



(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 I821663 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 11 月 11 日

(21)申請案號：110116489 (22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 05 月 07 日

(51)Int. Cl. : **B81B3/00 (2006.01)** **B81B7/00 (2006.01)**  
**H04R19/00 (2006.01)** **H04R19/02 (2006.01)**  
**H04R19/04 (2006.01)**

(30)優先權：2020/05/08 世界智慧財產權組織 PCT/EP2020/062901

(71)申請人：弗勞恩霍夫爾協會(德國) FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FOERDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. (DE)  
 德國

(72)發明人：梅尼可夫 安頓 MELNIKOV, ANTON (DE)；渥爾 法蘭茲卡 WALL, FRANZISKA (DE)；蒙薩夫古拉卡歐 喬治 M MONSALVE GUARACAO, JORGE MARIO (CO)；凱瑟爾 伯特 KAISER, BERT (DE)；朗加 瑟吉魯 LANGA, SERGIU (MD)

(74)代理人：劉法正；尹重君

(56)參考文獻：

TW	201902812A	US	2016/0090300A1
US	2018/0139543A1	US	2019/0116429A1

審查人員：吳建裕

申請專利範圍項數：60 項 圖式數：18 共 103 頁

## (54)名稱

用於與體積流高效交互作用之 MEMS 及相關方法

## (57)摘要

一種具有一分層結構之 MEMS 包含一空腔，該空腔安置於該分層結構中且藉由該分層結構中之至少一個開口流體耦接至該分層結構之一外部環境。該 MEMS 包含一交互作用結構，該交互作用結構安置於一第一 MEMS 平面中且可沿著一平面方向在該空腔中移動且經組配以與該空腔中之一流體交互作用，其中該交互作用結構之移動係與該流體通過該至少一個開口之移動因果地相關。該 MEMS 進一步包含一主動結構，該主動結構安置於垂直於該平面方向之一第二 MEMS 中，該主動結構機械地耦接至隔離結構且經組配使得該主動結構之一電接點處之一電信號係與該主動結構之一變形因果地相關，其中該主動結構之該變形係與該流體之移動因果地相關。

A MEMS having a layered structure comprises a cavity disposed in the layered structure and fluidically coupled to an external environment of the layered structure through at least one opening in the layered structure. The MEMS comprises an interaction structure disposed in a first MEMS plane and movable in the cavity along a plane direction and configured to interact with a fluid in the cavity, wherein movement of the interaction structure is causally related to movement of the fluid through the at least one opening. The MEMS further comprises an active structure disposed in a second MEMS perpendicular to the plane direction, the active structure mechanically coupled to the isolation structure and configured such that an electrical signal at an electrical contact of the active structure is causally related to a deformation of the active structure, wherein the deformation of the active structure is causally related to movement of the fluid.

指定代表圖：

符號簡單說明：

10:MEMS

12:分層結構

12<sub>1</sub>,12<sub>2</sub>,12<sub>3</sub>:層

14<sub>1</sub>,14<sub>2</sub>:MEMS 平面

16:空腔

18:開口

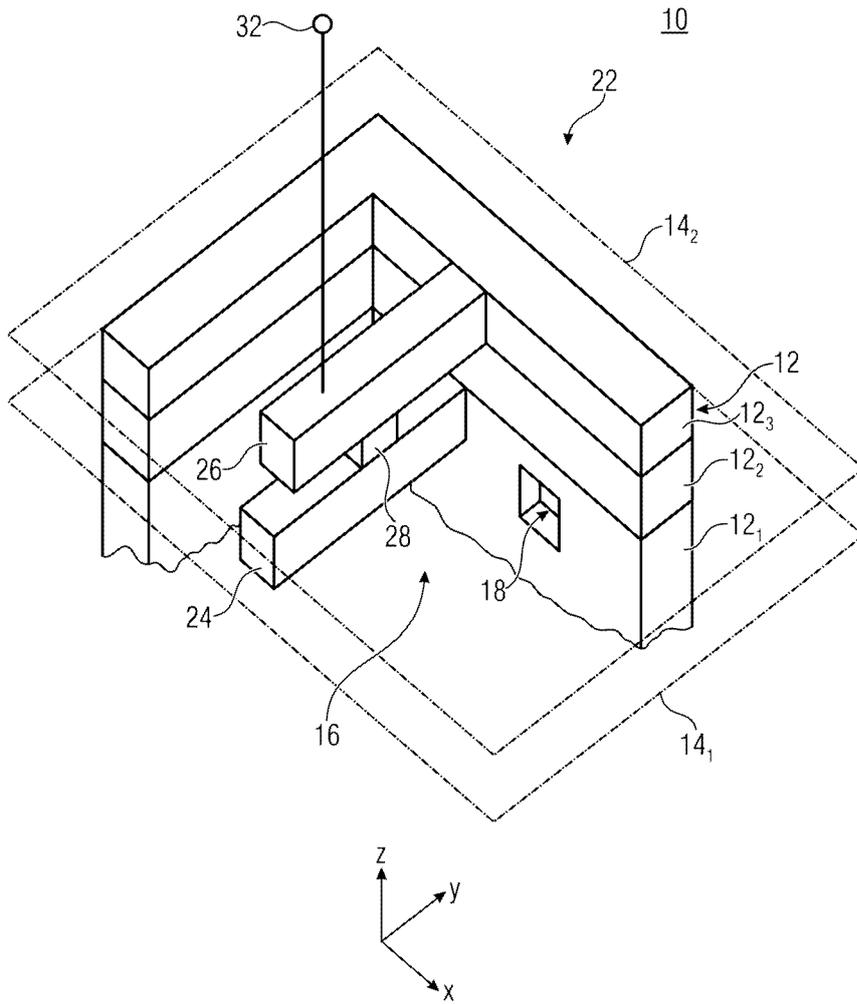
22:外部環境

24:交互作用結構

26:主動結構

28:機械耦接元件

32:電信號或電位



【圖1】



I821663

**【發明摘要】****【中文發明名稱】**

用於與體積流高效交互作用之MEMS及相關方法

**【英文發明名稱】**

MEMS FOR HIGHLY EFFICIENT INTERACTION WITH A VOLUME FLOW AND RELATED METHOD

**【中文】**

一種具有一分層結構之MEMS包含一空腔，該空腔安置於該分層結構中且藉由該分層結構中之至少一個開口流體耦接至該分層結構之一外部環境。該MEMS包含一交互作用結構，該交互作用結構安置於一第一MEMS平面中且可沿著一平面方向在該空腔中移動且經組配以與該空腔中之一流體交互作用，其中該交互作用結構之移動係與該流體通過該至少一個開口之移動因果地相關。該MEMS進一步包含一主動結構，該主動結構安置於垂直於該平面方向之一第二MEMS中，該主動結構機械地耦接至隔離結構且經組配使得該主動結構之一電接點處的一電信號係與該主動結構之一變形因果地相關，其中該主動結構之該變形係與該流體之移動因果地相關。

**【英文】**

A MEMS having a layered structure comprises a cavity disposed in the layered structure and fluidically coupled to an external environment of the layered structure through at least one opening in the layered structure. The MEMS comprises an interaction structure disposed in a first MEMS plane and movable in the cavity along a plane direction and configured to interact with a fluid in the cavity, wherein movement of the interaction structure is causally related to movement of the fluid through the at least one opening. The MEMS further comprises an active structure disposed in a second MEMS perpendicular to the plane direction, the active structure mechanically coupled to the isolation structure and configured such that an electrical signal at an electrical contact of the active structure is causally related to a deformation of the active structure, wherein the deformation of the active structure is causally related to movement of the fluid.

**【指定代表圖】 圖1****【代表圖之符號簡單說明】**

10:MEMS

12:分層結構

12<sub>1</sub>,12<sub>2</sub>,12<sub>3</sub>:層

14<sub>1</sub>,14<sub>2</sub>:MEMS平面

16:空腔

18:開口

22:外部環境

24:交互作用結構

26:主動結構

28:機械耦接元件

32:電信號或電位

**【特徵化學式】**

(無)

## 【發明說明書】

### 【中文發明名稱】

用於與體積流高效交互作用之MEMS及相關方法

### 【英文發明名稱】

MEMS FOR HIGHLY EFFICIENT INTERACTION WITH A VOLUME  
FLOW AND RELATED METHOD

### 【技術領域】

發明領域

【0001】 本發明係關於微機電系統(MEMS)，其中用於與流體交互作用之可移動配置之交互作用結構及主動結構經配置在不同 MEMS 層中，在該主動結構中，電信號係與主動結構之變形因果地相關，又與流體之移動因果地相關。本發明亦係關於 MEMS，其具有包含以電絕緣方式固定在離散區處之第一、第二及第三橫桿的可移動配置之層總成，該等離散區以偏移方式配置於該等橫桿之間。本發明進一步係關於一種用於與流體之體積流交互作用之 MEMS 換能器，諸如 MEMS 揚聲器、MEMS 麥克風或 MEMS 泵。

### 【先前技術】

發明背景

【0002】 奈米級靜電驅動器(NED)之原理描述於 WO 2012/095185 A1 中。NED 為新穎 MEMS 致動器原理(MEMS=微機電系統)。此處，可移動元件係由矽材料形成，其具有至少二個間隔開之電極。電極之長度比電極之厚度大得多且亦比電極之高度大得多，亦即，沿矽材料之深度方向的尺寸。此等桿狀之電極彼此間隔開，且為局部電絕緣的且彼此固定。藉由施加電位，在此等電極之間產生電場，從而在電極之間產生吸引力或排斥力，且因此在電極材料中產生應力。材料藉由嘗試採用可能的低應力狀態而努力使此等應力均勻化，從而導致移動。藉由

電極之某一幾何結構及構形，此移動可以使得電極之長度改變且因此發生可偏轉元件之側向移動的方式受影響。

【0003】 在 JP-H5252760 A 中，展示致動器，其由許多小圓柱形或波形驅動單元組成，該等驅動單元由二個波形及絕緣電極構成。絕緣電極之二端彼此連接，且驅動單元因靜電力而具有用於變形的狹窄間隙。然而，此等致動器之移動經受幾何約束。舉例而言，當靜電力與結構之硬度平衡時，致動器之變形停止。另一缺點為所得致動器為金屬電極材料與聚合物絕緣體之複合物。此使得 CMOS 技術(CMOS=互補金屬氧化物半導體)中之低成本生產係不可能的，此係明顯競爭性缺點。

【0004】 為了將 MEMS 裝置整合至裝置及系統中，需要設計出用於以空間高效方式與流體交互作用之 MEMS，此意謂(例如)獲得對流體移動之高靈敏度及/或可移動大量流體，從而產生較高聲壓。

【0005】 因此，本發明之任務係產生就安裝空間而言係高效的 MEMS。

## 【發明內容】

### 發明概要

【0006】 此任務係藉由獨立專利申請專利範圍之主題來解決。

【0007】 根據第一態樣，應認識到，藉由在第一 MEMS 位準中對與流體交互作用之交互作用結構進行配置且藉由在第二 MEMS 位準中對機械地耦接至交互作用結構之主動結構進行配置，可獲得 MEMS 之高效率，此係由於可主要在各別 MEMS 位準中執行與流體交互作用且產生/處理電信號之各別子任務，使得可在此處集中各別子任務。

【0008】 根據第二態樣，已認識到，藉由使離散區偏移，可獲得可移動層結構藉由經施加電信號或藉由作用的流體之高效偏轉，在該等離散區中，一連串至少三個桿電極彼此電絕緣，使得第一外部電極與同第二外部電極固定在不同

位置處之中心電極電絕緣，第二外部電極與中心電極電絕緣。

【0009】 二個概念可彼此組合，但亦可獨立地實施。

【0010】 根據第一態樣之一實施例，MEMS 包含分層結構。空腔經配置於分層結構中且藉由分層結構中之至少一個開口流體耦接至分層結構之外部環境。交互作用結構經配置於第一 MEMS 平面中且經配置於空腔中，該交互作用結構可沿著平面方向(亦即平面中)移動。交互作用結構經組配以與空腔中之流體交互作用，其中交互作用結構之移動係與流體通過至少一個孔口之移動因果地相關。在垂直於平面方向配置之第二 MEMS 平面中，對主動結構進行配置，該主動結構機械地耦接至交互作用結構且經組配以使得主動結構之電接點處的電信號係與主動結構之變形因果地相關。主動結構之變形又與流體之移動因果地相關。

【0011】 根據第二態樣之實施例，MEMS 包含分層結構及安置於分層結構中之空腔。可移動層總成經提供在空腔中，該可移動層總成包含第一橫桿、第二橫桿及安置於第一橫桿與第二橫桿之間且在離散區處與第一橫桿及第二橫桿電隔離之第三橫桿。可移動層總成經調適以回應於第一桿與第三桿之間的電位或回應於第二桿與第三桿之間的電位而沿著基底平面中之移動方向，亦即在平面方向上，移動。一方面用於固定第一桿及第三桿且另一方面用於固定第二桿及第三桿之離散區沿著可移動層總成之軸向路徑配置成彼此偏移。

【0012】 在相依專利請求項中定義其他實施例。

### 【圖式簡單說明】

【0013】 在下文中參考隨附圖式來解釋本發明之較佳實施例。展示：

圖 1 根據第一態樣之實施例實例之 MEMS 的示意性透視圖；

圖 2 根據第一態樣之實施例實例之 MEMS 的示意性透視圖；

圖 3a 根據第一態樣之實施例實例之 MEMS 的主動結構之一部分的示意性

俯視圖；

圖 3b 根據第一態樣之實施例實例的主動結構之一部分的示意圖，其中另外提供絕緣層；

圖 3c 根據另一實施例實例之主動結構之一部分之示意性俯視圖，其繼續圖 3a 之設計；

圖 3d 根據第一態樣之實施例實例的主動結構之一部分的示意性俯視圖，其中絕緣層之形狀適於電極形狀；

圖 3e 根據第一態樣之實施例實例的主動結構之一部分的掃描電子顯微照片及示意性俯視圖；

圖 4a 根據第一態樣之實施例實例的交互作用結構之示意性俯視圖；

圖 4b 來自圖 4a 之交互作用結構之示意性透視圖；

圖 5a 根據第一態樣之實施例實例之 MEMS 的另一主動結構之示意性俯視圖；

圖 5b 根據第一態樣之實施例實例的可移動層配置之示意性俯視圖，諸如可用於圖 5a 之 MEMS 中；

圖 6a 根據第一態樣之實施例實例的另一 MEMS 之一部分的示意性透視圖；

圖 6b 圖 6a 之區段之示意性透視圖；

圖 7a 根據第一態樣之實施例實例的圖 2 之 MEMS 之交互作用結構的示意性俯視圖；

圖 7b 來自圖 7a 之沿著正 y 方向偏轉之交互作用結構的示意圖；

圖 7c 來自圖 7a 之相較於圖 7b 沿著相對負 y 方向偏轉的交互作用結構之示意圖；

圖 7d 至圖 7f 根據第一態樣之實施例實例的圖 7a 之交互作用結構的示意圖，其另外展示空腔之開口之群組；

圖 7g 根據第一態樣之實施例實例的開口之替代實施例的示意圖；

圖 8a 至圖 8c 在主動結構之平面中且根據第一態樣之實施例實例的圖 2 之 MEMS 的示意性透視圖；

圖 9a 根據第一態樣之實施例實例的另一交互作用結構之示意性俯視圖；

圖 9b 圖 9a 中之交互作用結構之示意性透視圖；

圖 9c 圖 9a 及圖 9b 之區段之示意性透視圖；

圖 9d 圖 9a 中之交互作用結構之一部分的較詳細示意圖；

圖 10a 根據第一態樣之實施例實例的包含部分致動器之 MEMS 的主動結構之例示性俯視圖；

圖 10b 圖 10a 之區段之俯視圖；

圖 10c 圖 10b 中之一部分之示意圖，其中致動器部分之致動使元件在相反方向上變形；

圖 11 根據第一態樣之實施例實例的圖 10a 至圖 10c 之 MEMS 之電氣耦接的簡化俯視圖；

圖 12a 根據第一態樣之實施例實例的處於第一狀態之主動結構之一部分的示意性俯視圖；

圖 12b 與圖 12a 互補的主動結構之狀態；

圖 12c 至圖 12d MEMS 之主動結構的實施例之示意圖，其中面向固定電極之梳狀電極彼此沿著 y 方向在空間上分離；

圖 12e 圖 12a 至圖 12b 之 MEMS 之示意性俯視圖，其展示在前景中之第一 MEMS 平面及在背景中且部分地由第一 MEMS 平面遮擋之第二 MEMS 平面；

圖 12f 根據實施例之 MEMS 之示意性側剖視圖，其中主動結構及/或交互作用結構對稱地成鏡像；

圖 12g 根據實施例實例之 MEMS 之部分的示意性俯視圖，其中內部可移動

梳狀電極經受交變電位且外部梳狀電極在梳狀電極結構中經受不同靜態電位；

圖 12h 圖 12g 之 MEMS 之示意性側剖視圖；

圖 13a 根據第二態樣之實施例實例之可移動層配置的例示性俯視圖；

圖 13b 根據第二態樣之實施例實例之可移動層總成的示意性俯視圖，其中多個 N 個離散區沿著平行於方向之軸向路徑配置在可移動層總成之橫桿之間；

圖 14a 至圖 14f 根據第二態樣之實施例的主動可移動層配置之不同實施例的示意圖；

圖 15：根據第二態樣之實施例之包含至少第四橫桿的可移動層總成之示意圖；

圖 16 根據一個實施例之可移動層總成之示意性俯視圖，該可移動層總成包含根據第二態樣之一個實施例的在可移動層總成之一個端部處的離散固定；

圖 17 根據第二態樣之另一實施例實例的可移動層配置之示意圖；且

圖 18a 至圖 18b 根據第二態樣之實施例之可移動層配置的示意圖，其中橫桿經配置成相對於彼此在截面上彎曲。

## 【實施方式】

較佳實施例之詳細說明

【0014】 在下文參考圖式詳細地解釋本發明之實施例之前，應指出，具有相同功能或以相同方式起作用之相同元件、物件及/或結構在不同圖中具備相同參考符號，使得展示於不同實施例實例中之此等元件的描述為可互換的或可應用於彼此。

【0015】 下文所描述之實施例之實例在多種細節之上下文中予以描述。然而，實施例亦可在無此等詳細特徵之情況下實施。此外，為清楚起見，使用方塊圖作為詳細表示之替代物來描述實施例。此外，個別實施例之細節及/或特徵可毫不費力地彼此組合，只要其未相反地明確地描述即可。

【0016】 以下實施例係關於微機電系統(MEMS)。本文中所描述之一些 MEMS 可為多層結構。此 MEMS 可例如藉由半導體材料之晶圓級處理而製造，該晶圓級處理可包括多個晶圓之組合或層之晶圓級沈積。本文中所描述之實施例中的一些解決 MEMS 位準。MEMS 平面應理解為未必為二維或未彎曲之平面，其實質上平行於經處理晶圓(諸如平行於晶圓或隨後的 MEMS 之主要側面)而延伸。平面方向可被理解為此平面內之方向，其亦由英語術語「平面中」指代。垂直於此(亦即垂直於平面方向)之方向可經簡化為厚度方向，其中術語「厚度」在此方向在空間中之定向意義上並不具有任何限制。應理解，本文中所使用之術語，諸如長度、寬度、高度、頂部、底部、左側、右側及其類似物，僅用於說明本文中所描述的實施例，此係因為其在空間中之位置可任意改變。

【0017】 圖 1 展示根據第一態樣之實施例實例之 MEMS 10 的示意性透視圖。MEMS 10 包含具有二個或多於二個層  $12_1$ 、 $12_2$  及/或  $12_3$  之分層結構 12，其中層之數目可為任何數目且至少為 1。因此，層之例示性數目為 1、2、3、至少 4、至少 5、至少 8 或更大。分層結構之層可包含不同材料及/或材料組合，尤其與半導體製程相容之層，諸如矽、砷化鎵或其類似者，其中可至少局部地實施摻雜劑及/或可配置額外材料，諸如類似於金屬之導電材料。替代地或另外，電絕緣材料亦可形成層之至少部分，該等電絕緣材料諸如氮化物及/或氧化物材料。

【0018】 實施例係關於在(例如)平行於  $x/y$  平面配置的不同 MEMS 平面  $14_1$  及  $14_2$  中提供不同元件。平面  $14_1$  及  $14_2$  以及  $x/y$  平面可平行於晶圓主要側面而配置，且因此界定或描述平面中平面。 $x$  方向、 $y$  方向及其組合可理解為平面方向。垂直於此之方向(例如  $z$ )可被稱作厚度方向。

【0019】 平面  $14_1$  及  $14_2$  可經配置為沿著  $z$  方向彼此偏移，且出於此目的，平面  $14_1$  及  $14_2$  經配置於其中分層結構 12 具有共同層  $12_1$ 、 $12_2$  或  $12_3$  之區域中抑或不同層  $12_1$  及  $12_3$  中係不相關的。雖然藉由具有可能不同材料之不同層  $12_1$  及

12<sub>3</sub>對不同元件進行配置允許簡單的製造製程，但亦有可能在由相同材料或層製成之不同平面 14<sub>1</sub> 及 14<sub>2</sub> 中形成不同結構。

【0020】在圖 1 中未展示亦可限定經配置於分層結構 12 中之空腔 16 的底部層及蓋層。實情為，開口 18 經展示於分層結構 12 中，該開口將分層結構 12 之外部環境 22 與空腔 16 流體耦接，亦即，流體流自外部環境 22 至空腔 16 中及/或自空腔 16 至外部環境 22 係可能的。諸如閥門或過濾器之額外結構可設置於開口 18 中。

【0021】舉例而言，亦可藉由省略及/或打開未顯示之蓋晶圓/蓋層及/或底部晶圓/底部層來全部或部分地實施藉由開口 18 之流體耦接，此意謂開口 18 可位於側壁結構中，但亦可位於別處。實施例進一步提供多個開口，該等開口可位於分層結構 12 之不同位置處，尤其位於側壁結構及/或頂部及/或底部層中。側壁結構可理解為平面中之空腔之橫向邊界。

【0022】交互作用結構 24 配置於 MEMS 平面 14<sub>1</sub> 中。交互作用結構 24 經組配以與安置於空腔 16 中之流體(諸如，氣體或液體，詳言之，空氣)交互作用。交互作用結構 24 之移動係與流體穿過開口 18 之移動因果地相關。亦即，交互作用結構 24 之移動可使流體流動穿過開口 18，及/或流體流動穿過開口 18 可諸如藉由使流體與交互作用結構 24 接觸或交互作用而引起交互作用結構 24 之移動。一些實施例使得能夠將 MEMS 操作或實施為感測器，因為流體之移動導致交互作用結構 24 之移動。一些實施例藉由將交互作用結構 24 之主動產生的移動傳輸至流體(諸如可用於揚聲器)而使得能夠將 MEMS 操作或實施為致動器。

【0023】主動結構 26 經配置於 MEMS 平面 14<sub>2</sub> 中。主動結構 26 機械地耦接至交互作用結構 24，亦即藉由機械連接彼此附接。出於此目的，可提供機械耦接元件 28，其至少部分地在交互作用結構 24 與主動結構 26 之間提供機械連接。機械耦接元件 28 可提供機械地剛性連接，此應理解為意謂在機械斷裂強度

意義上之某一彈性可為合乎需要的。然而，藉助於機械耦接元件 28，可避免過度彈性，其可導致交互作用結構 24 與主動結構 26 之間的非所需的相對偏轉，其可意謂 MEMS 10 之主動操作中的力損失及/或 MEMS 10 之感測操作中的靈敏度損失。

【0024】主動結構 26 經組配以使得主動結構 26 之電接點處的電信號或電位 32 係與主動結構 26 之變形因果地相關。主動結構 26 之變形又與流體之移動因果地相關，例如藉由交互作用結構 24 由主動結構 24 驅動以移動流體或藉由流體移動交互作用結構 24，此可由主動結構 26 偵測到。施加電信號 32 可例如引起驅動主動結構 26 且因此驅動交互作用結構 24。分接或量測電信號 32 (其可包括施加參考電位)可用於偵測交互作用結構之移動。

【0025】舉例而言，在 MEMS 10 之感測操作中，流體可使交互作用結構 24 偏轉。此偏轉可藉助於機械耦接元件 28 而傳輸至主動結構 26，使得該主動結構亦經偏轉。藉助於信號 32，例如藉助於特殊應用積體電路(ASIC)、處理器或微控制器或其他合適的裝置，主動結構 26 之偏轉可例如為可偵測及/或可評估的。

【0026】舉例而言，在 MEMS 10 之致動器模式中，信號 32 可使主動結構 26 偏轉，其中此偏轉藉助於機械耦接元件 28 經傳達至交互作用結構 24 以使流體移動。

【0027】交互作用結構 24 及主動結構 26 位於不同 MEMS 水平面  $14_1$  及  $14_2$  中，尤其位於彼此不同的水平面中。實施例規定：避免交互作用結構 24 延伸至主動結構 26 之平面  $14_2$  中且反之亦然，使得在交互作用結構 24 之功能平面與主動結構 26 之間提供功能性分離。此允許二個功能性之空間分離，亦即一方面與流體之交互作用及另一方面主動結構之配置。此空間分離使得有可能以空間極有效之方式設計二個結構且因此產生整體空間有效之 MEMS。

【0028】舉例而言但並非必然地，主動結構 26、機械耦接元件 28 及/或交互作用結構 24 完全或部分地由相同各別層  $12_1$ 、 $12_2$  及/或  $12_3$  之環繞結構的材料形成。舉例而言，為了將交互作用結構 24 與主動結構 26 電隔離，可提供包含電絕緣材料之中間層  $12_2$ ，該等電絕緣材料例如氧化矽及/或氮化矽。此使得有可能亦由對應的材料形成機械耦接元件 28。然而，應注意，機械耦接元件 28 可包含經設計以將交互作用結構 24 機械地耦接至主動結構 26 之任何材料以及任何幾何形狀。

【0029】交互作用結構 24 可懸置及/或固定於 MEMS 10 中或藉助於機械耦接元件 28 耦接至主動結構 26。任擇地，可提供諸如彈簧元件或其類似者之其他支撐元件以支撐交互作用結構 24 之移動。雖然機械耦接元件 28 可使得能夠在交互作用結構 24 與主動結構 26 之間進行機械耦接，但任擇的額外支撐元件可使得交互作用結構 24 能夠抵靠環繞基底支撐。

【0030】儘管展示 MEMS 10 使得主動結構 26 及交互作用結構 24 具有沿著 z 方向之大致相同尺寸，但基礎概念允許將交互作用結構 24 設計成沿著 z 方向不相等地大於主動結構 26。因此，可實現與流體之交互作用主要地(亦即至少 90%、至少 95%或至少 98%或甚至完全地)藉由交互作用結構 24，而功能上，主動結構 26 經設計以產生及/或感測交互作用結構 24 之移動且在小程度上或可能完全不參與與流體之交互作用。交互作用結構 24 及主動結構 26 之層厚度可適於彼此及/或視需要適於預期用途。舉例而言，但並非必然地，交互作用結構 24 之層厚度可大於主動結構 26 之層厚度。在例示性實施例中，垂直於平面方向 x 或 y 之交互作用結構 24 之層厚度為主動結構 26 之層厚度的至少 1.1 倍、至少 1.5 倍、至少 2 倍、至少 5 倍、至少 10 倍、至少 15 倍或至少 20 倍。此等為較佳實例。根據此等態樣之其他 MEMS 可具有層厚度之其他比率。

【0031】以下實施例係結合 MEMS 之主動設計來描述，該主動設計使得

MEMS 之致動器操作實施為(例如)揚聲器。然而，實施例不限於此，且亦指使用各別 MEMS 作為感測器，其可與致動器設計組合或替代。

【0032】 在對應的基於致動器之操作中，主動結構形成為包括經組配以在將電信號 32 施加至端子之後引起主動結構 26 之變形的致動器結構，從而使得移動交互作用結構 24 且移動流體。

【0033】 圖 2 展示根據一實施例之 MEMS 20 之示意性透視圖，其中主動結構 26 經配置於層 12<sub>3</sub> 中，且交互作用結構 24 經配置於分層結構 12 之層堆疊之鄰近層 12<sub>2</sub> 中，該分層結構進一步包含底部層 12<sub>1</sub> 及頂部層 12<sub>4</sub>。開口 18<sub>1</sub> 至 18<sub>6</sub> 可安置於底部層 12<sub>1</sub> 中。替代地或另外，一或多個孔口 18<sub>7</sub> 至 18<sub>17</sub> 可安置於蓋層 12<sub>4</sub> 中。

【0034】 可藉助於耦接組件元件 28a 及 28b (諸如彼此牢固地機械連接之交互作用結構 24 及/或主動結構 26 中之相對剛性的局部區)來實現主動結構 26 與交互作用結構 24 之間的機械耦接。交互作用結構 24 之部分可相對於耦接組件 28a 之面向主動結構 26 之表面在負 z 方向上縮回，及/或主動結構 26 之部分可相對於耦接組件 28b 或其面向交互作用結構 24 之表面沿著正 z 方向縮回，使得可在交互作用結構 24 及主動結構 26 之對應的區之間產生距離或間隙 34，從而允許交互作用結構 24 及主動結構 26 之個別部分相對於彼此移動。替代地或另外，額外元件亦可配置於耦接部分元件 28a 與 28b 之間以獲得間隙 34。舉例而言，雖然主動結構 26 之部分可為可移動或可變形的，但交互作用結構 24 可形成為相對剛性或不可移動的。在主動結構 26 之偏轉或變形後，主動結構 26 之可變形部分與交互作用結構 24 之元件之間的對應相對移動可藉由提供間隙 34 而增強。間隙 34 可為空腔，但亦可例如藉由諸如分離層、滑動層或其類似者之機械結構來填充。此層可被流體地至少部分地密封，藉此例如移動空間可經提供以用於耦接組件片段 28a 及/或 28b 之移動。

【0035】亦即，耦接元件 28 可機械地牢固地將主動結構 26 連接至交互作用結構 24 且調整主動結構與交互作用結構之間的距離。該距離為或該間隙沿著 z 量測為至少 0.05  $\mu\text{m}$  且至多 20  $\mu\text{m}$ ，至少 0.3  $\mu\text{m}$  且至多 10  $\mu\text{m}$  或至少 0.8  $\mu\text{m}$  且至多 1.5  $\mu\text{m}$ ，較佳地 1  $\mu\text{m}$ 。電絕緣材料可經配置在間隙之區中，此意謂耦接元件 28 可至少在其區中包含電絕緣材料。耦接元件之機械硬度可等於或小於主動結構 26 及/或電阻器結構 24 沿著平面方向之機械硬度。

【0036】舉例而言，儘管 MEMS 20 可提供自底部層 12<sub>i</sub> 至頂部層 12<sub>4</sub> 之流體流，或反之亦然，但在在頂部層 12<sub>4</sub> 中無開口之 MEMS 20 的實施例亦可免除藉由間隙 34 的流體流。其他實施例將蓋罩層 124 中之開口與例如延行穿過主動結構 26 之流體通道連接。

【0037】可沿著一或多個方向藉由主動結構 26 移動交互作用結構 24。舉例而言，藉由信號 32 之致動可用於使主動結構 26 之一部分 26a 或 26b 擴展或收縮。當信號 32 經移除或返回至參考電位時，主動結構 26 及/或額外元件之材料之機械硬度可用於再次移回主動結構 26 且因此移回交互作用結構 24。此外，亦有可能藉助於第二電信號來支援或產生此相對移動，使得例如部分 26a 及部分 26b 中之一者之壓縮及另一部分 26b 或 26a 沿著正或負 y 方向之擴展分別交替地發生。舉例而言，在第一時間間隔中，部分 26a 之壓縮可引起機械耦接元件 28b 在負 y 方向上之移動，且在隨後的時間間隔中，主動結構之部分 26b 之壓縮可引起耦接組件元件 28b 在正 y 方向上之移動。

【0038】在圖 2 中，MEMS 20 具有主動結構 26，使得提供二個相對安置之致動裝置 26a 及 26b，該等致動裝置經配置以基於第一致動信號沿著致動方向(例如 -y)提供移動，且基於另一致動信號提供與第一致動方向相反之互補移動(例如 +y)。此可用於產生沿軸線之一種來回移動。其他實施例提供交互作用結構 24 之多軸移動，其中例如，可相對於彼此以並非 0° 及/或並非 180° 之角度來旋轉主動

結構 26 之不同或額外部分。部分 26a 及 26b 可形成為各別部分致動器或致動裝置，且可例如經由類似於或等於信號 32 之相關聯的致動器信號而經控制。

【0039】 交互作用結構 24 可具有經提供以用於與流體交互作用之一或多個表面或結構。在較佳的組配中，交互作用結構 24 具有多個實質上平行的板結構或鰭型結構 36。

【0040】 任擇地，可在鄰近的移動鰭型結構 36 之間提供元件以將空腔 16 劃分成子空腔。此等較佳剛性元件或鰭片 38 可與環繞基底成對或組合地界定分層結構 12 之空腔的各別子空腔。交互作用結構之結構元件中之至少一者(在下文中被稱作鰭片，其具有任何幾何形狀，但較佳地為低質量剛性組配)經配置於子空腔中之至少一者中。各別可移動鰭片 36 可因此經配置以在子空腔中來回移動。可藉由機械地將可移動鰭片 36 彼此耦接，例如藉助於連接元件 42，而可使若干或所有可移動鰭片 36 之接合移動為可能的，使得主動結構 26 之移動經由此傳輸至可移動鰭片 36，該連接元件將可移動鰭片 36 機械地彼此連接且可連接至耦接組件元件 28a。

【0041】 一或多個懸架 44 可將連接元件 42 及/或移動鰭片 36 或交互作用結構 24 連接至環繞基底，諸如層 12<sub>2</sub>。剛性鰭片 38 亦可連接至此或另一層中之基底。

【0042】 換言之，含有交互作用結構 24 之被動元件之平面可用於在高效性下產生機械效應。可藉由層 12<sub>2</sub> 之增加的填充密度及層高度或層厚度來改良有效性，該層獨立於主動層。省去結構層 12<sub>2</sub> 中之主動元件至少關於所需晶片表面而降低空間要求，且允許不同層之不同且經調適製造製程。有可能將結構層 12<sub>2</sub> 之被動元件設計為彈性地懸置或替代地非懸置自由電阻性元件 42。替代地，例如用於聲波產生之若干彈性橫桿或其他結構可位於結構平面 12<sub>2</sub> 中。

【0043】 所描述的功能位準之劃分係尤其有利，此係因為例如為了產生強

力或高敏感度，可需要大的主動區域以及電極或主動結構 26 的其他主動元件之間的小間距，例如，大的縱橫比。在製造製程中，可限制此縱橫比，亦即，沿著 z 方向之具有在 x/y 上之所需間距的厚度。同時，大的交互作用區域對於與流體之交互作用可為合乎需要的，但未必按主動結構所需那樣密集地填充。換言之，製造製程存在限制性。一個可能的限制為製造製程。為了允許充分強的致動力，目標為實現經典 NED 之較小電極距離。小電極距離在較大致動器厚度(其取代足夠流體)之情況下或僅在高及可能不合理支出之情況下不再可行。此導致電極之必需高度與必需電極間距之間的矛盾。

【0044】 主動結構與交互作用結構 24 之解除耦接及交互作用結構 24 中之小距離的可能不存在或不太關鍵要求使得有可能維持主動結構 26 中之縱橫比，此係由於沿著 z 之小延伸對於所需力係足夠的。對於流體作用，可針對交互作用結構 24 選擇沿 z 之較高延伸，其可能不成問題或不太成問題，因為個別結構之間的距離在此處可更大。

【0045】 圖 3a 展示主動結構 26 之一部分之示意性俯視圖。主動結構 26 可包含並排配置之多個電極元件 46<sub>1</sub> 至 46<sub>6</sub>，其中電極元件之總數目可大於 2、大於 4、大於 6、大於 8、大於 10、或大於 20、大於 30、大於 50，或更高。電極可形成為板狀結構，其在可能的理論參考狀態下大致平行於彼此，使得電極之主要側面向彼此。主要側面應理解為與連接主要側面之二個次要側面相比具有相對較大表面面積的側面。在一些實施例中，例如，電極可自此參考狀態向前移動，如圖 3a 中所展示。

【0046】 鄰近電極對(諸如 48<sub>1</sub> 及 48<sub>2</sub>，48<sub>2</sub> 及 48<sub>3</sub>，或 48<sub>3</sub> 及 48<sub>4</sub>)之主要側面亦可配置成面向彼此。各別對電極 48<sub>1</sub> 至 48<sub>4</sub> 可經組配以使得當例如藉助於信號 32 施加電位時，至少局部地縮減電極之間的距離  $h_{\text{gap}}$ ，以提供致動器衝程之至少一部分。藉由串聯地串聯連接多個對，可獲得主動結構 26 之較高總衝程。

【0047】在電極之中心區 52<sub>1</sub> 至 52<sub>8</sub> 中，各別對電極可連接至鄰近一對電極或連接至環繞基底或支撐結構。間隔元件 54<sub>1</sub> 至 54<sub>6</sub> 可出於此目的而配置，該等間隔元件可任擇地亦以電絕緣方式形成以便提供鄰近電極之電絕緣。替代地，可在電極元件上及/或藉由將相同電極對 48 之電極彼此電絕緣(諸如藉由間隔元件 56<sub>1</sub> 至 56<sub>8</sub>)提供電絕緣以及塗層。然而，間隔元件 56<sub>1</sub> 至 56<sub>8</sub> 可替代地或另外藉助於諸如層 12<sub>3</sub> 之環繞基底來實施。因此，電絕緣亦可經由與基底交互作用之周圍介質(或真空)而非間隔元件 56<sub>1</sub> 至 56<sub>8</sub> 來提供電絕緣。亦有可能將相同電位施加至不同對之鄰近電極，此意謂必要時可省去此等電極之此位置處的電絕緣。

【0048】亦即，一對電極之電極元件可皆藉由離散外部間隔元件 56 機械固定在電極元件之邊緣區中，及/或電極元件可藉由層結構機械固定在其邊緣區中，以便設定以其他方式可經由間隔元件 56 調整的電極元件之間的距離  $h_{ii}$ 。

【0049】在邊緣區域中，距離  $h_{ii}$  可保持為小的，例如，在自 0.01  $\mu\text{m}$  至 200  $\mu\text{m}$ 、較佳地自 0.3  $\mu\text{m}$  至 3  $\mu\text{m}$  之範圍內且尤其較佳在 1.3  $\mu\text{m}$  之範圍內。

【0050】藉助於內部間隔元件 54<sub>1</sub> 至 54<sub>6</sub>，可藉助於外部間隔元件 56 在若干電極對之間設定與在經獲得個別電極之間相當或相等的間距。

【0051】在電極對 48 之電極元件之間施加電位可引起電極對沿著 MEMS 平面 14<sub>2</sub> 內之方向(例如沿著  $y$ )之長度的改變，且因此引起可傳輸至交互作用結構 24 之主動結構 26 的衝程之改變。

【0052】由於任擇的間隔元件 54 至少部分地配置在中心區域 52 中，因此此等間隔元件可被稱作內部間隔元件。外部區域或邊緣區域中之任擇的間隔元件 56 可稱為間隔元件。

【0053】主動結構 26 可具有多個電極對 48，其中之每一者諸如藉由內部間隔元件 54 在中心區中機械地固定地連接至離散位置處的鄰近電極對之電極元件。

【0054】換言之，圖 3a 展示主動結構 26 之可偏轉元件之一部分，其亦可稱為微肌肉且其可包含多個離散間隔開的導電桿/電極 46。在一較佳實施例中，此等橫桿為摻雜半導體材料且各自表示例如金屬或矽(但較佳地為矽)之至少一個電極。相對桿經由非導電介質彼此連接。非導電介質亦可為在可偏轉部件之第一及第二延伸方向上分段的絕緣間隔層。亦即，該等橫桿可藉由絕緣間隔件 54 及/或 56 互連。其他實施例包括氣態、液體或固體非導電介質。在氣態及液體間隔層之狀況下，可偏轉元件可另外附接至基底。在固體非導電介質之狀況下，彈性較佳地小於固體導電介質之彈性。電壓經施加至桿，使得電位差存在於一對電極(諸如 46<sub>1</sub> 及 46<sub>2</sub>)之二個鄰近可偏轉元件之間。此電位差產生靜電力且橫桿彼此吸引。非導電介質或經分段絕緣間隔層 54 及/或 56 之彈性可提供恢復力。亦可自導電橫桿 46 之彈性獲得恢復力。出於此目的，對應於絕緣間隔部件 56 之絕緣固體可諸如藉由實施間隔部件 54 而配置於導電固體之間。間隔元件 54 及 56 之一個可能配置為例如所謂的「磚圖案」，其中導電介質之間的支撐點在列與列之間交替，使得下一支撐點始終在鄰近列之二個支撐點之間。對應結構為重複單個單元 48 之週期性結構，但此並非為強制的。當在鄰近導電固體之間產生電位差時，整體結構可變形。

【0055】在圖 3a 中， $l_{\text{cell}}$  表示沿著 x 方向之肌肉單元的尺寸， $l_{\text{ti}}$  表示沿著 x 方向之支撐位點的尺寸， $h_{\text{ti}}$  表示沿著 y 方向之支撐位點的尺寸， $h_{\text{elec}}$  表示沿著 y 方向之電極的尺寸，且  $h_{\text{gap}}$  表示沿著 y 方向之二個電極之間的距離。所提及之參數可個別地且獨立地實施，但亦可適合於彼此。此等參數中之每一者可在至少  $0.01 \mu\text{m}$  且至多  $200 \mu\text{m}$  之範圍內， $L_{\text{cell}}$  例如亦高達  $1500 \mu\text{m}$ 。對於特定實施尤其較佳為：例如， $l_{\text{cell}} = 124 \mu\text{m}$ ， $l_{\text{ti}} = 4 \mu\text{m}$ ， $h_{\text{gap}}$  (在最小或最大致動器偏轉之參考狀態中) =  $1.3 \mu\text{m}$ ， $h_{\text{elec}} = 1 \mu\text{m}$  及/或  $h_{\text{ti}} = 1 \mu\text{m}$ ，在每一狀況下，係可修改的及/或在某些公差內。

【0056】 在致動期間，值  $h_{\text{gap}}$  之改變(例如，減小)可沿著 y 方向發生，且視幾何設計而定，沿著 x 方向發生值  $I_{\text{cell}}$  之改變。取決於如何實現圖 2 中之耦接至電阻器元件或耦接組件元件 28a，變形方向 x 或 y 中之一者經轉移至圖 2 中之耦接組件元件 28b。藉由沿著 y 方向及/或 x 方向將其他單元靠近彼此排成一排，個別單元之方向或力之位移可被滿足或乘以單元之數目。

【0057】 可偏轉元件 26 (換言之，肌肉單元或微肌肉)之幾何形狀可用以特定地調整在 x 方向及/或 y 方向上之硬度。另外，可將每一偏轉之力調整或最佳化例如至「應力-應變曲線」。在聲音產生中，初始情形需要最初具有相對極小力的大量偏轉。當移位量增加時，流體(例如空氣)對肌肉之恢復力增加。接著有必要產生更多力以用於偏轉。單元幾何形狀之選擇允許調整偏轉製程期間的力改變。此外，可經由單元幾何形狀調整在 y 至 x 方向上之長度改變的比率(結構之有效的柏松比(Poisson's ratio))。藉由選擇右側單元幾何形狀，可設計具有小於 0 之有效柏松比之肌肉。被稱作拉脹結構之此類結構可在彎曲時展示極特殊屬性。此等屬性為肌肉在豎直牽引方面的改良提供了可能。

【0058】 圖 3b 展示根據實施例實例之主動結構 26 之一部分的示意性俯視圖。相較於圖 3a，可提供相同元件，且另外，可分別將電絕緣層 58<sub>1</sub>、58<sub>2</sub>、58<sub>3</sub> 及 58<sub>4</sub> 提供於鄰近電極 46<sub>1</sub> 與 46<sub>2</sub>、46<sub>3</sub> 與 46<sub>4</sub>、46<sub>5</sub> 與 46<sub>6</sub> 及/或 46<sub>7</sub> 與 46<sub>8</sub> 之間。絕緣層 58 可包含電絕緣材料，諸如氧化矽、氮化矽或其他絕緣材料，尤其 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。

【0059】 儘管電絕緣層 58<sub>1</sub> 至 58<sub>4</sub> 經展示為具有沿著 y 方向之比外部間隔件 56 薄的尺寸，但其可替代地具有相等或較大厚度/擴展，從而允許例如在致動期間調整或影響端部位置。厚度沿著 x 方向可為均勻的或可變的。

【0060】 電絕緣層 58<sub>1</sub> 至 58<sub>4</sub> 可懸置於外部間隔元件之間，以機械地固定電極，該等外部間隔元件經配置於電極對 48<sub>1</sub> 至 48<sub>4</sub> 之電極之邊緣區中。替代地，絕緣層 58<sub>1</sub> 至 58<sub>4</sub> 之配置可提供於基底或其他固定結構上。替代地或另外，亦可

藉由將外部間隔元件 56 配置為電極之間的連續、可能局部薄化之層來獲得對應的組配。

【0061】換言之，圖 3b 展示具有絕緣間隔層之另一實施例。所展示之替代間隔件 58 提供間隔件 56 之間的連接且例如實質上結合至間隔件。在一較佳實施例實例中，間隔件 56 及 58 係由相同材料製成。有利地，此增大間隙中之介電常數。另外，亦存在關於可偏轉元件在其厚度方向上之硬度的改良。同樣地，可例如在橫向牽引期間避免電極之間的短路。此外，可改良主動結構 26 之可靠性，此係因為可減少或避免所謂的冷陽極氧化。

【0062】圖 3c 展示根據另一實施例實例之主動結構 26 之一部分的示意性俯視圖，該另一實施例實例繼續圖 3a 之實施例。在結合圖 3a 被稱作內間隔件 52 之元件的區中，諸如電極 46<sub>7</sub> 之其他電極可經配置以例如藉由施加不同電位而形成具有一或多個電極或其區段之另一電極對 48<sub>5</sub>。換言之，可藉由適當間距及固定藉助於不同電極對之電極來界定另一電極對。可獲得一種蜂巢式圖案，其同時提供具有高穩定性之強力。

【0063】圖 3d 展示主動結構 26 之一部分或其一對電極 48 的示意圖。相比於先前所描述之解釋，藉助於例如 MEMS 20 之層 12<sub>3</sub> 之材料中的基底材料 62 來固持、固定電極 46<sub>1</sub> 及 46<sub>2</sub>，以及使其彼此間隔開。電極 46<sub>1</sub> 及 46<sub>2</sub> 可例如藉由背對彼此之曲率及/或藉由中心區 52 中之對應固定而具有自彼此朝向中心區 52 增大之距離，該中心區亦可包括部分筆直之電極形狀，諸如圖 3a 及圖 3b 中所展示之電極形狀。此允許適於主動產生吸引力。

【0064】代替圖 3b 中所展示之單個絕緣層，二個絕緣層 58a 及 58b 亦可經配置於電極 46<sub>1</sub> 與 46<sub>2</sub> 之間，其中可看出，代替將絕緣層 58a 以及 58b 及/或電極 46<sub>1</sub> 以及 46<sub>2</sub> 固定至基底材料 62，該等絕緣層亦可藉助於外部間隔元件 56 彼此固定。替代地，僅可配置絕緣層 58a 或 58b 中之一者。絕緣層 58a 及/或 58b 之

形狀可分別適於電極對 48 之電極  $46_1$  及  $46_2$  之形狀，電極對在 MEMS 之被動狀態中經預先定向。舉例而言，絕緣層 58a 至少在根據電極  $46_1$  之曲率的公差範圍內彎曲。同樣地，絕緣層 58b 至少類似於電極  $46_2$  彎曲。

【0065】就此而言，層 58a 及 58b 可被理解為絕緣層 58 之子層，其中每一子層分別遵循電極  $46_1$  及  $46_2$  之經預引導形狀。子層 58a 及 58b 之相對主表面(例如面向各別電極  $46_1$  及  $46_2$  之主表面)之間的沿著電極路徑之距離(諸如沿著主動結構之 MEMS 平面中之 x 方向在附接區與基底材料 62 之間的距離)就此而言可為可變的。有利地，在此類實施例中，當電極朝向彼此移動時，絕緣層 58a 及/或 58b 可沿著 x 方向對應於電極  $46_1$  及  $46_2$  相對容易地伸長或擴展。此可在一定程度上縮減或避免絕緣層 58a 及/或 58b 中之材料應力，此有益於致動器之偏轉行為及絕緣層之材料應力二者。

【0066】換言之，圖 3d 展示電極  $46_1$  與  $46_2$  之間的絕緣層 58a/58b 如何遵循電極之形狀。此具有可偏轉元件在 x 方向上之硬度顯著增大的優點，此係因為使用較高比例之絕緣間隔層，例如，包含  $Al_2O_3$ 。

【0067】圖 3e 展示主動結構 26 之一部分之掃描電子顯微照片及示意性俯視圖，其展示絕緣結構與絕緣層之間的流體或空腔 64 之位置。

【0068】換言之，圖 3e 在掃描電子顯微照片中展示由  $Al_2O_3$  組成之蘑菇狀間隔件 56，當在豎直牽引期間防止短路時，使用該等間隔件。此等蘑菇因此防止例如主動結構 26 與交互作用結構 24 接觸且阻止引起電氣短路。由於其基本上任意可調整形狀而被稱作蘑菇之間隔件 56 可自經描繪影像平面突出且防止主動結構 26 與交互作用結構 24 之間的電氣短路。因此，可在分佈於整個組件延伸部上方之交互作用結構 24 與主動結構 26 之間產生間隔件。

【0069】圖 4a 展示根據一實施例實例之交互作用結構之示意性俯視圖，該交互作用結構可用於例如 MEMS 10 及/或 20 中。

【0070】舉例而言，交互作用結構 24 可相對於對稱軸線 66 對稱地形成，該對稱軸線可例如在 MEMS 10 或 20 中平行於 y 方向而配置，但此並非為所需的。

【0071】多個電阻元件或鰭片  $36_1$  至  $36_{10}$  可沿著 y 方向在連接元件 42 上配置，其中數目、大小及/或幾何形狀可適於各別要求。在相對端部處，交互作用結構 24 可經由較佳地彈性懸架  $44_1$  及  $44_2$  連接至環繞基底。雖然在引導交互作用結構 24 之移動方面懸架  $44_1$  及  $44_2$  係有利的，但可能已經足以藉助於耦接組件元件 28a 提供懸置。替代地或另外，可提供其他類型之運動引導及/或懸置。實施例實例產生具有偏離橫截面之鰭片  $36_i$ 。舉例而言，鰭片  $36_1$  可自中心開始逐漸變窄。在與 42 之連接之區域中，鰭片  $36_1$  之寬度或材料擴展或材料厚度例如在自由振動端部處大而小。此具有以下優點：可根據該材料使連接區域中的可能應力最小化。替代地或另外，有可能使鰭片  $36_i$  在內部為中空的。此為輕型構造提供了巨大的潛力，尤其在與 42 之連接區域中，其中有很大的節省質量的潛力。

【0072】圖 4b 展示圖 4a 之交互作用結構 24 之示意性透視圖。如結合圖 2 所描述，電阻結構 24 可來回移動，此為交互作用結構 24 亦可被稱作梭子之原因。交互作用結構 24 可被視為被動元件，結構平面  $14_1$  中之其他移動結構亦可視為被動元件。彈性懸架  $44_1$  及  $44_2$  可為相比於被動或主動元件具有較低硬度及/或形成為彈性元件之通孔元件。彈性懸架  $44_1$  及/或  $44_2$  允許在不必改變主動層之情況下調整梭子的自然頻率。出於此目的，可使用自圖 4a 及圖 4b 偏離之幾何形狀。另外，可藉由硬度分佈之合適選擇實現電阻元件或交互作用結構 24 之彈性引導。此引導可設計成使得電阻元件僅具有在向其提供之方向上之移動性或至少具有較佳的移動性。

【0073】相較於分別藉由耦接元件 28 及耦接組件元件 28a 以及 28b 進行機

械耦接，懸架 44<sub>1</sub> 及 44<sub>2</sub> 之硬度可為較低的，使得例如耦接元件 28 之機械耦接具有比交互作用結構 24 與分層結構藉助於懸架 44<sub>1</sub> 及 44<sub>2</sub> 或其他連接之機械耦接大至少 3 倍的機械硬度。

【0074】 其他實施例具有 MEMS，該 MEMS 具有經設計成無額外懸架 44<sub>1</sub> 及 44<sub>2</sub> 的電阻元件或交互作用結構。此意謂除了至主動結構之機械耦接件 28a/28b 之外，交互作用結構 24 可經配置成無懸架。在根據圖 4a 及圖 4b 之實施例中，電阻結構 24 一方面在至少一側連接至(圖中未示)環繞基底，且另一方面其連接至致動器，亦即驅動平面 14<sub>2</sub> 之微肌肉或可偏轉元件 26。此連接較佳地為剛性的。此處，舉例而言，可考慮形狀擬合、力擬合及/或材料擬合連接。在一較佳實施例實例中，連接元件/耦接元件 28 實質上連接至交互作用結構 24 (被動元件) 及主動結構 26 (主動元件)，且具有對應於主動元件及被動元件之硬度。其他實施例包括連接元件 28，其具有低於主動元件及被動元件之硬度。換言之，在替代實施例中，其經組配為彈簧元件。二個連接元件 28a 或 28b 中之一者自各別平面突出至少 1 μm，使得可確保實際上僅經由連接元件 28a 及連接元件 28b 進行連接。此意謂圖 2 中所展示之間隙 34 可具有例如 1 μm 之延伸部。

【0075】 圖 5a 展示根據一實施例實例之 MEMS 50 之主動結構 26 的示意性俯視圖，該主動結構可與來自 MEMS 10 及/或 20 之交互作用結構以及本文中所述的實施例之其他結構元件容易地組合。

【0076】 子元件 28b 與多個電極總成 72 配置至之連接元件 68 機械地連接或一體地形成。例示性地，電極總成串聯地連接，使得例如電極總成 72<sub>1</sub> 及 72<sub>2</sub> 串聯地連接於層 12<sub>3</sub> 中之基底與連接元件 68 之間。電極總成 72 中之每一者可形成可移動層總成，其結合圖 5b 更詳細地描述。可移動層配置可藉由曲率半徑彎曲，且諸如可移動層配置 72<sub>1</sub> 及 72<sub>2</sub> 之串聯連接之可移動層配置 72 的其他任擇的曲率梯度可具有交替符號。當同時或替代地致動可移動層配置 72<sub>1</sub> 及 72<sub>2</sub> 時，

此可例如至少影響所產生移動之路線。

【0077】可移動層總成 72 可以多個群組配置於耦接部件 68 與基底之間。在圖 5a 中，將四個象限中之四個群組作為一實例提供，以允許耦接部件 28b 之對稱懸置。

【0078】在 MEMS 50 之實例中，多個可移動層配置藉此至少成群地配置至若干對稱軸線 66<sub>1</sub> 及 66<sub>2</sub>，該等對稱軸線例如平行於 x 方向及/或 y 方向配置。此外，亦可存在另一類型之對稱性，例如點對稱性，例如圍繞耦接組件元件 28b 在經描繪平面中之幾何中心點。亦可提供旋轉對稱性或其他類型之對稱性，其亦可藉助於所提供之致動方向來調整。

【0079】圖 5b 展示諸如可用於 MEMS 50 中之可移動層配置之示意圖。可移動層配置包含經調適以回應於電位而執行移動或變形之至少三個橫桿 76<sub>1</sub>、76<sub>2</sub> 及 76<sub>3</sub>。舉例而言，橫桿 76<sub>1</sub>、76<sub>2</sub> 及 76<sub>3</sub> 可包含與電極元件 46 對應且經配置以用於靜電力之導電材料，諸如金屬材料及/或經摻雜半導體材料。然而，亦有可能藉由設計主動結構以包含靜電、壓電或熱機械電極結構及/或其組合來實施熱誘發變形、壓電力或另一類型之電產生致動。然而，橫桿 76<sub>3</sub> 經配置於(例如)光束 76<sub>1</sub> 與 76<sub>3</sub> 之間。橫桿 76<sub>1</sub>、76<sub>2</sub> 及 76<sub>3</sub> 藉此在離散區 78<sub>1</sub> 及 78<sub>2</sub> 處例如藉助於電絕緣間隔元件 82<sub>1</sub> 至 82<sub>4</sub> 而彼此電絕緣。儘管電絕緣間隔元件 82 經展示為安置於橫桿 76<sub>1</sub> 至 76<sub>3</sub> 之邊緣區中，但其可替代地或另外安置於中心區中或安置於其間之區中。可移動層配置 72 經組配以一方面回應於橫桿 76<sub>1</sub> 與 76<sub>3</sub> 之間的電位及/或另一方面回應於橫桿 76<sub>2</sub> 與 76<sub>3</sub> 之間的電位而執行沿著 MEMS 平面 14<sub>2</sub> 中之移動方向的移動，藉此移動耦接元件 28，尤其耦接組件元件 28b。舉例而言，基於可移動層配置 72 之夾持，可獲得可移動層配置 72 之平面中對準之擦拭移動，其可藉助於對稱懸置轉換成機械耦接組件元件 28b 之線性移動。其他類型及形狀之移動為可容易調整的。

【0080】換言之，圖 5a 及圖 5b 展示可偏轉元件 26 之替代實施例，該可偏轉元件包含彼此連接且經由連接元件 28b 連接至電阻元件 24 (圖中未示)之可移動層總成 72<sub>1</sub> 及 72<sub>2</sub> 之子元件。可偏轉元件或可移動層配置之結構可為藉由絕緣間隔件彼此分離之至少三個電極之總成。二個外部電極接收相同電壓，例如參考電位或 GND，中間電極可接收信號電壓，例如呈信號 32 之形式。因此，可進行可偏轉元件之偏轉。歸因於可移動層配置 72<sub>1</sub> 及 72<sub>2</sub> 相對於彼此之對稱結構，可實現線性偏轉行為。可例如根據 WO 2012/095185 A1 獲得相對應的結構。

【0081】圖 6a 展示根據一實施例實例之 MEMS 60 之一部分的示意性透視圖，該實施例實例可與圖 2 中之實施例實質上相同。層 12<sub>1</sub> 及 12<sub>4</sub> 未在一例示性實施例中展示，但可如其他層一樣經配置。部分 26a 及 26b 可各自形成為獨立致動器，該獨立致動器經配置成彼此相對且藉助於耦接子元件 28b 機械地彼此耦接且耦接至交互作用結構 24，該耦接子元件經配置於致動器 26a 及 26b 之間。因此，可實現如下情況：主動結構 26 經調適以在平行於致動方向之第一區中伸長，且基於用於致動器 26a 及 26b 中之一者的第一致動信號而在另一部分中縮短。基於另一致動信號，可藉由反轉各別主動結構之縮短及延長/擴展來實現互補移動。

【0082】參考圖 2、圖 3a、圖 3b、圖 6a 及圖 6b 之主動結構 26，電極對可以與例如圖 4 之可移動層配置相同的方式配置成一列。舉例而言，在圖 3a 及圖 3b 中較詳細地解釋之結構可具有平行於 MEMS 平面 14<sub>2</sub> 中之致動方向配置的一系列多個電極對，以實現交互作用結構沿著 MEMS 平面 14<sub>1</sub> 中之彼方向之移動。就此而言，實施例任擇地提供平行於第二方向配置之至少第二列電極對，以實現交互作用結構 24 沿著另一方向之移動，該第二方向不同於第二列電極對之方向。應注意，主動元件之各別致動方向亦可藉助於合適機械偏轉元件(諸如，桿或齒輪或其類似者)偏轉。

【0083】舉例而言，可設想到，一或多個其他部分致動器以與部分致動器 26a 及 26b 成 90 度角配置，以便實現除平行於 y 方向之移動外的平行於 x 方向之移動。

【0084】圖 6b 展示圖 6a 之區段(尤其在耦接組件元件 28a 與 28b 之間的機械連接之區中)之示意性透視圖。舉例而言，根據關於 MEMS 20 之解釋以及圖 3a 及/或圖 3b 形成主動結構 26，其中作為實例，對二個相對致動裝置 26a 及 26b 進行配置，從而基於不同致動信號，可引起各別致動裝置 26a 或 26b 之長度改變，且藉助於機械耦接，因此亦可引起其他致動部分之長度改變或變形。

【0085】由此，至少幾乎線性偏轉行為可藉由將作用於彼此的二個肌肉或致動裝置耦接而獲得，該至少幾乎線性偏轉行為亦可被稱作平衡行為，其至少近似線性行為。換言之，第一可主動偏轉元件 26a 及第二可主動偏轉元件 26b 經由連接元件 28b 彼此連接。此連接可為剛性的以有利地允許所得可主動偏轉元件諸如在耦接元件之位置處之線性行為。

【0086】此類組配可縮減或減少由靜電致動產生之非線性電壓移位行為。此原理亦可應用於任何其他致動器。可使用不對稱致動器，諸如不對稱奈米級靜電驅動器/致動器(A-NED)，其經配置以使得二個肌肉引起在相反方向上之偏轉。亦可使用對稱致動器，諸如結合其他實施例描述之平衡 NED (BNED)或 BA-NED (平衡不對稱 NED)。舉例而言，對於 BNED，可相反地選擇二個肌肉中之外部電極上的電壓。此亦適用於 BA-NED。替代地，可以不同方式選擇 BA-NED 中之絕緣島之位置以便指定致動器之偏轉方向。

【0087】較佳地在主動結構 26 與交互作用結構 24 之間配置間隙 34，該間隙結合圖 2 經描述為至少 1  $\mu\text{m}$ ，但亦可對此選擇其他值。舉例而言，各別耦接組件元件可自電極或鱗片之平面突出。替代地或部分地，較佳地，電絕緣機械互連層 84 可整體或部分地設定間隙 34。舉例而言，互連層 84 可包含氧化矽、氮

化矽或氧化鋁。

【0088】圖 7a 展示 MEMS 20 之交互作用結構 24 之示意圖，該交互作用結構連接至層 12<sub>2</sub> 之基底且經由懸架 44<sub>1</sub> 及 44<sub>2</sub> 自該基底懸置。懸架 44<sub>1</sub> 及 44<sub>2</sub> 可包含例如撓曲的彈簧元件，藉助於該等撓曲的彈簧元件，交互作用結構 24 彈性地耦接至該層結構。交互作用結構至分層結構之機械耦接可具有與交互作用結構 24 自身之硬度至多相同的硬度，但較佳地較軟或替代地不被實施。

【0089】可移動鱗片 36<sub>1</sub> 至 36<sub>20</sub> 可藉此各自在由環繞基底界定之子空腔及相對於交互作用結構 24 不接觸或具有低摩擦配置之剛性分區或剛性鱗片 38 中移動。交互作用結構之鱗片結構 36<sub>1</sub> 至 36<sub>20</sub> 可因此可移動地配置於子空腔 16a 至 16t 中。舉例而言，圖 7a 展示 MEMS 20 之未偏轉狀態。

【0090】圖 7b 展示交互作用結構 24 在一狀態中之示意性俯視圖，在該狀態中，交互作用結構 24 沿著正 y 方向偏轉，使得子空腔 16a 之第一部分 16a<sub>1</sub> 放大且子空腔 16a 之對應的其他部分 16a<sub>2</sub> 縮減，此可與流體流因果地相關。

【0091】圖 7c 展示圖 7a 之交互作用結構 24 之示意圖，該交互作用結構相較於圖 7b 沿著相對的負 y 方向偏轉，其中例如元件 36<sub>1</sub> 之移動引起體積 16a<sub>1</sub> 及 16a<sub>2</sub> 之改變，此亦可與體積流因果地相關。

【0092】藉由藉助於連接元件 42 將元件 36 彼此耦接，可在考慮子空腔之大小設定為彼此相等或不同於彼此之情況下而獲得子空腔之均勻變化，可藉由一方面定位元件 36 且另一方面定位元件 38 來選擇子空腔之大小。

【0093】換言之，圖 7a 至圖 7c 展示電阻元件 24 自圖 7a 中之靜止位置開始在圖 7b 中之第一方向(+y)上及在圖 7c 中之第二方向(-y)上之偏轉。亦展示懸架 44<sub>1</sub> 及 44<sub>2</sub> 之曲率。在實施例實例中，懸架之幾何形狀可不同於所展示之幾何形狀。舉例而言，幾何形狀可為屋頂形、波形或 s 形。該設計可基於特定應用而選擇，但可基於硬度屬性或其類似者而對運動系統之所得諧振頻率而具有決定

性影響。另一實施例實例係關於不具有所展示之懸架  $44_1$  及  $44_2$  的電阻元件 24。圖 7a 及圖 7c 進一步展示，空腔 16a 至 16t、 $16a_1$  至  $16t_2$  由移動鰭片 36 及剛性鰭片 38 形成。移動鰭片 36 之長度可使得鰭片 36 之自由端部與環繞基底  $12_3$  之間的距離儘可能小。藉此選擇該距離，使得流體在空腔  $16a_1$  與  $16a_2$  或  $16t_1$  與  $16t_2$  之間存在很少或沒有交換，此意謂流體損耗較低。換言之，且在藉助於本文中所展示之 MEMS 實施的 MEMS 揚聲器之實施例實例的上下文中，可在此時避免聲學短路。

【0094】圖 7d 至圖 7f 展示圖 7a、圖 7b 及圖 7c 之在對應的狀態中之交互作用結構 24，其中展示孔口之額外群組 18a 及 18b。舉例而言，孔口之第一群組 18a 可設置在頂部晶圓中，且另一群組 18b 可設置在 MEMS 20 之底部晶圓中，或反之亦然。此允許不同子空腔  $16a_1$  至  $16t_1$  或  $16a_2$  至  $16t_2$  連接至 MEMS 之不同側面。

【0095】在圖 7e 中所展示且對應於圖 7b 之定位中，流體因此可移出群組 18b 之開口及/或藉由群組 18a 之開口移入，此亦可受閥門結構之配置影響。

【0096】圖 7f 展示一相對組配，其中根據圖 7c，索引為「1」之部分空腔的大小減小，使得流體移出群組 18a 之開口。

【0097】如圖 7b 至圖 7f 中所展示，不同子空腔部分，諸如相較於子空腔部分  $16a_2$  或  $16t_2$  具有不同開口之子空腔部分  $16a_1$  或  $16t_1$ ，可流體地耦接，其中該等開口可個別地或以群組形式耦接至環境 22 或其不同側面。

【0098】鰭片結構可將子空腔分隔成不同子空腔部分，其中此未必意謂密閉性密封，但可實現分離，同時避免流體短路。子空腔部分之體積可基於交互作用結構之移動而彼此互補。

【0099】群組 18a 及 18b 之開口可完全或部分地自部分空腔開始垂直於平面方向(亦即沿著正或負  $z$  方向)配置。替代地或另外，開口可設置在 MEMS 平

面  $12_2$  或平面  $14_2$  中。

【0100】亦可設想到組合，根據該等組合，自子空腔部分提供橫向出口，如例如圖 7g 中所展示，且此等橫向出口在不同方向上沿著  $z$  軸定向，使得類似於圖 7d 至圖 7f，不同子空腔部分連接至上側或下側，其中子空腔部分(例如子空腔部分  $16a_1$ )之對應的連接可橫向地在平面  $14_1$  內進行。亦即，在層  $12_2$  中之橫向出口或入口之後，可進行流體流之方向重定向，使得經配置於 MEMS 平面  $14_1$  中之群組 18a 及 18b 之 MEMS 孔口沿著垂直於平面方向之方向(亦即沿著  $z$ )流體地連接至 MEMS 孔口、蓋層，例如分層結構 12 之層  $12_1$  或  $12_4$ 。

【0101】換言之，空腔可藉由被動元件 24 之幾何形狀產生，且詳言之，子空腔部分可藉由元件 24 之幾何形狀或移動鱗片經界定在由剛性鱗片結構界定之子空腔中。所得子空腔部分在該部件內部彼此分離，使得無流體交換或極少流體交換可在該等子腔部分之間進行。部分空腔部分可在底部及頂部晶圓中連接至外部通孔 18a 及 18b。當被動部件 24 移位時，流體藉由開口在一側經遞送至空腔中，且在另一側經遞送出去。在一個實施例(揚聲器之實施例)中，藉由被動元件之此移動產生聲壓。可同樣設想產生泵抽作用。可經由裝置平面  $14_2$  之可偏轉元件 26 實現電阻元件 24 及其他被動元件之致動。可使用任何可偏轉元件，諸如本文中所描述的微肌肉或 ANED 肌肉。由於裝置平面可經設計成不具有用於機械流體交互作用之被動元件或具有其可忽略的比例，因此其可完全地填充有主動元件。因此，相對較大數目個元件可置放成極密集地填充。此允許主動元件適於必要機械效應，其接著藉由電阻元件 24 來實現。機械效應在主動位準與被動位準之間的轉移經由裝置晶圓與處置晶圓之間、元件 24 與 26 之間的固定連接進行，該固定連接在生產後繼續保持或隨後產生。

【0102】將空腔連接至圖 7g 中所展示之環繞流體之開口的替代實施例可經實施，使得開口 18'a 及 18'b 經配置在結構晶圓中，使得啟用與底部或處置晶

圓之來自圖 7b 至圖 7f 的開口 18a 及 18b 之連接。該等開口可以一方式配置於該結構晶圓中，使得該等開口流體地連接至一上側或下側。此藉由將功能分離成二個位準而產生另一優點。額外位準為流體引導(諸如空氣引導)產生新可能性，其允許二個晶片側面之出口開口一個位於另一個上方。出於此目的，較短通道，開口 18'a 及 18'b，可以一方式置放於結構平面中之裝置平面中，使得該等通道將流體流引導至出口開口(在空氣之此狀況下)。此使得出口開口較密集地填充，此係因為出口開口可為被動聲音產生元件之填充密度之限制因素，使得可藉由此方法來實現聲音產生元件之填充密度之增加。

【0103】圖 8a 至圖 8c 展示平面 14<sub>2</sub> 中 MEMS 20 之示意性透視圖，使得例示層 12<sub>3</sub> 及主動結構 26。致動器部分 26a 及 26b 可經設計成例如致動器列 86<sub>1</sub> 至 86<sub>5</sub> 中之多於一者沿著 x 方向並排配置，且可能機械地彼此耦接或甚至形成例如圖 3c 中之如所展示的連續電極。例示性地，提供 5 個致動器列 86<sub>1</sub> 至 86<sub>5</sub>，但可提供至少 1 個、至少 2 個、至少 3 個、至少 4 個、至少 6 個、約 10 個或其類似者之另一任意數目。致動器部分 26a 及 26b 有可能但非必要地相對於彼此對稱地形成。

【0104】圖 8a 展示主動結構 26 之中性(亦即，未偏轉)狀態，而圖 8b 展示一狀態，其中致動器部分 26b 之延伸經縮短且對應地致動器部分 26a 例如藉由啟動致動器部分 26b 而伸長。以此方式，可獲得耦接部件 28b 沿著正 y 方向之移動。

【0105】圖 8c 展示與圖 8d 互補之狀態，其中關於圖 8a，耦接部件 28b 在負 y 方向上移動，此可例如藉由致動致動器部分 26a 來獲得。無關於此情形，流體通道 88<sub>1</sub> 至 88<sub>n</sub> 之配置可設置在層 12<sub>3</sub> 中，例如且參考圖 7g，該配置可分別將開口 18a 及/或 18b 流體地連接至開口 18'a 及 18'b。

【0106】亦在根據圖 8a 至圖 8c 之實施例中，MEMS 可至少包含用於轉換

第一致動信號之第一致動器及用於轉換第二致動信號之第二致動器。

【0107】在圖 8a 至圖 8c 中，經展示彼此鏡像對稱之二個可偏轉元件 26a 及 26b 可配置成與中心線相對，此可實施平衡肌肉。平衡肌肉之另一可能性由選擇肌肉單元幾何形狀提供。本文中所描述的實施例係關於產生展現高線性度之可主動偏轉之元件。

【0108】可偏轉主動元件之幾何形狀判定其模式及作用方向。藉由組合不同、至少二個以及更多幾何形狀，不同作用方向可實施於肌肉或可偏轉元件內。

【0109】換言之，圖 8a 至圖 8c 展示包含第一可偏轉部件 26a 及第二可偏轉部件 26b 之可偏轉部件 26 的偏轉。在圖 8b 中所展示之第一時間間隔中，在第一方向(+y)上之偏轉藉由使可偏轉元件 26b 中之來自圖 3a 或圖 3b 之  $h_{gap}$  的值減小而進行。在可在第一時間間隔之後或之前的第二時間間隔中，在第二方向(-y)上之偏轉藉由使可偏轉元件 26a 中之  $h_{gap}$  之值減小且因此增加可變形元件 26b 中之  $h_{gap}$  而進行。

【0110】圖 9a 展示根據一實例實施例之交互作用結構 24' 的示意性俯視圖。作為交互作用結構 24 之替代方案或除該互動結構之外，交互作用結構 24' 可提供於本文中所描述的 MEMS (諸如 MEMS 10、20 及/或 40) 中。

【0111】圖 9b 展示來自圖 9a 之交互作用結構 24' 之示意性透視圖。

【0112】雖然其他交互作用結構經描述為具有連接至交互作用結構移動所抵靠之基底的固定鰭片，但交互作用結構 24' 可具有多個板或鰭片元件，其在 MEMS 平面  $14_i$  中平行於彼此配置且垂直於彼此定向且連接至相對邊緣區中之 MEMS 基底。替代地，板元件或鰭片元件 92 可與不同的致動器部分交替地成組及成對地連接。舉例而言，可提供致動器部分之多個致動器。因此，板元件 92 之第一群組 92a 可與第二群組 92b 之板元件 92 交替地配置。各別群組之板元件 92a 及 92b 可分別地經由所簡化之經說明致動器 94a 及 94b 而被個別地或共同地

致動，該等致動器又可包含一或多個部分致動器 26a 及 26b。在所說明的實施例實例中，致動器 94 中之至少一者具有部分致動器 26a 及 26b。多個致動器或肌肉又可經由成組或全域地連接腹板 96a<sub>1</sub>、96a<sub>2</sub> 或 96b<sub>1</sub>、96b<sub>2</sub> 來個別地或共同地驅動彼此。此允許一或多個致動器之配置。在一些實施例中，一方面耦接部分元件或板元件 94a<sub>1</sub> 至 94a<sub>6</sub> 或 94b<sub>1</sub> 至 94b<sub>6</sub> 表示致動器 26a 及 26b 之簡化視圖。經描述板元件因此可提供致動器，其經組配以經由耦接棒 96 致動鰭片總成 92a/92b。

【0113】此組配允許交互作用結構 24' 經組配以具有多個鰭片元件 92，其可經配置成至少暫時在特定狀態(諸如未致動狀態)中在 MEMS 平面 14<sub>1</sub> 中彼此平行。鰭片元件可經配置成垂直於 MEMS 平面 14<sub>1</sub> 定向。鰭片元件 92 可藉助於連接元件 94 及/或 96 機械地成組地彼此耦接以形成鰭片群組。

【0114】不同鰭片總成 92a 及 92b 可相對於彼此偏轉，從而可縮減實現鰭片元件相對於剛性鰭片 38 之間的最小距離所需的衝程。

【0115】舉例而言，可準備使鰭片總成 92a 之鰭片元件及鰭片總成 92b 之鰭片元件偏轉，該等元件可彼此鄰近且在相反方向上交替地配置。

【0116】圖 9c 展示圖 9a 及圖 9b 之區段之示意性透視圖，其中可看出，連接腹板 96a 機械地固定至群組 92a 之鰭片元件，而連接腹板 96b 機械地連接至群組 92b 之鰭片元件。舉例而言，經由耦接部件 94b<sub>5</sub> 至少部分地驅動連接腹板 96b<sub>1</sub>，而經由耦接部件 94a<sub>6</sub> 至少部分地驅動連接腹板 96a<sub>1</sub>，但多個耦接部件可用於驅動，如所描述。結構元件之不同平面可經提供以用於機械連接，使得對應移動可相互傳遞。詳言之，連接腹板 96a<sub>1</sub> 及 96b<sub>1</sub> 經配置以可相對於彼此移動。連接腹板 96a<sub>1</sub> 及 96b<sub>1</sub> 經部分地隱藏以允許較佳表示。

【0117】圖 9d 展示交互作用結構 24' 之一部分之示意性俯視圖。連接腹板 96a<sub>1</sub>、96b<sub>1</sub> 及 96b<sub>2</sub> 可經由耦接點 98 機械地牢固地連接至群組 92a 之鰭片元件 92a<sub>1</sub> 至 92a<sub>5</sub> 或鰭片群組 92b 之鰭片元件 92b<sub>1</sub> 至 92b<sub>5</sub>。致動器或其群組 94a 及 94b 為

例如肌肉群組。此群組對應於例如圖 8a 至 8c 中所展示之配置：相互對抗(平衡)之二個肌肉群組移動耦接元件 28。在圖 9a 至圖 9b 中，此等肌肉群組中之若干者以簡單形式展示，且其在連接腹板 96 上聚在一起。

【0118】換言之，圖 9a 至圖 9d 展示另一實施例，其中替代被動元件 24' 經設計為彈性鱗片或橫桿。此處，具有  $i1 \dots N$  (其中  $N \geq 2$ ) 之此等鱗片或橫桿 92a<sub>i</sub> 及 92b<sub>i</sub> 在一個或二個端部處連接至環繞基底。在一尤其較佳實施例中，被動元件進一步連接至環繞基底。此實質上縮減聲學短路之總橫截面積。可偏轉元件可經劃分或分佈至若干總成 94a 及 94b，且經由經配置耦接棒或連接腹板在正或負 y 方向上使平面中可偏轉元件或鱗片元件或板元件偏轉。在此實施例實例中揭示之可偏轉元件 94a 或 94b 包含本文中所描述的肌肉狀可偏轉元件或致動器或本文中所描述的其他致動器，其包括第二態樣之可移動層配置。其他類型之致動器亦為可能的。該等耦接棒之偏轉經傳輸至被動元件、板元件。分別存在被動元件(板元件)及耦接棒(連接棒)之可偏轉元件(致動器)之二個群組，作為實例，該等群組係由群組 A 之字母 a 及群組 B 之字母 b 指定。群組 A 及 B 可始終抵靠彼此偏轉，從而以高效率至最大效率壓縮被動元件之間的流體。當群組 A 在正 y 方向上偏轉時，群組 B 在負 y 方向上偏轉。耦接棒 53a 及 53b 在可偏轉元件之平面中之連接係藉由摩擦連接至匹配群組之被動元件而實現。在一些點處，可提供額外連接 102 (參見圖 9c)，其中摩擦連接可自中斷的耦接棒轉移至被動元件。被動元件可將力傳輸至該各別耦接棒之延續部分，此意謂力傳輸可在元件 102 與 104 之間經由板元件進行，使得耦接棒可在一些區域中被替代。此可允許耦接棒在可偏轉元件之平面中的中斷。另外，耦接棒與板元件之間的摩擦連接可在被動元件、板元件上離心定位，從而引起力施加點處之小偏轉轉變為橫桿中心之實質上較大偏轉，參見圖 9d。

【0119】在下文中，參考基於所謂的定子-梭子原理之交互作用結構的替代

驅動偏轉。

【0120】圖 10a 展示包含部分致動器 26a 及 26b 之 MEMS 100 之主動結構 26 的例示性俯視圖，如例如結合圖 2 所解釋。

【0121】在平面  $14_2$  中，此移動可經傳輸至經組配以使移動結構(諸如安置於 MEMS 平面  $14_1$  中之鱗片  $36_1$  至  $36_8$ )偏轉之多個耦接元件  $28b_1$  及  $28b_2$ ，使得鱗片  $36_1$  至  $36_8$  可在至少部分地由任擇的剛性結構  $38_1$  至  $38_6$  界定之部分空腔中移動，如結合圖 10b 及圖 10c 詳細地描述。

【0122】圖 10b 展示圖 10a 之區段 104 之俯視圖，其中顯然交互作用結構沿著  $z$  方向及/或  $y$  方向之界限  $106_1$  可實質上大於主動結構 26 之界限  $106_2$ 。

【0123】圖 10b 展示耦接組件元件  $28b_1$  沿著正  $y$  方向之偏轉狀態，其中自環繞基底固定地懸置之可移動元件  $36_1$  至  $36_4$  一體地或正向地或非正向地移動以允許流體流動通過孔口  $18a_1$  至  $18a_4$ 。亦即，交互作用結構可在遠離主動結構 26 之區處機械地連接至 MEMS 基底，且可撓性地形成以在主動結構之偏轉後變形。在此上下文中，可撓性應理解為具有環繞的剛性結構之硬度之至多二分之一、三分之一或四分之一。剛性鱗片  $38_1$  至  $38_3$  可將子空腔  $16a$  至  $16d$  界定為邊界結構，其中可撓性元件  $36_1$  至  $36_4$  可移動地經配置以在子空腔  $16a$  至  $16d$  中變形。舉例而言，如結合圖 7a 至圖 7g 所描述，可移動元件  $36_1$  至  $36_4$  可藉此將子空腔  $16a$  至  $16d$  分離或劃分成子空腔部分  $16a_1$  及  $16a_2$ 、 $16b_1$  及  $16b_2$ 、 $16c_1$  及  $16c_2$ ，以及  $16d_1$  及  $16d_2$ 。基於交互作用結構之移動且因此基於元件  $36_1$  至  $36_4$  之移動，各別子空腔部分之體積可以與其他相關聯的子空腔部分之體積互補的方式為可變的。

【0124】在圖 10a 至圖 10c 之實施例中，在每一狀況下，部分空腔部分  $16a_1$ 、 $16b_1$ 、 $16c_1$ 、 $16d_1$  藉助於層  $12_1$  中之開口連接至 MEMS 100 之環境。在圖中所展示之層  $12_4$  中，例如，互補的部分空腔部分  $16a_2$ 、 $16b_2$ 、 $16c_2$  及/或  $16d_2$  可連接至

外部環境，其中此可任擇地但未必在蓋罩層中發生，但亦可提供偏轉，其例如結合圖 7g 來描述。

【0125】圖 10c 展示部分 104 之示意性俯視圖，其中元件 36<sub>1</sub> 至 36<sub>4</sub> 之相對變形基於致動器部分 26a 及 26b 之致動而進行。

【0126】換言之，圖 10a 至圖 10c 展示用於在獨立於驅動平面之平面中對被動電阻元件 36 進行驅動且偏轉之 MEMS 總成 100 的另一實施例。此處，包含四個彈性電阻元件 36 之總成經由耦接元件 96 連接至可偏轉元件 26a 及 26b。可偏轉元件可包含或包括本文中之實施例中所描述之致動器，且具有例如線性偏轉特性。彈性電阻元件 36 及可主動偏轉元件 26a/26b 之群組係例如由環繞的基底形成之邊界 62 限定。此邊界增加 MEMS 裝置 100 之總硬度且包括其中安置有電阻元件 36 之空腔。此外，邊沿 62 電耦接至致動器且充當定子。因此，邊沿 62 可協同地執行三個功能：其可執行聲學功能且充當另一壁；其可執行電氣功能且將電壓傳導至致動器；且其可藉由提供用於致動器之附接而執行機械功能。致動器可自梭子及定子二者拉動或施加力，但該定子係固定的，使得限制或防止其移動。在此實施例中，該梭子係可主動偏轉電阻元件，且因此在邊界 62 與可偏轉元件 26a/26b 之間建立電位。提供其他邊沿 38 以形成空腔，該等空腔經配置在電阻元件 36 之間。邊界 38 相比於邊界 62 可具有較小厚度。電阻元件藉由蓋及處置晶圓中之開口將流體傳送至此等空腔中及將流體自該等空腔傳送出來。開口(例如處置晶圓中之 18a)經設置在蓋晶圓及處置晶圓二者中，以用於流體進入及離開空腔。該等開口經配置以使得其在例如圖 10b 及圖 10c 中所展示之平面視圖中不或將不由可偏轉元件 36 掃掠。替代地，該等開口可經配置在如例如結合圖 6a 及圖 6b 所描述之環繞的基底中。

【0127】圖 11 展示 MEMS 100 之電氣耦接且因此可主動偏轉元件或主動結構 26a 及 26b 之簡化俯視圖。此處，UAC 表示信號電壓，-UDC 表示第一偏置

電壓，且+UDC 表示第二偏置電壓。第一偏置電壓及第二偏置電壓可視需要設定且具有相同或不同絕對值。同樣地，二個偏置電壓可具有正及/或負電壓值。舉例而言，僅展示三個可移動元件 36<sub>1</sub> 至 36<sub>3</sub> 以及二個剛性元件 38<sub>1</sub> 及 38<sub>2</sub>。

【0128】圖 12a 展示根據實施例之可用作本文中所描述的其他 MEMS 之主動結構的 MEMS 120 之主動結構 26 的一部分之示意性俯視圖。因此，彼此相對配置之定子電極 108<sub>1</sub> 及 108<sub>2</sub> 以及一方面梳狀電極結構 114a<sub>1</sub> 及 114a<sub>2</sub> 且另一方面配置於電極 108<sub>1</sub> 與 108<sub>2</sub> 112 之間的 114b 一方面具有梳狀電極結構 114a<sub>1</sub> 及 114a<sub>2</sub> 且另一方面具有 114b，該等梳狀電極結構經調適以藉由同時或交替地施加信號 UAC、+UDC 及 -UDC、藉由接合梳狀電極結構 114b 與梳狀電極結構 114a<sub>1</sub> 或 114a<sub>2</sub> 而藉由致動觸發可移動電極 112 之移動。

【0129】圖 12b 展示與圖 12a 互補的狀態，其中可移動電極 112 相對於參考狀態 116 朝向定子電極 108<sub>2</sub> 偏轉。

【0130】換言之，圖 12a 及圖 12b 呈現根據俯視圖中之開口之概念的另一實施例。此處，驅動平面內之致動器遵循定子-梭子原理。致動器之固定周長 108<sub>1</sub> 及 108<sub>2</sub> 具有梳狀可偏轉元件 114b，其與連接至基底之梳狀不可偏轉反向元件 114a<sub>1</sub> 及 114a<sub>2</sub> 互鎖。在圖 12a 中所展示之第一時間間隔中，梳狀可偏轉元件之偏轉在第一移動方向上進行。在圖 12b 中所展示之第二時間間隔中，梳狀可偏轉元件之移動在與第一方向相反之第二方向上進行。該偏轉在平面中且垂直於配置於另一平面中之電阻元件或交互作用結構 24 之延伸方向而進行。配置於位移平面中之交互作用結構 24 之被動電阻元件可在二側連接至環繞的基底，諸如層 12<sub>2</sub>。電阻元件可延伸至可驅動其之主動裝置平面中。可主動偏轉元件(亦即配置於平面 14<sub>2</sub> 中之梳狀電極結構)之移動可由於所得力由於一方面電極結構 114a<sub>1</sub>/114a<sub>2</sub> 與另一方面 114b 之間的電位差而進行。可偏轉梳狀元件之長度可為電阻元件之長度的大致 40% 至 80%。

【0131】可主動偏轉結構之電極對可因此形成為互鎖電極梳狀結構。出於此目的，具有電極梳狀結構之第三電極可與各別電極對相關聯以形成圖 12a 及圖 12b 中例示性地展示之三個電極之群組。根據實施例，主動結構提供多個此類單元，該等單元根據本文中所描述的實施例配置成一或多個列。該等列可經配置成彼此平行，例如以產生強力。替代地或另外，有可能將列配置成彼此傾斜以產生交互作用結構之至少二維移動，或者換言之，可藉由多列致動器之傾斜、非平行配置來獲得交互作用結構之 2D 移動。三個電極中之中間電極可基於外部電極之交替應用來在不同方向上偏轉。

【0132】圖 12c 展示 MEMS 120 之主動結構 26 之示意性俯視圖，其中面向固定電極 114a<sub>1</sub> 及 114a<sub>2</sub> 之梳狀電極分別地沿著 y 方向彼此在空間上分離以形成梳狀電極元件 114b<sub>1</sub> 及 114b<sub>2</sub>，其可連接至相同電位或彼此以導電方式連接。此可引起梳狀電極驅動沿著移動方向 y 之空間擴展，從而可允許大的移動幅度。

【0133】交互作用結構之鱗片及/或使梳狀元件 114b<sub>1</sub> 及 114b<sub>2</sub> 懸置之結構的彎曲線路可經由連接結構 115 或 115<sub>1</sub> 及 115<sub>2</sub> 之數目及/或位置來調整，其數目可為至少 1 (參見圖 12c)，至少 2 (參見圖 12d) 或更高。

【0134】在圖 12e 中，展示 MEMS 120 之示意性俯視圖，其中前景中之 MEMS 平面 14<sub>1</sub> 及背景中之 MEMS 平面 14<sub>2</sub> 係由 MEMS 平面 14<sub>1</sub> 部分地遮擋，從而又部分地未展示以曝露 MEMS 平面 14<sub>2</sub>。

【0135】邊界 108 可多個連續地串聯以及呈多個列之電極梳狀件 114a<sub>1</sub>……114a<sub>4</sub>……(亦即彼此互連為至少一維或至少二維陣列)之多個固定電極 114a。取決於該設計，電極梳狀件 114a<sub>1</sub>……114a<sub>4</sub>……可個別地、成組地或全域地供應有電氣電位或可彼此絕緣。

【0136】在平面 14<sub>2</sub> 中，不同可移動梳狀電極元件 114b 之機械連接可藉助於一或多個連接腹板 96 提供以使得能夠將移動均勻地傳輸至交互作用結構 24，

諸如可移動鱗片  $36_1$  至  $36_3$ ，可為該傳輸提供一或多個耦接元件  $28_2$  至  $28_6$ 。亦可實施電極梳狀件之其他設計，諸如圖 12c 及圖 12d 中所展示之放大。

【0137】換言之，圖 12e 展示耦接棒與梳狀驅動器之間的連接。相比於已知梳狀驅動器，所展示之梳狀驅動器獨佔地平行於並且部分在平面  $12_2$  中或在平面內移動。

【0138】圖 12f 展示 MEMS 120' 之示意性側視圖，該 MEMS 可類似於本文中所描述之其他 MEMS 構造，且可例如包含 MEMS 120 之電極梳狀驅動器，藉此至 MEMS 120' 之添加可容易地用於其他類型之驅動器。因此，在結構上，可對平面 117 執行驅動之鏡像處理或重複，使得代替二個梳狀電極結構  $114b_1$  及  $114b_2$ ，可配置四個梳狀電極結構  $114b_1$  至  $114b_4$ ，其可例如直接或間接地機械及/或電氣地彼此成對地耦接例如至配對  $114b_1/114b_3$  及  $114b_2/114b_4$ ，從而在維持製造參數時且尤其在維持縱橫比時實現特定致動器區域之倍增。替代地或另外，交互作用結構 24 可在平面 117 上成鏡像且用作交互作用結構  $24_1$  及  $24_2$ ，此允許流體移動量之進一步增加同時維持 MEMS 之相同或相當的區域要求。

【0139】交互作用結構  $24_1$  及  $24_2$  之尺寸  $106_1$  及/或主動結構  $114b_1/114b_3$  及  $114b_2/114b_4$  之尺寸  $106_2$  可相同或不同。

【0140】圖 12g 展示根據一實施例實例之 MEMS (諸如 MEMS 120) 之部分的示意圖，其中主動結構 26 類似地自如結合圖 12c 及圖 12d 描述之圖 12a 及圖 12b 中的組配延伸。然而，作為圖 12a 圖 12d 之替代方案，主動結構 26 以一方式實施，使得藉助於例如靜電力使用靜止梳狀電極  $114a_1$  至  $114a_4$  在梭子  $112a/112b$  中啟動之交互作用結構  $24_1$  及  $24_2$  藉助於連接元件  $115_1$  及  $115_2$  經傳遞至各別相關聯的交互作用結構  $24_1$  及  $24_2$  上。在顯示平面中，展示元件  $119_1$  及  $119_2$  而非交互作用結構  $24_1$  及  $24_2$ ，其例如但未必可至少部分地配置於 MEMS 平面  $14_1$  中，如可自圖 12h 中所展示之圖 12g 之 MEMS 的示意性側向截面視圖所

見。

【0141】 元件 115<sub>1</sub> 及 115<sub>2</sub> 可彈性地形成且可支援梭子及/或交互作用結構至少部分地相對於基底的移動。

【0142】 梳狀電極結構 114b<sub>1</sub> 至 114b<sub>4</sub> 可經組合以形成配對 114b<sub>1</sub> 及 114b<sub>3</sub> 以及 114b<sub>2</sub> 及 114b<sub>4</sub>，且該等配對可藉助於電絕緣彼此電絕緣。儘管出於此目的亦可使用連續絕緣層，但離散絕緣區 78<sub>1</sub> 至 78<sub>12</sub> 就結構的機械變形性而言提供優勢。

【0143】 換言之，一方面梳狀電極 114a<sub>1</sub> 至 114a<sub>4</sub> 且另一方面 114b<sub>1</sub> 至 114b<sub>4</sub> 可各自形成或分組為配對 114<sub>i</sub> 至 114<sub>4</sub>，其每一電極對具有  $i = 1, \dots, 4$  之靜止梳狀電極 114a<sub>i</sub>，及可移動地相對於靜止梳狀電極 114a<sub>i</sub> 配置之可移動梳狀電極 114b<sub>i</sub>。MEMS 可具有任何數目個電極對，諸如如圖 12a 至圖 12d 中之 1，其例如可由第三電極補充，且亦可具有至少二個的較高數目。根據圖 12g，4 個配對經展示為實例，其允許圍繞元件 115<sub>1</sub> 及 115<sub>2</sub> 之最小距離範圍之對稱致動。雖然在平行於 y 軸之軸線處在元件 115<sub>1</sub> 及 115<sub>2</sub> 處成鏡像的配對可以相同方式構造，但各別配對之延續部分或甚至經理解為一對梳狀電極，在平行於 x 軸之軸線處彼此相對配置之配對的狀況下，例如，配對 114<sub>1</sub> 及 114<sub>2</sub> 或 114<sub>3</sub> 及 114<sub>4</sub> 以一方式形成使得第一對梳狀電極 114<sub>1</sub> 或 114<sub>3</sub> 以及第二對梳狀電極 114<sub>2</sub> 及 114<sub>4</sub> 之可移動梳狀電極 114b<sub>i</sub> 例如使用離散區 78 機械地彼此耦接且彼此電隔離。在一時間點處，此等梳狀電極可藉此經歷互相不同的電位 +UDC 及 -UDC。MEMS 可經組配以將時變電位(亦即電位 UAC)施加至第一對及第二對中之靜止梳狀電極 114a<sub>i</sub>。

【0144】 不管此上下文中所描述之其他細節，梳狀電極 114a<sub>1</sub> 至 114a<sub>4</sub> 可具有以不同於圖 12a 至圖 12d 中之方式施加至其的變化電位 UAC，而安置於其間之梳狀電極 114b<sub>1</sub> 至 114b<sub>4</sub> 可具有分別以配對 114b<sub>1</sub> 及 114b<sub>3</sub> 以及 114b<sub>2</sub> 及 114b<sub>4</sub> 施加至其之不同電位 +UDC 及 -UDC。可用於此目的之電壓可對應於其他實施例

實例，且例如就量值而言處於 0.1 V 及 24 V 或更小之範圍內，其中+UDC 及-UDC 可用以指明在量值方面可能等於參考電位(例如接地或 0 V)但以符號方式反向提供之相對靜態電位。交變電位 UAC 可具有可變值且可在例如電位+UDC 與-UDC 之間來回切換，以便產生交變力。

【0145】 配對 114b<sub>1</sub> 及 114b<sub>3</sub> 以及 114b<sub>2</sub> 及 114b<sub>4</sub> 可各自彼此以電氣方式單獨地供應有電位，其中元件 115<sub>1</sub> 及 115<sub>2</sub> 分別地可在功能上協同地用於此，其分別機械地牢固地且電耦接至元件 119<sub>1</sub> 及 119<sub>2</sub>，但可例如藉由圖 12h 中所展示之絕緣區 121<sub>1</sub> 及 121<sub>4</sub> 與交互作用結構 24<sub>1</sub> 及 24<sub>2</sub> 電絕緣，該等絕緣區可形成為例如包含氧化物材料及/或氮化物材料。元件 115<sub>1</sub> 及 115<sub>2</sub> 允許例如自環繞的基底或其他連接可能性之不同且電絕緣區 122<sub>a</sub> 及 122<sub>b</sub> 簡單地轉遞電位。

【0146】 圖 12g 及圖 12h 中所展示之組配的優點為當 MEMS 14<sub>1</sub> 及 14<sub>2</sub> 經投影至彼此中時，交互作用結構之元件之間的相對較大空間可填充有主動結構之較大密度的元件。舉例而言，可設想將交互作用結構 24<sub>1</sub> 及 24<sub>2</sub> 或其元件或鰭片連接至其他鄰近致動器單元以獲得力之進一步增加。舉例而言，元件 115<sub>1</sub> 及/或 115<sub>2</sub> 可自梳狀電極 114a/114b 之中心區延伸超出交互作用結構 24<sub>1</sub> 及 24<sub>2</sub>，且在此處連接至電鏡單元。

【0147】 在圖 12h 中，以側向截面視圖展示元件之位置關係，其中省去梳狀電極 114b<sub>1</sub> 至 114b<sub>4</sub> 之表示。例示性地，尺寸 106<sub>1</sub> 經選擇介於成 400 μm 至 650 μm 之範圍內，但亦可使用其他尺寸。替代地或另外，尺寸 106<sub>2</sub> 為例如至少 30 μm 且至多 75 μm，但在此處亦可基於應用之要求實施其他值。剛性鰭片 38<sub>1</sub> 及 38<sub>2</sub> 可用於劃分空腔，且可形成沿著 y 方向間隔開之二個元件以節省材料及/或重量，但可容易地形成為一個共同元件。任擇地，鰭片 38<sub>1</sub> 及/或 38<sub>2</sub> 可用於機械地支撐梳狀電極 114a<sub>1</sub> 至 114a<sub>4</sub>，出於該目的，可提供例如電絕緣區 121<sub>2</sub> 或 121<sub>3</sub>。

【0148】 圖 13a 展示根據一個實施例之可移動分層配置或主動結構 130 之

例示性俯視圖，該可移動分層配置或主動結構可單獨或以多個來配置，例如以使本文中所描述的 MEMS 之交互作用結構偏轉。然而，此致動概念在本文中不受限制，但適用於包含分層結構及安置於分層結構中之空腔的任何 MEMS 中。主動結構 130 為包含三個橫桿 76<sub>1</sub> 至 76<sub>3</sub> 之可移動分層配置，該等橫桿可例如在結構上與圖 5a 及圖 5b 之橫桿 76 類似或相同。該等橫桿亦在離散部分 78a<sub>1</sub>、78a<sub>2</sub>、78b<sub>1</sub> 及 78b<sub>2</sub>、相對於橫桿 76<sub>3</sub> 固定橫桿 76<sub>1</sub> 之離散部分或絕緣元件 78a<sub>1</sub> 及 78a<sub>2</sub> 以及相對於橫桿 76<sub>3</sub> 固定橫桿 76<sub>2</sub> 且使其絕緣之離散部分或絕緣元件 78b<sub>1</sub> 及 78b<sub>2</sub> 處相對於彼此電絕緣且固定。各自在二個鄰近橫桿 76<sub>1</sub> 與 76<sub>3</sub> 或 76<sub>2</sub> 與 76<sub>3</sub> 之間之二個離散區之數目係例示性的，且可為至少 2 之任何數目，例如 2、3、4、至少 5、至少 7、至少 10 或更多。

【0149】可移動層結構經調適以回應於橫桿 76<sub>1</sub> 與 76<sub>3</sub> 之間的電位或回應於橫桿 76<sub>2</sub> 與 76<sub>3</sub> 之間的電位而沿著移動方向 122a 或 122b 執行移動。舉例而言，基於分層結構之固定，橫桿 76<sub>1</sub> 與 76<sub>3</sub> 之間的電位可引起沿著方向 122b 之移動，而橫桿 76<sub>2</sub> 與 76<sub>3</sub> 之間的該電位可引起沿著方向 122a 之移動。

【0150】換言之，偏轉之方向可在二個方向 122a 及 122b 二者上獲得。經施加張力可判定該方向。當在影像之方向上之上端係例如藉由使致動器連接至 78a<sub>1</sub> 之離散區域之區中的未展示之基底(在 y 方向上對應的介面)而固定時，橫桿 78a<sub>1</sub> 與 78a<sub>2</sub> 之間間隙可例如在呈現平面中引起順時針扭矩且因此在 122b 之方向上引起偏轉。當上端固定或相對於上端固定時，橫桿 78b<sub>1</sub> 與 78b<sub>2</sub> 之間間隙另一方面可產生逆時針扭矩且引起沿著方向 122a 之偏轉。

【0151】一方面用於固定橫桿 76<sub>1</sub> 及 76<sub>3</sub> 且另一方面用於固定橫桿 76<sub>2</sub> 及 76<sub>3</sub> 之離散區經配置成沿著可移動層配置 130 之方向 124 沿著軸向路線彼此偏移。此可理解為意謂在沿著方向 124 沿著軸向路線之至少一個區中，橫桿 78<sub>3</sub> 相對於鄰近橫桿 76<sub>1</sub> 或 76<sub>2</sub> 固定，而在此區中，該橫桿不相對於另一相對橫桿固定。

【0152】 僅僅作為實例，諸如在圖 2 之 MEMS 20 中，方向 122a 及 122b 可經配置成平行於 y 方向，而方向 124 可經配置成垂直於 y 方向且平行於 x 方向。當每日層配置 130 至少用作本文中所描述的 MEMS 之主動結構 26 之部分時，對應的 MEMS 可在該層結構中具有孔口且可移動地配置於平面 14<sub>2</sub> 中以驅動經組配以與空腔中之流體交互作用的交互作用結構，使得交互作用結構之移動係與流體藉由至少一個孔口的移動因果地相關。主動結構接著機械地耦接至交互作用結構且經組配以使得主動結構與可移動層總成之電接點處的電信號分別地係與主動結構及可移動層總成之變形因果地相關，其中主動結構及可移動層總成之變形係與流體之移動因果地相關，諸如由於與流體之直接接觸或間接接觸，諸如經由交互作用結構。

【0153】 如圖 13a 中所展示，可移動層配置 130 可沿著平行於方向 124 之軸向路徑在不同方向上以多個曲率形成。舉例而言，橫桿元件中之每一者可根據鋸曲折圖案彎曲，且鄰近橫桿可具有實質上彼此平行之路線。

【0154】 舉例而言，間隔件或離散區 78a<sub>1</sub>、78a<sub>2</sub>、78b<sub>1</sub> 及 78b<sub>2</sub> 可安置於軸向路徑之曲率改變的外側上。舉例而言，可移動層配置 130 在離散區 78a<sub>1</sub> 之區中彎曲以隨後指向方向 122a，而在離散區 78b<sub>1</sub> 之區中，存在在方向 122b 上之另一方向改變。固定可在曲率改變之區域中在可移動層配置之各別外側上進行。

【0155】 圖 13b 展示示意圖，其中多個 N 個離散區設置於橫桿 76<sub>1</sub> 與 76<sub>3</sub> 之間，且多個 M 個離散區沿著平行於方向 124 之軸向路徑設置於橫桿 76<sub>2</sub> 與 76<sub>3</sub> 之間。可能但並非必然地，N 在數目上等於或不同於 M。可基於結構沿著 x 之所需的總長選擇數目。

【0156】 致動器(亦即移動層結構)之總長在該致動器用作主動元件時可受間隙(與蓋/處置晶圓之距離)及相關聯的豎直拉入(其中致動器觸摸蓋/處置層)限制。作為主動致動器，該總長受到個別單元中之橫向拉入限制或影響。相對地，

較短致動器可引起一側經夾持版本，此處最少僅存在 2 個單位單元，此允許廣泛範圍的值。

【0157】 舉例而言，可移動層結構之總長可作為主動聲音產生致動器在至少 50  $\mu\text{m}$  與例如至多 5 mm 之範圍、約 2.5 mm 之範圍內且在二側夾持之組配係較佳的，但亦可例如藉由防止豎直拉入之額外距離元件實施其他值。在感測應用中，對應的限制性亦可為較不重要的。

【0158】 舉例而言，作為驅動平面之總長可處於至少 200  $\mu\text{m}$  與至多 10 mm 之範圍內，其中此處較佳地考慮致動器夾持在二側之組配，且例如在來自圖 14c 之區域 78c<sub>1</sub> 中實施中心連接。較佳地，實施在 3 mm 與 4 mm 之間的範圍內之長度。然而，中心連接並非始終為必需的。圖 14e 及圖 14f 中展示雙側經夾持組配之其他實例。舉例而言，若致動器用作如圖 14e 中之驅動元件，則中心連接可為較佳的。若其用作用於聲音產生之主動元件，亦即其提供與流體之直接接觸，則選擇點對稱之致動器可為較佳的，如圖 14f 中所展示。

【0159】 作為主動聲音產生致動器，較長單元可導致較大偏轉。因此，對於此範圍中之此應用，離散範圍之較少數目係較佳的。作為驅動元件，該總長可為較大的。然而，太長的單元可限制電壓。此可由單元之數目最佳化。可取決於基本單元之選定長度來選擇單元之數目。

【0160】 當使用主動層結構作為主動聲音產生致動器(諸如直接與流體交互作用之致動器)時，可選擇至少 2 且至多 100 之數目 N 或 M，較佳地至多 50、至多 10 或恰好 2 之小數目。

【0161】 當諸如對於本文中所描述的交互作用結構，用作驅動元件時，離散區之數目可為至少 2 且至多 100，較佳地為至少 2 且至多 50，至少 2 且至多 10，且尤其較佳地至少為 2 且至多為 4，此取決於總長度及單元長度。

【0162】 離散區域或隔離島沿著 x 之延伸或尺寸可為至少 1  $\mu\text{m}$  且至多 100

$\mu\text{m}$ ， $15\ \mu\text{m}$ 之尺寸係較佳的。

【0163】安置於相同橫桿  $76_1/76_3$  或  $76_2/76_3$  之間之二個離散區域之幾何主體的幾何形狀，及中心及/或反曲點處之橫桿  $76_3$  之中間部分(其離散區域可任擇地經安置以固定另一對橫桿)可被稱作單位單元 126。舉例而言，單位單元  $126_1$  係由離散區  $78a_1$ 、 $78a_2$  及  $78b_1$  之頂點之例示性三角形形成，而單位單元  $128_1$  可由離散區  $78b_1$  及  $78b_2$  以及  $78a_2$  之另一例示性三角形的頂點形成。單位單元之幾何形狀可藉助於離散區之位置調整且可影響可移動層配置 130 之移動行為，諸如幅度、線性度及/或力。

【0164】換言之，圖 13a 及圖 13b 展示替代偏轉元件 130 之實施例實例。此處省去與環繞的基底之連接之說明，此係由於在較佳實施例實例中，此實施例實例旨在橫桿 76 與環繞的基底在二側之連接，此意謂可移動層配置可固定地夾持在二側。

【0165】例示性幾何形狀係藉由以曲折形狀配置的橫桿  $76_1$  至  $76_3$  形成，但可配置多於三個橫桿。實施例亦可具有橫桿 76 之其他幾何形狀。舉例而言，結合圖 18a 及圖 18b，展示基於圓形片段之另一可能的幾何形狀。亦即，橫桿可在區段中為筆直的或彎曲的。經展示之單位單元或基本單元 126 及/或 128 表示由離散區或隔離島組成之片段及桿片段。不同單位單元，諸如單位單元  $126_1$  及  $128_1$ ，亦可具有不同幾何形狀，如例如結合圖 14a 至圖 14f 所展示。實施例不限於三個桿之配置，但可包括多個桿。離散區 78 亦可被稱作隔離島或隔離間隔件。

【0166】對於能夠引起在方向 122b 上之偏轉之單位單元 128，橫桿  $76_2$  及  $76_3$  之片段及二個隔離島，尤其鄰近的隔離島  $78b_1$  及  $78b_2$  彼此連接。其他單位單元 128 在橫向方向上諸如沿著方向 124 配置，使得鄰近單位單元 128 具有共同隔離島 78b，如例如針對單位單元  $128_1$  及  $128_2$  所展示。取決於主動靜電啟動單元之定向，可產生不同偏轉方向。

【0167】主動元件、橫桿可成對或以較高數目以及以不同數目提供以達成各別方向 122a 或 122b。不對稱性可由電路補償。

【0168】圖 14a 展示根據一實施例實例之可移動層配置 130 之示意性俯視圖，該可移動層配置相較於圖 13a 之可移動層配置在曲率半徑之內側上分別具有  $i=1, \dots, I$  之絕緣島 78a<sub>i</sub> 及  $j=1, \dots, J$  之 78b<sub>j</sub>。

【0169】圖 14b 展示可移動層配置 130<sub>2</sub> 之示意性表示，其中離散區 78a<sub>i</sub> 及 78b<sub>j</sub> 根據圖 13a 之表示沿著方向 124 經配置在可移動層配置之彎曲路徑之曲率半徑的外側上，亦即與圖 14a 互補。所展示偏轉係例示性的而非限定性的。在圖 14a 及圖 14b 中，選擇偏轉以展示絕緣島 78 之位置對偏轉之影響，且對於恆定電壓指派係例示性的。舉例而言，在圖 14a 中，假設橫桿 76<sub>1</sub> 供應有 +DC 且橫桿 76<sub>2</sub> 供應有 -DC，而其間的橫桿 76<sub>3</sub> 供應有控制信號 AC，其作為實例亦為 -DC。以此方式，可實現僅 76<sub>1</sub> 與 76<sub>3</sub> 之間間隙係起作用的。取決於絕緣島之配置，此判定移動方向或所產生之彎曲力矩。由於僅一半在此例示性控制中起作用，因此僅在一個方向 122a (圖 14a) 或 122b (圖 14b，其中假設佈線係互補的，亦即 AC 信號係 +DC) 展示偏轉。可藉由其他電位或信號實現不同形式的移動。

【0170】圖 14c 展示可移動層配置 130<sub>3</sub> 之示意性俯視圖，該可移動層配置可經夾持至基底 62 之一個端部。任擇地，相對端 132 可自由移動。替代地，可移動層配置 130<sub>3</sub> 亦可經夾持在二側上。

【0171】可移動層總成 130<sub>3</sub> 可包括一或多個組合離散區 78c<sub>1</sub> 及 78c<sub>2</sub>，其中之每一者處之 76<sub>1</sub>、76<sub>2</sub> 及 76<sub>3</sub> 機械地固定在一起。

【0172】任擇地，互連元件或離散區可在 MEMS 平面 14<sub>2</sub> 中具有沿著離散區之間的方向 (例如沿著方向 124) 且平行於可移動層總成之軸向路徑的可變界限。舉例而言，圖 14c 之離散區分別地具有沿著垂直於方向 124 且平行於平面 14<sub>2</sub> 且平行於 x/y 平面之方向 124 的可變界限，其可基於例如梯形。亦即，離散

區可以梯形形狀形成。任擇地，離散區亦可提供於端部 132 處，該端部可提供橫桿 76<sub>1</sub>、76<sub>2</sub> 及/或 76<sub>3</sub> 至彼此之附接。

【0173】圖 14d 展示與可移動層配置 130<sub>3</sub> 相比縮短之可移動層配置 130<sub>4</sub> 之示意性表示。替代實施例設想沿著方向 124 實施較長可移動層配置。

【0174】圖 14e 展示根據一實施例實例之可移動層配置 130 之示意圖，該可移動層配置根據可移動層配置 130<sub>3</sub> 及 130<sub>4</sub> 經製造成沿著方向 124 較長且獨立於其固定地夾持在二側上。

【0175】圖 14f 展示根據一實施例實例之可移動層配置 130<sub>6</sub> 之示意圖，該可移動層配置亦固定地夾持在二側上。

【0176】層配置中之一或多者可具有對稱性。舉例而言，雖然可相對於垂直於方向 124 之對稱軸線 66 軸對稱或軸向對稱地形成可移動層配置 130<sub>5</sub>，但可移動層配置 130<sub>6</sub> 可例如相對於組合離散區 78c<sub>1</sub> 點對稱地形成，該組合離散區可例如表示可移動層配置相對於其他離散區之幾何中心。原則上，任何種類之對稱性為可能的。

【0177】換言之，肌肉單元之偏轉方向可主要取決於隔離島(例如,如由圖 14a 之離散區 78a<sub>1</sub>、78a<sub>2</sub> 及 78b<sub>1</sub> 以及 78b<sub>2</sub> 實施之「谷」或如由圖 14b 之離散區實施之「山」)之配置。谷可理解為位於對應的應曲率半徑之內部，而山可理解為位於曲率或方向之改變之外部。因此，具有相同電荷之肌肉單元可經設計成具有不同偏轉方向。經由連接器及二股線中之隔離島(組合離散區 78c，例如在圖 14c 中)之可能位置或例如沿著方向 124 夾持在二側上之致動器內之谷/山/谷或山/谷/山或山/谷/山/谷之路線的組合允許平衡電器中之致動器中心中之線性偏轉，如例如針對圖 14f 所展示。所使用基本單元之數目以及幾何形狀在實施例實例中可不同。所描述結構通常提供一種可能性：提供具有線性特性之可偏轉元件，相比於 BNED，該可偏轉元件相對於面積質心纖維(「平衡不對稱」NED"-BA-NED)不對

稱。當具有引起方向 122a 之一或多個主動股線的彎曲線之掃掠面積與由一或多個主動股線沿著方向 122b 引起的掃掠面積儘可能重合時，給出由可偏轉元件掃掠的區域的線性度。舉例而言，當中心電極及外部電極中之一者在每一狀況下具有相同電位並且另一電極在每一狀況下接地時，如例如結合圖 14a 及圖 14b 所描述，會產生此等位移區域。可經由基本單元 126 及/或 128 之幾何形狀調整電學屬性，諸如電控制之操作點電壓或相關聯的 AC 特性之斜率。舉例而言，較長的基本單元可用於以相對較低電壓達成較大偏轉。較長的基本單元意謂例如絕緣島之間沿著方向 124 之較大距離。此外，取決於基本單元 126 及 128 之組合，鏡像對稱致動器(參見圖 14e)或點對稱致動器(參見圖 14f)圍繞致動器中心產生。鏡像對稱具有如下優點：連接件右側及左側上之力矩圍繞圖 14c 中之 78c<sub>1</sub> 為平衡的。因而，個別基本單元 126 或 128 類似地表現。點對稱配置提供使用總長相同的較長基本單元且因此增加偏轉之優點。此外，僅具有一個主動股線的移位區域在此狀況下各自相同。此確保特性曲線之線性度。

【0178】可偏轉元件與環繞的基底 62 之連接可由基底 62 與基本單元 126 或 128 或基底 62 與絕緣島/離散區域之間的固定或彈性連接組成。至基底之連接元件可具有與電極或絕緣島相同或不同的硬度。相較於無軸向支撐之狀況，致動器之諧振頻率可在夾持處藉由所得軸向應力而增大。此軸向張力可例如藉由組合不同材料而累積。

【0179】此外，可將用於偏轉之被動元件引入致動器內以調整加強應變。舉例而言，長連接器 78c 或具有三個直的平行電極的區段。

【0180】可類似於圖 6a 及圖 6b 使用 BA-NED 致動器以用於構造肌肉/可偏轉元件 26。由於特性曲線之線性度，其亦適合用作用於直接聲音產生之元件，類似於 WO 2018/193 109 A1 中所寫入之基於 GEN1 A-NED (第一代不對稱 NED) 之揚聲器。技術上，此等致動器提供電力電路系統可在致動器平面內進行的優

點。另外，對於在該等致動器之間路由電信號不需要分區。因此，致動器之填充密度可增加。一般而言，可藉由選擇島位置而將 BA-NED 夾持於一側或二側上(參見圖 14c 至圖 14f)。端對端置放之若干曲折股線再次產生 BA-NED 肌肉，如例如在圖 15 及圖 16 中所展示。若相同電位差由於佈線的選擇而施加至股線，如例如在圖 17 中所展示，則單元在其水平移動中阻擋彼此，此可引起長度在水平方向上之改變。

**【0181】** 對於平衡操作，亦即線性操作，在具有相同拓樸之串上產生相同靜電電位差。舉例而言，正及負 DC 偏壓電壓可與 AC 信號組合，或 AC 信號與反相信號及 DC 偏壓電壓組合。因此，每一肌肉之二分之一(具有相同單元拓樸之股線)在一個偏轉方向上起作用。此允許肌肉在二個方向上主動偏轉。重設力因此為靜電力。平衡行為允許移動之較高線性度。此意謂可移動層配置可經設計以移動可移動層配置之自由端部，例如沿著二個線性無關的方向(例如一方面方向 122a/122b 及另一方面方向 124)之端部 132 (具有或不具有離散固定)。

**【0182】** 所需電壓信號之數目仍可藉由對串分組來減少。因此，其他變型待選擇為具有相等島偏移之二串的倍數。可選擇電壓，使得電位差在具有相同拓樸之所有串上產生信號(或反向信號)。

**【0183】** 具有相同幾何形狀之其他肌肉區域亦可組合以實現肌肉之二維偏轉。舉例而言，具有旋轉 90° 的「磚圖案」之「磚圖案」肌肉允許在水平方向以及軸向方向上之移動。此允許電阻元件 24 沿著下方平面中的二個軸線行進。此類實施例適用於本文中所描述的所有實施例。

**【0184】** 圖 15 展示根據一實施例實例之可移動層配置 150 之示意圖，該可移動層配置具有至少第四桿，在所展示之實例中，亦具有第五桿 76<sub>4</sub> 及 76<sub>5</sub>。舉例而言，且獨立於選定桿之數目，亦可選擇離散區之方形橫截面，而非梯形離散區域。桿之較高數目亦為可能的，諸如至少 6 個、至少 7 個、至少 8 個、至少 10

個、至少 20 個或更多。

【0185】可移動層總成之離散區 78 可各自以不同方式沿著可移動層總成之軸向路徑針對鄰近橫桿 76<sub>4</sub> 及 76<sub>1</sub>、76<sub>3</sub> 及 76<sub>2</sub> 或 76<sub>5</sub> 及 76<sub>2</sub> 之配對而成對地配置。亦即，在一些配對之間，諸如 76<sub>4</sub>/76<sub>1</sub> 及 76<sub>3</sub>/76<sub>2</sub>，位置可為相同的，而對於其他配對，位置可為不同的。

【0186】圖 16 展示根據一實施例實例之可移動層配置 160 之示意性俯視圖，該可移動層配置可在結構上對應於可移動層配置 150。基於在可移動層配置 160 之一個端部 132 處的經描述互連及/或離散固定 78<sub>2</sub> 至 78<sub>5</sub>，可執行可移動層配置 160 沿著相反方向 124 或在該相反方向上之縮短或延長。

【0187】圖 17 展示根據一實施例實例之可移動層配置 170 之示意性俯視圖。可藉由適當地選擇絕緣區域 78 的位置來設定沿著方向 122a 及/或 122b 之移動。

【0188】根據所說明實施例，可移動層配置 170 之離散區 78 可各自沿著可移動層配置之中性纖維相對於對稱平面以鏡像對稱來配置。舉例而言，中性纖維大致沿著其中心線穿過中心橫桿 76<sub>3</sub>。本文中所描述的層陣列可形成本文中所描述的 MEMS 之致動器 26 的至少一部分，但亦可獨立於該致動器形成。舉例而言，本文中所描述的 MEMS 可形成為揚聲器、麥克風、超音波換能器、微驅動器或微型泵。

【0189】圖 18a 展示根據一實施例之可移動層配置 180<sub>1</sub> 之示意性俯視圖，其中橫桿 76<sub>1</sub> 至 76<sub>3</sub> 相對於彼此配置成截面彎曲。

【0190】圖 18b 展示另一可移動層配置 180<sub>2</sub> 之示意圖，其中橫桿 76<sub>1</sub>、76<sub>2</sub> 及 76<sub>3</sub> 之截面亦為彎曲的，但以不同方式調節離散區域 78 之位置。

【0191】實施例係基於以下認識：對於高聲壓之產生，不使用可主動變形元件來產生聲音或僅在很小的程度上使用可主動變形元件，而是向其提供被動

元件係有意義的。此情形提供如下優點：可以一方式將可變形元件設計成使得確保變形，且以一方式最佳化被動元件使得可實現高聲壓。根據第一態樣，產生了類似肌肉之致動器，其經配置於驅動平面中且其連接至另一層中之被動元件。相較於已知概念，此實現了聲壓位準之增加。其他態樣係關於經夾持在二側之致動器及/或可移動層配置，因此避免橫桿之自由振動端部處的至環繞的基底之間隙，從而可引起流體損耗。此可確保橫桿之移動保持自由且不受限制。此例如針對本文中所述的可移動層配置來描述且亦在圖 5a 及圖 5b 中展示。另一態樣可用於充當致動器以驅動第一態樣之被動元件。此係因為二個態樣均執行相同任務。然而，第二態樣之特徵可在不與被動元件相關聯之情況下獨立。

**【0192】** 所描述實施例之特徵在於相較於已知概念，小或最小晶片區域之聲壓位準之增加。基於半導體材料之組件之成本高效生產可因此連同基礎晶圓之區域的高至最佳利用率而一起實現。藉由本發明實施例解決的任務因此將展示可如何利用晶片體積來產生高聲壓位準的解決方案或將特別敏感。實施例實例之核心為驅動位準與聲音產生位準分離。因此，可最佳地設計聲音產生元件。類似地，驅動平面之特徵在於以下事實：致動器具有高填充密度且因此可在偏轉範圍內具有強力。

**【0193】** 需要微機械組件以將電信號轉換為機械動作，或反之亦然。在即將可變形元件之狀況下，元件之變形會產生電輸入信號。在此狀況下，可變形元件為致動器。類似地，亦可藉由分接產生於可變形元件之變形之電信號，而使此類可變形元件用作感測器。

**【0194】** 可變形元件為橫桿狀致動器，且係基於靜電、壓電、磁致伸縮及/或熱機械作用原理。

**【0195】** 組件為由至少一個前平面、一個結構平面及一個頂部平面組成之層堆疊。外來交換層之特徵在於以下事實：在此處配置驅動可變形元件所需之致

動器。各別層使用材料結合製程(例如結合)彼此結合。此產生組件中之聲學密封間隙。該等層具有導電材料，例如經摻雜半導體材料及/或金屬材料。可變形元件之主動元件係藉由來自電極之層的選擇性溶解而形成。舉例而言，被動元件係在該層中被動地溶解或以與剛提及之方式相當的方式藉由材料結合而接合。

**【0196】** 本文中所描述的態樣之實施例係關於：

## 1. 裝置

### 1.1. 致動器位準係與流體交互作用位準/結構位準分離

1.1.1. 優點：致動器平面中之填充密度較高，因此相比於之前，較高力可施加在致動器平面中。

1.1.2. 交互作用平面中之填充密度較高，因為不提供致動器，因此每一區域可移位較多流體。

### 1.2. 致動器位準含有可偏轉元件

1.3. 在較佳實施例中，可偏轉元件為經由電絕緣間隔件彼此連接之電極。

### 1.4. 可偏轉元件連接至環繞的基底

1.5. 不同電位經施加至鄰近電極，使得其朝向彼此或遠離彼此移動。

#### 1.5.1. 可調整力及經由電極幾何形狀及數目之偏轉

1.6. 用於可偏轉元件之配置之較佳的設計實例允許幾乎線性的偏轉行為

#### 1.6.1. 二個可偏轉元件與連桿(圖 1)對稱地連接

1.7. 流體交互作用平面含有連接至可偏轉元件之被動元件

1.8. 流體交互作用平面中之元件與流體交互作用且產生體積流

1.9. 在一較佳實施例中，被動元件為梳狀元件。

1.10. 梳狀電阻元件連同牢固地附接至基底之配合元件形成空腔

1.11. 電阻元件相對於反向元件之移動產生流體之體積流。

1.12. 經由處置及蓋晶圓中之下部出口開口及上部出口開口將流體傳送進出

空腔。

1.13. 在實施例實例中，電阻元件可經由連接元件連接至基底。

1.13.1. 可設計連接元件之幾何形狀及構形。此使得有可能影響振動電阻元件之所得頻率。

1.14. 相比於致動器平面，結構平面在其豎直定向上大得多

1.15. 結構平面可含有開口以將空腔連接至蓋及處置晶圓中之開口，藉此將空腔連接至環境。

1.16. 另一態樣係使用耦接元件以控制彈性電阻元件。

1.16.1. 電阻器元件較佳地在二側連接至基底

1.16.2. 耦接元件將可主動偏轉之移動轉移至彈性電阻元件

1.16.3. 存在在相反方向上操作之可偏轉元件、耦接元件及電阻元件之二個群組。換言之，其在第一時間間隔中朝向彼此移動，且在隨後的第二時間間隔中遠離彼此移動。

1.17. 另一態樣係使用耦接元件，其相比於 1.16 亦劃分成群組。基本原理為定子-梭子配置。

1.17.1. 群組由例如連接至線性地操作之可主動偏轉元件之四個彈性電阻元件組成。

1.17.2. 彈性電阻元件及可主動偏轉元件之群組係藉由由基底形成之邊界圍封。此邊界增加組件之總硬度。此外，邊沿電耦接至致動器且充當定子。在此實施例中，該梭子為可主動偏轉電阻元件。

1.17.3. 為了形成空腔，提供其他邊沿，其經配置在電阻元件之間。

1.17.4. 電阻元件藉由蓋及處置晶圓中之開口將流體傳送進出此等空腔

1.17.4.1. 該等開口不位於可主動偏轉元件之區域中，但位於該等可主動偏轉元件之側面。

1.17.4.2. 該等開口可如圖 5a 中來配置。

1.18. 另一態樣係使用連接至電阻結構之梳狀可偏轉元件。該原理對應於定子-梭子原理。

1.18.1. 環繞的基底為梳狀的。此區域具有對應於電阻元件之長度的 40%至 80%之長度。

1.18.2. 連接至電阻元件之梳狀可偏轉元件接合梳狀基底。

2. 作為替代可偏轉元件之裝置

2.1. 具有線性偏轉行為之可偏轉元件

2.1.1. 可獨立地與流體交互作用，

2.1.2. 亦可用作用於電阻結構之驅動器

2.2. 在實施例實例中，在二側連接至環繞的基底

2.2.1. 申請案 PCT/EP2018/078298 之改良係經夾持在二端處之致動器並不展現聲學短路，如夾持在一個端部處之致動器之可自由移動端部的狀況。

2.3. 可偏轉元件係藉由鏡像對稱基本單元沿著可偏轉元件之延伸方向的並置而形成。

2.4 基本單元由藉由絕緣間隔層連接之一系列桿狀電極組成。基本單元可包括沿著電極之整個長度之絕緣層，該等絕緣層不與電極直接機械接觸或電接觸。

2.5. 一實施例具有三個電極，其在俯視圖中具有山-谷-谷定向。

2.5.1. 第一單位單元係由二個絕緣間隔件「山」及一個絕緣間隔件「谷」形成。

2.5.2. 第二鄰近的基本單元對應地經配置為鏡像

2.6. 實施例具有多於三個電極(圖 12)

2.7. 相鄰電極具有不同電位，因此發生偏轉。

2.8. 可藉由絕緣間隔件之配置來調整偏轉特性。

2.9. 實施例亦包括在一側連接至基底之可偏轉元件。此允許產生長度之改變

3. 用於藉助於以上裝置移位流體之製程/方法

3.1 裝置可用於在環繞的流體中產生壓力改變(聲音，揚聲器)且偵測環繞的流體之壓力改變(聲音，麥克風)。

4. 實施例亦可為泵或微驅動器。

【0197】 儘管已結合裝置描述一些態樣，但應理解，此等態樣亦構成對應製程之描述，使得裝置之區塊或組件亦應理解為對應製程步驟或製程步驟之特徵。類似地，相對於或作為製程步驟所描述之態樣亦構成對應裝置之對應區塊或細節或特徵的描述。

【0198】 上文所描述之實施例僅僅說明本發明之原理。應理解，其他熟習此項技術者將顯而易見對本文中所描述之配置及細節的修改及變化。因此，預期本發明僅受限於下文之申請專利範圍之保護範疇，而非由本文中實施例之描述及解釋呈現的特定細節。

### 【符號說明】

#### 【0199】

10,20,40,50,60,100,120,120':MEMS

12:分層結構

12<sub>1</sub>,12<sub>2</sub>,12<sub>3</sub>:層

12<sub>4</sub>:頂部層

14<sub>1</sub>,14<sub>2</sub>:MEMS 平面

16:空腔

16a,16b,16c,16d,16t:子空腔

16a<sub>1</sub>,16t<sub>1</sub>,16a<sub>2</sub>,16t<sub>2</sub>,16b<sub>1</sub>,16b<sub>2</sub>,16c<sub>1</sub>,16c<sub>2</sub>,16d<sub>1</sub>,16d<sub>2</sub>:子空腔部分

18,18<sub>1</sub>,18<sub>6</sub>,18'a,18'b:開口

18<sub>7</sub>,18<sub>16</sub>,18<sub>17</sub>,18<sub>a1</sub>,18<sub>a2</sub>,18<sub>a4</sub>:孔口

18<sub>a</sub>,18<sub>b</sub>:額外群組

22:外部環境

24,24',24<sub>1</sub>,24<sub>2</sub>:交互作用結構

26:主動結構

26<sub>a</sub>,26<sub>b</sub>,94,94<sub>a</sub>,94<sub>b</sub>:致動器

28:機械耦接元件

28<sub>2</sub>,28<sub>3</sub>,28<sub>6</sub>,28<sub>b1</sub>,28<sub>b2</sub>:耦接元件

28<sub>a</sub>,28<sub>b</sub>:耦接組件元件

32:電信號或電位

34:距離或間隙

36:板結構或鰭型結構

36<sub>1</sub>,36<sub>2</sub>,36<sub>3</sub>,36<sub>4</sub>,36<sub>5</sub>,36<sub>6</sub>,36<sub>7</sub>,36<sub>8</sub>,36<sub>10</sub>,36<sub>11</sub>,36<sub>20</sub>,36<sub>i</sub>:可移動鰭片

38:剛性元件或鰭片

38<sub>1</sub>,38<sub>2</sub>,38<sub>3</sub>,38<sub>4</sub>,38<sub>5</sub>,38<sub>6</sub>:剛性結構

42,68,94:連接元件

44,44<sub>1</sub>,44<sub>2</sub>:懸架

46:導電桿/電極

46<sub>1</sub>,46<sub>2</sub>,46<sub>3</sub>,46<sub>4</sub>,46<sub>5</sub>,46<sub>6</sub>,46<sub>7</sub>,46<sub>8</sub>,48<sub>1</sub>,48<sub>2</sub>,48<sub>3</sub>,48<sub>4</sub>:電極

48:單元

52:中心區域

52<sub>1</sub>,52<sub>2</sub>,52<sub>3</sub>,52<sub>4</sub>,52<sub>5</sub>,52<sub>6</sub>,52<sub>7</sub>,52<sub>8</sub>:中心區

53<sub>a</sub>,53<sub>b</sub>,96:耦接棒

54:間隔部件

54<sub>1</sub>,54<sub>6</sub>,56,56<sub>1</sub>,56<sub>2</sub>,56<sub>8</sub>:間隔元件

58<sub>1</sub>,58<sub>2</sub>,58<sub>3</sub>,58<sub>4</sub>:電絕緣層

58,58a,58b:絕緣層

62:基底材料

64:流體或空腔

66,66<sub>1</sub>,66<sub>2</sub>:對稱軸線

72,72<sub>1</sub>,72<sub>2</sub>:電極總成

76,76<sub>1</sub>,76<sub>2</sub>,76<sub>3</sub>:橫桿

76<sub>4</sub>,76<sub>5</sub>:第五桿

78,78c,78c<sub>1</sub>,78c<sub>2</sub>:離散區

78<sub>1</sub>,78<sub>2</sub>,78<sub>3</sub>,78<sub>4</sub>,78<sub>5</sub>,78<sub>12</sub>:離散絕緣區

78a<sub>1</sub>,78a<sub>2</sub>,78b<sub>1</sub>,78b<sub>2</sub>:離散部分

78a<sub>i</sub>,78b<sub>j</sub>:絕緣島

82,82<sub>1</sub>,82<sub>2</sub>,82<sub>3</sub>,82<sub>4</sub>:電絕緣間隔元件

84:電絕緣機械互連層

86<sub>1</sub>,86<sub>2</sub>,86<sub>5</sub>:致動器列

88<sub>1</sub>,88<sub>n</sub>:流體通道

92:板元件或鰭片元件

92a:第一群組

92b:第二群組

92a<sub>1</sub>,92a<sub>2</sub>,92a<sub>3</sub>,92a<sub>4</sub>,92a<sub>5</sub>,92b<sub>1</sub>,92b<sub>2</sub>,92b<sub>3</sub>,92b<sub>4</sub>,92b<sub>5</sub>:鰭片元件

94a<sub>1</sub>,94a<sub>2</sub>,94a<sub>6</sub>,94b<sub>1</sub>,94b<sub>2</sub>,94b<sub>5</sub>,94b<sub>6</sub>:耦接部分元件或板元件

94a,94b:致動器或其群組

96a<sub>1</sub>,96a<sub>2</sub>,96b<sub>1</sub>,96b<sub>2</sub>:腹板

98:耦接點

102:額外連接

104,119<sub>1</sub>,119<sub>2</sub>:元件

106<sub>1</sub>,106<sub>2</sub>:界限

108:邊界

108<sub>1</sub>,108<sub>2</sub>:定子電極

112:可移動電極

112a,112b:梭子

114<sub>1</sub>,114<sub>2</sub>,114<sub>3</sub>,114<sub>4</sub>:梳狀電極

114a:固定電極

114a<sub>1</sub>,114a<sub>2</sub>,114a<sub>3</sub>,114a<sub>4</sub>:電極梳狀件

114a<sub>i</sub>:靜止梳狀電極

114b:梳狀可偏轉元件

114b<sub>1</sub>,114b<sub>2</sub>,114b<sub>3</sub>,114b<sub>4</sub>:梳狀電極結構

114b<sub>i</sub>:可移動梳狀電極

115,115<sub>1</sub>,115<sub>2</sub>:連接結構

116:參考狀態

117:平面

121<sub>1</sub>,121<sub>2</sub>,121<sub>3</sub>,121<sub>4</sub>:絕緣區

122<sub>a</sub>,122<sub>b</sub>:區

122a,122b:移動方向

124:方向

126,126<sub>1</sub>,128,128<sub>1</sub>,128<sub>2</sub>:單位單元

130:可移動分層配置或主動結構

130<sub>2</sub>,130<sub>3</sub>,130<sub>4</sub>,130<sub>5</sub>,130<sub>6</sub>,150,160,170,180<sub>1</sub>,180<sub>2</sub>:可移動層配置

132:相對端

$h_{\text{gap}}, h_{\text{ti}}$ :距離

$h_{\text{elec}}$ :沿著 y 方向之電極的尺寸

$l_{\text{cell}}$ :沿著 x 方向之肌肉單元的尺寸

$l_{\text{ti}}$ :沿著 x 方向之支撐位點的尺寸

**【發明申請專利範圍】**

**【請求項1】** 一種具有一分層結構之 MEMS，其包含：

一空腔，其安置於該分層結構中且通過該分層結構中之至少一個開口流體耦接至該分層結構之一外部環境；

一交互作用結構，其沿著一平面方向可移動地安置於一第一 MEMS 平面及該空腔中且經調適以與該空腔中之一流體交互作用，其中該交互作用結構之移動係與該流體通過該至少一個開口之移動因果地相關；

一主動結構，其安置於垂直於該平面方向之一第二 MEMS 平面中且機械地耦接至該交互作用結構；且經組配以使得該主動結構之一電接點處之一電信號係與該主動結構之一變形因果地相關；其中該主動結構之該變形係與該流體之該移動因果地相關；

其中該主動結構包含一致動器結構，該致動器結構經組配以在將一電信號施加至端子後引起該主動結構之變形，從而引起該交互作用結構之移動及該流體之移動。

**【請求項2】** 如請求項 1 之 MEMS，其中該主動結構包含靜電、壓電或熱機械電極結構。

**【請求項3】** 如請求項 1 之 MEMS，其中該主動結構包含彼此相對配置之二個致動方向且經調適以基於一第一致動信號在該第二 MEMS 平面中執行沿著一致動方向之一移動，且基於一第二致動信號在該第二 MEMS 平面中執行與該致動方向相對之一互補移動。

**【請求項4】** 如請求項 3 之 MEMS，其中該主動結構包含用於轉換該第一致動信號之一第一致動器及用於轉換該第二致動信號之一第二致動器。

**【請求項5】** 如請求項 4 之 MEMS，其中該第一致動器及該第二致動器彼此相對地配置，且用於提供與該交互作用結構之一機械耦接之一耦接元件經配

置於該第一致動器與該第二致動器與之間。

【請求項6】 如請求項 3 之 MEMS，其中該主動結構經調適以基於該第一致動信號在平行於該致動方向之一第一區中伸長且在一第二子區中縮短；且基於該第二致動信號在平行於該致動方向之該第一區中縮短且在該第二子區中伸長。

【請求項7】 如請求項 1 之 MEMS，其中該主動結構包含並排配置且分組成電極對之多個電極元件，鄰近電極對之主側經配置成面向彼此，且藉由內部間隔元件在該等電極元件之一中心區中在離散位置處連接。

【請求項8】 如請求項 7 之 MEMS，其中該主動結構經調適以基於一對電極之電極元件之間的一經施加電位而引起該第二 MEMS 平面內沿著一方向之一長度改變，其經傳輸至該交互作用結構。

【請求項9】 如請求項 1 之 MEMS，其中該主動結構包含各自具有第一電極元件及第二電極元件之多個電極對；且該等電極元件之一中心區中之鄰近電極對藉由內部間隔元件在離散位置處連接。

【請求項10】 如請求項 9 之 MEMS，其中一對電極之該第一電極元件及該第二電極元件藉由離散外部間隔元件機械地固定在該等電極元件之一邊緣區中；或

其中一對電極之第一電極部件及第二電極部件與一層結構機械地固定在一邊緣部分處；以調整該第一電極部件與該第二電極部件之間的一距離。

【請求項11】 如請求項 9 之 MEMS，其中該第一電極元件及該第二電極元件以至少  $0.01\ \mu\text{m}$  且至多  $200\ \mu\text{m}$  之一距離固定。

【請求項12】 如請求項 7 之 MEMS，其中藉由該等內部間隔元件調整之一距離具有至少  $0.01\ \mu\text{m}$  且至多  $200\ \mu\text{m}$  之一值。

【請求項13】 如請求項 7 之 MEMS，其中一電絕緣層安置於一對電極之鄰

近電極之間。

【請求項14】如請求項 13 之 MEMS，其中一電絕緣層經懸置在外部間隔元件之間，該等外部間隔元件經配置於該電極對之該等電極之一邊緣區中以機械地固定該等電極。

【請求項15】如請求項 13 之 MEMS，其中該絕緣層之一形狀適於該電極對之該等電極之一形狀，該等電極之該形狀在該 MEMS 之一被動狀態中經預引導。

【請求項16】如請求項 15 之 MEMS，其中一第一絕緣層子層遵循該電極對之一第一電極之預成型形狀，且一第二絕緣層子層遵循該電極對之一第二電極之預成型形狀；其中該第一絕緣層子層與該第二絕緣層子層之相對主表面之間的一距離沿著該第二 MEMS 平面中自一第一子層附接區至一第二子層附接區之一電極路徑係可變的。

【請求項17】如請求項 7 之 MEMS，其中該主動結構之電極對經配置成至少一列或彼此平行延伸之至少二列。

【請求項18】如請求項 7 之 MEMS，其中第一電極對在該第二 MEMS 平面中配置成平行於一第一方向之一第一列以實現該交互作用結構沿著一第一方向在該第一 MEMS 平面中之移動；且其中第二電極對在該第二 MEMS 平面中配置成平行於一第二方向之一第二列以實現該交互作用結構沿著一第二方向在該第一 MEMS 平面中之移動。

【請求項19】如請求項 7 之 MEMS，其中該等電極對形成為互鎖電極梳狀結構。

【請求項20】如請求項 19 之 MEMS，其中具有一電極梳狀結構之一第三電極係與該對電極相關聯以形成三個電極之一群組，該等電極中之一中間電極可基於該三個電極中之外部電極之交替激磁而在不同方向上偏轉。

【請求項21】如請求項 19 之 MEMS，其中該對電極包含一固定梳狀電極及

可相對於該固定梳狀電極移動之一可移動梳狀電極且為一第一對梳狀電極；該 MEMS 包含至少一第二對梳狀電極；其中該第一對梳狀電極及該第二對梳狀電極中之該等可移動梳狀電極彼此機械地耦接且彼此電絕緣，並且經調適以在一時間點經施加彼此不同之電位；其中該 MEMS 經調適以將一時變電位施加至該第一對及該第二對之靜止梳狀電極；且其中該 MEMS 經調適以將一時變電位施加至該第一對及該第二對之該等靜止梳狀電極。

**【請求項22】** 如請求項 1 或 2 之 MEMS，其中該主動結構包含機械地連接於一 MEMS 基底與一耦接元件之間的多個可移動層總成，該耦接元件機械地固定至該交互作用結構；

其中每一可移動層總成包含一第一桿、一第二桿，及安置於該第一桿與該第二桿之間且在其離散區處與該第一桿及該第二桿電隔離的一第三桿，且經調適以回應於該第一桿與該第三桿之間的一電位或回應於該第二桿與該第三桿之間的一電位而沿著一移動方向在該第二 MEMS 平面中移動，以移動該耦接元件。

**【請求項23】** 如請求項 22 之 MEMS，其中至少一第一可移動層總成及一第二可移動層總成在該耦接元件與該基底之間機械地串聯連接，其中該第一可移動層總成及該第二可移動層總成之一曲率分佈之梯度具有交替符號。

**【請求項24】** 如請求項 22 之 MEMS，其中多個可移動層配置在該第二 MEMS 平面中對稱地配置。

**【請求項25】** 如請求項 1 或 2 之 MEMS，其中該主動結構包含機械地連接於一 MEMS 基底與一耦接元件之間的一可移動層總成，該耦接元件機械地固定至該交互作用結構；

其中該可移動層總成包含一第一桿、一第二桿，及安置於該第一桿與該第二桿之間且在離散區處與該第一桿及該第二桿電隔離之一第三桿，且經調適以回應於該第一桿與該第三桿之間的一電位或回應於該第二桿與該第三桿之間的一

電位而在該第二 MEMS 平面中沿著一移動方向移動，以移動該等耦接元件，其中一方面用於固定該第一桿及該第三桿且另一方面用於固定該第二桿及該第三桿之該等離散區經配置成在該第二 MEMS 平面中沿著該可移動層總成之一軸向路徑彼此偏移。

【請求項26】如請求項 25 之 MEMS，其中該可移動層配置沿著該軸向路徑在不同方向上數次彎曲形成。

【請求項27】如請求項 26 之 MEMS，其中該等離散區經配置在一曲率改變之一外側上。

【請求項28】如請求項 25 之 MEMS，其中該等可移動層總成中之每一者經固定地夾持在二側上。

【請求項29】如請求項 25 之 MEMS，其中該第一桿在一組合離散區處另外連接至該第二桿及該第三桿。

【請求項30】如請求項 24 之 MEMS，其中沿著鄰近桿之離散區之間的一方向之一離散區具有在該第二 MEMS 平面中且平行於該可移動層總成之一軸向前進之一可變延伸部。

【請求項31】如請求項 25 之 MEMS，其中該等離散區經配置成相對於該可移動層總成之一幾何中心點對稱或相對於垂直於在該第二 MEMS 平面中之該可移動層總成之一軸向路徑且與該幾何中心相交的一對稱軸線軸對稱。

【請求項32】如請求項 25 之 MEMS，其中該可移動層總成包含至少一第四桿。

【請求項33】如請求項 32 之 MEMS，其中可移動層陣列之該等離散區各自以不同方式沿著該可移動層陣列之一軸向路徑針對鄰近桿之配對而成對地配置。

【請求項34】如請求項 32 之 MEMS，其中該可移動層陣列之該等離散區各

自沿著該可移動層陣列之一中性纖維相對於一對稱平面鏡像對稱地配置。

【請求項35】如請求項 25 之 MEMS，其中該等桿以一逐區段彎曲之方式形成在二個連續離散區之間的區段中。

【請求項36】如請求項 25 之 MEMS，其中第一可移動層結構在該第二 MEMS 平面中配置成平行於一第一方向之一第一列以實現該交互作用結構沿著一第一方向在該第一 MEMS 平面中之移動；且其中第二可移動層結構在該第二 MEMS 平面中配置成平行於一第二方向之一第二列以實現該交互作用結構沿著一第二方向在該第一 MEMS 平面中之移動。

【請求項37】如請求項 25 之 MEMS，其中該可移動層總成經組配以基於該第一桿、該第二桿及該第三桿之致動沿著二個線性獨立的方向來移動該可移動層總成之一自由端部。

【請求項38】如請求項 1 之 MEMS，其中該交互作用結構以電氣方式被動地形成。

【請求項39】如請求項 1 之 MEMS，其中該交互作用結構與一層結構之一機械耦接具有至多等於該交互作用結構之一硬度之一硬度。

【請求項40】如請求項 1 之 MEMS，其中該交互作用結構藉由撓曲的彈簧元件彈性地耦接至該分層結構。

【請求項41】如請求項 1 之 MEMS，其中除至該主動結構之一機械耦接件之外，該交互作用結構經配置成無懸架。

【請求項42】如請求項 1 之 MEMS，其中一限界結構經配置於該第一 MEMS 平面中，從而在該空腔中界定子空腔，其中該交互作用結構之鰭片結構可移動地配置於該等子空腔中。

【請求項43】如請求項 42 之 MEMS，其中一子空腔中之一鰭片結構至少部分地分離成一第一子空腔部分及一第二子空腔部分，其中基於該交互作用結構

之該移動，該第一子空腔部分之一體積係與該第二子空腔部分之一體積互補地可變。

**【請求項44】** 如請求項 43 之 MEMS，其中第一部分空腔部分流體耦接至一第一開口，且第二部分空腔部分流體耦接至一第二開口。

**【請求項45】** 如請求項 44 之 MEMS，其中第一孔口及第二孔口經配置成垂直於該平面方向或自部分空腔開始而經配置在該第一 MEMS 平面中。

**【請求項46】** 如請求項 45 之 MEMS，其中該第一孔口及該第二孔口安置於該第一 MEMS 平面中，且沿著垂直於該平面方向之一方向流體地連接至該分層結構之蓋罩層中之 MEMS 孔口。

**【請求項47】** 如請求項 1 之 MEMS，其中該交互作用結構包含多個板元件，該等多個板元件經配置成在該第一 MEMS 平面中彼此平行且垂直於該第一 MEMS 平面定向並且在相對邊緣區中連接至一 MEMS 基底。

**【請求項48】** 如請求項 1 之 MEMS，其中該交互作用結構包含多個板元件，該等多個板元件經配置成在該第一 MEMS 平面中彼此平行且垂直於該第一 MEMS 平面定向，該等板元件藉助於互連元件彼此成組地機械地耦接成板群組。

**【請求項49】** 如請求項 48 之 MEMS，其中不同板群組可相對於彼此偏轉。

**【請求項50】** 如請求項 48 之 MEMS，其經組配以使一第一板群組之板元件及一第二板群組之板元件反向偏轉，該等板元件彼此鄰近且交替地配置。

**【請求項51】** 如請求項 1 之 MEMS，其中該交互作用結構在遠離該主動結構之一區處機械地固定至一 MEMS 基底，且可撓地形成以在該主動結構偏轉後變形。

**【請求項52】** 如請求項 51 之 MEMS，其中一限界結構安置於該第一 MEMS 平面中，從而在該空腔中界定子空腔，該交互作用結構之可撓性元件可移動地安置於該等子空腔中以在該等子空腔中變形。

【請求項53】如請求項 52 之 MEMS，其中一子空腔中之一可撓性部件至少部分地分離成一第一子空腔部分及一第二子空腔部分，其中基於該交互作用結構之該移動，該第一子空腔部分之一體積係與該第二子空腔部分之一體積互補地可變。

【請求項54】如請求項 1 之 MEMS，其中該交互作用結構藉由一機械耦接而耦接至該主動結構，該機械耦接具有沿著該平面方向之一機械硬度，其比該交互作用結構至該分層結構之一機械耦接大至少 3 倍。

【請求項55】如請求項 1 之 MEMS，其中一耦接元件將該主動結構機械地固定至該交互作用結構，且調整該主動結構與該交互作用結構之間的一距離。

【請求項56】如請求項 55 之 MEMS，其中該距離為至少 0.1  $\mu\text{m}$  且至多 20  $\mu\text{m}$ 。

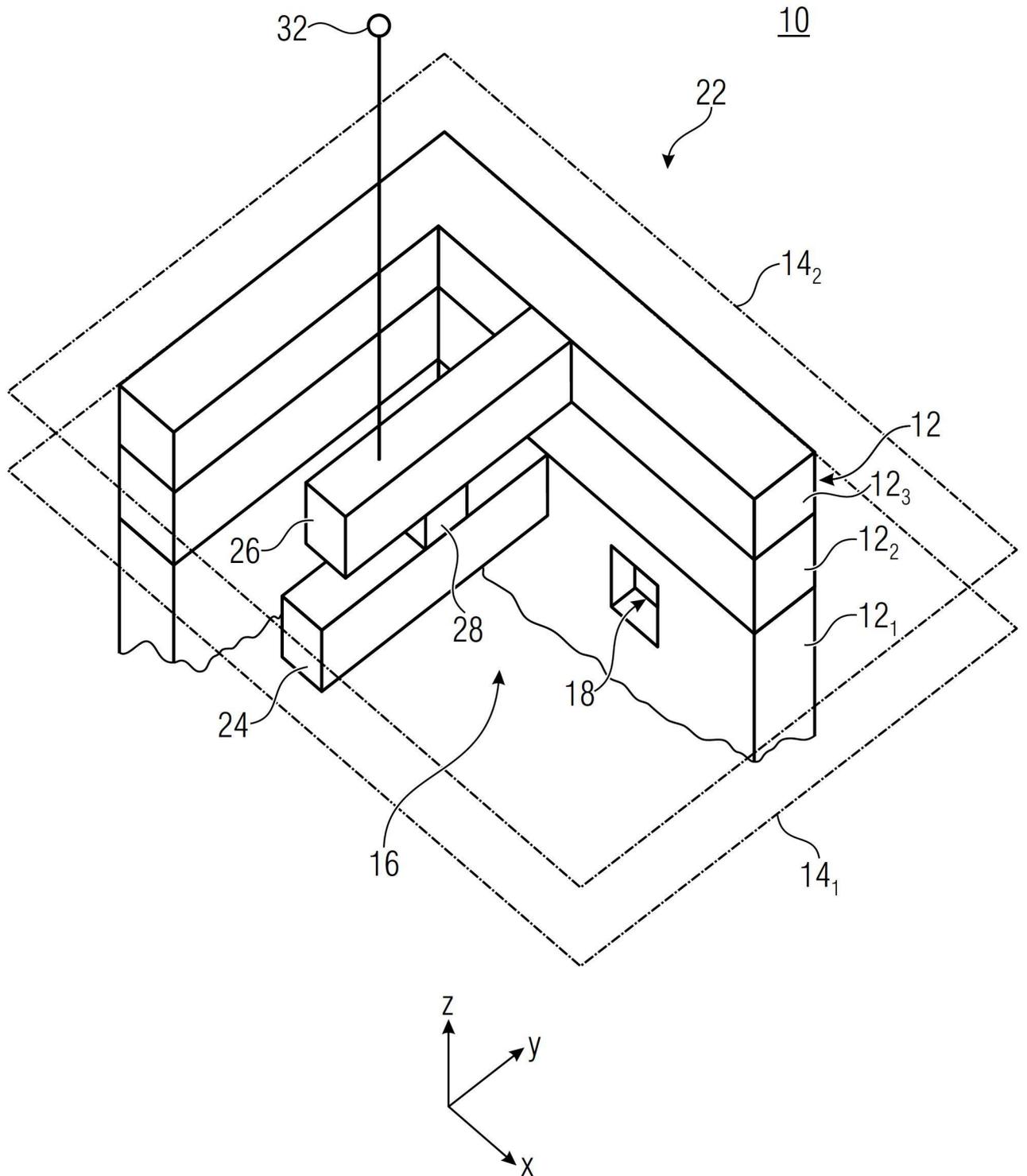
【請求項57】如請求項 55 之 MEMS，其中一電絕緣材料安置於一間隔區中。

【請求項58】如請求項 56 之 MEMS，其中該耦接元件之一機械硬度對應於該主動結構及/或該交互作用結構沿著該平面方向之一機械硬度；或小於該主動結構及/或該交互作用結構之該機械硬度。

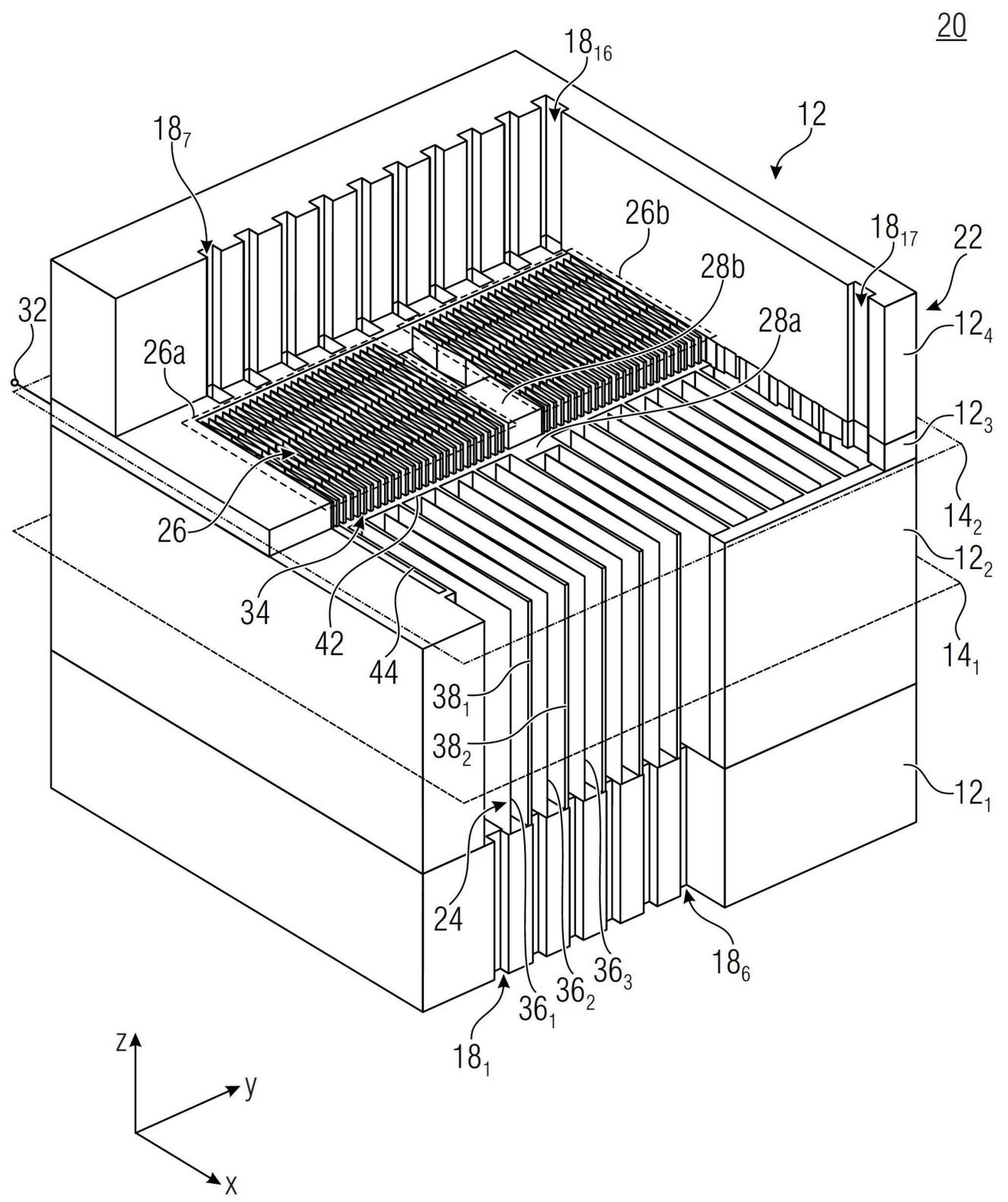
【請求項59】如請求項 1 之 MEMS，其形成為一揚聲器、麥克風、超音波換能器、一微驅動器或微型泵。

【請求項60】一種使一流體移位之方法，該方法包含以下步驟：  
操作包含如請求項 1 之特徵之一 MEMS。

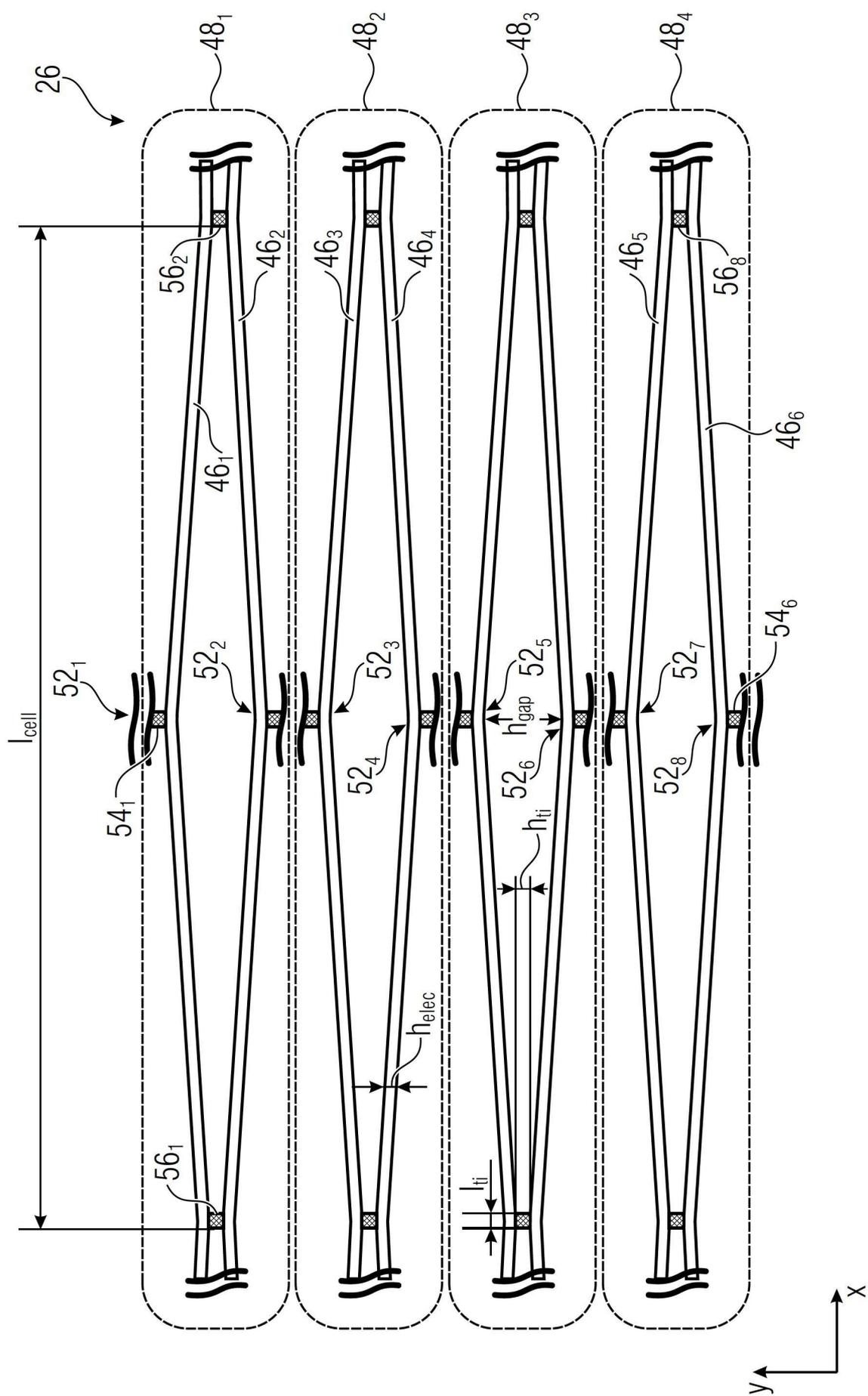
【發明圖式】



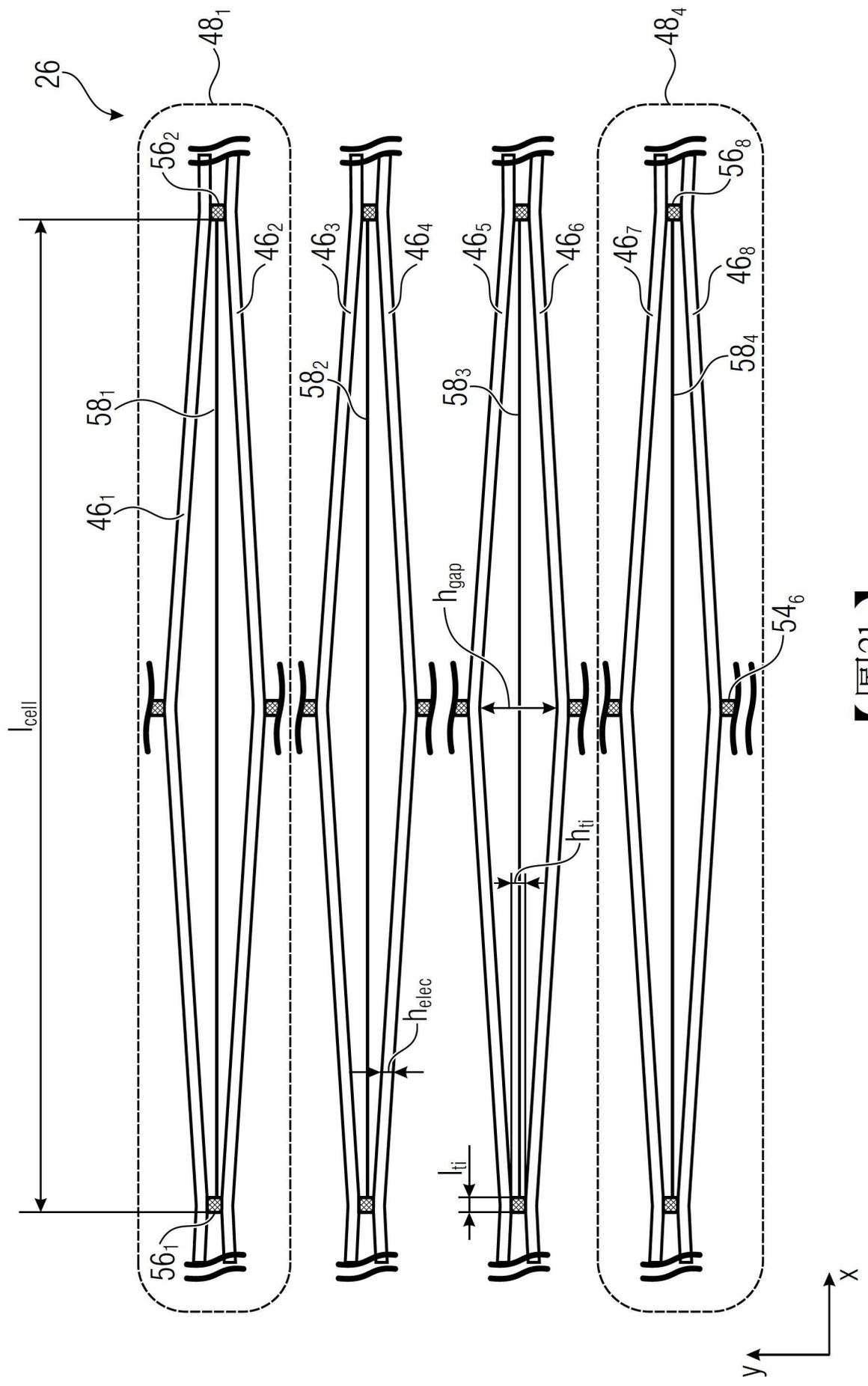
【圖1】



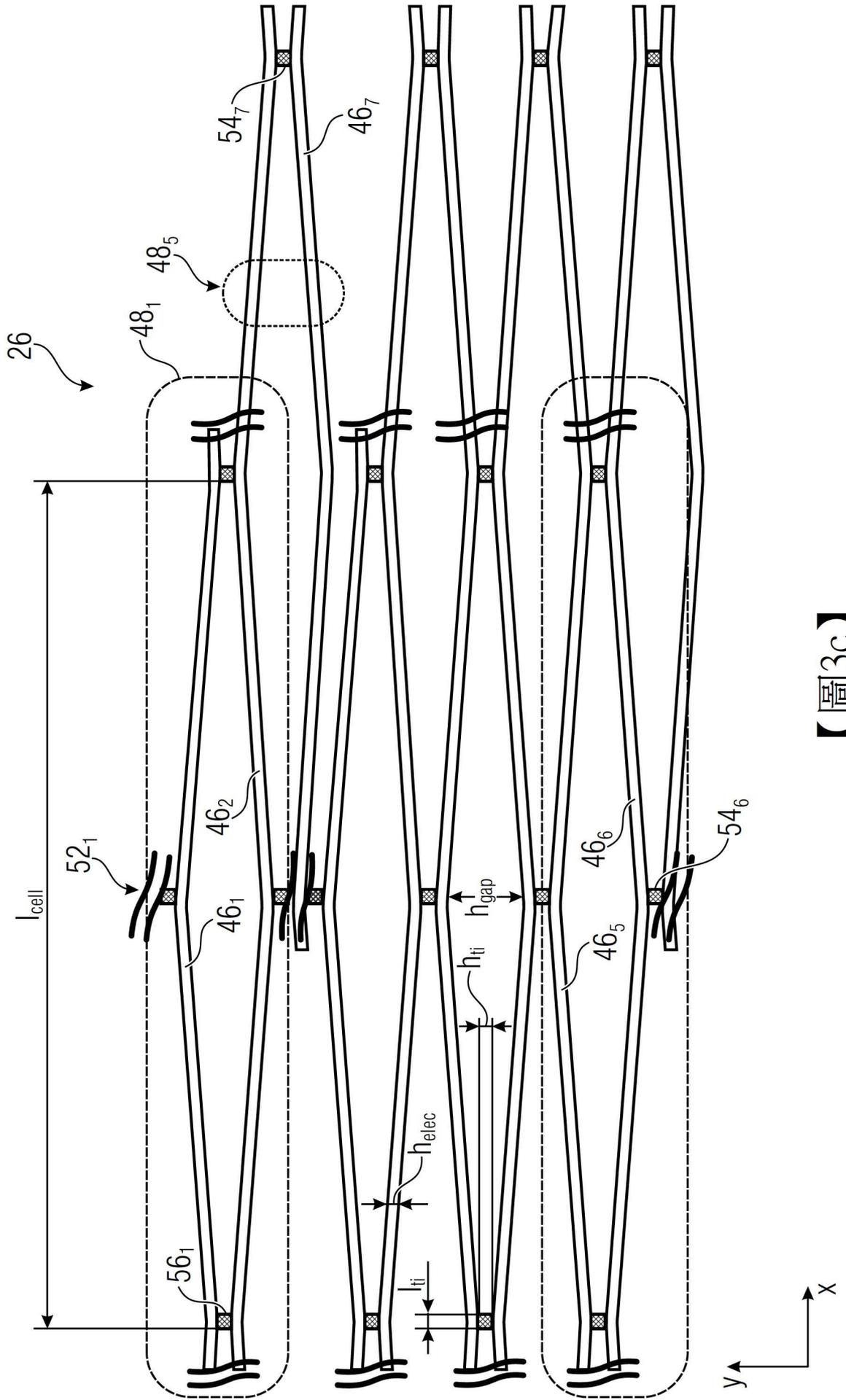
【圖2】



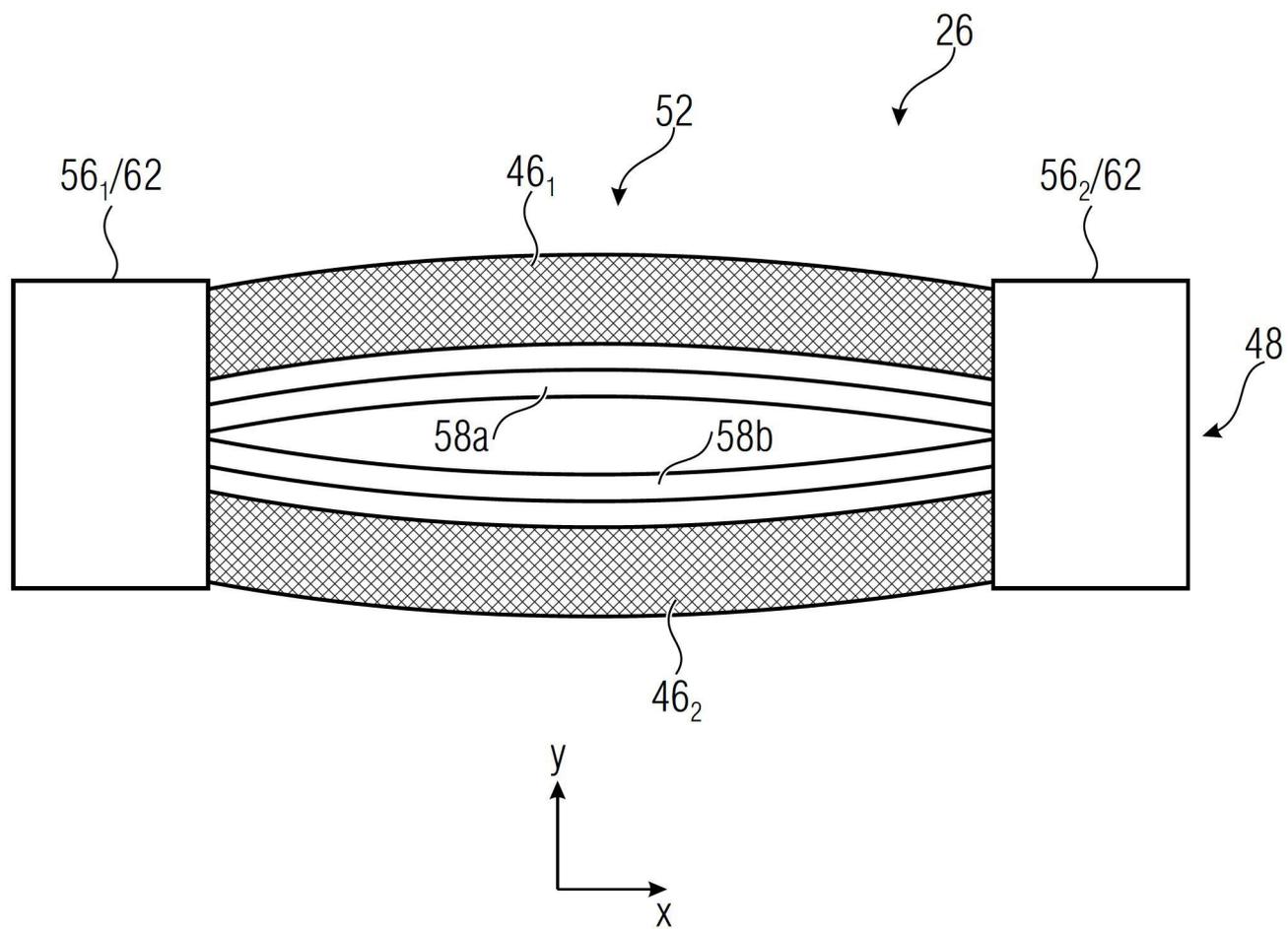
【圖3a】



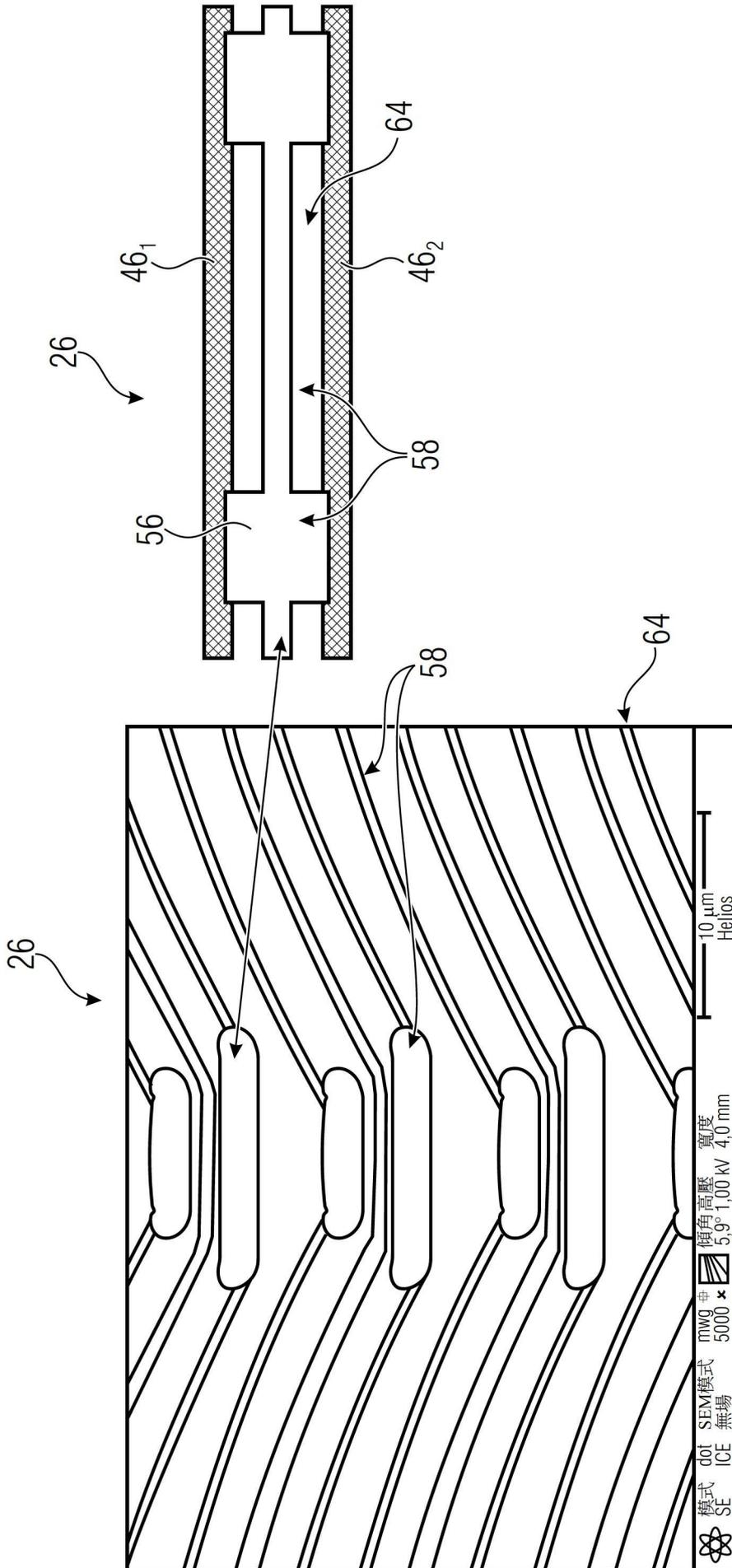
【圖3b】



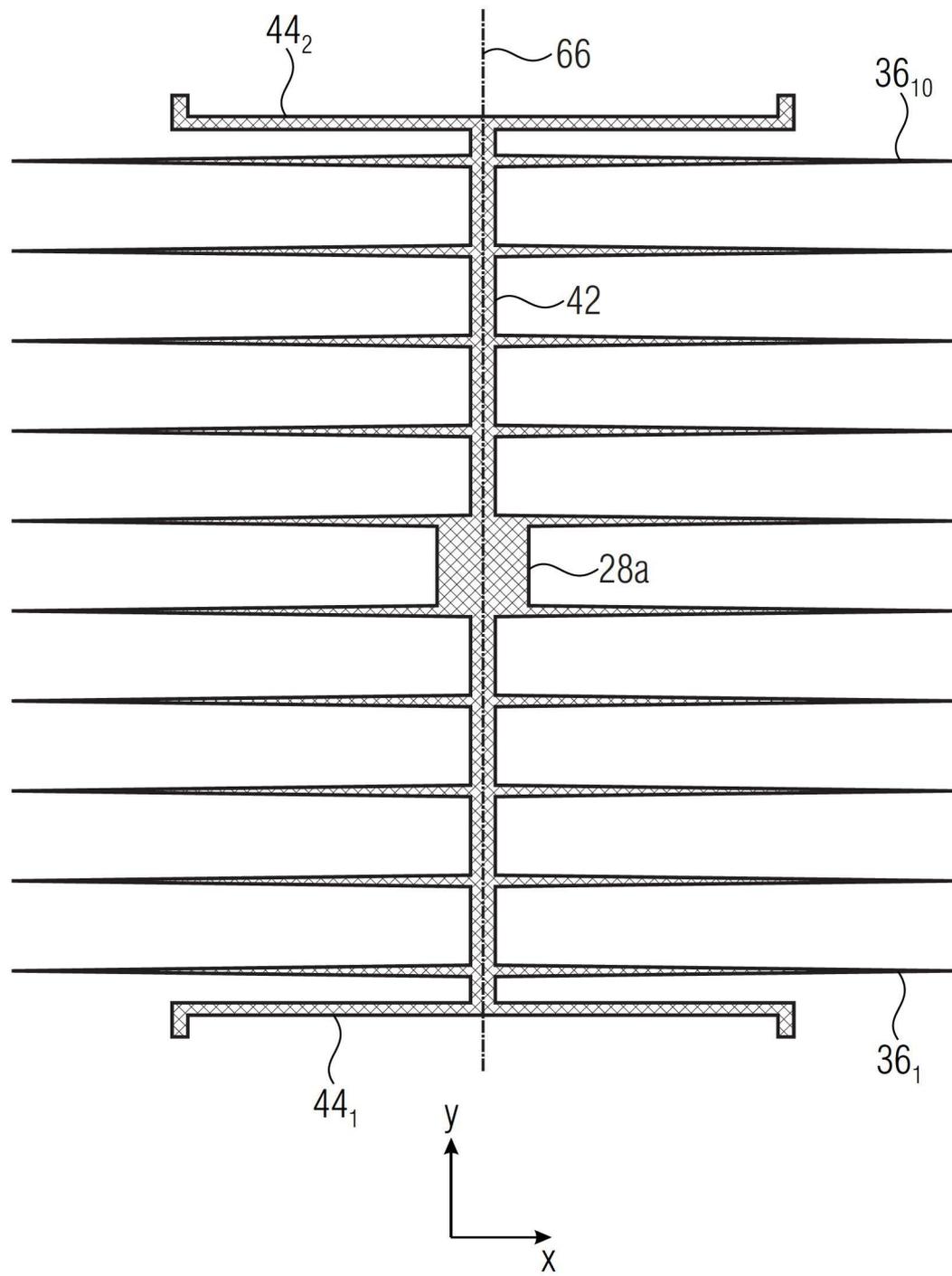
【圖3c】



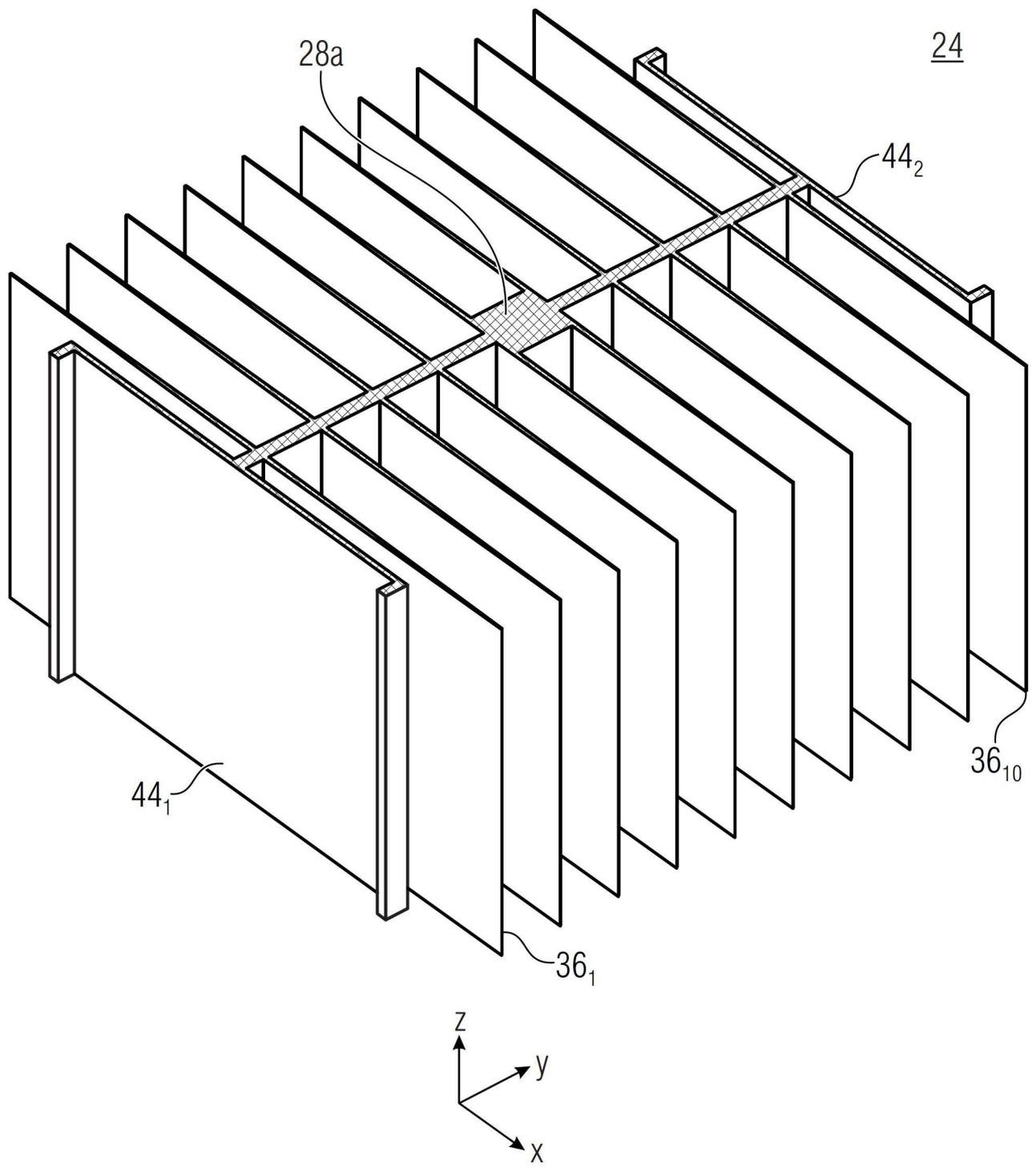
【圖3d】



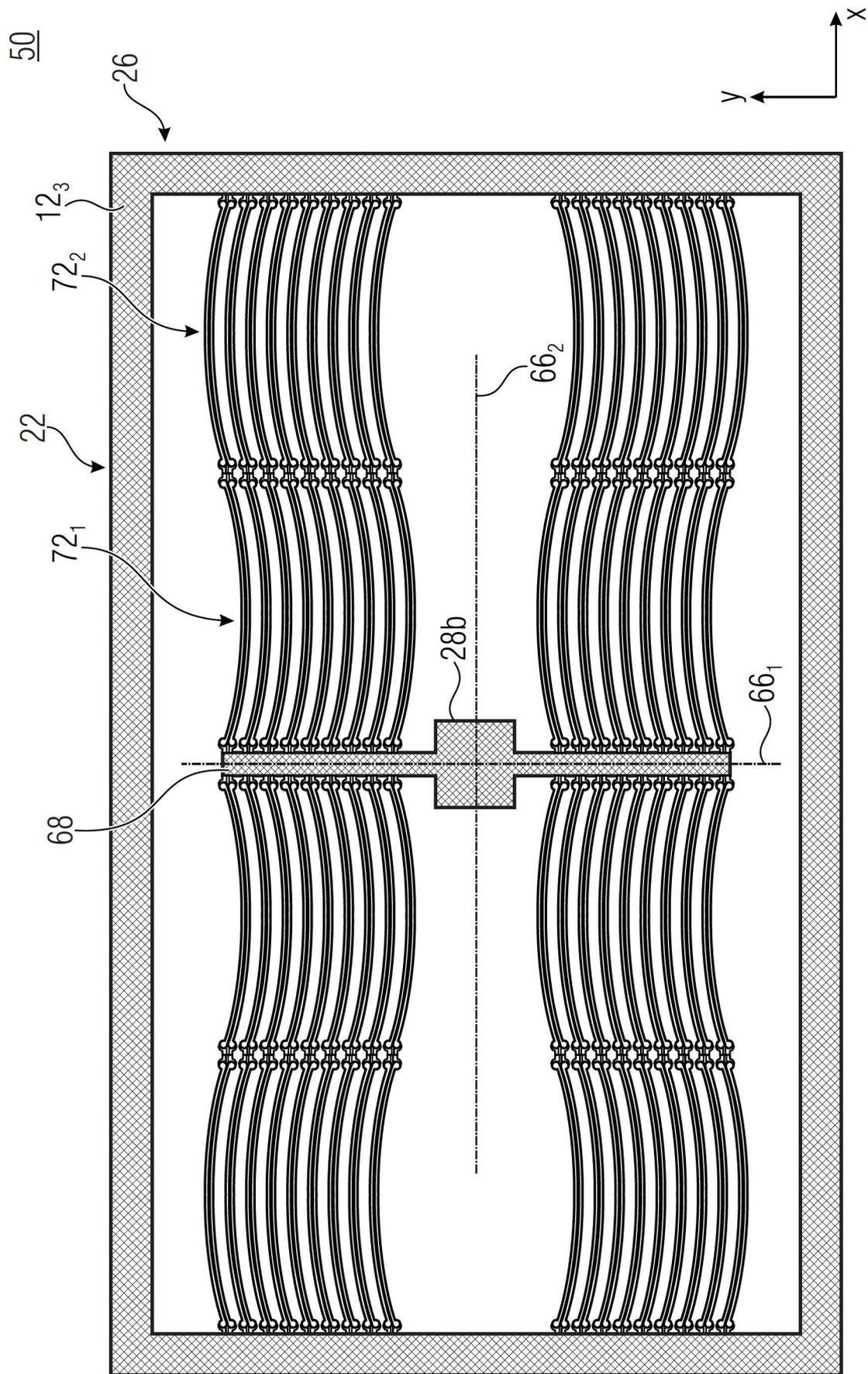
【圖3e】



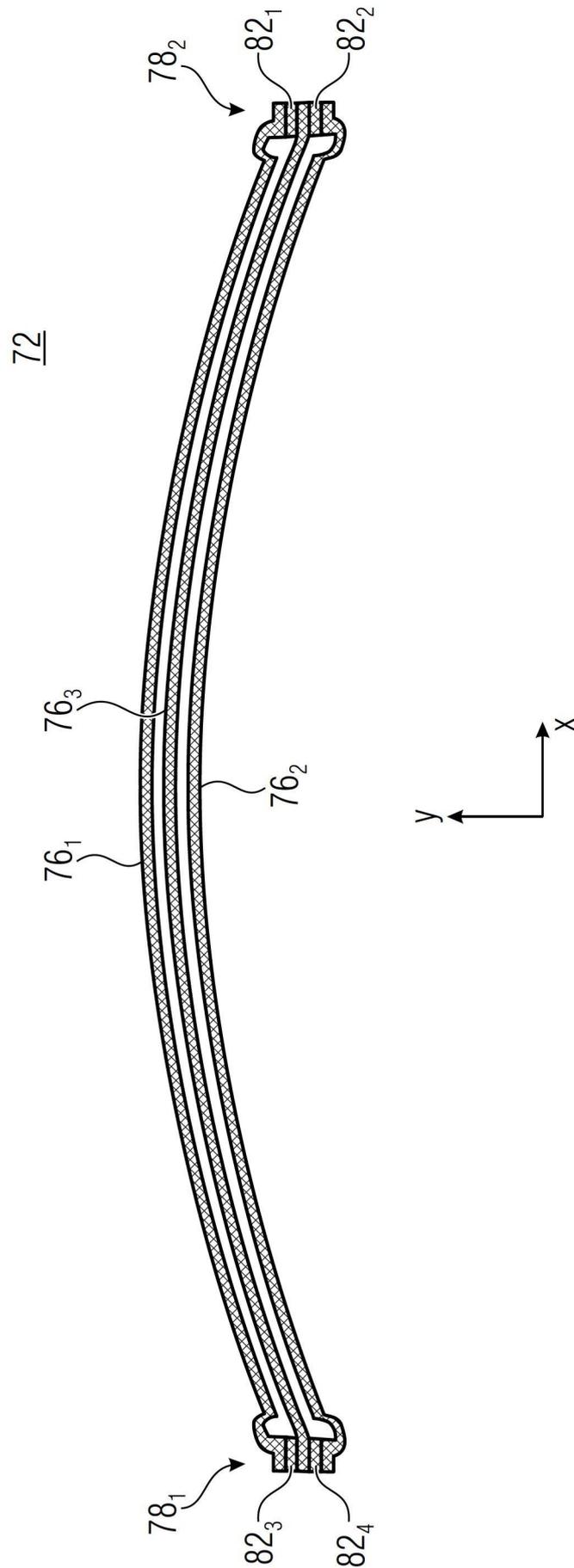
【圖4a】



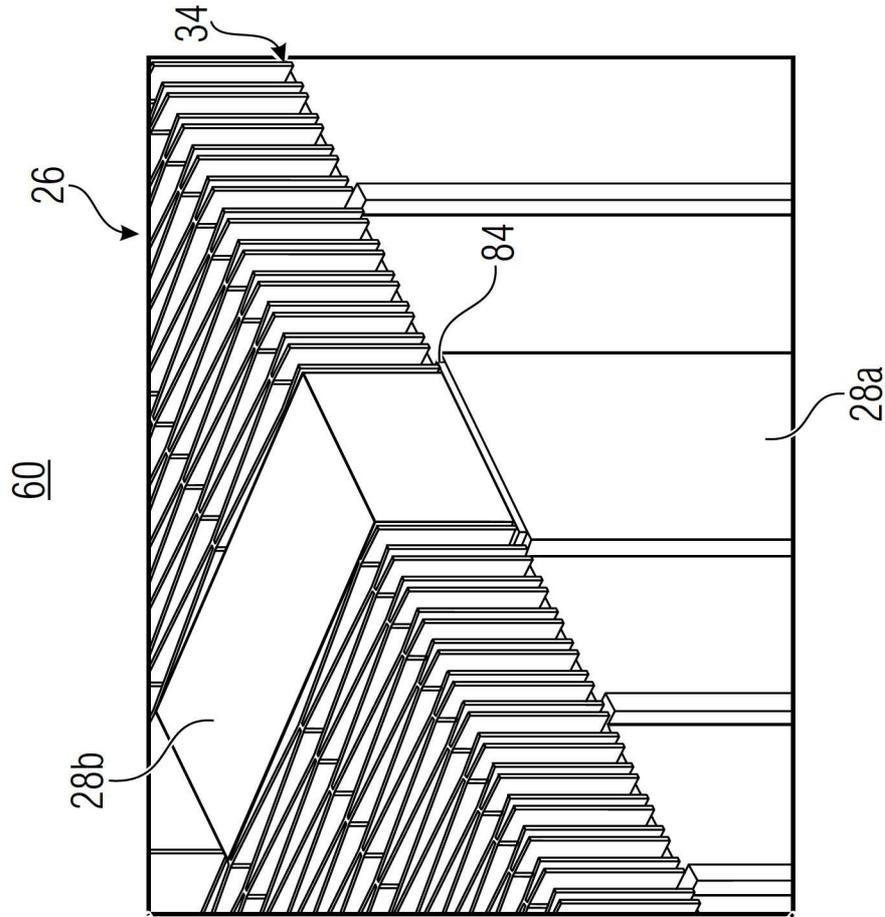
【圖4b】



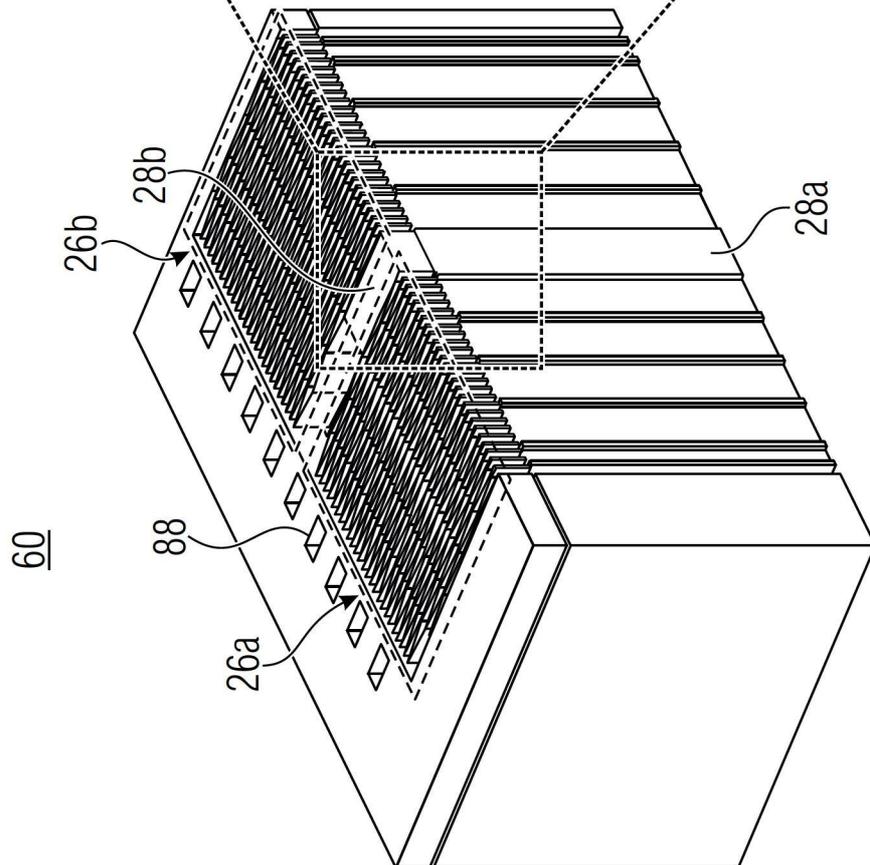
【圖5a】



【圖5b】

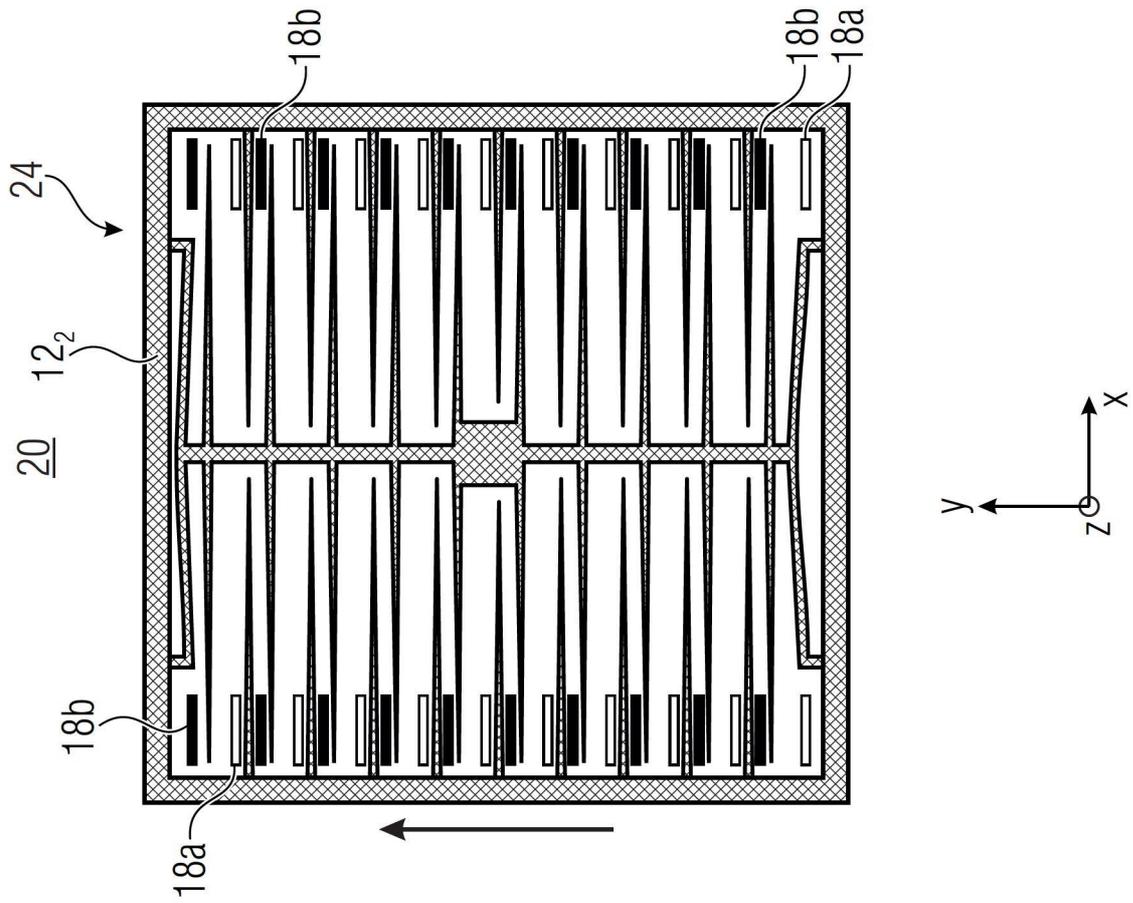


【圖6b】

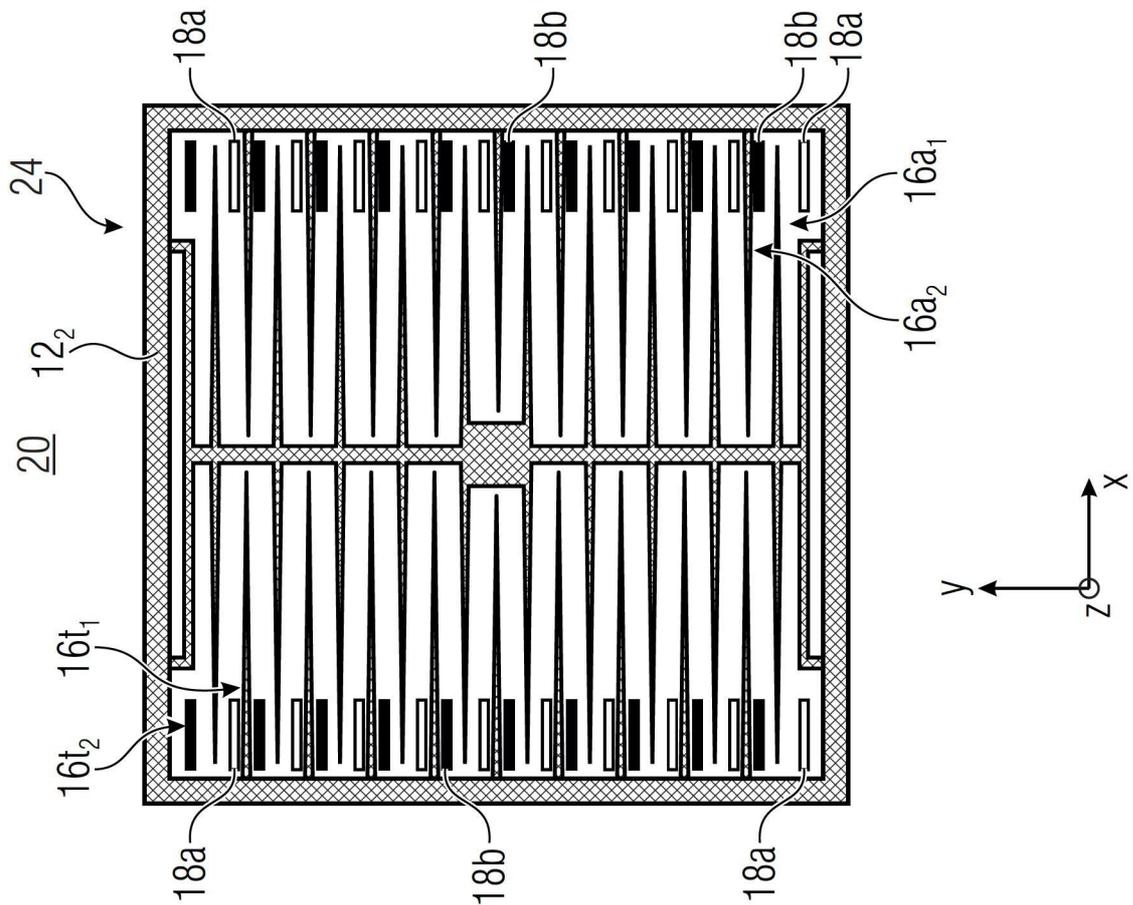


【圖6a】

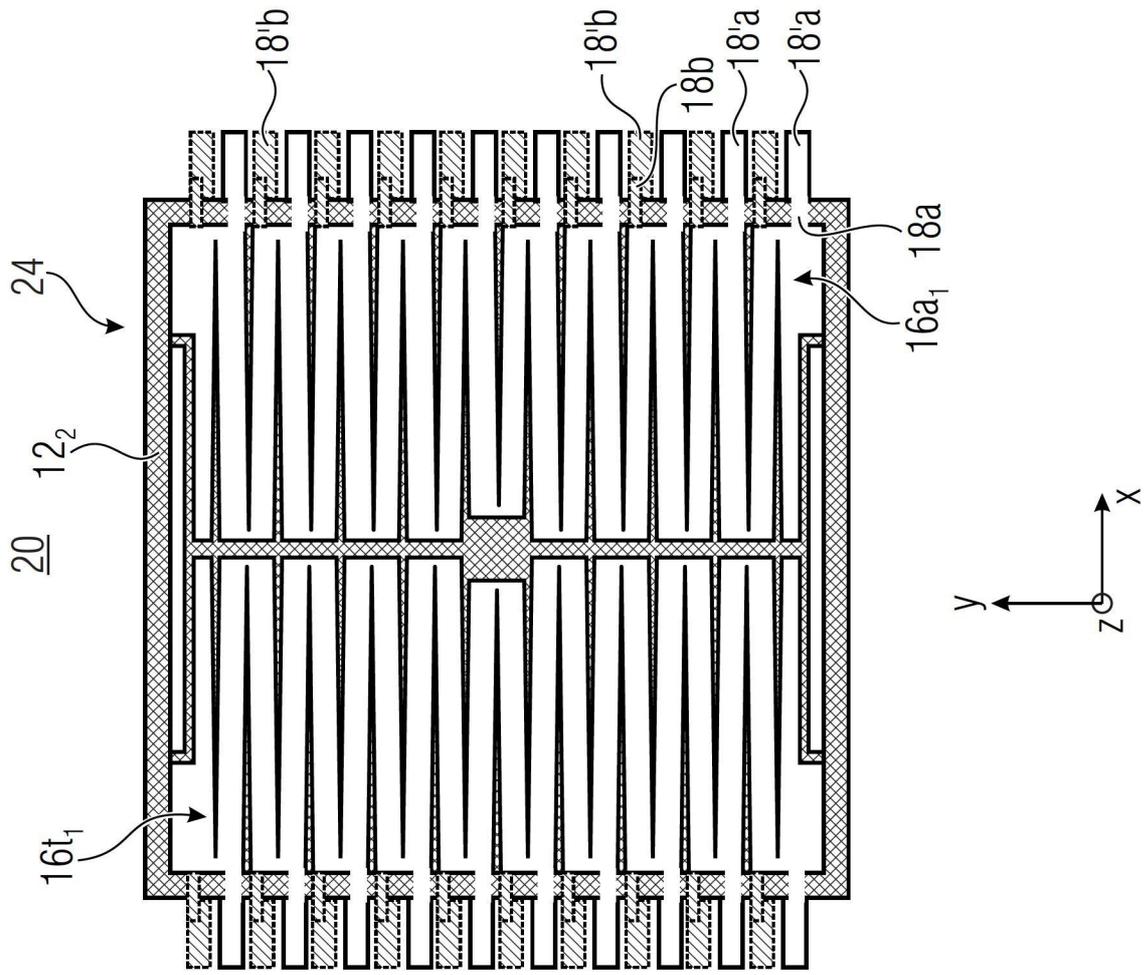




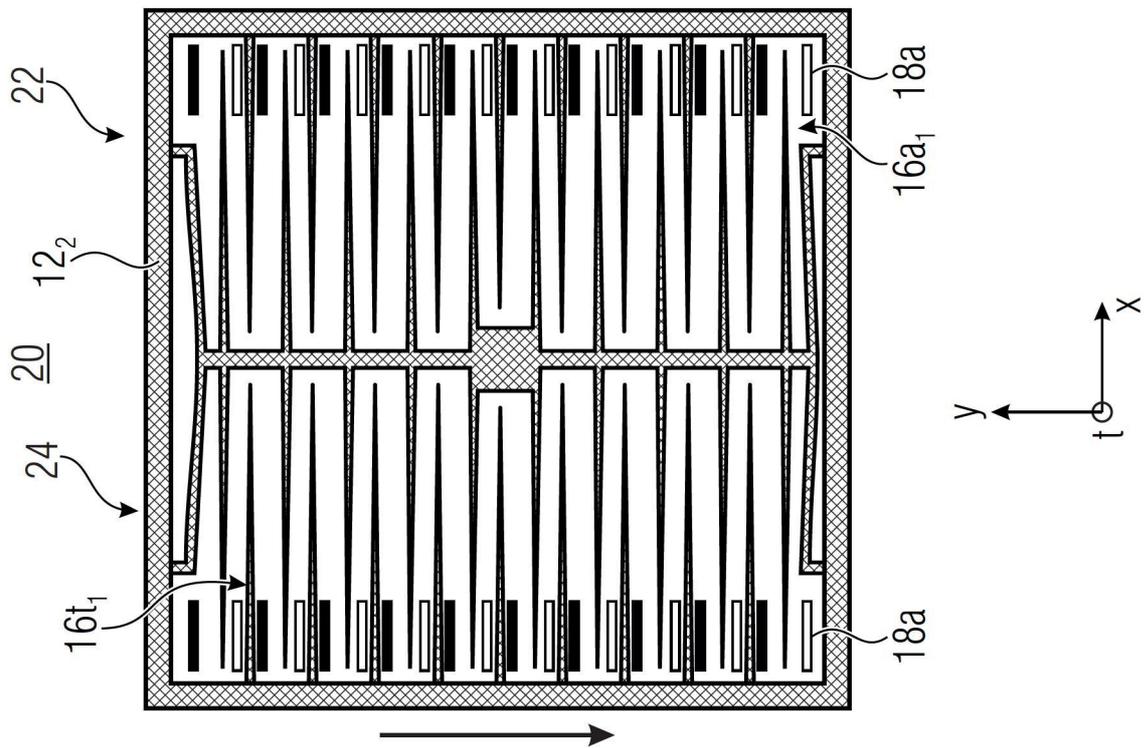
【圖7e】



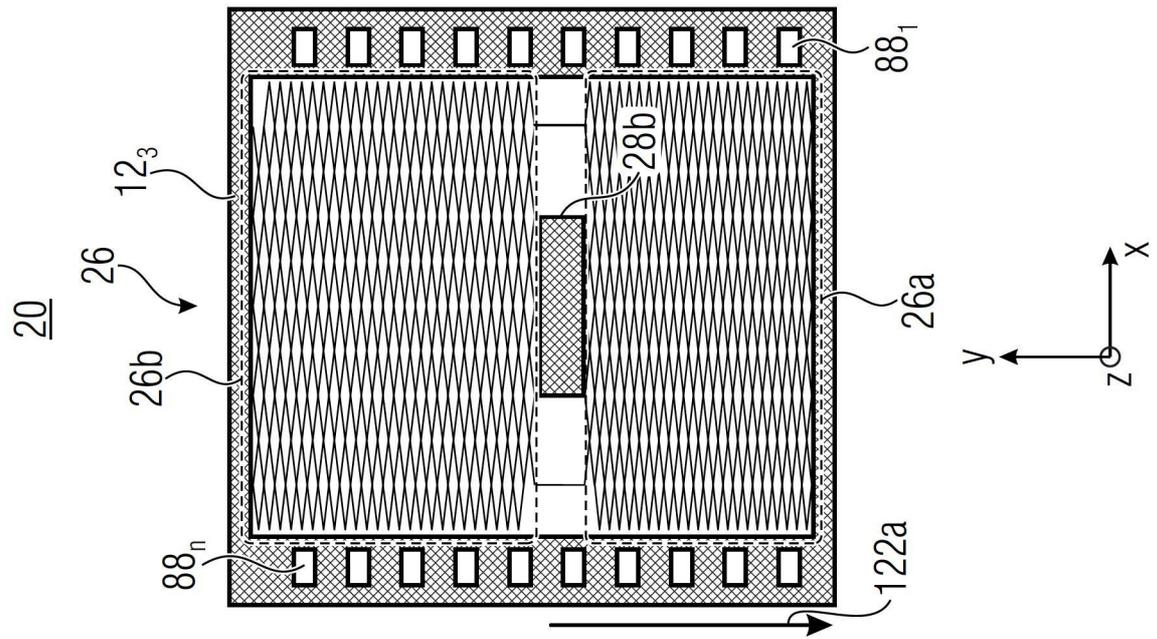
【圖7d】



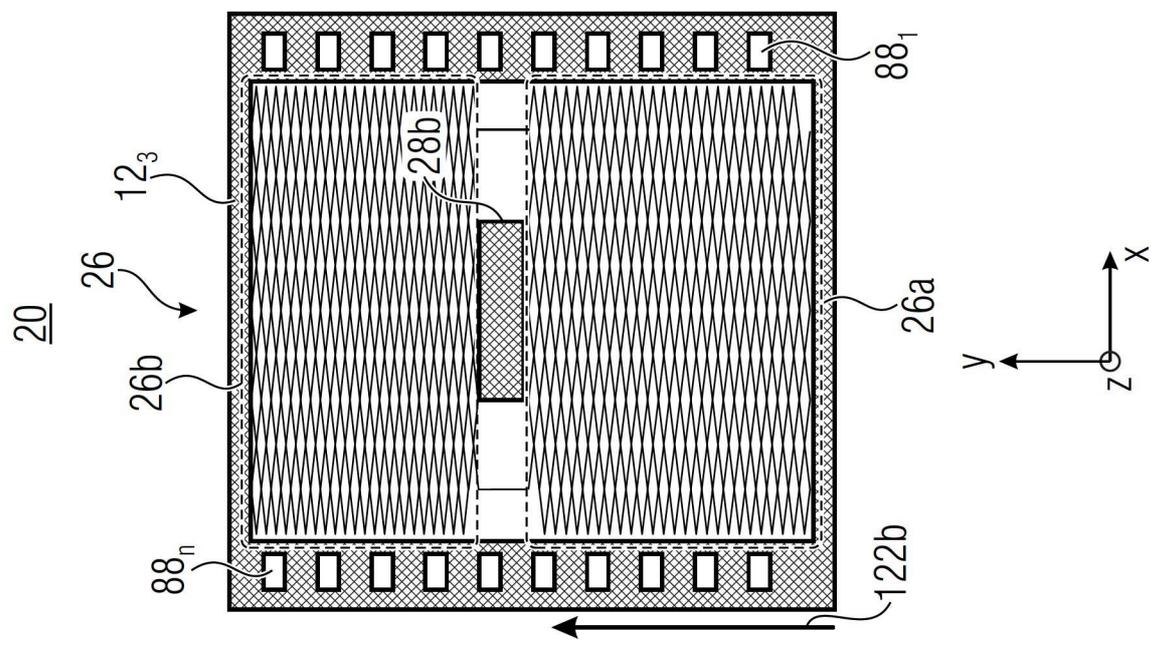
【圖7g】



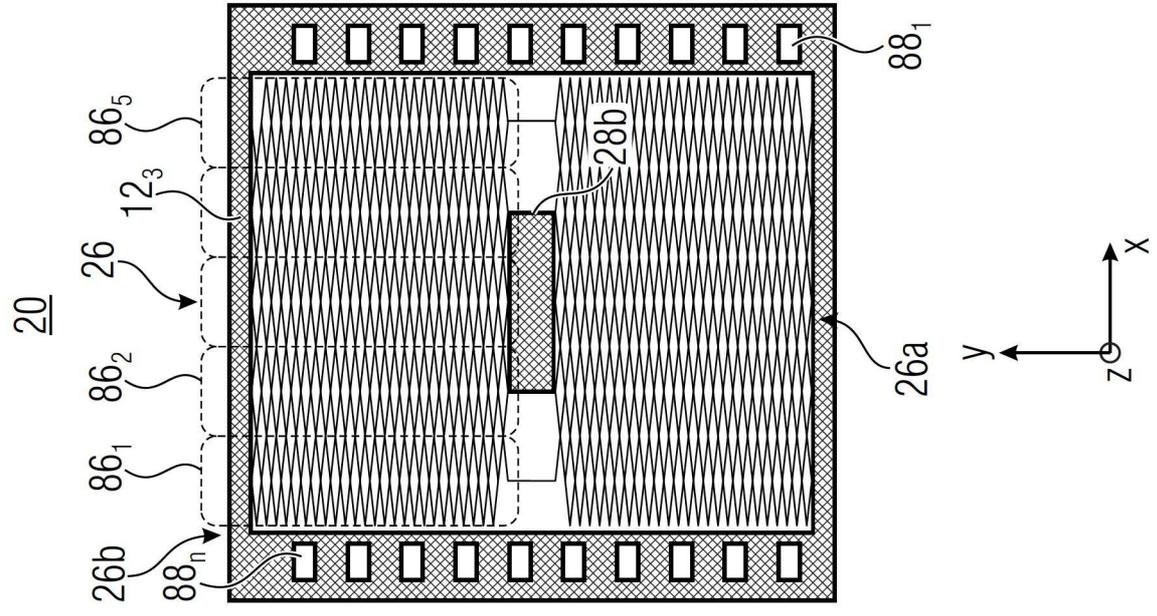
【圖7f】



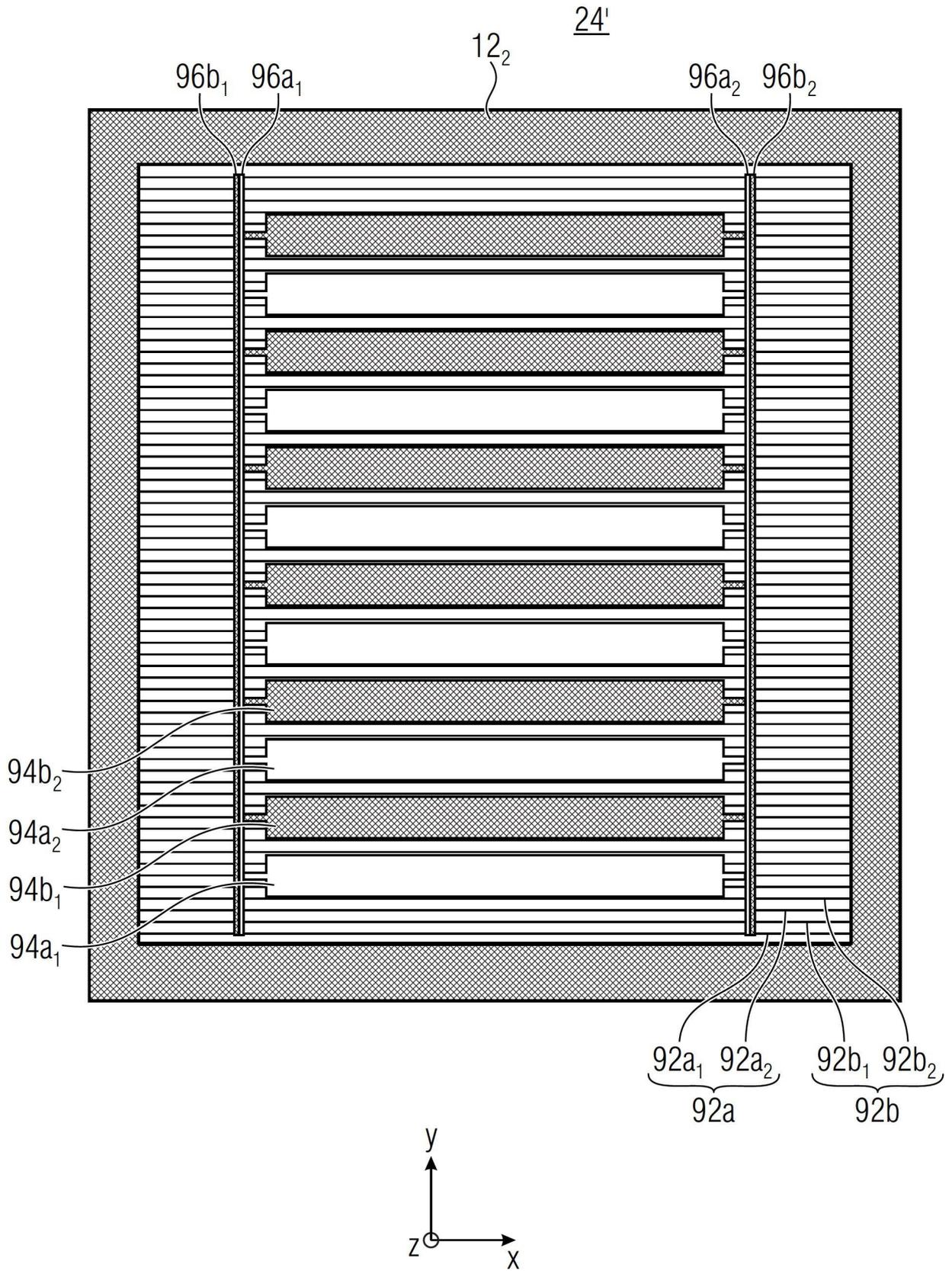
【圖8a】



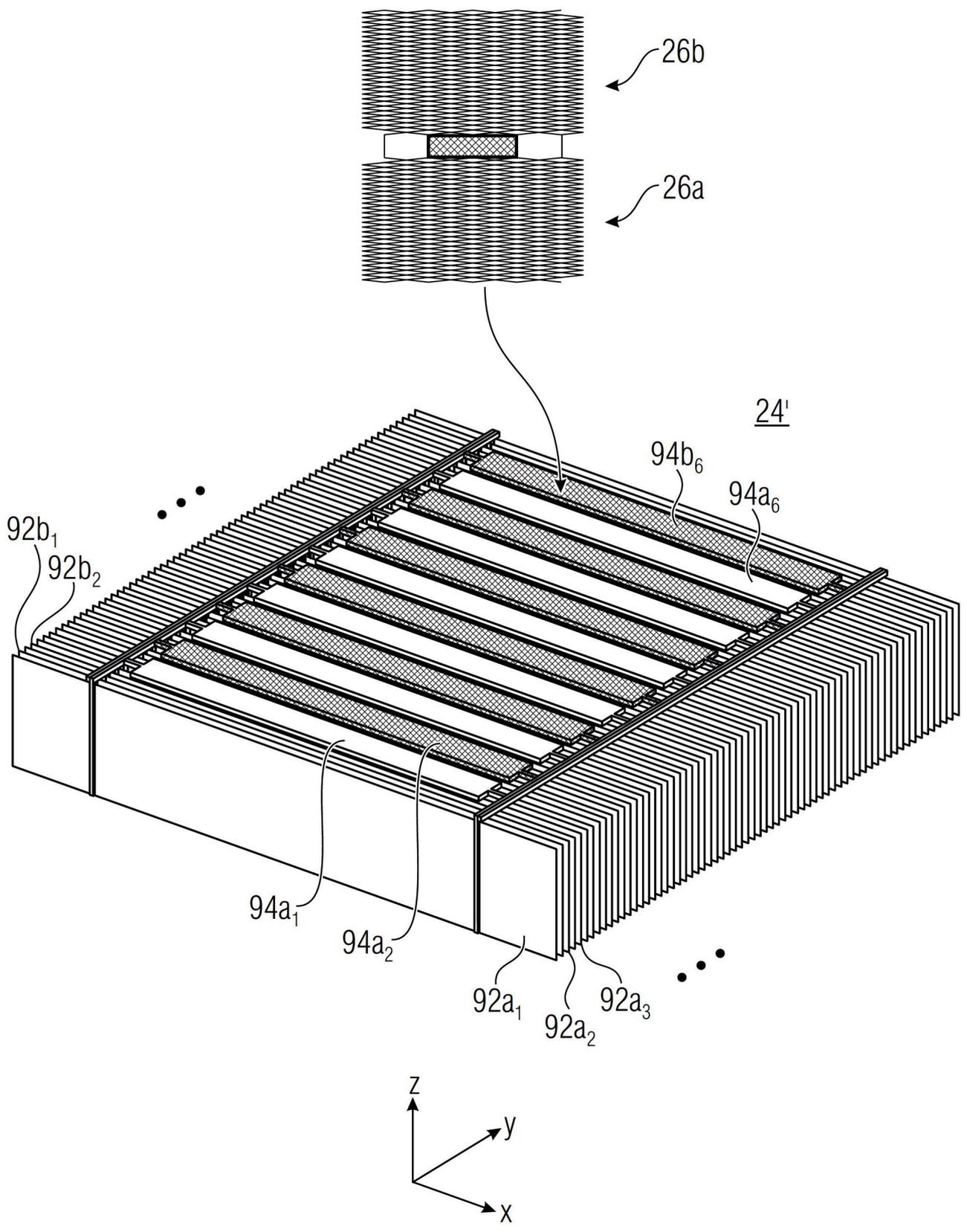
【圖8b】



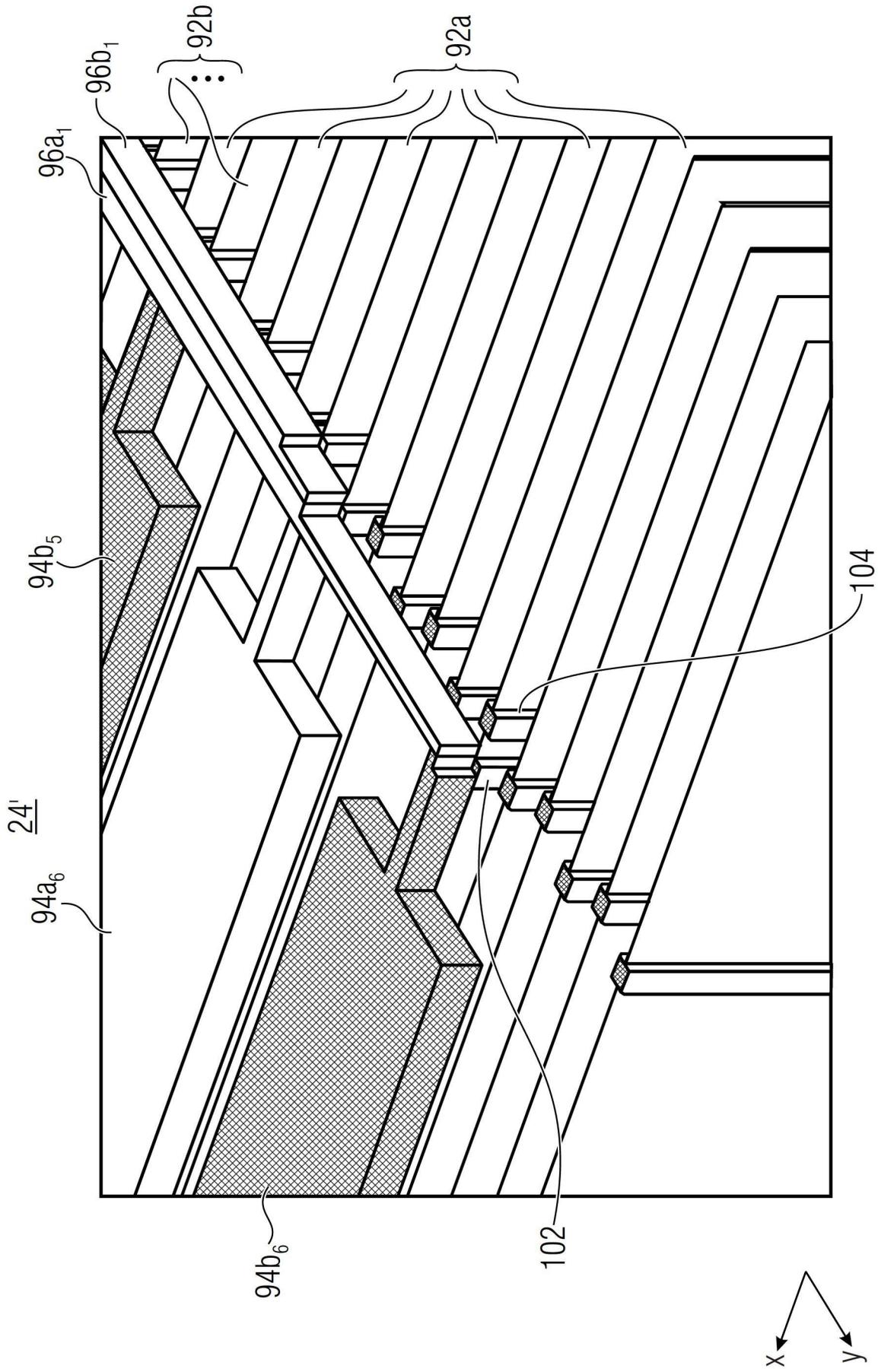
【圖8c】



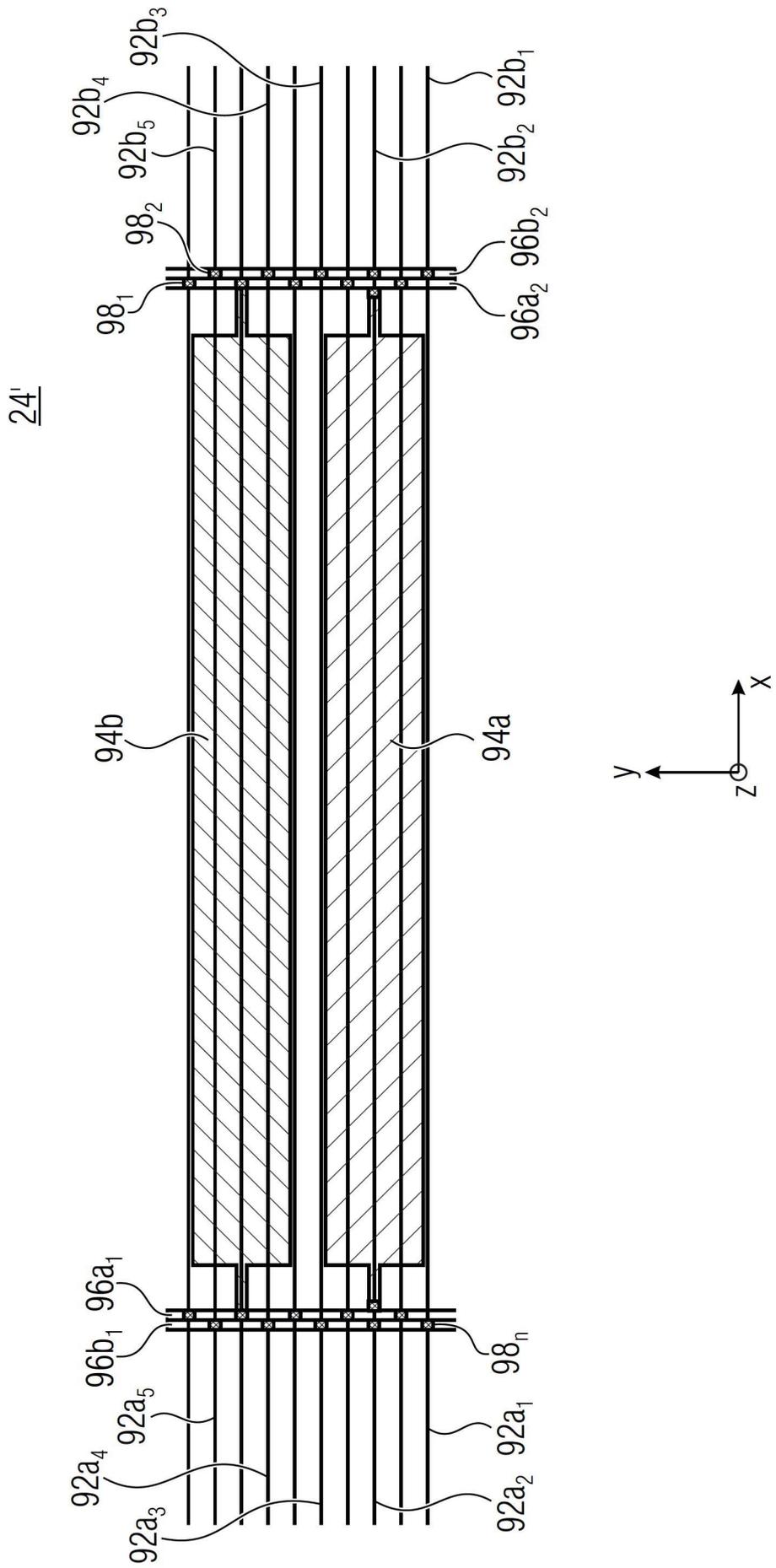
【圖9a】



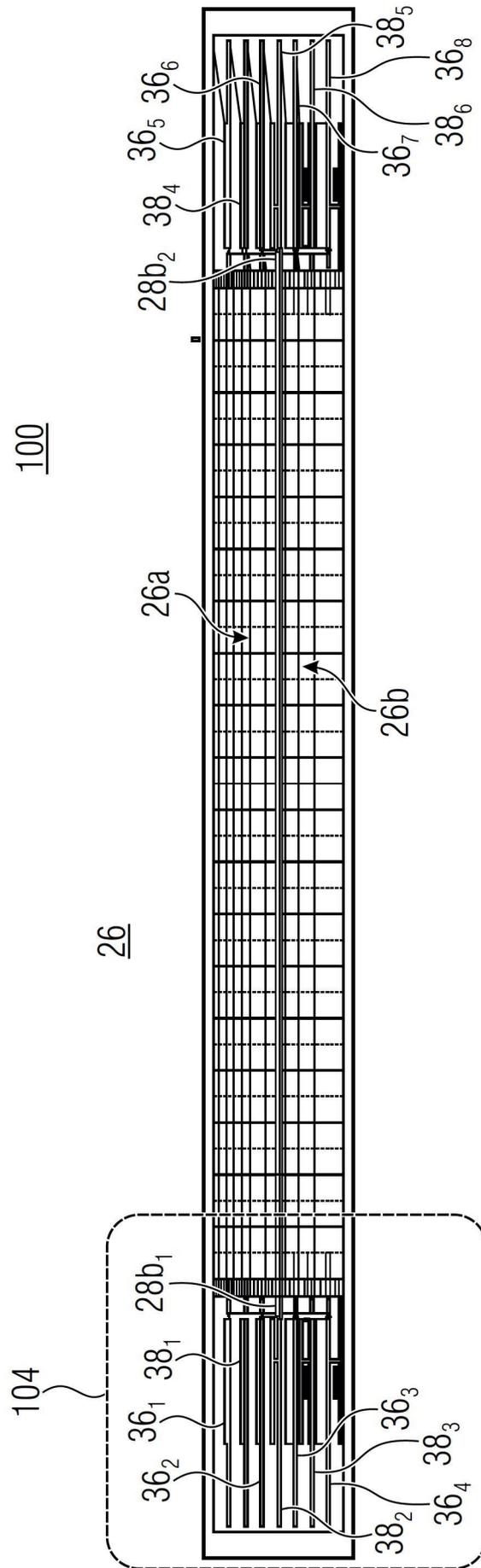
【圖9b】



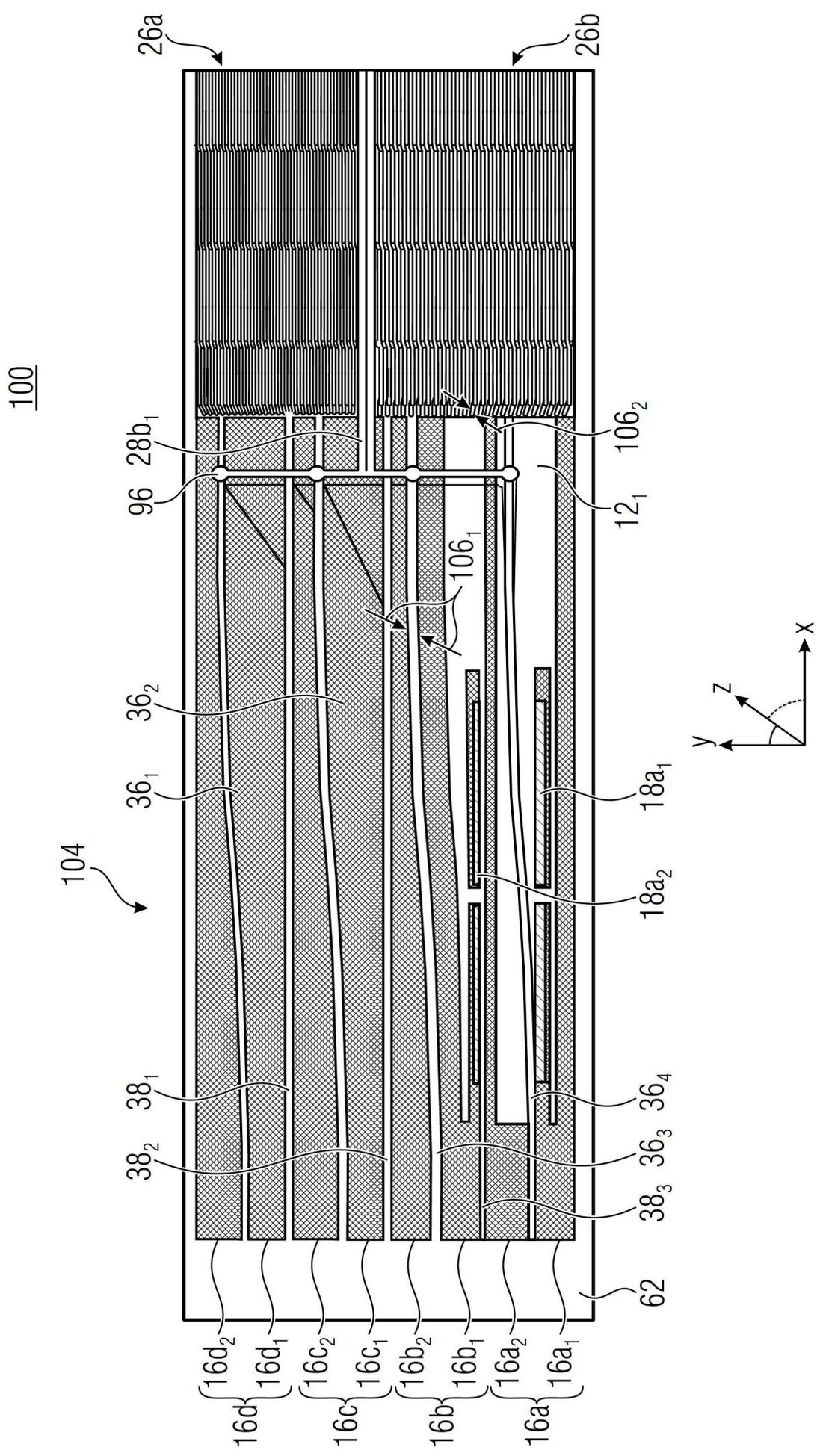
【圖9c】



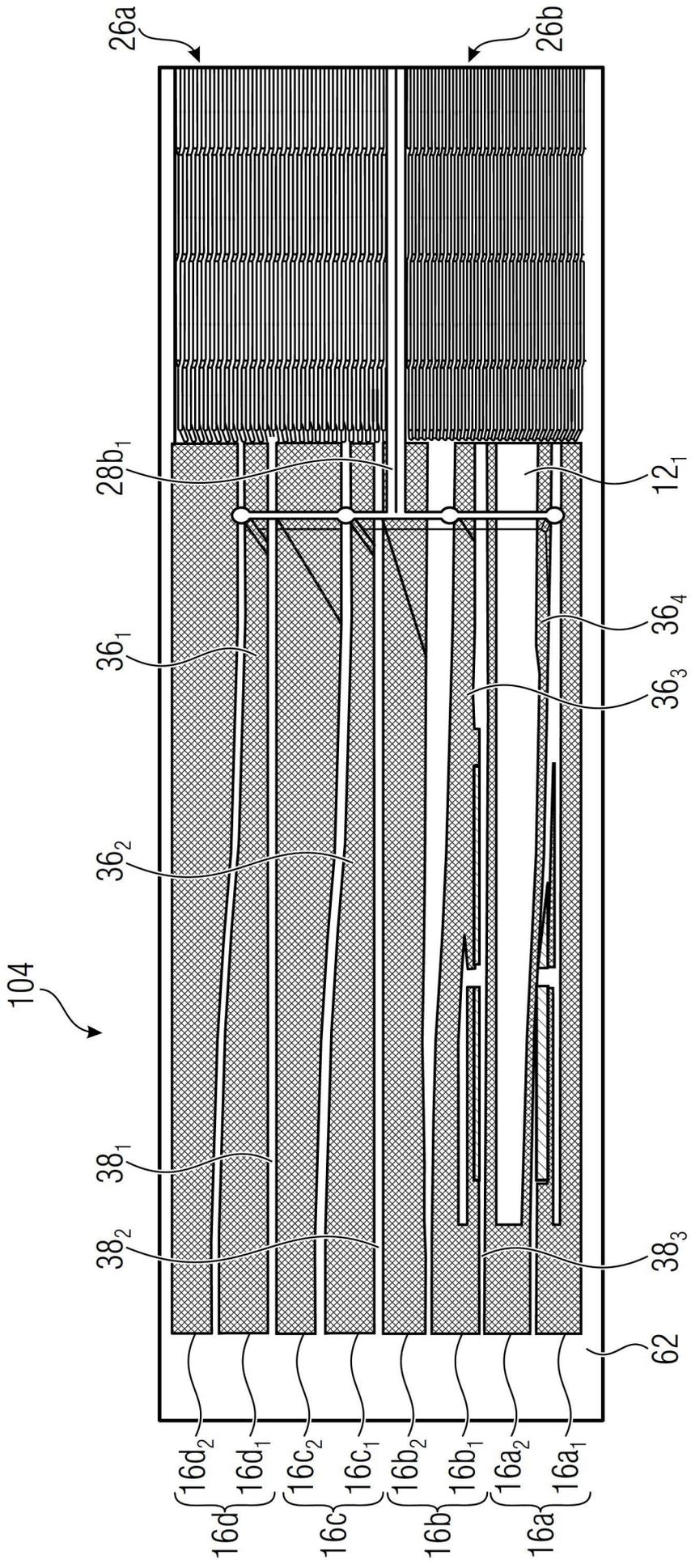
【圖9d】



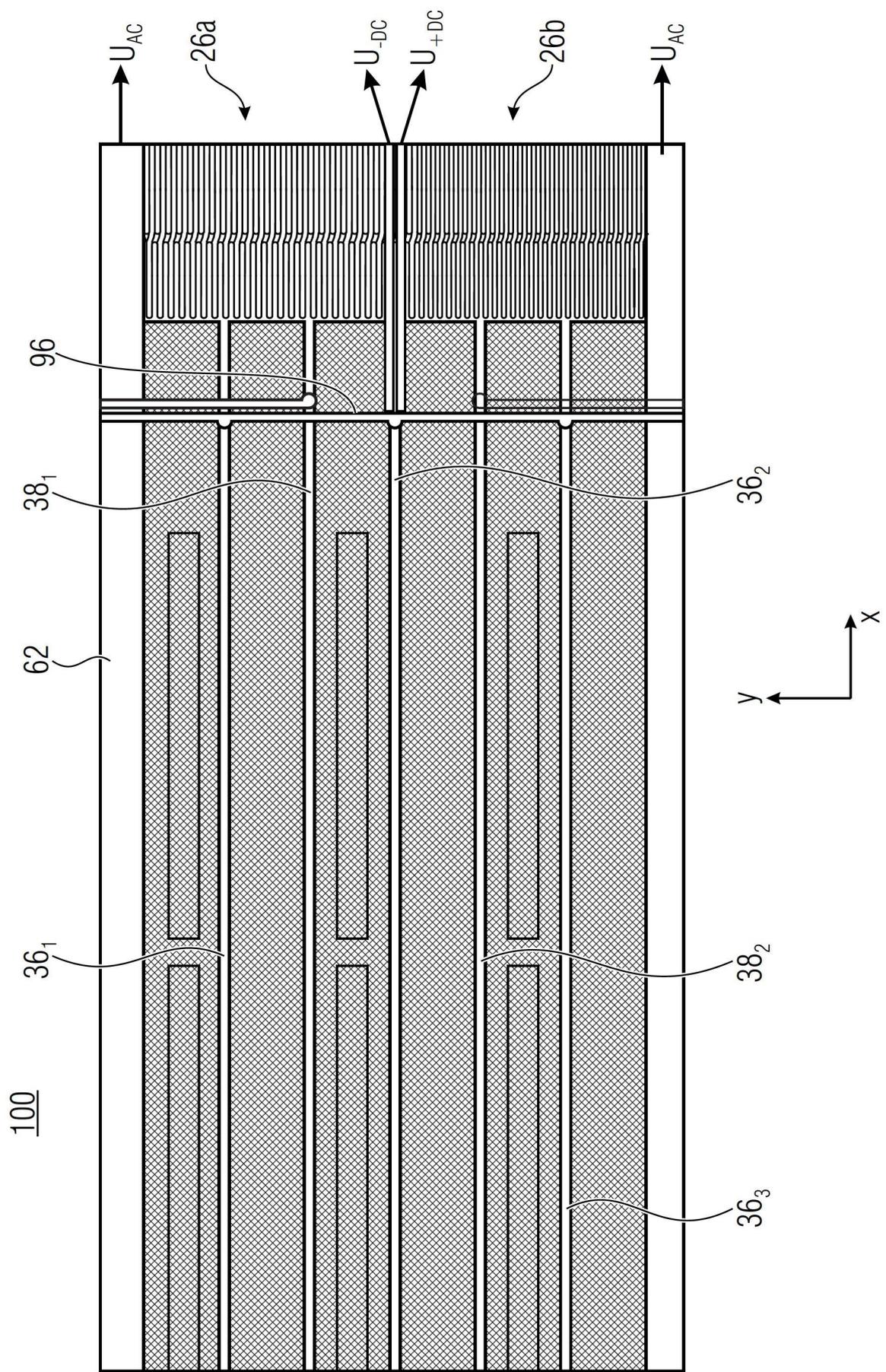
【圖10a】



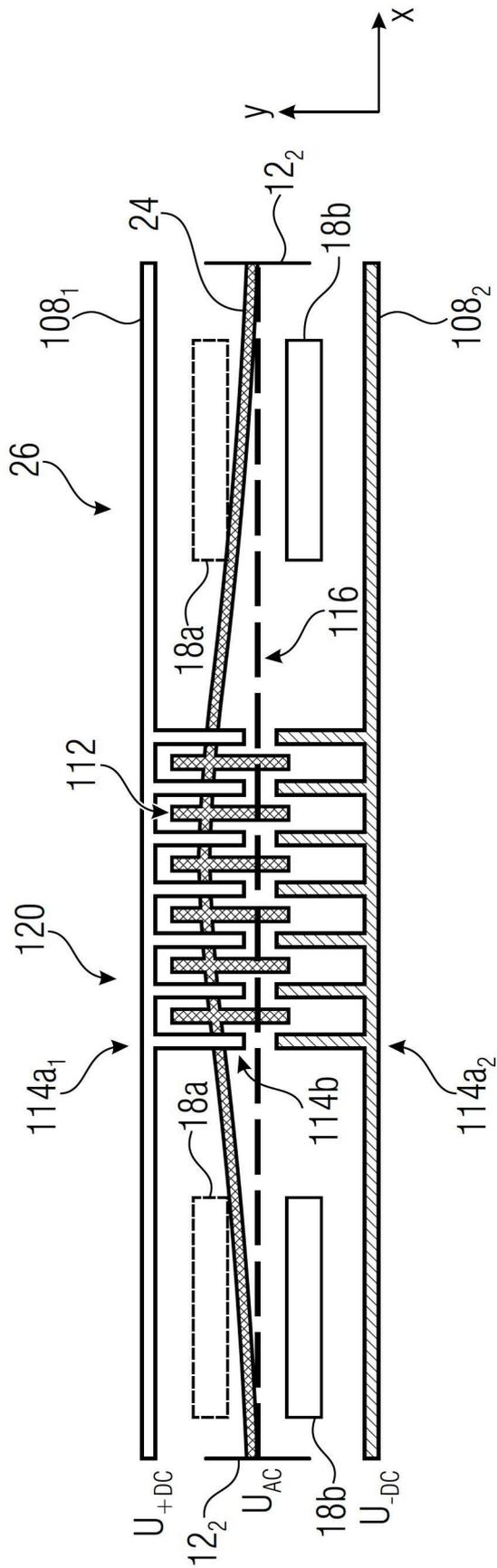
【圖10b】



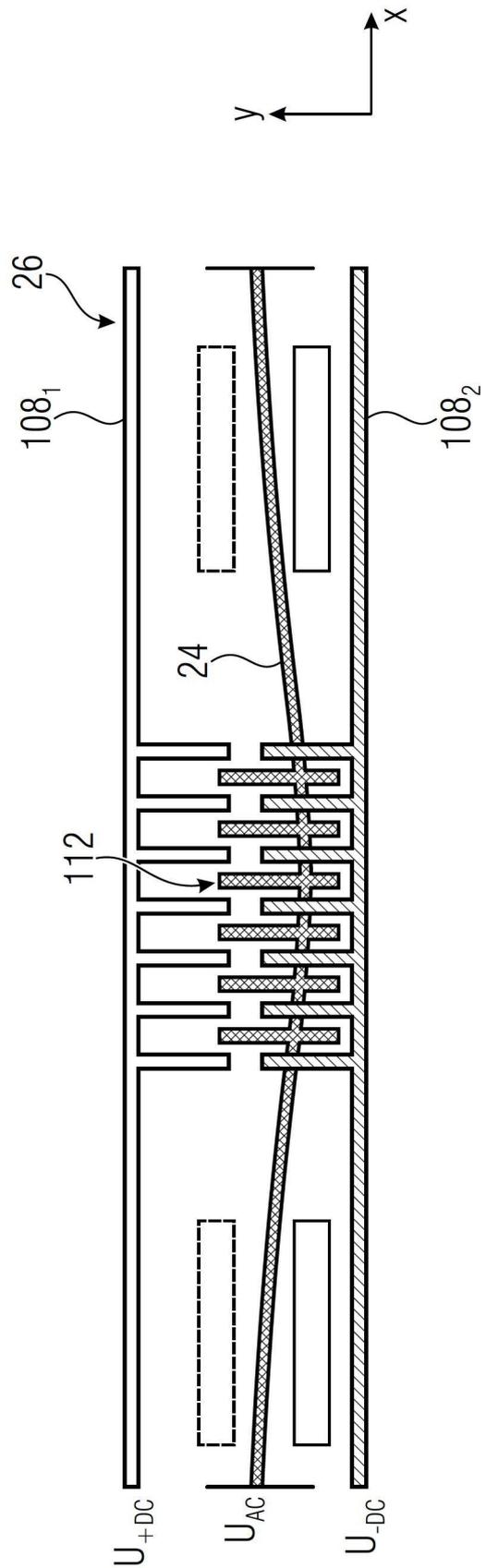
【圖10c】



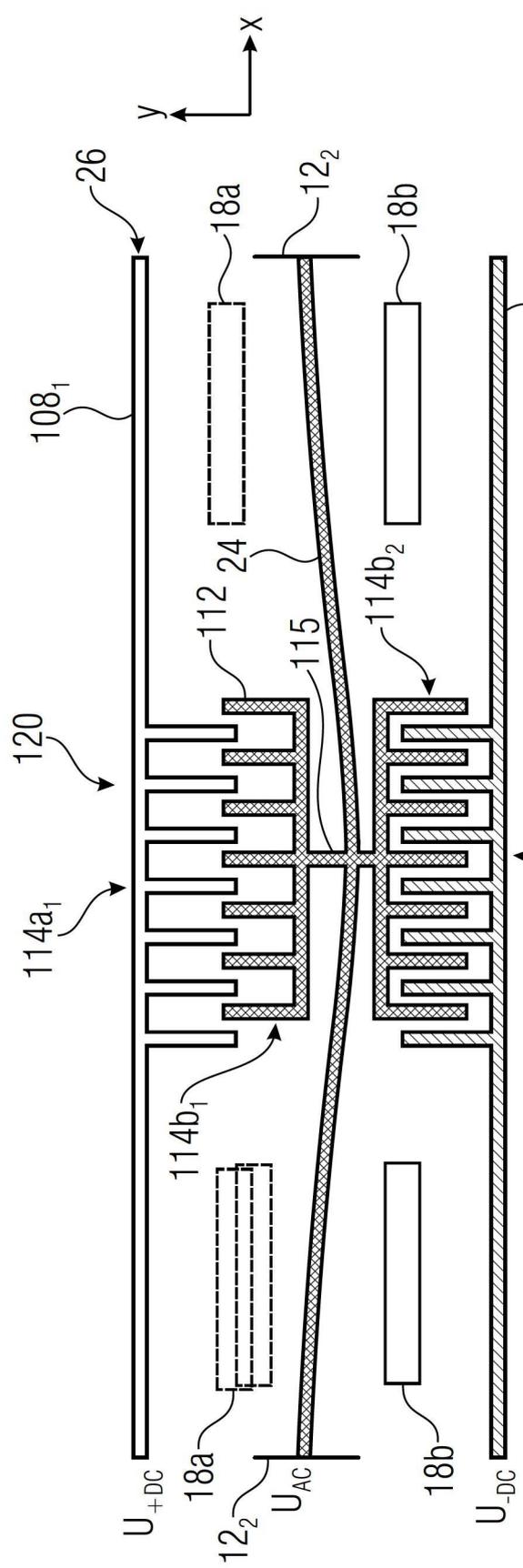
【圖11】



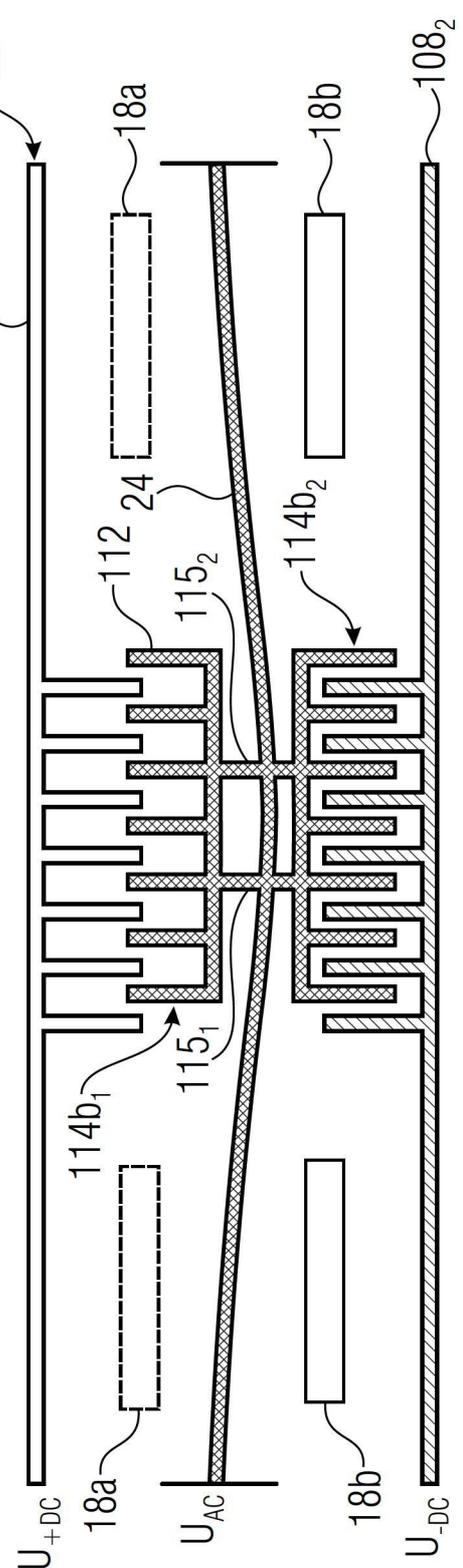
【圖12a】



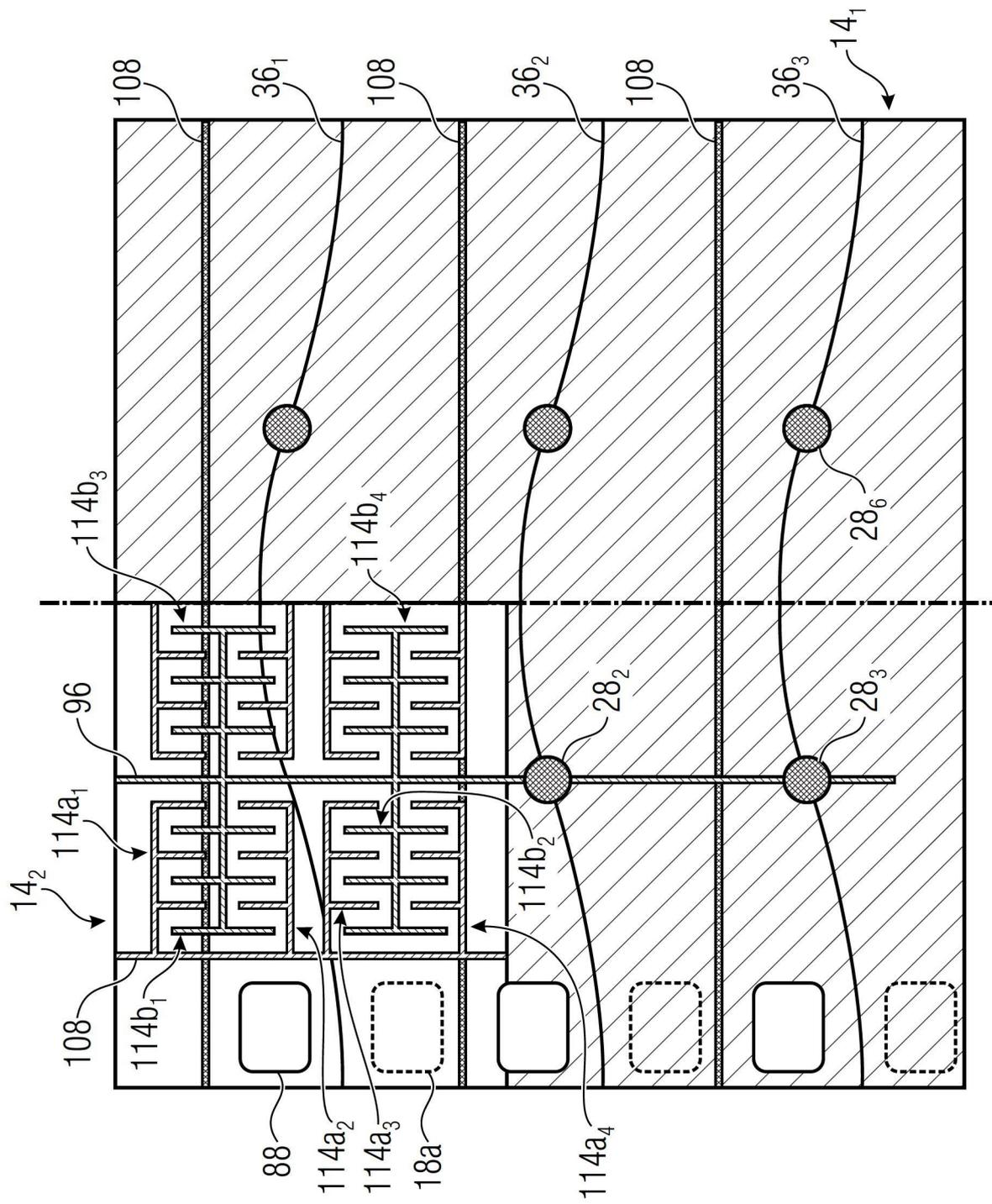
【圖12b】



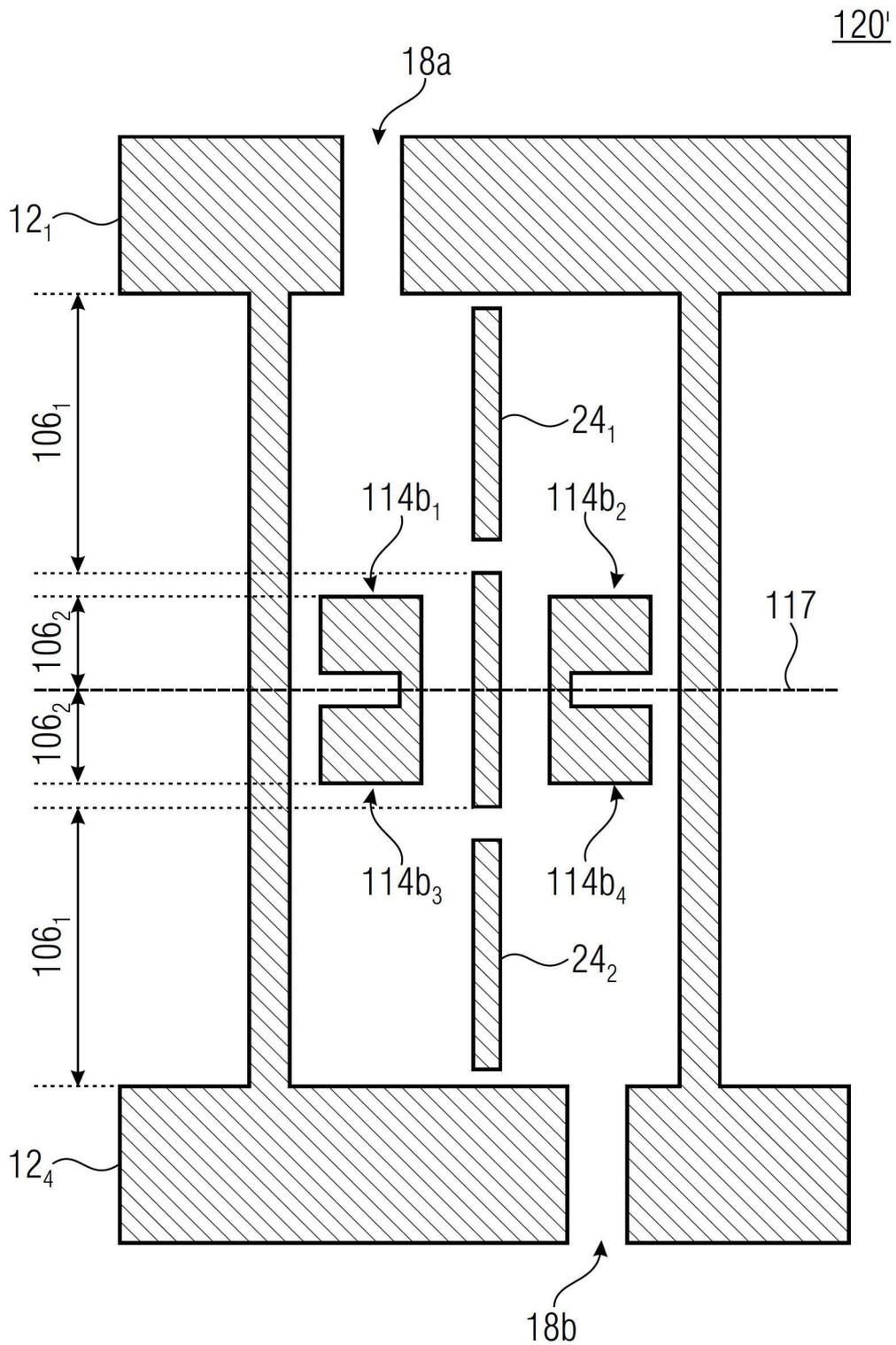
【圖12c】



【圖12d】

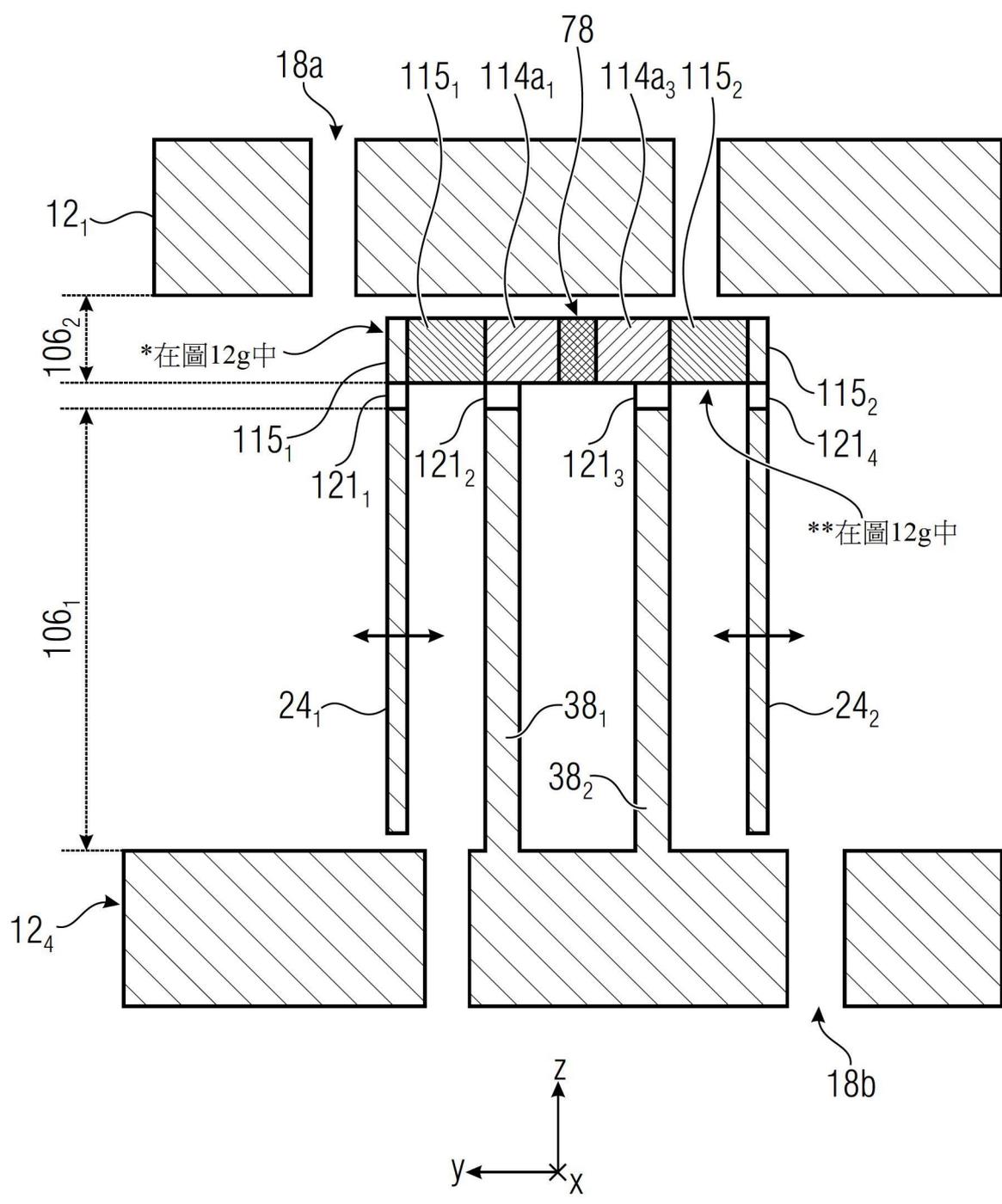


【圖12e】

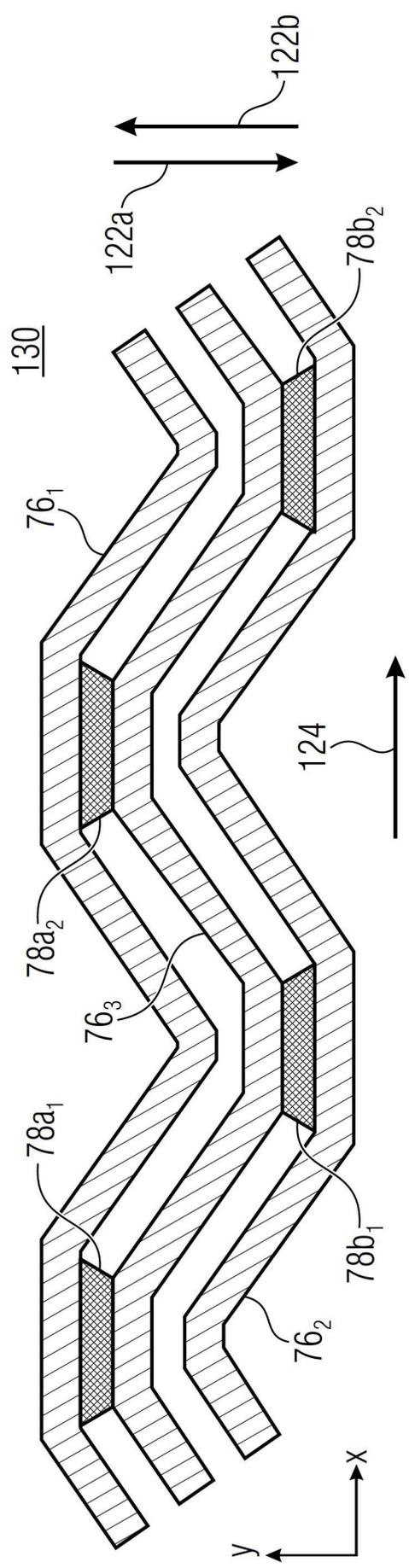


【圖12f】

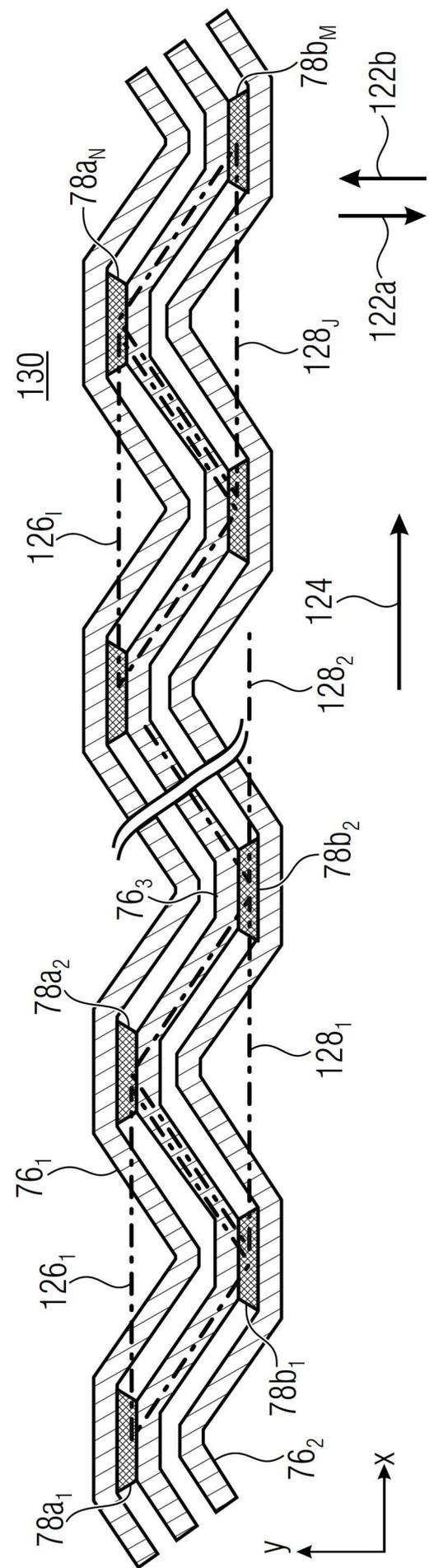




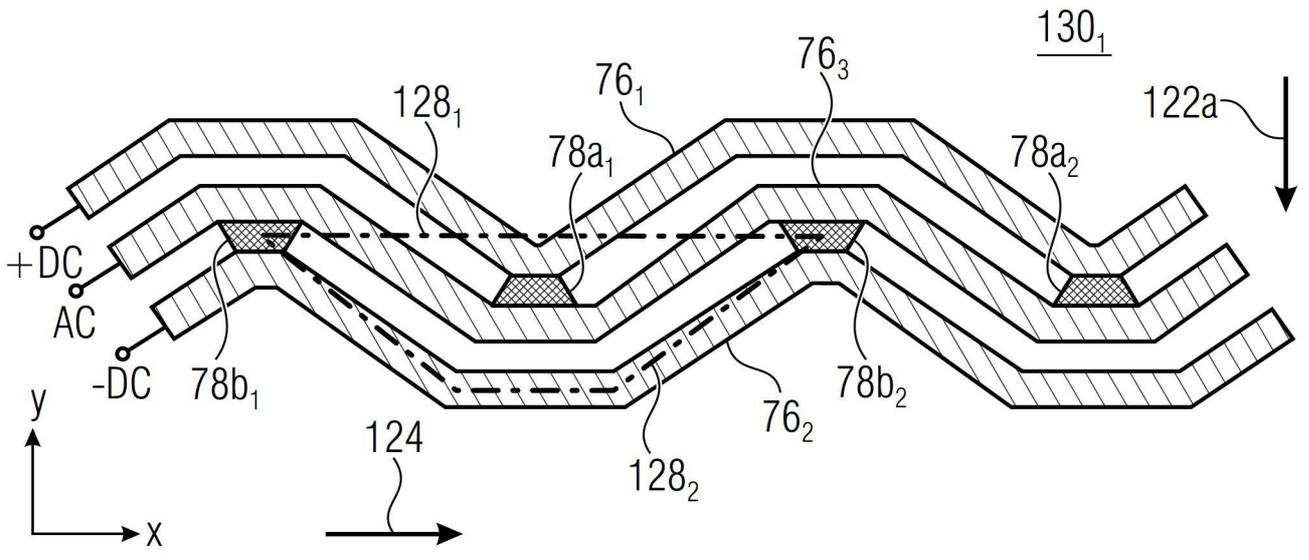
【圖12h】



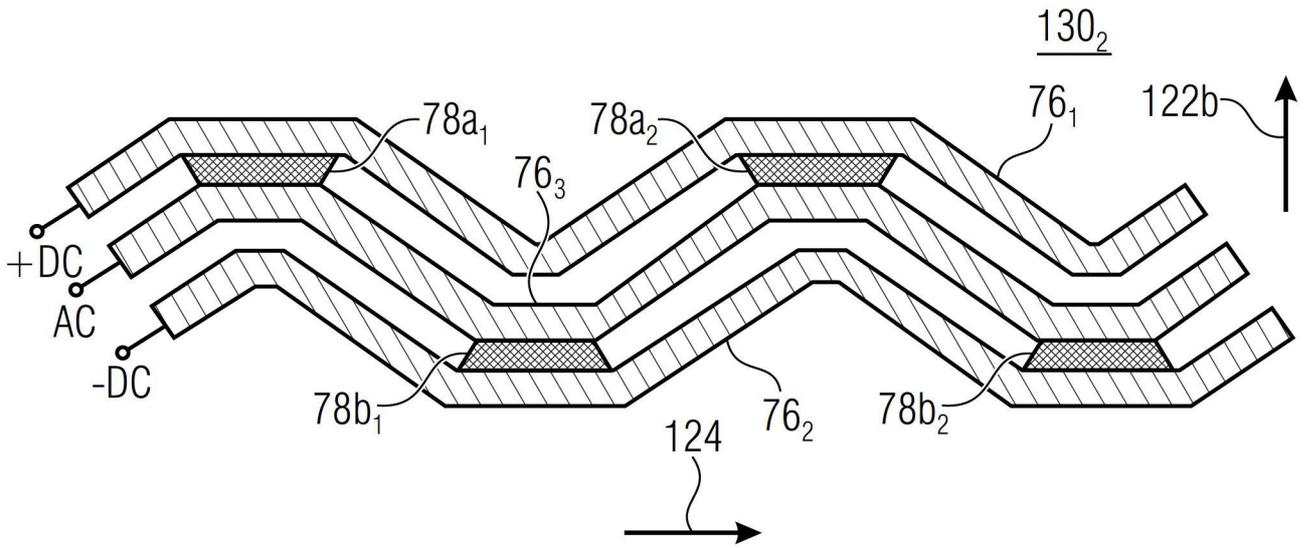
【圖13a】



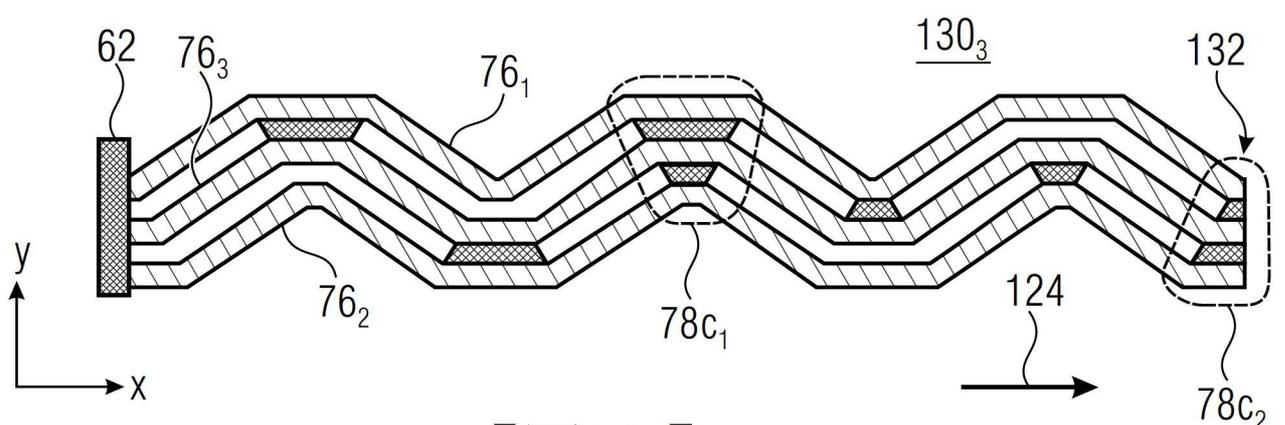
【圖13b】



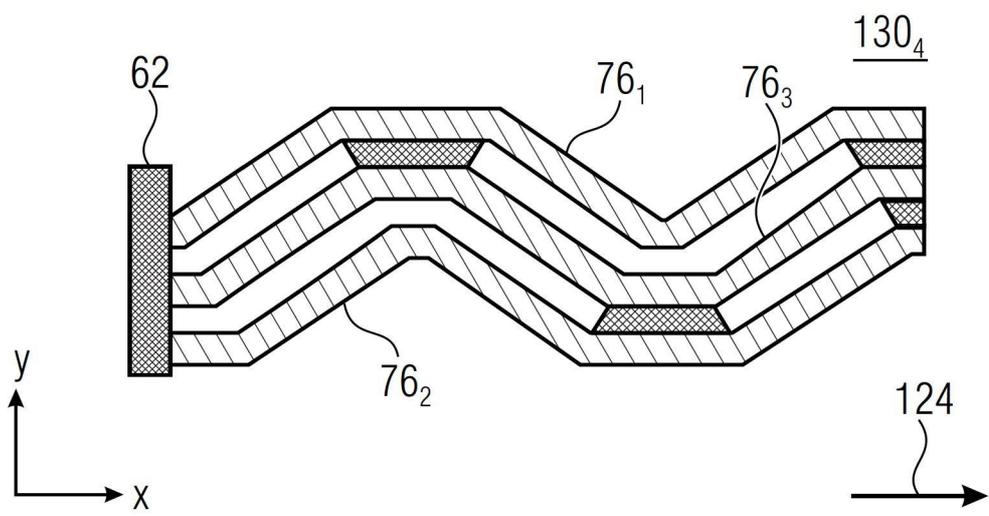
【圖14a】



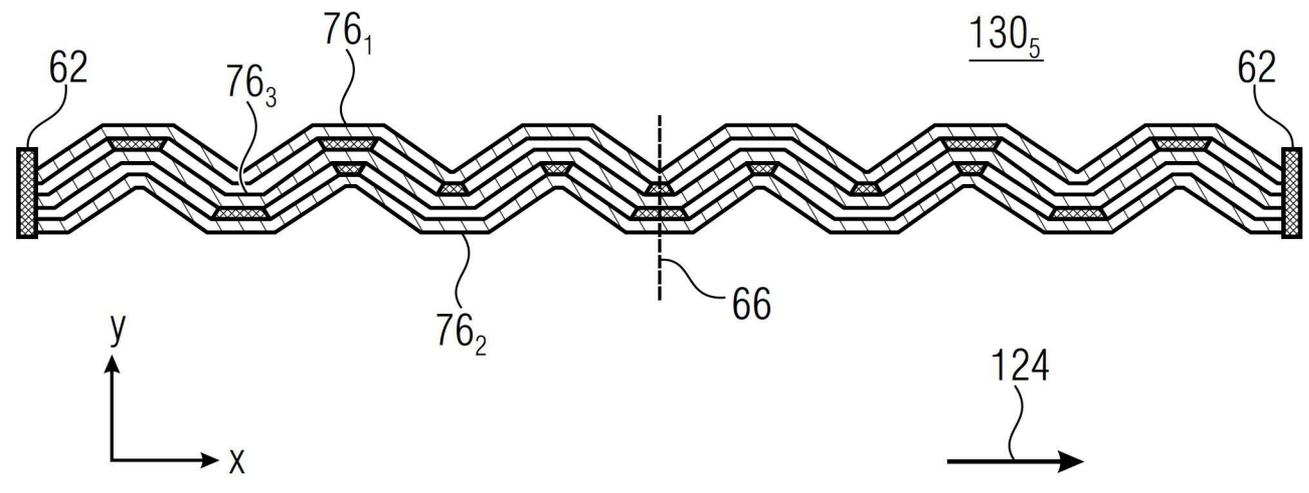
【圖14b】



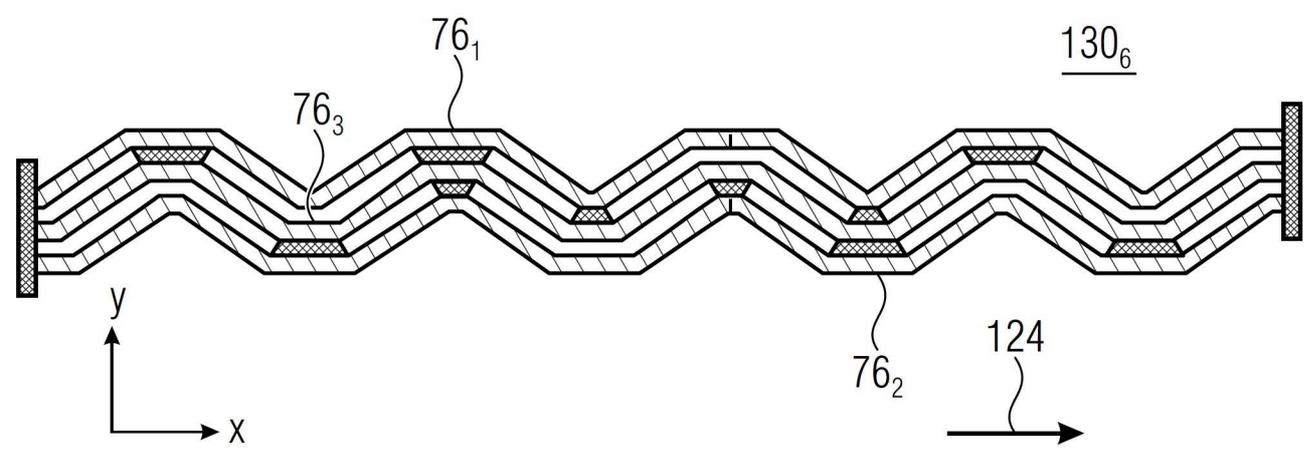
【圖14c】



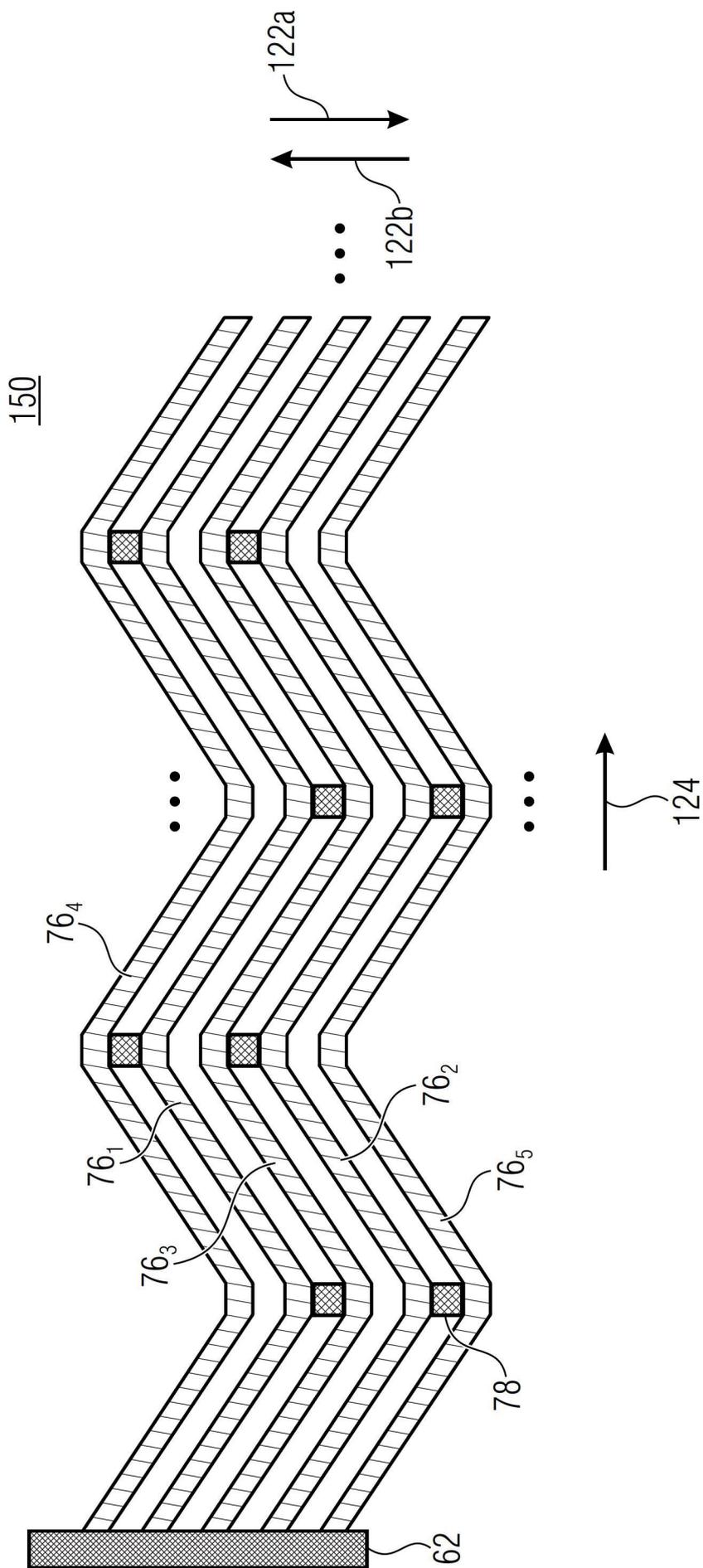
【圖14d】



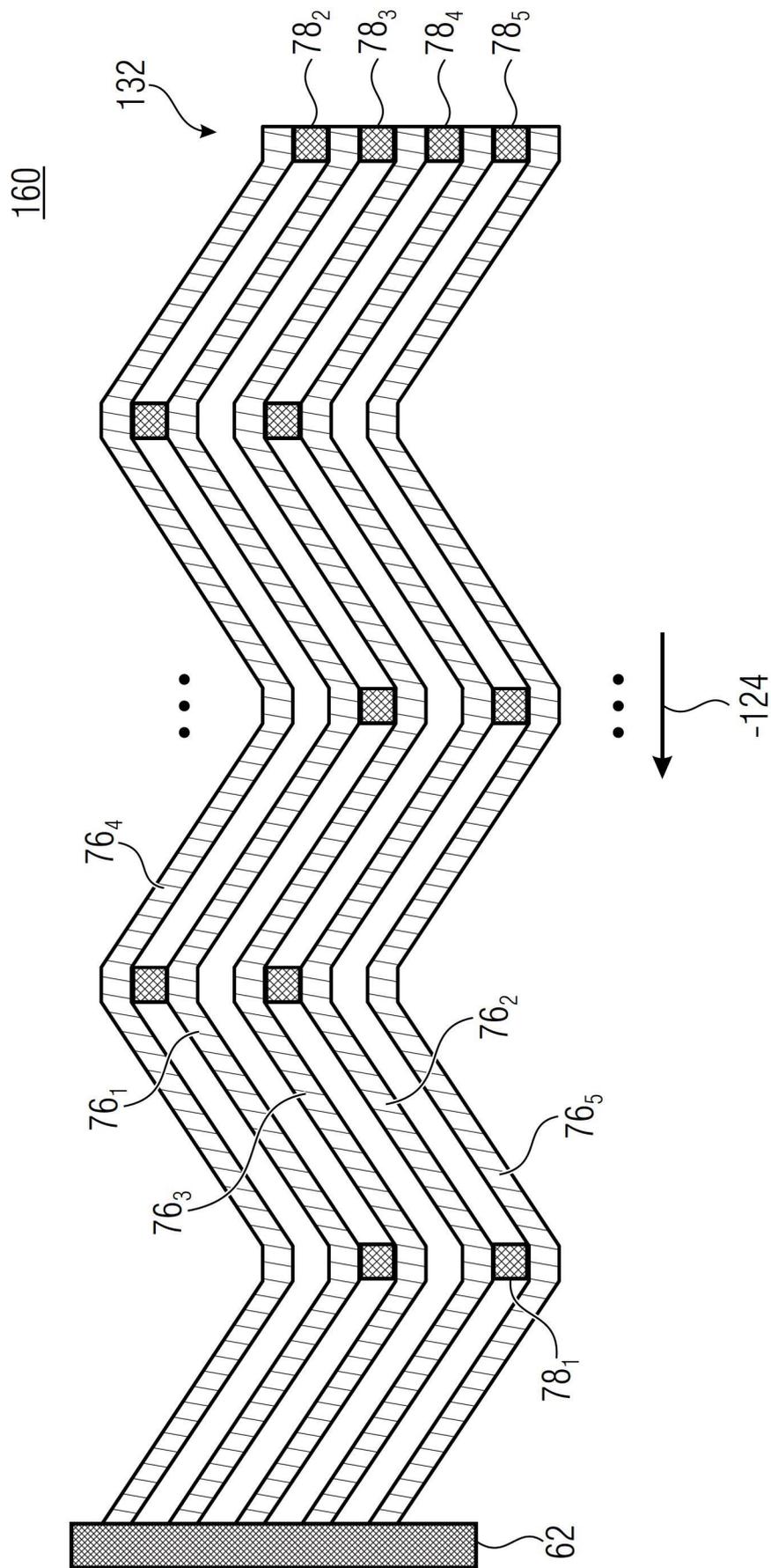
【圖14e】



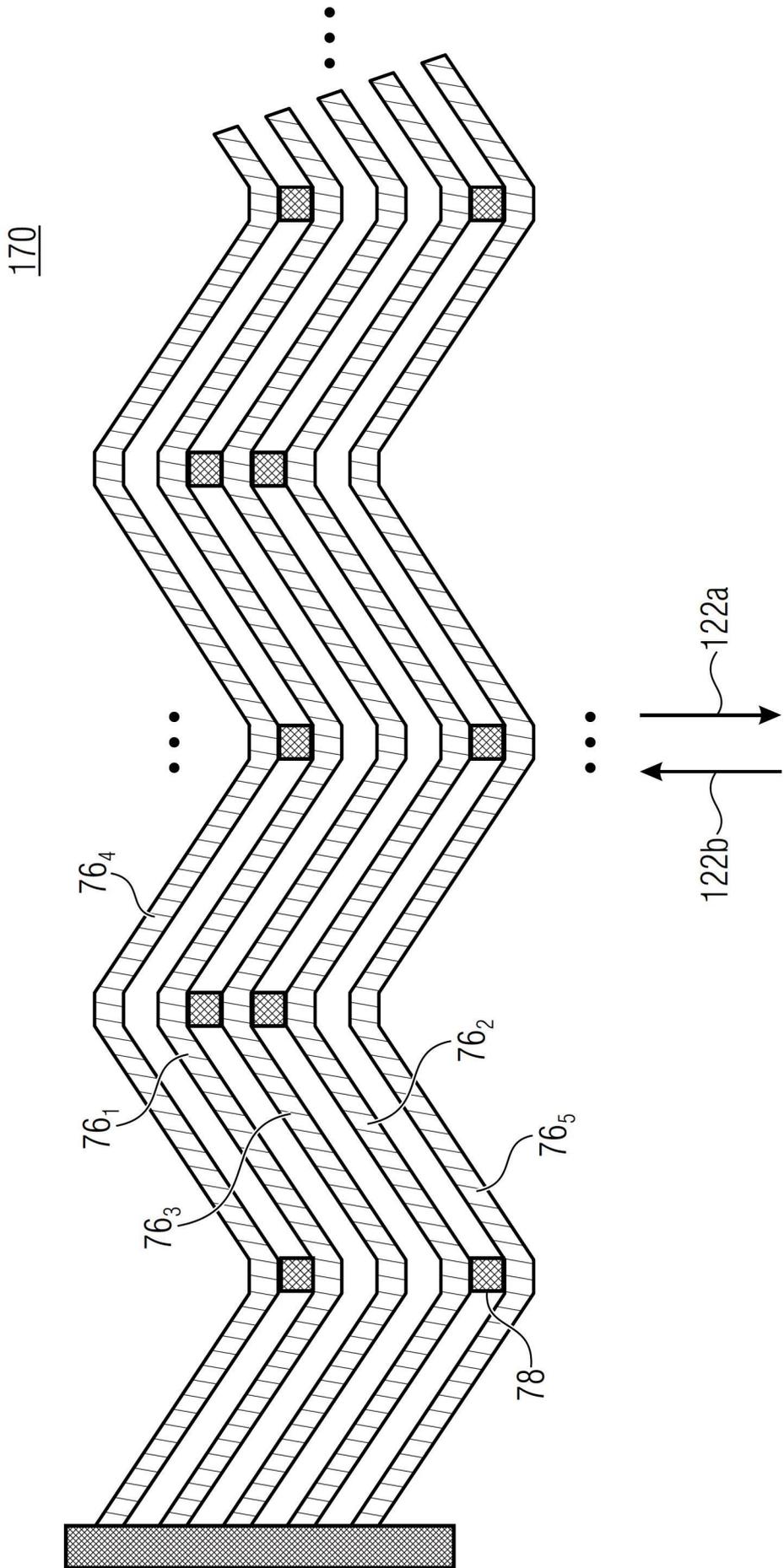
【圖14f】



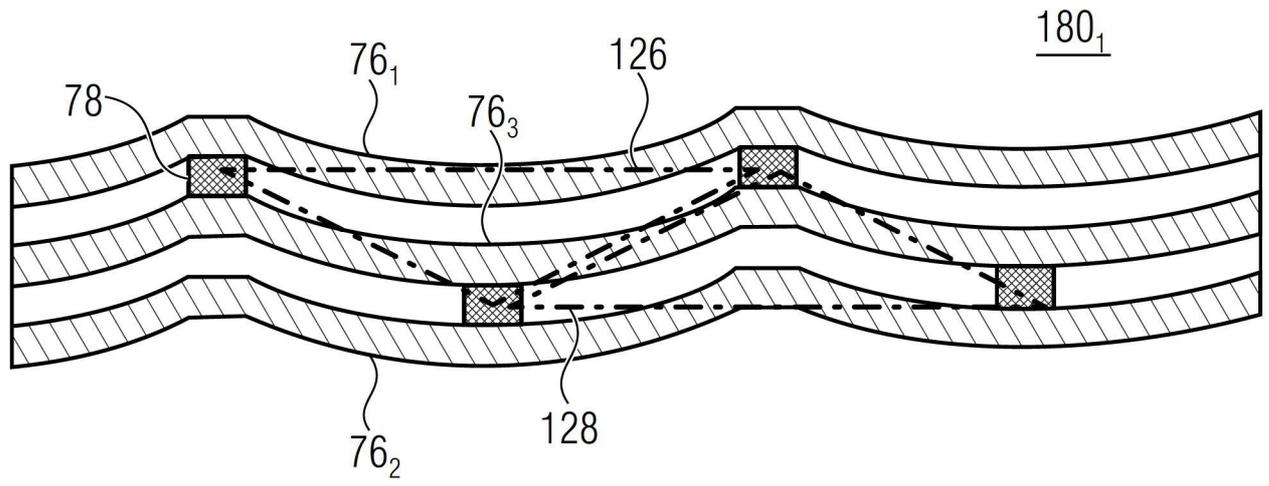
【圖15】



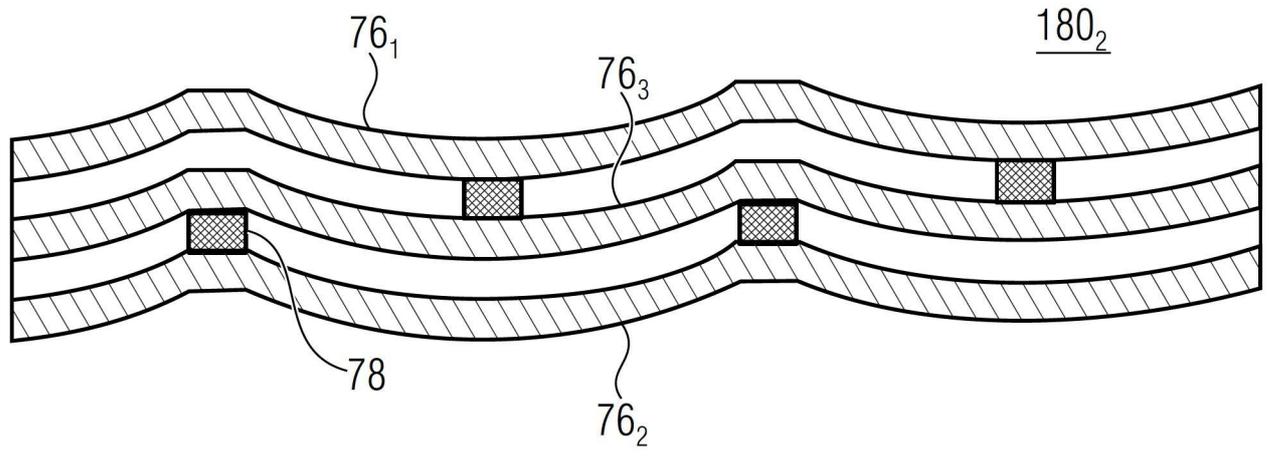
【圖16】



【圖17】



【圖18a】



【圖18b】