

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G02F 1/01

G02B 6/26



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03149502.8

[43] 公开日 2004年5月5日

[11] 公开号 CN 1493897A

[22] 申请日 2003.7.14 [21] 申请号 03149502.8

[30] 优先权

[32] 2002.10.31 [33] US [31] 10/284, 857

[71] 申请人 安捷伦科技有限公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 杰雷米·A·泰伊

米哈伊尔·M·西加拉斯

斯托尔斯·T·霍恩

[74] 专利代理机构 北京东方亿思专利代理有限责
任公司

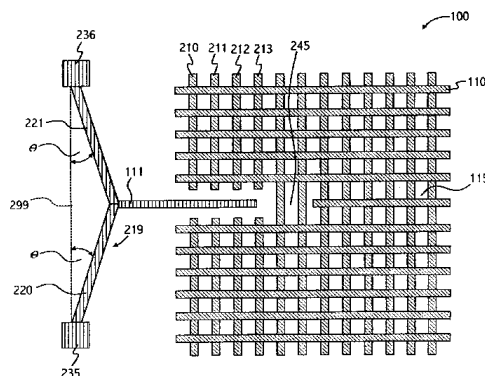
代理人 王 怡

权利要求书2页 说明书10页 附图8页

[54] 发明名称 用于光子晶体的短杆可调节共振腔的方法和结构

[57] 摘要

本发明公开了一种三维光子晶体点阵结构，利用微电机致动器，可以对调节短杆进行致动，以调节光子晶体点阵结构中的空腔。被致动的调节短杆可以被用于调节在二维和三维光子晶体点阵结构中的空腔。



ISSN 1008-4274

1. 一种可调节的三维光子晶体点阵结构，包含：
具有可调节的空腔的区域；
- 5 穿入所述可调节的空腔中的可移动的短杆调节器；以及
被连接到所述的可移动的短杆调节器的致动器，用于移动所述的可移动的短杆调节器，以调节所述的可调节的空腔。
2. 如权利要求 1 所述的结构，其中所述的可调节的三维光子晶体点阵结构基本上具有面心立方对称性。
- 10 3. 如权利要求 1 所述的结构，其中所述的可调节的三维光子晶体点阵结构由非晶硅构成。
4. 如权利要求 1 所述的结构，其中所述的可移动的短杆调节器侧向穿入所述的可调节的空腔。
5. 如权利要求 1 所述的结构，其中所述的可移动的短杆调节器具有基本
15 上呈正方形的横截面。
6. 如权利要求 1 所述的结构，其中所述的可移动的短杆调节器和所述的致动器由基本上相同的材料制成。
7. 如权利要求 1 所述的结构，其中所述的致动器是热致动的。
8. 如权利要求 7 所述的结构，其中所述的致动器包含两个致动器臂，
20 当在所述的两个致动器臂的两端加偏压时，所述的致动器臂发生热膨胀。
9. 如权利要求 8 所述的结构，其中所述的两个致动器臂的厚度对宽度的比值至少为二比一。
10. 如权利要求 8 所述的结构，其中所述的两个致动器臂由半导体材料构成，所述的半导体材料从由多晶硅和非晶硅所构成的组中选出。
- 25 11. 如权利要求 10 所述的结构，其中所述的材料被掺杂，以改变所述半导体材料的导电性。
12. 如权利要求 10 所述的结构，其中所述的两个致动器臂由多层所述的半导体材料构成。
13. 如权利要求 7 所述的结构，其中所述的致动器被连接到弯曲系

统，以使所述的可移动的短杆调节器的运动线性化。

14. 如权利要求 1 所述的结构，其中所述的致动器是静电致动的。

15. 如权利要求 1 所述的结构，其中所述的致动器是平行板致动器。

16. 如权利要求 1 所述的结构，其中所述的致动器是静电梳状驱动致
5 动器。

17. 一种可调节的二维光子晶体点阵结构，包含：

光子晶体板，所述的光子晶体板包含基本呈圆形的孔的二维周期性点
10 阵；

缺陷，所述的缺陷在所述的二维周期性点阵中确定可调节的空腔；

11 穿入所述可调节的空腔中的可移动的短杆调节器；以及

被连接到所述的可移动的短杆调节器的致动器，用于移动所述的可移
12 动的短杆调节器，以调节所述的可调节的空腔。

18. 如权利要求 17 所述的结构，其中所述的致动器是平行板致动器。

19. 一种制造可调节的三维光子晶体点阵结构的方法，包含：

15 提供具有可调节的空腔的区域；

提供穿入所述可调节的空腔中的可移动的短杆调节器；以及

提供被连接到所述的可移动的短杆调节器的致动器，用于移动所述的可
16 移动的短杆调节器，以调节所述的可调节的空腔。

20. 一种制造可调节的二维光子晶体点阵结构的方法，包含：

20 提供光子晶体板，所述的光子晶体板包含基本呈圆形的孔的二维周期
性点阵；

提供缺陷，所述的缺陷在所述的二维周期性点阵中确定可调节的空
17 腔；

提供穿入所述可调节的空腔中的可移动的短杆调节器；及

25 提供被连接到所述的可移动的短杆调节器的致动器，用于移动所述的可
移动的短杆调节器，以调节所述的可调节的空腔。

用于光子晶体的短杆可调节共振腔的方法和结构

5 技术领域

本发明涉及光子晶体点阵结构（photonic crystal lattice structure）中的空腔（cavity）的调节（tuning）。

背景技术

- 10 光子晶体是由高折射率和低折射率的介质所形成的周期性结构，能够限制具有某些波长的光。光子晶体可以用于制造多种光学器件，例如波导（waveguide）和滤波器。

- 对于光通讯而言，因为在二氧化硅波导中的吸收较少，所以通常使用波长范围在 $1.3\ \mu\text{m}$ 到 $1.5\ \mu\text{m}$ 之间的光。因此，该波长范围对于现代光学网络来说是很有价值的。制造在该波长范围内工作的光子晶体，通常受到大程度的制造偏差的影响。因此，人们希望波长鉴别的应用具有方法和结构以允许对应于特定的波长调节光子晶体装置。
- 15

发明内容

- 20 按照本发明，一个可移动的零件（feature）如调节短杆（tuning stub）被引入光子晶体中，该光子晶体允许对其中所生成的空腔进行可控的调节。按照本发明，待调节的空腔被设计为在远红外区到硬紫外（hard ultraviolet）区的光谱范围内工作。将该零件固定到致动器，使得该零件能够被移入和移出光子晶体，以进行精细的调节。本发明通常可以利用多晶
- 25 硅或非晶硅而加以实施。

附图说明

图 1 示出了按照本发明的三维光子晶体点阵结构。

图 2 示出了按照本发明的一个实施例的侧视图，其中有三维光子晶体

点阵结构、调节短杆和热致动器。

图 3 示出了按照本发明的一个实施例的俯视图，其中有三维光子晶体点阵结构、调节短杆和热致动器。

图 4 示出了按照本发明的热膨胀致动器。

5 图 5 示出了按照本发明一个实施例的静电致动器。

图 6 示出了按照本发明一个实施例的三维光子晶体点阵结构的俯视图或仰视图，该三维光子晶体点阵结构具有调节短杆和空腔。

图 7 示出了按照本发明一个实施例的二维光子晶体点阵的俯视图或仰视图，该二维光子晶体点阵示出了调节短杆和空腔。

10 图 8 示出了按照本发明一个实施例的平行板致动器（parallel plate actuator）。

具体实施方式

图 1 示出了典型的具有面心立方对称性的三维光子晶体点阵结构
15 100，但是，按照本发明，其也可以具有面心四方对称性。棒（Bar）110 通常是高折射率的固体材料，而对于低折射率的空区域 115 来说，则通常是气体或真空。注意，虽然有可能制造出光通过固体材料传播的三维光子晶体结构，但是，通常使用真空或气体区域作为导光介质。棒 110 可以具有各种各样的横截面形状，例如正方形、矩形、圆形或椭圆形，并且其填充比率被调节，以产生光子带隙。用于棒 110 的典型材料是多晶硅或非晶
20 硅。正如在 Theil 的标题为“Low temperature Photonic Crystal Structure”的美国专利申请（案卷号 10020077）中所公开并通过引用的方式被包括的，三维和二维光子晶体点阵结构，允许利用多种基片，可以在相对较低的温度下用非晶硅制成。

25 在光子晶体点阵 100 中，波导通常被连接到空腔 245（参见图 2），或者临近空腔 245。波导可以通过下述方式形成：从光子晶体点阵 100 中除去一个单独的棒 110；在光子晶体点阵 100 的一个给定的横截面上，沿着一个方向除去棒 110 的某些部分，以在垂直于棒 110 的方向上形成波导；或者上述方式的结合，以构建具有拐角（bend）的波导。通常，在光

子晶体点阵结构 100 中，棒 110 相互接触并被排列在彼此的上部，以形成三维光子晶体点阵结构 100。为了生成可调节的空腔，一个棒，调节短杆 111 被置于空腔 245（参见图 2）的一侧，并且不与临近的棒 110 相接触，但不一定位于临近的棒 110 之间的中央。调节短杆 111 从空腔 245（参见图 2）延伸至光子晶体点阵 100 的边缘。致动器将调节短杆 111 移入和移出空腔 245（参见图 2），以调节空腔 245（参见图 2）的共振模式（resonant mode）。致动器的致动可以是微机械器件中常用的任何类型，包括热膨胀、静电致动、磁致动或压电变形。

图 2 示出了按照本发明的一个使用热致动的实施例。示出了光子晶体点阵结构 100 的一个横截面，有调节短杆 111、空腔 245、电阻器 219 的电阻器腿（Resistor Leg）220、221，以及电阻器垫（resistor pad）235、236。电阻器垫 235、236 可以是与外部电路或单片电路内的接点相连接的实际垫子。注意，在临近调节短杆 111 的区域中，棒 210、211、212、213 被切除，以允许调节短杆 111 移入和移出光子晶体点阵结构 100。电阻器 219 的电阻器腿 220、221 分别被固定到电阻器垫 235、236。在电阻器 219 拐角的顶部，电阻器 219 被固定到调节短杆 111。在图 2 的实施例中，电阻器腿 220、221 通常是由与光子晶体点阵结构 100 所使用的相同材料制成。因此，调节短杆 111 是当电阻器腿 220、221 形成时被形成的，调节短杆 111 是由与电阻器腿 220、221 相同的材料制成。调节短杆 111 仅仅是电阻器腿 220、221 的延伸，或电阻器腿 220、221 的一个层，如图 3 所示。

图 3 示出了图 2 所示的按照本发明的实施例的侧视图，其中包括基片 250，例如覆盖了氮化硅的晶片。所选择的用于电阻器 219 的方便的材料是多晶硅或非晶硅，因为它允许在制造调节短杆 111 的同时，制造电阻器 219。如图 3 所示，调节短杆 111 的一部分可以通过使用多个层而加以强化。用于制备电阻器 219 和电阻器垫 235、236 的层数，通常是经过选择的，以提供足够的刚度和锚定强度（anchoring strength）。在生成致动器和电阻器 219 的时候，一个要考虑的重要问题是，在通电时固定运动的方向。电阻器 219 的拐角起到限定腿 220、221 和朝向电阻器 219 拐角的驱动

力的作用。当通过薄膜技术制作电阻器 219 的时候，有可能使得电阻器 219 的宽度（在电阻器 219 的平面内）大于厚度（在电阻器 219 的平面外）。因此，在具有这样的几何形状的情况下，电阻器 219 会倾向于移入移出电阻器平面。为了使这种效应最小化，厚度对宽度的比率至少应该为二比一，通常情况下，厚度对宽度的比率会超过五比一。为了实现这个目标，构成电阻器 219 的整个层可以被同时蚀刻或淀积，或者，电阻器 219 可以被分成数层（参见图 3），从而使得电阻器 219 的每一个层都对应于光子晶体点阵结构 100 中的一个层。

当半导体材料被用于制造电阻器 219 时，一种调节半导体材料电阻率的方法是向半导体层中加入掺杂剂。例如，层 290、291 的电阻率可以通过掺杂而降低，层 290、291 将承载电流，但电阻器 219 中所有的层都会达到相同的温度。掺杂不一定限于层 290、291。但是，被掺杂的层通常相互临近，并且至少一个被掺杂的层会与电阻器垫 235、236 电连接。被掺杂的层通常位于构成电阻器 219 的多个层的中央，以保证电阻器 219 在整个电阻层上被均匀加热。在图 3 中，被掺杂的层通常位于紧邻调节短杆 111 的位置。

或者，用于制造电阻器 219 的材料，也可以与光子晶体点阵结构 100 中所用的材料不同，这就需要通过机械的方法或者通过电阻器 219 和调节短杆 111 之间的粘接将电阻器 219 与调节短杆 111 连接起来。电阻器 219 不一定是由一种材料制成的，但是，如果这两种材料的热膨胀系数不同，那么面外应力（out of plane stress）可能会成为问题。这样的应力可以通过在电阻器 219 中生成对称的薄膜层而大幅度减小，从而消除热应力。

在操作上，当电流流过电阻器 219 时，电阻器腿 220、221 加热膨胀，从而导致调节短杆 111 向图 2、图 3 中的右方移动。电阻器腿 220、221 相对于连接电阻器垫 235、236 的直线 299 构成角 θ ，减小角 θ ，最终会导致自弯曲（self-buckling），并可以相对于电阻器腿 220、221 的相对较小的长度变化，放大调节短杆 111 被移动的距离。调节短杆 111 的位移 Δx ，可以通过下述公式进行近似：

$$\Delta x = L_0 \sin(\theta) \left(\sqrt{1 + \frac{2C_{TE}\Delta T}{\sin^2(\theta)}} - 1 \right) \quad (1)$$

5 其中， L_0 是电阻器腿 220、221 中任意一个的长度， θ 是电阻器腿 220、221 与直线 299 之间的角度， C_{TE} 是电阻器 219 拐角处的线性热膨胀系数， ΔT 是相对于室温条件的温度变化，并且假定沿着电阻器腿 220、221 中的任意一个都是不变的。如果只考虑长度随温度的较小变化 ($C_{TE} \Delta T \ll \sin^2 \theta$)，则公式(1)简化为：

$$\Delta x = \frac{L_0 C_{TE} \Delta T}{\sin \theta} \quad (2)$$

10

对于 $1.5 \mu\text{m}$ 的应用，位移通常为 10^{-7}m 的量级。由于电阻器 219 的温度与电阻器 219 所消耗的能量直接相关，因此，具有预期位移的致动器可以被设计为在预期的电压范围内运行。

15 沿着电阻器腿 220 的温度分布通常是不恒定的，可以通过如下方法确定。假定电阻器腿 220 是均匀掺杂的，从而使得在梁 (Beam) 的全部厚度上，电传导都是均一的。假定热传导主要沿着电阻器腿 220、221，而不通过电阻器腿 220、221 周围的空气或气体发生。沿电阻器腿 220 的微分温度分布可以由下式给出：

$$20 \quad T(z) - T_0 = \rho I^2 (L^2 - z^2) / A^2 \kappa \quad (3)$$

其中， T_0 是周围介质的温度， ρ 是被假定为恒定的梁的电阻率， I 是电流， A 是梁的横截面积， κ 是被假定为恒定的梁的热扩散系数， L 是从电阻器垫 235 或 236 分别到调节短杆 111 的电阻器腿 220 或 221 的长度， z 为距调节短杆 111 与电阻器腿 220 的连接处的距离。

25 利用公式(2)并将量 $L_0 \Delta T$ 用 $\int_0^L \frac{\rho I^2 (L^2 - z^2) dz}{A^2 \kappa}$ 替换 (参见公式(3))，

梁长 L 可以被与调节短杆例如调节短杆 111 的预期位移 Δx 和工作电压 V_b 联系起来，得到：

$$\Delta x = \frac{LC_{TE}V_b^2}{6\kappa\rho \sin\theta} \quad (4)$$

在接触调节短杆，例如调节短杆 111，的那一点（ $x=0$ ），梁相对于室温条件的温度变化 ΔT 由下式给出：

$$\Delta T = \frac{V_b^2}{4\kappa\rho} \quad (5)$$

5

按照本发明的一个实施例，基于轻微掺杂的多晶硅的一个典型的 κ 值为约 $140 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ，参见 Tai 和 Muller 的“Lightly Doped Polysilicon Bridge as an Anemometer”，Proceedings of the 4th International Conference on Solid State Sensors and Actuators, 1987, pp. 360-363. 在通常的应用中， κ 依赖于温度和
10 多晶硅晶粒的大小，也轻微依赖于掺杂。电阻率 ρ 依赖于多晶硅的掺杂，并且当掺杂水平在约 10^{19} cm^{-3} 到 10^{21} cm^{-3} 之间变化时，电阻率 ρ 通常在约 $100 \text{ m}\Omega \text{ cm}$ 到 $0.3 \text{ m}\Omega \text{ cm}$ 之间变化，参见 Obermeier 等人的“Characteristics of polysilicon layers and their applications in sensors”，Proceedings of Solid State Sensors Workshop, 1986。按照本发明的一个实施
15 例， ρ 的一个典型选择为约 $10 \text{ m}\Omega \text{ cm}$ 。对于多晶硅而言，线性热膨胀系数 C_{TE} 为约 $2.3 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ，轻微依赖于掺杂、多晶硅晶粒的大小和温度。

参照图 2 和图 3，在按照本发明的一个示例性实施例中，在操作电压 V_b 约为 3 V 下，所提供的调节短杆 111 的位移 Δx 约等于 427 nm ，这对滤波调节（filter tuning）通常是足够的。该实施例采用多晶硅，电阻器腿
20 220、221 之中每一个的长度 L 均等于 $300 \mu\text{m}$ ，弯折角 θ 约为 10° 。在调节短杆 111 与电阻器腿 220、221 相连接的那一点，温度上升超过室温约 160°C 。如果电阻器腿 220、221 的横截面取为 $1.2 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ ，则短杆调节器消耗的功率为约 0.3 mW 。

图 4 示出了按照本发明的一个实施例，其中利用了热膨胀致动器致动
25 调节短杆。机械锚固定器（mechanical anchor）410、412、430 和 432 将致动器结构 400 锚定到下面的基片上。电流被通过臂 416 和 414 引导，从臂 416 上流入，从臂 414 上流出。臂 416、414 通常由多晶硅或非晶硅制成，

致动器结构 400 的其余部分通常也是由多晶硅或非晶硅制成。当电流通过臂 416 和 414 由锚固定器 432 流到锚固定器 430 的时候，由于与臂 414 相比，臂 416 的电流密度更大，因此导致了臂 416 的受热和膨胀比臂 414 更多。由于臂 414 和 416 在它们的自由末端通过梁 419 而被接合在一起，因此热致动器末端 440 以弧形运动被偏转向右。折叠式梁弯曲（folded beam flexure）420 通过连接梁 450 被连接到热致动器末端 440，来将调节短杆 411 的运动线性化。连接梁 450 相对来说薄且长，从而使得热致动器末端 440 以弧形运动移动时，梁 450 发生弯曲，使得刚性浮动元件（rigid floating element）可以将调节短杆 411 沿直线移入光子晶体，例如光子晶体 100。

在按照本发明的一个示例性实施例中，臂 416 的尺寸为：长度约 200 μm ，宽度约 2 μm ，厚度约 5 μm 。臂 414 的长度约 160 μm ，宽度约 20 μm ，厚度与臂 416 相似。臂 414 通过臂 418 被连接到锚固定器 430。臂 418 的长度约 40 μm ，宽度约 2 μm ，厚度约 5 μm 。折叠式梁弯曲 420 的臂，在尺寸上通常与臂 416 相似，长度约 200 μm ，宽度约 2 μm ，厚度约 5 μm 。通常，梁 450 的宽度约 1 μm ，长度约 100 μm ，厚度也是约 5 μm ，以使弯曲较为容易。当臂 416 被加热到超过室温约 800 $^{\circ}\text{C}$ 时，调节短杆 411 偏移了约 3.2 μm ，从而使得当臂 416 被加热到超过室温约 100 $^{\circ}\text{C}$ 时，所产生的偏移为 0.4 μm 。可以通过约 3 V 的电压和约 1 mA 的电流，实现上述的加热 100 $^{\circ}\text{C}$ 。与此结构有关的更多的细节，可以在下面的文献中找到：Guckel 等，“Thermo-magnetic metal flexure actuators”，Solid-State Sensor Workshop. Hilton Head Island, S.C., pp. 73-74, 1992；以及 Comtois 和 Bright 等，“Applications for surface micromachined polysilicon thermal actuators and arrays”，Sensors and Actuators, A58, 1997, pp. 19-25。这些文献通过引用的方式被包括在此。

图 5 示出了按照本发明的一个实施例，其中利用了一个静电致动器致动调节短杆。机械锚固定器 510、512、530 和 532 将静电致动器结构 500 固定到下面的基片上。梳状电极 535 被固定到下面的基片上，并且通常保持偏压 V_b 以致动调节短杆 511。梳状电极 550 与调节短杆 511 相连接，并

且通常保持电接地以致动调节短杆 511。弯曲梁 (flexure beam) 575、576 的功能是, 支撑梳状电极 550 并在水平方向上限制调节短杆 511 的运动。如果梳齿 580 和 581 之间的距离给定为 d , 偏压为 V_b , 每个梳齿的深度为 b , 则由一个 N 单元梳状驱动器 (N unit cell comb drive) 所产生的力由下式给出:

$$F = \frac{2N\epsilon_0 b V_b^2}{d} \quad (6)$$

其中, N 为梳齿的数目。图 5 示出了按照本发明的一个示例性实施例, 其中弯曲 575、576 的长度约为 $200 \mu\text{m}$, 宽度约为 $1 \mu\text{m}$, 深度约为 $5 \mu\text{m}$ 。弯曲 575 和 576 的弹簧常数约为 0.11 N/m 。在如图 5 所示的弯曲排列的情况下, 静电致动器 500 的净弹簧常数则为 0.22 N/m 。那么, 将调节短杆 511 移动约 $0.4 \mu\text{m}$ 的距离, 需要约 $0.088 \mu\text{N}$ 的力。令每一个梳齿 581 的长度为约 $5 \mu\text{m}$, 宽度约 $1 \mu\text{m}$, 深度约 $5 \mu\text{m}$, 梳齿 581 之间的间隙为 $1 \mu\text{m}$, 在浮动连接 (floating link) 595 和 596 之间共有 110 个单元, 则 $F = 9.735 \times 10^{-9} V_b^2$ 。因此, 为了使调节短杆 511 产生一个约 $0.4 \mu\text{m}$ 的位移, 需要 3.5 V 的偏压 V_b 。

图 6 示出了按照本发明的一个实施例。图 6 示出了三维光子晶体点阵结构 600 的仰视图, 其中, 调节短杆 671 从其上表面进入光子晶体点阵结构 600。光子晶体点阵结构 600 通常具有面心立方对称性, 但也可以是面心四方对称。调节短杆 671 被插入点阵棒之间。调节短杆 671 的取向通常是基本垂直的, 并且通常从晶体的上表面或底面进入光子晶体点阵结构 600。调节短杆 671 被定位, 以避免与点阵棒 609、610、611 和 612 相接触, 而上述点阵棒中的每一个都构成了光子晶体点阵结构 600 之中的一个相应的层。通过移去一个棒 609 的一部分而生成空腔 690。调节短杆 671 被致动以向上或向下移动, 用于调节。在共振中, 场被局限于空腔 690 附近, 因此, 为了获得最大的效果, 调节短杆 671 应该被定位在尽可能靠近空腔 690 的地方。

图 7 示出了按照本发明的一个实施例的俯视图或仰视图, 其中, 二维

光子晶体点阵结构 700 中的空腔 710 被调节。二维光子晶体点阵结构 700 具有由分布于高折射率材料中的低折射率区域所构成的周期性结构。例如，圆形空气孔 725 在高折射率材料 750 中形成了周期性结构。如图 7 所示，调节短杆 711 通常从二维光子晶体点阵结构 700 的顶部或底部被引入其中的空腔 710 中，它不一定通过空腔 710 的中央，而是可以如图所示地偏离中央一段距离。举例来说，使用与图 8 中的平行板型致动器 800 相似的平行板型致动器，对调节短杆 711 进行致动，以向上或向下移动，用于调节。

图 8 示出了按照本发明的一个实施例，其中平行板型致动器 800 与图 6 所示的结构一起使用。该实施例可以容易地适用于作为图 7 中所示结构的致动器。致动器 800 为调节短杆 671 提供垂直运动。调节短杆 671 通常被保持在平滑膜 (flat membrane) 812 的中央，而平滑膜 812 通常是多晶硅或非晶硅。平滑膜 812 在其两个末端 850、851 处分别被刚性支架 890 和 891 所支撑，这两个刚性支架将平滑膜 812 悬在三维光子晶体点阵结构 600 的上方，且距离为 d ，该距离足以防止与平行板型致动器有关的众所周知的突发不稳定性 (snap down instability)。刚性支架 890 和 891 被机械和电连接到光子晶体点阵 860 和 861。光子晶体点阵结构 860 和 861 在电气上与光子晶体点阵结构 600 是分离的，从而可以在平滑膜 812 和光子晶体点阵结构 600 之间施加一个电势差。此处为了简单起见，所示出的光子晶体点阵结构 600、860 和 861 中具有两层棒，然而，光子晶体点阵结构 600、860 和 861 通常具有更多的层。由于光子晶体点阵结构 860 和 861 通常不必具有光学活性，因此，可以用本领域的技术人员所熟悉的其他刚性结构来替换光子晶体点阵结构 860 和 861，此类刚性结构提供了电触点以支撑 890 和 891。

调节短杆 671 的运动主要是线性方式。在更大的偏移下，膜 812 发生了非线性的拉伸硬化 (tension stiffening)，因为在膜的末端 890、891 之中，由于膜的两个末端 890、891 被固定，而没有一个能够自由移动。在操作中，给膜 812 加上偏压 V_b ，而同时，三维光子晶体点阵结构 600 保持接地。如果 A 是膜 812 的有效面积，则在线性方式中有效的致动器 800 所

施加的力的一级近似值为：

$$F = \frac{\epsilon_0 A V_b^2}{2d^2} \quad (7)$$

弹簧常数 k 取作：

$$k = 16 \frac{Ewt^3}{L^3} \quad (8)$$

- 5 其中， E 为杨氏模量， w 为膜 812 的宽度， t 为膜 812 的厚度， L 为膜 812 的长度。那么，对于给定的偏压，位移 x 由下式给出：

$$x = F / k \quad (9)$$

- 10 其中 F 和 k 分别由公式(7)和(8)所给出。

在按照本发明的一个示例性实施例中，为了使致动器 800 获得约 0.4 μm 的偏移，假定膜 812 是多晶硅，膜 812 的宽度约 10 μm ，厚度约 0.4 μm ，长度约 400 μm ，并且悬在三维光子晶体点阵 600（见图 8）或二维光子晶体点阵 700（未示出）之上约 2 μm ，则要求偏压 V_b 为约 1.6 V。膜
15 812 的弹簧常数为约 0.027 N/m。

尽管本文中已经结合具体的实施例描述了本发明，但是，对于本领域的技术人员而言，基于上面的描述，很多替换、修改和变化将是显而易见的。因此，本发明旨在包括所有落入所附权利要求书的精神和范围之内的其他的此类替换、修改和变化。

20

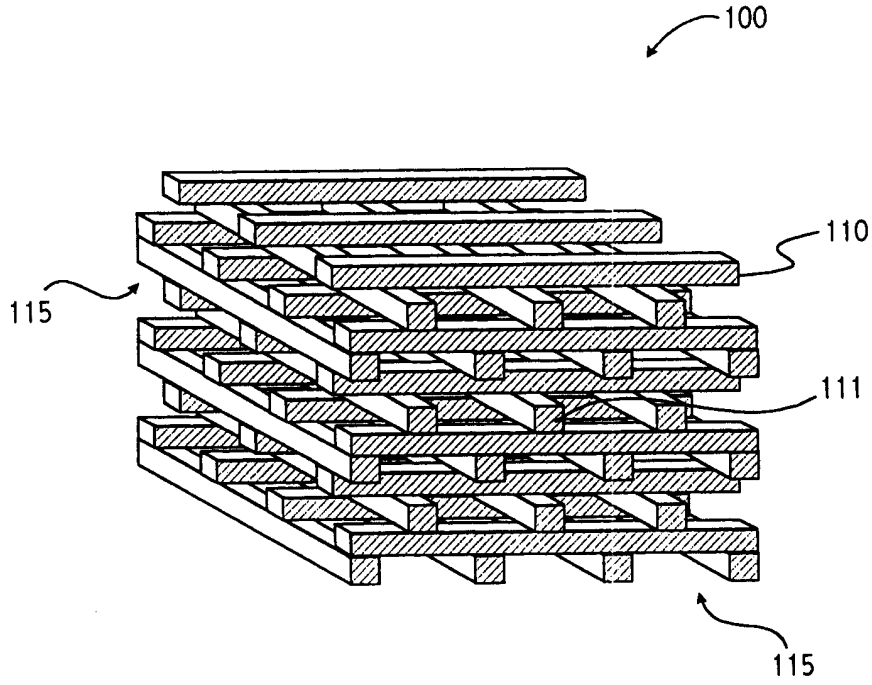


图1

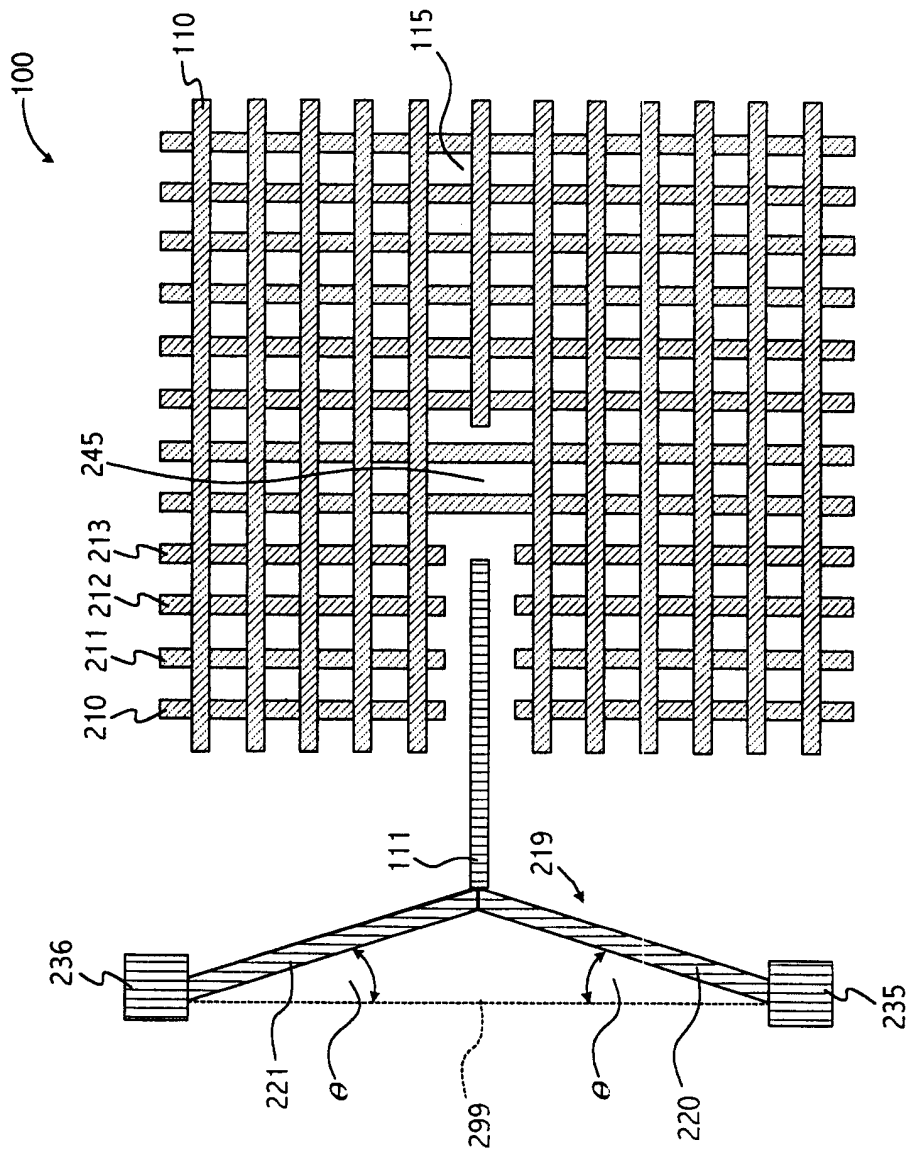


图2

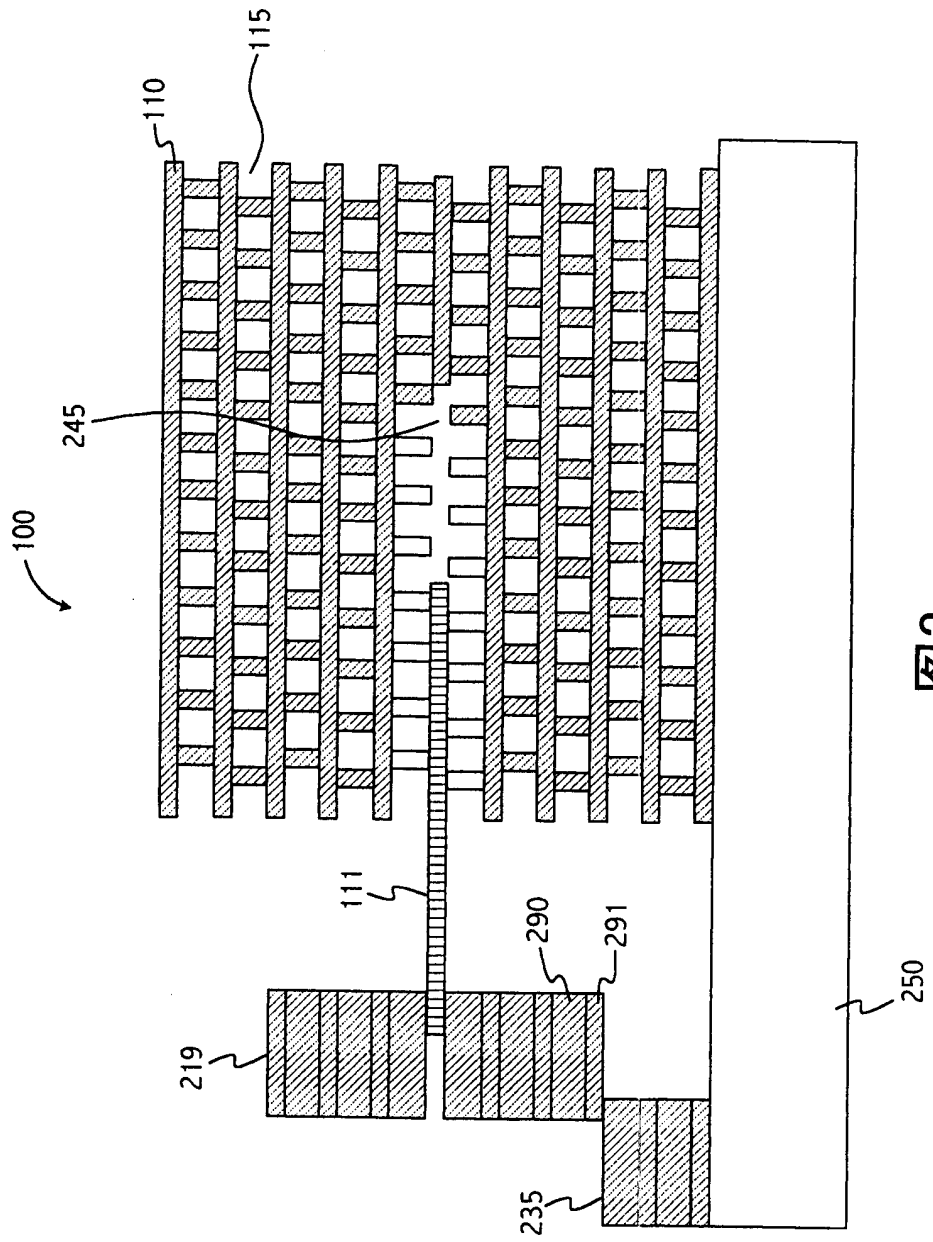


图3

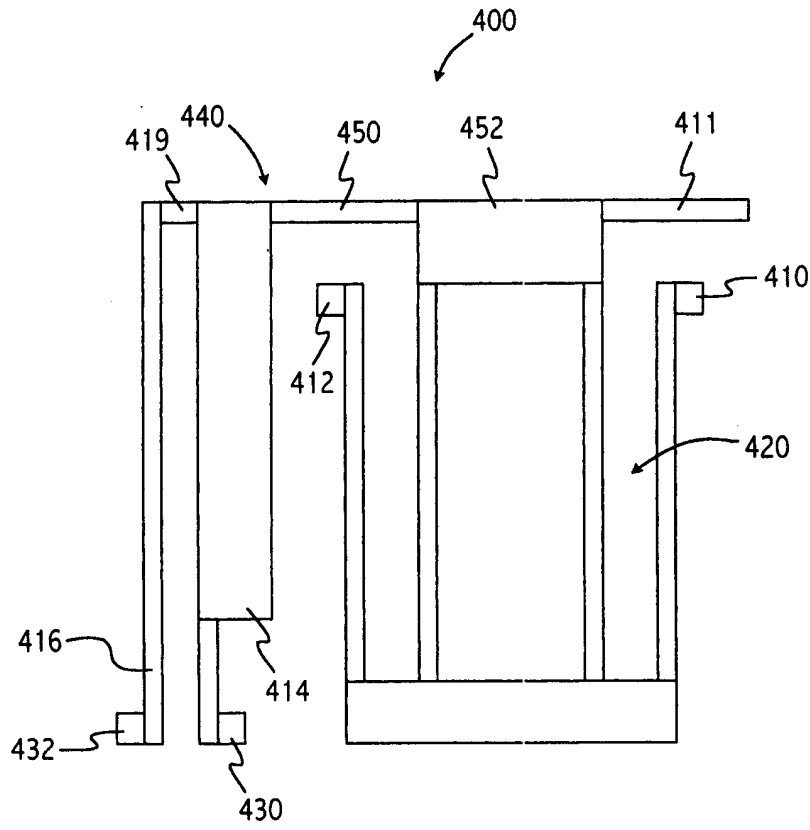


图4

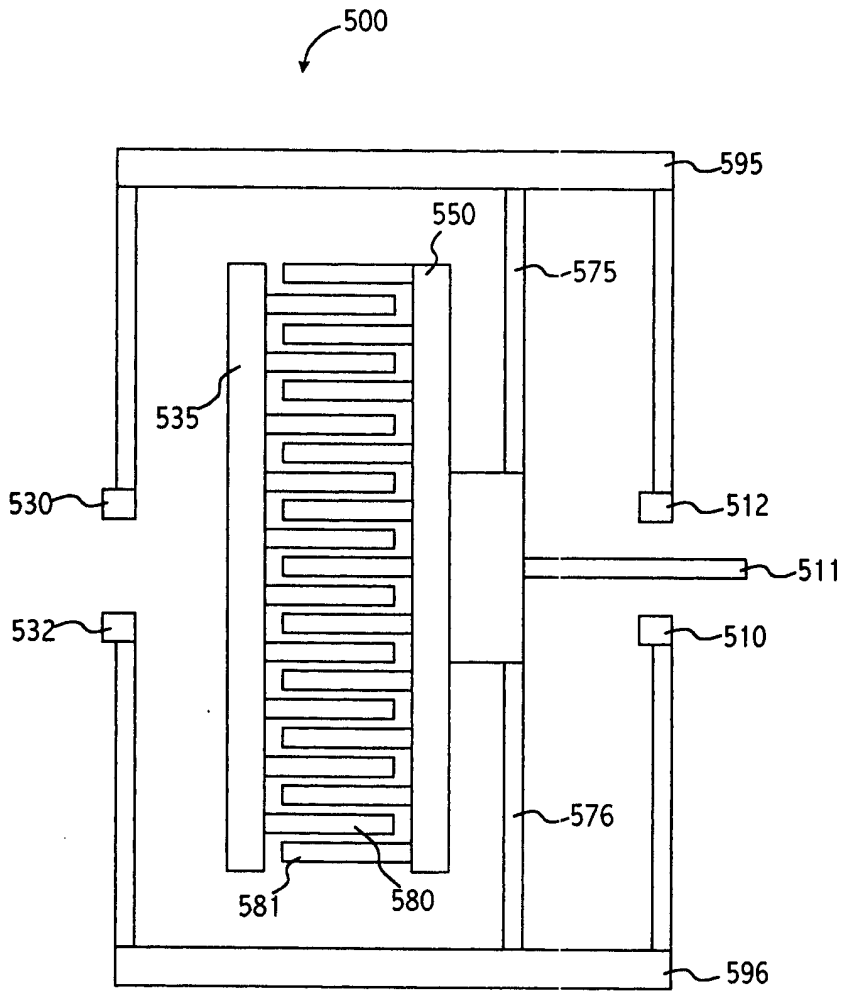
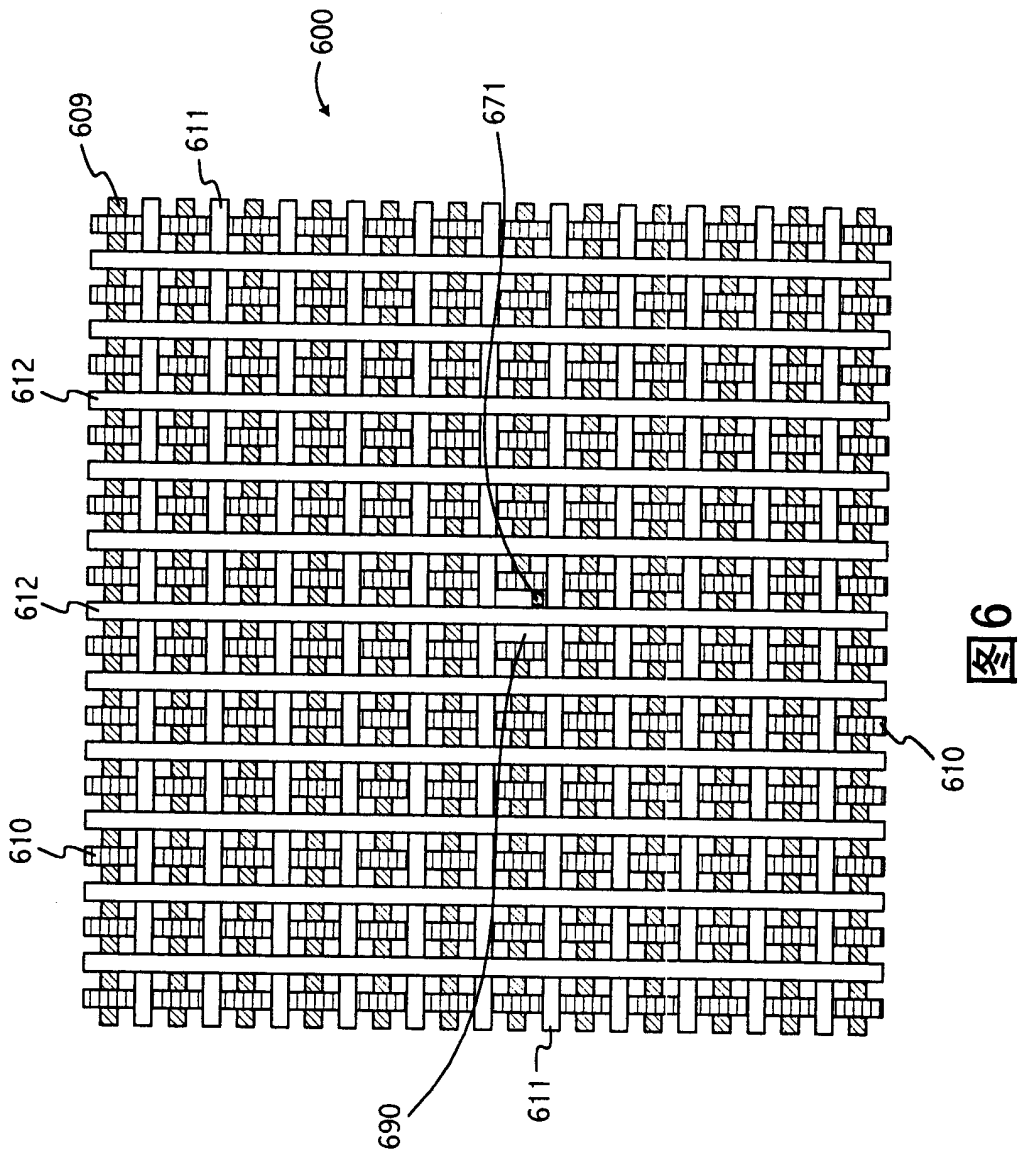


图5



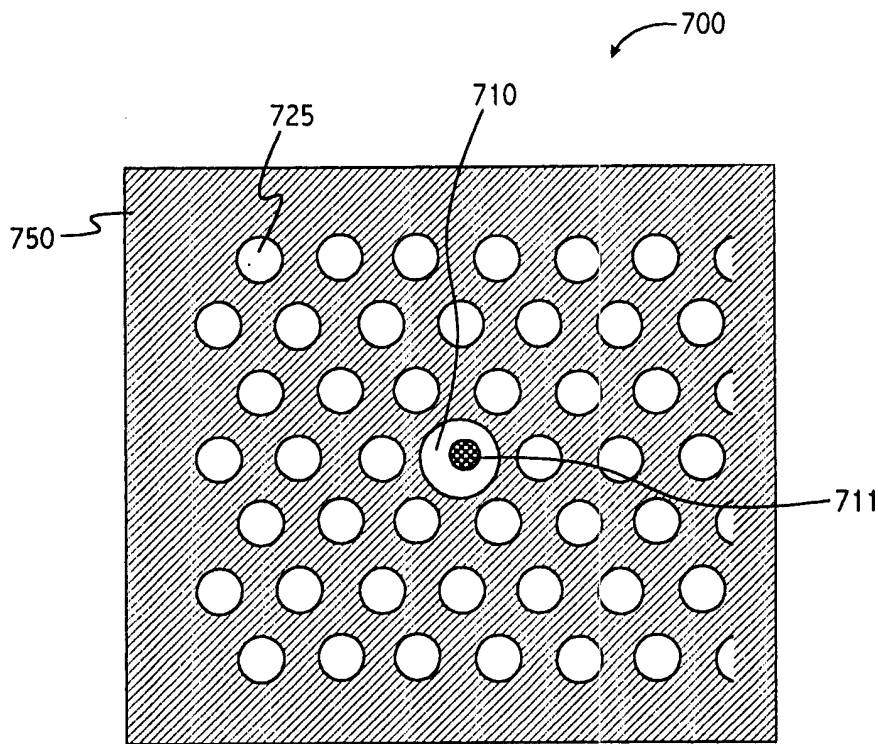


图7

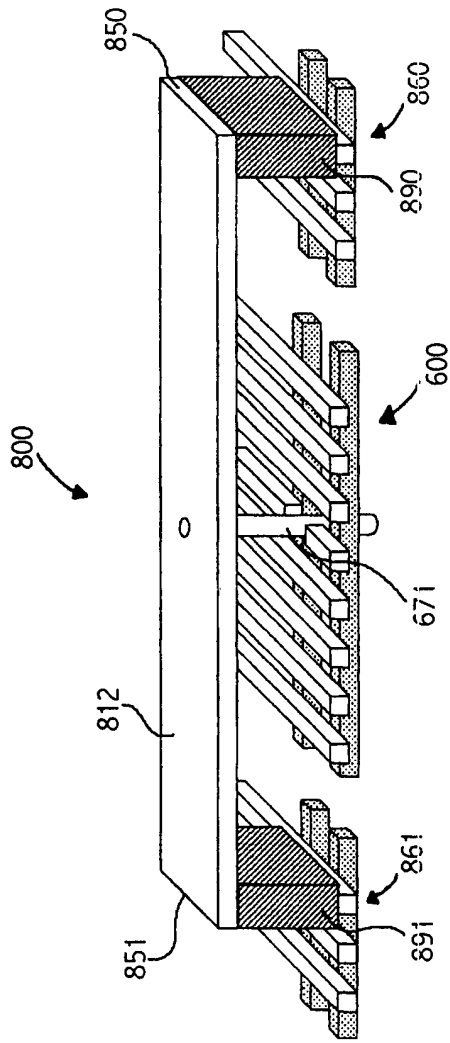


图 8