



(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 I856425 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 09 月 21 日

(21)申請案號：111144150

(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 11 月 10 日

(51)Int. Cl. : **H05K7/20 (2006.01)**

(30)優先權：2019/12/06 美國 62/945,001

2020/06/29 美國 16/915,912

(71)申請人：美商弗瑞歐系統有限公司(美國) FRORE SYSTEMS INC. (US)

美國

(72)發明人：甘堤 瑟亞普瑞卡許 GANTI, SURYAPRAKASH (US)；梅德哈維佩迪 賽夏吉里

若伊 MADHAVAPEDDY, SESHAGIRI RAO (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW 200635493A US 2005/0089415A1

US 2006/0208613A1 US 2008/0304979A1

US 2011/0063800A1 US 2017/0363076A1

US 2019/0101938A1

審查人員：董必正

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：16 共 77 頁

(54)名稱

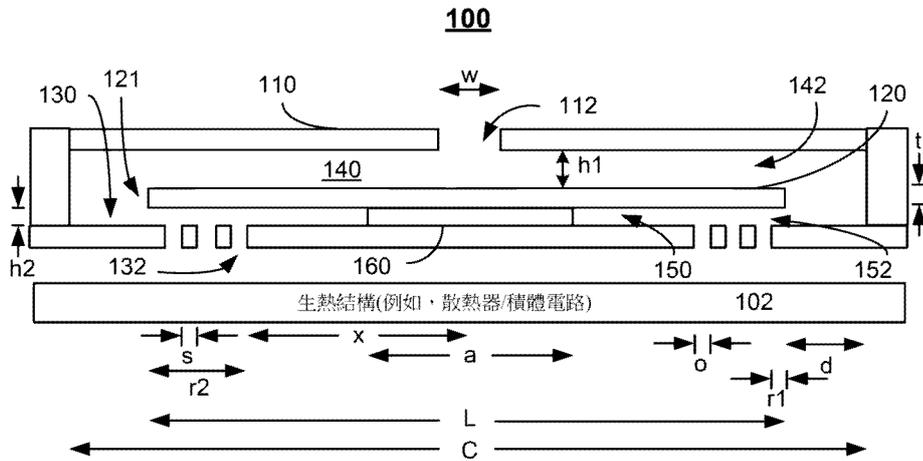
中央錨定之基於微機電系統的主動冷卻系統

(57)摘要

本發明闡述一種冷卻系統。該冷卻系統包含冷卻元件，該冷卻元件具有中央區域及周界。該冷卻元件在該中央區域處被錨定。該周界之至少一部分係未釘住的。該冷卻元件與流體連通。該冷卻元件經致動以引發振動運動從而驅動該流體朝向生熱結構。

A cooling system is described. The cooling system includes a cooling element having a central region and a perimeter. The cooling element is anchored at the central region. At least a portion of the perimeter is unpinned. The cooling element is in communication with a fluid. The cooling element is actuated to induce vibrational motion to drive the fluid toward a heat-generating structure.

指定代表圖：



【圖1A】

符號簡單說明：

- 100:主動冷卻系統
- 102:生熱結構
- 110:頂部板
- 112:通氣孔/頂部通氣孔
- 120:冷卻元件/元件
- 121:頂部/尖端
- 130:孔板
- 132:孔
- 140:頂部室/室
- 142:間隙
- 150:底部室/室
- 152:間隙
- 160:支撐結構/錨
- a:寬度
- C:長度
- d:距離
- h1:高度
- h2:高度
- L:長度
- r1:距離
- r2:距離
- s:孔間距
- t:厚度
- w:寬度
- x:方向



I856425

【發明摘要】

【中文發明名稱】

中央錨定之基於微機電系統的主動冷卻系統

【英文發明名稱】

CENTRALLY ANCHORED MEMS-BASED ACTIVE COOLING SYSTEMS

【中文】

本發明闡述一種冷卻系統。該冷卻系統包含冷卻元件，該冷卻元件具有中央區域及周界。該冷卻元件在該中央區域處被錨定。該周界之至少一部分係未釘住的。該冷卻元件與流體連通。該冷卻元件經致動以引發振動運動從而驅動該流體朝向生熱結構。

【英文】

A cooling system is described. The cooling system includes a cooling element having a central region and a perimeter. The cooling element is anchored at the central region. At least a portion of the perimeter is unpinned. The cooling element is in communication with a fluid. The cooling element is actuated to induce vibrational motion to drive the fluid toward a heat-generating structure.

【指定代表圖】

圖1A

【代表圖之符號簡單說明】

100:主動冷卻系統

102:生熱結構

110:頂部板

112:通氣孔/頂部通氣孔

120:冷卻元件/元件

121:頂部/尖端

130:孔板

132:孔

140:頂部室/室

142:間隙

150:底部室/室

152:間隙

160:支撐結構/錨

a:寬度

C:長度

d:距離

h1:高度

h2:高度

L:長度

r1:距離

r2:距離

s:孔間距

t:厚度

w:寬度

x:方向

【發明說明書】

【中文發明名稱】

中央錨定之基於微機電系統的主動冷卻系統

【英文發明名稱】

CENTRALLY ANCHORED MEMS-BASED ACTIVE COOLING SYSTEMS

【技術領域】

【0001】本發明係關於一種包含中央錨定之冷卻元件之冷卻系統。本發明亦係關於一種使用中央錨定之冷卻元件來冷卻生熱結構之方法。

【先前技術】

【0002】隨著運算裝置之速度及運算能力增長，該等運算裝置所產生之熱亦增加。已提議各種機構來解決熱產生。諸如風扇之主動裝置可用於驅動空氣穿過大運算裝置，諸如膝上型電腦或桌上型電腦。諸如散熱器之被動冷卻裝置可用於較小行動運算裝置(諸如智慧型電話、虛擬實境裝置及平板電腦)中。然而，此類主動及被動裝置可能無法充分地冷卻行動裝置(諸如智慧型電話)及較大裝置(諸如膝上型電腦及桌上型電腦)兩者。因此，期望運算裝置之額外冷卻解決方案。

【發明內容】

【0003】闡述一種冷卻系統。該冷卻系統包含支撐結構及冷卻元件，該冷卻元件具有中央區域及周界。該冷卻元件在該中央區域處由該支撐結構支撐。該冷卻元件之該周界之至少一部分係未釘住的。該冷卻元件經組態以在被致動時經歷振動運動以驅動流體朝向生熱結構。在某些實施例中，該冷卻元件具有在該生熱結構近端之第一側及在該生熱結構遠端之

第二側。該振動運動將該流體自該冷卻元件之該第二側驅動至該第一側。該冷卻系統亦可包含在其中具有至少一個通氣孔之頂部板。該冷卻元件位於該頂部板與該生熱結構之間。頂部室形成於該冷卻元件與該頂部板之間。在某些實施例中，該頂部室自該冷卻元件之中心至該周界具有與奇整數乘以波長除以四對應之長度。該波長係該振動運動之頻率之聲波長。該振動運動之該頻率亦對應於該冷卻元件之結構共振且對應於該頂部室之具有該波長之聲共振。在某些實施例中，該頂部室係摺疊頂部室。

【0004】 在某些實施例中，該冷卻系統包含孔板，該孔板在其中具有至少一個孔。該孔板安置於該冷卻元件與該生熱結構之間。該冷卻元件經致動以驅動該流體穿過該(等)孔。在某些實施例中，該(等)孔位於距該周界至少一百微米且距該周界之一部分不多於一毫米處。在某些實施例中，該孔板包含比該(等)孔更靠近於該冷卻元件之該周界之該部分之凸部。在某些實施例中，該孔板中包含(若干)溝渠。該(等)溝渠中包含該(等)孔。

【0005】 在某些實施例中，該等冷卻元件之該振動運動係異相振動運動。在某些實施例中，異相致動在冷卻單元內之單個冷卻元件之部分。在某些實施例中，可異相操作多個冷卻元件。舉例而言，異相致動在單個冷卻單元內之多個冷卻元件。在某些實施例中，異相致動在不同單元中之冷卻元件。舉例而言，可一百八十度異相地致動在毗鄰單元中之冷卻元件。

【0006】 該冷卻系統可包含耦合至該冷卻元件之彈性結構。舉例而言，該彈性結構可耦合在單元中之多個冷卻元件及/或可耦合單個冷卻元件之多個部分。該冷卻元件可係具有不超過八毫米之長度之壓電冷卻元

件。在某些實施例中，該冷卻元件具有不超過十毫米之長度。該振動運動可以至少三十米/秒之速度驅動該流體朝向該生熱結構。在某些實施例中，該振動運動驅動該流體，使得該流體流入於該生熱結構之表面上實質上平行於該表面之法線且然後經偏轉以沿著該生熱結構之該表面移動從而自該生熱結構提取熱，該孔板距該生熱結構之該表面至少不多於兩百微米。

【0007】冷卻系統可包含複數個冷卻單元。該等冷卻單元中之每一者可與上文所闡述之彼等冷卻單元相似。在某些實施例中，冷卻單元共享(若干)孔板及/或(若干)頂部板。舉例而言，可針對該等冷卻單元使用單個頂部板。此頂部板針對每一冷卻單元包含(若干)通氣孔。類似地，該孔板可針對每一冷卻單元包含一組孔。

【0008】闡述一種冷卻生熱結構之方法。該方法包含驅動冷卻元件從而以一頻率引發振動運動。該冷卻元件具有中央區域及周界。該冷卻元件在該中央區域處由支撐結構支撐。該周界之至少一部分係未釘住的。因此，該一個冷卻元件經致動以引發振動運動從而驅動該流體朝向生熱結構。在某些實施例中，驅動該冷卻元件包含以該振動運動之頻率驅動該冷卻元件。該頻率對應於該冷卻元件之結構共振。而且，該冷卻元件位於頂部板與該生熱結構之間。該頂部板在其中具有至少一個通氣孔。該冷卻元件及該頂部板形成位於該冷卻元件與該頂部板之間的頂部室。該頂部室具有一長度。振動運動之該頻率對應於具有與該長度乘以四且除以奇整數對應之波長之聲共振。

【圖式簡單說明】

【0009】在以下詳細說明及附圖中揭示本發明之各種實施例。

【0010】圖1A至圖1C繪示包含中央錨定之冷卻元件之主動冷卻系統之實施例。

【0011】圖2A至圖2B繪示可在包含中央錨定之冷卻元件之主動冷卻系統中使用之冷卻元件之實施例。

【0012】圖3A至圖3B繪示可在包含中央錨定之冷卻元件之主動冷卻系統中使用之冷卻元件之實施例。

【0013】圖4A至圖4E繪示包含中央錨定之冷卻元件之主動冷卻系統之實施例。

【0014】圖5繪示包含中央錨定之冷卻元件及摺疊頂部室之主動冷卻系統之實施例。

【0015】圖6A至圖6C繪示包含多個冷卻元件之主動冷卻系統之實施例。

【0016】圖7A至7C繪示包含多個中央錨定之冷卻元件之主動冷卻系統之實施例。

【0017】圖8A至圖8E繪示包含中央錨定之冷卻元件及彈性結構之主動冷卻系統之實施例。

【0018】圖9A至圖9B繪示包含經異相驅動之中央錨定之冷卻元件之主動冷卻系統之實施例。

【0019】圖10A至圖10C繪示包含中央錨定之冷卻元件之主動冷卻系統之實施例。

【0020】圖11A至圖11D繪示包含堆疊式中央錨定之冷卻元件之冷卻系統之實施例。

【0021】圖12繪示包含堆疊式中央錨定之冷卻元件之冷卻系統之實

施例。

【0022】圖13繪示包含多個冷卻單元之冷卻系統之實施例之俯視圖。

【0023】圖14A至圖14B繪示壓電冷卻元件之實施例。

【0024】圖15係繪示用於驅動主動冷卻元件之技術之實施例之流程圖。

【0025】圖16係繪示用於驅動主動冷卻元件之技術之實施例之流程圖。

【實施方式】

【0026】本申請案主張2019年12月06日提出申請之標題為CENTRALLY PINNED COOLING ELEMENTS IN A MEMS-BASED COOLING SYSTEM之第62/945,001號美國臨時專利申請案之優先權，該美國臨時專利申請案出於所有目的以引用方式併入本文中。

【0027】可以眾多方式實施本發明，包含作為程序；設備；系統；物質組成；體現在電腦可讀儲存媒體上之電腦程式產品；及/或處理器，諸如經組態以執行儲存於耦合至該處理器之記憶體上或由該記憶體提供之指令之處理器。在此說明書中，此等實施方案或本發明可採取之任一其他形式可稱為技術。一般而言，可在本發明之範疇內更改所揭示程序之步驟之次序。除非另外陳述，否則諸如闡述為經組態以執行任務之處理器或記憶體之組件可實施為經暫時組態以在既定時間執行該任務之通用組件或經製造以執行該任務之特定組件。如本文中使用的術語「處理器」係指經組態以處理諸如電腦程式指令之資料之一或多個裝置、電路及/或處理核心。

【0028】下文連同圖解說明本發明之原理之附圖一起提供對本發明之一或多個實施例之詳細說明。結合此類實施例闡述本發明，但本發明並不限於任一實施例。本發明之範疇僅由申請專利範圍限制且本發明囊括眾多替代方案、修改及等效形式。在以下詳細說明中陳述眾多特定細節以提供對本發明之透徹理解。出於實例目的而提供此等細節，且可在不具有此等特定細節中之某些或所有細節之情況下根據申請專利範圍實踐本發明。出於清晰之目的，未詳細闡述與本發明相關之技術領域中知曉之技術材料，使得不會不必要地模糊本發明。

【0029】隨著半導體裝置變得愈來愈強大，在操作期間產生之熱亦增長。舉例而言，用於行動裝置(諸如智慧型電話、平板電腦、筆記型電腦及虛擬實境裝置)之處理器可以高時脈速度操作，但產生顯著量之熱。由於所產生之熱量，因此處理器可僅在相對短時間週期內以全速運行。在此時間到期之後，發生節流(例如，減慢處理器之時脈速度)。儘管節流可減少熱產生，但其亦不利地影響處理器速度，且因此影響使用該等處理器之裝置之效能。隨著技術向5G及更高版本進展，預計此問題會加劇。

【0030】諸如膝上型或桌上型電腦之較大裝置包含具有旋轉葉片之電扇。風扇可回應於內部組件之溫度之增加而通電。該等風扇驅動空氣穿過較大裝置以冷卻內部組件。然而，此等風扇對於諸如智慧型電話之行動裝置或對於諸如平板電腦之較薄裝置通常太大。風扇亦可由於存在於組件之表面處之空氣邊界層而具有有限功效，為跨越期望被冷卻之熱表面之空氣流提供有限空氣速度且可產生過多量之雜訊。被動冷卻解決方案可包含諸如散熱器及熱管或蒸汽室之組件以將熱轉移至熱交換器。儘管散熱器稍微緩解熱點處之溫度增加，但在當前及未來裝置中產生之熱量可能未得到

適當解決。類似地，熱管或蒸汽室可提供不足以移除所產生之過多熱之熱量轉移。因此，期望能夠與較小行動裝置以及較大裝置一起使用之額外冷卻解決方案。

【0031】圖1A至圖1C係繪示可與生熱結構102一起使用且包含中央錨定之冷卻元件120之主動冷卻系統100之例示性實施例之圖式。為了清晰，僅展示特定組件。圖1A至圖1C並非按比例。儘管經展示為對稱的，但冷卻系統100不需要係對稱的。

【0032】冷卻系統100包含在其中具有通氣孔112之頂部板110、冷卻元件120、在其中具有孔132之孔板130、支撐結構(或「錨」)160以及形成於冷卻系統100中之室140及150(統稱室140/150)。冷卻元件120在其中央區域處由錨160支撐。更靠近於且包含冷卻元件之周界之部分(例如，尖端121)的冷卻元件120之區域在經致動時振動。在某些實施例中，冷卻元件120之尖端121包含距錨160最遠的周界之一部分且在致動冷卻元件120期間經歷最大偏轉。為了清晰，在圖1A中標示冷卻元件120之僅一個尖端121。

【0033】圖1A繪示處於中立位置中之冷卻系統100。因此，冷卻元件120經展示為實質上平坦的。在操作中，冷卻元件120經驅動以在圖1B及圖1C中所展示之位置之間振動。此振動運動以高速度及/或流率將流體(例如，空氣)汲取至通氣孔112中、穿過室140及150且離開孔132。舉例而言，流體撞擊於生熱結構102上之速度可係至少三十米/秒。在某些實施例中，冷卻元件120以至少四十五米/秒之速度驅動流體朝向生熱結構102。在某些實施例中，冷卻元件120以至少六十米/秒之速度驅動流體朝向生熱結構102。在某些實施例中，其他速度可係可能的。冷卻系統100亦經組

態使得很少流體因冷卻元件120之振動運動而透過孔132往回汲取至室140/150中。

【0034】期望生熱結構102由冷卻系統100冷卻。在某些實施例中，生熱結構102產生熱。舉例而言，生熱結構可係積體電路。在某些實施例中，期望生熱結構102經冷卻但自身不產生熱。生熱結構102可傳導熱(例如，自產生熱之附近物件)。舉例而言，生熱結構102可係散熱器。因此，生熱結構102可包含：(若干)半導體組件，其包含個別積體電路組件，諸如處理器、(若干)其他積體電路及/或(若干)晶片封裝；(若干)感測器；(若干)光學裝置；一或多個電池；諸如運算裝置之電子裝置之(若干)其他組件；散熱器；熱管；期望冷卻之(若干)其他電子組件及/或(若干)其他裝置。

【0035】其中期望使用冷卻系統100之裝置亦可具有其中用以放置冷卻系統之有限空間。舉例而言，可在運算裝置中使用冷卻系統100。此等運算裝置可包含但不限於智慧型電話、平板電腦、膝上型電腦、平板、二合一膝上型電腦、手持式遊戲系統、數位攝影機、虛擬實境頭戴耳機、擴增實境頭戴耳機、混合實境頭戴耳機及係薄的之其他裝置。冷卻系統100可係能夠駐存於行動運算裝置及/或在至少一個維度上具有有限空間之其他裝置內之微機電系統(MEMS)冷卻系統。舉例而言，冷卻系統100之總高度(自生熱結構102之頂部至頂部板110之頂部)可小於2毫米。在某些實施例中，冷卻系統100之總高度不多於1.5毫米。在某些實施例中，總高度不超過兩百五十微米。在某些實施例中，此總高度不多於1.1毫米。在某些實施例中，總高度不超過一毫米。類似地，孔板130之底部與生熱結構102之頂部之間的距離 y 可係小的。在某些實施例中， y 係至少兩百微米且

不多於一毫米。在某些實施例中， y 係至少兩百微米且不多於三百微米。因此，冷卻系統100可在運算裝置及/或在至少一個維度上具有有限空間之其他裝置中係可使用的。然而，沒有什麼阻止在對空間具有較少限制之裝置中及/或出於除冷卻以外之目的而使用冷卻系統100。儘管展示一個冷卻系統100 (例如，一個冷卻單元)，但可結合生熱結構102使用多個冷卻系統100。舉例而言，可利用冷卻單元之單維或二維陣列。

【0036】冷卻系統100與用於冷卻生熱結構102之流體連通。該流體可係氣體或液體。舉例而言，該流體可係空氣。在某些實施例中，該流體包含來自其中駐存有冷卻系統100之裝置外側(例如，透過裝置中之外部通氣孔提供)之流體。在某些實施例中，該流體在其中駐存有冷卻系統之裝置內(例如，在經封圍裝置中)循環。

【0037】冷卻元件120可被視為將主動冷卻系統100之內部劃分成頂部室140及底部室150。頂部室140由冷卻元件120、側面及頂部板110形成。底部室150由孔板130、側面、冷卻元件120及錨160形成。頂部室140及底部室150在冷卻元件120之周邊處經連接且共同形成室140/150 (例如，冷卻系統100之內部室)。

【0038】頂部室140之大小及組態可隨單元(冷卻系統100)尺寸、冷卻元件120運動及操作頻率而變。頂部室140具有高度 h_1 。頂部室140之該高度可經選擇以提供足以依所要流率及/或速度將流體驅動至底部室150且穿過孔132之壓力。頂部室140亦係充分高的，使得冷卻元件120在經致動時不接觸頂部板110。在某些實施例中，頂部室140之該高度係至少五十微米且不多於五百微米。在某些實施例中，頂部室140具有至少兩百且不多於三百微米之高度。

【0039】底部室150具有高度 h_2 。在某些實施例中，底部室150之該高度足以適應冷卻元件120之運動。因此，在正常操作期間，冷卻元件120之任何部分皆不接觸孔板130。底部室150一般小於頂部室140且可有助於減少流體至孔132中之回流。在某些實施例中，底部室150之該高度係冷卻元件120之最大偏轉加上至少五微米且不多於十微米。在某些實施例中，冷卻元件120之偏轉 z (例如，尖端121之偏轉)具有至少十微米且不多於一百微米之振幅。在某些此類實施例中，冷卻元件120之偏轉振幅係至少十微米且不多於六十微米。然而，冷卻元件120之偏轉振幅取決於諸如穿過冷卻系統100之所要流率及冷卻系統100之組態等因素。因此，底部室150之該高度一般取決於穿過冷卻系統100之流率及冷卻系統100之其他組件。

【0040】頂部板110包含通氣孔112，可透過通氣孔112將流體汲取至冷卻系統100中。頂部通氣孔112可具有基於室140中之所要聲壓而選擇之大小。舉例而言，在某些實施例中，通氣孔112之寬度 w 係至少五百微米且不多於一千微米。在某些實施例中，通氣孔112之寬度係至少兩百五十微米且不多於兩千微米。在所展示之實施例中，通氣孔112係頂部板110中之位於中央的孔口。在其他實施例中，通氣孔112可位於別處。舉例而言，通氣孔112可更靠近於頂部板110之邊緣中之一者。通氣孔112可具有圓形、矩形或其他形狀之佔用面積。儘管展示單個通氣孔112，但可使用多個通氣孔。舉例而言，通氣孔可朝向頂部室140之邊緣偏移或位於頂部室140之側面上。

【0041】錨(支撐結構) 160在冷卻元件120之中央部分處支撐冷卻元件120。因此，冷卻元件120之周界之至少一部分係未釘住的且自由振

動。在某些實施例中，錨160沿著冷卻元件120之中央軸線(例如，垂直於圖1A至圖1C中之頁面)延伸。在此類實施例中，振動的冷卻元件120之部分(例如，包含尖端121)以懸臂方式移動。因此，冷卻元件120之部分可以與蝴蝶之翼相似之方式移動。以懸臂方式振動的冷卻元件120之部分在某些實施例中同相振動且在其他實施例中異相振動。在某些實施例中，錨160不沿著冷卻元件120之軸線延伸。在此類實施例中，冷卻元件120之周界之所有部分自由振動(例如，與水母相似)。在所展示之實施例中，錨160自冷卻元件120之底部支撐冷卻元件120。在其他實施例中，錨160可以另一方式支撐冷卻元件120。舉例而言，錨160可自頂部支撐冷卻元件120(例如，冷卻元件120自錨160懸掛)。在某些實施例中，錨160之寬度a係至少0.5毫米且不多於四毫米。在某些實施例中，錨160之寬度係至少兩毫米且不多於2.5毫米。錨160可佔據冷卻元件120之至少百分之十且不多於百分之五十。

【0042】冷卻元件120具有在生熱結構102遠端之第一側及在生熱結構102近端之第二側。在圖1A至圖1C中所展示之實施例中，冷卻元件120之該第一側係冷卻元件120之頂部(更靠近於頂部板110)且該第二側係冷卻元件120之底部(更靠近於孔板130)。冷卻元件120經致動以經歷振動運動，如圖1A至圖1C中所展示。冷卻元件120之該振動運動將流體自在生熱結構102遠端的冷卻元件120之第一側(例如，自頂部室140)驅動至在生熱結構102近端的冷卻元件120之第二側(例如，至底部室150)。冷卻元件120之振動運動亦透過通氣孔112汲取流體且將流體汲取至頂部室140中；將流體自頂部室140驅迫至底部室150；且將流體自底部室150驅動穿過孔板130之孔132。

【0043】冷卻元件120具有長度L，長度L取決於期望冷卻元件120振動之頻率。在某些實施例中，冷卻元件120之該長度係至少四毫米且不多於十毫米。在某些此類實施例中，冷卻元件120具有至少六毫米且不多於八毫米之長度。冷卻元件120之深度(例如，垂直於圖1A至圖1C中所展示之平面)可在L之四分之一與L之兩倍之間變化。舉例而言，冷卻元件120可具有與長度相同之深度。冷卻元件120之厚度t可基於冷卻元件120之組態及/或期望致動冷卻元件120之頻率而變化。在某些實施例中，對於具有八毫米之長度且以至少二十千赫且不多於二十五千赫之頻率來驅動之冷卻元件120，冷卻元件厚度係至少兩百微米且不多於三百五十微米。室140/150之長度C與冷卻元件120之長度L接近。舉例而言，在某些實施例中，冷卻元件120之邊緣與室140/50之壁之間的距離d係至少一百微米且不多於五百微米。在某些實施例中，d係至少兩百微米且不多於三百微米。

【0044】可以處於或接近頂部室140中之流體之壓力波之聲共振之共振頻率及冷卻元件120之結構共振之共振頻率兩者的頻率驅動冷卻元件120。以或接近冷卻元件120之共振(「結構共振」)來驅動經歷振動運動的冷卻元件120之部分。結構共振之振動頻率稱為結構共振頻率。在驅動冷卻元件120時使用結構共振頻率會減少冷卻系統100之電力消耗。冷卻元件120及頂部室140亦可經組態使得此結構共振頻率對應於經驅動穿過頂部室140之流體之壓力波之共振(頂部室140之聲共振)。此壓力波之頻率稱為聲學共振頻率。在聲共振下，壓力節點出現在通氣孔112附近且壓力反節點出現在冷卻系統100之周邊附近(例如，冷卻元件120之尖端121附近及頂部室140與底部室150之間的連接附近)。此兩個區域之間的距離係C/2。因此， $C/2 = n\lambda/4$ ，其中 λ 係流體之聲波長且n係奇數(例如， $n = 1$ 、

3、5等)。對於最低階模式， $C = \lambda/2$ 。由於室140之長度(例如，C)接近於冷卻元件120之長度，因此在某些實施例中， $L/2 = n\lambda/4$ 亦係大致正確的，其中 λ 係流體之聲波長且 n 係奇數。因此，驅動冷卻元件120之頻率 ν 處於或接近冷卻元件120之結構共振頻率。頻率 ν 亦處於或接近至少頂部室140之聲學共振頻率。與冷卻元件120之結構共振頻率相比，頂部室140之聲學共振頻率一般隨諸如溫度及大小之參數變化不大。因此，在某些實施例中，可以結構共振頻率(或更接近於該結構共振頻率)而非聲學共振頻率來驅動冷卻元件120。

【0045】孔板130在其中具有孔132。儘管展示孔132之特定數目及分佈，但可使用另一數目及/或另一分佈。單個孔板130用於單個冷卻系統100。在其他實施例中，多個冷卻系統100可共享孔板。舉例而言，可以所要組態來共同提供多個單元100。在此類實施例中，單元100可係相同大小及組態或不同大小及/或組態。孔132經展示為具有法向於生熱結構102之表面而定向之軸線。在其他實施例中，一或多個孔132之軸線可呈另一角度。舉例而言，該軸線之角度可選自實質上零度及非零銳角。孔132亦具有與孔板130之表面之法線實質上平行之側壁。在某些實施例中，孔可具有與孔板130之表面之法線成非零角度之側壁。舉例而言，孔132可係圓錐形的。

【0046】孔132之大小、分佈及位置經選擇以控制驅動至生熱結構102之表面之流體之流率。孔132之位置及組態可經組態以增加/最大化自底部室150穿過孔132到達射流通道(孔板130之底部與生熱結構102之頂部之間的區域)之流體流。孔132之位置及組態亦可經選擇以減少/最少化自射流通道穿過孔132之吸入流(例如，回流)。舉例而言，期望孔位置距尖

端121充分遠，使得減少會穿過孔132將流體拉動至底部室150中的冷卻元件120之上行衝程中之吸入(尖端121移動遠離孔板130)。亦期望孔位置充分靠近於尖端121，使得冷卻元件120之上行衝程中之吸入亦允許來自頂部室140之較高壓力將流體自頂部室140推動至底部室150中。在某些實施例中，自頂部室140進入底部室150之流率與在上行衝程中自射流通道穿過孔132之流率的比率(「淨流量比」)大於2:1。在某些實施例中，淨流量比係至少85:15。在某些實施例中，淨流量比係至少90:10。為了提供所要壓力、流率、吸入及淨流量比，期望孔132距冷卻元件120之尖端121至少距離 r_1 且距尖端121不多於距離 r_2 。在某些實施例中， r_1 係至少一百微米(例如， $r_1 \geq 100 \mu\text{m}$)且 r_2 不多於一毫米(例如， $r_2 \leq 1000 \mu\text{m}$)。在某些實施例中，孔132距冷卻元件120之尖端121至少兩百微米(例如， $r_1 \geq 200 \mu\text{m}$)。在某些此類實施例中，孔132距冷卻元件120之尖端121至少三百微米(例如， $r_1 \geq 300 \mu\text{m}$)。在某些實施例中，孔132具有至少一百微米且不多於五百微米之寬度 o 。在某些實施例中，孔132具有至少兩百微米且不多於三百微米之寬度。在某些實施例中，孔間距 s 係至少一百微米且不多於一毫米。在某些此類實施例中，孔間距係至少四百微米且不多於六百微米。在某些實施例中，亦期望孔132佔據孔板130之面積之特定分率。舉例而言，孔132可覆蓋孔板130之佔用面積之至少百分之五且不多於百分之十五以便達成流體穿過孔132之所要流率。在某些實施例中，孔132覆蓋孔板130之佔用面積之至少百分之八且不多於百分之十二。

【0047】 在某些實施例中，使用壓電體致動冷卻元件120。因此，冷卻元件120可係壓電冷卻元件。冷卻元件120可由安裝於冷卻元件120上或整合至冷卻元件120中之壓電體驅動。在某些實施例中，以另一方式驅動

冷卻元件120，包含但不限於在冷卻系統100中之另一結構上提供壓電體。冷卻元件120及相似冷卻元件在下文稱為壓電冷卻元件，儘管可能除壓電體以外之機構可用於驅動冷卻元件。在某些實施例中，冷卻元件120包含在基板上之壓電層。該基板可係不銹鋼、Ni合金及/或赫史特合金基板。在某些實施例中，壓電層包含在該基板上形成為薄膜之多個子層。在其他實施例中，該壓電層可係固定至該基板之塊體層。此壓電冷卻元件120亦包含用於啟動該壓電體之電極。在某些實施例中，該基板用作電極。在其他實施例中，底部電極可設置於該基板與該壓電層之間。其他層(包含但不限於晶種、覆蓋、鈍化或其他層)可包含於壓電冷卻元件中。因此，可使用壓電體致動冷卻元件120。

【0048】 在某些實施例中，冷卻系統100包含煙囪(未展示)或其他管道。此管道為經加熱流體提供流動遠離生熱結構102之路徑。在某些實施例中，管道使流體返回至在生熱結構102遠端的頂部板110之側。在某些實施例中，管道可替代地在平行於生熱結構102或垂直於生熱結構102之方向上但在相反方向(例如，朝向頁面之底部)上引導流體遠離生熱結構102。對於裝置(其中在冷卻系統100中使用在該裝置外部之流體)，管道可將經加熱流體輸送至通氣孔。在其中裝置經封圍之實施例中，管道可提供返回至在通氣孔112附近且在生熱結構102遠端之區域的迂迴路徑。此路徑允許流體在重新用於冷卻生熱結構102之前耗散熱。在其他實施例中，可省略或以另一方式組態管道。因此，允許流體自生熱結構102帶走熱。

【0049】 在圖1A至圖1C之內容脈絡中闡述冷卻系統100之操作。儘管在特定壓力、間隙大小及流時序之內容脈絡中經闡述，但冷卻系統100之操作不取決於本文中之闡釋。參考圖1B，冷卻元件120已經致動，使得

其尖端121移動遠離頂部板110。圖1B因此可被視為繪示冷卻元件120之下行衝程之末尾。由於冷卻元件120之振動運動，因此底部室150之間隙152之大小已減小且間隙152經展示為間隙152B。相反地，頂部室140之間隙142之大小已增加且間隙142經展示為間隙142B。在該下行衝程期間，當冷卻元件120處於中立位置時在周邊處形成較低(例如，最小)壓力。隨著該下行衝程繼續，底部室150之大小減小且頂部室140之大小增加，如圖1B中所展示。因此，在處於或接近垂直於孔板130之表面及/或生熱結構102之頂部表面之方向上將流體自孔132驅動出。以高速度(舉例而言，超過三十五米/秒)自孔132驅動流體朝向生熱結構102。在某些實施例中，流體然後沿著生熱結構102之表面且朝向生熱結構102之周邊行進，其中壓力比孔132附近低。而且在下行衝程中，頂部室140之大小增加且較低壓力存在於頂部室140中。因此，透過通氣孔112將流體汲取至頂部室140中。流體穿過孔132且沿著生熱結構102之表面進入通氣孔112之運動在圖1B中由未標示箭頭展示。

【0050】冷卻元件120亦經致動使得尖端121移動遠離生熱結構102且朝向頂部板110。圖1C因此可被視為繪示冷卻元件120之上行衝程之末尾。由於冷卻元件120之運動，因此間隙142之大小已減小且間隙142經展示為間隙142C。間隙152之大小已增加且間隙152經展示為間隙152C。在該上行衝程期間，當冷卻元件120處於中立位置時在周邊處形成較高(例如，最大)壓力。隨著該上行衝程繼續，底部室150之大小增加且頂部室140之大小減小，如圖1C中所展示。因此，將流體自頂部室140(例如，室140/150之周邊)驅動至底部室150。因此，當冷卻元件120之尖端121向上移動時，頂部室140用作使進入流體加速且經驅動朝向底部室150之噴

嘴。流體進入底部室150之運動在圖1C中由未標示箭頭展示。冷卻元件120及孔132之位置及組態經選擇以減少吸入，且因此減少在上行衝程期間自射流通道(在生熱結構102與孔板130之間)進入孔132之流體之回流。因此，冷卻系統100能夠將流體自頂部室140驅動至底部室150而不會有經加熱流體自射流通道進入底部室150之過多量之回流。

【0051】重複圖1B及圖1C中所展示之位置之間的運動。因此，冷卻元件120經歷圖1A至圖1C中所指示之振動運動，從而透過通氣孔112將流體自頂部板110之遠端側汲取至頂部室140中；將流體自頂部室140轉移至底部室150；且推動流體穿過孔132並朝向生熱結構102。如上文所論述，冷卻元件120經驅動而以或接近冷卻元件120之結構共振頻率來振動。而且，冷卻元件120之結構共振頻率經組態以與室140/150之聲共振對準。結構及聲學共振頻率一般經選擇為在超音波範圍中。舉例而言，冷卻元件120之振動運動可處於自15 kHz至30 kHz之頻率。在某些實施例中，冷卻元件120以至少20 kHz且不多於30 kHz之頻率/若干頻率來振動。冷卻元件120之結構共振頻率在冷卻系統100之聲學共振頻率之百分之十內。在某些實施例中，冷卻元件120之結構共振頻率在冷卻系統100之聲學共振頻率之百分之五內。在某些實施例中，冷卻元件120之結構共振頻率在冷卻系統100之聲學共振頻率之百分之三內。因此，可增強效率及流率。然而，可使用其他頻率。

【0052】朝向生熱結構102驅動之流體可實質上法向(垂直)於生熱結構102之頂部表面而移動。在某些實施例中，流體運動可相對於生熱結構102之頂部表面之法線具有非零銳角。在任一情形中，流體可在生熱結構102處之流體邊界層中變薄及/或形成孔口。因此，可改良來自生熱結構

102之熱之轉移。流體偏轉離開生熱結構102，從而沿著生熱結構102之表面行進。在某些實施例中，流體在實質上平行於生熱結構102之頂部之方向上移動。因此，來自生熱結構102之熱可由流體提取。流體可在冷卻系統100之邊緣處離開孔板130與生熱結構102之間的區域。在冷卻系統100之邊緣處之煙囪或其他管道(未展示)允許自生熱結構102帶走流體。在其他實施例中，可以另一方式進一步自生熱結構102轉移經加熱流體。流體可交換自生熱結構102轉移至另一結構或轉移至周圍環境之熱。因此，在頂部板110之遠端側處之流體可保持相對冷的，從而允許額外熱提取。在某些實施例中，使流體循環，從而在冷卻之後返回至頂部板110之遠端側。在其他實施例中，經加熱流體被帶走且在冷卻元件120之遠端側處由新流體替換。因此，可冷卻生熱結構102。

【0053】使用冷卻系統100，透過通氣孔112汲入且透過孔132驅動之流體可有效地耗散來自生熱結構102之熱。由於流體以充足速度(例如，至少三十米/秒)且在某些實施例中實質上法向於生熱結構撞擊於生熱結構上，因此可薄化及/或部分地移除生熱結構處之流體邊界層。因此，改良生熱結構102與移動流體之間的熱轉移。由於更有效地冷卻生熱結構，因此可以更高速度及/或功率運行對應積體電路達更長時間。舉例而言，若生熱結構對應於高速處理器，則可在節流之前運行此處理器達更長時間。因此，可改良利用冷卻系統100之裝置之效能。而且，冷卻系統100可係MEMS裝置。因此，冷卻系統100可適合於在較小及/或行動裝置(諸如智慧型電話、其他行動電話、虛擬實境頭戴耳機、平板、二合一電腦、穿戴式裝置及掌上遊戲機)中使用，其中有限空間係可用的。因此可改良此等裝置之效能。由於可使冷卻元件120以15 kHz或更多之頻率振動，因此使

用者可能聽不到與冷卻元件之致動相關聯之任何雜訊。若以或接近結構及/或聲學共振頻率來驅動，則可顯著降低在操作冷卻系統時使用之功率。冷卻元件120在振動期間不實體上接觸頂部板110或孔板130。因此，可更容易地維持冷卻元件120之共振。更具體而言，冷卻元件120與其他結構之間的實體接觸擾亂冷卻元件120之共振條件。擾亂此等條件可驅動冷卻元件120失去共振。因此，將需要使用額外功率來維持冷卻元件120之致動。而且，由冷卻元件120驅動之流體流可減少。透過使用壓力差及流體流來避免此等問題，如上文所論述。可以有限額外功率達成經改良安靜冷卻之益處。因此，可改良併入有冷卻系統100之裝置之效能。而且，冷卻系統100可在其中期望高流體流量及/或速度之其他應用(例如，具有或不具有生熱結構102)中係可使用的。

【0054】圖2A至圖2B繪示與諸如冷卻系統100之主動冷卻系統相似之冷卻系統200A及200B之實施例之平面圖。圖2A及圖2B並非按比例。為了簡單，分別僅展示冷卻元件220A及220B以及錨260A及260B之部分。冷卻元件220A及220B與冷卻元件120相似。因此，用於冷卻元件220A及/或220B之大小及/或材料可與用於冷卻元件120之彼等大小及/或材料相似。錨(支撐結構)260A及260B與錨160相似且由虛線指示。

【0055】對於冷卻元件220A及220B，錨260A及260B位於中央且分別沿著冷卻元件220A及220B之中央軸線延伸。因此，經致動以振動之懸臂式部分在錨260A及260B之右邊及左邊。在某些實施例中，冷卻元件220A及/或220B係連續結構，該等連續結構之兩個部分經致動(例如，在錨260A及260B外側之懸臂式部分)。在某些實施例中，冷卻元件220A及/或220B包含單獨懸臂式部分，其中之每一者分別附接至錨260A及260B，

且經致動。冷卻元件220A及220B之懸臂式部分因此可經組態而以與蝴蝶之翼相似之方式振動。在圖2A及圖2B中，L係冷卻元件之長度，與圖1A至圖1C中所繪示相似。而且在圖2A及圖2B中，指示冷卻元件220A及220B之深度P。

【0056】亦在圖2A至圖2B中由點線展示壓電體223。壓電體223用於致動冷卻元件220A及220B。儘管在壓電體之內容脈絡中經闡述，但可利用用於致動冷卻元件220A及220B之另一機構。此等其他機構可處於壓電體223之位置或可位於別處。在冷卻元件220A中，壓電體223可固定至懸臂式部分或可整合至冷卻元件220A中。而且，儘管壓電體223在圖2A及2B中經展示為具有特定形狀及大小，但可使用其他組態。

【0057】在圖2A中所展示之實施例中，錨260A延伸冷卻元件220A之整個深度。因此，冷卻元件220A之周界之一部分係釘住的。冷卻元件220A之周界之未釘住部分係經歷振動運動之懸臂式區段之部分。在其他實施例中，錨不需要延伸中央軸線之整個長度。在此類實施例中，冷卻元件之整個周界係未釘住的。然而，此冷卻元件仍具有經組態而以本文中所闡述之方式振動之懸臂式區段。舉例而言，在圖2B中，錨260B未延伸至冷卻元件220B之周界。因此，冷卻元件220B之周界係未釘住的。然而，錨260B仍沿著冷卻元件220B之中央軸線延伸。冷卻元件220B仍經致動使得懸臂式部分振動(例如，與蝴蝶之翼相似)。

【0058】儘管冷卻元件220A經繪示為矩形的，但冷卻元件可具有另一形狀。在某些實施例中，冷卻元件220A之拐角可係修圓的。圖2B之冷卻元件220B具有修圓懸臂式區段。其他形狀係可能的。在圖2B中所展示之實施例中，錨260B係中空的且包含孔口263。在某些實施例中，冷卻元

件220B在錨260B之區域中具有孔口。在某些實施例中，冷卻元件220B包含多個部分，使得孔口存在於錨260B之區域中。因此，可透過冷卻元件220B且透過錨260B汲取流體。因此，可替代頂部板(諸如頂部板110)而使用冷卻元件220B。在此類實施例中，冷卻元件220B中之孔口及孔口263可以與通氣孔112相似之方式起作用。

【0059】圖3A至圖3B繪示與諸如冷卻系統100之主動冷卻系統相似之冷卻系統300A及300B之實施例之平面圖。圖3A及圖3B並非按比例。為了簡單，分別僅展示冷卻元件320A及320B以及錨360A及360B。冷卻元件320A及320B與冷卻元件120相似。因此，用於冷卻元件320A及/或320B之大小及/或材料可與用於冷卻元件120之彼等大小及/或材料相似。錨360A及360B與錨160相似且由虛線指示。

【0060】對於冷卻元件320A及320B，錨360A及360B分別限制於冷卻元件320A及320B之中央區域。因此，環繞錨360A及360B之區域經歷振動運動。冷卻元件320A及320B因此可經組態而以與水母相似或與雨傘之打開/合上類似之方式振動。在某些實施例中，冷卻元件320A及320B之整個周界同相振動(例如，全部一起向上或向下移動)。在其他實施例中，冷卻元件320A及320B之周界之部分異相振動。在圖3A及圖3B中，L係冷卻元件之長度(例如，直徑)，與圖1A至圖1C中所繪示相似。儘管冷卻元件320A及320B經繪示為圓形的，但冷卻元件可具有另一形狀。而且，壓電體(圖3A至圖3B中未展示)及/或其他機構可用於驅動冷卻元件320A及320B之振動運動。

【0061】在圖3B中所展示之實施例中，錨360B係中空的且具有孔口363。在某些實施例中，冷卻元件320B在錨360B之區域中具有孔口。在

某些實施例中，冷卻元件320B包含多個部分，使得孔口存在於錨360B之區域中。因此，可透過冷卻元件320B且透過錨360B汲取流體。該流體可透過孔口363離開。因此，可替代頂部板(諸如頂部板110)而使用冷卻元件320B。在此類實施例中，冷卻元件320B中之孔口及孔口363可以與通氣孔112相似之方式起作用。

【0062】 諸如冷卻系統100之冷卻系統可利用冷卻元件220A、220B、320A、320B及/或相似冷卻元件。此等冷卻系統亦可共享冷卻系統100之益處。使用冷卻元件220A、220B、320A、320B及/或相似冷卻元件之冷卻系統可以高速度更有效地驅動流體朝向生熱結構。因此，改良生熱結構與移動流體之間的熱轉移。由於更有效地冷卻生熱結構，因此對應裝置可展現經改良操作，諸如以更高速度及/或功率運行達更長時間。採用冷卻元件220A、220B、320A、320B及/或相似冷卻元件之冷卻系統可適合於在較小及/或行動裝置中使用，其中有限空間係可用的。因此可改良此等裝置之效能。由於可使冷卻元件220A、220B、320A、320B及/或相似冷卻元件以15 kHz或更多之頻率振動，因此使用者可能聽不到與冷卻元件之致動相關聯之任何雜訊。若以或接近冷卻元件220A、220B、320A、320B及/或相似冷卻元件之聲學及/或結構共振頻率來驅動，則可顯著降低在操作冷卻系統時使用之功率。冷卻元件220A、220B、320A、320B及/或相似冷卻元件在使用期間可不實體上接觸板，從而允許更容易地維持共振。可以有限額外功率達成經改良安靜冷卻之益處。因此，可改良併入有冷卻元件220A、220B、320A、320B及/或相似冷卻元件之裝置之效能。

【0063】 圖4A至圖4E繪示包含中央錨定之冷卻元件之主動冷卻系統

400A、400B、400C、400D及400E之實施例。圖4A至圖4E並非按比例的且僅展示中立組態。為了簡單，僅展示冷卻系統400A、400B、400C、400D及400E之部分。特定而言，冷卻系統400A、400B、400C、400D及400E與冷卻系統100相似。因此，相似組件具有類似標籤。舉例而言，連同與生熱結構102相似之生熱結構402使用冷卻系統400A、400B、400C、400D及400E。

【0064】冷卻系統400A包含具有通氣孔412之頂部板410、冷卻元件420A、包含孔432A之孔板430A、具有間隙442之頂部室440、具有間隙452之底部室450及錨(亦即，支撐結構) 460，其分別與具有通氣孔112之頂部板110、冷卻元件120、包含孔132之孔板130、具有間隙142之頂部室140、具有間隙152之底部室150及錨(亦即，支撐結構) 160相似。因此，冷卻元件420A在中央由錨460支撐，使得冷卻元件420A之周界之至少一部分自由振動。在某些實施例中，錨460沿著冷卻元件420A之軸線延伸(例如，以與錨260A及/或260B相似之方式)。在其他實施例中，錨460僅在冷卻元件420A之中心部分附近(例如，與錨360A及/或360B相似)。

【0065】孔板430A亦包含在孔432A周圍之溝渠434A。在某些實施例中，溝渠434A係至少二十五微米且不多於一百五十微米深。溝渠434A經組態使得孔432A駐存於溝渠434A之底部處。溝渠434A之側壁經展示為垂直於孔板430A之頂部表面。在某些實施例中，溝渠434A之側壁與孔板430A之頂部表面成不同角度。在某些實施例中，溝渠434A延伸跨越孔板430A(例如，平行於孔板430A之頂部表面)，使得與冷卻元件420A對準之孔板430A之表面之高達百分之五十係溝渠434A之一部分。另外，孔432A之剖面係圓錐形的。因此，孔432A之側壁不垂直於孔板430A之表面。替

代地，孔432A之側壁經成角度使得更靠近於冷卻元件420A的孔432A之部分比更靠近於生熱結構402的孔432A之部分寬。

【0066】 冷卻系統400A以與冷卻系統100相似之方式操作且共享冷卻系統100之益處。另外，溝渠434A之使用允許更好地控制間隙452。在某些實施例中，對於最接近於孔板430A之通過(例如，在冷卻元件420A之下行衝程之底部處)，期望間隙452不超過五微米。因此，可進一步減少流體穿過孔432A進入底部室450之回流。成角度孔432A之使用可改良離開孔432A之流體液滴之形成。因此，可進一步改良冷卻系統400A之效能。

【0067】 圖4B之冷卻系統400B包含具有通氣孔412之頂部板410、冷卻元件420A、包含孔432B之孔板430B、具有間隙442之頂部室440、具有間隙452之底部室450及錨(亦即，支撐結構) 460，其分別與具有通氣孔112之頂部板110、冷卻元件120、包含孔132之孔板130、具有間隙142之頂部室140、具有間隙152之底部室150及錨(亦即，支撐結構) 160相似。因此，冷卻元件420B在中央由錨460支撐，使得冷卻元件420B之周界之至少一部分自由振動。在某些實施例中，錨460沿著冷卻元件420B之軸線延伸(例如，以與錨260A及/或260B相似之方式)。在其他實施例中，錨460僅在冷卻元件420B之中心部分附近(例如，與錨360A及/或360B相似)。

【0068】 孔板430B亦包含在孔432B附近之凸部434B。在某些實施例中，凸部434B係至少二十五微米且不多於一百五十微米高。在某些實施例中，凸部434B藉由將材料添加至孔板430B而形成。在其他實施例中，凸部434B可藉由使與溝渠434A相似之溝渠延伸跨越孔板430B之底部而形成。凸部434B經展示為垂直於孔板430B之頂部表面。在某些實施例

中，凸部434B與孔板430B之頂部表面成不同角度。凸部434B經組態使得孔432B駐存於低於凸部434B之頂部表面處。在所展示之實施例中，孔432B之剖面係圓柱形的。換言之，孔432B之側壁垂直於孔板430B之表面。然而，其他形狀係可能的。

【0069】冷卻系統400B以與冷卻系統100相似之方式操作且共享冷卻系統100之益處。另外，凸部434B之使用允許更好地控制間隙452。因此，可減少流體穿過孔432B進入底部室450之回流。在某些實施例中，對於最靠近於孔板430B之通過(例如，在冷卻元件420B之下行衝程之底部處)，期望間隙452不超過五微米。因此，可進一步改良冷卻系統400B之效能。

【0070】圖4C之冷卻系統400C包含具有通氣孔412之頂部板410、冷卻元件420C、包含孔432C之孔板430C、具有間隙442之頂部室440、具有間隙452之底部室450及錨(亦即，支撐結構) 460，其分別與具有通氣孔112之頂部板110、冷卻元件120、包含孔132之孔板130、具有間隙142之頂部室140、具有間隙152之底部室150及錨(亦即，支撐結構) 160相似。因此，冷卻元件420C在中央由錨460支撐，使得冷卻元件420C之周界之至少一部分自由振動。在某些實施例中，錨460沿著冷卻元件420C之軸線延伸(例如，以與錨260A及/或260B相似之方式)。在其他實施例中，錨460僅在冷卻元件420C之中心部分附近(例如，與錨360A及/或360B相似)。

【0071】孔板430C亦與孔板430A相似，此乃因孔板430C包含溝渠434C。在所展示之實施例中，孔432C與孔432B相似，且因此，孔432C之剖面係圓柱形的。換言之，孔432C之側壁垂直於孔板430C之表面。然

而，其他形狀係可能的。

【0072】冷卻元件420C包含頂部凸部422C。孔板430C包含溝渠434C，溝渠434C經組態使得頂部凸部422C在經致動時位於溝渠434C內。舉例而言，頂部凸部422C可係至少十微米且不多於七十五微米高。類似地，溝渠434C可具有至少二十五且不多於一百五十微米之深度。在某些實施例中，孔板430C可替代溝渠434C而包含凸部。在此實施例中，頂部凸部422C可延伸至錨460。

【0073】冷卻系統400C以與冷卻系統100相似之方式操作且共享冷卻系統100之益處。另外，連同溝渠434C使用頂部凸部422C允許更好地控制間隙452及因此回流。因此，可進一步改良冷卻系統400C之效能。

【0074】圖4D之冷卻系統400D包含具有通氣孔412之頂部板410、冷卻元件420D、包含孔432D之孔板430D、具有間隙442之頂部室440、具有間隙452之底部室450及錨(亦即，支撐結構) 460，其分別與具有通氣孔112之頂部板110、冷卻元件120、包含孔132之孔板130、具有間隙142之頂部室140、具有間隙152之底部室150及錨(亦即，支撐結構) 160相似。因此，冷卻元件420D在中央由錨460支撐，使得冷卻元件420D之周界之至少一部分自由振動。在某些實施例中，錨460沿著冷卻元件420D之軸線延伸(例如，以與錨260A及/或260B相似之方式)。在其他實施例中，錨460僅在冷卻元件420D之中心部分附近(例如，與錨360A及/或360B相似)。冷卻元件420D包含頂部凸部422D。在某些實施例中，頂部凸部422C係至少十微米且不多於七十五微米高。

【0075】冷卻系統400D以與冷卻系統100相似之方式操作且共享冷卻系統100之益處。另外，頂部凸部422D之使用允許更好地控制間隙452

及因此回流。因此，可進一步改良冷卻系統400D之效能。

【0076】圖4D繪示冷卻系統400E之孔板430E之平面圖。冷卻系統400E與冷卻系統100相似。因此，包含孔432E之孔板430E與包含孔132之孔板130相似。冷卻系統400E之剩餘部分與冷卻系統100、400A、400B、400C及/或400D中之對應結構相似。舉例而言，儘管圖4E中未展示，但孔板430E可包含與溝渠434A及/或434C或凸部434B相似之溝渠或凸部。

【0077】孔板430E包含具有橢圓形佔用面積之孔432E。舉例而言，在某些實施例中，孔432E之次(短)軸係至少一百且不多於三百微米。在某些實施例中，孔432E之主(長)軸係至少兩百且不多於四百微米。其他長度係可能的。而且，在某些實施例中，並非所有孔432E具有相同形狀及/或大小。儘管圖4E中未指示，但孔432E可係圓錐形的(例如，與孔432A相似)或具有另一形狀。由於孔432E並非圓形的，因此孔432E可以不同方式包裝於給定區中。舉例而言，孔432E在x方向上偏移且孔432E之行之邊緣重疊。因此，孔板430E中可包含比在孔432E係圓形的之情況下密度高之孔432E。因此，可調適孔形狀、位置及分佈。

【0078】冷卻系統400E以與冷卻系統100相似之方式操作且共享冷卻系統100之益處。此外，可工程設計孔形狀、位置及分佈。可達成穿過孔432E之所要流。因此，可進一步改良冷卻系統400E之效能。而且，冷卻系統400A、400B、400C、400D及/或400E可在其中期望高流體流量及/或速度之其他應用(例如，具有或不具有生熱結構402)中係可使用的。

【0079】圖5繪示包含中央錨定之冷卻元件及摺疊頂部室之主動冷卻系統500之實施例。圖5並非按比例且僅展示中立組態。為了簡單，僅展示冷卻系統500之部分。冷卻系統500與冷卻系統100相似。冷卻系統

500包含具有通氣孔512及514之頂部板510A及510B (統稱頂部板510)、冷卻元件520、包含孔532之孔板530、具有間隙542之頂部室540A及540B (統稱頂部室540)、具有間隙552之底部室550及錨(亦即, 支撐結構) 560, 其分別與具有通氣孔112之頂部板110、冷卻元件120、包含孔132之孔板130、具有間隙142之頂部室140、具有間隙152之底部室150及錨(亦即, 支撐結構) 160相似。因此, 冷卻元件520在中央由錨560支撐, 使得冷卻元件520之周界之至少一部分自由振動。在某些實施例中, 錨560沿著冷卻元件520之軸線延伸(例如, 以與錨260A及/或260B相似之方式)。在其他實施例中, 錨560僅在冷卻元件520之中心部分附近(例如, 與錨360A及/或360B相似)。而且, 孔板530、孔532及/或冷卻元件520可以與以下各項中之一或多者相似之方式來組態: 孔板430A、430B、430C、430D及/或430E; 孔432A、432B、432C、432D及/或432E; 及/或冷卻元件420A、420B、420C及/或420D。

【0080】頂部室540與頂部室140相似, 但係包含兩個部分之摺疊室: 頂部室540A及頂部室540B。頂部室540及冷卻元件520仍可經組態使得頂部室540之聲學共振頻率處於或接近冷卻元件520之結構共振頻率。然而, 頂部室540之長度包含頂部室540A及頂部室540B之部分。特定而言, 流體透過通氣孔514進入頂部室540, 穿越頂部室540B之一部分到達通氣孔512, 穿過通氣孔512, 穿越頂部室540A之一部分到達冷卻元件520之周邊, 轉移至底部室550且自孔532經驅動出。此路徑在圖5中由未標示箭頭繪示。因此, 流體在於通氣孔514處進入頂部室540與於冷卻元件520之周邊附近轉移至底部室550之間行進大致C之距離(室540/550之整個寬度)。此係針對圖1中所繪示之冷卻系統100之頂部室140行進之距離之

兩倍。

【0081】期望以對應於其結構共振之頻率(例如，以或接近結構共振頻率)驅動冷卻元件520。亦期望此頻率對應於(例如，處於或接近)冷卻系統500/頂部室540之聲學共振頻率。而且，在聲共振下，壓力節點出現在通氣孔514處且壓力反節點形成於冷卻元件520之周邊處。因此， $C = \text{頂部室540之有效長度} = n\lambda/4$ ，其中 λ 係流體之聲波長且 n 係奇數(例如， $n = 1、3、5$ 等)。因此，可使冷卻元件520及冷卻系統500為大致相同聲學共振頻率之二分之一長。驅動冷卻元件520之頻率 ν 不僅係冷卻元件520之結構共振頻率，而且處於或接近至少頂部室540之聲學共振頻率。在某些實施例中，以對應於最低階聲學模式之頻率驅動冷卻元件520 ($C = \lambda/4$)。在某些實施例中，以對應於下一階聲學模式之頻率驅動冷卻元件520 ($C = 3\lambda/4$)。

【0082】冷卻系統500以與冷卻系統100相似之方式操作且共享冷卻系統100之益處。而且，冷卻系統500利用摺疊頂部室540。因此，可使冷卻系統500、室540/550及冷卻元件520比冷卻系統100窄以達成大致相同驅動(及共振)頻率。因此，冷卻系統500亦可具有比冷卻系統100小之佔用面積。冷卻系統500亦可在其中期望高流體流量及/或速度之其他應用(例如，具有或不具有生熱結構502)中係可使用的。

【0083】圖6A至圖6C繪示包含多個冷卻元件620及610之主動冷卻系統600之實施例。圖6A至圖6C並非按比例。圖6A繪示中立組態。圖6B繪示冷卻元件620之下行衝程及冷卻元件610之上行衝程之末尾。圖6C繪示冷卻元件620之上行衝程及冷卻元件610之下行衝程之末尾。為了簡單，僅展示冷卻系統600之部分。冷卻系統600與冷卻系統100相似。冷卻

系統600包含冷卻元件620、孔板630 (包含孔632)、頂部室640、底部室650及錨(亦即，支撐結構) 660，其分別與冷卻元件120、包含孔132之孔板130、頂部室140、底部室150及錨(亦即，支撐結構) 160相似。因此，冷卻元件620在中央由錨660支撐，使得冷卻元件620之周界之至少一部分自由振動。在某些實施例中，錨660沿著冷卻元件620之軸線延伸(例如，以與錨260A及/或260B相似之方式)。在其他實施例中，錨660僅在冷卻元件620之中心部分附近(例如，與錨360A及/或360B相似)。而且，孔板630、孔632及/或冷卻元件620可以與本文中所繪示之其他孔板及/或冷卻元件中之一或多者相似之方式來組態。

【0084】 在冷卻系統600中，頂部板由冷卻元件610替換。冷卻元件610因此具有通氣孔612且在其周邊處經支撐或錨定。因此，冷卻元件610之最大偏轉可出現在中心附近(例如，通氣孔612附近)。儘管展示單個位於中央之通氣孔612，但可使用位於別處(包含側壁上)之多個通氣孔及/或(若干)通氣孔。亦異相驅動冷卻元件610及620。在某些實施例中，冷卻元件610及620之振動運動處於或接近一百八十度異相。因此，當冷卻元件620經歷下行衝程時，冷卻元件610經歷上行衝程，且反之亦然。此在圖6B及圖6C中經繪示。

【0085】 亦期望冷卻元件610及620以其結構共振頻率經驅動。因此，冷卻元件610及620之結構共振頻率經選擇為接近的。在某些實施例中，期望冷卻元件610及620之共振頻率在彼此之一百赫茲內。在某些實施例中，回饋用於使冷卻元件610及620維持處於或接近共振。舉例而言，可週期性地量測用於驅動冷卻元件610及620之電流且調整冷卻元件610及620之驅動頻率以維持共振。在某些實施例中，在幾百赫茲之共振

頻率/若干共振頻率內驅動冷卻元件610及/或620以達成最佳化效能。然而，其他頻率係可能的。亦可調整冷卻元件610及620之驅動頻率以使冷卻元件維持處於或接近一百八十度異相。而且，期望冷卻元件610及620之結構共振頻率以及其驅動頻率處於或接近冷卻系統600之頂部室640之聲學共振頻率。

【0086】在操作中，冷卻元件610經歷上行衝程而冷卻元件620經歷下行衝程，如圖6B中所指示。因此，冷卻元件620以高速度(諸如關於冷卻系統100所論述之彼等高速)將流體自孔632驅動出。而且，經由通氣孔612將流體汲取至頂部室640中。此流體運動在圖6B中由未標示箭頭展示。當冷卻元件620經歷上行衝程且冷卻元件610經歷下行衝程時，將流體自頂部室640驅動至底部室650中。此流體運動在圖6C中由未標示箭頭展示。孔板630、孔632及/或冷卻元件620亦經組態以減少或消除將致使流體穿過孔632回流至底部室650中之吸入。因此，冷卻系統600以與冷卻系統100類似之方式操作。因此，可達成冷卻系統100之益處。而且，冷卻系統600可在其中期望高流體流量及/或速度之其他應用(例如具有或不具有生熱結構602)中係可使用的。

【0087】圖7A至圖7C繪示包含多個中央錨定之冷卻元件720及770之主動冷卻系統700之實施例。圖7A至圖7C並非按比例。圖7A繪示中立組態。圖7B繪示冷卻元件720之下行衝程及冷卻元件770之上行衝程之末尾。圖7C繪示冷卻元件720之上行衝程及冷卻元件770之下行衝程之末尾。為了簡單，僅展示冷卻系統700之部分。冷卻系統700與冷卻系統100相似。冷卻系統700包含具有通氣孔712之頂部板710、冷卻元件720、包含孔732之孔板730、頂部室740、底部室750及錨(亦即，支撐結構) 760，

其分別與具有通氣孔112之頂部板110、冷卻元件120、包含孔132之孔板130、頂部室140、底部室150及錨(亦即，支撐結構) 160相似。因此，冷卻元件720在中央由錨760支撐，使得冷卻元件720之周界之至少一部分自由振動。在某些實施例中，錨760沿著冷卻元件720之軸線(例如，以與錨260A及/或260B相似之方式)延伸。在其他實施例中，錨760未沿著冷卻元件720之軸線延伸(例如，以與錨360A及/或360B相似之方式)。而且，孔板730、孔732及/或冷卻元件720可以與本文中所繪示之其他孔板及/或冷卻元件中之一或多者相似之方式來組態。

【0088】 冷卻系統700亦包含冷卻元件770、支撐結構(例如，錨)772及上部室780。冷卻元件770在中央由錨772支撐，使得冷卻元件770之周界之至少一部分自由振動。在某些實施例中，錨772沿著冷卻元件770之軸線延伸(例如，以與錨260A及/或260B相似之方式)。在某些實施例中，錨772未沿著冷卻元件770之軸線延伸(例如，以與錨360A及/或360B相似之方式)。

【0089】 在某些實施例中，異相驅動冷卻元件720及770。在某些實施例中，冷卻元件720及770之振動運動處於或接近一百八十度異相。因此，當冷卻元件720經歷下行衝程時，冷卻元件770經歷上行衝程，且反之亦然。亦期望冷卻元件720及770以其結構共振頻率經驅動。因此，冷卻元件720及770之結構共振頻率經選擇為接近的。在某些實施例中，期望冷卻元件720及770之共振頻率在彼此之一百赫茲內。在某些實施例中，回饋用於使冷卻元件維持處於或接近共振。舉例而言，可週期性地量測用於驅動冷卻元件720及770之電流且調整冷卻元件720及770之驅動頻率以維持共振。在某些實施例中，在幾百赫茲之共振頻率/若干共振頻率

內驅動冷卻元件720及/或770以達成最佳化效能。然而，其他頻率係可能的。亦可調整冷卻元件720及770之驅動頻率以使冷卻元件維持處於或接近一百八十度異相。而且，期望冷卻元件720及770之結構共振頻率以及其驅動頻率處於或接近冷卻系統700之聲學共振頻率。

【0090】 在操作中，冷卻元件770經歷上行衝程而冷卻元件720經歷下行衝程，如圖7B中所指示。因此，冷卻元件720以高速度(諸如關於冷卻系統100所闡述之彼等速度)將流體自孔732驅動出。而且在冷卻元件770之上行衝程中，將流體自上部室780驅動至頂部室740中。在所展示之實施例中，錨772及冷卻元件770中之孔口(未展示)允許流體自上部室780穿過錨772流動至室740中。此流體運動在圖7B中由未標示箭頭指示。在其中不存在錨772及冷卻元件770中之孔口之其他實施例中，流體在冷卻系統700之周邊處自上部室780流動至頂部室740。當冷卻元件720經歷上行衝程且冷卻元件770經歷下行衝程時，將流體自頂部室740驅動至底部室750中。亦透過通氣孔712將流體汲取至上部室780中。流體運動在圖7C中由未標示箭頭指示。孔板730、孔732及/或冷卻元件720亦經組態以減少或消除將致使流體穿過孔732回流至底部室750中之吸入。

【0091】 因此，冷卻系統700以與冷卻系統100類似之方式操作。因此，可達成冷卻系統100之益處。而且，多個冷卻元件720及770之使用可允許甚至在射流通道(生熱結構702與孔板730之間的區域)中之更高背壓下操作冷卻系統700。因此，可增加其中可利用冷卻系統700之應用範圍。而且，冷卻系統700可在其中期望高流體流量及/或速度之其他應用(例如，具有或不具有生熱結構702)中係可使用的。

【0092】 圖8A至圖8E繪示包含中央錨定之冷卻元件以及彈性結構

890D及890E之主動冷卻系統800A、800B、800C之實施例。圖8A至圖8E並非按比例。圖8A繪示利用一個冷卻元件820A及彈性結構890A之冷卻系統800A。冷卻系統800A與冷卻系統100相似。冷卻系統800包含具有通氣孔812之頂部板810、冷卻元件820、包含孔832之孔板830、頂部室840、底部室850及錨(亦即，支撐結構)860，其分別與具有通氣孔112之頂部板110、冷卻元件120、包含孔132之孔板130、頂部室140、底部室150及錨(亦即，支撐結構)160相似。因此，冷卻元件820A在中央由錨860支撐，使得冷卻元件820A之周界之至少一部分自由振動。在某些實施例中，錨860沿著冷卻元件820A之軸線延伸(例如，以與錨260A及/或260B相似之方式)。而且，孔板830、孔832及/或冷卻元件820A可以與本文中所繪示之其他孔板及/或冷卻元件中之一或多者相似之方式來組態。

【0093】在圖8A中亦展示用於冷卻元件820A及彈性結構890A之壓電體823。彈性結構890A駐存於冷卻元件820A與頂部板810之間。利用彈性結構890A來耦合冷卻元件820A之相對區段之振動運動。舉例而言，若同相振動(兩個區段皆經歷上行衝程或兩個區段皆經歷下行衝程)，則彈性結構890A有助於維持冷卻元件820A之此等部分之同相振動。對於其中錨860僅在冷卻元件820A之中心部分附近(例如，與錨360A及/或360B相似)之實施例，彈性結構890A可以不同方式來組態。

【0094】因此，冷卻系統800A以與冷卻系統100類似之方式操作。因此，可達成冷卻系統100之益處。而且，彈性結構890A之使用可允許冷卻元件820A之部分之振動保持在所要相位。因此，可進一步改良冷卻系統800A之效能。

【0095】圖8B繪示利用冷卻元件820B及彈性結構890B之冷卻系統

800B之一部分之平面圖。冷卻系統800B與冷卻系統100及冷卻系統800A相似。為了簡單，僅展示冷卻元件820B、彈性結構890B及錨860。彈性結構890B駐存於冷卻元件820B之側面處。利用彈性結構890B來耦合冷卻元件820B之相對區段之振動運動。舉例而言，若同相振動(兩個區段皆經歷上行衝程或兩個區段皆經歷下行衝程)，則彈性結構890B有助於維持冷卻元件820B之此等部分之同相振動。對於其中錨860僅在冷卻元件820B之中心部分附近(例如，與錨360A及/或360B相似)之實施例，彈性結構890B可以不同方式來組態。

【0096】 冷卻系統800B以與冷卻系統100類似之方式操作。因此，可達成冷卻系統100之益處。而且，彈性結構890B之使用可允許冷卻元件820B之部分之振動保持在所要相位。因此，可進一步改良冷卻系統800B之效能。

【0097】 圖8C繪示包含多個冷卻元件820C及870之冷卻系統800C之中立組態。冷卻系統800C與冷卻系統100及冷卻系統700相似。冷卻系統800C包含具有通氣孔812之頂部板810、冷卻元件820C、包含孔832之孔板830、頂部室840、底部室850及錨(亦即，支撐結構) 860，其分別與具有通氣孔112之頂部板110、冷卻元件120、包含孔132之孔板130、頂部室140、底部室150及錨(亦即，支撐結構) 160相似。冷卻系統800C亦包含分別與冷卻元件770、錨772及上部室780相似之額外冷卻元件870、錨(支撐結構) 872及上部室880。因此，冷卻元件820C及870分別在中央由錨860及872支撐，使得冷卻元件820C及870之周界之至少一部分自由振動。在某些實施例中，錨860及872沿著冷卻元件820C及870之軸線延伸(例如，以與錨260A及/或260B相似之方式)。而且，孔板830、孔832及/或冷

卻元件820C可以與本文中所繪示之其他孔板及/或冷卻元件中之一或多者相似之方式來組態。

【0098】在圖8C中亦展示彈性結構890C。彈性結構890C駐存於冷卻元件820C與870之間。利用彈性結構890C來耦合冷卻元件820C及870之振動運動。舉例而言，若異相振動，則彈性結構890C有助於維持此等冷卻元件820C及870之振動相位。圖8D及圖8E繪示可在冷卻系統800C中使用之彈性結構890D及890E之實施例。

【0099】因此，冷卻系統800C以與冷卻系統100及/或700類似之方式操作。因此，可達成冷卻系統100及/或700之益處。而且，彈性結構890C、890D及/或890E之使用可允許冷卻元件820C及870之振動保持在所要相位。因此，可進一步改良冷卻系統800C之效能。而且，冷卻系統800A、800B及/或800C可在其中期望高流體流量及/或速度之其他應用(例如，具有或不具有生熱結構802)中係可使用的。

【0100】圖9A至圖9B繪示包含中央錨定之冷卻元件920之主動冷卻系統900之實施例。圖9A至圖9B並非按比例繪示的。圖9A及圖9B繪示冷卻元件920之衝程之末尾。中立組態在圖9A及圖9B中由點線表示。為了簡單，僅展示冷卻系統900之部分。

【0101】冷卻系統900與冷卻系統100相似。冷卻系統900包含具有通氣孔912之頂部板910、冷卻元件920、包含孔932之孔板930、頂部室940、底部室950及錨(亦即，支撐結構)960，其分別與具有通氣孔112之頂部板110、冷卻元件120、包含孔132之孔板130、頂部室140、底部室150及錨(亦即，支撐結構)160相似。因此，冷卻元件920在中央由錨960支撐，使得冷卻元件920之周界之至少一部分自由振動。在某些實施例

中，錨960沿著冷卻元件920之軸線延伸(例如，以與錨260A及/或260B相似之方式)。而且，孔板930、孔932及/或冷卻元件920可以與本文中所繪示之其他孔板及/或冷卻元件中之一或多者相似之方式來組態。

【0102】 在圖9A至圖9B中所展示之實施例中，異相驅動冷卻元件920。更具體而言，在錨960之相對側上(且因此在由錨960支撐之冷卻元件920之中央區域之相對側上)的冷卻元件920之區段經驅動以異相振動。在某些實施例中，以或接近一百八十度異相地驅動在錨960之相對側上的冷卻元件920之區段。因此，冷卻元件920之一個區段朝向頂部板910振動，而冷卻元件920之另一區段朝向孔板930/生熱結構902振動。冷卻元件920之區段朝向頂部板910之移動(上行衝程)將頂部腔940中之流體驅動至在錨960之彼側上之底部腔950。冷卻元件920之區段朝向孔板930之移動驅動流體穿過孔932且朝向生熱結構902。因此，以高速度(例如，關於冷卻系統100所闡述之速度)行進之流體在錨960之對置側上交替地自孔932被驅動出。

【0103】 因此，冷卻系統900以與冷卻系統100類似之方式操作。因此，可獲得冷卻系統100之益處。而且，冷卻元件920之異相振動允許冷卻元件900之質量中心之位置保持更穩定。儘管對冷卻元件920施加扭矩，但減小或消除歸因於質量中心之運動的力。因此，可減少歸因於冷卻元件920之運動的振動。此外，可透過針對冷卻元件920之兩個側使用異相振動運動來改良冷卻系統900之效率。因此，可進一步改良冷卻系統900之效能。而且，冷卻系統900可在其中期望高流體流量及/或速度之其他應用(例如，具有或不具有生熱結構902)中係可使用的。

【0104】 圖10A至圖10C繪示分別包含多個冷卻單元1001A、1001B

及1001C之主動冷卻系統1000A、1000B及1000C之實施例。每一冷卻單元1001A、1001B及1001C分別具有中央錨定之冷卻元件1020A、1020B及1020C。圖10A至圖10C並非按比例。圖10A至圖10C繪示相同幾何組態，但其中以各種相位驅動單元1001A、1001B及1001C。因此，儘管經指示為不同系統，但冷卻系統1000A、1000B及1000C可係由不同輸入信號驅動之相同實體系統。為了簡單，僅展示冷卻系統1000A、1000B及1000C之部分。

【0105】 參考圖10A，冷卻系統1000A之每一單元1001A與冷卻系統100相似。冷卻系統1000A包含具有通氣孔1012之頂部板1010、冷卻元件1020A、包含孔1032之孔板1030、頂部室1040、底部室1050及錨(亦即，支撐結構) 1060，其分別與具有通氣孔112之頂部板110、冷卻元件120、包含孔132之孔板130、頂部室140、底部室150及錨(亦即，支撐結構) 160相似。因此，冷卻元件1020A在中央由錨1060支撐，使得冷卻元件1020A之周界之至少一部分自由振動。在某些實施例中，錨1060沿著冷卻元件1020A之軸線延伸(例如，以與錨260A及/或260B相似之方式)。在其他實施例中，錨1060僅在冷卻元件1020A之中心部分附近(例如，與錨360A及/或360B相似)。而且，孔板1030、孔1032及/或冷卻元件1020A可以與本文中所繪示之其他孔板及/或冷卻元件中之一或多者相似之方式來組態。

【0106】 每一冷卻元件1020A經驅動使得其同相振動。因此，未由錨1060支撐的冷卻元件1020A之部分共同朝向頂部板1010或共同朝向孔板1030振動。然而，毗鄰單元1001A中之冷卻元件1020A異相振動。因此，若一個冷卻元件1020A經歷下行衝程，則毗鄰冷卻元件1020A經歷上行衝程。

【0107】冷卻系統1000A之冷卻單元1001A以與冷卻系統100類似之方式操作。因此，可針對每一冷卻單元1001A達成冷卻系統100之益處。多個單元之使用可增加冷卻系統1000A之冷卻功率。而且，毗鄰單元中之冷卻元件1020A之異相振動可減少歸因於冷卻元件1020A之運動的冷卻系統1000A中之振動。因此，可進一步改良冷卻系統1000A之效能。而且，冷卻系統1000A可在其中期望高流體流量及/或速度之其他應用(例如，具有或不具有生熱結構)中係可使用的。

【0108】圖10B繪示冷卻系統1000B，其中每一單元1001B與冷卻系統100及900相似。冷卻系統1000B包含具有通氣孔1012之頂部板1010、冷卻元件1020B、包含孔1032之孔板1030、頂部室1040、底部室1050及錨(亦即，支撐結構) 1060，其分別與具有通氣孔112之頂部板110、冷卻元件120、包含孔132之孔板130、頂部室140、底部室150及錨(亦即，支撐結構) 160相似。因此，冷卻元件1020B在中央由錨1060支撐，使得冷卻元件1020B之周界之至少一部分自由振動。在某些實施例中，錨1060沿著冷卻元件1020B之軸線延伸(例如，以與錨260A及/或260B相似之方式)。在其他實施例中，錨1060僅在冷卻元件1020B之中心部分附近(例如，與錨360A及/或360B相似)。而且，孔板1030、孔1032及/或冷卻元件1020B可以與本文中所繪示之其他孔板及/或冷卻元件中之一或多者相似之方式來組態。

【0109】冷卻元件1020B經驅動使得其異相振動。因此，未由錨1060支撐的冷卻元件1020B之某些部分共同朝向頂部板1010振動，而冷卻元件1020B之其他部分朝向孔板1030振動。而且，在所展示之實施例中，毗鄰單元1001B中之冷卻元件1020B異相振動。在其他實施例中，毗鄰單

元1001B中之冷卻元件1020B可同相振動(例如，所有單元1001B之冷卻元件1020B之右部分共同朝向頂部板1010振動)。

【0110】冷卻系統1000B之冷卻單元1001B以與冷卻系統900及100類似之方式操作。因此，可針對每一冷卻單元1001B達成冷卻系統100及900之益處。透過使用多個冷卻單元1001B，冷卻系統1000B可具有經改良冷卻功率。而且，個別單元1001B中之冷卻元件1020B之異相振動允許可減少歸因於冷卻元件1020B之運動的冷卻系統1000B中之振動。因此，可進一步改良冷卻系統1000B之效能。而且，冷卻系統1000B可在其中期望高流體流量及/或速度之其他應用(例如，具有或不具有生熱結構)中係可使用的。

【0111】參考圖10C繪示冷卻系統1000C，其中每一單元1001C與冷卻系統100相似。冷卻系統1000C包含具有通氣孔1012之頂部板1010、冷卻元件1020C、包含孔1032之孔板1030、頂部室1040、底部室1050及錨(亦即，支撐結構)1060，其分別與具有通氣孔112之頂部板110、冷卻元件120、包含孔132之孔板130、頂部室140、底部室150及錨(亦即，支撐結構)160相似。因此，冷卻元件1020C在中央由錨1060支撐，使得冷卻元件1020C之周界之至少一部分自由振動。在某些實施例中，錨1060沿著冷卻元件1020C之軸線延伸(例如，以與錨260A及/或260B相似之方式)。在其他實施例中，錨1060僅在冷卻元件1020C之中心部分附近(例如，與錨360A及/或360B相似)。而且，孔板1030、孔1032及/或冷卻元件1020C可以與本文中所繪示之其他孔板及/或冷卻元件中之一或多者相似之方式來組態。

【0112】冷卻元件1020C經驅動使得其同相振動。因此，未由錨

1060支撐的冷卻元件1020C之部分共同朝向頂部板1010或共同朝向孔板1030振動。而且，毗鄰冷卻單元1001C中之冷卻元件1020C同相振動。因此，所有冷卻單元1001C中之冷卻元件1020C共同經歷下行衝程及上行衝程。

【0113】因此，冷卻系統1000C之冷卻單元1001C以與冷卻系統100類似之方式操作。因此，可針對每一冷卻單元1001C達成冷卻系統100之益處。多個冷卻單元1001C之使用可進一步增加冷卻系統1000之冷卻功率。因此，可進一步改良冷卻系統1000A之效能。然而，毗鄰單元中之冷卻元件1020C之同相振動可允許歸因於冷卻元件1020A之運動的冷卻系統1000C中之振動之增加。冷卻系統1000C亦可在其中期望高流體流量及/或速度之其他應用(例如，具有或不具有生熱結構)中係可使用的。

【0114】圖11A至圖11D繪示包含多個冷卻元件1110及1120之主動冷卻系統1100及1100D之實施例。圖11A至圖11D並非按比例。圖11A至圖11D繪示相同幾何組態，但其中以不同方式驅動冷卻元件。

【0115】圖11A繪示具有多個中央錨定之冷卻元件1110及1120之冷卻系統1100之中立組態。冷卻系統1100與冷卻系統700相似，但具有交錯冷卻元件1110及1120。冷卻系統1100包含冷卻元件1120及1110、孔板1130 (包含孔1132)、頂部室1140、底部室1150及錨(亦即，支撐結構)1160，其分別與冷卻元件120 (以及冷卻元件720及770)、孔板130 (包含孔132)、頂部室140、底部室150及錨(亦即，支撐結構)160相似。亦展示與頂部凸部422E及422D相似之頂部凸部1114。在某些實施例中，可省略頂部凸部1114。因此，每一冷卻元件1120及1110在中央由錨1160支撐，使得冷卻元件1120及1110之周界之至少一部分自由振動。在某些實施例中，錨1160沿著冷卻元件1110及/或1120之軸線延伸(例如，以與錨260A

及/或260B相似之方式)。在其他實施例中，錨1160僅在冷卻元件1110及/或1120之中心部分附近(例如，與錨360A及/或360B相似)。而且，孔板1130、孔1132及/或冷卻元件1110及1120可以與本文中所繪示之其他孔板及/或冷卻元件中之一或多者相似之方式來組態。

【0116】圖11B至圖11C繪示當每一冷卻元件1110及1120經驅動使得其同相振動時之冷卻系統1100。因此，未由錨1160支撐的每一冷卻元件1120之部分共同遠離孔板1130或共同朝向孔板1130振動。類似地，未由錨1160支撐的冷卻元件1110之部分共同遠離孔板1130或共同朝向孔板1130振動。然而，毗鄰冷卻元件1110及1120異相振動。因此，若一個冷卻元件1120經歷下行衝程，則毗鄰冷卻元件1110經歷上行衝程，且反之亦然。另一選擇係，冷卻系統1100D繪示其中異相驅動每一冷卻元件1110及1120之情形。因此，未由錨1060支撐的冷卻元件1110及冷卻元件1120之某些部分共同遠離孔板1130振動，而冷卻元件1110及1120之其他部分分別朝向孔板1130振動。因此，取決於如何致動冷卻元件1110及1120，可使用同相或異相振動。

【0117】冷卻系統1100/1100D以與冷卻系統100類似之方式操作。因此，可達成冷卻系統100之益處。多個冷卻元件之使用可增加冷卻系統1100/1100D之冷卻功率。而且，堆疊冷卻元件1110及1120可允許支援更高背壓。因此，可進一步改良冷卻系統1100/1100D之效能。而且，冷卻系統1100及/或1100D可在其中期望高流體流量及/或速度之其他應用(例如，具有或不具有生熱結構)中係可使用的。

【0118】圖12繪示包含多個冷卻元件1210、1220及1280之主動冷卻系統200之實施例。圖12並非按比例。冷卻系統1200與冷卻系統700及

1100相似。冷卻系統1200包含冷卻元件1220及1210、孔板1230 (包含孔1232)、頂部室1240、底部室1250及錨(亦即，支撐結構) 1260，其分別與冷卻元件120 (以及冷卻元件720及770)、孔板130 (包含孔132)、頂部室140、底部室150及錨(亦即，支撐結構) 160相似。亦展示與凸部422E及422D相似之頂部凸部1214。在某些實施例中，可省略頂部凸部1214。

【0119】 冷卻元件1220及1210各自在中央由錨1260支撐，使得冷卻元件1220及/或1210之周界之至少一部分自由振動。在某些實施例中，錨1260沿著冷卻元件1210及1220之軸線延伸(例如，以與錨260A及/或260B相似之方式)。在其他實施例中，錨1260僅在冷卻元件1210及/或1220之中心部分附近(例如，與錨360A及/或360B相似)。而且，孔板1230、孔1232及/或冷卻元件1210、1220及1280可以與本文中所繪示之其他孔板及/或冷卻元件中之一或多者相似之方式來組態。

【0120】 另外，冷卻系統1200具有冷卻元件1280及上部室1270之額外層。冷卻元件1280以與冷卻元件1210及/或1220相似之方式起作用。而且，可同相或異相驅動冷卻元件1210、1220及1280。

【0121】 因此，冷卻系統1200以與冷卻系統100類似之方式操作。因此，可達成冷卻系統100之益處。多個冷卻元件之使用可增加冷卻系統1200之冷卻功率。而且，堆疊冷卻元件1210、1220及1280可允許支援更高背壓。因此，可進一步改良冷卻系統1200之效能。而且，冷卻系統1200可在其中期望高流體流量及/或速度之其他應用(例如，具有或不具有生熱結構)中係可使用的。

【0122】 圖13繪示包含多個冷卻單元1301之冷卻系統1300之實施例之俯視圖。圖13並非按比例。冷卻單元1301與本文中所闡述之冷卻系

統(諸如冷卻系統100、400A、400B、400C、400D、400E、500、600、700、800A、800B、800C、900、1000A、1000B、1000C、1100、1100D及/或1200)中之一或多者相似。如冷卻系統1300中所指示，冷卻單元1301可佈置成所要大小及組態之二維陣列。因此，冷卻單元1301之組態可適應於所要應用。而且，冷卻系統1300可在其中期望高流體流量及/或速度之其他應用(例如，具有或不具有生熱結構)中係可使用的。

【0123】圖14A至圖14B分別繪示冷卻元件1400A及1400B之實施例。圖14A及圖14B並非按比例。冷卻元件1400A及1400B係可用作本文中所闡述之冷卻元件或包含於該等冷卻元件中之壓電冷卻元件。參考圖14A，冷卻元件1400A包含在基板1402上之壓電層1404。在某些實施例中，基板1402包含不銹鋼、Ni及/或赫史特合金。在某些實施例中，壓電層1404包含多個子層。在某些實施例中，使用沈積技術在基板1402上製作壓電層1404。在某些實施例中，壓電層1404包含或係固定至基板1402之塊體層。壓電冷卻元件1400A亦包含頂部電極1406。在某些實施例中，底部電極可由不銹鋼基板1402形成。在其他實施例中，底部電極(未展示)可設置於基板1402與壓電體1404之間。其他層(未展示)(包含但不限於晶種、覆蓋、鈍化或其他層)可包含於壓電冷卻元件1400中。冷卻元件1400A之厚度及寬度可在針對本文中所論述之其他冷卻元件所闡述之範圍內。

【0124】圖14B繪示與冷卻元件1400A相似之壓電冷卻元件1400B。冷卻元件1400B包含在基板1402B上之壓電層1404B。在某些實施例中，基板1402B包含不銹鋼、Ni及/或赫史特合金。在某些實施例中，每一壓電層1404B包含多個子層。在某些實施例中，使用沈積技術在基板1402B

上製作每一壓電層1404B。在某些實施例中，每一壓電層1404B包含或係固定至基板1402B之塊體層。壓電冷卻元件1400B亦包含針對每一壓電層1404B之頂部電極1406B。因此，可單獨致動壓電冷卻元件1400B之部分。在某些實施例中，底部電極可由基板1402B形成。在其他實施例中，底部電極(未展示)可設置於基板1402B與壓電層1404B之間。其他層(未展示)(包含但不限於晶種、覆蓋、鈍化或其他層)可包含於壓電冷卻元件1400B中。壓電冷卻元件1400B之厚度及寬度可在針對本文中所論述之其他冷卻元件所闡述之範圍內。

【0125】圖15係繪示用於操作冷卻系統之方法1500之例示性實施例之流程圖。方法1500可包含為了簡單而未繪示之步驟。在壓電冷卻系統100之內容脈絡中闡述方法1500。然而，可與包含但不限於本文中所闡述之系統及單元之其他冷卻系統一起使用方法1500。

【0126】在1502處，冷卻系統中之冷卻元件中之一或多者經致動以振動。在1502處，使用具有所要頻率之電信號來驅動冷卻元件。在某些實施例中，在1502處，以或接近結構及/或聲學共振頻率驅動冷卻元件。驅動頻率可係15 kHz或更高。若在1502處驅動多個冷卻元件，則可異相驅動冷卻元件。在某些實施例中，實質上以一百八十度異相驅動冷卻元件。而且，在某些實施例中，異相驅動個別冷卻元件。舉例而言，可驅動冷卻元件之不同部分以在相反方向上振動。

【0127】在1504處，使用來自壓電冷卻元件之回饋來調整驅動電流。在某些實施例中，使用調整以使頻率維持處於或接近冷卻元件及/或冷卻系統之聲學及/或結構共振頻率/若干共振頻率。特定冷卻元件之共振頻率可(舉例而言)由於溫度改變而漂移。在1504處做出之調整允許慮及共

振頻率之漂移。

【0128】舉例而言，在1502處，可將壓電冷卻元件120以其結構共振頻率/若干結構共振頻率進行驅動。此共振頻率亦可處於或接近頂部室140之聲學共振頻率。在1504處，使用回饋以使冷卻元件120維持處於共振，且在其中驅動多個冷卻元件之某些實施例中一百八十度異相。因此，可維持在驅動流體流穿過冷卻系統100且至生熱結構102上時冷卻元件120之效率。在某些實施例中，1504包含對穿過冷卻元件120之電流進行取樣且調整電流以維持共振及低輸入功率。

【0129】在另一實例中，在1502處，可將壓電冷卻元件720及770以其結構共振頻率/若干結構共振頻率進行驅動。此等結構共振頻率亦可處於或接近頂部室740之聲學共振頻率。由於驅動多個冷卻元件720及770，因此可存在共振頻率及因此驅動頻率之小差異。因此，可以稍微不同頻率驅動冷卻元件720及770。而且，冷卻元件720及770經致動以異相(例如，一百八十度異相)振動。

【0130】在1504處，使用回饋以使冷卻元件720及770維持處於共振，且在某些實施例中一百八十度異相。舉例而言，可對驅動電流進行取樣及調整以針對相同偏轉量值或流體流量減少功率輸入。功率減小發生在共振時。使用回饋，冷卻元件720及770可保持處於或接近共振。因此，可維持在驅動流體流穿過冷卻系統700且至生熱結構702上時冷卻元件720及770之效率。

【0131】因此，可如上文所闡述而操作諸如冷卻元件120、720及/或770之冷卻元件。方法1500因此提供本文中所闡述之壓電冷卻系統之使用。因此，壓電冷卻系統可以較低功率更有效地且安靜地冷卻半導體裝

置。

【0132】圖16係繪示用於操作冷卻系統之方法1600之例示性實施例之流程圖。方法1600可包含為了簡單而未繪示之步驟。在壓電冷卻系統100之內容脈絡中闡述方法1600。然而，可與包含但不限於本文中所闡述之系統及單元之其他冷卻系統一起使用方法1600。方法1600在已提供驅動電流以致動一或多個冷卻元件之後開始。因此，具有所要頻率之(若干)電信號用於驅動該(等)冷卻元件。在某些實施例中，以或接近結構及聲學共振頻率驅動冷卻元件。

【0133】在1602處，量測在驅動冷卻元件時所使用之電流。在1604處，調整電流之驅動頻率。舉例而言，在1604處，可增加驅動電流頻率。而且，可調整電流以在頻率改變之後維持相同流率或偏轉振幅。在1606處，量測用於驅動冷卻元件之新電流。

【0134】在1608處，判定是否已回應於驅動頻率改變而減少驅動電流。若否，則在1610處在相反方向上調整驅動電流之頻率。若已減少驅動電流，則在1612處在相同方向上調整電流。

【0135】在1614處，反覆地重複程序1606、1608、1610及/或1612直至所量測電流指示冷卻元件之驅動頻率在結構及/或聲學共振頻率之容差內。因此，重複該等程序直至所量測電流在最小驅動電流之容差內。在1616處，在驅動冷卻元件時使用此電流。

【0136】舉例而言，可將壓電冷卻元件120以或接近其結構共振頻率進行驅動。隨著時間之逝去，冷卻系統100之結構及/或聲學共振頻率可漂移。因此，在1602處，量測用於驅動冷卻元件120之電流。在1604處，可調整驅動信號之頻率。亦調整驅動信號中所使用之電流之量值以提供所要

流率及/或冷卻元件偏轉。在1606處，量測用於以具有所要振幅之新頻率驅動冷卻元件120之電流。在1608處，判定是否減小驅動電流。若新驅動頻率與先前驅動頻率相比較距(經漂移)結構/聲學共振頻率更遠，則增加驅動電流。若驅動頻率更靠近於(經漂移)結構/聲學共振頻率，則減小驅動電流。因此，基於1606中之判定，在1612處在相同方向上或在1610處在相反方向上調整驅動信號之頻率。反覆地重複量測(1606)、差判定(1608)及調整(1610或1612)直至在1614及1616處以結構及/或聲學共振頻率之所要容差驅動冷卻元件120為止。

【0137】 因此，諸如元件120之冷卻元件可如上文所闡述而操作。方法1600因此提供本文中所闡述之壓電冷卻系統之使用。因此，壓電冷卻系統可以較低功率更有效地且安靜地冷卻半導體裝置。

【0138】 已在本文中闡述各種組態、方法及特徵。可以此處未明確闡述之方式組合組態、方法及/或特徵中之某些或全部組態、方法及/或特徵。

【0139】 雖然已出於清晰理解之目的稍為詳細地闡述前述實施例，但本發明並不限於所提供之細節。存在實施本發明之諸多替代方式。所揭示之實施例係說明性而非限制性的。

【符號說明】

【0140】

100:主動冷卻系統

102:生熱結構

110:頂部板

112:通氣孔/頂部通氣孔

120:冷卻元件/元件

121:尖端

130:孔板

132:孔

140:頂部室/室

142:間隙

142B:間隙

142C:間隙

150:底部室/室

152:間隙

152B:間隙

152C:間隙

160:支撐結構/錨

200A:冷卻系統

200B:冷卻系統

220A:冷卻元件

220B:冷卻元件

223:壓電體

260A:錨

260B:錨

263:孔口

300A:冷卻系統

300B:冷卻系統

320A:冷卻元件
320B:冷卻元件
360A:錨
360B:錨
363:孔口
400A:主動冷卻系統/冷卻系統
400B:主動冷卻系統/冷卻系統
400C:主動冷卻系統/冷卻系統
400D:主動冷卻系統/冷卻系統
400E:主動冷卻系統/冷卻系統
402:生熱結構
410:頂部板
412:通氣孔
420A:冷卻元件
420B:冷卻元件
420C:冷卻元件
420D:冷卻元件
422D:頂部凸部/凸部
422E:頂部凸部/凸部
430A:孔板
430B:孔板
430C:孔板
430D:孔板

430E:孔板
432A:孔
432B:孔
432C:孔
432D:孔
432E:孔
434A:溝渠
434B:凸部
434C:溝渠
440:頂部室
442:間隙
450:底部室
452:間隙
460:錨
500:主動冷卻系統/冷卻系統
502:生熱結構
510A:頂部板
510B:頂部板
512:通氣孔
514:通氣孔
520:冷卻元件
530:孔板
532:孔

540A:頂部室
540B:頂部室
542:間隙
550:底部室/室
552:間隙
560:支撐結構/錨
600: 主動冷卻系統
602:生熱結構
610:冷卻元件
612:通氣孔/位於中央之通氣孔
620:冷卻元件
630:孔板
632:孔
640:頂部室
650:底部室
660:錨/支撐結構
700:主動冷卻系統/冷卻系統
702:生熱結構
710:頂部板
712:通氣孔
720:冷卻元件
730:孔板
732:孔

740:頂部室/室
750:底部室
760:錨/支撐結構
770:冷卻元件
772:錨
780:上部室
800B:主動冷卻系統/冷卻系統
800C:主動冷卻系統/冷卻系統
802:生熱結構
810:頂部板
812:通氣孔
820A:冷卻元件
820B:冷卻元件
820C:冷卻元件
821:基板
823:壓電體
830:孔板
832:孔
840:頂部室
850:底部室
852:間隙
860:錨/支撐結構
870:冷卻元件

872:錨/支撐結構
880:上部室
890A:彈性結構
890B:彈性結構
890C:彈性結構
890D:彈性結構
890E:彈性結構
900:主動冷卻系統/冷卻系統
902:生熱結構
910:頂部板
912:通氣孔
920:冷卻元件
930:孔板
932:孔
940:頂部室/頂部腔
950:底部室/底部腔
960:錨/支撐結構
1000A:主動冷卻系統/冷卻系統
1000B:主動冷卻系統/冷卻系統
1000C:主動冷卻系統/冷卻系統
1001A:冷卻單元/單元
1001B:冷卻單元/單元
1001C:冷卻單元/單元

1010:頂部板
1012:通氣孔
1020A:冷卻元件
1020B:冷卻元件
1030:孔板
1032:孔
1040:頂部室
1050:底部室
1060:錨/支撐結構
1100:冷卻系統
1110:冷卻元件
1112:邊緣間距
1114:頂部凸部
1120:冷卻元件
1130:孔板
1132:孔
1140:頂部室
1150:底部室
1160:錨/支撐結構
1200:冷卻系統
1210:冷卻元件
1212: 邊緣間隙
1214:頂部凸部

1220:冷卻元件
1230:孔板
1232:孔
1240:頂部室
1250:底部室
1260:錨/支撐結構
1270:上部室
1280:冷卻元件
1300:冷卻系統
1301:冷卻單元
1400A:冷卻元件/壓電冷卻元件
1400B:冷卻元件/壓電冷卻元件
1402:基板
1402B:基板
1404:壓電層
1404B:壓電層/壓電體
1406:頂部電極
1406B:頂部電極
1500:方法
1502:步驟
1504:步驟
1600:方法
1602:步驟

1604:步驟

1606:步驟

1608:步驟

1610:步驟

1612:步驟

1614:步驟

1616:步驟

a:寬度

C:長度

d:距離

h1:高度

h2:高度

L:長度

P:深度

r1:距離

r2:距離

s:孔間距

t:厚度

w:寬度

x:方向

y:距離

【發明申請專利範圍】

【請求項1】

一種冷卻系統，其包括：

一支撐結構；

一冷卻元件，其具有一第一懸臂區域、一第二懸臂區域、在該第一懸臂區域與該第二懸臂區域之間之一中央區域、及一周界，該冷卻元件在該中央區域處由該支撐結構支撐，該周界之至少一部分係未釘住的；及

一孔板，在其中具有至少一孔，該冷卻元件經構形以在被致動時經歷該第一懸臂區域及該第二懸臂區域之振動運動以驅動一流體穿過該至少一孔，該孔板係位於該冷卻元件與一生熱結構之間之一流體路徑中，該流體在離開該至少一孔之後具有至少為每秒三十五公尺之速度；

其中該冷卻系統具有不超過二毫米(millimeter)之高度。

【請求項2】

如請求項1之冷卻系統，其中該冷卻元件具有在該生熱結構近端之一第一側及在該生熱結構遠端之一第二側，該振動運動將該流體自該冷卻元件之該第二側驅動至該第一側。

【請求項3】

如請求項1之冷卻系統，進一步包括：

一頂部板，在其中具有至少一通氣孔，該冷卻元件位於該頂部板與該生熱結構之間，從而形成在該冷卻元件與該頂部板之間之一頂部室。

【請求項4】

如請求項3之冷卻系統，其中該頂部室具有與奇整數乘以一波長除以四對應之一長度，該波長係該振動運動之一頻率之一聲波長，該振動運動

之該頻率對應於該冷卻元件之一結構共振且對應於該頂部室之一聲共振，該波長及該頻率對應於該聲共振。

【請求項5】

如請求項4之冷卻系統，其中該頂部室係一摺疊頂部室。

【請求項6】

如請求項1之冷卻系統，其中該至少一個孔位於距該周界至少一百微米(micrometer)且距該周界不多於一毫米(millimeter)處。

【請求項7】

如請求項6之冷卻系統，其中該孔板中包含一凸部及至少一個溝渠中之至少一者，該至少一個溝渠中包含該至少一個孔，該凸部比該至少一個孔更靠近於該冷卻元件之該周界。

【請求項8】

如請求項1之冷卻系統，其中該振動運動係異相振動運動。

【請求項9】

如請求項1之冷卻系統，進一步包括：
一彈性結構，其耦合至該冷卻元件。

【請求項10】

如請求項1之冷卻系統，進一步包括：
一額外冷卻元件，該冷卻元件位於該額外冷卻元件與該生熱結構之間。

【請求項11】

如請求項1之冷卻系統，其中該冷卻元件係具有不超過十毫米(millimeter)之長度之一壓電冷卻元件，且其中該振動運動以至少三十米/

秒之速度驅動該流體朝向該生熱結構。

【請求項12】

如請求項1之冷卻系統，其中該高度不超過1.5毫米(millimeter)。

【請求項13】

如請求項1之冷卻系統，其中該高度不超過1毫米(millimeter)。

【請求項14】

一種冷卻系統，其包括：

一頂部板，在其中具有複數個通氣孔；

複數個冷卻單元，該複數個冷卻單元中之每一者包含一支撐結構及一冷卻元件，該冷卻元件具有一第一懸臂區域、一第二懸臂區域、位於該第一懸臂區域與該第二懸臂區域之間之中央區域、及一周界，該冷卻元件在該中央區域處由該支撐結構支撐，該周界之至少一部分係未釘住的，該複數個通氣孔之一部分對應於該複數個冷卻單元之每一者；及

一孔板，其中具有複數個孔，該複數個冷卻單元之每一者之該冷卻元件位於該頂部板與該孔板之間，從而形成在該冷卻元件與該頂部板之間對該複數個冷卻單元之每一者之一頂部室，該複數個孔之一部分對應於該複數個冷卻單元之每一者，該孔板安置於該冷卻元件與一生熱結構之間，該冷卻元件經構形以在被致動時經歷該第一懸臂區域及該第二懸臂區域之振動運動以汲取一流體至該至少一通氣孔中，引導該流體穿過該頂部室，及驅動該流體穿過該複數個孔之該部分。

【請求項15】

如請求項14之冷卻系統，其中該複數個孔之該部分在該複數個冷卻單元之每一者中位於距該冷卻元件之該周界至少一百微米(micrometer)且距

該冷卻元件之該周界不多於一毫米(millimeter)。

【請求項16】

如請求項14之冷卻系統，其中該振動運動針對該複數個冷卻單元中之毗鄰冷卻單元係異相振動運動。

【請求項17】

如請求項14之冷卻系統，其中該冷卻系統具有不超過2毫米(millimeter)之高度。

【請求項18】

如請求項17之冷卻系統，其中該高度不超過1.5毫米(millimeter)。

【請求項19】

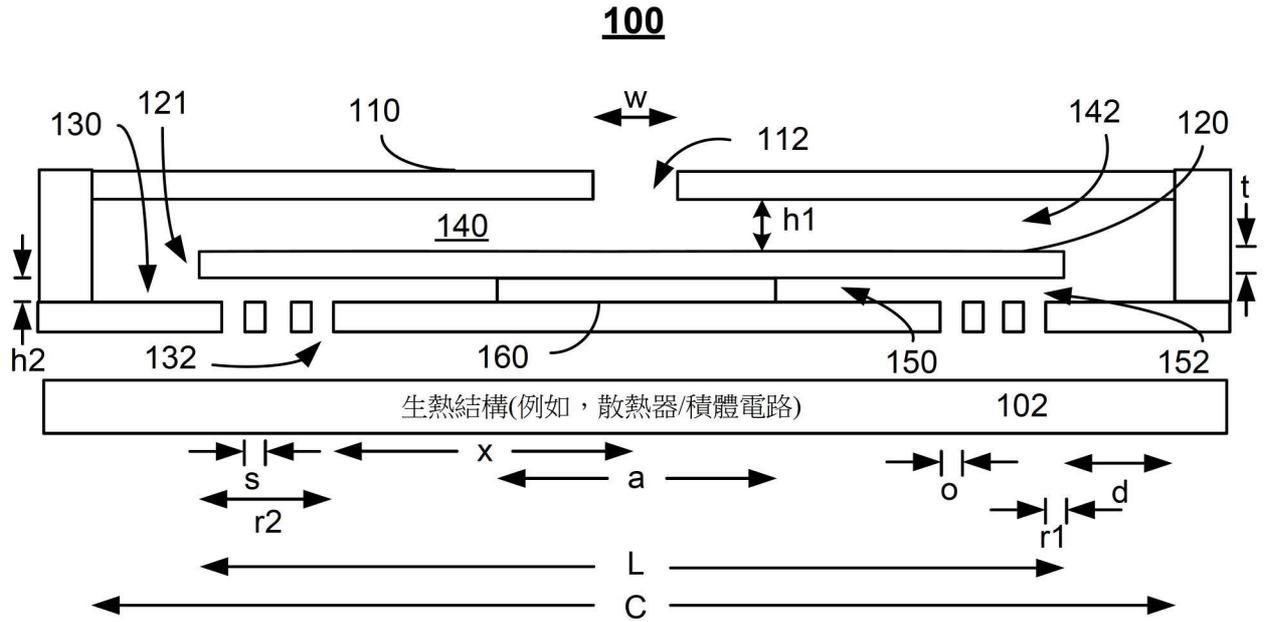
如請求項17之冷卻系統，其中該高度不超過1毫米(millimeter)。

【請求項20】

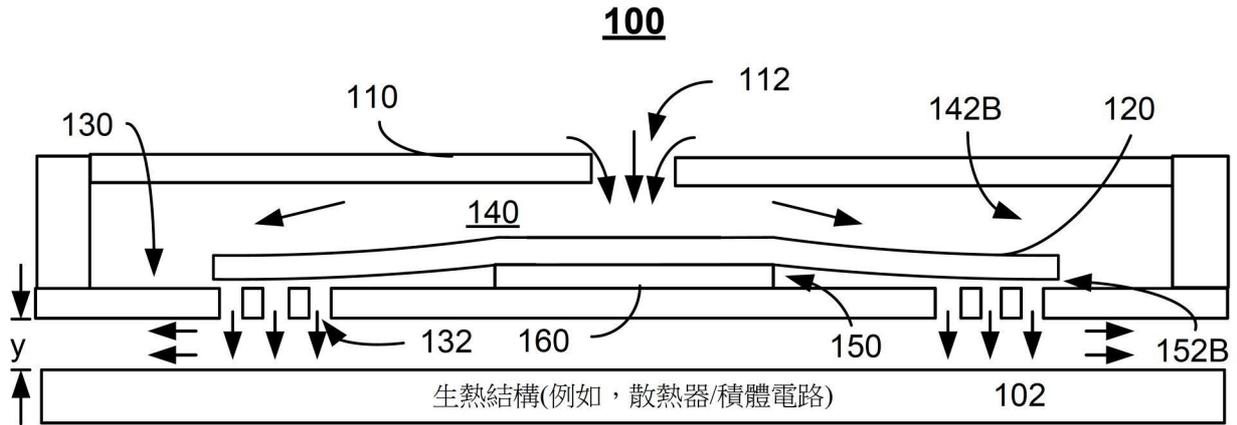
一種冷卻一生熱結構之方法，其包括：

驅動一冷卻系統之一冷卻元件從而以一頻率引發振動運動，該冷卻元件具有一第一懸臂區域、一第二懸臂區域、在該第一懸臂區域與該第二懸臂區域之間之一中央區域、及一周界，該冷卻元件在該中央區域處由一支撐結構支撐，該周界之至少一部分係未釘住的，該冷卻系統包含在其中具有至少一孔之一孔板，該冷卻元件經組態以在被致動時經歷該第一懸臂區域及該第二懸臂區域之振動運動以驅動一流體穿過該至少一孔，該孔板係位於該冷卻元件與該生熱結構之間之一流體路徑中，該流體在離開該至少一孔之後具有至少為每秒三十五公尺之速度。

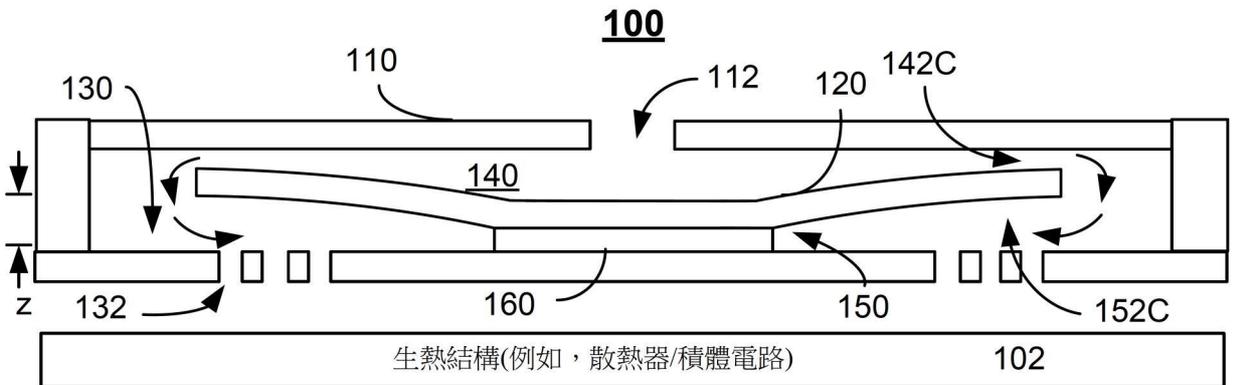
【發明圖式】



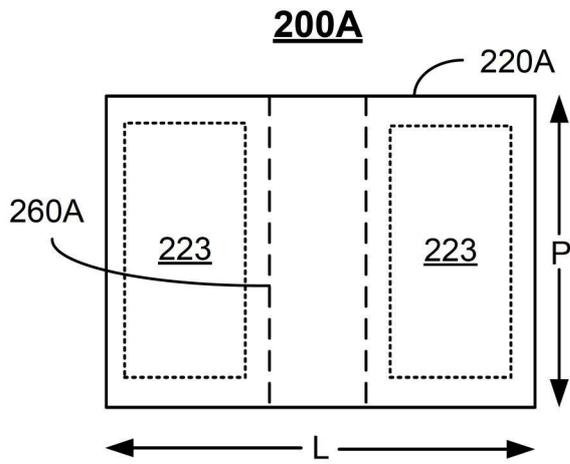
【圖1A】



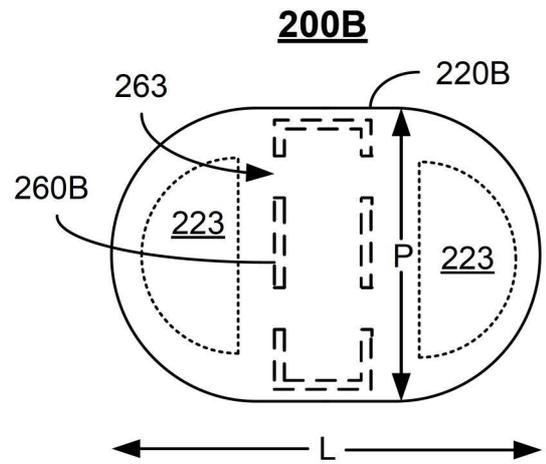
【圖1B】



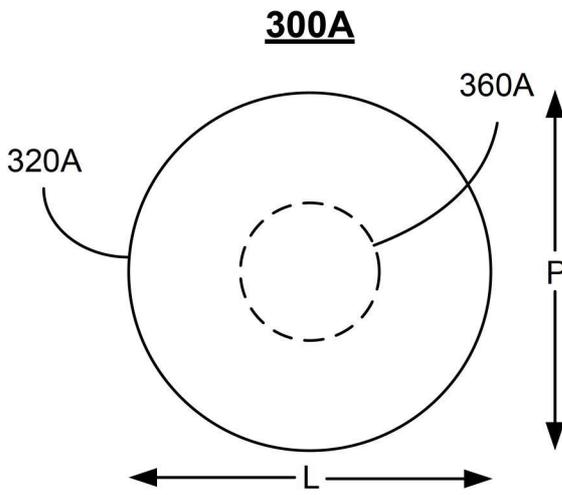
【圖1C】



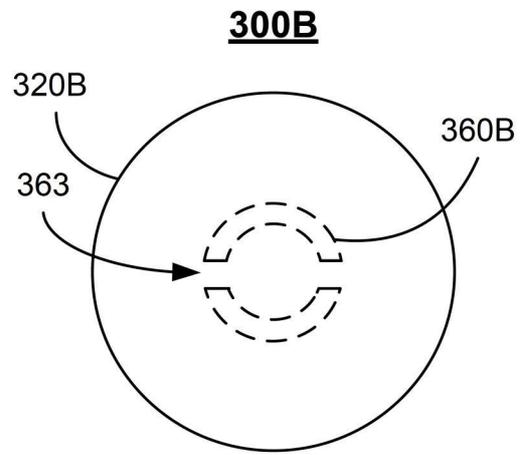
【圖2A】



【圖2B】



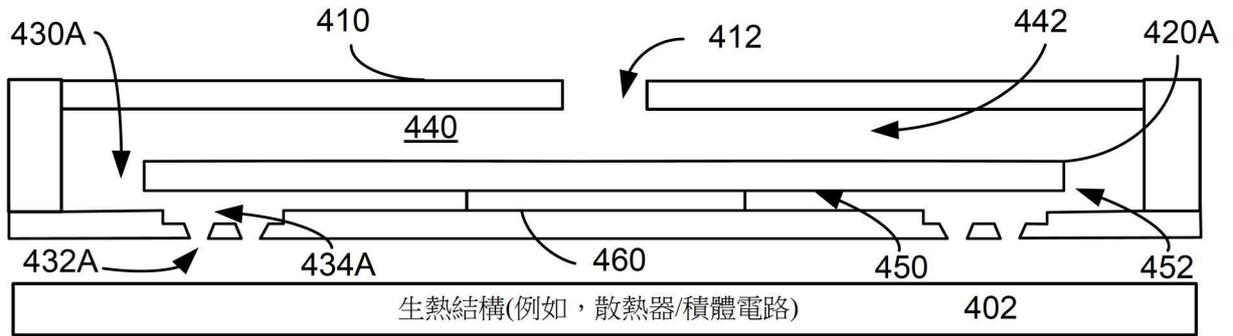
【圖3A】



【圖3B】

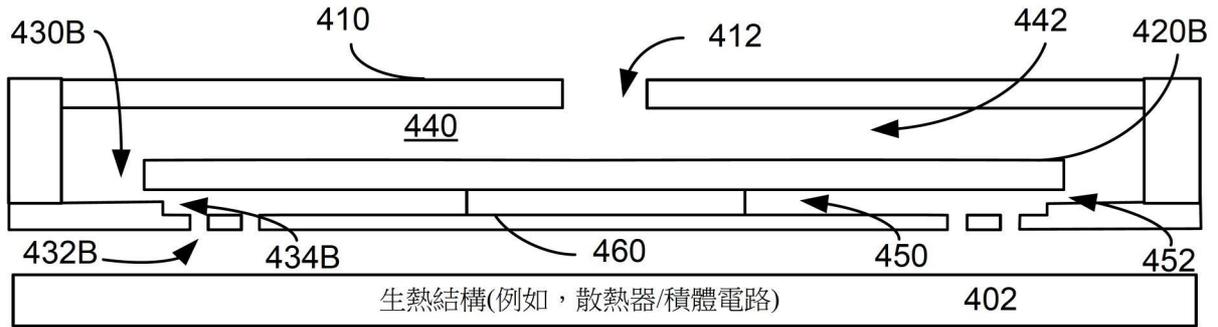
錨可具有孔口

400A



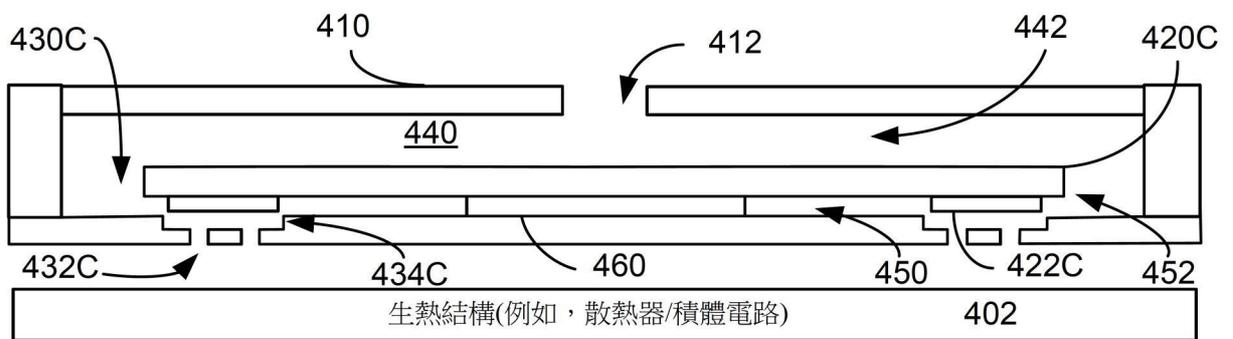
【圖4A】

400B

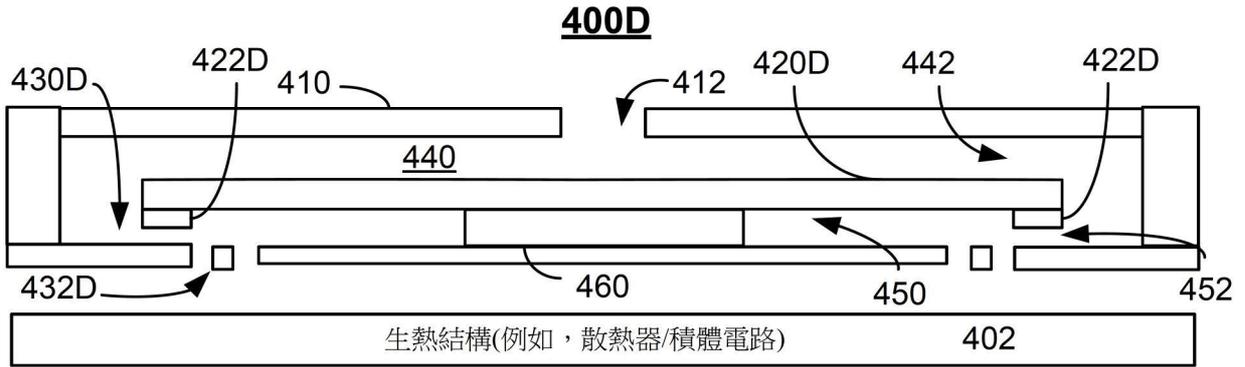


【圖4B】

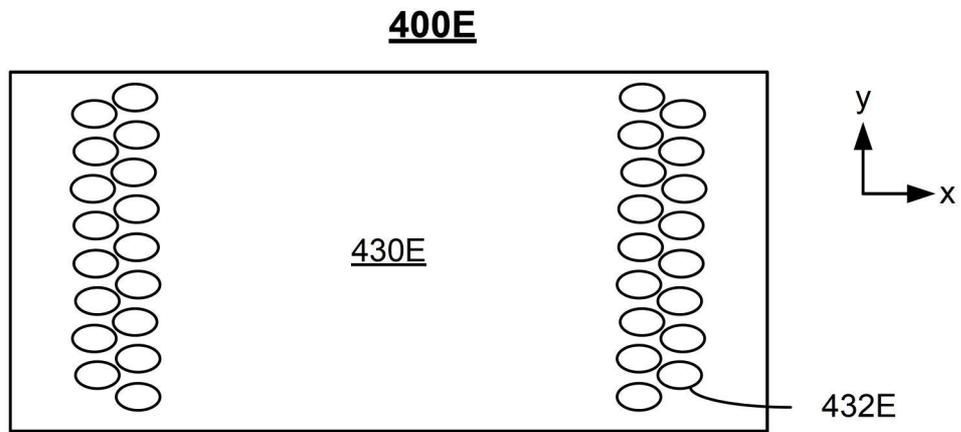
400C



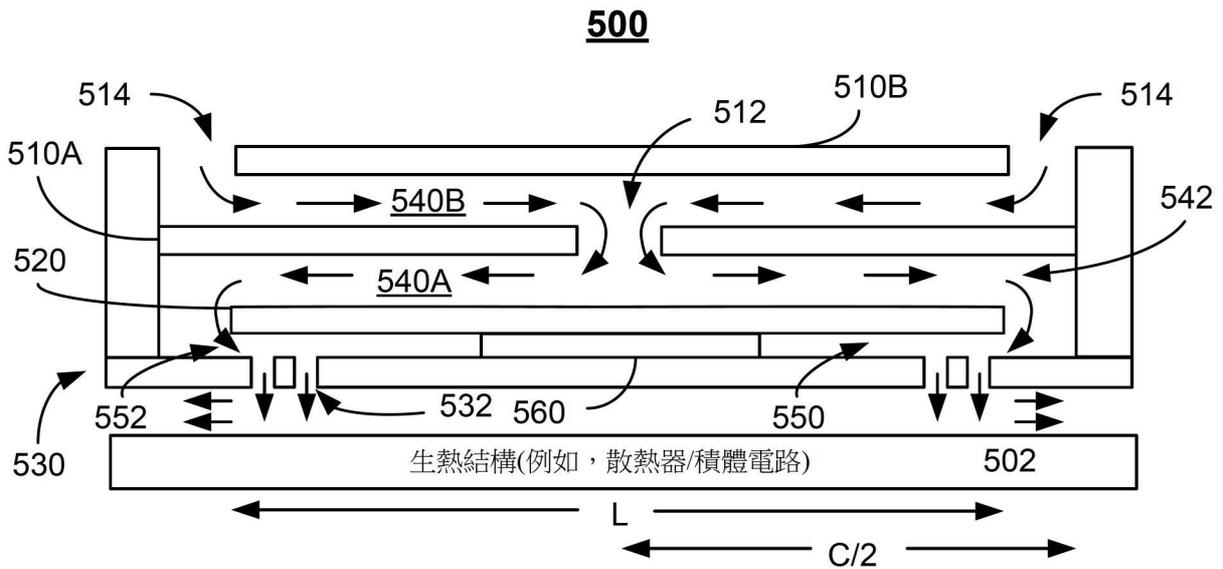
【圖4C】



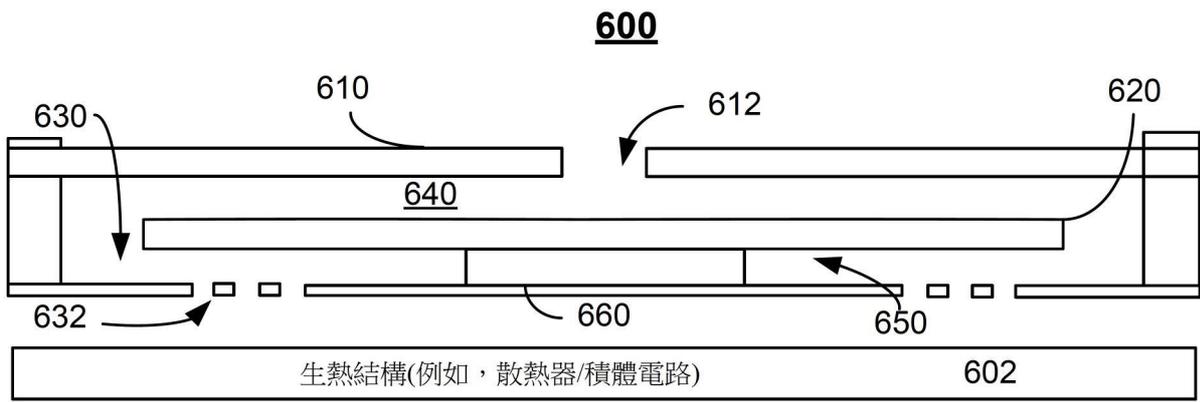
【圖4D】



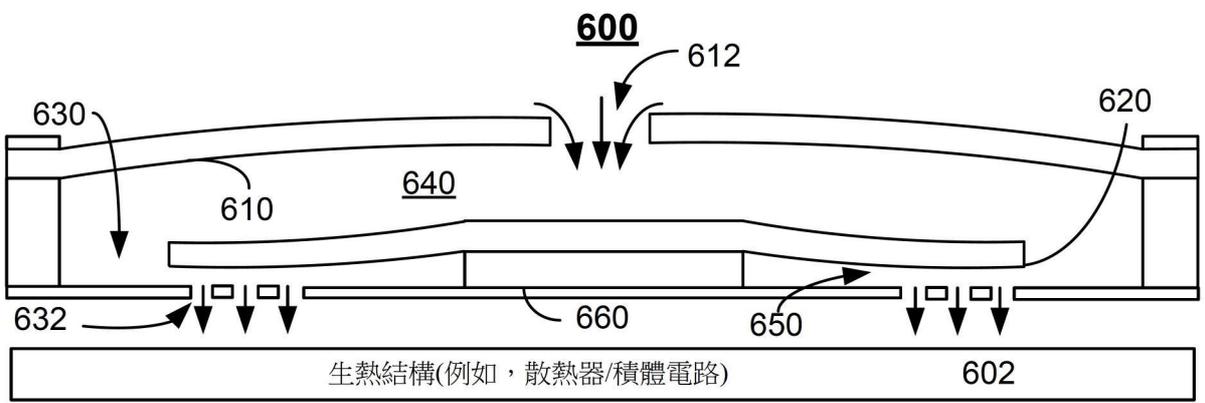
【圖4E】



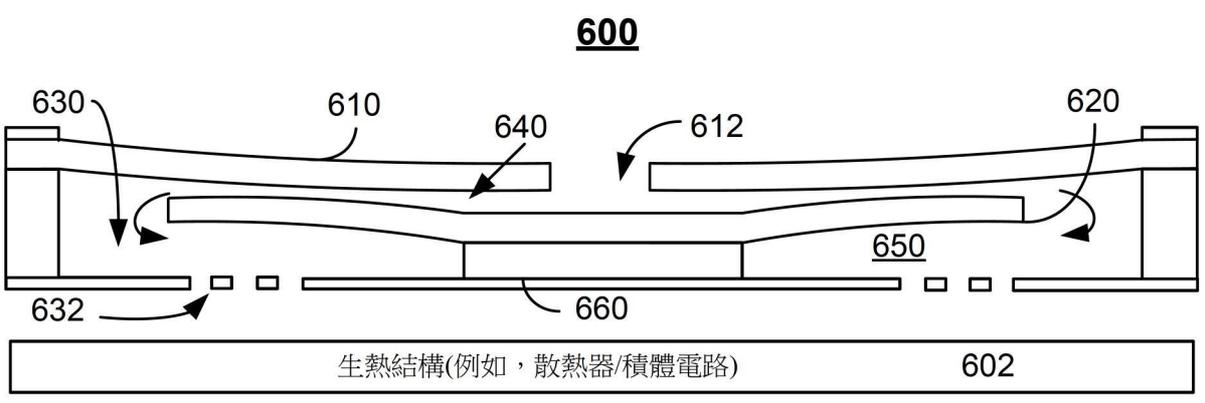
【圖5】



【圖6A】

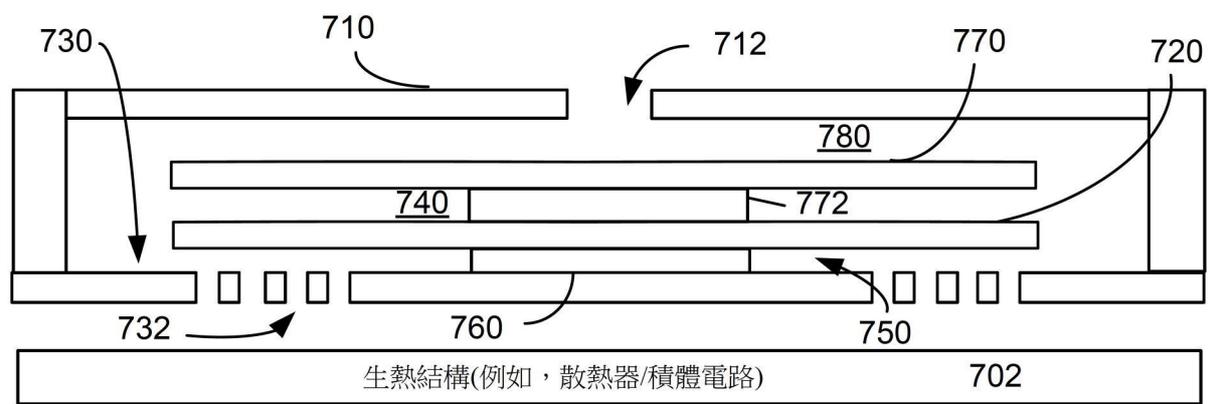


【圖6B】



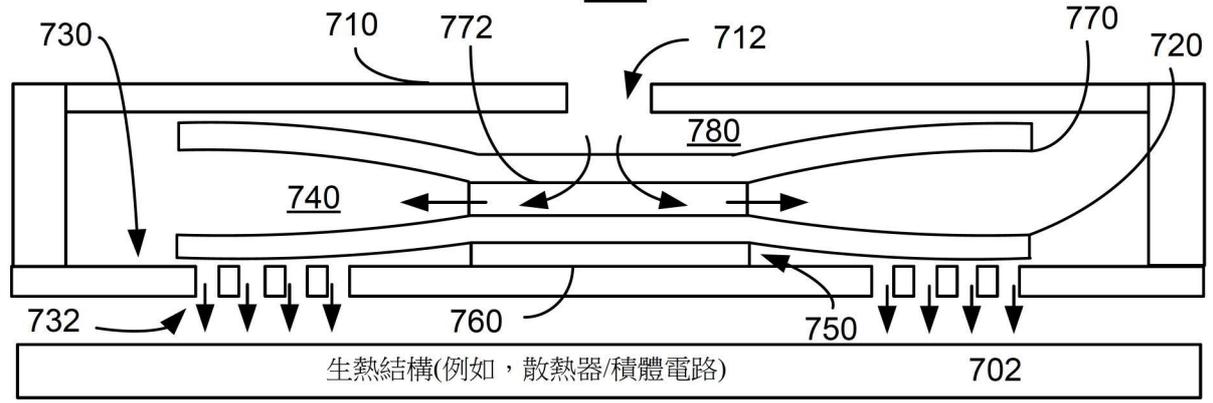
【圖6C】

700



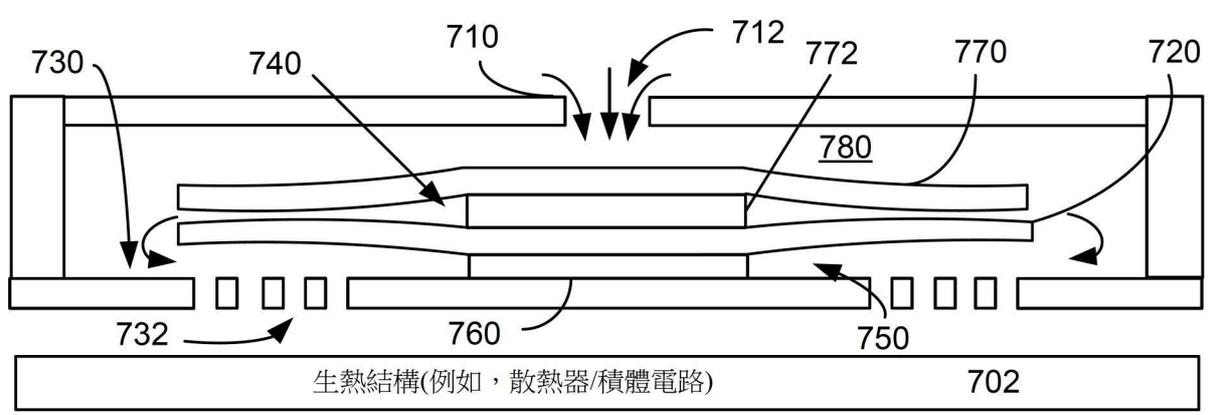
【圖7A】

700

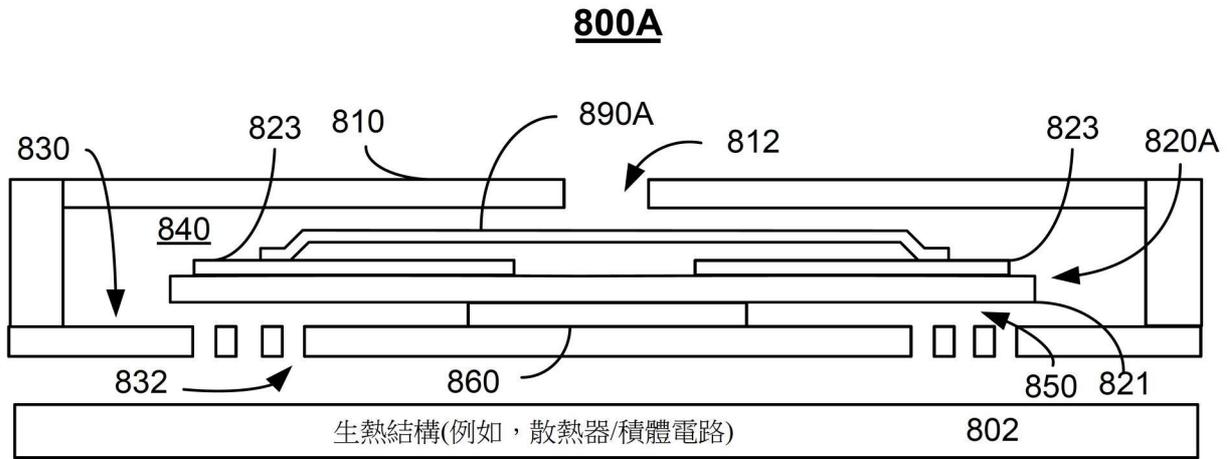


【圖7B】

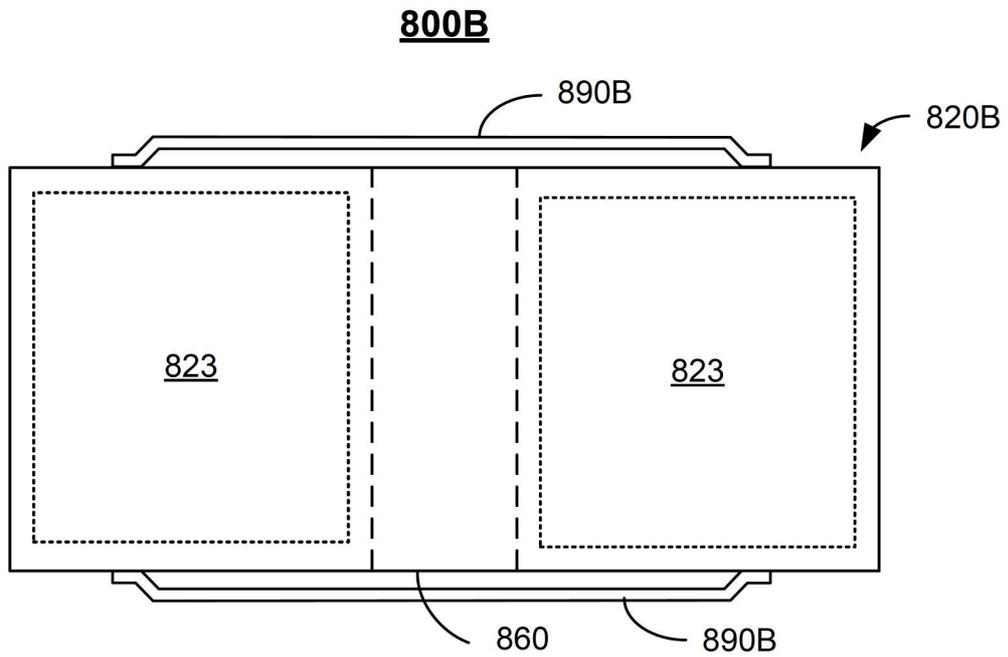
700



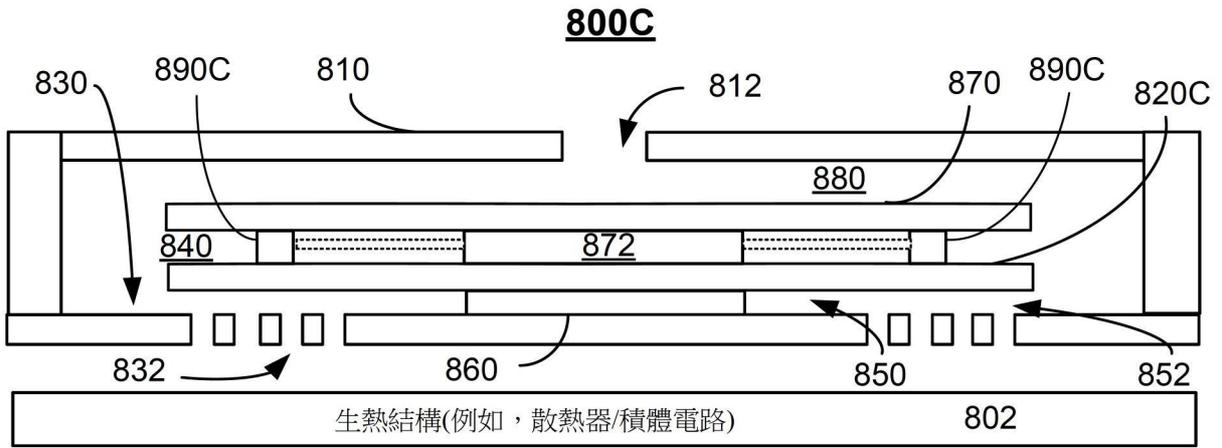
【圖7C】



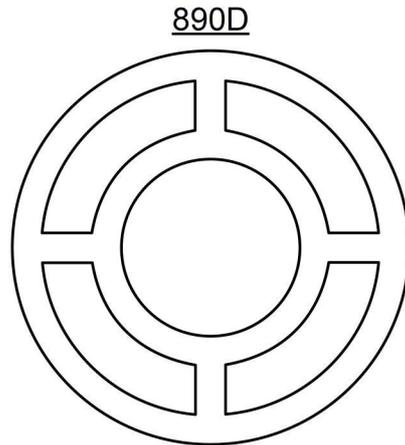
【圖8A】



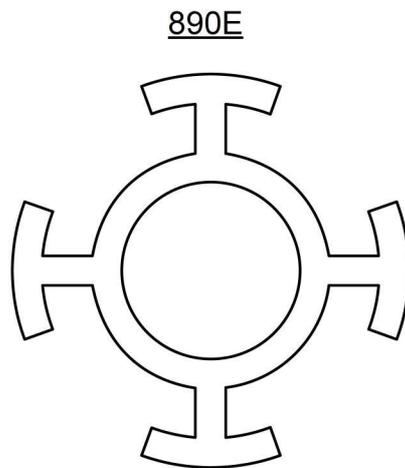
【圖8B】



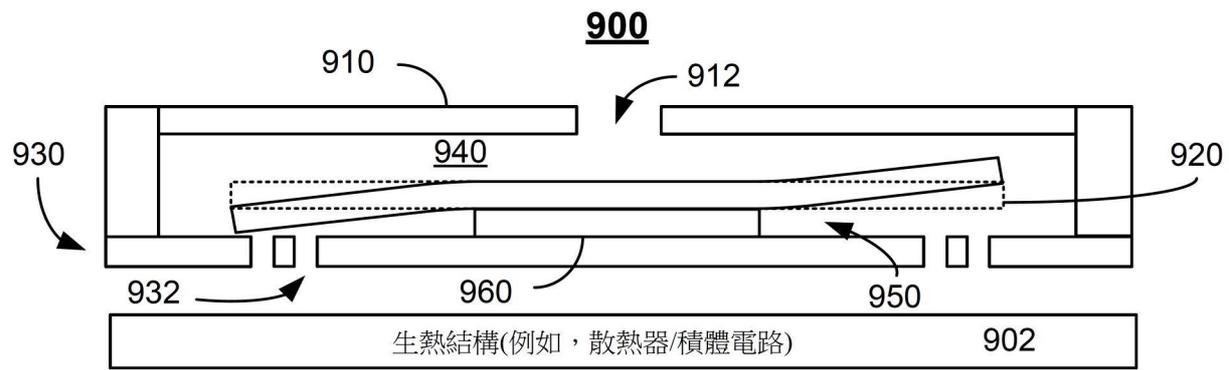
【圖8C】



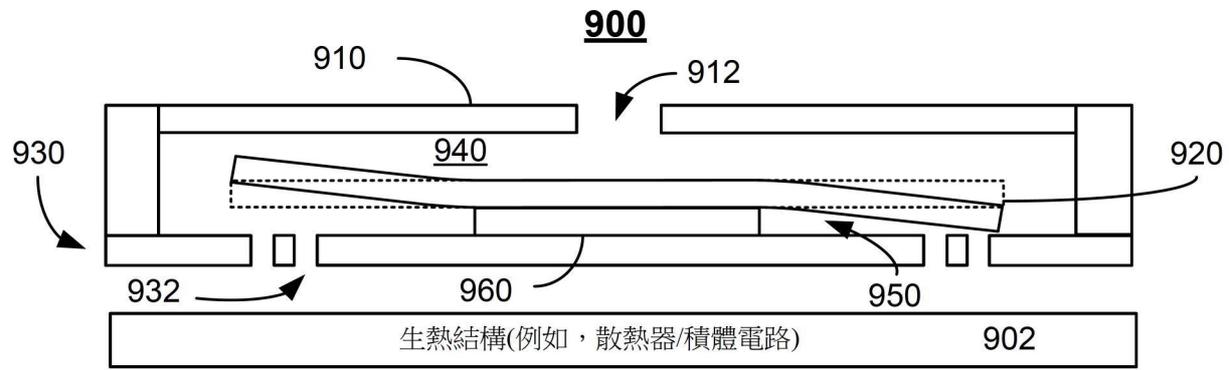
【圖8D】



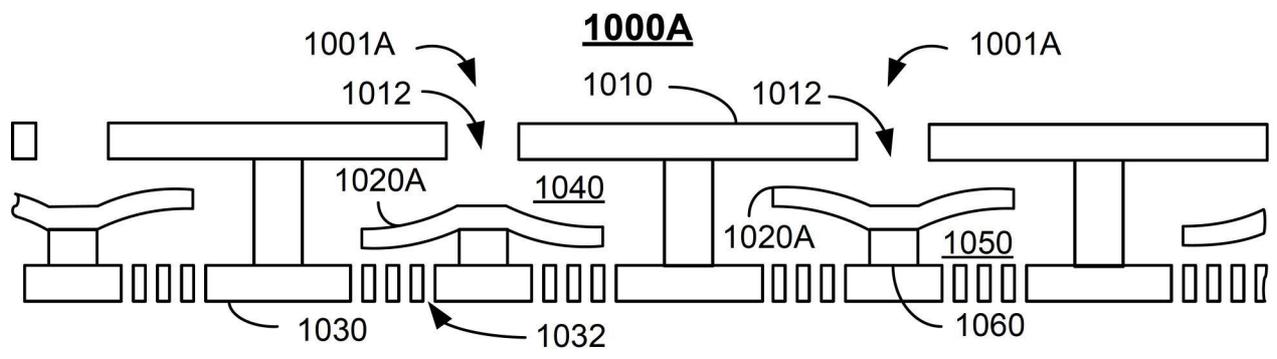
【圖8E】



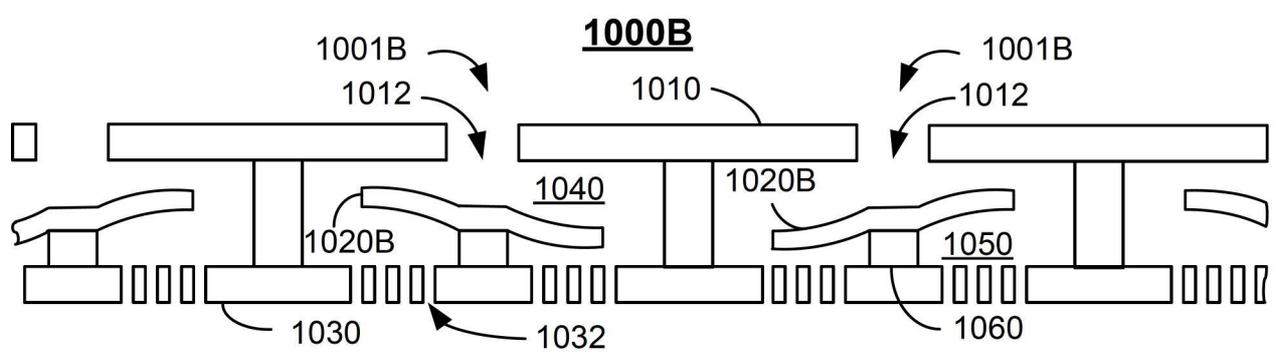
【圖9A】



【圖9B】

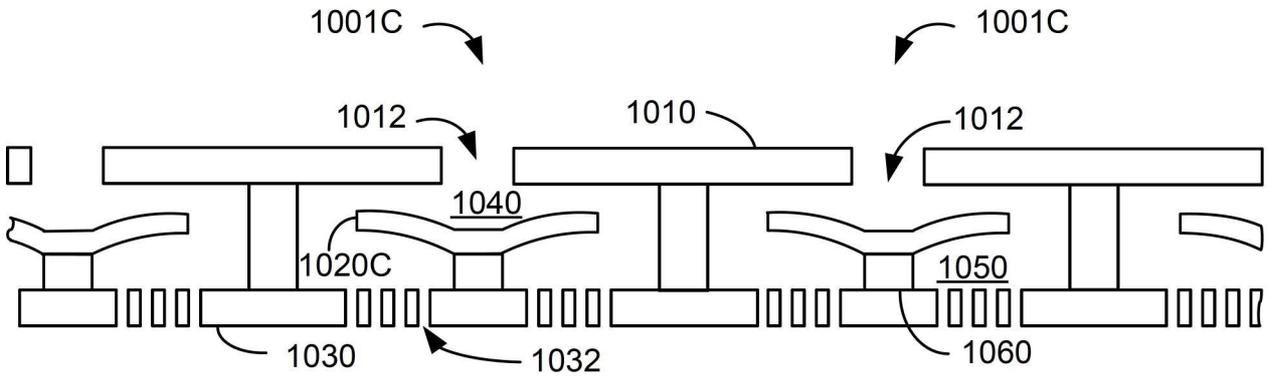


【圖10A】



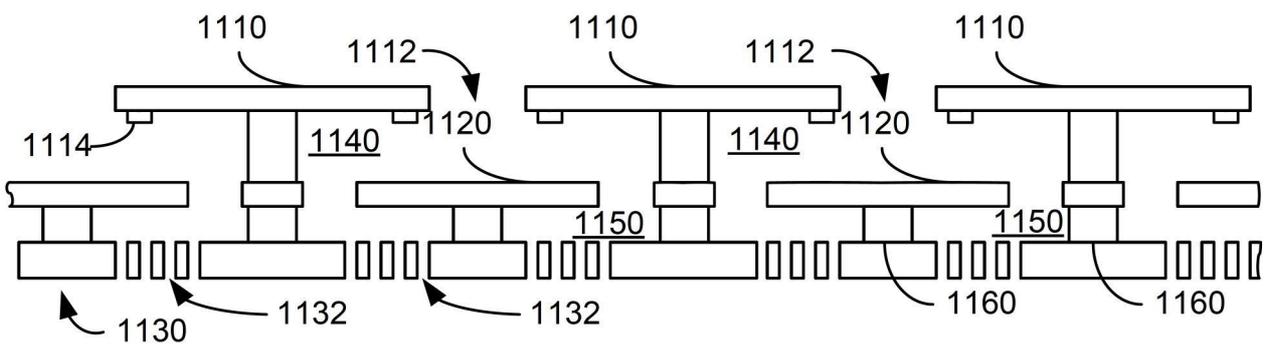
【圖10B】

1000C

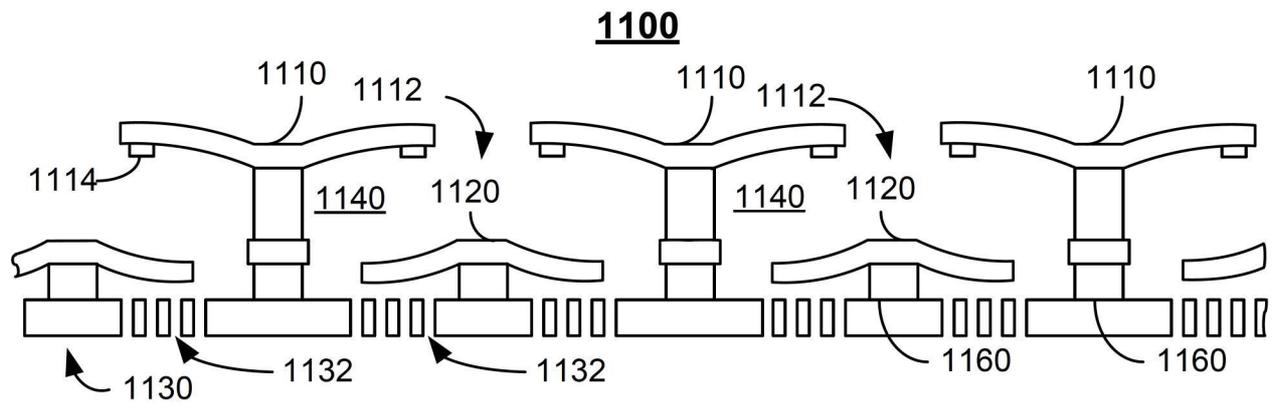


【圖10C】

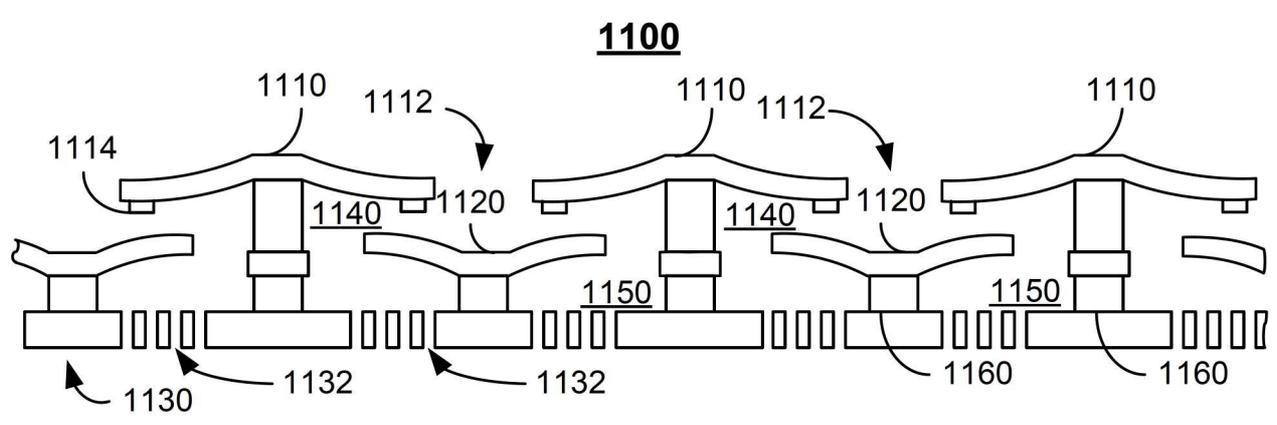
1100



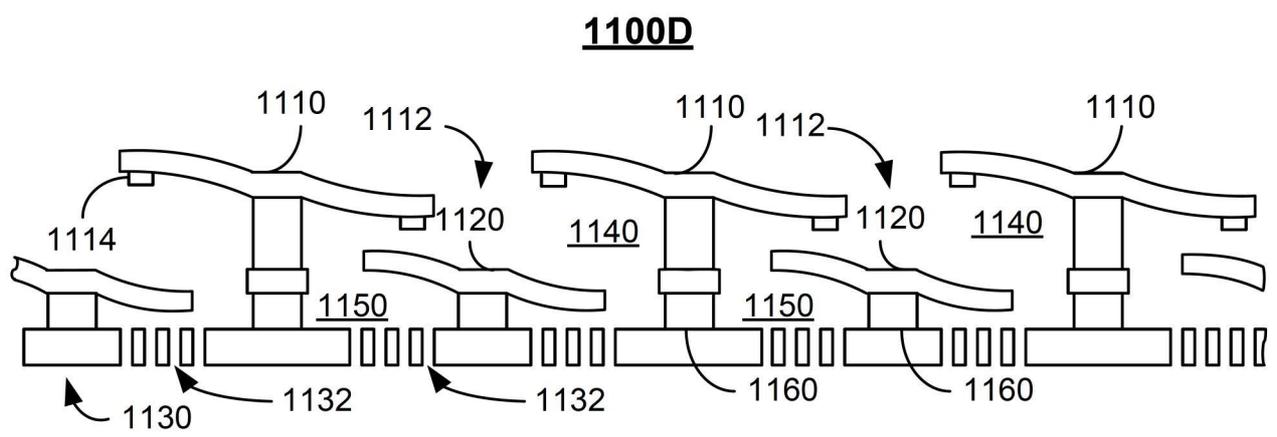
【圖11A】



【圖11B】

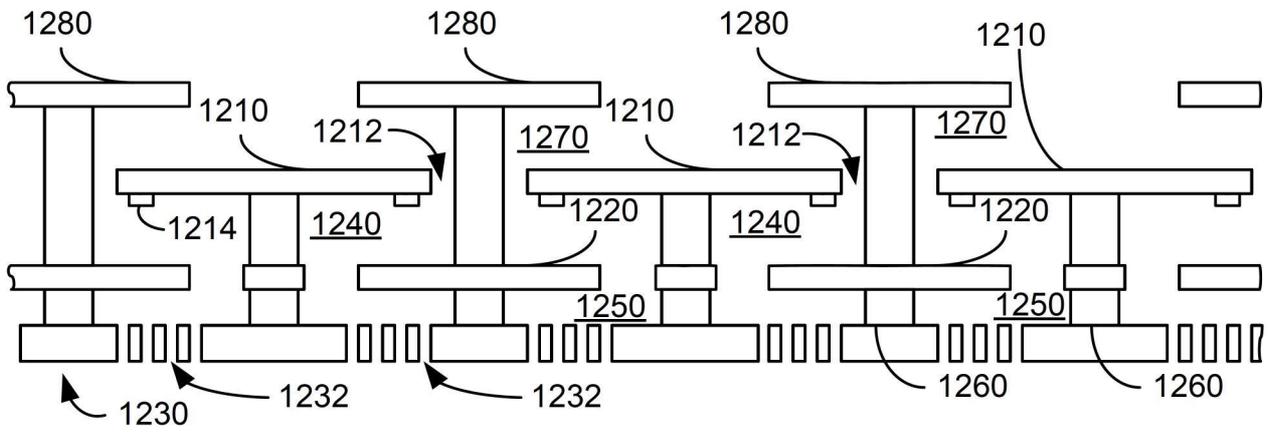


【圖11C】



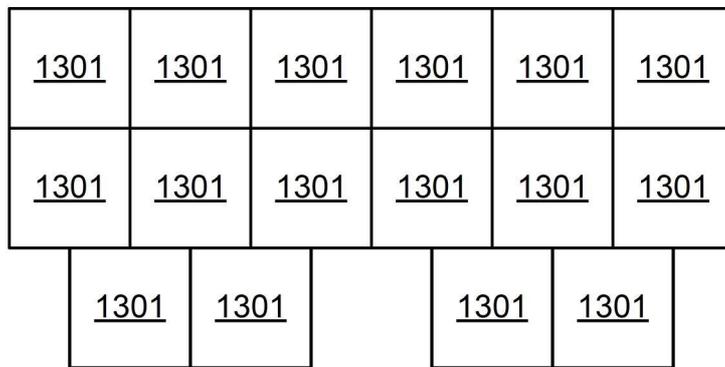
【圖11D】

1200



【圖12】

1300



【圖13】

1400A

電極	<u>1406</u>
壓電體	<u>1404</u>
電極/基板	<u>1402</u>

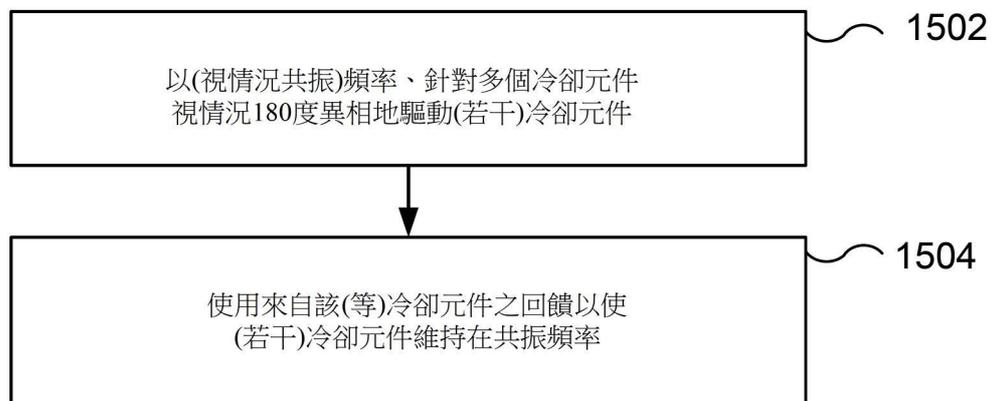
【圖14A】

1400B

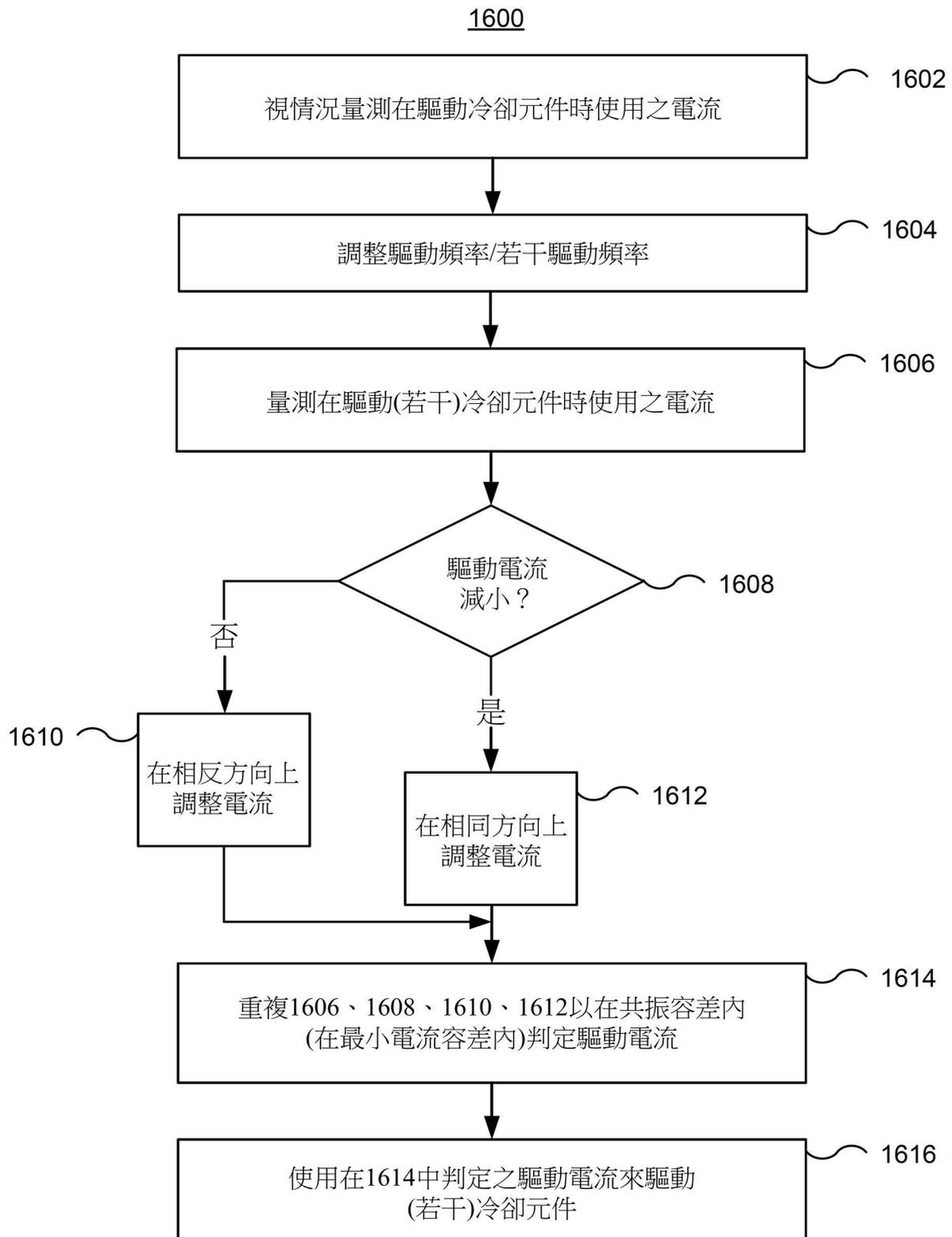


【圖14B】

1500



【圖15】



【圖16】