



(12) 发明专利

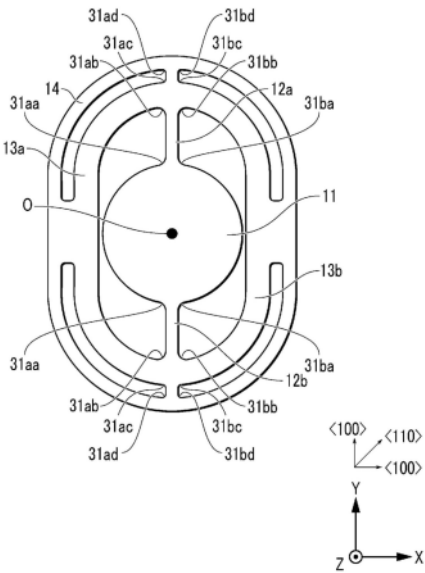
(10) 授权公告号 CN 113906325 B

(45) 授权公告日 2024. 12. 10

(21) 申请号 202080040745.4	(72) 发明人 秋山庆太
(22) 申请日 2020.05.20	(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127
(65) 同一申请的已公布的文献号 申请公布号 CN 113906325 A	专利代理师 朱丽娟 蔡丽娜
(43) 申请公布日 2022.01.07	(51) Int.Cl.
(30) 优先权数据 2019-106111 2019.06.06 JP	G02B 26/10 (2006.01)
(85) PCT国际申请进入国家阶段日 2021.12.01	B81B 3/00 (2006.01)
(86) PCT国际申请的申请数据 PCT/JP2020/019976 2020.05.20	B81C 1/00 (2006.01)
(87) PCT国际申请的公布数据 W02020/246245 JA 2020.12.10	G02B 26/08 (2006.01)
(73) 专利权人 斯坦雷电气株式会社 地址 日本东京都	(56) 对比文件 JP 2014102354 A, 2014.06.05 CN 1820219 A, 2006.08.16 审查员 邓瑞婕
	权利要求书2页 说明书8页 附图9页

(54) 发明名称
光偏转器及其制造方法

(57) 摘要
本发明提供一种光偏转器及其制造方法。利用该光偏转器及其制造方法,能够抑制设置在扭杆(12)的结合部上的R部的劈开。光偏转器(10)具备镜部(11)、一对扭杆(12)、内侧压电致动器(13)及可动框部(14)。将扭杆(12)的轴向设置成结晶取向<100>。在扭杆(12)与内侧压电致动器(13)的结合缘部上形成R部(31a, 31bb),该R部形成成为朝向<110>且向内侧凹陷的弯曲面。从该弯曲面导出的粗糙度曲线的波纹量设置在600nm以内。



1. 一种光偏转器,其特征在于,具有:
镜部,其能够绕规定的旋转轴线往复转动;
一对扭杆,其沿所述镜部的所述旋转轴线从所述镜部的两侧延伸;
框部,其包围所述镜部及所述一对扭杆;
多个压电式致动器,其介于各扭杆与所述框部之间,使各扭杆绕所述旋转轴线扭转振动,使所述镜部绕所述旋转轴线往复转动;
第一R部,其由向内侧凹陷的圆柱曲面形成,并形成于各扭杆与所述镜部的结合缘部;
第二R部,其由向内侧凹陷的圆柱曲面形成,并形成于面向所述镜部的一侧的各压电致动器与各扭杆之间的结合缘部,
所述镜部、所述扭杆及所述压电式致动器的基板层由共用的单晶硅层构成,
所述单晶硅层的主面的晶面指数为(100)及(110)中的一方,
所述扭杆的轴向为所述单晶硅层的结晶取向的<100>,
所述第一R部和所述第二R部中的至少一方的规定部分形成为:
将通过相对于所述主面成平行的平面剖切所述第一R部和所述第二R部中的至少一方的规定部分时的轮廓线定义为波纹曲线,
将由所述波纹曲线相邻的峰顶与峰顶之间的区间定义为周期,
对所述波纹曲线设定基于最小二乘法的平均线,将所述波纹曲线上的各位置处的周期的距所述平均线的距离定义为波纹量,
将各周期的最大的波纹量定义为最大波纹量,
将各周期的最小的波纹量定义为最小波纹量,
所述规定部分所包含的全部周期的最大波纹量与最小波纹量的差量为600nm以下,
所述规定部分的两端设定在将所述圆柱曲面分割为三等分时的中央的分割部分的两端的外侧。
2. 根据权利要求1所述的光偏转器,其特征在于,所述至少一方是所述第二R部。
3. 一种光偏转器的制造方法,其特征在于,所述光偏转器具有:
镜部,其能够绕规定的旋转轴线往复转动;
一对扭杆,其沿所述镜部的所述旋转轴线从所述镜部的两侧延伸;
框部,其包围所述镜部及所述一对扭杆;
多个压电式致动器,其介于各扭杆与所述框部之间,使各扭杆绕所述旋转轴线扭转振动,使所述镜部绕所述旋转轴线往复转动;
第一R部,其由向内侧凹陷的圆柱曲面形成,并形成于各扭杆与所述镜部的结合缘部;
第二R部,其由向内侧凹陷的圆柱曲面形成,并形成于面向所述镜部的一侧的各压电致动器与各扭杆之间的结合缘部,
所述镜部、所述扭杆及所述压电式致动器的基板层由共用的单晶硅层构成,
所述单晶硅层的主面的晶面指数为(100)及(110)中的一方,
所述扭杆的轴向为所述单晶硅层的结晶取向的<100>,
所述第一R部和所述第二R部中的至少一方的规定部分形成为,
将通过相对于所述主面成平行的平面剖切所述第一R部和所述第二R部中的至少一方的规定部分时的轮廓线定义为波纹曲线,

将由所述波纹曲线相邻的峰顶与峰顶之间的区间定义为周期，
对所述波纹曲线设定基于最小二乘法的平均线，将所述波纹曲线上的各位置处的周期的距所述平均线的距离定义为波纹量，
将各周期的最大的波纹量定义为最大波纹量，
将各周期的最小的波纹量定义为最小波纹量，
所述规定部分所包含的全部周期的最大波纹量与最小波纹量的差量为600nm以下，
所述规定部分的两端设定在将所述圆柱曲面分割为三等分时的中央的分割部分的两端的外侧，

所述制造方法具有以下各工序：

包覆工序，利用膜厚为5 μm 以上且10 μm 以下的光致抗蚀剂膜包覆主面的晶面指数为(100)及(110)中的一方的包括单晶硅的活性层的基板的表面，

曝光工序，经由光掩模对经过所述包覆工序之后的所述基板的表面侧进行曝光，所述光掩模包括所述光偏转器的所述镜部、所述扭杆、所述压电致动器、轮廓图案，该轮廓图案包括所述第一R部及所述第二R部的轮廓；以及

轮廓形成工序，对所述基板的表面侧进行蚀刻而在所述活性层上形成所述光偏转器的所述镜部、所述扭杆、所述压电致动器、所述第一R部及所述第二R部的轮廓。

4. 根据权利要求3所述的光偏转器的制造方法，其特征在于，所述第一R部及所述第二R部中的至少一方是所述第二R部。

光偏转器及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种MEMS的光偏转器及其制造方法。

背景技术

[0002] 已知有压电方式的MEMS的光偏转器(例如,专利文献1)。

[0003] 在专利文献1的光偏转器中,为了防止镜部与扭杆的结合部的破损,在镜部与扭杆之间的结合缘处形成向内侧凹陷的R部。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:日本特开2017-151476号公报

发明内容

[0007] 发明要解决的课题

[0008] 作为压电方式的一般的MEMS的光偏转器,使用SOI(Silicon on Insulator)晶片作为基板。一般的SOI晶圆(ウェハ)的主面的晶面指数为(100)或(110)。

[0009] 另一方面,在提高镜部绕扭杆的轴线的往复转动的频率时,优选提高扭杆在扭转方向上的刚性。因此,以使扭杆的轴向的结晶取向与<100>相一致的方式制造光偏转器。

[0010] 然而,在将扭杆的轴向的结晶取向设定为<100>时,在R部的弯曲线上产生法线方向成为单晶硅的劈开方向即<110>的部位。劈开方向是龟裂容易产生及扩大的方向,因此该部位会产生龟裂,扭杆容易发生破损。

[0011] 本发明的目的在于提供一种能够抑制设置在扭杆的结合缘部上的R部的劈开的光偏转器及其制造方法。

[0012] 用于解决课题的手段

[0013] 本发明的光偏转器,具有:

[0014] 镜部,其能够绕规定的旋转轴线往复转动;

[0015] 一对扭杆,其沿所述镜部的所述旋转轴线从所述镜部的两侧延伸;

[0016] 框部,其包围所述镜部及所述一对扭杆;

[0017] 多个压电式致动器,其介于各扭杆与所述框部之间,使各扭杆绕所述旋转轴线扭转振动,使所述镜部绕所述旋转轴线往复转动;

[0018] 第一R部,其由向内侧凹陷的圆柱曲面形成,并形成于各扭杆与所述镜部的结合缘部;

[0019] 第二R部,其由向内侧凹陷的圆柱曲面形成,并形成于面向所述镜部的一侧的各压电致动器与各扭杆之间的结合缘部,

[0020] 所述镜部、所述扭杆及所述压电式致动器的基板层由共用的单晶硅层构成,

[0021] 所述单晶硅层的主面的晶面指数为(100)及(110)中的一方,

[0022] 所述扭杆的轴向为所述单晶硅层的结晶取向的<100>,

[0023] 所述第一R部和所述第二R部中的至少一方的R部的规定部分以相对于所述圆柱曲面的凹凸为600nm以下的方式形成。

[0024] 根据本发明,第一R部及第二R部中的至少一方的R部的规定部分的凹凸相对于圆柱曲面为600nm以内。由此,能够抑制至少一方的R部发生劈开。

[0025] 在本发明的光偏转器中,优选的是,所述规定部分的两端设定在将所述圆柱曲面分割为三等分时的中央的分割部分的两端的外侧。

[0026] 由于扭杆的轴向是单晶硅层的结晶取向的<100>,因此第一R部及第二R部的劈开方向存在于将圆柱曲面分割为三等分时的中央的分割部分内。根据该结构,能够在第一R部及第二R部中的至少一方的R部中保证抑制包含劈开方向的范围的劈开。

[0027] 在本发明的光偏转器中,优选的是,将通过相对于所述主面成平行的平面剖切所述至少一方的R部时的轮廓线设定成波纹曲线,

[0028] 对所述波纹曲线设定基于最小二乘法的平均线,

[0029] 将由所述波纹曲线相邻的峰顶与峰顶之间的区间设定为周期,

[0030] 将所述波纹曲线上的各位置处的距所述平均线的距离设定为波纹量,

[0031] 关于所述规定部分所包含的全部周期,各周期的最大波纹量与最小波纹量的差量为600nm以下。

[0032] 根据该结构,能够抑制规定部分的波纹量,从而抑制第一R部及第二R部的劈开。

[0033] 在本发明的光偏转器中,优选的是,所述平面是所述至少一方的R部的表面。

[0034] 第一R部及第二R部的表面存在于从光偏转器的表面较浅的位置。根据该结构,能够容易地检测出第一R部及第二R部的轮廓线。

[0035] 在本发明的光偏转器中,优选的是,所述至少一方的R部是所述第二R部。

[0036] 扭杆从压电致动器接收绕旋转轴线的扭转力,并传递给镜部。因此,在光偏转器的工作中,第二R部与第一R部相比被施加更强的扭转力。

[0037] 根据该结构,通过使第一R部比第二R部优先地来抑制凹凸,能够延长扭杆的寿命。

[0038] 本发明的制造方法,具有以下各工序:

[0039] 包覆工序,利用膜厚为5 μ m以上且10 μ m以下的光致抗蚀剂膜包覆主面的晶面指数为(100)及(110)中的一方的包括单晶硅的活性层的基板的表面,

[0040] 曝光工序,经由光掩模对经过所述包覆工序之后的所述基板的表面侧进行曝光,所述光掩模包括所述光偏转器的所述镜部、所述扭杆、所述压电致动器、轮廓图案,该轮廓图案包括所述第一R部及所述第二R部的轮廓;以及

[0041] 轮廓形成工序,对所述基板的表面侧进行蚀刻而在所述活性层上形成所述光偏转器的所述镜部、所述扭杆、所述压电致动器、所述第一R部及所述第二R部的轮廓。

[0042] 根据本发明的制造方法,能够保证第一R部和第二R部的弯曲面的波纹量在600nm以内,抑制扭杆的结合部的R部的劈开。

附图说明

[0043] 图1是MEMS的光偏转器的主视图。

[0044] 图2A是用于光偏转器的制造的SOI晶圆的主视图。

[0045] 图2B是用于光偏转器的制造的另一SOI晶圆的主视图。

- [0046] 图3是包括扭杆的范围的放大图。
- [0047] 图4是基于模拟的扭杆的表面应力的分布图像。
- [0048] 图5是基于模拟的扭杆的截面应力的分布图像。
- [0049] 图6是观察未对R部的波纹量施以对策的光偏转器中的破坏的显微镜观察图像。
- [0050] 图7是从规定方向观察图6的断裂面的SEM观察图像。
- [0051] 图8是对R部的弯曲面应用了关于表面粗糙度的JIS规格时的波纹量的说明图。
- [0052] 图9是表示R部的波纹量与H临界偏转角的关系的图表。
- [0053] 图10是光偏转器的制造方法的工序图。
- [0054] 图11是利用图10的制造方法制造出的光偏转器的横截面图。
- [0055] 图12A是观察到膜厚大于规定的 $10\mu\text{m}$ 的抗蚀剂膜层的截面和用该抗蚀剂膜层形成R部时的波纹量的SEM观察图像。
- [0056] 图12B是观察到膜厚为规定的 $10\mu\text{m}$ 以内的抗蚀剂膜层的截面和用该抗蚀剂膜层形成R部时的波纹量的SEM观察图像。

具体实施方式

[0057] 以下,对本发明的优选的实施方式进行详细说明。在以下的说明中,对于实质上相同或等同的要素及部分,使用共同的参照符号。另外,针对结构相同、但仅是配置位置不同的要素或部分,使用数字相同、仅字母标注的字母不同的参照符号。进一步地,针对数字相同且仅字母标注的字母不同的参照符号的要素或部分,在分别不作区分的情况下,省略字母标注的字母,而仅使用数字的符号进行总称。

[0058] [MEMS光偏转器]

[0059] 图1是MEMS的光偏转器10的主视图(从正面侧观察的图)。光偏转器10作为主要的要素,具备镜部11、扭杆12a,12b、内侧压电致动器13a,13b、可动框部14、外侧压电致动器15a,15b以及固定框部16。

[0060] 以下,为了便于说明,定义由X轴、Y轴及Z轴构成的3轴坐标系。X轴和Y轴设置成在光偏转器10的正面观察时为横向和纵向。Z轴为光偏转器10的厚度方向。0是圆形的镜部11的中心。

[0061] 镜部11能够绕与中心0正交的旋转轴线22x,22y往复转动。在镜部11朝向正前方时,旋转轴线22x,22y分别与X轴及Y轴平行。

[0062] 一对扭杆12a,12b从镜部11的两侧沿着旋转轴线22y延伸出。一对内侧压电致动器13a,13b在X轴方向上相互结合,整体上具有纵长的椭圆轮。该椭圆轮包围镜部11及扭杆12。

[0063] 可动框部14具有比一对内侧压电致动器13a,13b所形成的椭圆轮大的椭圆轮的形状。该椭圆轮包围一对内侧压电致动器13a,13b的椭圆轮。各内侧压电致动器13在通过中心0的X轴方向的直线上与可动框部14的内周结合。

[0064] 各外侧压电致动器15介于可动框部14与固定框部16之间。各外侧压电致动器15具备将纵向调整成与Y轴一致的多个悬臂19。在X轴方向上相邻的悬臂19在Y轴方向的一方端部及另一方端部中的任一方端部处相互结合。按照X轴方向的悬臂19的排列顺序,结合部位交替地调换成Y轴方向的一方端部和另一方端部。这样,各外侧压电致动器15上的多个悬臂19的整体构成曲折图案的结合体。

[0065] 外侧压电致动器15受来自未图示的驱动电压供给部的驱动电压驱动,可使可动框部14绕穿过中心0的X轴方向的旋转轴线(\neq 旋转轴线22x)以非共振频率往复转动。由此,镜部11绕旋转轴线22x以非共振频率往复转动。

[0066] 内侧压电致动器13受来自未图示的驱动电压供给部的其他驱动电压驱动,可使扭杆12绕旋转轴线22y以共振频率进行扭转振动。由此,镜部11绕旋转轴线22y以共振频率往复转动。

[0067] [S0I晶圆]

[0068] 图2A及图2B是光偏转器10的制造中所使用的S0I晶圆25a,25b的主视图。各S0I晶圆25的正面构成各S0I晶圆25的表面侧的主面。

[0069] 图2A及图2B所图示的坐标轴表示由S0I晶圆25的单晶硅形成的活性层28d(图11)内的方位。定向平面26表示S0I晶圆25的活性层28d(单晶硅层)的结晶取向。

[0070] 从各S0I晶圆25切出多个光偏转器10。在图2A及图2B中,光偏转器10的外形由矩形的虚线表示。该矩形的长边及短边与图1的光偏转器10的主视图的固定框部16的横边(长边)及纵边(短边)对应。

[0071] 定向平面26a处于 $\langle 100 \rangle$ 的方向。因此,S0I晶圆25a的主面的晶面指数为(100)。另一方面,定向平面26b处于 $\langle 110 \rangle$ 的方向。因此,支承层28b的主面的晶面指数为(110)。

[0072] 如在后述的图11中所说明的,光偏转器10的基板层由S0I晶圆25的活性层28d构成。图2的虚线的矩形表示各光偏转器10的外形。因此,扭杆12的轴向(=延伸方向)与S0I晶圆25a,25b一起成为 $\langle 100 \rangle$ 。这是因为,为了提高镜部11绕旋转轴线22y的共振频率,将扭杆12的轴向调整成与 $\langle 100 \rangle$ 一致是有利的。将扭杆12的轴向调整成与 $\langle 100 \rangle$ 一致时,扭杆12的扭转刚性变高。

[0073] 因此,在S0I晶圆25a中,扭杆12的轴向成为与定向平面26a正交的方向。另外,在S0I晶圆25b中,扭杆12的轴向相对于定向平面26b成 45° 的方向。

[0074] [R部]

[0075] 图3是图1中包括扭杆12的范围的放大图。在该中心部包括可动框部14、将可动框部14包围于内侧的镜部11、扭杆12及内压电致动器13。在图3中示出了X轴-Y轴-Z轴的3轴坐标系和结晶取向的方向。X轴和Y轴与 $\langle 100 \rangle$ 一致。相对于X轴及Y轴成 45° 的方向与 $\langle 110 \rangle$ 一致。

[0076] 各扭杆12在中心0侧与镜部11的周缘部结合,各扭杆12在与中心0相反的一侧与可动框部14结合。各内侧压电致动器13在半椭圆轮的形状的两端部分别与扭杆12a,12b结合,在该形状的外周的中央部与可动框部14的内周结合。

[0077] 各扭杆12的与镜部11、内侧压电致动器13及可动框部14结合的结合缘部为了提高强度而形成有R部31。R部31由向内侧凹陷的弯曲面形成。

[0078] 详细而言,R部31aa,31ba构成各扭杆12与镜部11的结合缘部。R部31ab,31bb构成各扭杆12与内侧压电致动器13的镜部11侧的结合缘部。R部31ac,31bc构成各扭杆12与内侧压电致动器13的可动框部14侧的结合缘部。R部31ad,31bd构成各扭杆12与可动框部14的内周侧的结合缘部。

[0079] R部31是为了对角部(转角部)进行加强而形成的,但在该光偏转器10中会产生问题。即,如前面对图2A及图2B所述的内容,为了使扭杆12的轴向与活性层28d的 $\langle 100 \rangle$ 一致,

形成于扭杆12的各结合缘部的R部31的弯曲面包括朝向<110>的劈开方向的母线(面素),换言之,包括法线成为<110>方向的母线。其结果,在该弯曲面上,容易从该母线的部位开始劈开。

[0080] 图4是基于模拟的扭杆12的表面应力的分布图。图5是基于模拟的扭杆12的截面应力的分布图。越白的区域,意味着应力越高。

[0081] 从图4和图5可知,与R部31aa,31ba,31ab,31bb(图3)对应的部分的应力比其他部分明显要高。

[0082] 图6是观察未对R部31的后述波纹量施以对策的光偏转器10中的扭杆12的破坏的显微镜观察图像。图7是从规定方向观察图6的断裂面37的SEM观察图像。

[0083] 在图6中,由于R部31的破坏,因此扭杆12b在镜部11与内侧压电致动器13之间发生了破损。在图7中,与断裂面37一起映出了其附近的表面35(正面侧的面)和弯曲面36(弯曲曲面)。

[0084] [波纹量]

[0085] 图8是关于对R部31应用了关于表面粗糙度的JIS标准时的波纹量的说明图。对R部的弯曲面应用了关于表面粗糙度的JIS规格时的波纹量的说明图。JIS标准具体为“JIS B 0601-1994”,并包括依据该JIS标准的基准。

[0086] 在“JIS B 0601-1994”中,关于表面粗糙度,定义了测定截面曲线、截面曲线、基准长度、粗糙度曲线、波峰、波谷、峰顶、谷底以及平均线。图8的各语句依据上述这些定义。

[0087] 测定截面曲线是用与X-Y平面平行的规定的剖面(例:通过Z轴的厚度的中心的剖面)剖切R部31的弯曲面时的轮廓线。这里,轮廓线的两端设定为R部31的轮廓与<100>平行的位置。该测定截面曲线在基准长度的方向(图8的横轴)被分割为三等分。将各分割区间在基准长度的方向上的长度设定为L。

[0088] 这里,上述JIS标准另行定义“波纹曲线”、“周期”以及“波纹量”。

[0089] 波纹曲线是指用相对于SOI晶圆25的主面是平行的平面剖切R部31时的轮廓线。在上述的JIS标准中,对测定截面曲线设定基于最小二乘法的平均线。在下一个波纹量的计算中,对波纹曲线设定基于最小二乘法的平均线。并且,将波纹曲线上的各位置处的距该平均线的距离定义为波纹量。

[0090] 周期是指在图8中将粗糙度曲线置换为波纹曲线时峰顶与峰顶之间的区间。另外,上述平面是指R部31的表面。R部31的表面位于从光偏转器的10的表面较浅的位置上,容易测定R部31的轮廓线。

[0091] 在图8中,Ta,Ba表示R部31整体的周期中的最大波纹量与最小波纹量的差量成为最大的周期中的最大波纹量和最小波纹量。Tb,Bb表示三等分时的中央的区间所包含的周期中的最大波纹量与最小波纹量的差量成为最大的周期中的最大波纹量和最小波纹量。Tb-Bb的差量 \leq Ta-Ba的差的关系。

[0092] 图9是表示R部31的波纹量与H临界偏转角之间的关系的曲线图。这里,“H临界偏转角”是指镜部11在扭杆12断裂时绕旋转轴线22y转动的最大偏转角。为了防止扭杆12的断裂,必须在镜部11绕旋转轴线22y的偏转角小于H临界偏转角的情况下对光偏转器10进行使用。

[0093] 需要说明的是,镜部11的偏转角具有绕旋转轴线22y的偏转角和绕旋转轴线22x的

偏转角这两种偏转角。在区分这两种偏转角时,将绕旋转轴线22y转动的偏转角称为“H偏转角”,将绕旋转轴线22x转动的偏转角称为“V偏转角”。在镜部11朝向正前方时,H摆角和V摆角均被定义为0°。另外,该各自的偏转角是机械性的偏转角。

[0094] 在图9中,纵轴的各数值是指H临界偏转角的相对值。H临界偏转角=1.0是指在将光偏转器10作为车载产品进行使用时关于H临界偏转角的最大允许值。而在将光偏转器10实际作为产品进行销售时,需要保证低20%的H临界偏转角=0.8以上。因此,根据图9可知,只要将R部31的弯曲面的波纹量设定在600nm以内即可。

[0095] [抑制劈开]

[0096] 对在光偏转器10中抑制R部31的劈开的构造进行说明。关于R部31(特别是R部31aa,31ba和R部31ab,31bb中的至少一方R部)的规定部分所包含的全部周期,各周期的最大波纹量与最小波纹量的差量为600nm以下。由此,即使R部31具有法线朝向结晶取向的<110>的方向的部位,也能够有效地防止从该部位的劈开。需要说明的是,至少一方R部典型的是R部31ab,31bb。

[0097] 对上述对策换言之,各R部31由作为各要素间的结合缘部而向内侧凹陷的圆柱曲面形成。R部31的规定部分形成成为相对于圆柱曲面的凹凸为600nm以下。

[0098] 规定部分的两端(例:相当于图8的抽取长度的两端)设定在将圆柱曲面分割为三等分时的中央的分割部分的两端的外侧。中央的分割部分在图8的粗糙度曲线中相当于在基准长度的方向(横轴方向)上有三个曲线部分中的中央的曲线部分。

[0099] 圆柱曲面包括圆柱的标准侧面(凹凸0的侧面)。进一步地,圆柱曲面还包括相对于圆柱的标准侧面收敛于规定的第一阈值以内的凹凸的侧面、或收敛于规定的第一阈值以内的凹凸的侧面且侧面的任意方向的每单位长度的隆起量或沉降量在第二阈值以内的曲面。

[0100] 将规定部分的两端设定在中央的分割部分的两端的外侧的理由如下。即,扭杆12的轴向是单晶硅层的结晶取向的<100>,因此R部31处的劈开方向存在于将圆柱曲面分割为三等分时的中央的分割部分内。

[0101] [制造方法]

[0102] 图10是R部31的波纹量在600nm以内的光偏转器10的制造方法的工序图,特别是关于SOI加工工序的一例。

[0103] 在步骤(STEP)1中,准备SOI晶圆25(图2A的SOI晶圆25a或图2B的SOI晶圆25b)。

[0104] 在接下来的步骤(STEP)2中,在SOI晶圆25的表面40上形成元件形成层42。具体而言,元件形成层42是图11的电极层42a、压电膜层42b及电极层42c。

[0105] 步骤(STEP)3相当于包覆工序。在步骤3中,一边从喷嘴43向带表面40的SOI晶圆25滴下感光剂44,一边进行自旋旋转45的操作。由此,感光剂44在元件形成层42的表面上均匀地扩展。

[0106] 在以往的感光剂的涂布工序中,使用AZ4620(粘度:400cSt)作为感光剂。另外,自旋旋转45为1000rpm~2000rpm。由此,在元件形成层42的表面上形成的抗蚀剂膜层的膜厚大于10μm。如果要提高自旋旋转45的旋转速度而使抗蚀剂膜层48的膜厚变薄,则膜厚不均匀的程度变大。

[0107] 与此相对,在步骤3中,作为感光剂44而使用AZ6130(粘度:70cSt)。另外,自旋旋转45为500rpm~1000rpm。由此,在步骤(STEP)4中,在元件形成层42的表面侧形成膜厚实现了

均匀化后的抗蚀剂膜层48。由此,抗蚀剂膜层48的膜厚为 $5\mu\text{m}$ 以上且 $10\mu\text{m}$ 以下。

[0108] 需要说明的是,当膜厚不足 $5\mu\text{m}$ 时,则无法确保MEMS的凹凸的高差结构。另外,当膜厚超过 $10\mu\text{m}$ 时,则无法在元件形成层42的表面上均匀地涂布感光剂44,无法满足R部31的弯曲面的波纹量在 600nm 以内。

[0109] 在步骤(STEP) 5中,光掩模50受带抗蚀剂膜层48的SOI晶圆25覆盖。光掩模50具有与通过一个SOI晶圆25制造的光偏转器10的个数及配置对应的图案52。

[0110] 在步骤5中,作为本发明的曝光工序,进一步从光掩模50的表面侧照射紫外光51。抗蚀剂膜层48中的光掩模50的图案52的区域被紫外光51曝光。

[0111] 图11是在步骤5之后进一步经过蚀刻(Etching) 工序而制造的光偏转器10的横截面图。SOI晶圆25具有下述结构:从SOI晶圆25的背面侧向表面侧层叠有 SiO_2 层28a、支撑层28b、 SiO_2 层28c、活性层28d及 SiO_2 层28e。元件形成层42从SOI晶圆25侧依次层叠有电极层42a、压电膜层42b及电极层42c。

[0112] 镜部11具有覆盖 SiO_2 层28e的表面的金属层54。金属层54的表面构成对从未图示的光源向镜部11入射的光进行反射的反射面。活性层28d形成镜部11、内侧压电致动器13及外侧压电致动器15的共用的基板层。

[0113] 图12A是观察到的抗蚀剂膜层48的膜厚超过了规定的 $10\mu\text{m}$ 的抗蚀剂膜层48的截面以及以该膜厚制造而成的R部31的弯曲曲面的波纹量的SEM观察图像。图12B是观察到的抗蚀剂膜层48的膜厚在规定的 $10\mu\text{m}$ 以内的抗蚀剂膜层48的截面以及以该膜厚制造而成的R部31的弯曲曲面的波纹量的SEM观察图像。

[0114] 从图12A与图12B的SEM观察图像的对比可以理解到,当抗蚀剂膜层48的膜厚小于规定的 $10\mu\text{m}$ 时,能够将以该膜厚制造而成的R部31的弯曲曲面抑制在所期望的 600nm 以内。

[0115] [变形例和补充]

[0116] 实施方式的光偏转器10为两轴式、即来自镜部的扫描光二维地进行扫描的光偏转器。本发明的光偏转器也可以是单轴式、即来自镜部的扫描光一维地进行扫描的光偏转器。

[0117] 实施方式的光偏转器10的扭杆在Y轴方向上超过与作为压电式致动器的内侧压电致动器13的结合部,到达可动框部14(可动框)的内周,并与该内周结合。在本发明的光偏转器中,扭杆也可以不与作为支承部的可动框部14结合。

[0118] 在实施方式中,作为抗蚀剂膜层48的感光剂44采用AZ6130(粘度:70cSt),其中,抗蚀剂膜层48为光致抗蚀剂膜。形成本发明的光致抗蚀剂膜的感光剂只要是能够用 $5\mu\text{m}$ 以上且 $10\mu\text{m}$ 以下的均匀的膜厚的光致抗蚀剂膜覆盖曝光工序前的基板的表面侧,则不限定感光剂的种类。

[0119] 实施方式的R部31aa,31ba对应于本发明的第一R部。R部31ab,31bb对应于本发明的第二R部。在实施方式中,如在图10的步骤4中说明的,SOI晶圆25的整个表面40受具有 $5\mu\text{m}$ 以上且 $10\mu\text{m}$ 以下的膜厚的抗蚀剂膜层48覆盖。因此,不仅是R部31aa,31ba,31ab,31bb,而且其他的R部31ac,31bc,31ad,31bd、进一步地以曲折图案结合的悬臂19的连结部的R部的波纹量也在 600nm 以内。在本发明中,使波纹量为 600nm 以内的R部可以仅为R部31ab,31bb。

[0120] 在实施方式中,如在图10的步骤4中说明的,SOI晶圆25的整个表面40受 $5\mu\text{m}$ 以上且 $10\mu\text{m}$ 以下的膜厚的抗蚀剂膜层48覆盖。因此,并不限定于R部的粗糙度曲线的提取长度的范围所包含的各周期,也可以使R部的粗糙度曲线的全长所包含的各周期的最大波纹量与最

小波纹量的差量为600nm以下。

[0121] 标号说明

[0122] 10…光偏转器;11…镜部;12…扭杆;13…内侧压电致动器;14…可动框部;22x, 22y…旋转轴线;25…SOI晶圆;28d…活性层;31…R部;36…弯曲面;40…表面;42…元件形成层;44…感光剂;45…自旋旋转;48…抗蚀剂膜层;52…图案。

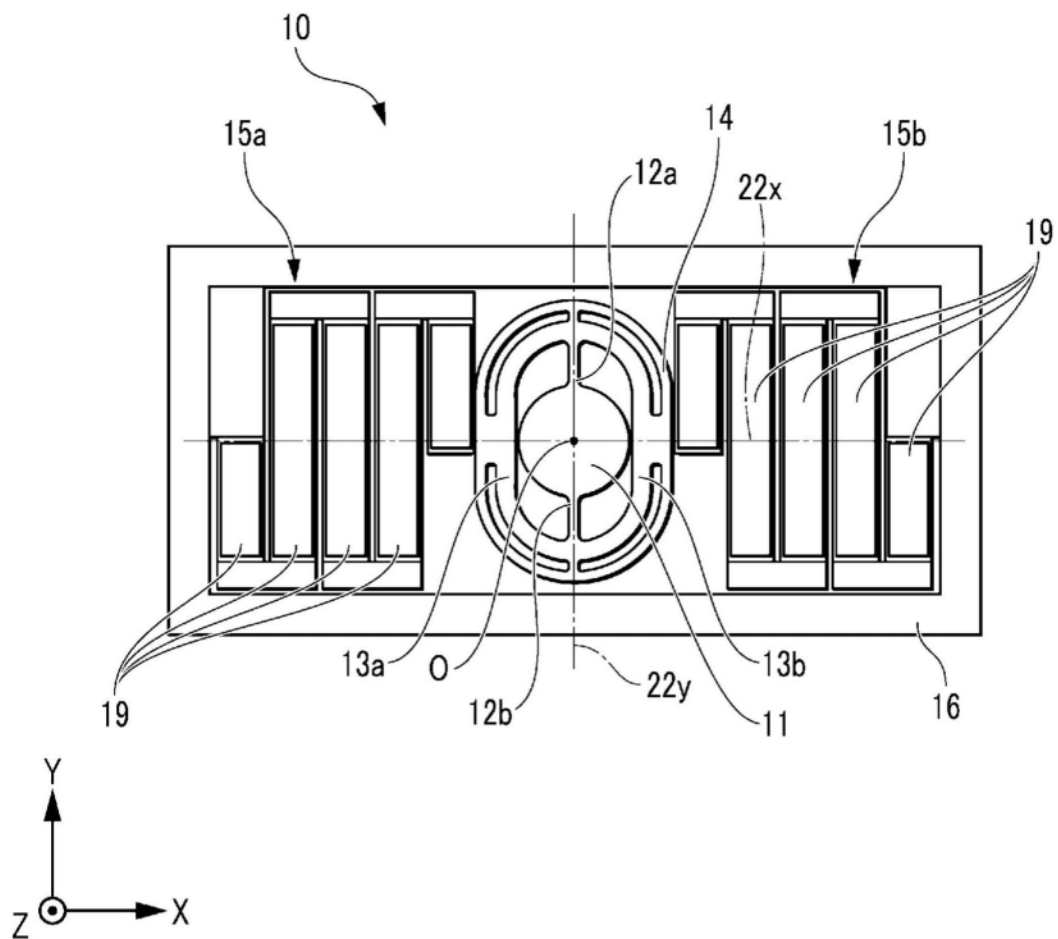


图1

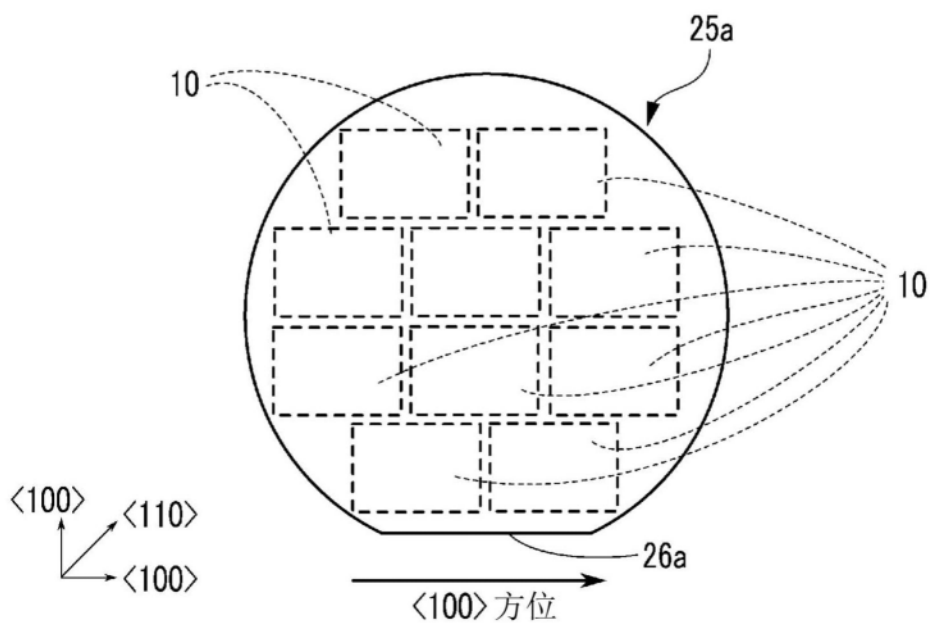


图2A

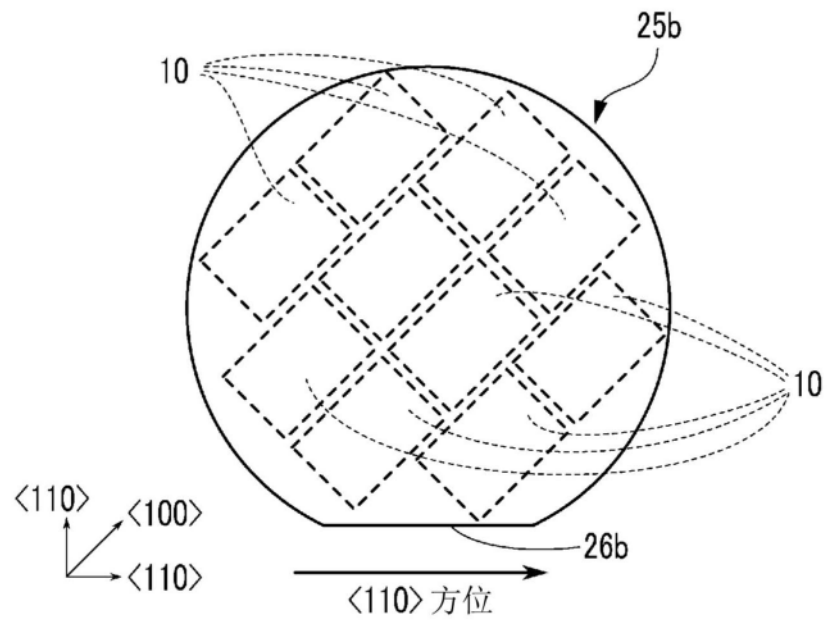


图2B

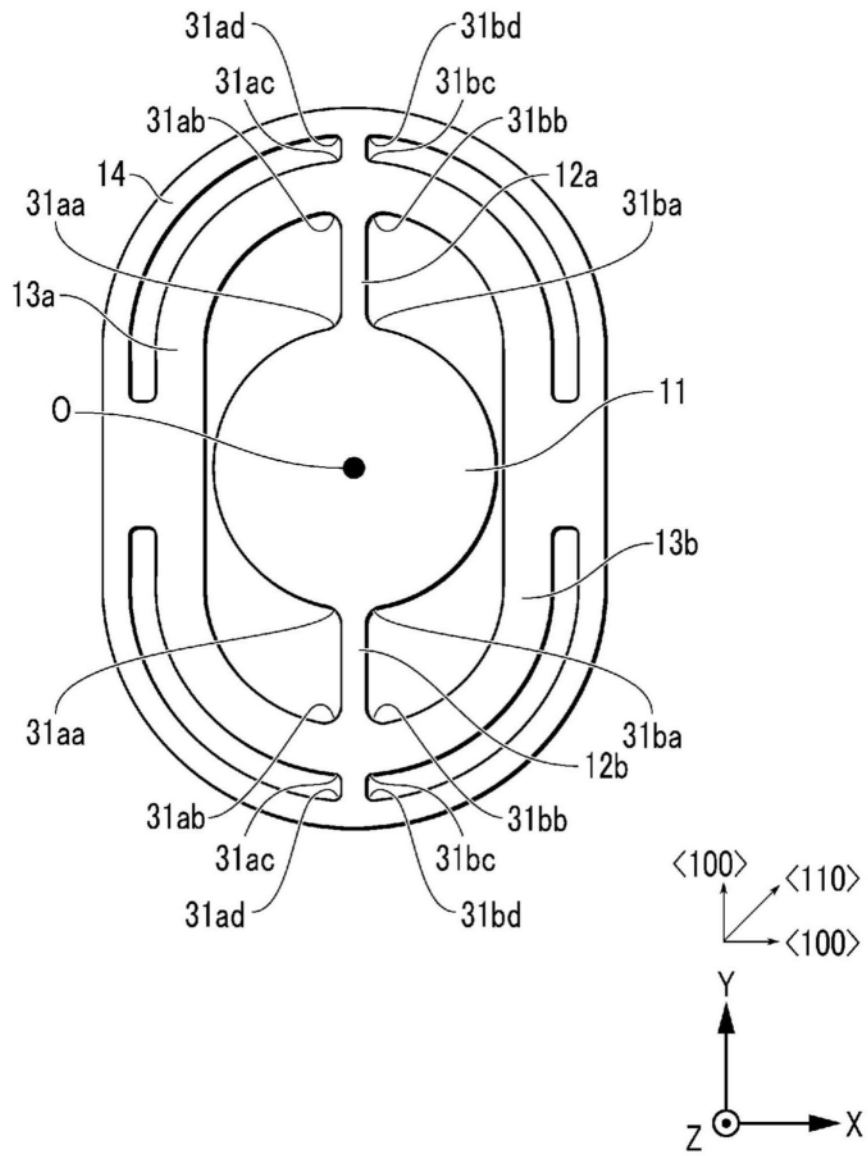


图3

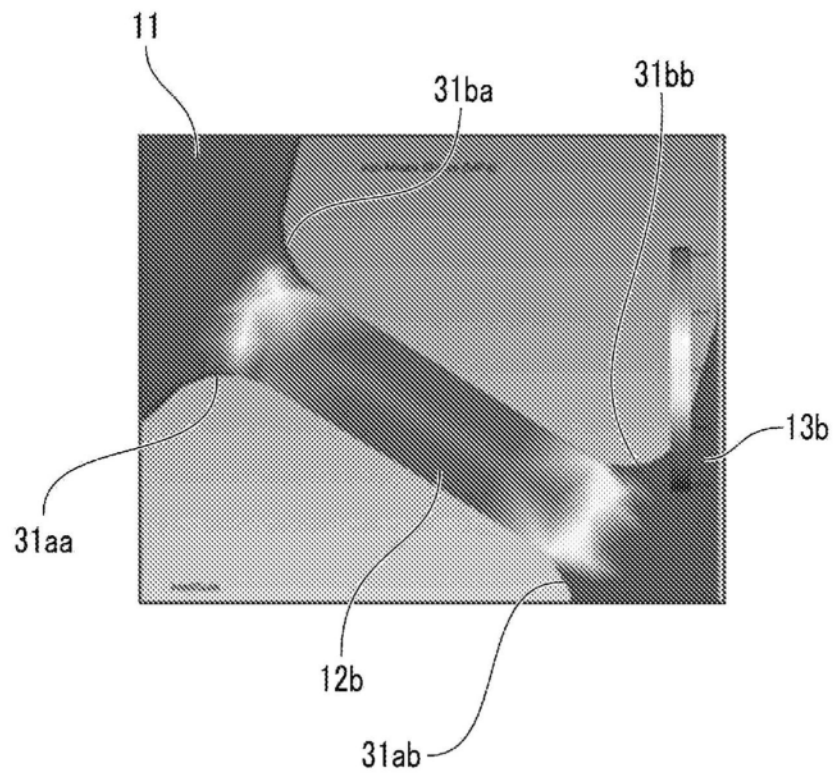


图4

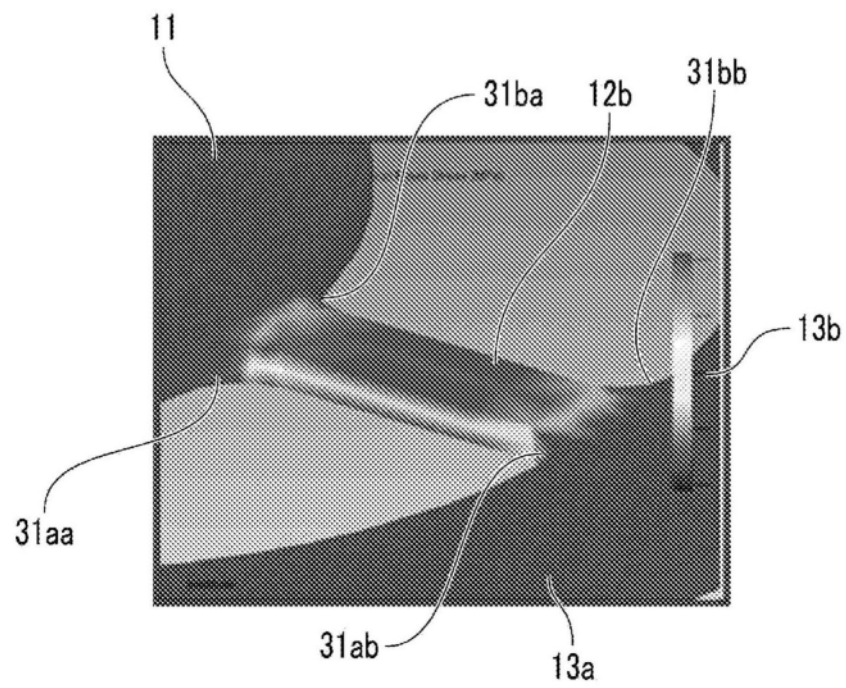


图5

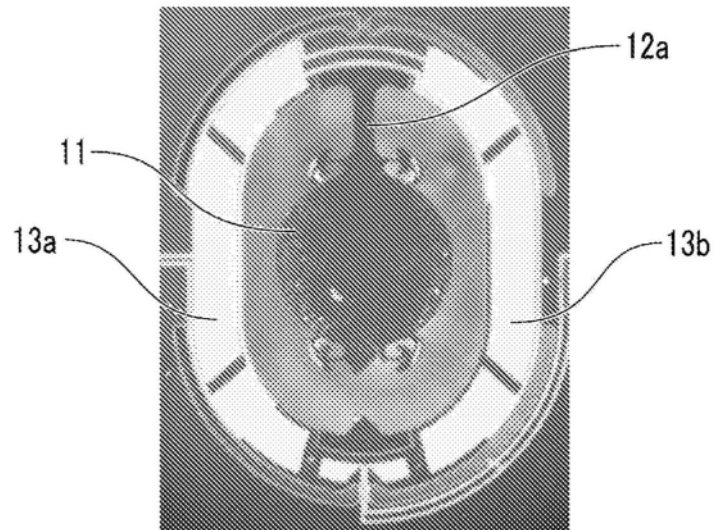


图6

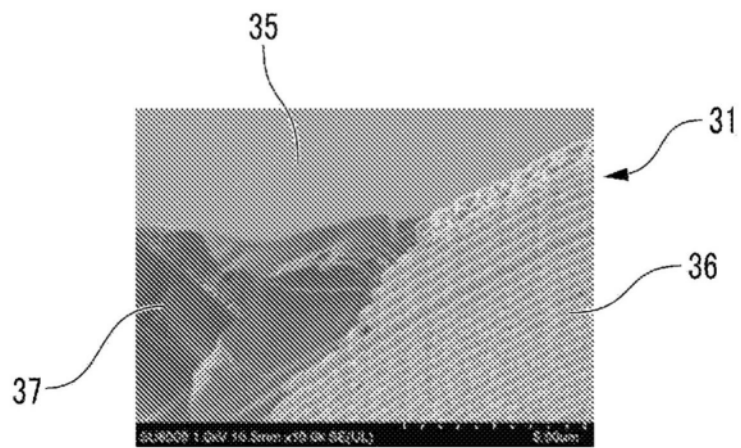


图7

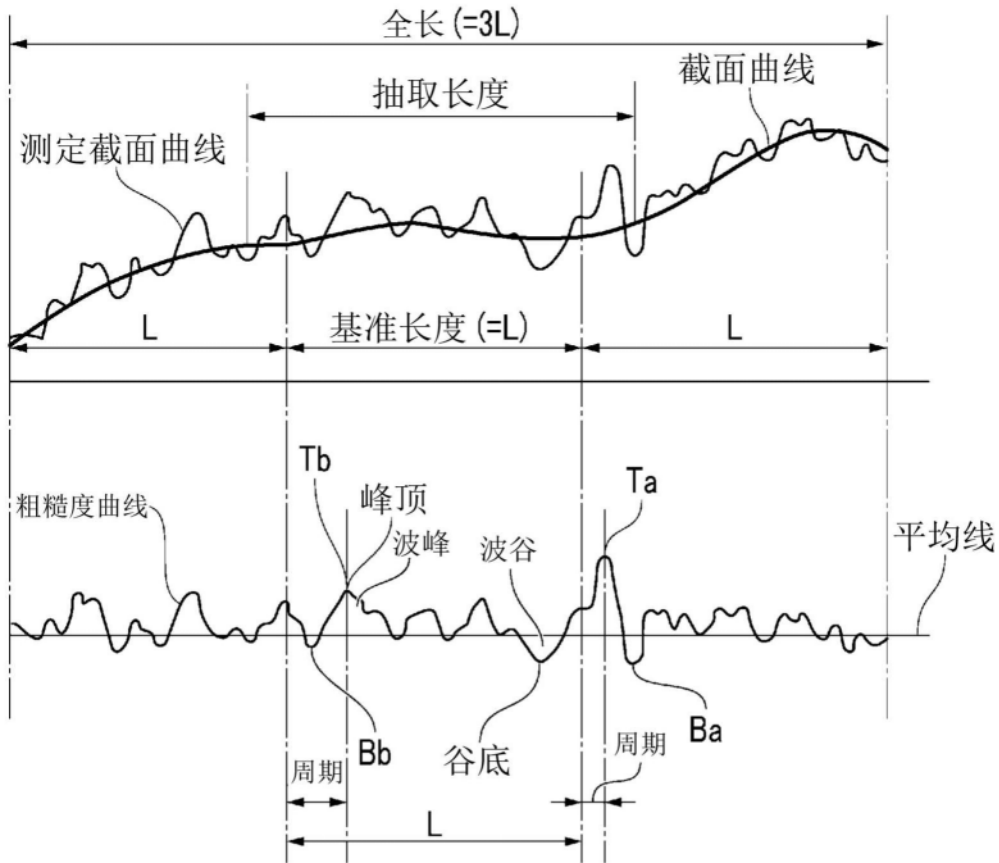


图8

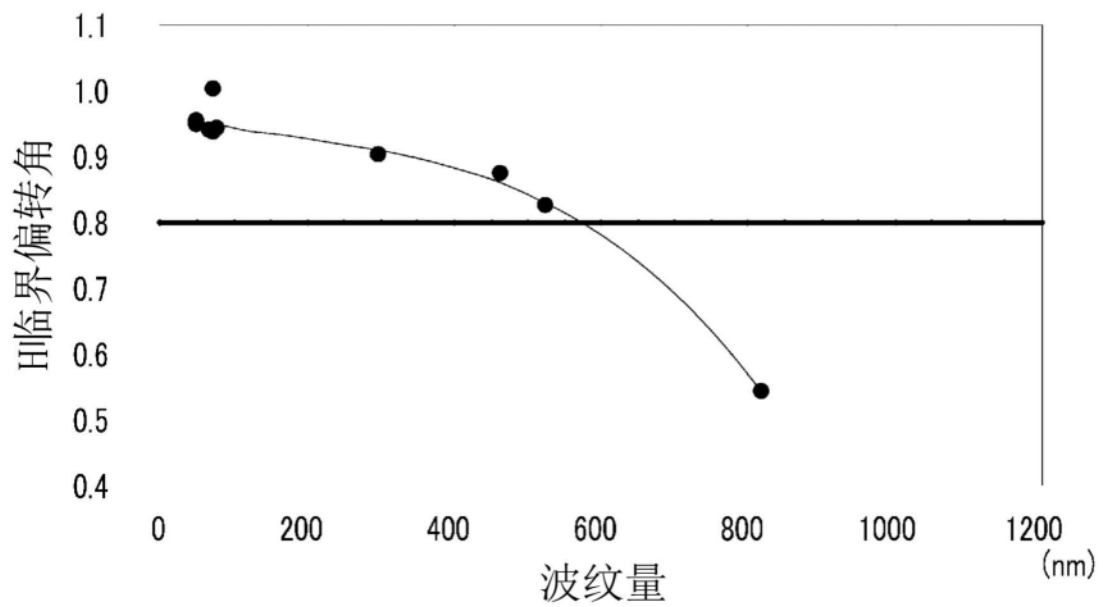


图9

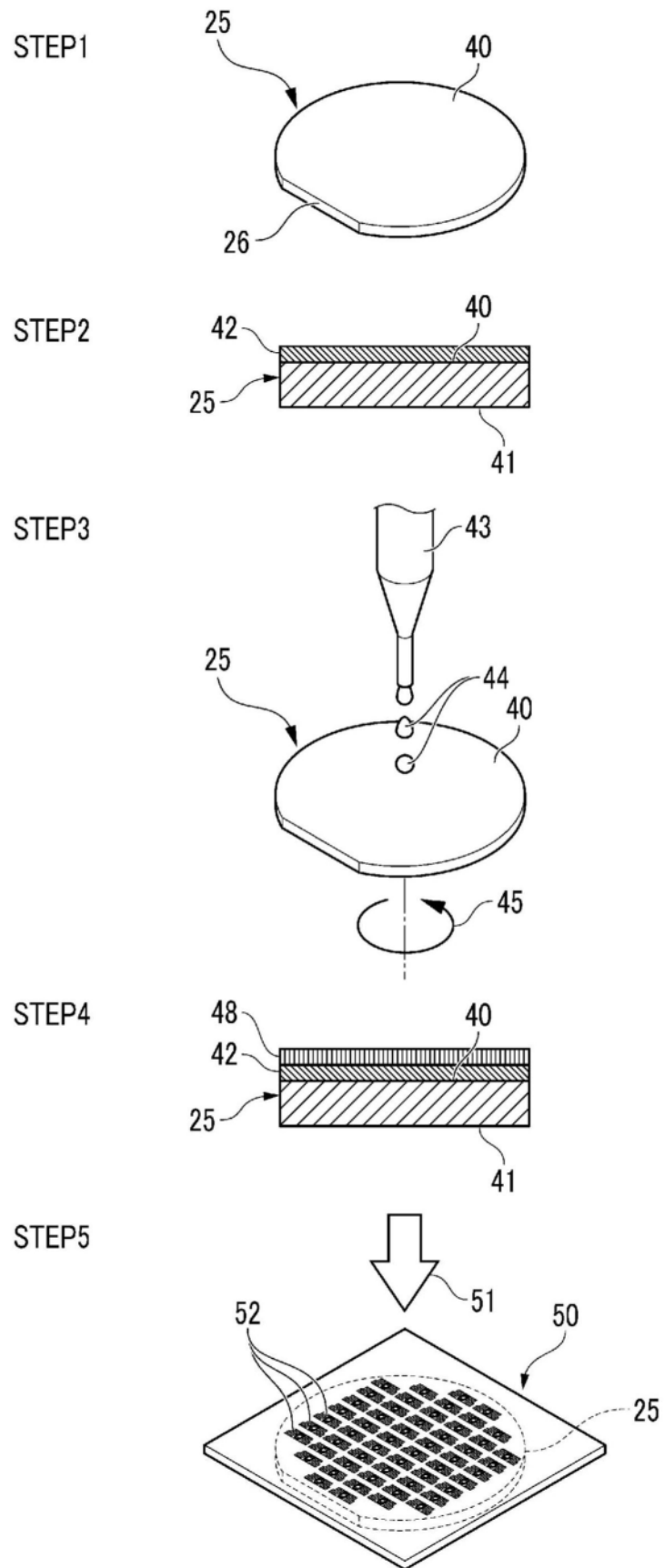


图10

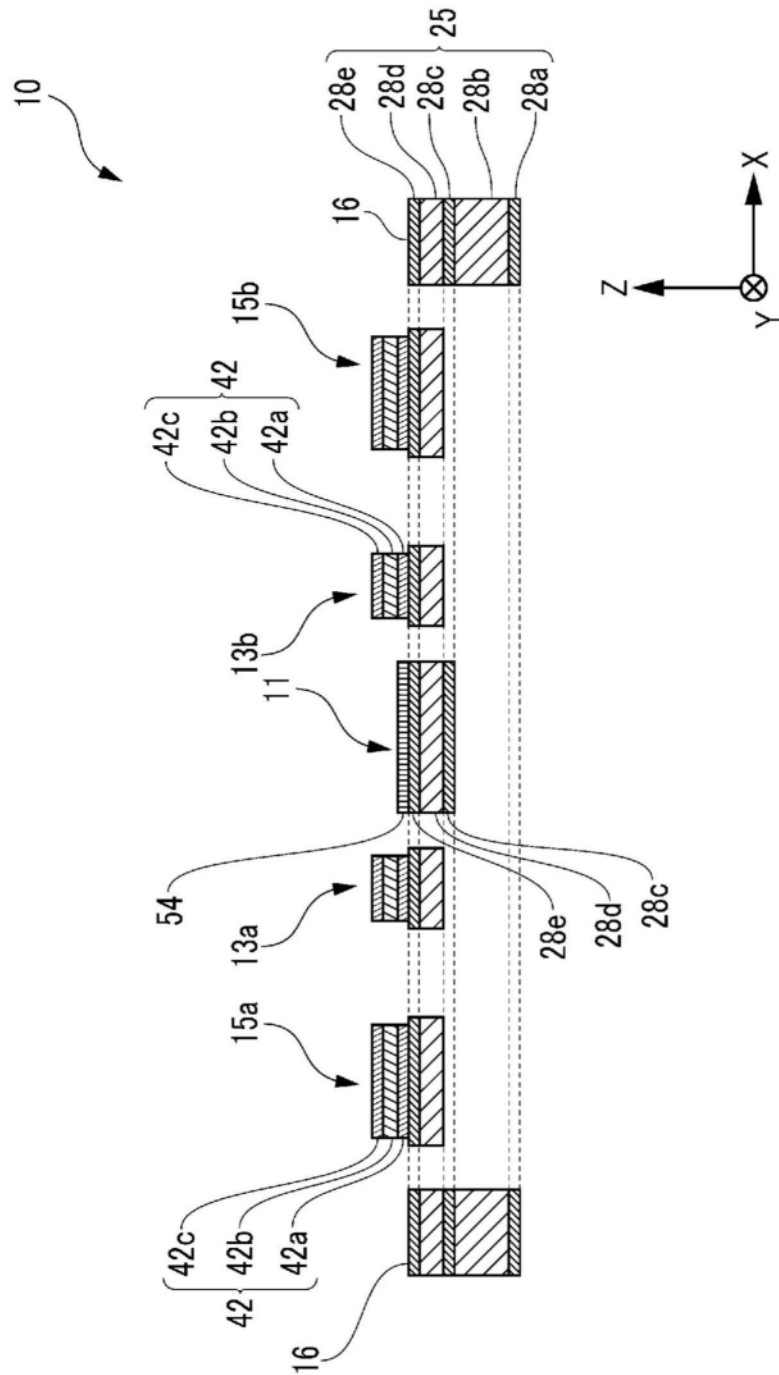


图11

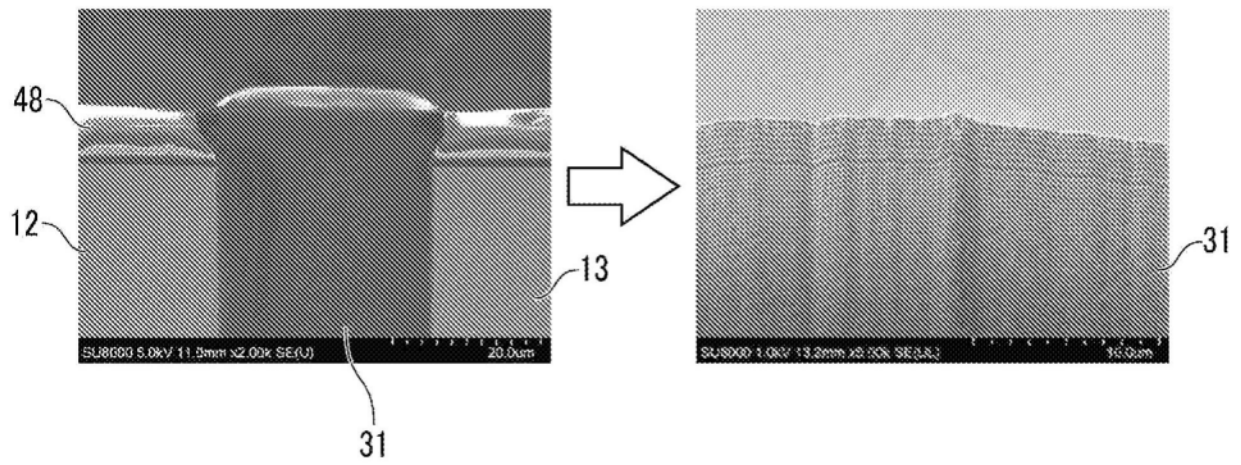


图12A

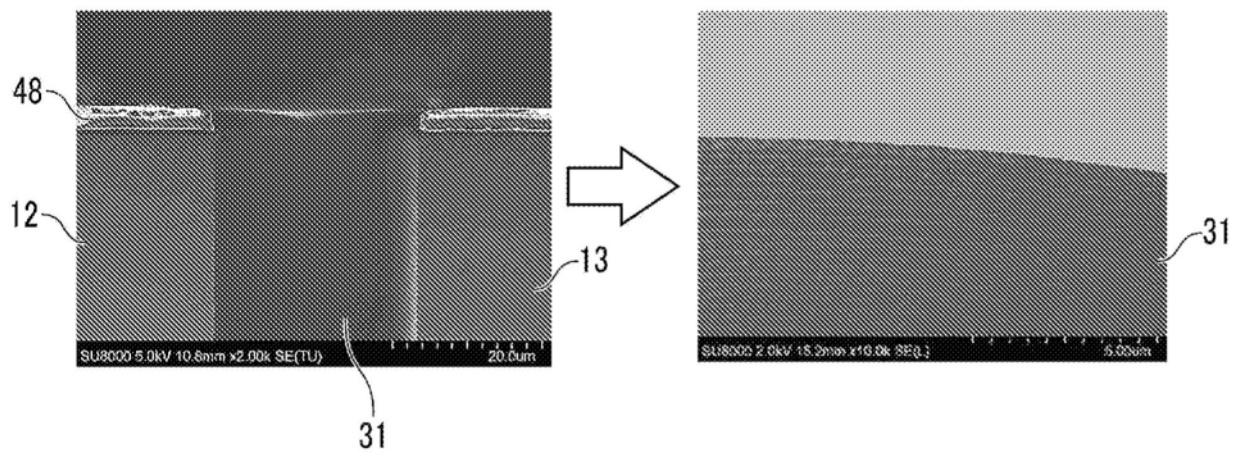


图12B