



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115509091 A

(43) 申请公布日 2022. 12. 23

(21) 申请号 202210717284.0

(22) 申请日 2022.06.23

(30) 优先权数据

2021-104157 2021.06.23 JP

(71) 申请人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 住吉雄平

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所

有限公司 11038

专利代理师 汪晶晶

(51) Int.Cl.

G03F 7/20 (2006.01)

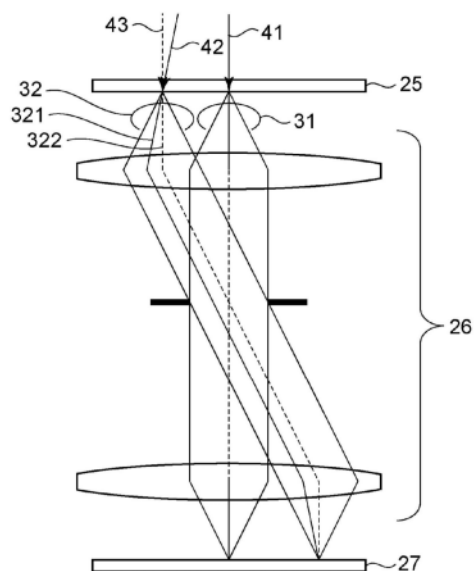
权利要求书2页 说明书10页 附图13页

### (54) 发明名称

曝光装置、曝光方法和产品的制造方法

### (57) 摘要

本公开涉及曝光装置、曝光方法和产品的制造方法。一种曝光装置,通过使用其中形成有图案的原件对基板进行曝光,包括:照明光学系统,被布置为将照明光引导到原件,照明光包括具有第一波长的第一照明光和具有与第一波长不同的第二波长的第二照明光;以及投影光学系统,被布置为在光轴方向上的多个位置处通过使用照明光形成原件的图案图像。照明光学系统被配置为通过改变进入原件的照明光的入射角来调整由第一照明光形成的图案图像与由第二照明光形成的图案图像之间在垂直于光轴方向的方向上的位置偏差。



1. 一种曝光装置, 通过使用其中形成有图案的原件对基板进行曝光, 所述曝光装置包括:

照明光学系统, 被布置为将照明光引导到原件, 照明光包括具有第一波长的第一照明光和具有与第一波长不同的第二波长的第二照明光; 以及

投影光学系统, 被布置为在投影光学系统的光轴方向上的多个位置处通过使用照明光形成原件的图案图像, 其中

照明光学系统被配置为通过改变进入原件的照明光的入射角来调整由第一照明光形成的图案图像与由第二照明光形成的图案图像之间在垂直于光轴方向的方向上的位置偏差。

2. 根据权利要求1所述的曝光装置, 其中所述照明光学系统被配置为根据所述投影光学系统的光学特性来改变入射角。

3. 根据权利要求2所述的曝光装置, 其中所述光学特性是横向色差。

4. 根据权利要求2所述的曝光装置, 其中所述光学特性是彗形像差。

5. 根据权利要求3所述的曝光装置, 其中入射角被改变, 以减小由于所述投影光学系统的横向色差导致的位置偏差。

6. 根据权利要求4所述的曝光装置, 其中入射角被改变, 以减小由于所述投影光学系统的彗形像差导致的位置偏差。

7. 根据权利要求1所述的曝光装置, 其中所述图案是线间隔图案, 并且所述位置偏差是在图案的排列方向上发生的位置偏差。

8. 根据权利要求1所述的曝光装置, 其中通过改变所述照明光学系统中包括的光学元件的位置来控制入射角。

9. 根据权利要求1所述的曝光装置, 其中所述投影光学系统中包括孔径光阑, 并且通过改变所述孔径光阑的位置和孔径的大小中的至少一个来改变照射基板的光的入射角。

10. 根据权利要求1至9中的任一项所述的曝光装置, 其中第一照明光和第二照明光中的每一个是相对于从光源振荡的具有基准波长的光在波长上偏移的光。

11. 根据权利要求10所述的曝光装置, 其中第一照明光的波长和第二照明光的波长根据图案的形状来确定。

12. 一种曝光装置, 所述曝光装置通过使用其中形成有图案的原件对基板进行曝光, 并且能够在第一模式和第二模式之间切换, 其中第一模式通过使用具有基准波长的照明光来执行曝光, 并且第二模式通过使用包括具有与基准波长不同的第一波长的第一照明光和具有与基准波长或第一波长不同的第二波长的第二照明光的照明光来执行曝光, 其中

所述装置被配置为使得在第一模式中进入原件的具有基准波长的照明光的入射角与在第二模式中进入原件的第二照明光的入射角不同。

13. 根据权利要求12所述的曝光装置, 其中通过改变第二模式中第二照明光的入射角, 使得在第一模式中进入原件的具有基准波长的照明光的入射角与在第二模式中进入原件的第二照明光的入射角不同。

14. 一种曝光方法, 所述曝光方法通过使用其中形成有图案的原件对基板进行曝光, 所述曝光方法包括以下步骤:

用照明光照射原件, 所述照明光包括具有第一波长的第一照明光和具有与第一波长不

同的第二波长的第二照明光；

使用投影光学系统在投影光学系统的光轴方向上的多个位置处通过使用照明光来形成原件的图案图像；

调整进入原件的照明光的入射角，以减少由第一照明光形成的图案图像与由第二照明光形成的图案图像之间在垂直于光轴方向的方向上的位置偏差。

15. 一种半导体设备的制造方法，所述制造方法包括：使用根据权利要求14的曝光方法在基板中形成凹槽的第一形成步骤；以及在凹槽中形成像素分离部分的第二形成步骤。

16. 一种计算机程序，当在计算机上运行时，使所述计算机控制曝光装置以执行根据权利要求14所述的曝光方法。

## 曝光装置、曝光方法和产品的制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及曝光装置、曝光方法以及产品的制造方法。

### 背景技术

[0002] 曝光装置用于制造产品,诸如半导体设备。曝光装置通过用照明光学系统照射原件(掩模版或掩模)并经由投影光学系统将原件的图案投影到基板上,从而使基板曝光。在曝光装置中,在部署于基板上的抗蚀剂中形成原件的图案图像,然后执行蚀刻等,结果在基板上形成期望的图案。

[0003] 所使用的抗蚀剂的厚度取决于要在基板上形成的图案而不同,并且其中所使用的抗蚀剂膜的厚度厚的处理可以被称为厚膜处理。在厚膜处理中,为了在抗蚀剂中高准确度地形成图案图像,期望扩大曝光装置中包括的投影光学系统的焦深。

[0004] 日本专利公开No.64-077123描述了与多波长曝光相关的内容,该多波长曝光用于通过使光源(诸如准分子激光器)在两个不同的波长处振荡而使光源的波长在时间上分成两个来进行曝光。在投影光学系统的纵向色差的影响下,能够在投影光学系统的光轴方向上的不同位置处形成图案。

[0005] 在日本专利公开No.64-077123中描述的投影光学系统中,不仅残留纵向色差而且还残留横向色差。在离轴区域中,具有两种不同波长的光线可以在与光轴方向垂直的方向上偏移的位置处形成图案图像。因此,形成在抗蚀剂中的图案图像具有倾斜,这可能导致图案形成准确度的降低。

### 发明内容

[0006] 根据本发明的实施例,一种曝光装置通过使用其中形成有图案的原件对基板进行曝光。该曝光装置包括:照明光学系统,被布置为将照明光引导到原件,照明光包括具有第一波长的第一照明光和具有与第一波长不同的第二波长的第二照明光;以及投影光学系统,被布置为在投影光学系统的光轴方向上的多个位置处通过使用照明光形成原件的图案图像。照明光学系统被配置为通过改变进入原件的照明光的入射角来调整由第一照明光形成的图案图像和由第二照明光形成的图案图像之间在垂直于光轴方向的方向上的位置偏差。

[0007] 本发明的其它特征将从参考附图对实施例的以下描述中变得清楚。

### 附图说明

[0008] 图1A和图1B是示出曝光装置的配置的图。

[0009] 图2是示意性地示出投影光学系统的横截面的图。

[0010] 图3是示出图案图像之间的位置偏差的图。

[0011] 图4是示出远心度(telecentricity)调整之前和之后的主光线的光路的图。

[0012] 图5A至图5C是各自示出图案图像的倾斜度(inclination)的图。

- [0013] 图6是示出照明光束的倾斜度与图案图像的倾斜度之间的关系的图。
- [0014] 图7A至图7C是各自示出投影光学系统的光瞳平面中的光强度分布的图。
- [0015] 图8A至图8C是各自示出调整照明光束的远心度的方法的图。
- [0016] 图9是示出孔径光阑调整之前和之后的主光线的光路的图。
- [0017] 图10A至图10D是各自示出图案图像的倾斜度的图。
- [0018] 图11是示出照明光束的倾斜度和图案图像的倾斜度之间的关系的图。
- [0019] 图12是示出半导体设备的制造过程的图。

## 具体实施方式

[0020] 在下文中,将参考附图描述实施例。以下实施例并非旨在限制根据权利要求的本发明。在每个实施例中描述了多个特征;但是,并非所有的多个特征对于本发明而言都是必不可少的,并且多个特征可以任意组合使用。附图中类似的附图标记表示相同或相似的部件,并省略重复描述。

[0021] 图1A是示出作为本发明的一个方面的曝光装置100的配置的图。图1B是曝光装置100的简化横截面视图。曝光装置100是在半导体设备等的制造处理中使用的、在基板上形成图案的光刻装置。在本实施例中,曝光装置100是分步扫描(step-and-scan)曝光装置(扫描仪),其通过在扫描方向上移动原件25和基板27的同时对基板27进行曝光(扫描曝光)而将原件25的图案转印到基板27上。但是,曝光装置100能够采用分步重复(step-and-repeat)系统或其它曝光系统。

[0022] 如图1A和图1B中所示,曝光装置100包括用来自光源1的光照射原件25(掩模版或掩模)的照明光学系统110和将原件25的图案投影到基板27(晶片、玻璃板等)上的投影光学系统26。曝光装置100包括原件台29、基板台28和控制单元50。基板台28具有在基板平面内沿着相互正交的第一方向和第二方向移动的功能。在本实施例中,如图1A和图1B中所示,以基板台28为基准,定义其中第一方向为y方向(y轴),第二方向为x方向(x轴),并且与第一方向和第二方向正交的方向为z方向(z轴)的坐标系。z方向是与投影光学系统26的光轴方向对应的方向。

[0023] 光源1包括具有大约365nm波长的汞灯、准分子激光器,诸如具有大约248nm波长的KrF准分子激光器和具有大约193nm波长的ArF准分子激光器。光源1发射用于照射原件25的光(曝光光)。

[0024] 照明光学系统110包括中继光学系统2、出射角保持光学元件5、衍射光学元件6、聚光透镜7、遮光构件8、棱镜单元10和变焦透镜单元11。照明光学系统110还包括光学积分器12、光阑13、聚光透镜15、遮光单元19、掩蔽单元20、聚光透镜21和准直透镜23。

[0025] 中继光学系统2设置在光源1和出射角保持光学元件5之间。中继光学系统2将来自光源1的光引导到出射角保持光学元件5。出射角保持光学元件5设置在衍射光学元件6的光源侧。出射角保持光学元件5包括光学积分器,诸如复眼透镜、微透镜阵列和光纤束。出射角保持光学元件5将来自光源1的光引导到衍射光学元件6,同时保持发散角恒定。出射角保持光学元件5降低了光源1的输出变动对由衍射光学元件6形成的光强度分布(图案分布)的影响。

[0026] 衍射光学元件6部署在与照明光学系统110的光瞳平面14具有傅里叶变换关系的

平面中。衍射光学元件6通过由衍射效应转换来自光源1的光的光强度分布在照明光学系统110的光瞳平面14或者与照明光学系统110的光瞳平面14共轭的平面上形成期望的光强度分布,该光瞳平面14是与投影光学系统26的光瞳平面共轭的平面。衍射光学元件6可以由计算机生成全息图(CGH)构成,该计算机生成全息图(CGH)由计算机设计成使得在衍射图案平面上获得期望的衍射图案。在本实施例中,形成在投影光学系统26的光瞳平面上的光源形状被称为有效光源形状。术语“有效光源”是指被照射平面和与被照射平面共轭的平面中的光强度分布或光角分布。衍射光学元件6设置在出射角保持光学元件5和聚光透镜7之间。

[0027] 多个衍射光学元件6可以设置在照明光学系统110中。例如,多个衍射光学元件6中的每一个都附接到转台(未示出)的多个槽之一。衍射光学元件6分别形成不同的有效光源形状。这些有效光源形状包括小圆形(相对小圆形)、大圆形(相对大圆形)、环形、偶极形、四极形和其它形状。用环形、偶极形或四极形的有效光源形状对被照射平面进行照明的方法被称为修正照明。

[0028] 来自出射角保持光学元件5的光被衍射光学元件6衍射并被引导到聚光透镜7。聚光透镜7设置在衍射光学元件6和棱镜单元10之间。聚光透镜7对由衍射光学元件6衍射的光进行聚光,并在傅里叶变换平面9中形成分布图案(光强度分布)。

[0029] 傅里叶变换平面9是位于光学积分器12和衍射光学元件6之间并且与衍射光学元件6具有光学傅里叶变换关系的平面。通过更换部署在照明光学系统110的光路中的衍射光学元件6,可以改变在傅里叶变换平面9中形成的分布图案的形状。

[0030] 遮光构件8被配置为可在与照明光学系统110的光轴1b垂直的方向上移动,并且被部署在傅里叶变换平面9的上游侧(光源侧)。遮光构件8部署在与傅里叶变换平面9的位置稍微隔开(散焦)的位置处。

[0031] 棱镜单元10和变焦透镜单元11设置在傅里叶变换平面9和光学积分器12之间。棱镜单元10和变焦透镜单元11用作放大在傅里叶变换平面9中形成的光强度分布的变焦光学系统。棱镜单元10调整在傅里叶变换平面9中形成的光强度分布的圆环比(annular ratio)等,并将光强度分布引导到变焦透镜单元11。变焦透镜单元11设置在棱镜单元10和光学积分器12之间。变焦透镜单元11包括例如多个变焦透镜。变焦透镜单元11调整在傅里叶变换平面9中形成的光强度分布的 $\sigma$ 值,并将光强度分布引导到光学积分器12,该 $\sigma$ 值是参考照明光学系统110的数值孔径(NA)与投影光学系统26的NA之间的比率获得的。

[0032] 光学积分器12设置在变焦透镜单元11和聚光透镜15之间。光学积分器12包括复眼透镜,该复眼透镜形成大量的二级光源并根据其圆环比、孔径角和 $\sigma$ 值被调整的光强度分布将二级光源引导到聚光透镜15。但是,光学积分器12可以包括另一个光学元件,诸如光学管、衍射光学元件和微透镜阵列,而不是复眼透镜。光学积分器12用已经穿过衍射光学元件6的光均匀地照射放置在被照射平面24中的原件25。光阑13设置在光学积分器12与聚光透镜15之间的照明光学系统110的光瞳平面14附近。

[0033] 聚光透镜15设置在光学积分器12和原件25之间。因此,聚光透镜15能够会聚从光学积分器12引导的大量光线并以叠加方式照射原件25。当使光线进入光学积分器12并被聚光透镜15会聚时,作为聚光透镜15的焦平面的共轭平面20a以大致矩形形状被照射。

[0034] 半反射镜16部署在聚光透镜15的后侧。在半反射镜16上反射的曝光光的一部分进入光强度测量光学系统17。测量光强度的传感器18部署在光强度测量光学系统17的后侧。

根据传感器18测量的光强度,适当地控制执行曝光期间的曝光。

[0035] 包括X刀片和Y刀片的掩蔽单元20被部署在共轭平面20a中,该共轭平面20a是与被照射平面24共轭的平面并且以大致矩形光强度分布被照射。掩蔽单元20被部署为限定原件25(被照射平面24)的照明范围,并且与原件台29和基板台28同步进行扫描。原件台29是在保持原件25的同时移动的台。基板台28是在保持基板27的同时移动的台。

[0036] 遮光单元19设置在与掩蔽单元20(被照射平面24的共轭平面20a)隔开(散焦)的位置处。在相对于来自聚光透镜21的光束具有预定倾斜度的反射镜22上反射的光经由准直透镜23照射原件25。

[0037] 投影光学系统26将原件25的图案投影到基板27上。图2是示意性地示出投影光学系统26的横截面的图。如图2中所示,投影光学系统26包括多个光学构件(光学元件,诸如透镜和反射镜)。具有可变孔径的孔径光阑261设置在投影光学系统26的光瞳平面26a处或光瞳平面26a附近。通过调整孔径光阑261的孔径,可以将投影光学系统26的NA设定为期望值。原件25的图案图像的分辨率取决于投影光学系统26的NA和有效光源形状。因此,通过适当地设定(选择)投影光学系统26的NA和有效光源形状,可以提高原件25的图案的分辨率。

[0038] 关于构成投影光学系统26的光学构件的材料,可使用的材料根据要从光源发射的曝光光的波长而受到限制。当使用具有大约365nm波长的汞灯作为光源时,可以通过组合由大约10种材料制成的光学构件来有利地校正纵向色差、横向色差等。另一方面,当使用准分子激光器,诸如波长大约为248nm的KrF准分子激光器和波长大约为193nm的ArF准分子激光器作为光源时,透射来自准分子激光器的曝光光的材料是有限的。考虑到准分子激光器的光学透明度和成本,当前状态下投影光学系统通常仅由石英制成。在这种情况下,难以利用投影光学系统的光学设计有利地校正色差,因此通过缩小激光的波长光谱范围来减小投影光学系统的色差的影响。

[0039] 描述回到图1A和图1B。控制单元50由包括CPU、存储器等的计算机(信息处理装置)构成。控制单元50通过根据存储在存储器中的程序总体控制曝光装置100的单元来操作曝光装置100。控制单元50控制将基板27曝光的曝光处理以及与曝光处理相关的各种处理。例如,在本实施例中,控制单元50执行确定用于以原件25的图案进行照明的照明形状(照明光束)的处理。

[0040] 近年来,在三维存储器或图像拾取元件的制造处理中,期望形成具有几微米至几十微米厚度的穿透图案。为了用曝光装置形成这种厚的穿透图案,期望扩大投影光学系统的焦深。作为实质上扩大焦深的技术,已知一种在投影光学系统的光轴方向上偏移焦点位置的同时进行多重曝光的方法。作为多重曝光的示例,已知焦点宽容度增强曝光(FLEX)方法。在FLEX方法中,例如,在使基板相对于投影光学系统的光轴倾斜的同时进行扫描曝光,使得基板上的区域中的点在两个或更高的散焦状态下曝光。作为多重曝光的另一个示例,已知通过激光光谱调整曝光(RELAX)方法的分辨率增强。在RELAX方法中,激光光源的波长光谱被调整为在多个波长处具有光强度峰值。

[0041] 在包括投影光学系统中残留的纵向色差、彗形色差等光学特性的影响下,具有不同波长的光线分别在投影光学系统的光轴方向上的不同位置处形成图像。通过调整激光光源的波长光谱,可以改变光轴方向上的成像位置,从而获得扩大焦深的效果。

[0042] 以这种方式,在RELAX方法中,通过使用投影光学系统中残留的纵向色差来获得扩

大焦深的效果;但是,除了纵向色差之外,诸如横向色差和彗形色差之类的像差也残留在投影光学系统中,并且这些像差可能导致成像性能的降低。

[0043] 图3是示出投影光学系统的横向色差对成像性能的影响的示意图。图3示出了其中已透过原件25的照明光束穿过投影光学系统26并且到达基板27的状态。在图3中,描绘了来自原件25的轴上(on-axis)物点的光束31和来自原件25的离轴(off-axis)物点的光束32。来自轴上物点的光束31变成会聚在轴上像点处的光束33,并且来自离轴物点的光束32变成会聚在离轴像点处的光束35。

[0044] 这里,当来自原件25的光束的波长光谱包括多个峰时,即使对于从同一物点发射的光束,成像位置也根据波长而变化。这里,假设波长光谱在第一波长处具有峰并且在与第一波长不同的第二波长处具有峰。

[0045] 对于来自轴上物点的光束31,具有第一波长的光束(第一照明光)穿过投影光学系统26并变成光束33并会聚,并且具有第二波长的光束(第二照明光)在投影光学系统26的纵向色差的影响下变成光束34并会聚。光束33在光轴方向上的成像位置与光束34在光轴方向上的成像位置彼此不同。对于轴上光束,几乎没有横向色差的影响,因此两者的成像位置仅在光轴方向上不同。

[0046] 另一方面,对于来自离轴物点的光束32,具有第一波长的光束穿过投影光学系统26并变成光束35并会聚,并且具有第二波长的光束在投影光学系统26的纵向色差和横向色差的影响下变成光束36并会聚。光束35的成像位置与光束36的成像位置不仅在投影光学系统26的光轴方向上彼此不同,而且在与光轴方向垂直的方向上也彼此不同。换句话说,在投影光学系统26的光轴方向和与光轴方向垂直的方向上,都在由光束35(第一照明光)形成的图案图像与由光束36(第二照明光)形成的图案图像之间产生位置偏差。

[0047] 如上所述,对于离轴光束,连接第一照明光的聚光位置与第二照明光的聚光位置的直线不垂直于基板27。因此,图案图像相对于抗蚀剂倾斜地形成,结果在基板27上的穿透图案中发生倾斜。图案图像的倾斜主要与横向色差T和纵向色差L的比率 $T/L$ 成比例地发生。

[0048] 因为由于横向色差导致的图案图像的位置偏差与像点和光轴之间的距离成比例,因此图案图像的倾斜度随着像点距光轴的距离而增加。

[0049] 由于横向色差导致的图案倾斜发生在通过横向色差使图像偏移的方向上。换句话说,图案的倾斜发生在相对于像平面和投影光学系统26的光轴之间的交点的辐射方向上。步进扫描曝光装置(扫描仪)通过扫描狭缝状的曝光区域来进行曝光。换句话说,投影光学系统26的像平面中的用于曝光的区域具有细长狭缝形状。因此,横向色差的影响如何出现,即图案的倾斜如何出现,取决于图案的方向而变化。具体而言,在相对于狭缝状的曝光区域的横向方向上延伸的图案中发生倾斜,并且在纵向方向上延伸的图案中不发生倾斜。注意的是,倾斜度取决于图案的方向而变化。当图案的倾斜度大于或等于可允许值时,它可能导致设备缺陷,并且成品率会降低。

[0050] 在本实施例中,为了校正由于第一波长的光束的聚光位置与第二波长的光束的聚光位置之间的位置偏差而导致的图案图像的倾斜,照明光束的倾斜度被调整。在下文中,将调整照明光束的倾斜度的操作称为远心度调整。图4示出了来自原件25的光束穿过投影光学系统26并且到达基板27的状态。在图4中,光线41、42、43分别表示照射原件25的照明光束的主光线。主光线41照射轴上物点。主光线42、43照射离轴物点。主光线43在投影光学系统



26内如光线322所示行进、成为与基板27大致垂直的光线,并且到达像点。主光线42在投影光学系统26内如光线321所示行进、成为从与基板27垂直的方向倾斜的光线,并且到达像点。以这种方式,通过改变进入原件25的主光线的倾斜度,可以调整会聚在基板27上的光束的倾斜度,从而获得倾斜图案图像的效果。换句话说,通过适当控制RELAX方法的图案图像的倾斜量和远心调整的图案图像的倾斜量,可以减少图案的倾斜度。

[0051] 图5A至图5C是示出通过远心度调整来减小图案的倾斜度的图。图5A至图5C各自示出了将由离轴光束形成的图案图像的形状。这些图案图像是通过模拟获得的。结果是在 $NA=0.55$ ,  $\sigma=0.50$ 的照明条件下通过模拟获得的,图案具有直径为200nm的沟槽,并且抗蚀剂厚度为4 $\mu\text{m}$ 。这里, $\sigma$ 是参考照明光学系统110的数值孔径(NA)与投影光学系统26的NA之间的比率的值。

[0052] 图5A示出了在远心度未被调整的情况下的结果。图5B示出了在远心度被调整0.05的情况下的结果。图5C示出了远心度被调整0.10的情况下的结果。

[0053] 这里,将远心度调整0.05是指,在相对于投影光学系统26的光轴方向的倾斜角为 $\theta$ 的情况下,照明光束的倾斜度被调整 $\theta=\arctan 0.05$ 。如图5A至图5C中所示,看起来图案的倾斜度随着照明光束的倾斜度的增加而减小。

[0054] 图6是示出照明光束的倾斜度与图案图像的倾斜度之间的关系的图。图案图像的倾斜度被描述为通过对图案图像的左右壁的中点进行线性回归而获得的直线的倾斜度。随着照明光束的倾斜度增加,该直线的倾斜度减小,因此图案图像的倾斜度减小。这里,照明光束的倾斜度与图案图像的倾斜度之间的关系是通过模拟获得的。替代地,可以根据实际图案形成的结果来获得这样的关系。

[0055] 照明光束的倾斜度与图案图像的倾斜度之间的关系取决于图案形状而变化。这将参考图7A至图7C进行描述。图7A至图7C各自示出了由来自原件25中的离轴物点的光束形成的光强度分布,并且各自示出了投影光学系统26的光瞳平面中的光强度分布。图7A示出了当通过使用在波长光谱中具有一个峰的光束进行曝光时的光强度分布。附图标记54指示由投影光学系统26的孔径光阑确定的光瞳。附图标记51指示来自离轴物点的零阶衍射光束。附图标记52和53分别指示从由原件25的图案衍射的照明光束形成的正一阶和负一阶衍射光束。

[0056] 在图7A中,零阶衍射光束的光强度分布位于光瞳中心处,并且光瞳周边区域中的正一阶和负一阶衍射光束的遮蔽(eclipses)也是双边对称的,因此,即使在投影光学系统26中发生散焦时,也几乎不会在像平面中出现图案图像的位置偏差。换句话说,图案图像几乎不倾斜。

[0057] 图7B示出了从图7A的状态调整照明光束的倾斜度时的光强度分布。由于使主光线倾斜地进入,因此光瞳平面中的零阶衍射光束的光强度分布55从光瞳中心偏移。由于光瞳周边区域中的正一阶和负一阶衍射光束56、57的遮蔽是双边不对称的,因此光瞳平面内的光强度分布的对称性降低。因此,当在投影光学系统26中已发生散焦时,在像平面中出现图案图像的位置偏差,并且图案图像倾斜。

[0058] 衍射光束的发生方式根据原件25的图案的形状(例如,图案节距、线与空间的比率、线间隔图案(line-and-space pattern)中的图案的排列方向)而改变,并且光瞳周边区域中的遮蔽也改变。因此,光瞳平面中的光强度分布的不对称性也改变,于是光强度质心也

类似地改变。这意味着在投影光学系统26中发生散焦的情况下,在像平面中的图案图像的位置偏差量发生差异。因此,看起来调整图案倾斜度的容易度取决于原件25的图案形状而不同。

[0059] 接下来,将参考图8A至图8C描述调整照明光束的远心度的方法。图8A至图8C是简化的图,每个图都示出了照明光学系统110的一部分。在图8A至图8C中,从光学积分器12到作为与原件25共轭的平面的共轭平面20a的光路被提取和示出。光学积分器12的出射平面和共轭平面20a经由聚光透镜15成为图像和光瞳的关系(傅里叶变换关系)。

[0060] 图8A示出了从光学积分器12的一个点发射的光基本上垂直地进入共轭平面20a的基准状态。在图8A至图8C中,聚光透镜15被绘制成单个透镜,并且实际上由多个透镜制成。通过移动构成聚光透镜15的透镜的一部分以进行变焦放大,可以改变整个聚光透镜15的焦距。当聚光透镜15的焦距与基准状态相比缩短时,离轴光束进入共轭平面20a以接近光轴,如图8B中所示。另一方面,当聚光透镜15的焦距与基准状态相比延长时,离轴光束进入共轭平面20a以移动远离光轴,如图8C中所示。

[0061] 由于共轭平面20a是与被照射平面24(原件25)共轭的平面,因此该平面中的光强度分布与被照射平面24(原件25)中的光强度分布相同。

[0062] 如上所述,通过改变照明光学系统110中包括的透镜的变焦放大状态,可以调整被照射平面24(原件25)中的光强度分布。换句话说,也可以调整照射原件25的主光线的倾斜度。以这种方式,通过利用变焦机构连续地改变聚光透镜15的焦距,也可以连续地调整主光线的倾斜量。

[0063] 如图8A至图8C中所示,光线倾斜度的变化随着距光轴的距离而增加,并且由于投影光学系统26的横向色差而出现的图案图像的倾斜也随着与光轴的距离而增加。因此,为了调整由于横向色差导致的图案图像的倾斜度,如图8A至图8C中所示的改变变焦放大状态的方法是合适的。

[0064] 接下来,将参考图9描述通过控制投影光学系统26的孔径光阑261来调整图案图像的倾斜度的方法。图9示出了来自原件25的光束穿过投影光学系统26并且到达基板27的状态。附图标记811表示照射轴上物点的光束81的主光线。附图标记82表示从离轴物点发射并到达离轴像点的光束。

[0065] 照射轴上物点的光束81的主光线811和照射离轴物点的光束82的主光线821大致垂直地进入原件25,并且也大致垂直地进入基板27。关于穿过孔径光阑261的端部的边缘光线,正侧边缘光线822和负侧边缘光线823以大致相同的入射角进入基板27。因此,形成在抗蚀剂中的图案图像几乎不倾斜。

[0066] 这里,如图4中所示,当调整远心度以校正图案的倾斜度时,照射离轴物点的光束82的主光线831以相对于光轴的倾斜方向进入原件25,并且也以相对于光轴的倾斜方向进入基板27。通过将孔径光阑261的位置从A移动到B并且附加地改变孔径光阑261的孔径来确定边缘光线的光路。如图9中所示,正侧边缘光线832和负侧边缘光线833以相互不同的角度进入基板27。通过适当地设定孔径光阑261的位置和孔径,能够使主光线831与正侧边缘光线832之间形成的角度以及主光线831与负侧边缘光线833之间形成的角度基本相同。通过以这种方式适当地设定边缘光线的光路,可以在维持图案图像的均匀性的同时控制图案图像的倾斜度。

[0067] 将参考图7C描述当控制投影光学系统26的孔径光阑261的位置和孔径时投影光学系统26的光瞳平面中的光强度分布。与图7B的情况一样,由于使主光线倾斜地进入,因此光瞳平面中的零阶衍射光束的光强度分布58从光瞳中心偏移。由于孔径光阑261的位置改变,因此光瞳区域从区域54偏移 to 区域61。结果,相对于零阶衍射光束的光强度分布,光瞳周边区域中的正一阶和负一阶衍射光束59、60的遮蔽是双边对称的。当将图7A和图7C相互比较时,光瞳平面中的整个光强度已经偏移,并且形成在抗蚀剂中的图案在垂直于投影光学系统26的光轴方向的方向上偏移。

[0068] 图10A至图10D是示出通过调整远心度和调整孔径光阑261来减小图案图像的倾斜度的图。图10A至图10D各自示出了要由离轴光束形成的图案图像的形状。这些图案图像是通过模拟获得的。结果是在 $NA=0.55$ ,  $\sigma=0.50$ 的照明条件下通过模拟获得的,图案具有直径为200nm的沟槽,并且抗蚀剂厚度为4 $\mu\text{m}$ 。图10A示出了在远心度和孔径光阑261未被调整的情况下的结果。图10B示出了在远心度被调整0.05并且孔径光阑261被相应地调整的情况下的结果。图10C示出了在远心度被调整0.10并且孔径光阑261被相应地调整的情况下的结果。图10D示出了在远心度被调整0.15并且孔径光阑261被相应地调整的情况下的结果。

[0069] 看起来图案的倾斜度随着照明光束的倾斜度的增加而减小。

[0070] 图11是示出照明光束的倾斜度与图案图像的倾斜度之间的关系的图。图案图像的倾斜度被描述为通过对图案图像的左右壁的中点进行线性回归而获得的直线的倾斜度。随着照明光束的倾斜度增加,直线的倾斜度减小,因此图案图像的倾斜度减小。这里,照明光束的倾斜度与图案图像的倾斜度之间的关系是通过模拟获得的。替代地,可以根据实际图案形成的结果来获得这样的关系。

[0071] 如上所述,利用本实施例的曝光装置,通过适当地设定照射图案的照明光束的倾斜度,可以有效地减小形成在抗蚀剂膜中的图案图像的倾斜度。

[0072] 修改例

[0073] 在图9中,改变孔径光阑261的位置。替代地,也可以准备多个孔径光阑,并且在位置A和位置B处分别部署孔径可变的孔径光阑。当使光束大致垂直地进入原件25时,增大在位置B处部署的孔径光阑的直径以防止光线中的遮蔽,并且适当地设定在位置A处部署的孔径光阑的直径。当使光束倾斜地进入原件25时,增大在位置A处部署的孔径光阑的直径以防止光线中的遮蔽,并且适当地设定在位置B处部署的孔径光阑的直径。

[0074] 曝光装置中的曝光模式

[0075] 用于诸如存储器和图像拾取元件之类的半导体设备的制造处理包括在基板上形成图案层的处理。在该处理中,通过使用曝光装置在抗蚀剂中形成图案图像,并通过蚀刻等形成包括沟槽的图案层。所使用的抗蚀剂的厚度可以取决于要形成的图案层而不同,并且曝光装置的投影光学系统中使用的焦深也根据抗蚀剂的厚度而不同。当抗蚀剂的厚度厚时,可以通过RELAX方法等的多重曝光来进行图案形成。在RELAX方法中,需要控制激光光源的振荡状态,以在多个波长处具有光强度峰。另一方面,当抗蚀剂的厚度薄时,控制激光光源的振荡状态以在单一波长处具有光强度峰。

[0076] 以这种方式,由于投影光学系统的焦深等需要针对要在基板上形成的各个层进行改变,因此曝光装置中的曝光模式能够根据需要进行切换。例如,可设想根据曝光模式切换激光光源的振荡状态。为了切换激光光源的振荡状态,在光源中设置能够切换振荡状态的

机构。曝光装置能够根据设定曝光执行期间的各种参数的配方来切换激光光源的振荡状态。

[0077] 例如,曝光模式能够在第一模式和第二模式之间切换。第一模式是通过控制激光光源的振荡状态以在单一波长(基准波长)处具有光强度峰来执行曝光的模式。第二模式是利用包括具有与基准波长不同的第一波长的第一照明光和具有与基准波长或第一波长不同的第二波长的第二照明光的照明光执行曝光的模式。通过改变第二模式中离轴光束对原件的入射角和第一模式中离轴光束对原件的入射角,可以减少在第二模式中图案图像的倾斜的发生。

[0078] 当在第二模式中执行基于RELAX方法的曝光时,指定与光强度峰和波长差对应的多个波长的值,因此这些参数可以被设定为配方的设定项目之一。为了针对基于RELAX方法的曝光来调整照明光束的倾斜度和孔径光阑,可以将曝光装置配置为通过使用配方自动执行调整,或者可以要求用户确定是否执行调整。当曝光装置自动执行调整时,调整量是考虑到图案的特征、照明光束的远心度等来确定的。此时,可以将曝光装置配置为能够获取关于原件的图案的特征的信息。

[0079] 产品的制造方法

[0080] 将描述通过使用本实施例中典型的曝光装置来制造半导体设备(存储器或光电转换设备,诸如图像拾取元件)的方法。本实施例的曝光装置适用于包括厚膜处理在内的用于半导体设备的制造方法。在图像拾取元件(光源转换设备)中形成像素分离部分的处理是厚膜处理的示例。

[0081] 在下文中,将参考图12描述在图像拾取元件的制造处理中形成像素分离部分的处理。在步骤S101中,制备具有作为相互对立表面的第一表面S1和第二表面S2的半导体基板101。半导体基板101通常为硅基板或硅层。随后,在步骤S102中,在半导体基板101的第一表面S1上形成绝缘膜(例如,氧化硅膜)102。

[0082] 随后,在步骤S103中,抗蚀剂103被施加在半导体基板101的第一表面S1上,更具体而言,在半导体基板101的第一表面S1上的绝缘膜102上。此外,在步骤S104中,如上述实施例中所述,通过在调整照明光束的倾斜度的状态下执行曝光操作,在抗蚀剂103中形成图案图像,并通过蚀刻等形成凹槽(沟槽)104。通过减小要在抗蚀剂103中形成的图案图像的倾斜度,可以形成具有减小的倾斜度的凹槽104。

[0083] 随后,在步骤S105中,通过利用干蚀刻法等对半导体基板101进行蚀刻,在半导体基板101的第一表面S1上形成凹槽105。为了在该蚀刻中保护半导体基板101的第一表面S1,期望厚涂抗蚀剂103。

[0084] 随后,在步骤S106中,去除抗蚀剂103,然后通过经由凹槽105向半导体基板101注入离子,形成吸杂区域106。换句话说,在步骤S106中,在半导体基板101的第一表面S1的除了存在凹槽105的区域之外的区域被用绝缘膜102掩蔽的状态下,将离子通过凹槽105注入到半导体基板101中。每个吸杂区域106可以包括位于凹槽105底部下方的第一部分和位于凹槽105侧面的第二部分。在示例中,第一部分中第14族元素的浓度高于第二部分中第14族元素的浓度。当半导体基板101是硅基板时,离子可以是除硅之外的第14族元素的离子。离子注入设备用于注入离子。可以确定注入离子的加速能量,使得离子不穿透作为硬掩模的绝缘膜102并到达半导体基板101。例如,在当注入离子时绝缘膜102的厚度为300nm的情况

下,在加速能量为大约20keV时,离子几乎不会穿透绝缘膜102。

[0085] 当半导体基板101是硅基板时,作为要在步骤S106中注入到半导体基板101中的离子的成分的材料适当地是碳。替代地,可以采用作为包含碳的分子的烃。当半导体基板101是硅基板时,作为要在步骤S106中注入到半导体基板101中的离子的成分的材料可以是锗、锡或铅。通过将碳、锗、锡或铅的离子注入到用作半导体基板101的硅基板中,可以在硅基板中赋予局部应变并且使硅基板用作吸杂位点。通过经由凹槽105将离子注入到半导体基板101中,即使用相对低的加速能量也能够半导体基板101的深位置处形成吸杂区域106。

[0086] 随后,在步骤S107中,去除绝缘膜102。在步骤S108中,通过成膜方法(例如低压CVD等)在凹槽105中以及半导体基板101的第一表面S1上形成绝缘膜(例如,氮化硅膜)107,使得绝缘体部署或填充在凹槽105中。随后,在步骤S109中,通过CMP等去除存在于半导体基板101的第一表面S1上的部分绝缘膜107。因此,存在于凹槽105中的部分绝缘膜107保留为部署或填充在凹槽105中的像素分离部分108。

[0087] 不一定要执行步骤S108和步骤S109。当不执行步骤S108和步骤S109时,凹槽105保留为气隙,并且气隙可以用作像素分离部分。部署在每个凹槽105中的像素分离部分108不需要完全填充凹槽105,并且在凹槽105中可以存在气隙。像素分离部分108可以仅由绝缘体构成,并且也可以是绝缘体和非绝缘体(半导体或导体)的组合结构。在这种情况下,为了避免非绝缘体和半导体基板101之间的接触,可以在非绝缘体和半导体基板101之间部署绝缘体。

[0088] 如上所述,像素分离部分108通过半导体基板101中形成凹槽105的第一形成步骤和在凹槽105中形成像素分离部分108的第二形成步骤形成。之后,在多个像素分离部分之间的区域中形成电荷存储区域、栅电极等,从而制成图像拾取元件。

[0089] 虽然已经参考实施例描述了本发明,但是应该理解的是,本发明不限于所公开的实施例,而是由所附权利要求的范围限定。

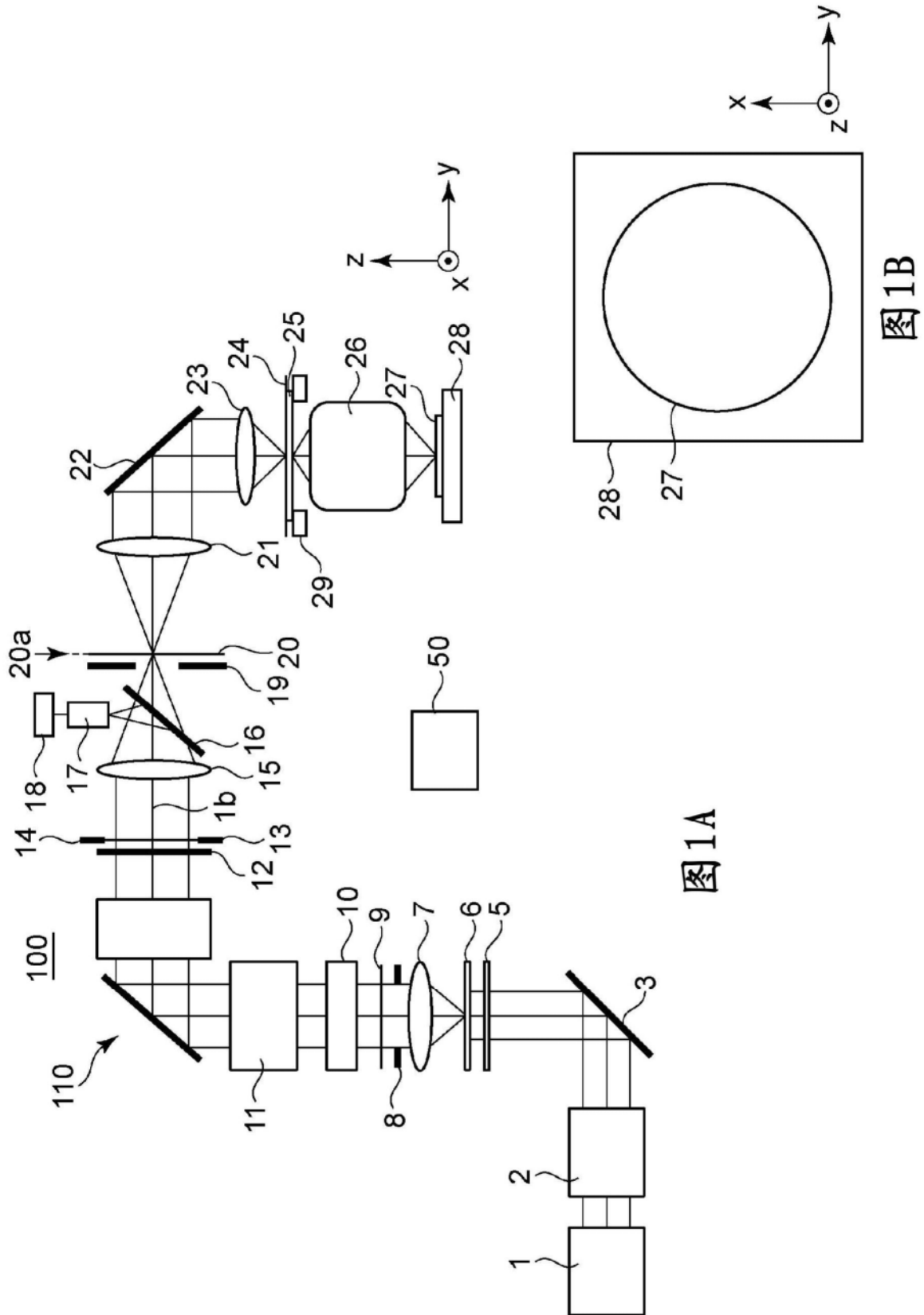


图1A

图1B

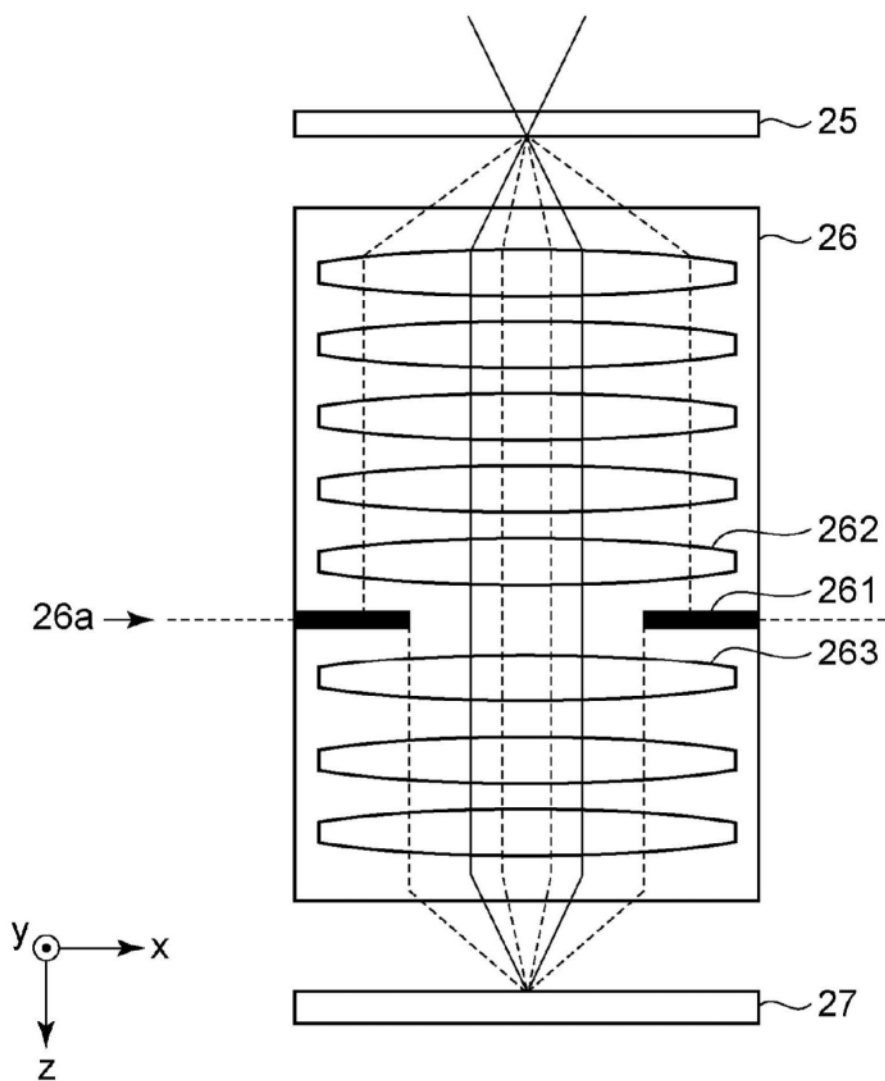


图2

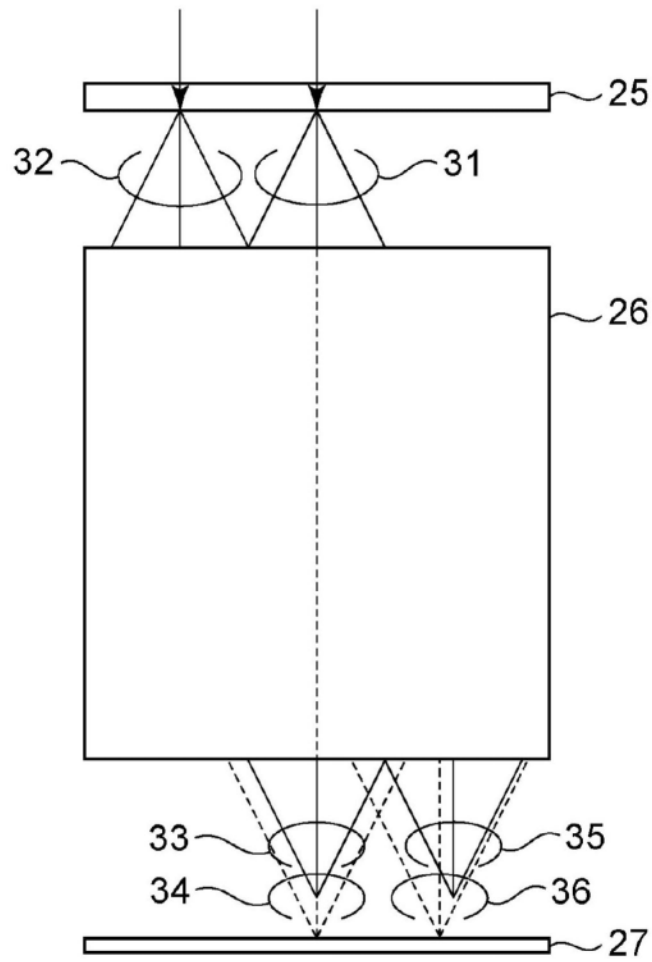


图3



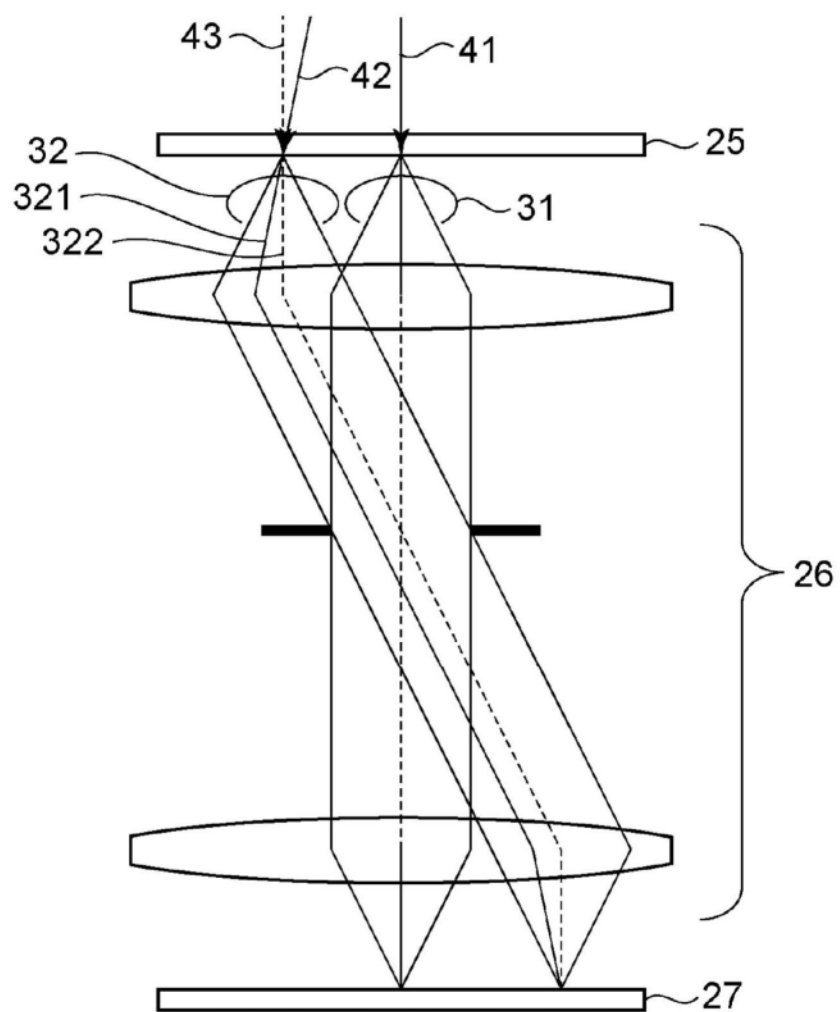


图4



图5A



图5B

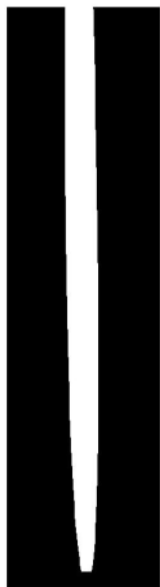


图5C

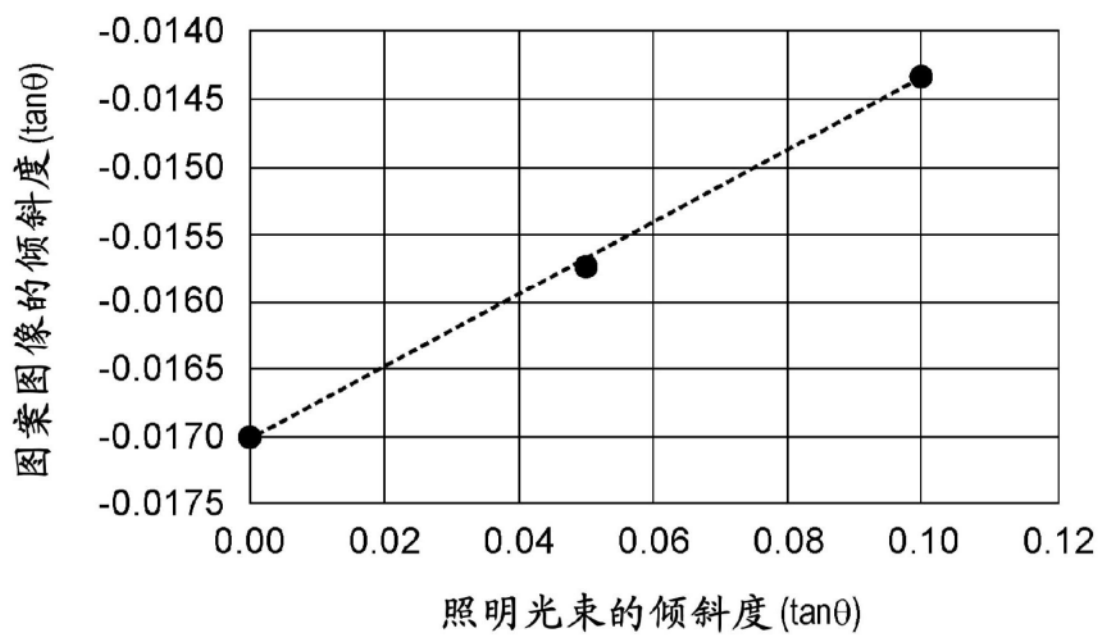


图6

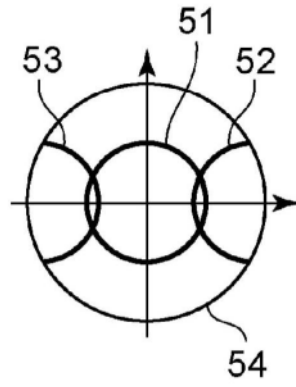


图7A

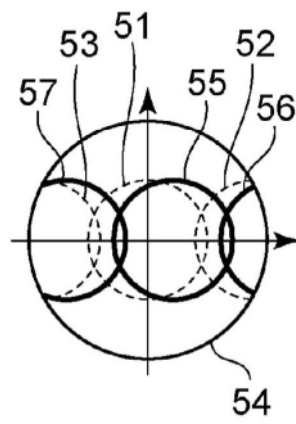


图7B

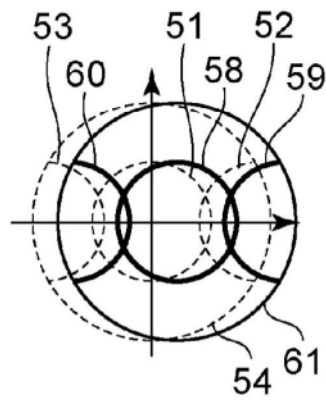


图7C

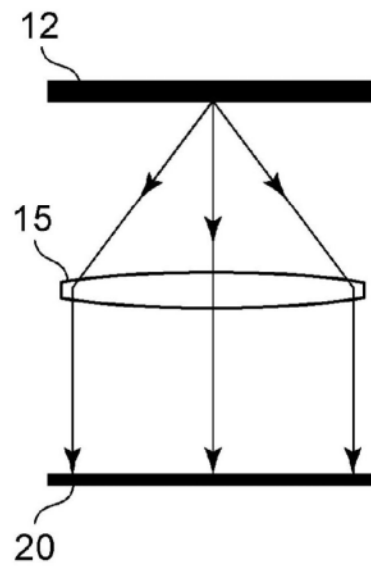


图8A

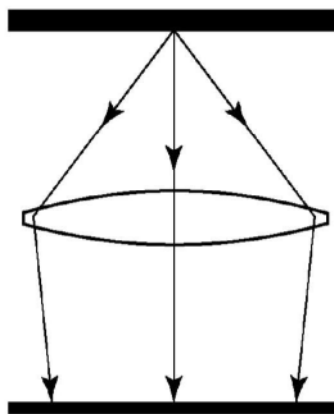


图8B

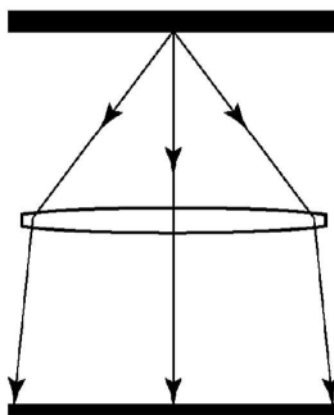


图8C

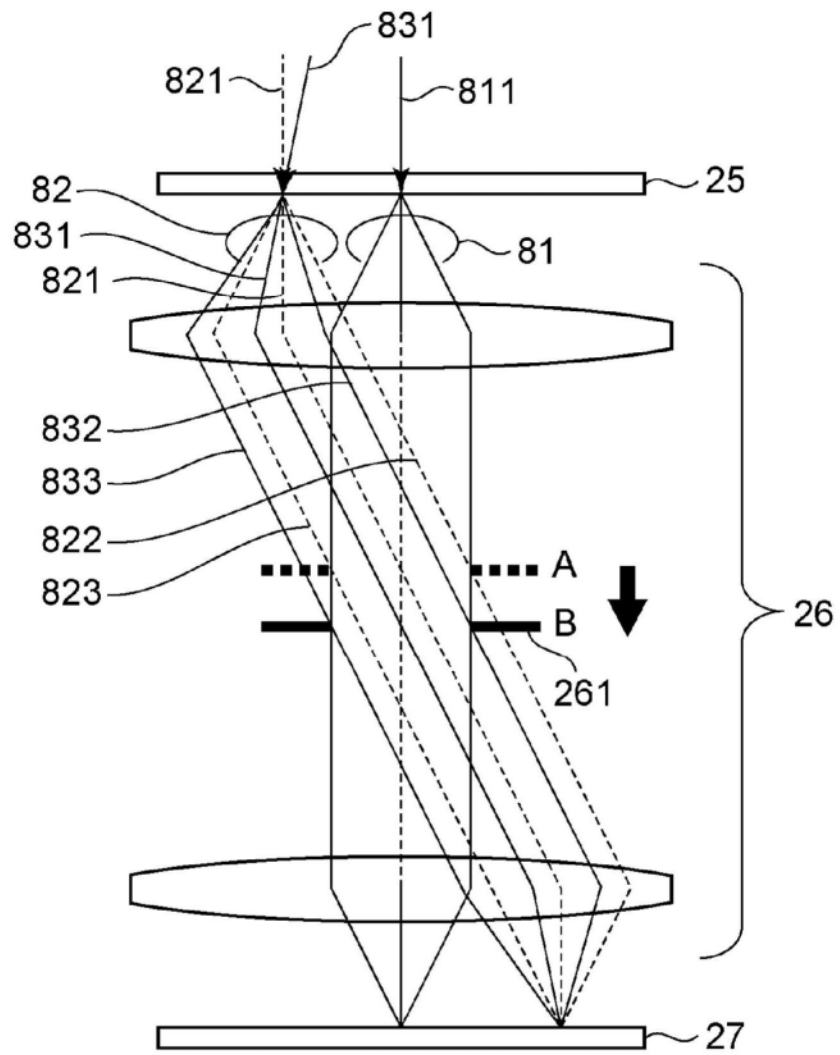


图9



图10A



图10B



图10C



图10D



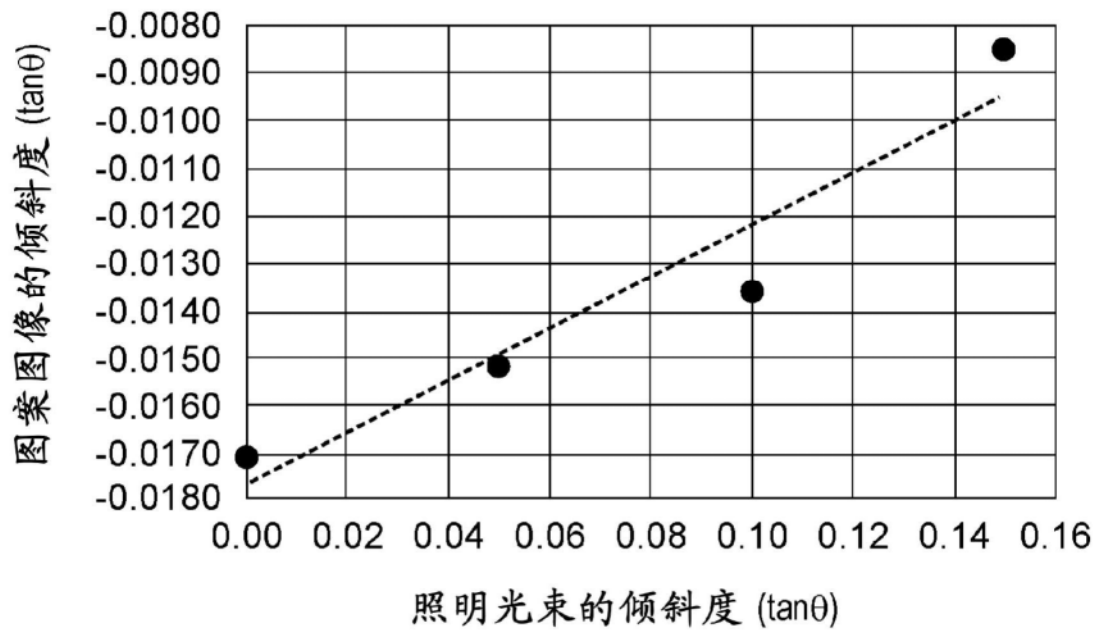


图11

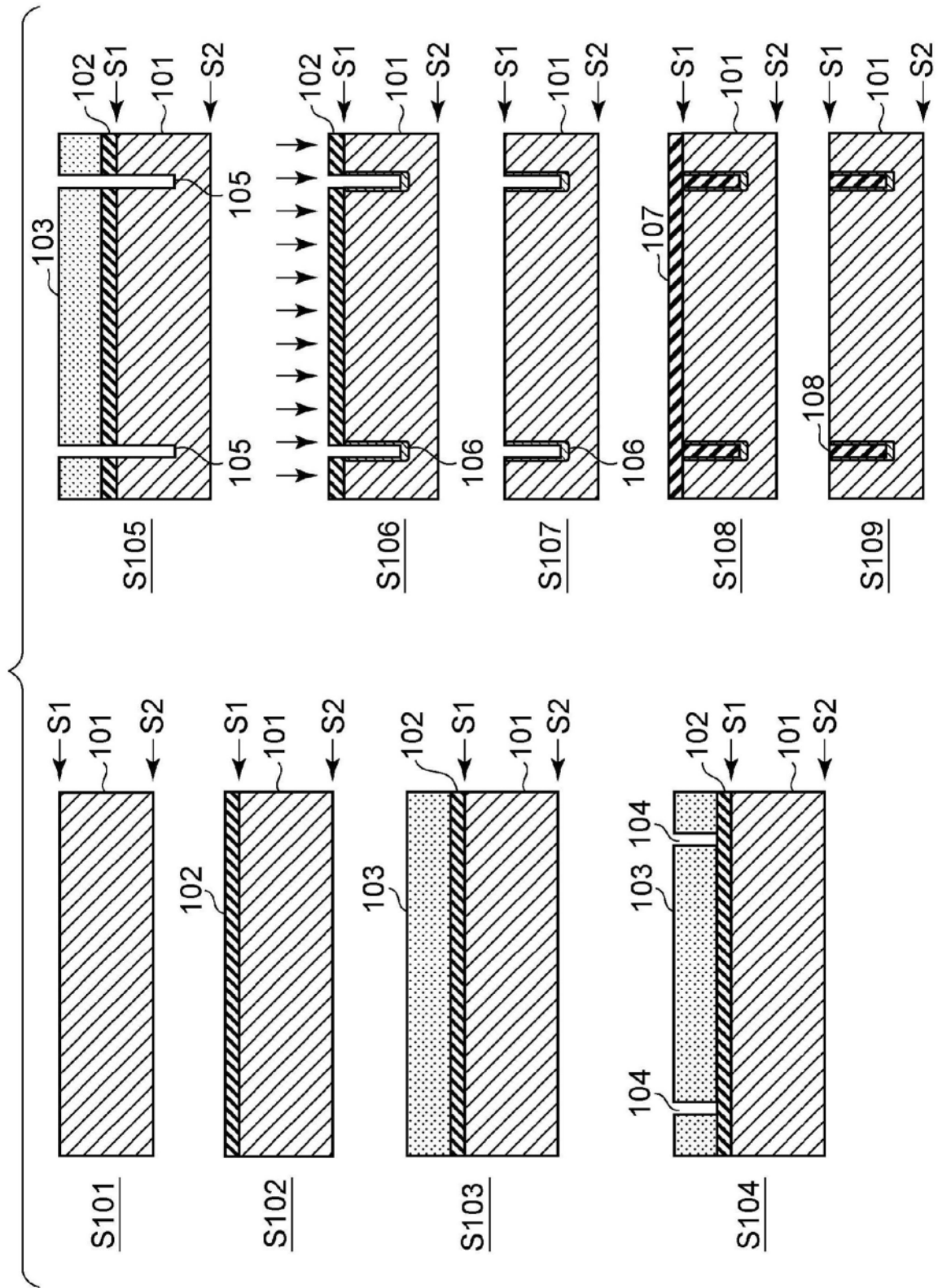


图12