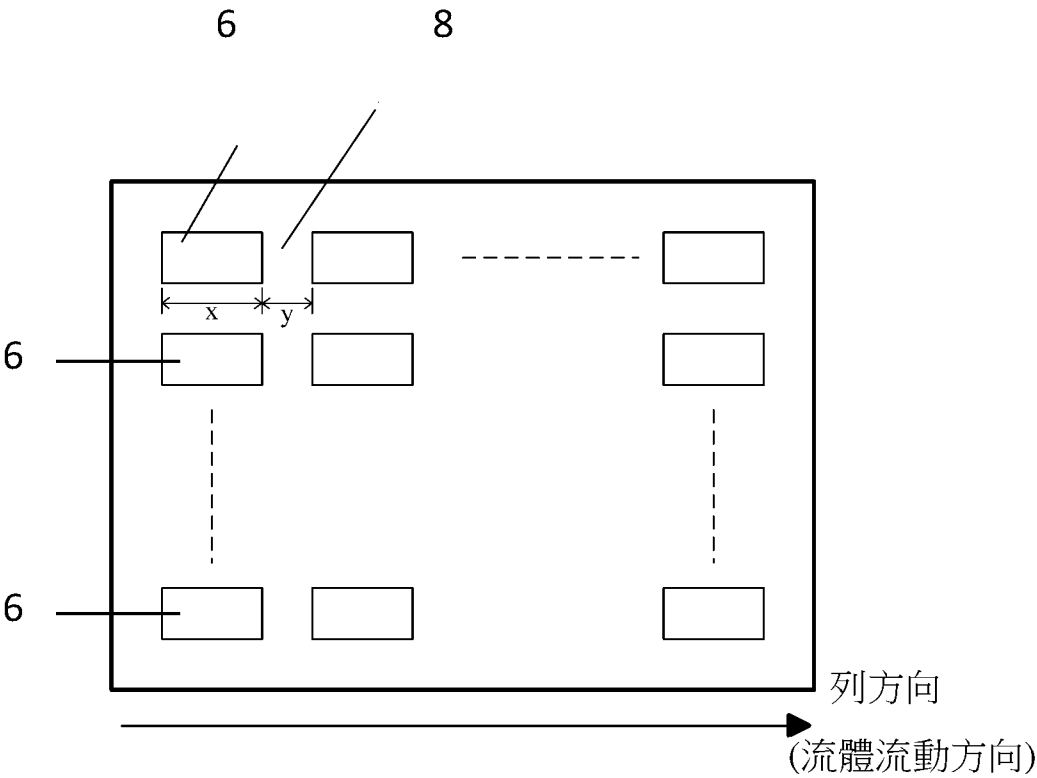
其中一給定主動熱部位的該絕熱層包含：

一第一絕熱材料的一或更多個柱，該等柱在該主動熱部位的該面積中在該加熱元件與該基板之間實質上垂直於該基板的該平面而延伸；以及

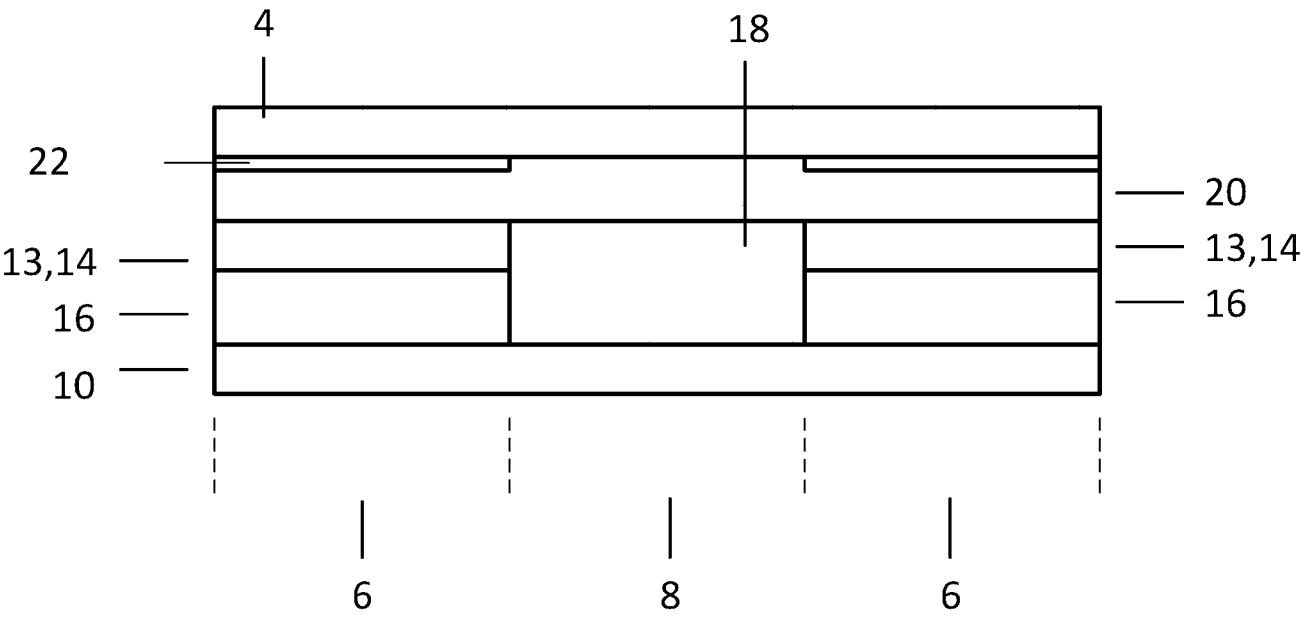
一或更多個孔隙，該等一或更多個孔隙設置在該等柱周圍。



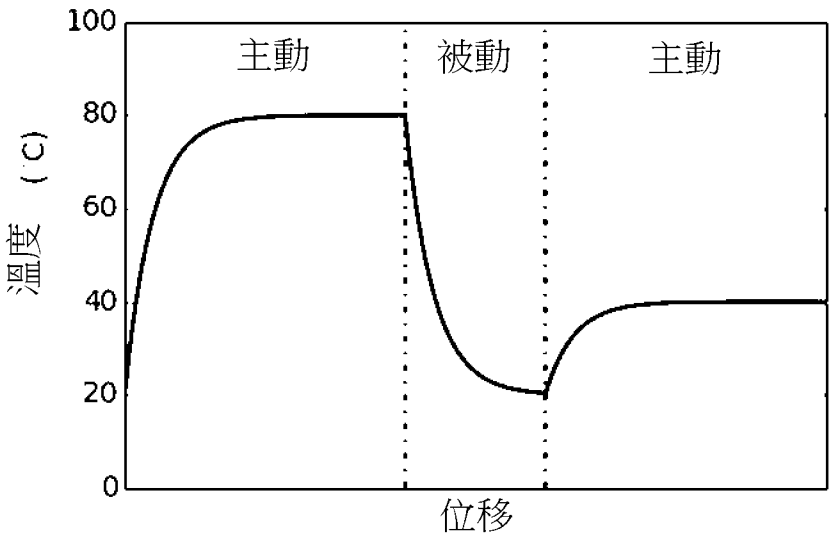
第 1 圖



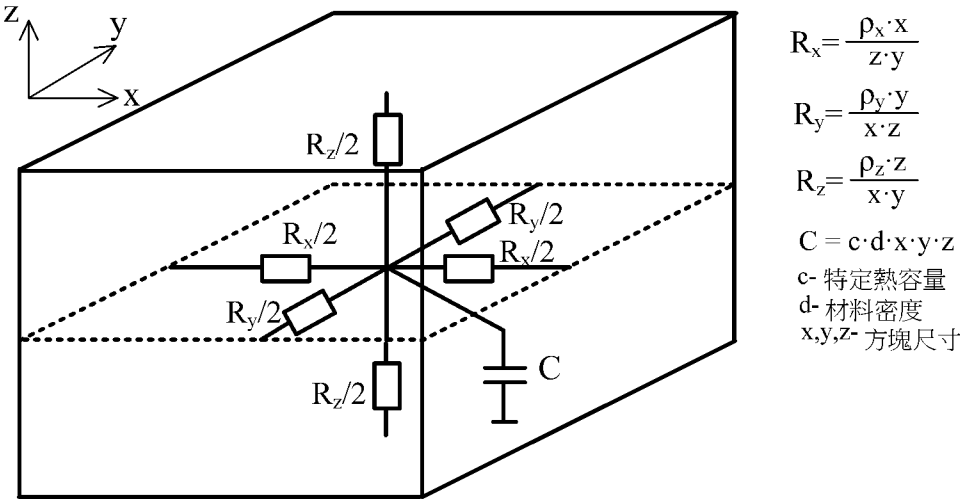
第 2 圖



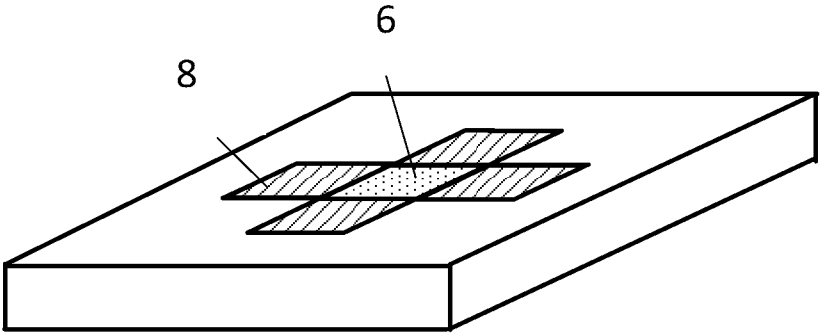
第 3 圖



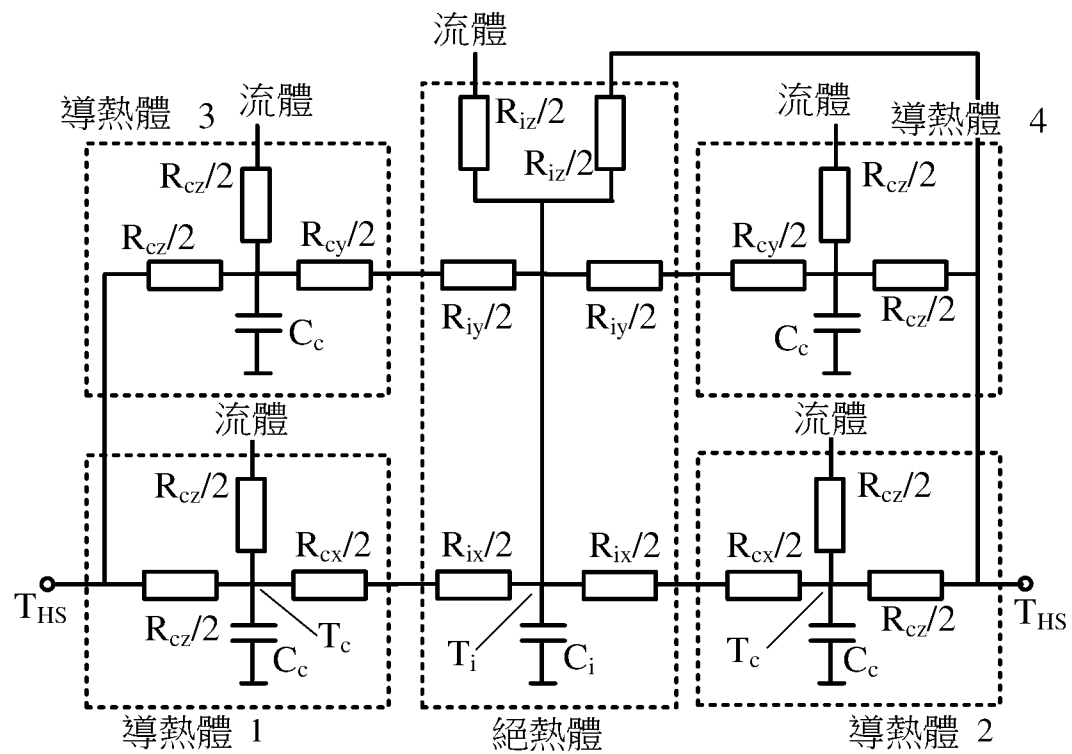
第 4 圖



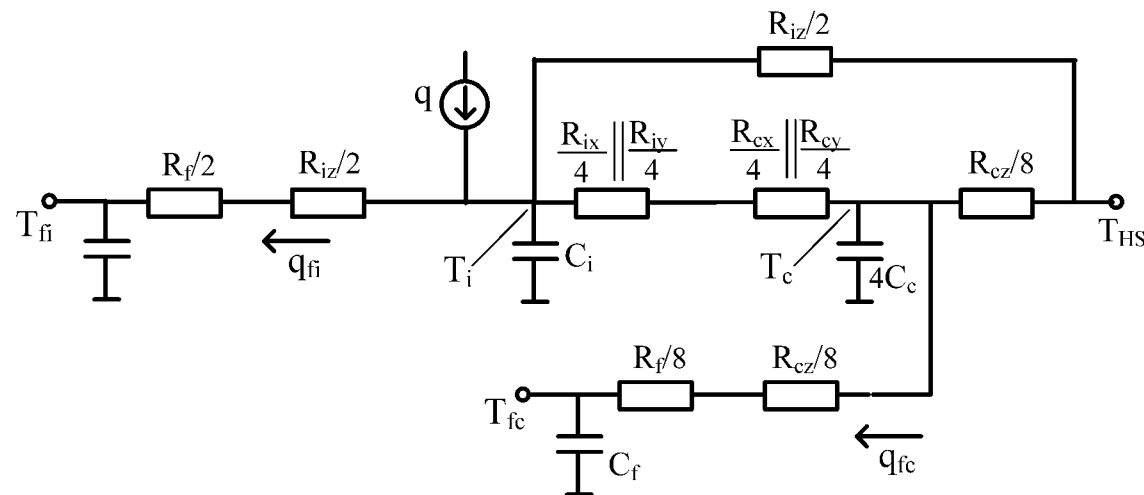
第 5 圖



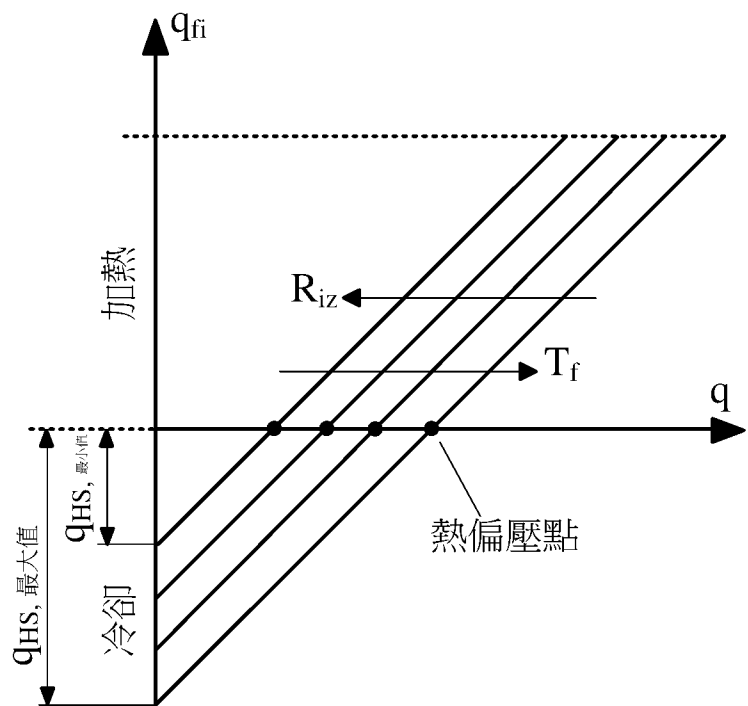
第 6 圖



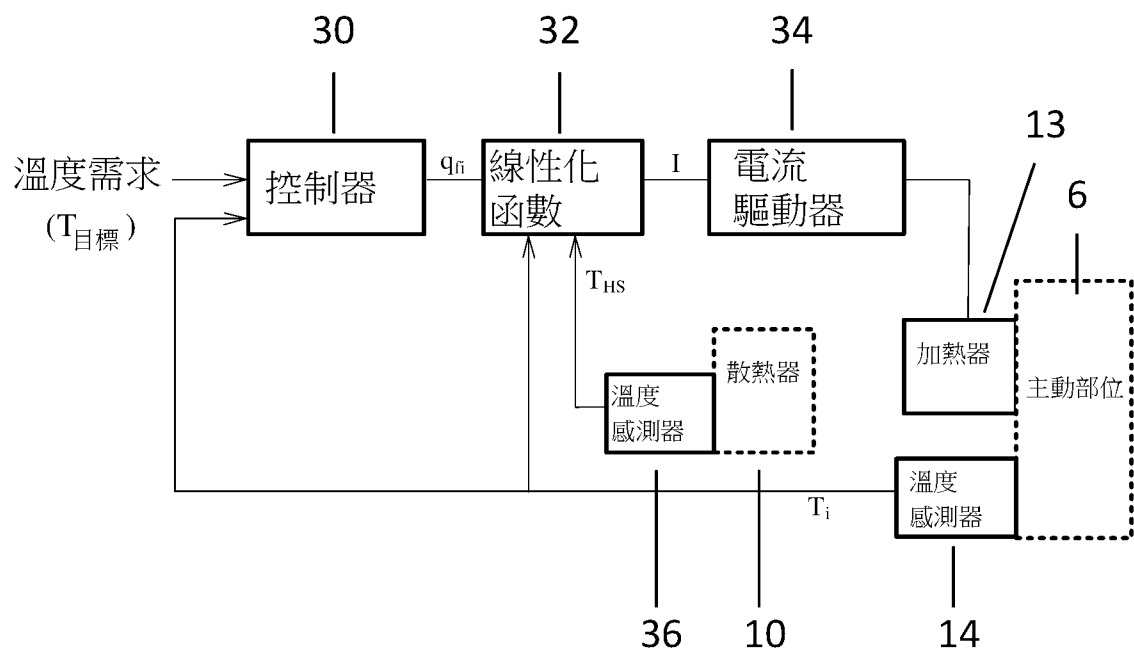
第 7 圖



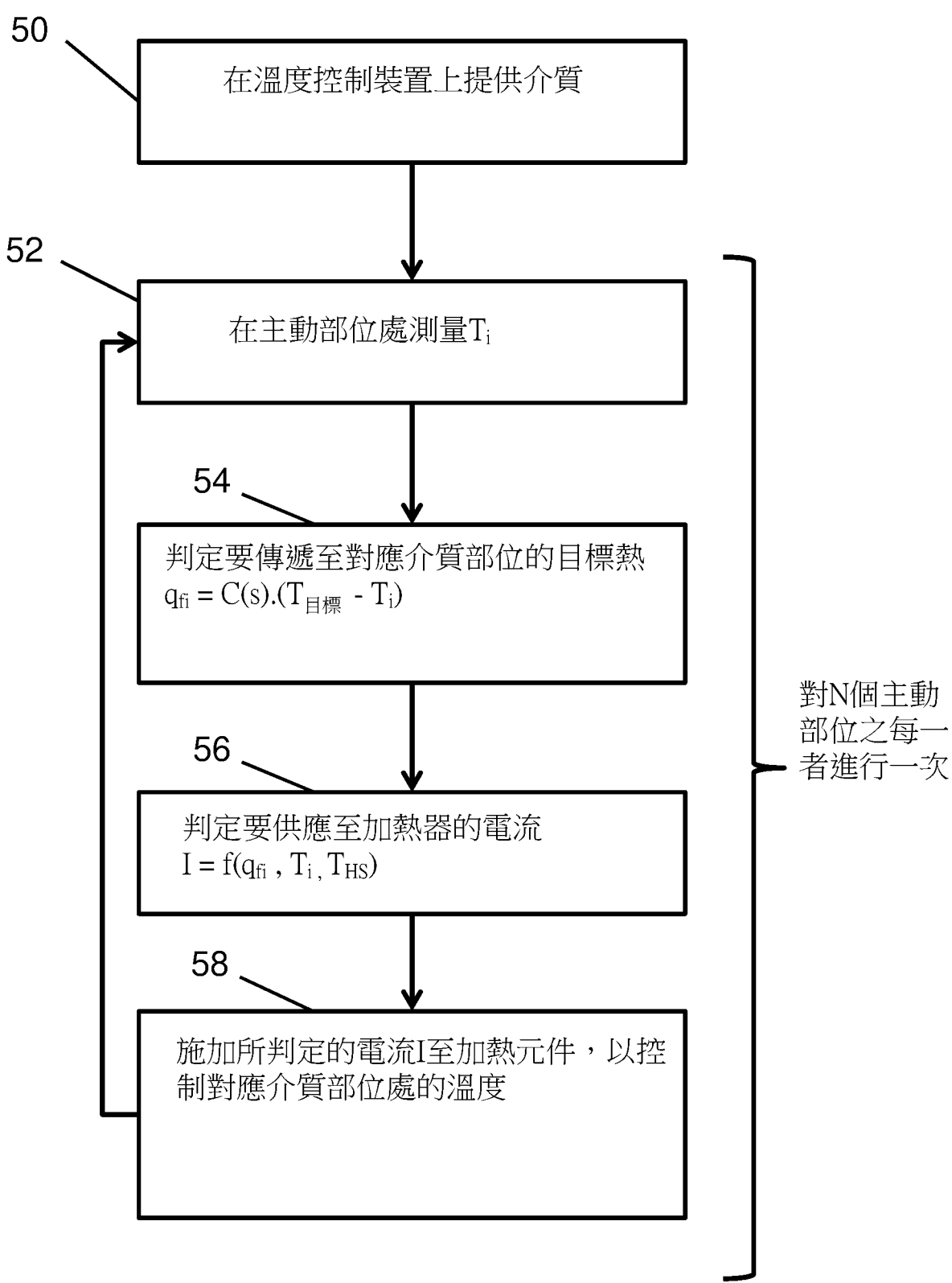
第 8 圖



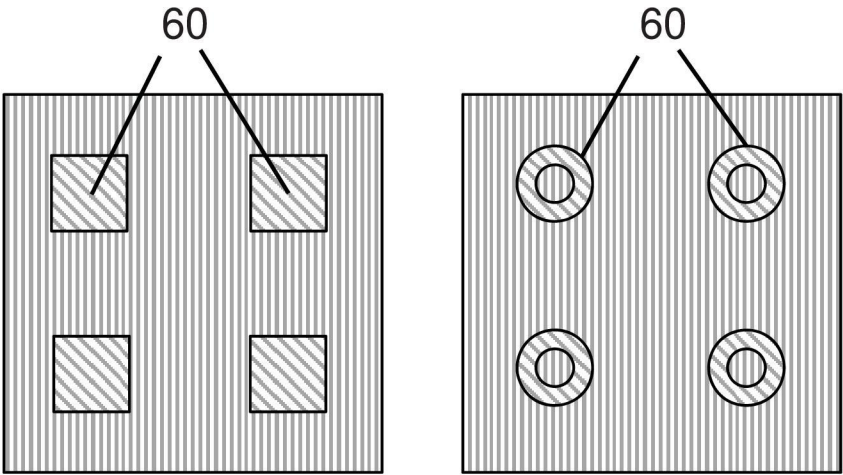
第 9 圖



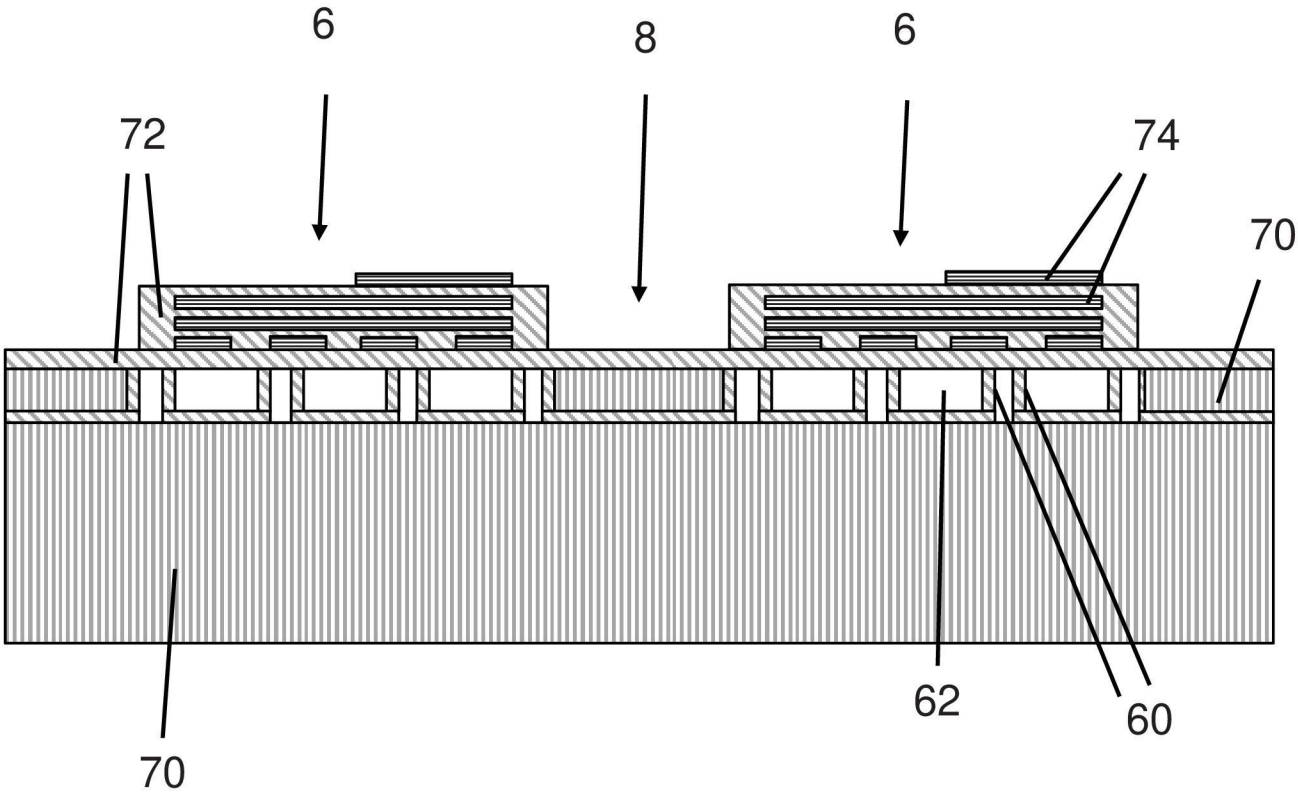
第 10 圖



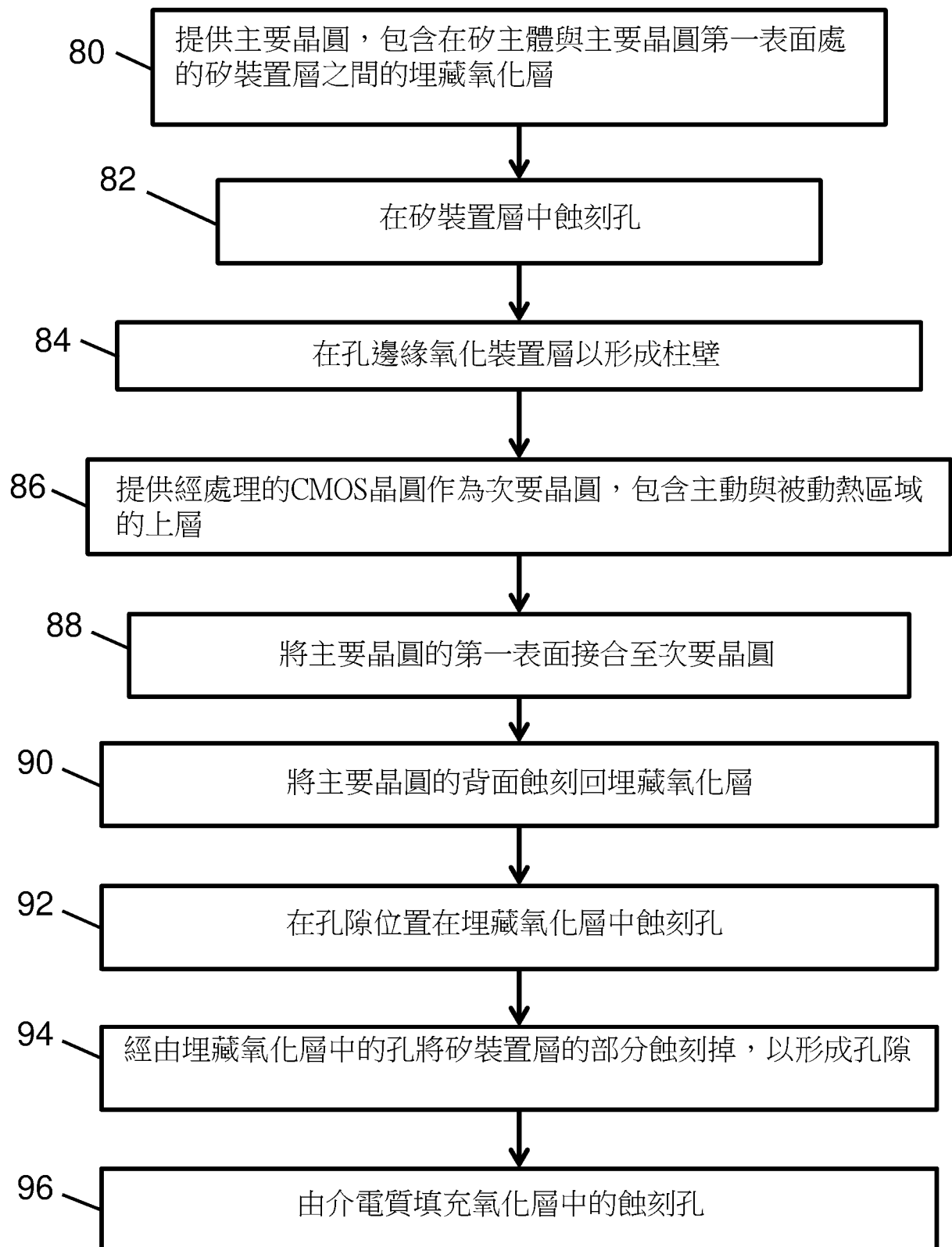
第 11 圖



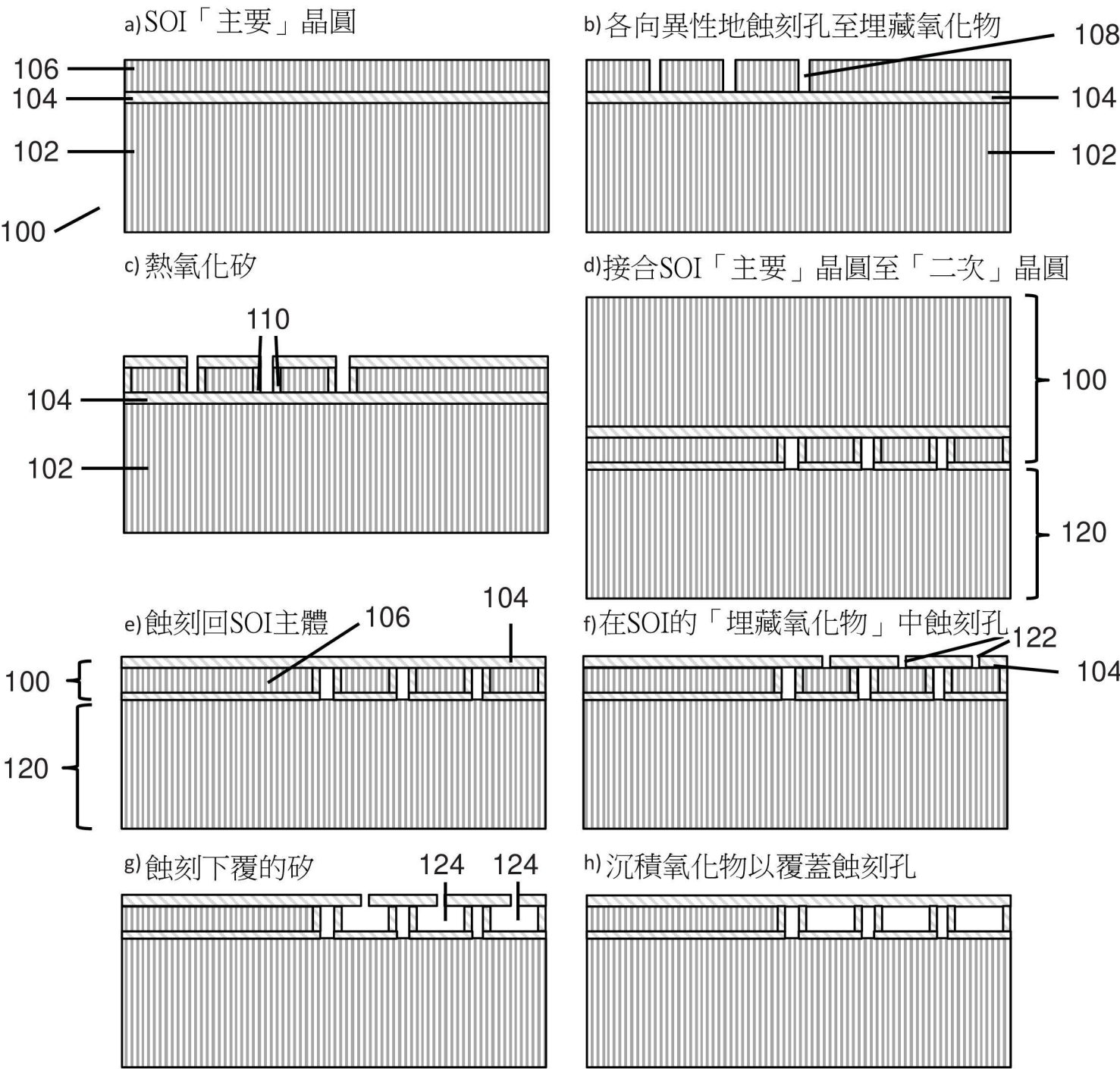
第 12 圖



第 13 圖



第 14 圖



第 15 圖