



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 212723526 U

(45) 授权公告日 2021.03.16

(21) 申请号 202020878433.8

(22) 申请日 2020.05.22

(30) 优先权数据

102019000007219 2019.05.24 IT

(73) 专利权人 意法半导体股份有限公司

地址 意大利阿格拉布里安扎

(72) 发明人 D·朱斯蒂 D·帕希

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 董莘

(51) Int.Cl.

G02B 26/08 (2006.01)

B81C 1/00 (2006.01)

B81B 7/02 (2006.01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

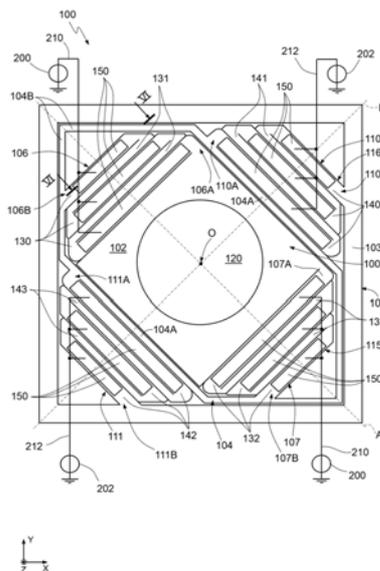
权利要求书2页 说明书11页 附图16页

(54) 实用新型名称

MEMS致动器

(57) 摘要

本公开涉及一种MEMS致动器。MEMS致动器包括半导体材料的单片式主体，其中半导体材料的支撑部可相对于彼此横切的第一旋转轴和第二旋转轴定向。半导体材料的第一框架通过第一可变形元件耦合到支撑部，第一可变形元件被配置为控制支撑部绕第一旋转轴的旋转。半导体材料的第二框架通过第二可变形元件耦合到第一框架，第二可变形元件耦合在第一框架和第二框架之间并且被配置为控制支撑部绕第二旋转轴的旋转。第一可变形元件和第二可变形元件承载相应的压电致动元件。



1. 一种MEMS致动器,包括:

半导体材料的单片式主体,其特征在于,包括:

半导体材料的支撑部,可相对于第一旋转轴和第二旋转轴定向,所述第一旋转轴横切于所述第二旋转轴;

半导体材料的第一框架,通过第一可变形元件耦合到所述支撑部,所述第一可变形元件被配置为控制所述支撑部绕所述第一旋转轴的旋转,其中所述第一框架具有伸长的六边形形状,两个第一边平行于第一对称轴,且四个端部边横切于所述第一对称轴和所述第二对称轴而延伸,其中所述第一对称轴和所述第二对称轴平行于所述第一旋转轴和所述第二旋转轴,其中所述第一可变形元件垂直于所述第一对称轴而延伸;以及

半导体材料的第二框架,通过第二可变形元件耦合到所述第一框架,所述第二可变形元件耦合在所述第一框架和所述第二框架之间,并被配置为控制所述支撑部绕所述第二旋转轴的旋转,

其中所述第二框架具有规则的四边形形状,其边与所述第一框架的端部边平行,其中所述第二可变形元件平行于所述第一对称轴而延伸;以及

其中第一可变形元件和第二可变形元件分别承载第一压电致动元件和第二压电致动元件。

2. 根据权利要求1所述的MEMS致动器,其特征在于,所述第二框架的边相对于所述第一对称轴和所述第二对称轴成 $45^\circ$ 延伸,并且所述第一可变形元件和所述第二可变形元件相对于所述第二框架的所述边成 $45^\circ$ 延伸。

3. 根据权利要求1所述的MEMS致动器,其特征在于,所述第一可变形元件和所述第二可变形元件分别由第一弹性元件和第二弹性元件形成,所述第一可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件布置在所述支撑部的相对侧,并且所述第二可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件布置在所述第一框架的相对侧,第一弹性元件和第二弹性元件具有曲折形状,其中,所述第一可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件横切于所述第一对称轴而延伸,所述第二可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件横切于所述第二对称轴而延伸。

4. 根据权利要求1所述的MEMS致动器,其特征在于,所述第一可变形元件和所述第二可变形元件分别由第一弹性元件和第二弹性元件形成,所述第一可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件配置在所述支撑部的相对侧,所述第二可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件布置在所述第一框架的相对侧,所述第一弹性元件和所述第二弹性元件具有曲折形状,其中,所述第一可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件横切于所述第一对称轴而延伸,所述第二可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件横切于所述第二对称轴而延伸。

5. 根据权利要求2所述的MEMS致动器,其特征在于,所述第一可变形元件和第二可变形元件各自由第一弹性元件和第二弹性元件形成,所述第一可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件被布置在所述支撑部的相对侧,所述第二可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件被布置在所述第一框架的相对侧,所述第一弹性元件和所述第二弹性元件具有曲折形状,其中,所述第一可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件横切于所述第一对称轴而延伸,而所述第二可变形元件的所述第一弹性元件和所述第

二弹性元件横切于所述第二对称轴而延伸。

6. 根据权利要求3所述的MEMS致动器,其特征在于,所述第一可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件包括:

承载所述第一压电致动元件的相应的第一可变形臂和第二可变形臂;以及

相应的第一连接臂和第二连接臂,其连接相应接连的第一可变形臂和第二可变形臂的相对端部,从而形成曲折形状。

7. 根据权利要求3所述的MEMS致动器,其特征在于,所述第二可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件包括:

承载第二压电致动元件的相应的第三可变形臂和第四可变形臂;以及

相应的第三连接臂和第四连接臂,连接相应接连的第三可变形臂和第四可变形臂的相对端部,从而形成所述曲折形状。

8. 根据权利要求3所述的MEMS致动器,其特征在于:

所述第一可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件通过相应的第一端部耦合到所述支撑部,并通过相应的第二端部耦合到所述第一框架;

所述第二可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件通过相应的第一端部耦合到所述第一框架,并通过相应的第二端部耦合到所述第二框架;

所述第一可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件的所述第一端部和所述第二端部相对于所述第二旋转轴对称地布置;并且

所述第二可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件的所述第一端部和所述第二端部相对于所述第一旋转轴对称。

9. 根据权利要求3所述的MEMS致动器,其特征在于:

所述第一可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件通过相应的第一端部耦合到所述支撑部,并通过相应的第二端部耦合到所述第一框架,

所述第二可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件通过相应的第一端部耦合到所述第一框架,并通过相应的第二端部耦合到所述第二框架;

所述第一对称轴和所述第二对称轴定义了MEMS致动器的中心,并且

所述第一可变形元件和所述第二可变形元件的所述第一弹性元件和所述第二弹性元件的所述第一端部和所述第二端部,相对于所述中心旋转180°。

10. 根据权利要求8所述的MEMS致动器,其特征在于,进一步包括半导体材料的第一扭转臂和第二扭转臂,其中,所述第一扭转臂在所述第一弹性元件和所述第一框架之间延伸,并且其中,所述第二扭转臂在所述第二弹性元件和所述第二框架之间延伸。

11. 根据权利要求10所述的MEMS致动器,其特征在于,所述第一扭转臂沿所述第一对称轴延伸,并且所述第二扭转臂沿所述第二对称轴延伸。

12. 根据权利要求1所述的MEMS致动器,其特征在于,所述支撑部具有第一更大表面和第二更大表面,并且包括中央开口,所述支撑部支撑透镜。

## MEMS致动器

### 技术领域

[0001] 本公开涉及一种用于补偿不期望的运动的微机电系统 (MEMS) 压电致动器及其制造工艺。特别地,在下文中参考一种压电MEMS致动器,该压电MEMS致动器被配置为在光学装置(诸如例如是静态数码相机 (DSC)) 中执行光学图像稳定 (OIS),特别是针对自动聚焦应用,但本公开不限于此。

### 背景技术

[0002] 众所周知,致动器是将一种类型的物理量转换成另一种不同类型的物理量的装置。特别地,转换产生的量通常会导致某种形式的运动或机械作用。

[0003] 近来,已经提出了微米尺寸和纳米尺寸的致动器,也被称为微型致动器或纳米致动器,其可以使用半导体技术(例如, MEMS技术)并且因此以受控的成本来制造。这样的微型致动器和纳米致动器可以被用于各种装置中,特别是在移动和便携式装置中。

[0004] 微型致动器的例子是阀门、开关、泵、线性和旋转微型电动机、线性定位装置、扬声器和光学装置(例如光学自动聚焦装置)。

[0005] 已知的微型致动器可以根据四个物理原理进行工作:

[0006] -静电:它们利用带相反电荷的导体之间的吸引力;

[0007] -热:它们利用由热膨胀或收缩引起的位移;

[0008] -压电:它们利用由电场感应的应力和应变所引起的位移;以及

[0009] -磁:它们利用由具有不同磁性特征的元件(诸如永磁体、外部磁场、可磁化材料和电流导体)之间的相互作用所引起的位移。

[0010] 每种技术在功耗、运动速度、施加的力、运动幅度、运动轮廓、制造简单性、施加的电信号的幅度、稳健性和灵敏度方面都有其优点和局限性,这使这些技术的使用在某些应用中具有优势,但在其他领域不具有优势,因此技术决定了其使用领域。

[0011] 在下文中,考虑了根据压电原理并且特别是利用MEMS薄膜压电 (TFP) 技术进行操作的MEMS致动器。

[0012] 目前,TFP-MEMS技术使用单面结构致动模式,其中通常由至少两个叠加层形成的结构(例如,隔膜、梁或悬臂梁)由于施加应力的变化而发生弯曲。在这种情况下,在其中一层(被称为主动层)中获得的应变的受控变化,会导致在另一层或其它层(也被称为非主动层或被动层)中产生被动应变,从而导致结构弯曲。

[0013] 在希望获得垂直运动(即在垂直于结构所在平面的方向上的运动)的应用(例如墨水打印头、自动对焦系统、微型泵、微型开关和扬声器)中,上述技术被有利地用于使隔膜、梁或悬臂梁弯曲。

[0014] 例如,图1A和1B示出了在第一端部2处受约束并且在第二端部3处自由弯曲的悬臂梁1。梁1在这里由堆叠层构成,所述堆叠层包括:例如,具有第一导电类型(例如P)的半导体材料的支撑层5;例如,压电材料 (PZT) 的主动层6;以及例如,具有第二导电类型(例如N)的半导体材料的顶层7。

[0015] 如图1B所示,在存在反向偏置的情况下,施加的电场会在梁1中产生应变,从而使第二端部3向下运动。

[0016] 图2A和2B示出了应用于通用光学装置的压电MEMS致动器的实施例。在此,由10表示的光学装置包括:通过透镜元件11(例如聚合物材料)设置在支撑件12(例如也是玻璃)上的可变形部件或隔膜15(例如玻璃,诸如BPSG(硼磷硅玻璃)玻璃),隔膜15例如进一步承载以相互距离分开布置的两个压电区域13。

[0017] 在没有偏置的情况下,在图2A中,隔膜15和透镜元件11具有平坦的表面,并且不更改通过它们的光束16的路径。当压电区域13被偏置时,在图2B中,它们引起隔膜15的变形。隔膜15的中央区域的变形被传递到透镜元件11,该透镜元件的顶表面弯曲,从而改变了透镜元件11的焦点以及光束16的路径。因此,可以改变光学装置10的光传输特性。

[0018] 此外,已知的是,诸如静态数码相机的已知光学装置在使用中可能遭受由外部引起的不期望的运动,诸如由于使用静态数码相机的用户的手颤动而引起的振动运动。

[0019] 特别地,在使用中,光学装置的一个或多个透镜接收光束并将其朝向被容纳在光学装置中的图像传感器聚焦;接下来,图像传感器接收并处理聚焦的光束以生成图像。

[0020] 然而,当光学装置遭受到不期望的运动时,通过透镜朝向图像传感器的光束的光学路径被偏转;因此,相对于未由外部引起移动的情况,图像传感器在移位的位置接收光束。因此,图像传感器会生成低质量的图像,例如散焦图像。

[0021] 为了解决这个问题,在最近几年中,已经开发了集成了致动器和相应传感系统的光学装置,该光学装置被配置为量化和补偿不期望的运动。

[0022] 例如,通过引用而并入的美国专利号9,625,736描述了在图3A至图3B中示意性示出了该类型的致动器。特别地,图3A示出了光学装置30(例如,静态数码相机)的一部分的示例,该光学装置30包括致动器40,该致动器40用于补偿由外部引起的不期望的运动,并且沿笛卡尔参考系XYZ的X轴和Y轴生成位移。在所示的示例中,致动器40是音圈电动机(VCM),即电磁致动器。

[0023] 光学装置30包括支撑结构32,该支撑结构32包括外壳52(为了清楚起见在图3B中未示出),以及限定第一表面32A和第二表面32B的衬底42。支撑结构32容纳第一腔体34,该第一腔体通过在外壳52的第一表面32A处形成的开口36与外部环境连通。特别地,腔体34容纳致动器40。

[0024] 半导体材料(例如,多晶硅)的衬底42具有面对支撑结构32的外部、并容纳第一印刷电路板(PCB)46的凹部44。

[0025] 第一印刷电路板46承载通过导电路径(未示出)而电耦合在一起的运动传感器48和集成驱动电路49。

[0026] 第一永磁元件51A、第二永磁元件51B、第三永磁元件51C和第四永磁元件51D布置在支撑结构32内,并且具有例如在俯视图中厚度缩减的平行六面体形状(图3B)。特别地,第一永磁元件51A和第二永磁元件51B具有彼此相反的磁性,在支撑结构32的两个相对侧延伸,并且具有平行于笛卡尔参考系XYZ的X轴的较长边(在图3B的俯视图中);同样,第三永磁体51C和第四永磁体51D具有彼此相反的磁性,在支撑结构32的另外两个相对侧延伸,并具有平行于笛卡尔参考系XYZ的Y轴的较长边(在图3B的顶视图中)。

[0027] 永磁元件51A至51D沿着外壳52的侧壁布置在外壳内部,并且以一定距离围绕致动

器40。

[0028] 外壳52在永磁体元件51A至51D的旁边和上方延伸,并且至少部分地相对于衬底42侧向地延伸(图3A)。

[0029] 光学装置30进一步包括图像获取模块38,该图像获取模块38包括第一光学模块60和第二光学模块61,它们彼此同轴并且具有平行于Z轴的光轴S。

[0030] 详细地,第一光学模块60包括第一透镜70,该第一透镜70被配置为接收来自外部环境的光束72。第二光学模块61包括光学耦合到第一透镜70的第二透镜71(图3中示意性地示出了三个)。

[0031] 图像获取模块38被容纳在镜筒80中的腔体81中。

[0032] 此外,光学装置30包括第二印刷电路板82,第二印刷电路板82在其顶表面82A处耦合至镜筒80,以在底部界定镜筒80的腔体81。图像传感器84在第二印刷电路板82的顶表面82A上延伸;例如,图像传感器84由二极管阵列形成并且电耦合至第二印刷电路板82。此外,图像传感器84可操作地耦合至图像获取模块38;特别地,第一光学模块60和第二光学模块61被配置为将光束72聚焦到图像传感器84上。

[0033] 光学装置30的致动器40包括围绕镜筒80的磁体90(例如,由铁磁性材料制成)和围绕磁体90延伸并通过导电路径(未示出)电耦合至集成驱动电路49的线圈92。

[0034] 在使用中,当光学装置30经受由外部引起的不期望的运动时,运动传感器48检测到这些运动并生成电信号,该电信号被传输至集成驱动电路49;集成驱动电路49处理电信号并确定例如由光学装置30上的运动所生成的力的大小和方向。

[0035] 基于处理后的信息,集成驱动电路49生成电流,该电流被馈送到线圈92以使图像检测结构38沿X轴和Y轴运动。

[0036] 详细地,由于电流在线圈92中通过,洛伦兹力作用在致动器40与永磁元件51A至51D之间,并导致图像获取模块38与镜筒80和第二印刷电路板82一起朝向第一永磁体51A或第二永磁体51B运动(沿X轴的运动),和/或朝向第三永磁体51C或第四永磁体51D(沿Y轴的运动)运动。

[0037] 因此,光束72偏转与洛伦兹力的大小相关的角度,从而补偿不期望的运动。

[0038] 光学装置30的致动器40使得能够通过一个角度来校正光束72的光路,对于中级静态数码相机该角度例如为 $\pm 0.75^\circ$ ,并且对于专业的静态数码相机例如为 $\pm 1.50^\circ$ 。

[0039] 然而,图3所示类型的光学装置具有一些缺点。

[0040] 特别地,由于电磁致动缓慢,致动器40以有限的速度移动图像获取模块38。

[0041] 而且,致动器40的线圈92所使用的电流,用于生成足以补偿由外部引起的不期望的运动的洛伦兹力,该电流是高的(例如,被包括在50mA和80mA之间)。

[0042] 因此,在本领域中需要提供一种MEMS致动器及其制造工艺,以克服现有技术的缺点。

### 实用新型内容

[0043] 鉴于上述问题,本公开的实施例旨在解决或缓解上述问题的至少一部分。

[0044] 根据本公开的一方面,提供一种MEMS致动器,包括:半导体材料的单片式主体,包括:半导体材料的支撑部,可相对于第一旋转轴和第二旋转轴定向,所述第一旋转轴横切于

所述第二旋转轴；半导体材料的第一框架，通过第一可变形元件耦合到所述支撑部，所述第一可变形元件被配置为控制所述支撑部绕所述第一旋转轴的旋转，其中所述第一框架具有伸长的六边形形状，两个第一边平行于第一对称轴，且四个端部边横切于所述第一对称轴和所述第二对称轴而延伸，其中所述第一对称轴和所述第二对称轴平行于所述第一旋转轴和所述第二旋转轴，其中所述第一可变形元件垂直于所述第一对称轴而延伸；以及半导体材料的第二框架，通过第二可变形元件耦合到所述第一框架，所述第二可变形元件耦合在所述第一框架和所述第二框架之间，并被配置为控制所述支撑部绕所述第二旋转轴的旋转，其中所述第二框架具有规则的四边形形状，其边与所述第一框架的端部边平行，其中所述第二可变形元件平行于所述第一对称轴而延伸；以及其中第一可变形元件和第二可变形元件分别承载第一和第二压电致动元件。

[0045] 在一些实施例中，第二框架的边相对于第一对称轴和第二对称轴成 $45^\circ$ 延伸，并且第一可变形元件和第二可变形元件相对于第二框架的边成 $45^\circ$ 延伸。

[0046] 在一些实施例中，第一变形元件和第二变形元件分别由第一弹性元件和第二弹性元件形成，第一变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件布置在支撑部的相对侧，并且第二可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件布置在第一框架的相对侧，第一弹性元件和第二弹性元件具有曲折形状，其中，第一可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件横切于第一对称轴而延伸，第二可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件横切于第二对称轴而延伸。

[0047] 在一些实施例中，第一变形元件和第二变形元件分别由第一弹性元件和第二弹性元件形成，第一变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件配置在支撑部的相对侧，第二可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件布置在第一框架的相对侧，第一弹性元件和第二弹性元件具有曲折形状，其中，第一可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件横切于第一对称轴而延伸，第二可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件横切于第二对称轴而延伸。

[0048] 在一些实施例中，第一变形元件和第二变形元件各自由第一弹性元件和第二弹性元件形成，第一变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件被布置在支撑部的相对侧，第二可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件被布置在第一框架的相对侧，第一弹性元件和第二弹性元件具有曲折形状，其中，第一可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件横切于第一对称轴而延伸，而第二可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件横切于第二对称轴而延伸。

[0049] 在一些实施例中，第一可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件包括：承载第一压电致动元件的相应第一可变形臂和第二可变形臂；以及相应的第一连接臂和第二连接臂，其连接相应接连的第一可变形臂和第二可变形臂的相对端部，从而形成曲折形状。

[0050] 在一些实施例中，第二可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件包括：承载第二压电致动元件的相应的第三可变形臂和第四可变形臂；以及相应的第三连接臂和第四连接臂，连接相应接连的第三可变形臂和第四可变形臂的相对端部，从而形成曲折形状。

[0051] 在一些实施例中，第一可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件通过相应第一端部耦合到支撑部，并通过相应的第二端部耦合到第一框架；第二可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件通过相应第一端部耦合到第一框架，并通过相应的第二端部耦合

到第二框架；第一可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件的第一端部和第二端部相对于第二旋转轴对称地布置；并且第二可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件的第一端部和第二端部相对于第一旋转轴对称。

[0052] 在一些实施例中，第一可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件通过相应的一端部耦合到支撑部，并通过相应的另一端部耦合到第一框架，第二可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件通过相应的一端部耦合到第一框架，并通过相应的另一端部耦合到第二框架；第一对称轴和第二对称轴定义了MEMS致动器的中心，并且第一可变形元件和第二可变形元件的第一弹性元件和第二弹性元件的第一端部和第二端部，相对于中心旋转180°。

[0053] 在一些实施例中，MEMS致动器进一步包括半导体材料的第一扭转臂和第二扭转臂，其中，第一扭转臂在第一弹性元件和第一框架之间延伸，并且其中，第二扭转臂在第二弹性元件和第二框架之间延伸。

[0054] 在一些实施例中，第一扭转臂沿第一对称轴延伸，并且第二扭转臂沿第二对称轴延伸。

[0055] 在一些实施例中，支撑部具有第一更大表面和第二更大表面，并且包括中央开口，支撑部支撑透镜。

[0056] 通过使用根据本公开的实施例，可以至少部分地解决或缓解上述问题的至少一部分，并且实现相应的技术效果。例如，这种MEMS致动器可以量化和补偿由外部引起的不期望的运动。

## 附图说明

[0057] 为了更好地理解，现在参照附图，仅通过非限制性示例的方式描述实施例，其中：

[0058] 图1A和1B分别示出了已知压电MEMS致动器处于静止状态和处于变形状态时的简化侧视图。

[0059] 图2A和图2B分别示出了另一种被用于光学装置中的已知的压电MEMS致动器处于静止位置和处于变形状态时的简化侧视图。

[0060] 图3A是已知的光学装置的示意性横截面图。

[0061] 图3B是图3A的光学装置的去掉部分的示意性俯视图。

[0062] 图4示出了根据第一实施例的MEMS致动器的俯视图。

[0063] 图5是图4的MEMS致动器的仰视透视图。

[0064] 图6是沿图4的剖面线VI-VI截取的图4的MEMS致动器的一部分的纵向剖面图。

[0065] 图7和图8是图4的MEMS致动器处于不同操作位置时的透视图。

[0066] 图9是根据另一实施例的MEMS致动器的俯视图。

[0067] 图10是根据又一实施例的MEMS致动器的俯视图。

[0068] 图11至图15是在后续制造步骤中通过图3、图9和图10的MEMS致动器的一部分的剖面图。

## 具体实施方式

[0069] 图4至图6示意性地示出了压电型的MEMS致动器100。特别地，MEMS致动器100被配

置为集成例如用于自动聚焦的光学装置,并允许补偿不期望的运动。

[0070] MEMS致动器100由半导体材料(例如,多晶硅)101的单片式主体形成,其具有大体上平行的六面体形状,且具有第一较大表面100A和第二较大表面100B以及缩减的厚度(在平行于笛卡尔参考系XYZ中的笛卡尔Z轴的方向上)。在图4至图6的实施例中,MEMS致动器100具有(在俯视图中)正方形,其边长例如为7mm×7mm且深度(在Z方向上)例如为710μm。

[0071] MEMS致动器100的主体101包括:支撑部102,其在俯视图(图4)中具有四边形形状(例如,正方形);第一框架104,其围绕支撑部102,在俯视图中具有多边形形状(例如,细长的六边形)并通过第一可变形元件115耦合到支撑部102;第二框架108,其围绕第一框架104,在俯视图中具有四边形的形状(例如,正方形)并通过第二可变形元件116耦合到第一框架104。此处,第二框架108相对于第一框架104旋转45°。

[0072] 特别地,在图4至图6所示的实施例中,第二框架108的两条对角线形成支撑部102的、相对于彼此横切(特别是垂直)的第一对称轴A和第二对称轴B,并且进一步形成第一框架104的对称轴,该对称轴在第一对称轴A的方向上延展。特别地,第一框架104具有:两个较长边104A,其彼此平行并与第一对称轴A平行;以及四个较短边104B(两两平行),其相对于对称轴A和B横切(此处为45°)。因此,第一框架104的较长边104A相对于第二框架108的边横切(45°),并且第一框架104的较短边104B与第二框架108的边平行(两两平行)。

[0073] 特别地,由于MEMS致动器100的深度(沿轴Z)可忽略,因此对称轴A、B在中心O处彼此相交,并且位于笛卡尔参考系XYZ的XY平面内,所述XY平面类似于MEMS致动器100的较大表面100A、100B。

[0074] 支撑部102具有例如圆形的开口120,其中心O在第二框架108以及MEMS致动器100的中心。

[0075] MEMS致动器100承载透明材料(例如,玻璃,诸如BPSG、氧化硅或PSG)的透镜125,该透镜125粘结(例如胶合)到致动器的第二表面100B上的支撑部102上,并且此处具有平行六面体形状。更详细地,开口120被配置为在使用中使光束能够经由透镜125通过。

[0076] 第一可变形元件115包括第一弹簧元件106和第二弹簧元件107;此外,第二可变形元件116包括第三弹簧元件110和第四弹簧元件111。

[0077] 第一弹簧元件106和第二弹簧元件107关于第二对称轴B彼此对称,并通过相应的第一端部106A、107A固定到支撑部102且通过相应的第二端部106B、107B固定到第一框架104。在图4和图5所示的实施例中,第一弹簧元件106和第二弹簧元件107具有曲折形状。

[0078] 特别地,第一弹簧元件106和第二弹簧元件107包括相应的第一可变形臂130和第二可变形臂132,以及相应的第一连接臂131和第二连接臂133,它们彼此平行延伸并平行于第二对称轴B且垂直于第一对称轴A延伸。第一连接臂131和第二连接臂133被插入在沿着曲折的形状彼此接连的(在平行于第一对称轴A的方向)两个相应第一可变形臂130和第二可变形臂132之间。特别地,每个连接臂131、133连接在第一对称轴A的相对侧上布置的可变形臂130、132的后续端部。

[0079] 同样,第三弹簧元件110和第四弹簧元件111相对于第一对称轴A彼此对称,并且在相应的第一端部110A、111A处被固定到第一框架104且在相应的第二端部110B、111B处固定到第二框架108。在图4和5所示的实施例中,第三弹簧元件110和第四弹簧元件111也具有曲折形状。

[0080] 类似于第一弹簧元件106和第二弹簧元件107,第三弹簧元件110和第四弹簧元件111分别包括相应的第三可变形臂140和第四可变形臂142,以及相应的第三连接臂141和第四连接臂143,它们彼此平行延伸并平行于第一对称轴A且垂直于第二对称轴B延伸。第三连接臂141和第四连接臂143(在与第二对称轴B平行的方向上)被插入在相应接连的第三可变形臂140和第四可变形臂142之间以形成曲折结构。

[0081] 第一弹簧元件106和第二弹簧元件107的第一端部106A、107A在相对于第二对称轴B对称的位置处被固定到支撑部102,第一端部106A、107A与第一对称轴A隔开一定距离并且在第一对称轴A的同一侧,例如,接近第三弹簧元件110。此外,第一弹簧元件106和第二弹簧元件107的第二端部106B、107B在相对于第二对称轴B对称的位置,被固定在第一框架104的两个相应的较短边104B处,并且第二端部106B、107BA与第一对称轴A隔开一定的距离且在第一对称轴A的同一侧,此处为接近第四弹簧元件111。

[0082] 同样地,第三弹簧元件110和第四弹簧元件111的第一端部110A、111A在相对于第一对称轴A对称的位置被固定在第一框架104的两个相应的较长边104A处,并且第一端部110AB、111A与第二对称轴B隔开一定距离并且第一端部110AB、111A在第二对称轴B的同一侧,例如接近第一弹簧元件106。此外,第三弹簧元件110和第四弹簧元件111的第二端部110B、111B在相对于第一对称轴A对称的位置被固定到第二框架108,并且第二端部110B、111B与第二对称轴B隔开一定距离并且在第二对称轴B的同一侧上,此处为与第二弹簧元件107相邻的位置。

[0083] 由于以下布置:即,在第二框架108的角部附近,可变形臂130、132、140、142和连接臂131、133、141、143横切第二框架108的边,所以可变形臂130、132、140、142和连接臂131、133、141、143具有可变的长度,如图4和5可以看到的。

[0084] 特别地,如在图5中可以看到的,可变形臂130、132、140、142除在它们自己的端部之外具有比主体101的其余部分小的厚度,以便具有高的柔性,如在下文中参考图6详细描述的那样。例如,它们的厚度可以在 $4\mu\text{m}$ 至 $100\mu\text{m}$ 之间,此处特别为 $80\mu\text{m}$ 。

[0085] 每个可变形臂130、132、140、142承载相应的压电材料的相应条带150,该压电材料例如是具有钛酸锆铅(PZT)或氮化铝(AlN)的基底的陶瓷。

[0086] 图6示出了第一可变形臂130的结构,该结构对于可变形臂132、140、142也是相同的。此外,图6还示出了第一框架104的一部分(特别地是较长边104A中的一个)。

[0087] 详细地,可变形臂130包括侧向界定腔体810的第一衬底部分702A和第二衬底部分702B。较长边104A包括第三衬底部分702C,第三衬底部分702C与第二衬底部分702B一起侧向界定沟槽755。

[0088] 例如由氧化硅制成的第一绝缘层704在衬底部分702A至702C上延伸。

[0089] 半导体材料(例如,多晶硅)的隔膜层706在第一绝缘层704上延伸;特别地,其部分地悬挂在腔体810上方以在此处形成隔膜812(厚度缩减的部分,在图5中也可见)。

[0090] 第二绝缘层180(例如氧化硅)至少部分的在隔膜层706上方延伸。

[0091] 条带150在第二绝缘层180上延伸;特别地,第一条带150包括由第一电极171、压电区域172和第二电极173形成的堆叠。条带150形成电容器。在使用中,通过第一导电路径210(在图4中示意性地示出),第一电极171连接到参考电位(例如,接地)且第二电极173连接到电压源200。

[0092] 第一钝化层730(例如氧化铝)在第一绝缘层180上以及在第一电极171和第二电极173上延伸并且在压电区域172旁边;此外,例如USG(未掺杂的硅玻璃)的第二钝化层732在第一钝化层730上方延伸。特别地,第一接触开口740和第二接触开口741延伸穿过第一钝化层730和第二钝化层732,并且分别暴露条带150的第一电极171和第二电极173的一部分。

[0093] 导电材料的第一金属化层734A和第二金属化层734B在第二钝化层732上以及在接触开口740、741中延伸,以与第一电极171和第二电极173电接触。

[0094] 第三钝化层736(例如氮化物)在第二钝化层732上以及在第一金属化层734A和第二金属化层734B上延伸。第三接触开口750延伸穿过第三钝化层736并暴露出第一金属化层734A的一部分。

[0095] 导电材料(例如,金Au)的接触层752在第三钝化层736上延伸并且填充第三接触开口750以与第一金属化层734A电接触。

[0096] 再次参考图4,第一可变形臂130和第二可变形臂132的条带150通过第一导电路径210被第一电压源200偏置,而第三可变形臂140和第四可变形臂142的条带150通过第二导电路径212(在图4中示意性地示出)电连接至第二电压发生器202。

[0097] 向第三可变形臂140和第四可变形臂142的条带150施加静态致动电压(例如40V),会导致后者向上偏离出XY平面;此外,由于未对第三连接臂141和第四连接臂143进行偏置,所以它们不变形而是分别随第三可变形臂140和第四可变形臂142刚性地旋转。因此,同样借助于第三弹簧元件110和第四弹簧元件111的曲折形状,第一框架104、第一弹簧元件106、第二弹簧元件107和支撑部102大致绕第二对称轴B旋转,如图7中所示(其中MEMS致动器100被示出为相对于图5的俯视图逆时针旋转了90°)。

[0098] 同样,通过向第一可变形臂130和第二可变形臂132的条带150施加静态致动电压(例如40V),可以使第一连接臂131和第二连接臂133分别随第一可变形臂130和第二可变形臂132刚性旋转,并且使支撑部102大致围绕第一对称轴A旋转,如图8所示(其中MEMS致动器100被示出相对于图5的俯视图逆时针旋转了90°)。

[0099] 通过同时偏置所有条带150并调制施加到它们的致动电压,可以使支撑部102绕两个旋转轴A、B旋转可选择的角度(例如,最大值高达1.2°)。

[0100] 图9示出了本MEMS致动器的另一实施例。详细地,图9示出了MEMS致动器300,其具有与图4至6所示的MEMS致动器100相似的一般结构,所以在图9中与参考图4至6示出和描述的部件相似的部件由增加了200的附图标记表示,并不再进一步描述。

[0101] 在图9的实施例中,第一弹簧元件306和第二弹簧元件307具有第一端部306A、307A和第二端部306B、307B,并且分别布置在第一对称轴A和第二对称轴B的相对侧;通常,第二弹簧元件307可以通过使第一弹簧元件306相对于中心O旋转180°来获得。类似地,第三弹簧元件310和第四弹簧元件311具有第一端部310A、310B和第二端部311B、311A,并且分别布置在第一对称轴A和第二对称轴B的相对侧;通常,第四弹簧元件311可以通过使第三弹簧元件310相对于中心O旋转180°来获得。

[0102] 在本实施例中,每个条带350电连接到各自的电压源400至403;以这种方式,在使用中,每个条带350可以独立于其他条带350而被致动。

[0103] 在使用中,图9的MEMS致动器300以类似于参考图7至图8所述的方式操作,不同之处在于:第一弹簧元件306和第二弹簧元件307使支撑部302大致沿相反的方向绕第一对称

轴A旋转,并且第三弹簧元件310和第四弹簧元件311分别使第一框架304和支撑部302大致沿相反的方向绕第二对称轴B旋转。因此,电压源400、401以及电压源402、403被交替激活。

[0104] 通过给可变形臂330、332、340、342提供50 $\mu\text{m}$ 的厚度并利用可以被调制至高达40V的电压来控制电压源400至404,从而可以使支撑部302定向,因此,可以使透镜(未示出)相对于旋转轴A、B成例如+1.57°和-1.57°的角度。

[0105] 图10示出了本MEMS致动器的另一实施例。详细地,图10示出了MEMS致动器500,其具有与图9所示的MEMS致动器300相似的一般结构;因此,在图10中与参考图9示出和描述的部件相似的部件,由增加了200的附图标记表示,并不再进一步描述。

[0106] 特别地,除了上面参考图9描述的几何形状之外,MEMS致动器500还包括适于将每个弹簧元件506、507、510、511分别连接到第一框架504和第二框架508的第一扭转臂620、第二扭转臂621、第三扭转臂630和第四扭转臂631。特别地,扭转臂620、621沿着第一对称轴A延伸并且经受绕轴A的扭转变形;类似地,扭臂630、631沿着第二对称轴B延伸并且经受绕轴B的扭转变形。

[0107] 详细地,第一扭转臂620和第二扭转臂621分别在第一弹簧元件506和第二弹簧元件507的可变形臂530A、532A之间延伸,所述可变形臂530A、532A以远离中心O布置,所述角部(在第一框架504的较短边504B之间的角,与第一对称轴A交叉)面向第一框架504。

[0108] 同样,第三扭转臂630和第四扭转臂631分别在第三弹簧元件510和第四弹簧元件511的可变形臂540A、542A之间延伸,所述可变形臂540A、542A以远离中心O布置,所述角部(在第二框架508的边之间的角,与第二对称轴B交叉)面向第二框架508。

[0109] 在使用中,图10的MEMS致动器500以类似于针对图9的MEMS致动器300所描述的方式操作。

[0110] 通过仿真,已经证实,相对于图9至图13所示的MEMS致动器300,由于存在扭转臂620、621、630、631,MEMS致动器500对外部负载具有更高的电阻以及具有更高的共振频率;此外,已经证实,由外部负载生成的应力(例如压力)普遍集中在扭转臂620、621、630、631中。

[0111] 图11至图15示出了MEMS致动器100、300、500制造工艺的后续步骤,特别是可变形臂130、132、140、142、330、332、340、342、530、532、540、542,以及面对它们的第一框架和第二框架104、304、504、108、308、508的一部分。为了简单起见,下文中将参考MEMS致动器100,特别是参考可变形臂130中的一个以及第一框架104的一部分(特别是较长边104A中的一个)。

[0112] 详细地,图11示出了第一晶片700,其具有顶表面700A和底表面700B;特别地,根据与美国专利申请公开No.2014/0313264A1(其通过引用并入于本文)中描述的制造步骤相似的制造步骤,来处理第一晶片700。因此,以下简要概述与上述专利共有的用于制造第一晶片700的步骤。

[0113] 第一晶片700包括:半导体材料(例如,硅)的衬底702;第一绝缘层704,其在衬底702上延伸;隔膜层706,其在中间层704上延伸;图6的第二绝缘层180;以及第一堆叠层710,其在顶表面700A上延伸。

[0114] 详细地,第一绝缘层704和第二绝缘层180根据已知的生长或沉积技术(例如热生长)而形成,并且具有例如介于0.1和2 $\mu\text{m}$ 之间的厚度。而且,隔膜层706是外延生长的并且具

有例如在25和100 $\mu\text{m}$ 之间的厚度(例如60 $\mu\text{m}$ )。

[0115] 层堆叠710包括被设计为形成图6的第一电极171、压电区域172和第二电极173的层,并且因此在图11中由相同的附图标记来表示。

[0116] 接下来,在图12中,根据刻蚀技术限定层堆叠710,以形成第一电极171和第二电极173以及压电区域172。此外,根据刻蚀技术限定第二绝缘层180以形成开口720,该开口720暴露出隔膜层706的一部分722。

[0117] 接下来,在图13中,根据沉积和限定技术来沉积并限定第二层堆叠725。

[0118] 特别地,第二层堆叠725包括:第一钝化层730;和第二钝化层732,其在第一钝化层730上延伸。沉积和限定第一钝化层730和第二钝化层732以形成第一接触开口740和第二接触开口741,第一接触开口740和第二接触开口741分别暴露第一电极171和第二电极173的部分。

[0119] 第二层堆叠725进一步包括根据沉积和限定技术来沉积和限定的第一金属化层734A和第二金属化层734B,以形成电连接线。

[0120] 第二层堆叠725进一步包括第三钝化层736,第三钝化层736被限定为形成第三接触开口750,并且因此暴露至少部分的第一金属化层734A。

[0121] 接下来,在图14中,沉积并限定接触层752。

[0122] 而且,以未示出的方式,使用已知的刻蚀技术来刻蚀隔膜层706。在该步骤中,限定主体101的较薄部分(特别是形成可变形臂130、132、140、142的隔膜)的几何形状。然后,在隔膜层706中形成沟槽(在图6中沟槽755可见)。

[0123] 详细地,使用沉积技术在第三钝化层736和接触层752上沉积粘合剂层765(例如,诸如BrewerBOND<sup>®</sup> 305的耦合粘合剂,<https://www.brewerscience.com/products/brewerbond-materials>,其具有一定厚度以使结构平坦化)。

[0124] 接下来,再次参见图14,将载体晶片770耦合至粘合剂层765;例如,载体晶片770可以是具有例如400 $\mu\text{m}$ 厚度的DSP(双面抛光)晶片。以此方式,获得第二晶片800,其由顶表面800A在顶部界定以及由底表面700B在底部界定。

[0125] 然后,在图15中,使用掩模和刻蚀技术将第二晶片800翻转并从底表面700B刻蚀。特别地,刻蚀衬底702并在其整个厚度上选择性地去除衬底702(例如,使用DRIE),以形成衬底部分702A至702C、腔体810以及沟槽755的第一部分;然后,刻蚀并选择性地去除第一绝缘层704。在该步骤中,完成了对主体101(特别是内部分102)、连接臂131、133、141、143以及框架104、108的几何形状的限定。因此形成腔体810,并且腔体810暴露至少部分地隔膜层706和粘合剂层765。

[0126] 然后,经由热释放技术(例如WaferBOND<sup>®</sup>, <https://www.brewerscience.com/products/waferbond-ht-10-10/>)去除粘合剂层765,以将载体晶片770与第一晶片700分离。在载体晶片700的分离之前或之后,将第一晶片700切割,以形成多个相邻的主体101。

[0127] 接下来,以未示出的方式,将晶片700切割以形成图4至图6的MEMS致动器100。

[0128] 本实用新型的MEMS致动器及其制造工艺具有许多优点。

[0129] 特别地,主体101是单片式的并且以相同的结构形成,半导体材料区域承载压电致

动元件,而压电致动元件使得支撑部102(条带150)和光学结构(透镜125)能够双轴旋转。因此,可以使用半导体制造技术以简单、廉价和可靠的方式获得主体101。

[0130] 弹簧元件106、107、110、111、306、307、310、311、506、507、510、511进一步以快速准确的方式使支撑部102、302、502(以及因此透镜125)能够旋转。实际上,以低的致动电压(例如40V)获得条带350的致动,因此,减小了MEMS致动器100、300、500的功耗。

[0131] 最后,很显然,在不脱离如所附权利要求所限定的本实用新型的的范围的情况下,可以对本文描述和示出的MEMS致动器及其制造工艺进行修改和变化。

[0132] 例如,也可以在图4的实施例中实现图14的扭转臂620、621、630、631。

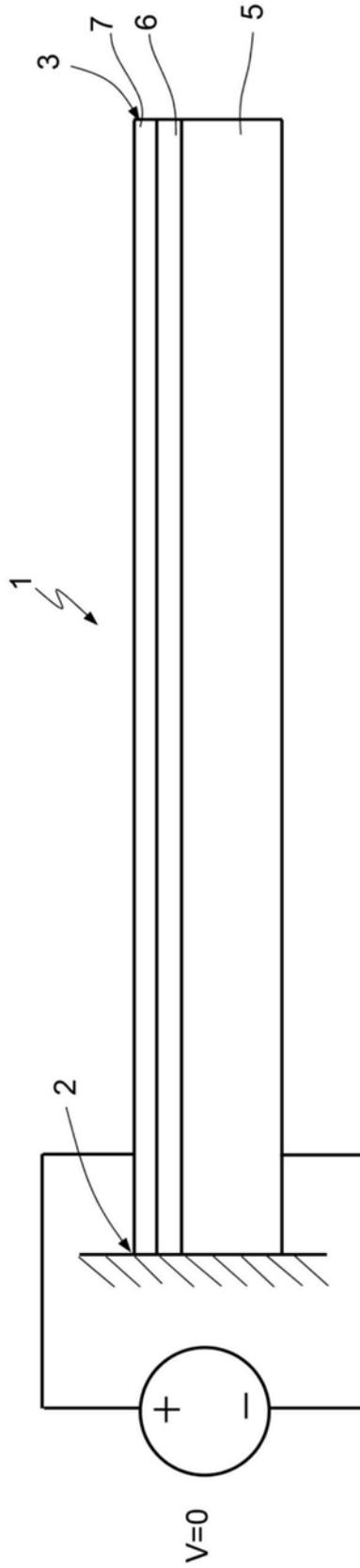


图1A

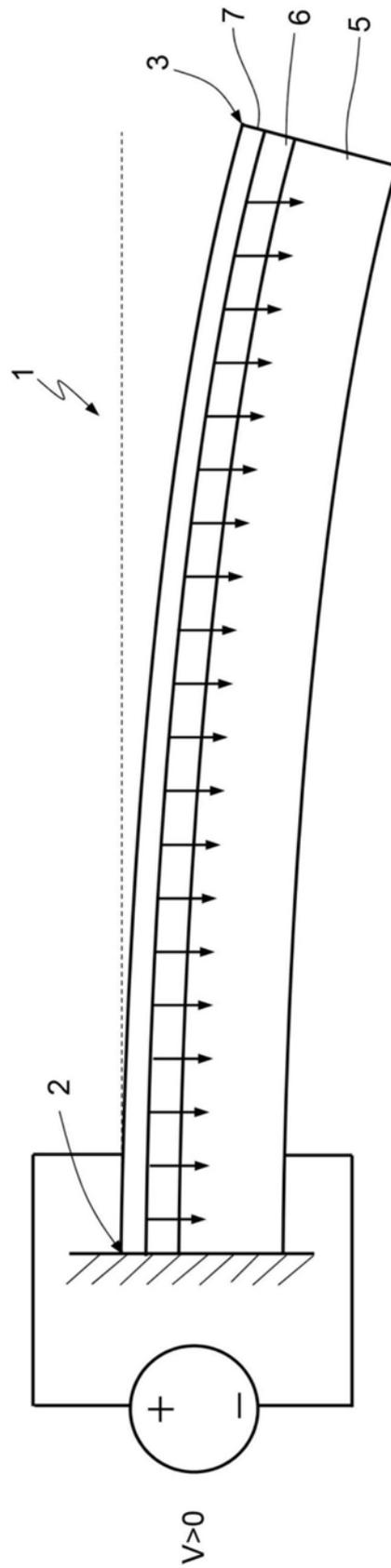


图1B

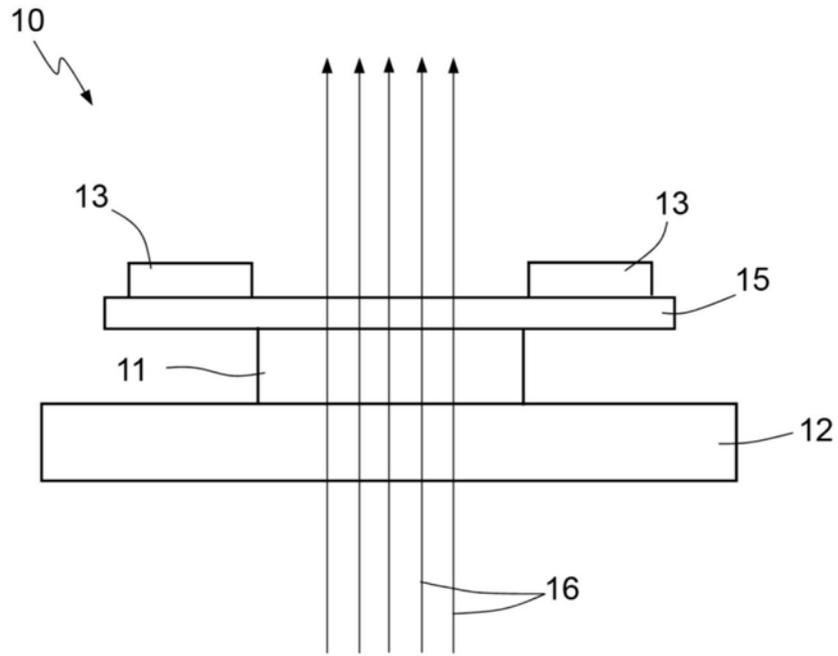


图2A

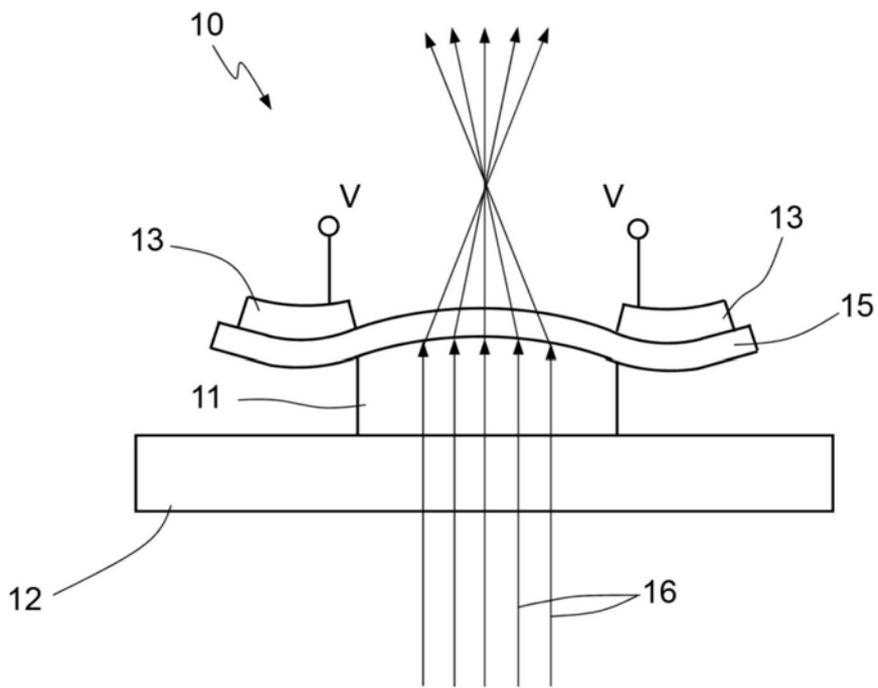


图2B

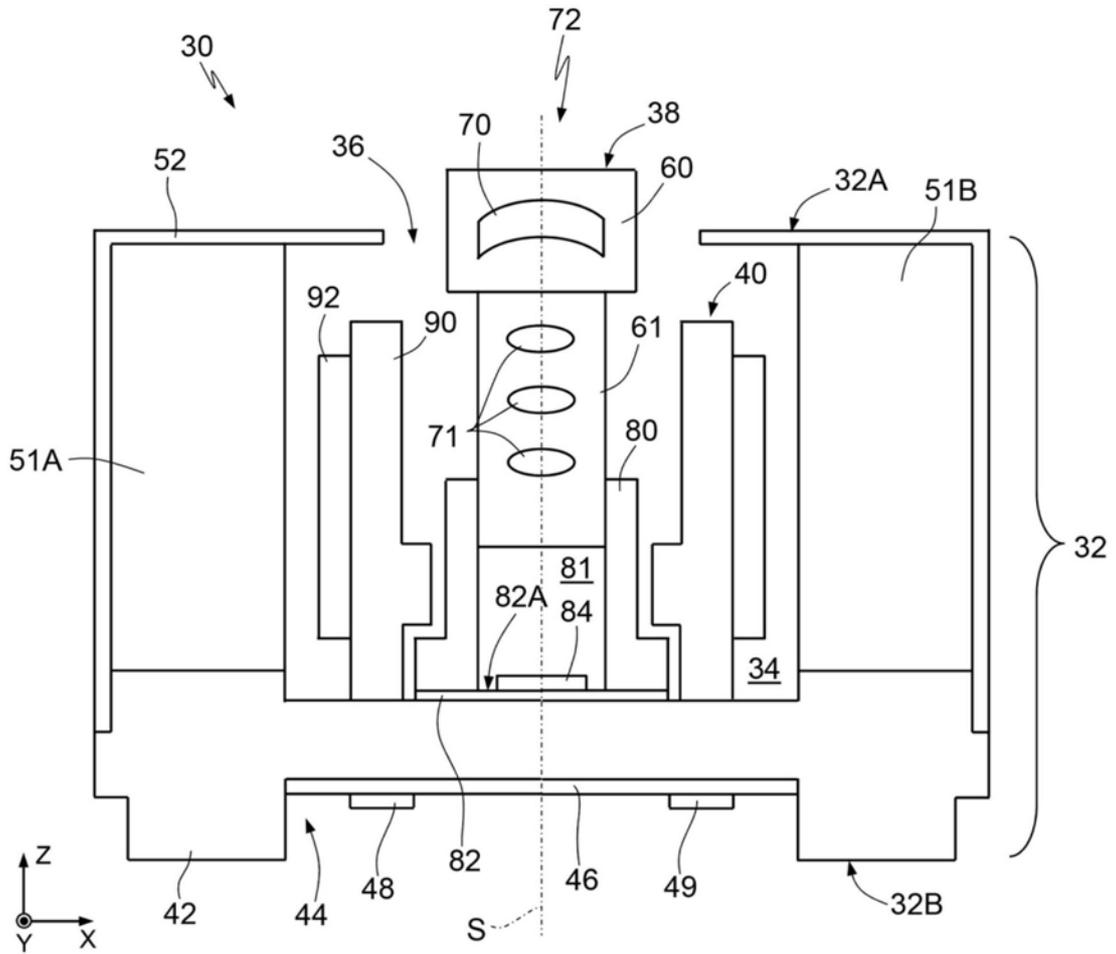


图3A

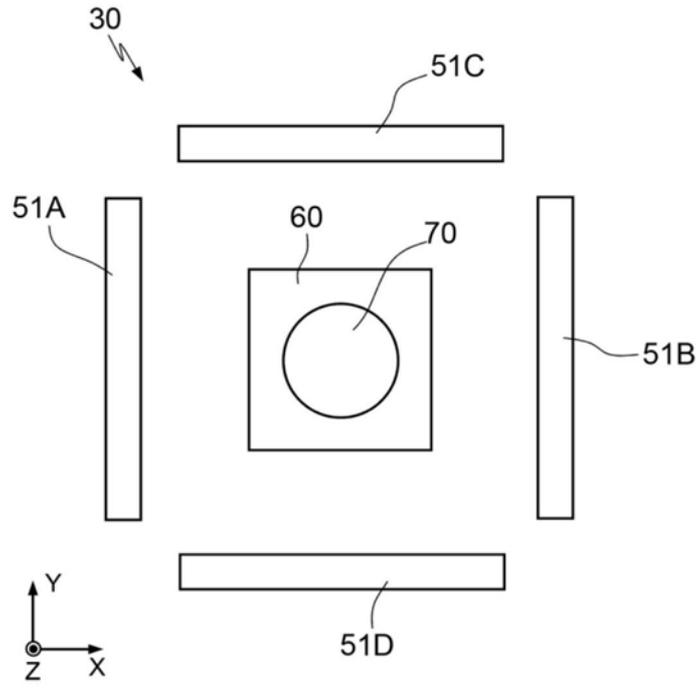


图3B

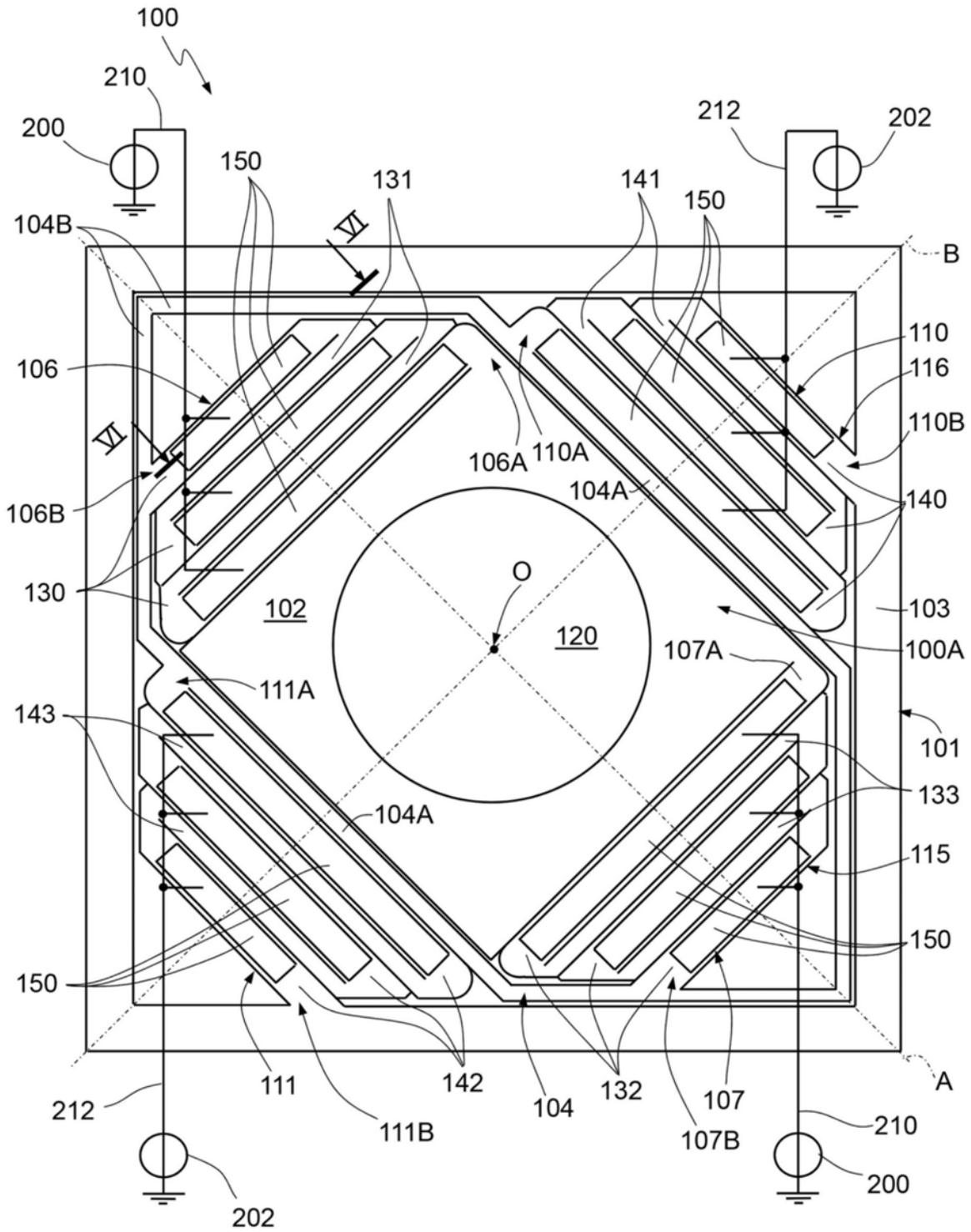


图4

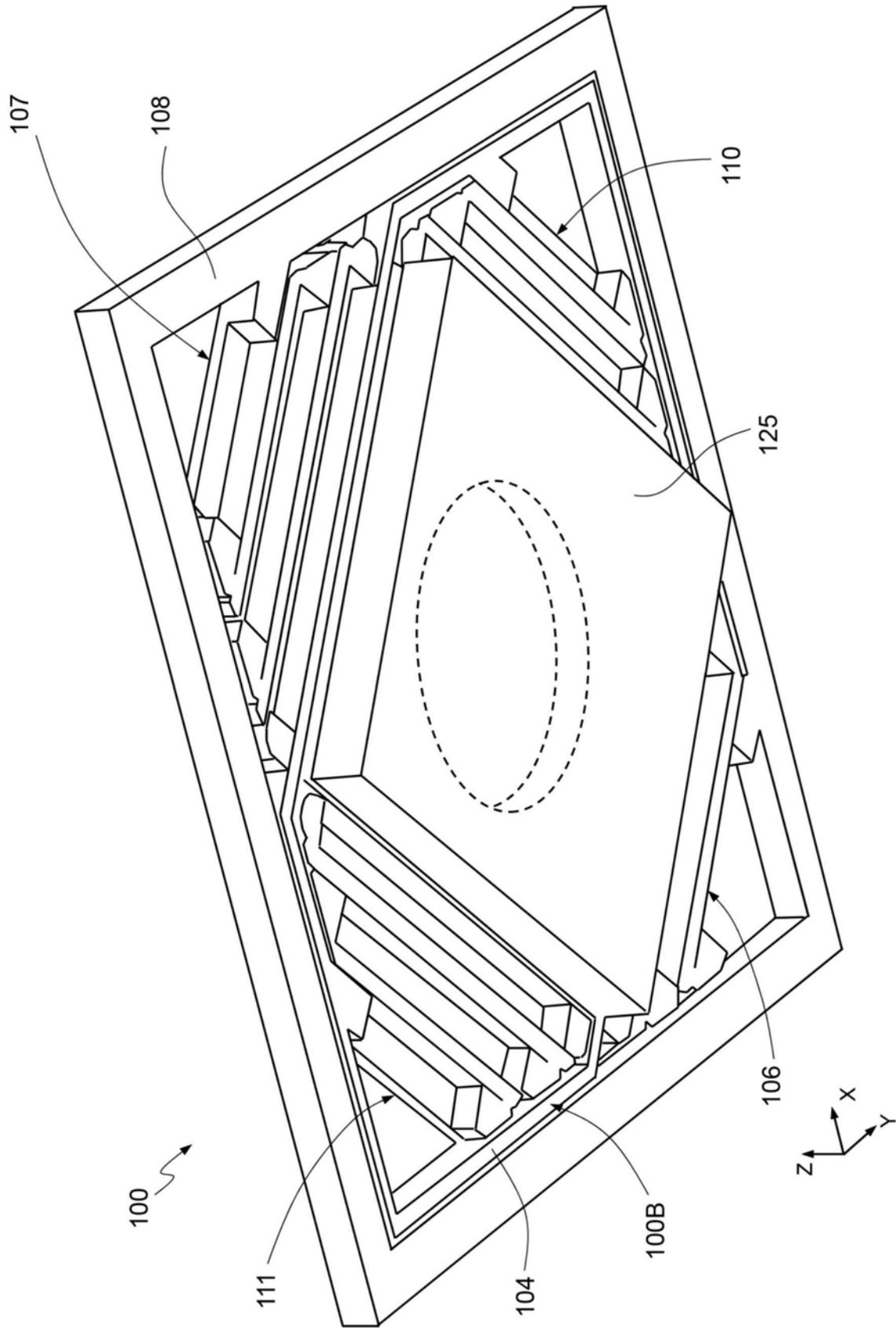


图5

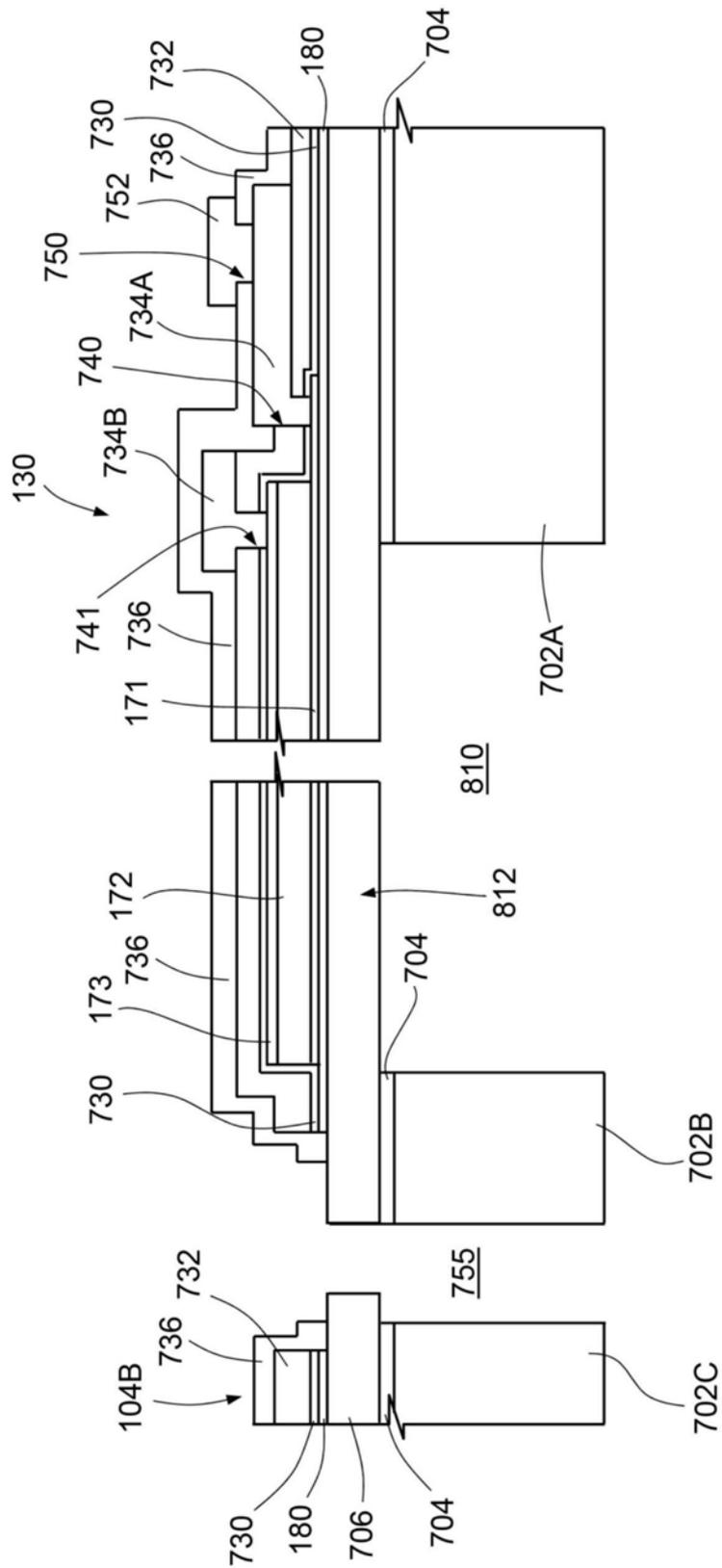


图6

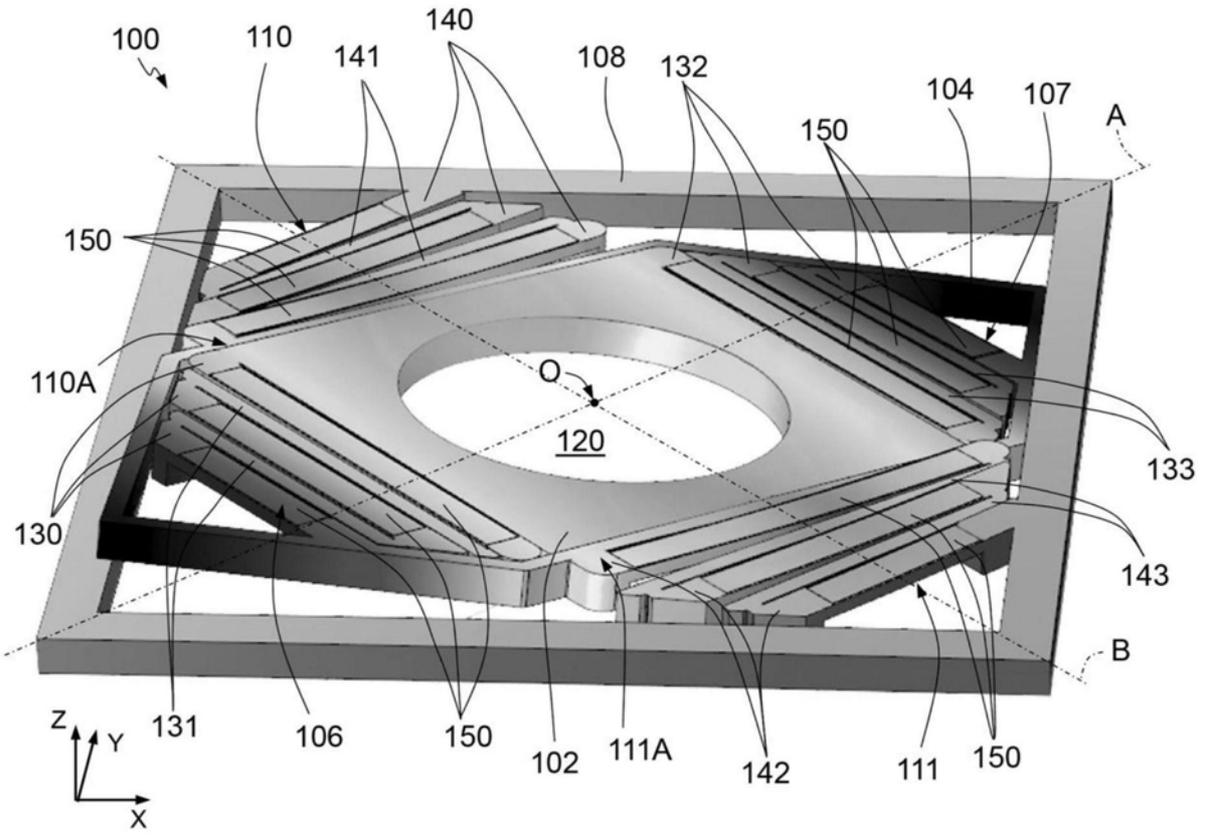


图7

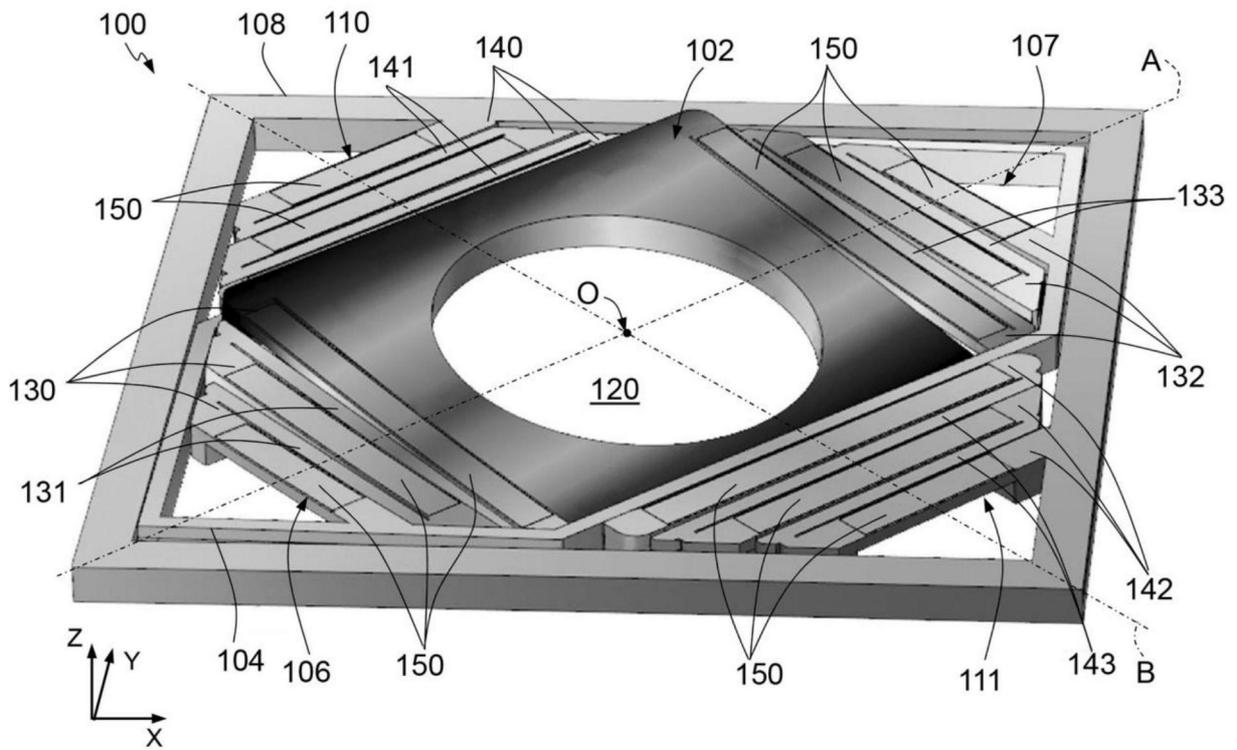


图8

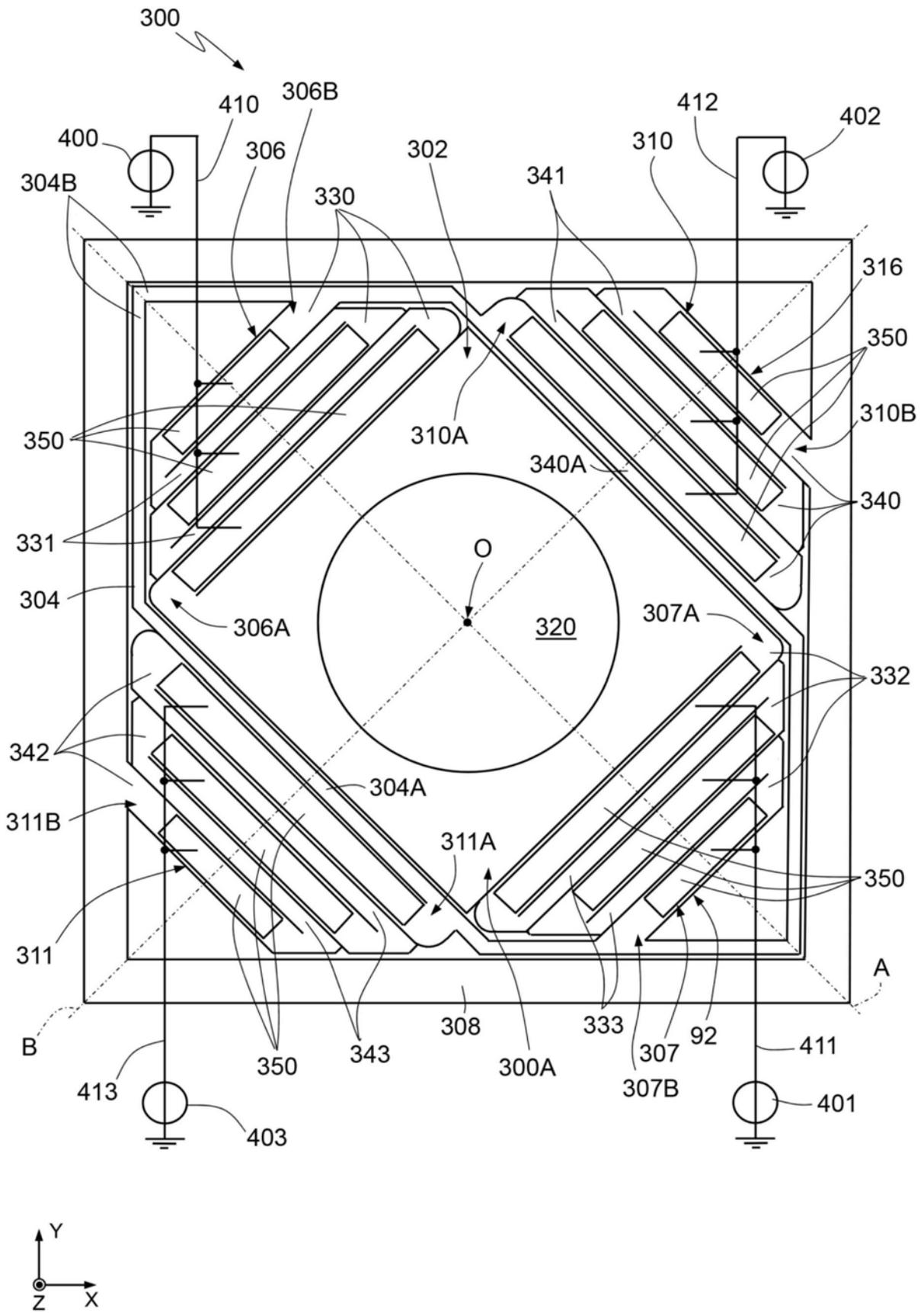


图9

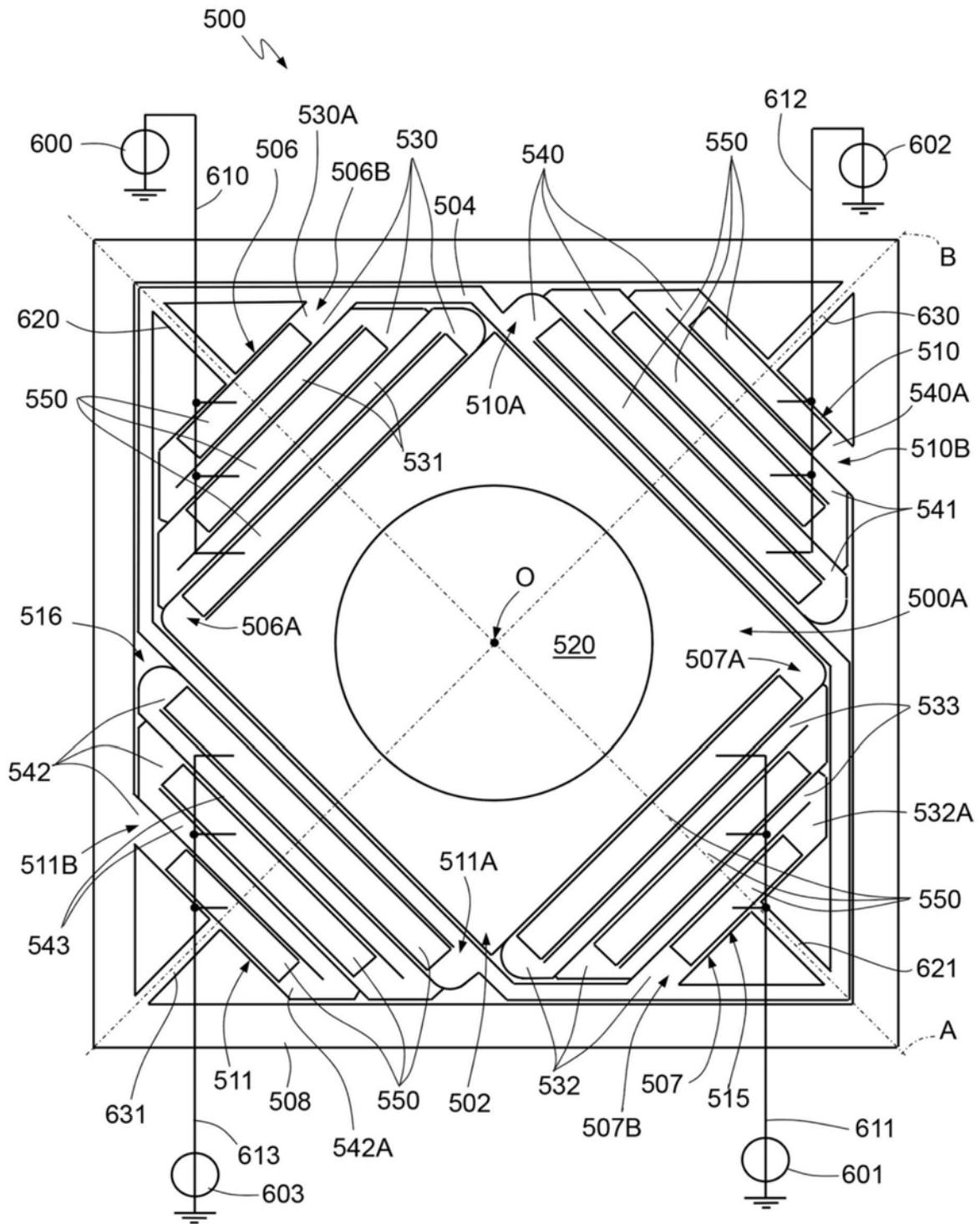


图10

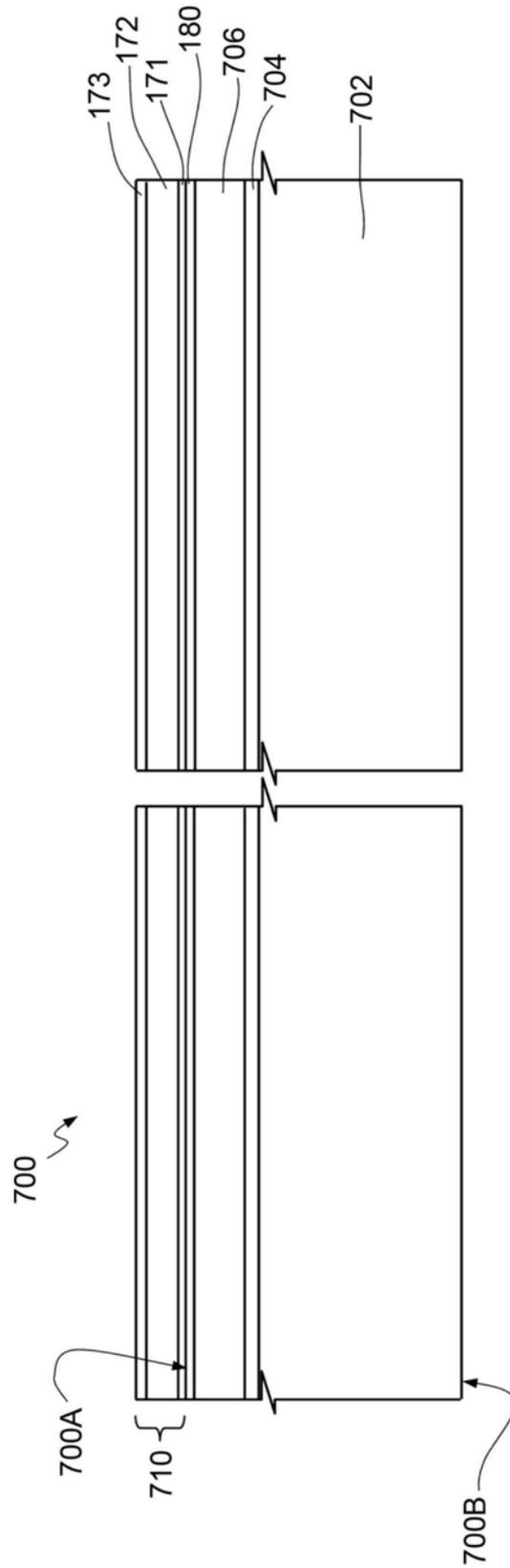


图11

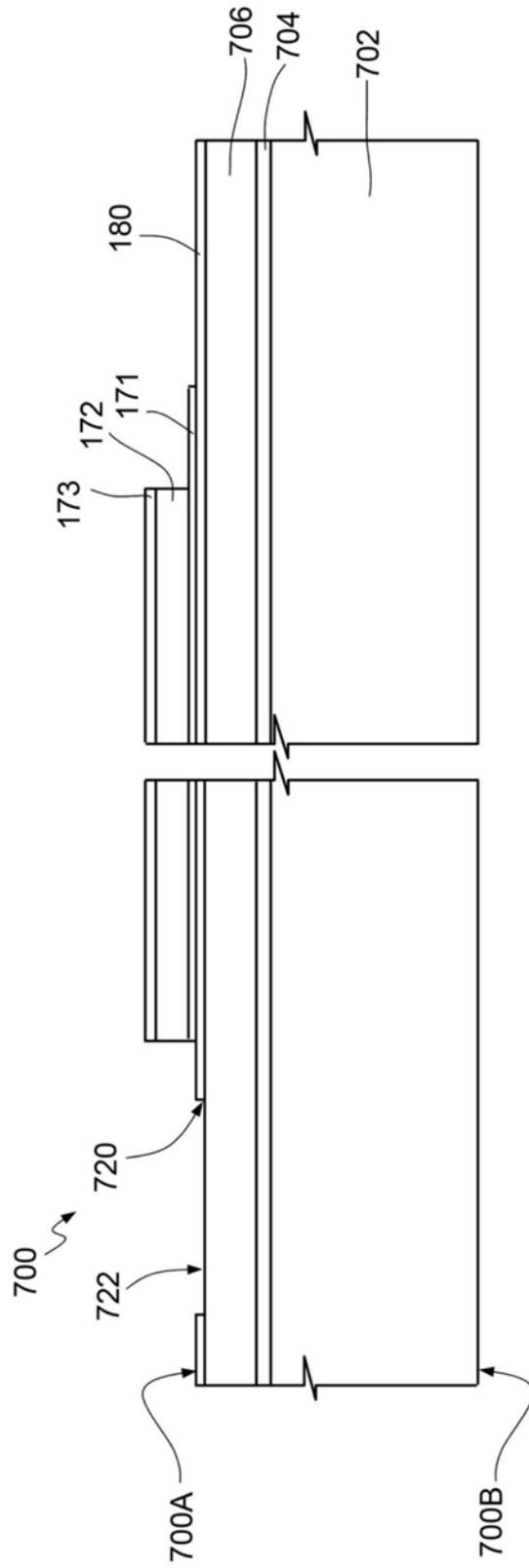


图12

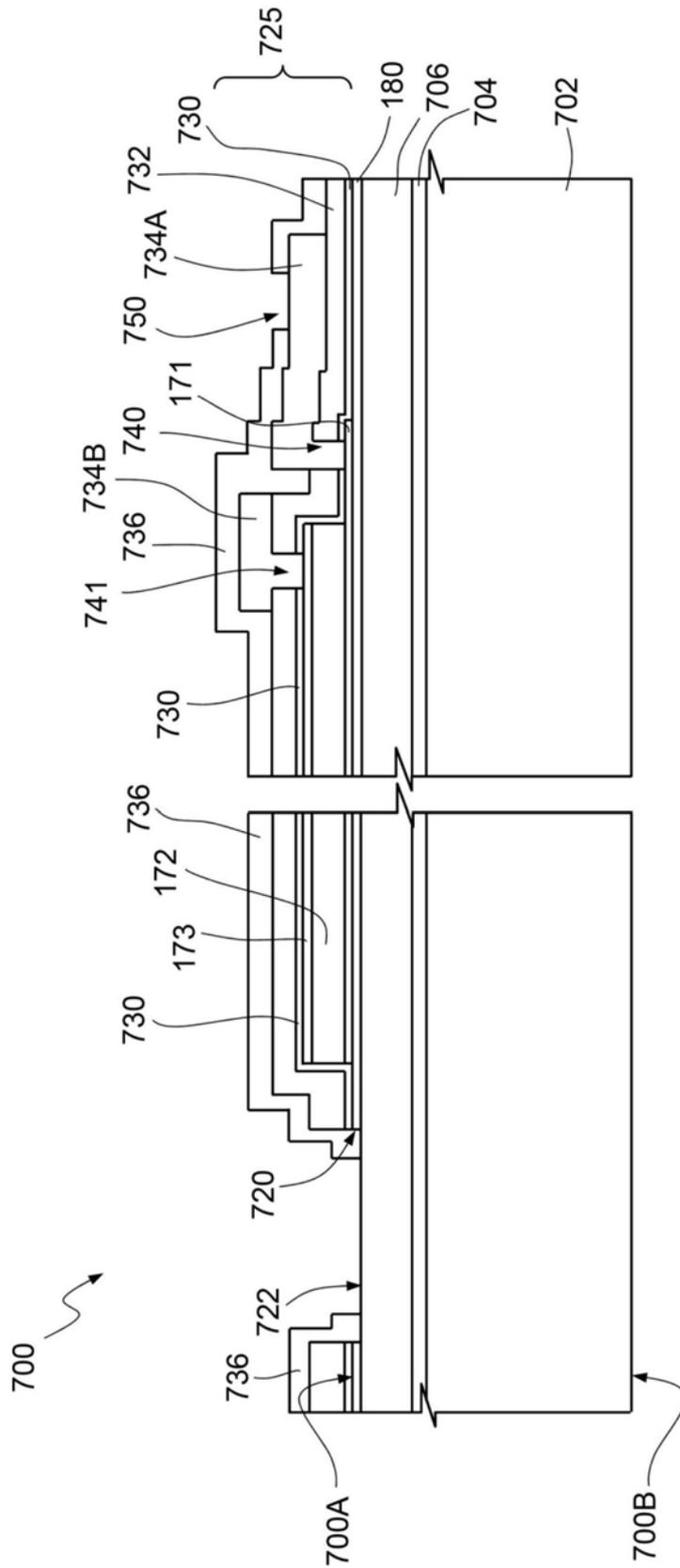


图13

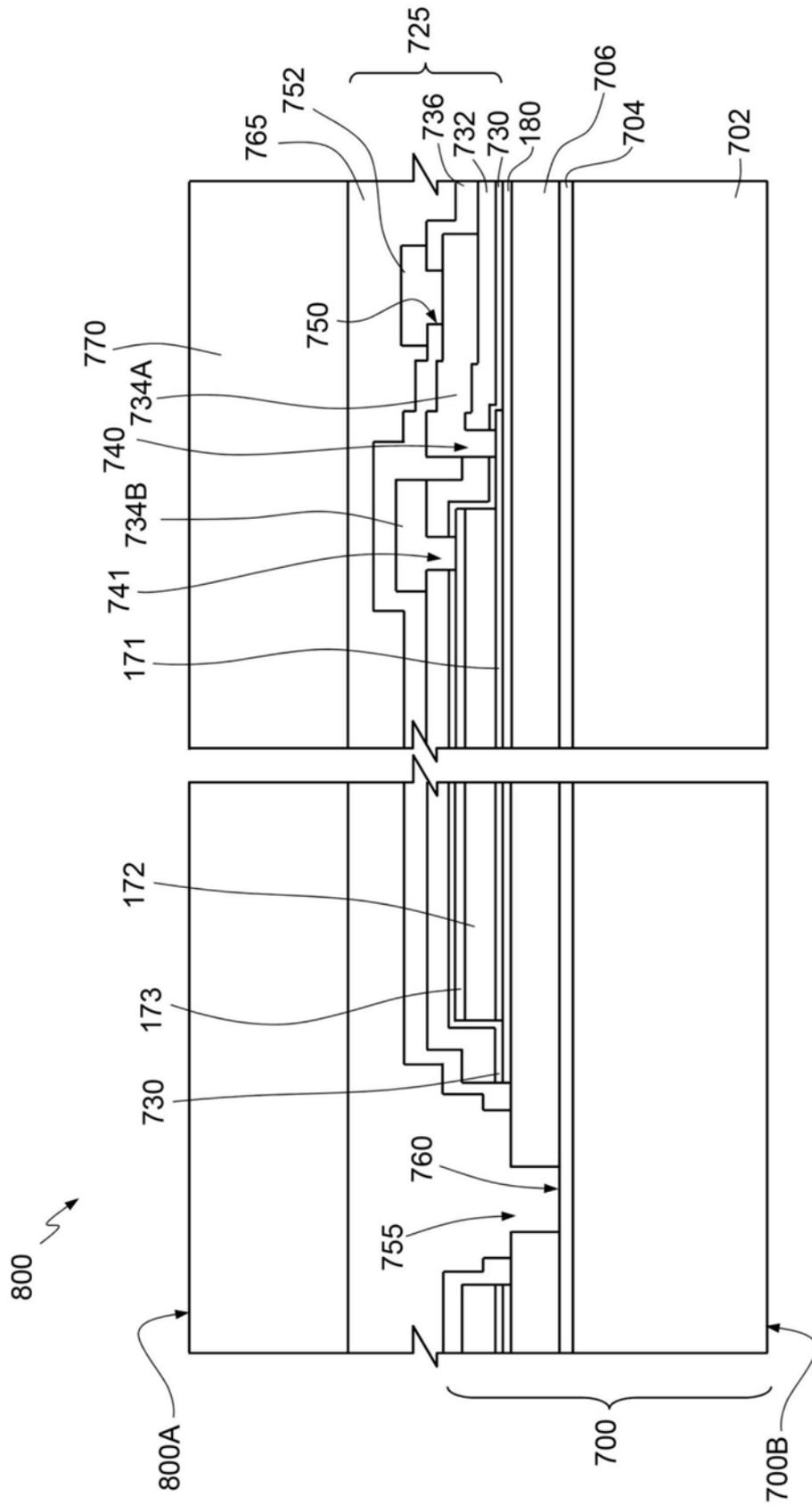


图14

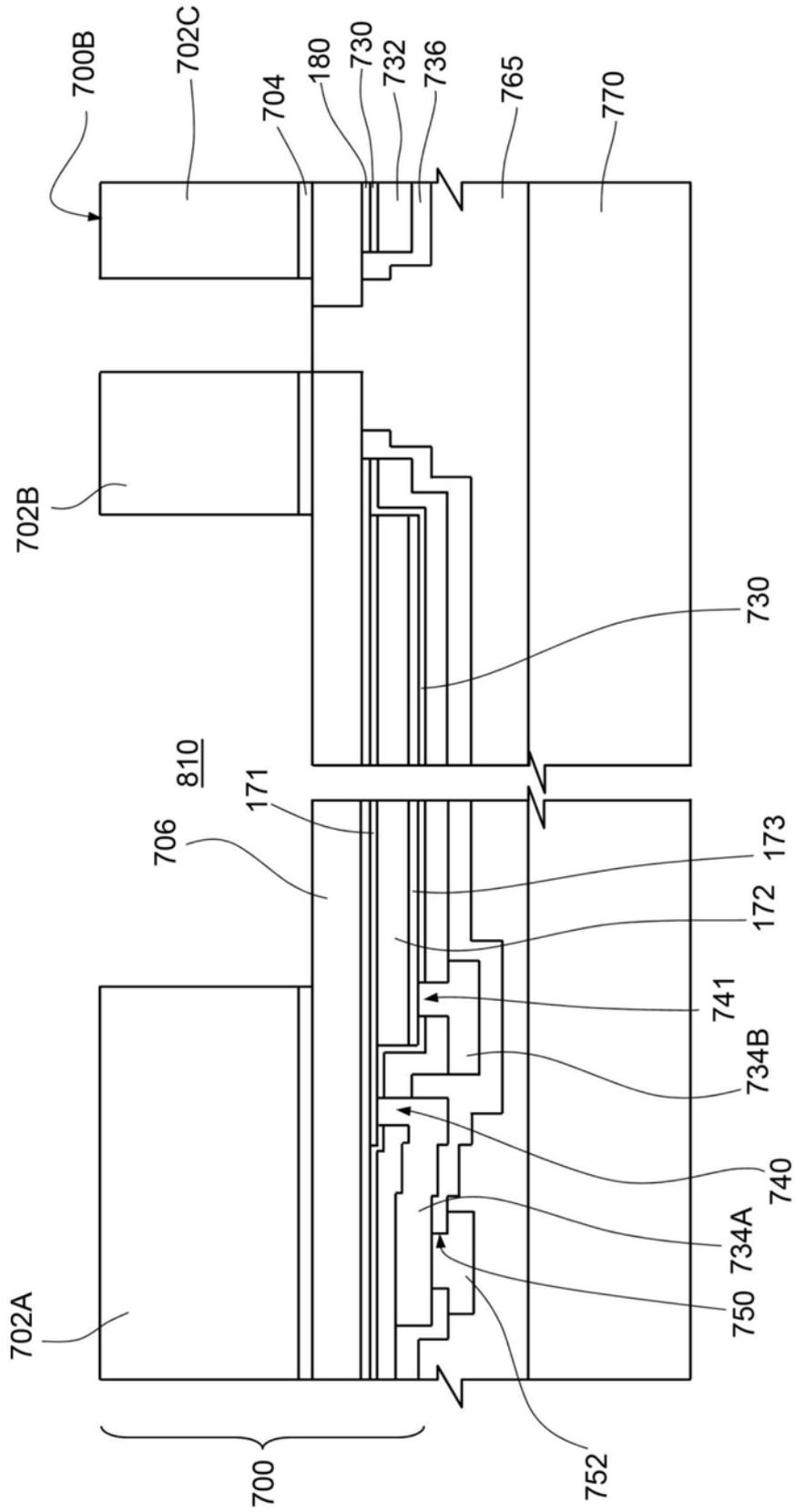


图15