



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104767121 B

(45)授权公告日 2018.05.08

(21)申请号 201510153386.4

(22)申请日 2011.10.05

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104767121 A

(43)申请公布日 2015.07.08

(30)优先权数据

2010-233164 2010.10.16 JP

2011-199434 2011.09.13 JP

(62)分案原申请数据

201180049069.8 2011.10.05

(73)专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72)发明人 井久田光弘

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所 11038

代理人 杨小明

(51)Int.Cl.

H01S 5/183(2006.01)

B41J 2/455(2006.01)

B41J 2/47(2006.01)

(56)对比文件

CN 101640376 A, 2010.02.03, 全文.

审查员 郜慧斌

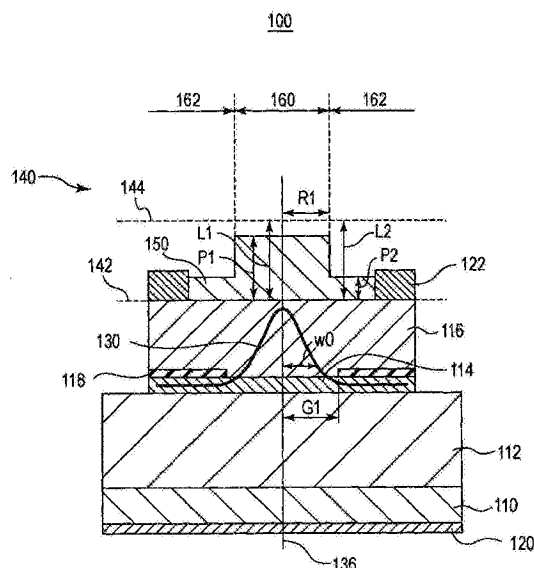
权利要求书2页 说明书19页 附图24页

(54)发明名称

表面发射激光器、表面发射激光器阵列和图像形成装置

(57)摘要

本发明提供表面发射激光器和分别包括表面发射激光器的表面发射激光器阵列和图像形成装置,所述表面发射激光器提供足够的光学输出并适于用作电子照相装置的光源。表面发射激光器在前反射镜的前表面上包含第一阶梯结构。在第一阶梯结构中,第一区域中的光路长度与第二区域中的光路长度之间的差值L满足下式: $(1/4+N)\lambda < |L| < (3/4+N)\lambda$, 这里,N是整数。



1. 一种被配置为以波长 λ 振荡的表面发射激光器,包括:

基板;

多层结构,所述多层结构被设置在所述基板上并且在所述多层结构中层叠了包含后反射镜、活性层和前反射镜的层;

第一阶梯结构,所述第一阶梯结构被设置在前反射镜的前表面上并包括在发光区域的中心部分中所定义的第一区域中延伸的第一部分和在定义于发光区域内的第一区域外侧的第二区域中延伸的第二部分,所述第一部分和所述第二部分具有不同的高度;和

第二阶梯结构,所述第二阶梯结构被设置在第一阶梯结构的前表面或后表面上,

其中,关于从被定义于表面发射激光器的外侧并垂直于所述多层结构的层叠方向延伸的面到前反射镜的前表面的光路长度,第一区域中的光路长度与第二区域中的光路长度之间的差值 L 满足下式:

$$(1/4+N)\lambda < |L| < (3/4+N)\lambda$$

这里, N 是整数。

2. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中,差值 L 满足下式:

$$(0.36+N)\lambda < |L| < (0.64+N)\lambda$$

这里, N 是整数。

3. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中,差值 L 满足下式:

$$(0.39+N)\lambda < |L| < (0.61+N)\lambda$$

这里, N 是整数。

4. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中,差值 L 的绝对值是 $(1/2+N)\lambda$ 。

5. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中,整数 N 是0。

6. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中,所述第一部分的光学厚度和所述第二部分的光学厚度分别是 $\lambda/2$ 的整数倍。

7. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中,第一阶梯结构包含电介质材料。

8. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中,第二阶梯结构包含半导体。

9. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中,所述第二阶梯结构包含在被定义于发光区域的中心部分中的第三区域中延伸的第三部分和在被定义于发光区域内的第三区域外侧的第四区域中延伸的第四部分,所述第三部分和所述第四部分具有不同的高度。

10. 根据权利要求9所述的表面发射激光器,其中,第一区域和第二区域之间的边界周围的至少一部分属于第四区域。

11. 根据权利要求9所述的表面发射激光器,其中,包含前反射镜、第一阶梯结构和第二阶梯结构的结构在第三区域中具有比在第四区域中高的反射率。

12. 根据权利要求9所述的表面发射激光器,其中,第三部分的光学厚度和第四部分的光学厚度之间的差值为 $\lambda/4$ 的奇数倍。

13. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,第二部分的光学厚度为 $\lambda/4$ 的奇数倍。

14. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中,第二阶梯结构由具有不同的折射率的多种材料制成。

15. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中,所述前反射镜和活性层布置在台面结构中。

16. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,还包括电流约束结构。

17. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中,所述第二阶梯结构被设置在第一阶梯结构的后表面上,并且在所述第一阶梯结构和所述前反射镜之间。

18. 一种表面发射激光器阵列,包括:

多个根据权利要求1-17中任一项的表面发射激光器。

19. 根据权利要求18所述的表面发射激光器阵列,

其中,所述多个表面发射激光器沿第一方向以规则的间隔被设置,

其中,第一部分具有椭圆形状,所述椭圆形状的短轴或长轴沿第一方向延伸。

20. 一种图像形成装置,包括:

根据权利要求1-17中任一项的表面发射激光器;和

光学系统,所述光学系统被配置为聚焦来自所述表面发射激光器的光并用所述光执行扫描。

21. 根据权利要求20所述的图像形成装置,

其中,第一部分的半径 a 满足下式:

$$a < 0.75\lambda \cdot F_{no}.$$

这里, F_{no} .表示所述光学系统的入射侧F数。

22. 根据权利要求21所述的图像形成装置,

其中,第一阶梯结构沿与通过所述光学系统执行扫描的方向对应的主扫描方向和沿与主扫描方向垂直的副扫描方向具有不同的半径,并且,

其中,沿所述光学系统的入射侧F数较小的方向中的一个的半径比沿所述光学系统的入射侧F数大的另一方向的半径小。

表面发射激光器、表面发射激光器阵列和图像形成装置

[0001] 本申请是申请日为2011年10月5日、申请号为201180049069.8、发明名称为“表面发射激光器、表面发射激光器阵列和图像形成装置”的发明专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及表面发射激光器,并且涉及分别包括表面发射激光器的表面发射激光器阵列和图像形成装置。

背景技术

[0003] 示例性电子照相图像形成装置包括光学扫描装置。在光学扫描装置中,从光源发射的光通过光偏转器(例如,多棱镜)被引向被其表面被扫描的感光部件,由此形成潜像。

[0004] PTL 1公开了包括表面发射激光器(垂直空腔表面发射激光器,简称为VCSEL)的阵列作为光源的图像形成装置。容易设置VCSEL的二维阵列。

[0005] 在以上的图像形成装置中,从表面发射激光器的阵列发射的激光束通过准直透镜准直化成大致平行光线,并然后被引向旋转多棱镜即光偏转器的偏转表面。被多棱镜偏转的光束穿过成像光学系统($f\theta$ 透镜系统),并且在扫描表面上以斑点的形式聚焦。扫描表面通过聚焦光束以恒定的速度被扫描。

[0006] 在以上的图像形成装置中,沿与偏转方向(主扫描方向)正交的副扫描方向(包含于副扫描截面内)从准直透镜射出的准直光束通过圆柱透镜聚焦于偏转表面上或附近。随后,射束通过成像光学系统重新聚焦于扫描表面上。即,图像形成装置使用倾斜校正光学系统。

[0007] 图21是表面发射激光器1400的示意性截面图。

[0008] 在表面发射激光器1400中,包含后反射镜(mirror)112、活性层114和前反射镜116的多个半导体层被设置在半导体基板110上,由此,形成垂直空腔。活性层114和前反射镜116被部分蚀刻,由此形成台面结构。

[0009] 电流约束结构118被设置在前反射镜116中。电流约束结构118调节流过活性层114的电流并且定义活性层114的发光区域。通过例如从台面结构的侧壁氧化由AlGaAs等制成的半导体层来形成电流约束结构118。

[0010] 通过氧化这种半导体层形成的电流约束结构118在其绝缘体部分中具有比在其半导体部分中低的折射率。即,电流约束结构118在其中心部分中的折射率比在其周边部分中的折射率高。这种结构被称为波导结构。因此,电流约束结构118定义包含基本模式130的空腔的共振模式的轮廓。

[0011] 当电流被供给到设置在基板110的后表面的后电极120与设置在前反射镜116的前表面上的前电极122之间的活性层114时,由前反射镜116和后反射镜112的组合形成的空腔导致表面发射激光器1400振荡。由电介质材料等制成的保护膜124被设置在前反射镜116的输出表面即前表面上。

[0012] 在包括光学扫描系统的一般图像形成装置中,在扫描表面上形成由单峰图案代表

的潜像。因此,被利用的表面发射激光器的振荡模式(横向模式)一般处于基本模式(最低次模式)中。

[0013] 如图21所示,基本模式130在空腔内具有单峰强度分布。一般地,基本模式130的电场振幅的轮廓可近似为高斯(Gaussian)函数。即,从在作为单一横向模式的基本模式中振荡的表面发射激光器发射的射束通常是Gaussian射束。

[0014] 这里,输出表面紧下方的面中的电场的复合振幅(振幅和相位)被称为近场复合振幅。电场的振幅、强度和相位分别被称为近场振幅、近场强度和近场相位。近场强度的分布被称为近场图案(NFP)。

[0015] 并且,由半径 ∞ 定义并且中心为光源的球面中的电场的复合振幅(振幅和相位)被称为远场复合振幅。电场的所述振幅、强度和相位分别被称为远场振幅、远场强度和远场相位。远场强度的分布被称为远场图案(FFP)。

[0016] 图22A是代表表面发射激光器1400的基本模式130的示例性近场复合振幅(振幅和相位)的一组示图。图22B是代表表面发射激光器1400的基本模式130的示例性远场复合振幅(振幅和相位)的一组示图。

[0017] 代表图21所示的表面发射激光器1400的基本模式130的近场复合振幅的轮廓132具有与空腔中的基本模式130的轮廓基本上相同的Gaussian形状。根据弗朗霍夫(Fraunhofer)衍射理论,近场复合振幅和远场复合振幅相互为傅立叶变换。因此,如果基本模式的NFP基本上是Gaussian,那么基本模式的FFP也基本上是Gaussian。如图22A和图22B所示,近场复合振幅和远场复合振幅的相位在这种情况下恒定为0。

[0018] 引文列表

[0019] 专利文献

[0020] PTL 1日本专利公开No.2007-93770

发明内容

[0021] 技术问题

[0022] 关于图21所示的表面发射激光器1400的基本模式130,NFP处的射束半径和FFP的传播角度具有逆相关关系。即,当射束半径和NFP变大时,FFP的传播角度变小;当NFP处的射束半径变小时,FFP的传播角度变大。

[0023] Gaussian射束的半径指的是射束的强度为中心峰值的 $1/e^2$ 的半径。FFP的传播角度指的是远场强度分布的半最大值处的全宽度。

[0024] 具体而言,关于Gaussian射束,近轴区域中的NFP处的射束半径 w 和FFP的传播角度 Y (这里,为FFP的半最大值处的全宽度)之间的关系表达如下:

[0025] $Y(\text{rad}) = (2\log_e 2)^{1/2} \lambda / \pi w = 0.37 \times \lambda / w$

[0026] 这里, λ 表示激光的波长。

[0027] 一般地,表面发射激光器具有其发光方向的长度比边缘发射激光器的长度短的活性区域。为了实现足够的光学输出,表面发射激光器的发光区域的直径被设为大的值。因此,在表面发射激光器中,NFP处的射束半径趋于大,而FFP的传播角度趋于小。

[0028] 在典型的电子照相装置中,当激光光源的FFP的传播角度比定义光学扫描系统的入射光瞳的角度小时,激光束的强度在入射光瞳的中心和边缘之间明显不同。因此,在感光

部件上形成潜像的射束的斑点尺寸变得比激光束的强度在整个入射光瞳上均匀的情况时大,从而导致图像分辨率降低的问题。

[0029] 存在另一问题。当激光光源的FFP的传播角度小时,附着于光学系统上的激光光源的任何位置偏移导致光源的光轴的位置偏离光学系统的光轴。这明显偏移入射光瞳内的强度分布,从而导致偏心的强度分布。

[0030] 现在将参照图23A~23D详细描述该问题。

[0031] 图23A~23D示意性示出远场振幅的轮廓。在图23A~23D中的每一个中,与入射光瞳对应的角度范围被框170包围。

[0032] 图23A和图23B分别示出FFP的传播角度大的情况。图23C和图23D分别示出FFP的传播角度小的情况。图23A和图23C分别示出光源的光轴与光学系统的光轴一致的情况。图23B和图23D分别示出光源的光轴偏离光学系统的光轴的情况。

[0033] 比较图23B和图23D所示的情况,在图23D所示的FFP的传播角度小的情况下,与图23B所示的FFP的传播角度大的情况相比,伴随光轴的位置偏移出现的穿过孔径的射束的能量的变化量和光瞳内的轮廓偏心率较大。

[0034] 如上所述,在表面发射激光器中,当发光区域的直径被设为大的值以提供足够的光学输出时,NFP的射束半径变大并且FFP的传播角度变小。因此,难以完全将表面发射激光器用作电子照相装置的光源。

[0035] 因此,本发明提供表面发射激光器(所述表面发射激光器提供足够的光学输出并适于用作电子照相装置的光源)和分别包括表面发射激光器的表面发射激光器阵列和图像形成装置。

[0036] 问题的解决方案

[0037] 根据本发明的第一方面,被配置为以波长 λ 振荡的表面发射激光器包括:基板;被设置在基板上并且层叠包含后反射镜、活性层和前反射镜的层的多层结构;和第一阶梯结构(step structure),所述第一阶梯结构被设置在前反射镜的前表面上并包括在发光区域的中心部分中所定义的第一区域中延伸的部分和在定义于发光区域内的第一区域外侧的第二区域中延伸的部分,这些部分具有不同的高度。关于从被定义于表面发射激光器的外侧并垂直于多层结构的层叠方向延伸的面到前反射镜的前表面的光路长度,第一区域中的该光路长度与第二区域中的该光路长度之间的差值L满足下式:

[0038] $(1/4+N)\lambda < |L| < (3/4+N)\lambda$

[0039] 这里,N是整数。

[0040] 根据本发明的第二方面,表面发射激光器阵列包括:沿第一方向以规则的间隔设置的根据第一方面的多个表面发射激光器。第一阶梯结构的在第一区域中延伸的部分具有其短轴或长轴沿第一方向延伸的椭圆形状。

[0041] 根据本发明的第三方面,一种图像形成装置包括:表面发射激光器;和被配置为聚焦来自表面发射激光器的光并用光执行扫描的光学系统。表面发射激光器被配置为以波长 λ 振荡并包括:基板;被设置在基板上并且层叠包含后反射镜、活性层和前反射镜的层的多层结构;和第一阶梯结构,所述第一阶梯结构被设置在前反射镜的前表面上并包括在发光区域的中心部分中所定义的第一区域中延伸的部分和在定义于发光区域内的第一区域外侧的第二区域中延伸的部分,这些部分具有不同的高度。关于从被定义于表面发射激光器

的外侧并垂直于多层结构的层叠方向延伸的面到前反射镜的前表面的光路长度,第一区域中的该光路长度与第二区域中的该光路长度之间的差值 L 满足下式:

[0042] $(1/4+N)\lambda < |L| < (3/4+N)\lambda$

[0043] 这里, N 是整数。第一阶梯结构在第一区域中延伸的部分的半径 a 满足下式:

[0044] $a < 0.75\lambda \cdot Fno.$

[0045] 这里, $Fno.$ 表示光学系统的入射侧 F 数。

[0046] 本发明的有利效果

[0047] 根据本发明的以上的方面,可提供表面发射激光器(所述表面发射激光器提供足够的光学输出并适于用作电子照相装置的光源)和分别包括表面发射激光器的表面发射激光器阵列和图像形成装置。

附图说明

[0048] 图1是根据本发明的第一实施例的表面发射激光器的示意性截面图。

[0049] 图2是示出对应于传播角度的 $\Omega_x \cdot w$ 与对应于远场振幅的 $A_{w,a,\pi}(\Omega_x)/i$ 之间的关系的关系的示图。

[0050] 图3是示出对应于传播角度的 $\Omega_x \cdot w$ 与对应于远场强度的 $I_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 之间的关系的关系的示图。

[0051] 图4是 $I_{w,a,\pi}^{(2)}(0)/I_{w,a,0}^{(2)}(0)$ 与 a/w 的关系图。

[0052] 图5是示出对应于传播角度的 $\Omega_x \cdot w$ 与对应于远场振幅的 $A_{w,a,\pi}(\Omega_x)/i$ 之间的关系的关系的另一示图。

[0053] 图6是示出对应于传播角度的 $\Omega_x \cdot w$ 与对应于远场强度的 $I_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 之间的关系的关系的另一示图。

[0054] 图7是 $I_{w,a,\pi}^{(2)}(0)/I_{w,a,0}^{(2)}(0)$ 与 a/w 的另一关系图。

[0055] 图8示出FFP的计算结果。

[0056] 图9是根据第一实施例的变更例的表面发射激光器的示意性截面图。

[0057] 图10示出FFP的计算结果。

[0058] 图11示出包括其光路长度在中心部分中较短的阶梯结构的表面发射激光器。

[0059] 图12示出阶梯结构被设置在基板侧的表面发射激光器。

[0060] 图13示出包括由两种或更多种材料制成的根据本发明的第二实施例的阶梯结构的表面发射激光器。

[0061] 图14A示出包括不同的第二横向模式控制机构的表面发射激光器。

[0062] 图14B示出包括不同的第二横向模式控制机构的表面发射激光器。

[0063] 图15示出包括根据本发明的第三实施例的阶梯结构的表面发射激光器。

[0064] 图16A示出包括根据本发明的第四实施例的阶梯结构的表面发射激光器。

[0065] 图16B示出包括根据本发明的第四实施例的阶梯结构的表面发射激光器。

[0066] 图16C示出包括根据本发明的第四实施例的阶梯结构的表面发射激光器。

[0067] 图17A示出包括根据本发明的第四实施例的变更例的阶梯结构的表面发射激光器。

[0068] 图17B示出包括根据本发明的第四实施例的变更例的阶梯结构的表面发射激光

器。

[0069] 图17C示出包括根据本发明的第四实施例的变更例的阶梯结构的表面发射激光器。

[0070] 图18A示出包括具有根据第一到第四实施例的阶梯结构中的任一个的表面发射激光器阵列的图像形成装置。

[0071] 图18B示出包括具有根据第一到第四实施例的阶梯结构中的任一个的表面发射激光器阵列的图像形成装置。

[0072] 图19A示出图像形成装置。

[0073] 图19B示出图像形成装置。

[0074] 图20是示出射束半径 w 与FFP的半最大值处的全宽度之间的关系关系的示图。

[0075] 图21是已知的表面发射激光器的示意性截面图。

[0076] 图22A是代表已知的表面发射激光器的基本模式的近场复合振幅的一组示图。

[0077] 图22B是代表已知的表面发射激光器的基本模式的远场复合振幅的一组示图。

[0078] 图23A示出对于已知的表面发射激光器中的FFP的传播角度和轴向位置的影响。

[0079] 图23B示出对于已知的表面发射激光器中的FFP的传播角度和轴向位置的影响。

[0080] 图23C示出对于已知的表面发射激光器中的FFP的传播角度和轴向位置的影响。

[0081] 图23D示出对于已知的表面发射激光器中的FFP的传播角度和轴向位置的影响。

具体实施方式

[0082] 当从激光器发射的射束的FFP具有传播角度小的Gaussian形状时,以上参照图23A~23D描述的问题是明显的。这是由于,伴随光源的光轴从光学系统的光轴的任何位置偏移,在这种情况下穿过入射光瞳的射束的强度的变化趋于变大。为了避免这种问题,提供实现比代表与FFP相同的共振模式的Gaussian函数平坦和宽的FFP(即,强度轮廓)的激光器。

[0083] 因此,以下描述的根据本发明的实施例中的每一个的表面发射激光器被配置为,使得近场相位不是恒定的并且激光器的中心部分中的透过光线与中心部分周围的部分中的透过光线之间的相位差的绝对值落在 $(1/4+N)2\pi \sim (3/4+N)2\pi$ 的范围内,这里, N 是整数。

[0084] 具体而言,表面发射激光器以波长 λ 振荡,并且在其输出表面中以及在其发光区域内包括多个平坦部分。所述多个平坦部分具有不同的高度并且组合形成阶梯结构。因此,分别在发光区域内的中心区域和外部区域中的光路长度之间产生光路差 L 。光路差 L 满足条件 $(1/4+N)\lambda < |L| < (3/4+N)\lambda$,这里, N 是整数。

[0085] 光路差 L 指的是中心区域与外部区域中的各光路之间的从在表面发射激光器的外侧定义的基准面到阶梯结构的后表面(即,底部)的光路长度差。

[0086] 这里,基于标量近似,产生在由中心区域和外部区域中的各透过光线产生的电场之间满足 $(1/4+N)2\pi < \theta < (3/4+N)2\pi$ 的条件的相位差 θ 。

[0087] 通过在近场相位中产生这种相位差,近场复合振幅的低空间频率分量减少,而近场复合振幅的高空间频率分量增加。因此,远场强度在中心区域中降低但在外部区域中增加。

[0088] 因此,远场强度的半最大值处的全宽度加宽,并且, 0° 附近的远场强度的轮廓变得比Gaussian轮廓平坦。

[0089] 现在将通过具体的例子描述以上的效果。

[0090] 一维轮廓

[0091] 首先将关于一维轮廓描述所述效果。例如,在发光区域具有又长又窄的形状的情况下,利用阶梯结构,使得趋于狭窄的FFP沿纵向被加宽。

[0092] 作为共振模式的示例性电场分布,现在将考虑关于 $x=0$ 对称的模式分布 $E_x(x) = g_w(x)$ 。这里,假定共振模式分布是具有斑点宽度 w 的Gaussian,即, $g_w(x) = \exp(-x^2/w^2)$ 。

[0093] 阶梯结构有例如宽度 $2a$,并且以共振模式的轴为中心。基于由阶梯结构产生的光路差 L 的相位差由 θ 表示,并且根据标量衍射近似被近似为 $\theta = -2\pi L/\lambda$ 。

[0094] 这里,相位被定义,使得模式的时间依赖项在复合振幅中是 $\exp(i\omega t)$,这里, ω 表示角度频率, t 表示时间。基于以上的共振模式分布和以上的阶梯结构的近场复合振幅由 $\Psi_{w,a,\theta}(x)$ 表示。根据标量衍射近似,近场复合振幅 $\Psi_{w,a,\theta}(x)$ 表示为共振模式分布 $g_w(x)$ 乘以基于阶梯结构的光路差 L 的相位分布 $S_{a,\theta}(x)$ 。

[0095] 即, $\Psi_{w,a,\theta}(x) = g_w(x) \cdot S_{a,\theta}(x)$ 。

[0096] 由以上的近场复合振幅确定的远场复合振幅根据Fraunhofer衍射近似是近场复合振幅的傅立叶变换,并且, $F[\Psi_{w,a,\theta}(x)]$ 与 $A_{w,a,\theta}(\Omega_x)$ 成比例。

[0097] 这里, $F[\Psi_{w,a,\theta}(x)]$ 被定义如下:

[0098] $F[\Psi_{w,a,\theta}(x)] = \int \Psi_{w,a,\theta}(x) \exp(-ix\Omega_x) dx$

[0099] 这里, Ω_x 表示空间角度频率。令传播角度为 φ_x ,则 $\Omega_x = 2\pi\varphi_x/\lambda$ 。由 $I_{w,a,\theta}(\Omega_x)$ 表示的远场强度与 $|A_{w,a,\theta}(\Omega_x)|^2$ 成比例。

[0100] 项 $S_{a,\theta}(x)$ 表示要通过阶梯结构调制的相位分布,并且表达如下:

[0101] $S_{a,\theta}(x) = \exp(i\theta/2)$ (这里, $|x| < a$)

[0102] $S_{a,\theta}(x) = \exp(-i\theta/2)$ (这里, $|x| \geq a$)

[0103] 即,共振模式的相位分布在以 $x = \pm a$ 为边界定义的区域之间不同。虽然阶梯结构的不同部分之间的边界的位置根据阶梯结构的形状稍微偏离有效相位分布中的边界的位置,但是,这里,这两个位置被假定为相同。

[0104] 现在将考虑基于具有相位差 π 的阶梯结构的远场强度。图2是示出 a/w 取不同值时对应于传播角度的 Ω_x 与对应于远场振幅的 $A_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 之间的关系(即, $\Omega_x \cdot w$ 与 $A_{w,a,\pi}(\Omega_x)/i$ 之间的关系)的示图。注意, $A_{w,a,\pi}(\Omega_x)/i = F[\Psi_{w,a,\pi}(x)/i]$ 。

[0105] 图3是示出 a/w 取不同值时对应于传播角度的 Ω_x 与对应于远场强度的 $I_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 之间的关系(即, $\Omega_x \cdot w$ 与 $I_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 之间的关系)的示图。注意, $I_{w,a,\pi}(\Omega_x) = |A_{w,a,\pi}(\Omega_x)|^2$ 。在图2和图3中的每一个中,横轴通过将 Ω_x 乘以 w 被归一化。

[0106] 参照图2,在阶梯结构的半径非常大($a/w \rightarrow +\infty$)和非常小($a/w \rightarrow 0$)的情况下, $A_{w,a,\pi}(\Omega_x)/i$ 分别为 $G_w(\Omega_x)$ 和 $-G_w(\Omega_x)$ 。

[0107] 这里, $G_w(\Omega_x)$ 为 $F[g_w(x)]$ 。当 $g_w(x)$ 为 $\exp(-x^2/w^2)$ 时, $G_w(\Omega_x)$ 为 $\exp(-\Omega_x^2 w^2/4)$ 。

[0108] 由此,在两种情况中的每一种情况下,图3所示的远场强度分布 $I_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 变为Gaussian,即,不设置阶梯结构的情况下的远场强度分布。

[0109] 当“ a ”是有限值时, $A_{w,a,\pi}(\Omega_x)/i$ 的分布比 $G_w(\Omega_x)$ 的分布宽。当 a/w 处于与 $A_{w,a,\pi}(0)/i > 0$ 对应的范围内时, $I_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 的分布比不设置阶梯结构的情况下的远场强度分布 $I_{w,a,0}(\Omega_x)$ 宽。

[0110] 当 a/w 明显大于1时, $\Omega_x=0$ 周围的 $I_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 的曲线具有向上凸起的单个峰。

[0111] 当 a/w 明显小于1并且处于与 $A_{w,a,\pi}(0)/i>0$ 对应的范围内时, $\Omega_x=0$ 周围的 $I_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 形成向下凸起的曲线。

[0112] 通过使用 $\theta=0$ 和 $\theta=\pi$, 基于由阶梯结构产生的光路差 L 的相位分布 $S_{a,\theta}(x)$ 被变换如下: $S_{a,\theta}(x) = \cos(\theta/2) S_{a,0}(x) + \sin(\theta/2) S_{a,\pi}(x)$ 。

[0113] 根据傅立叶变换的线性, 下式成立:

[0114] $A_{w,a,\theta}(\Omega_x) = \cos(\theta/2) A_{w,a,0}(\Omega_x) + \sin(\theta/2) A_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 。

[0115] 根据 $g_w(x)$ 的对称性(作为偶函数和实函数的特性), $A_{w,a,0}(\Omega_x)$ 是实函数, 并且, $A_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 是纯虚函数。

[0116] 由此, 下式成立:

[0117] $I_{w,a,\theta}(\Omega_x) = \cos^2(\theta/2) I_{w,a,0}(\Omega_x) + \sin^2(\theta/2) I_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 。

[0118] 即, 在以上的情况下, 由产生相位差 θ 的阶梯结构确定的远场强度是不设置阶梯结构的情况下的远场强度 $I_{w,a,0}(\Omega_x)$ 与由产生对于近场复合振幅给出最大调制的相位差 π 的阶梯结构确定的远场强度 $I_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 的特定比率的组合。

[0119] 当 a/w 是使得 $I_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 的分布变得比 $I_{w,a,0}(\Omega_x)$ 的分布宽的值时, $I_{w,a,\theta}(\Omega_x)$ 的分布比 $I_{w,a,0}(\Omega_x)$ 的分布宽。

[0120] 比较上式中的 $I_{w,a,0}(\Omega_x)$ 和 $I_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 的系数, 当 $(1/4+N)2\pi < \theta < (3/4+N)2\pi$ 时, 条件 $\cos^2(\theta/2) < \sin^2(\theta/2)$ 成立。在这种情况下, 由于 $I_{w,a,\theta}(\Omega_x)$ 大大受 $I_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 影响, 因此, 远场强度分布即FFP大大加宽。

[0121] 关于图像形成的稳定性, 希望FFP具有大的传播角度、特别是在其中心附近平坦。特别地, 希望FFP基本上在其中心附近完全平坦, 比Gaussian射束平坦。

[0122] 从图3可以看出, 虽然 $I_{w,a,0}(\Omega_x)$ 在 $\Omega_x=0$ 周围形成向上凸起的曲线, 但 $I_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 形成在 $\Omega_x=0$ 周围其形状随着 a/w 的值改变从向上凸起变为向下凸起的曲线。

[0123] 这意味着, 在 θ 的特定范围内, 存在使得中心周围的 $I_{w,a,\theta}(\Omega_x)$ 的曲线基本上完全平坦的“ a ”的值。

[0124] 令 $\Omega_x=0$ 时的 $I_{w,a,\theta}(\Omega_x)$ 的二阶微分为 $I_{w,a,\theta}^{(2)}(0)$, 当 $I_{w,a,\theta}^{(2)}(0)=0$ 时, $I_{w,a,\theta}(\Omega_x)$ 的曲线在 $\Omega_x=0$ 处变得基本上完全平坦。

[0125] 这里, 下式成立:

[0126] $I_{w,a,\theta}^{(2)}(0) = \cos^2(\theta/2) I_{w,a,0}^{(2)}(0) + \sin^2(\theta/2) I_{w,a,\pi}^{(2)}(0)$ 。

[0127] 由此, $I_{w,a,\theta}^{(2)}(0)=0$ 被变换如下:

[0128] $-1/\tan^2(\theta/2) = I_{w,a,\pi}^{(2)}(0)/I_{w,a,0}^{(2)}(0) \cdots$ 式(A)

[0129] 图4是 $I_{w,a,\pi}^{(2)}(0)/I_{w,a,0}^{(2)}(0)$ 与 a/w 的示意图。根据该示图, $I_{w,a,\pi}^{(2)}(0)/I_{w,a,0}^{(2)}(0)$ 需要比-0.23大并且被表达如下:

[0130] $I_{w,a,\pi}^{(2)}(0)/I_{w,a,0}^{(2)}(0) > -0.23 \cdots$ 式(B)

[0131] 根据式(A)和(B), 对于满足 $1/\tan^2(\theta/2) < 0.23$ 即 $0.36 \times 2\pi < \theta < 0.64 \times 2\pi$ 的条件的 θ , 可使得 $I_{w,a,\theta}(\Omega_x)$ 的曲线在 $\Omega_x=0$ 处基本上完全平坦。

[0132] 关于光路长度, 以上的条件被表达为 $(0.36+N)\lambda < |L| < (0.64+N)\lambda$ 。

[0133] 希望用于电子照相装置的光源在入射光瞳内具有恒定的远场相位。如果在光瞳内存在任何相位分布, 那么, 取决于光学系统的像差, 光源与光学系统之间的光轴的任何位置

偏移会导致感光部件上的斑点的位置偏离预先确定的位置。注意,远场相位与入射光瞳内的实际波前与基准波前之间的差值对应。

[0134] 远场相位被视为 $A_{w,a,\theta}(\Omega_x)$ 的偏角(argument)。

[0135] 这里, $A_{w,a,\theta}(\Omega_x)$ 的实部和虚部分别是 $\cos(\theta/2)A_{w,a,0}(\Omega_x)$ 和 $\sin(\theta/2)A_{w,a,\pi}(\Omega_x)/i$ 。

[0136] 并且, $|A_{w,a,\pi}(\Omega_x)/A_{w,a,0}(\Omega_x)|$ 关于 Ω_x 不是恒定的。由此,当 $\theta \neq M\pi$ 时(这里, M 是整数), $A_{w,a,\theta}(\Omega_x)$ 的偏角关于 Ω_x 不是恒定的。因此,远场复合振幅具有相位分布。相反,当 $\theta = M\pi$ 时(这里, M 是整数),远场相位在 $A_{w,a,0}(\Omega_x)$ 或 $A_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 的偏角恒定的区域内是恒定的。

[0137] 鉴于以上情况,特别希望由根据以下描述的本发明的实施例中的任一个的阶梯结构产生的相位差 θ 为 $(N+1/2)2\pi$ 。关于光路长度,特别希望满足 $|L| = (1/2+N)\lambda$ 。

[0138] 根据光学系统的像差和允许位置偏移以及在将光源附着于光学系统上时调整光源的光轴的取向的方式,即使相位差 θ 不是 $(N+1/2)2\pi$ 的表面发射激光器也令人满意地可用作电子照相装置的光源。

[0139] 并且,为了抑制由于阶梯结构(第一阶梯结构)的位置偏移导致的特性的变化,希望具有不同高度的部分之间的边界形成垂直表面。如果在蚀刻等过程中为了方便而使边界形成倾斜表面,那么 $|L|$ 可比 $(1/2+N)\lambda$ 稍大,使得远场相位变得恒定。

[0140] 二维轮廓

[0141] 现在将描述发光区域具有圆形形状并且要设置具有圆形形状的阶梯结构的另一种情况。作为共振模式的示例性电场分布,现在将考虑关于 $x, y=0$ 对称的模式分布 $E_x(x, y) = g_w(x, y)$ 。这里,假定共振模式分布是具有斑点宽度 w 的Gaussian,即 $g_w(x, y) = \exp(-\rho^2/w^2)$,这里, $\rho = (x^2 + y^2)^{1/2}$ 。

[0142] 阶梯结构具有例如半径 a 并以共振模式的轴为中心。基于由阶梯结构产生的光路差 L 并基于标量衍射近似的相位差由 θ 表示。

[0143] 以下将描述与一维轮廓的情况相同的计算结果。

[0144] 图5是示出 a/w 取不同值时的 $\Omega_x \cdot w$ 与 $A_{w,a,\pi}(\Omega_x)/i$ 之间的关系的示图。注意, $A_{w,a,\pi}(\Omega_x)/i = F[\Psi_{w,a,\pi}(x)/i]$ 。

[0145] 图6是示出 a/w 取不同值时的 $\Omega_x \cdot w$ 与 $I_{w,a,\pi}(\Omega_x)$ 之间的关系的示图。注意, $I_{w,a,\pi}(\Omega_x) = |A_{w,a,\pi}(\Omega_x)|^2$ 并且 $\Omega_x=0$ 和 $\Omega_y=0$ 时的 $I_{w,a,\theta}(\Omega_x)$ 的二阶微分由 $I_{w,a,\theta}^{(2)}(0)$ 表示。

[0146] 图7是 $I_{w,a,\pi}^{(2)}(0)/I_{w,a,0}^{(2)}(0)$ 与 a/w 的示图。图7表示 $I_{w,a,\pi}^{(2)}(0)/I_{w,a,0}^{(2)}(0) > -0.13$ 。

[0147] 由此,对于满足 $1/\tan^2(\theta/2) < 0.13$ 即 $0.39 \times 2\pi < \theta < 0.61 \times 2\pi$ 的 θ , $I_{w,a,\theta}(\Omega_x)$ 的曲线在 $\Omega_x=0$ 和 $\Omega_y=0$ 时是基本上完全平坦的。

[0148] 关于光路长度,以上的条件表达为 $(0.39+N)\lambda < |L| < (0.61+N)\lambda$ 。

[0149] 在这种情况下,同样,特别希望由阶梯结构产生的相位差 θ 为 $(N+1/2)2\pi$,使得远场相位变得恒定。

[0150] 注意,由于阶梯结构的边缘处的散射等,除了通过标量衍射近似获得的近场复合振幅以外,实际近场复合振幅还可包括包含高空间频率分量的振荡。

[0151] 但是,这种高空间频率分量反映于在远场中向外传播的分量(即,不入射到光学系统上的分量)上。因此,这种高空间频率分量的影响在远场复合振幅中是可忽略不计的。

[0152] 注意,产生上述效果的根据本发明的阶梯结构的形状不限于上述的圆柱形状,并且,可替代性地为椭圆或矩形柱形状。

[0153] 例如,在椭圆柱形状的情况下,与沿椭圆的长轴方向相比,远场复合振幅沿椭圆的短轴方向更明显地变化。即,远场强度分布的宽度可沿短轴方向更多地增加。因此,如果图像形成装置的光学系统的光瞳具有不对称形状,那么可通过使椭圆的短轴沿希望更多地加宽远场强度分布的方向延伸,提供更有效的光源。

[0154] 第一实施例

[0155] 图1是根据本发明的第一实施例的表面发射激光器100的示意性截面图。

[0156] 根据第一实施例的表面发射激光器100包括半导体基板110和依次设置在基板110上的后反射镜112、活性层114和前反射镜116。

[0157] 表面发射激光器100的基本模式130具有例如680nm的振荡波长 λ 。半导体基板110为例如n-GaAs基板。为了便于控制表面发射激光器100的偏光,GaAs基板的地表面的法线关于[100]的晶体取向朝[0-1-1]的晶体取向倾斜10度。

[0158] 后反射镜112是包含例如70对的分别具有 $\lambda/4$ 的光学厚度并被交替层叠的n- $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 膜和AlAs膜的半导体多层反射镜。

[0159] 活性层114是由GaInP膜和AlGaInP膜制成的多量子阱结构。

[0160] 前反射镜116是包含例如35对的分别具有 $\lambda/4$ 的光学厚度并被交替层叠的p- $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 膜和 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 膜的半导体多层反射镜。

[0161] 以圆柱台面结构的形式设置前反射镜116和活性层114。

[0162] 前电极122被设置在前反射镜116的前表面上(即,顶部处)。后电极120被设置在基板110的后表面上(即,底部处)。

[0163] 前电极122和后电极120分别是例如Ti/Pt/Au和AuGe/Au的多层结构。前电极122具有从中发射激光束的开口。

[0164] $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$ 的层被设置在前反射镜116与活性层114之间或者前反射镜116中。通过从台面结构的侧壁氧化 $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$ 层,形成电流约束结构118。电流约束结构118的一部分因此被氧化。电流约束结构118的另一部分即未氧化部分具有例如 $2.8\mu\text{m}$ 的半径 G_1 。

[0165] 氧化部分具有远小于未氧化部分的折射率,从而产生折射率分布。折射率分布确定表面发射激光器100的横向模式。

[0166] 虽然空腔内的基本模式130的轮廓随由氧化形成的电流约束结构118的位置和厚度改变,但是,所述轮廓可近似为Gaussian函数。

[0167] 发光区域内的基本模式130的中心(光源的光轴136)基本上与电流约束结构118的中心一致。

[0168] 基本模式130具有斑点半径 w_0 (电场强度变为中心峰值的 $1/e^2$ 的半径)为例如 $2.3\mu\text{m}$ 的Gaussian轮廓。由单一材料(第一材料)制成的圆形阶梯结构150被设置在前反射镜116的前表面142上。

[0169] 阶梯结构150的中心基本上与电流约束结构118的中心一致。阶梯结构150具有例如 $3.0\mu\text{m}$ 的半径 R_1 。

[0170] 第一材料为例如SiO₂,并具有例如1.5的折射率 n_1 。

[0171] 其中安装表面发射激光器100的环境介质140为例如空气,并具有1的折射率 n_0 。

[0172] 阶梯结构150具有在发光区域的中心定义的第一区域160中的实际厚度为P1并且在发光区域内的第一区域160的外侧定义的第二区域162中的实际厚度为P2的凸面形状。由于阶梯结构150的存在,在第一区域160中的光路与第二区域162中的光路之间,存在来自表面发射激光器100的输出表面的射束的光路长度差。由L表示的光路差L表达为 $L = |L1 - L2|$ 。

[0173] 这里,L1表示从前反射镜116的前表面142到面144的第一区域160中的光路长度,L2表示从前表面142到面144的第二区域162中的光路长度。面144是在表面发射激光器100的外侧定义的基准面,并与层叠包含于表面发射激光器100中的层的层叠方向垂直。

[0174] 在图1所示的构成中,环境介质140共用于第一区域160和第二区域162。由此,从下式计算光路差L:

$$[0175] \quad L = |L1 - L2| = n_1 \times (P1 - P2) - n_0 \times (P1 - P2)$$

[0176] 阶梯结构150在第一区域160中的透过光线的电场振幅与第二区域162中的透过光线的电场振幅之间产生 $(1/4 + N)2\pi < \theta < (3/4 + N)2\pi$ 的相位差(N是整数)。

[0177] 因此,考虑光路长度,P1和P2将被调整,使得光路差L满足下式:

$$[0178] \quad (1/4 + N)\lambda < L < (3/4 + N)\lambda \text{ (这里, } N \text{ 是整数)}$$

[0179] 设定的整数N越小,则阶梯结构150的边界处的散射损失越多地被抑制。例如,N可被设为0。

[0180] 假定 $P1 = 2\lambda/n_1$ 且 $P2 = 0.5\lambda/n_1$,则下式成立: $L = |L1 - L2| = n_1 \times (P1 - P2) - n_0 \times (P1 - P2) = 0.5\lambda$ 。

[0181] 以上表达的光路差L在第一区域160中的透过光线的电场振幅与第二区域162中的透过光线的电场振幅之间给予近场复合振幅相位差 $\theta = L/\lambda \times 2\pi$ [rad]。具体而言,在以上的数值例中, θ 是 π ,并且,给出 $(1/4 + N)2\pi < \theta < (3/4 + N)2\pi$ 的相位差。

[0182] 图8是示出不设置阶梯结构150的情况下以及设置阶梯结构150的情况下的远场强度分布即FFP的计算结果。两种情况下的远场相位是恒定的。比较两种情况,阶梯结构150的存在使得远场强度分布更宽,使得半最大值处的全宽度为不设置阶梯结构150的情况下的远场强度分布的约1.9倍。

[0183] 阶梯结构150的存在还使得光轴136附近(0° 附近)的远场强度轮廓基本上平坦。

[0184] 变更例

[0185] 图9示出阶梯结构150的变更例。在变更例中,使得设置阶梯结构150的情况下的图8所示的FFP宽得多。

[0186] 特别地,阶梯结构150被配置,使得在发光区域的中心定义的第一区域160中的透过光线的电场复合振幅和在第一区域160的外侧定义的第二区域162中的透过光线的电场复合振幅包含具有相反的符号的相应分量,并使得第二区域162中的透过光线的电场复合振幅和在第二区域162的外侧定义的第三区域164中的透过光线的电场复合振幅包含具有相反的符号的相应分量。考虑这一点,设定图9所示的光路长度L1、L2和L3。

[0187] 特别地,第二区域162中的光路长度L2与第三区域164中的光路长度L3之间的光路差L'满足下式:

$$[0188] \quad (N + 1/4)\lambda < |L'| < (N + 3/4)\lambda \text{ (这里, } N \text{ 是整数)}$$

[0189] 假定空腔中的680nm的波长的射束的基本模式是Gaussian并且射束具有 $2.3\mu\text{m}$ 的宽度w,并且从光源的光轴136到第一区域160与第二区域162之间的边界的距离R1是 $2.3\mu\text{m}$,

并且从光源的光轴136到第二区域162与第三区域164之间的边界的距离R2是 $3.8\mu\text{m}$ 。在这种情况下,为使得各对相邻的区域中的透过光线之间的相位差为 π , $|L1-L2|=|L3-L2|=\lambda/2$ 的关系成立。

[0190] 图10示出设置和不设置阶梯结构150的两种情况下的远场强度分布即FFP。两种情况下的远场相位是恒定的。

[0191] 设置根据以上的数值例的阶梯结构150的情况下的FFP的半最大值处的全宽度为不设置阶梯结构150的情况的约2.6倍。因此,FFP与图1所示的阶梯结构150的情况相比被加宽。

[0192] 图1和图9所示的阶梯结构150分别具有光路长度在中心区域中比在外部区域中长的凸面形状。作为替代方案,阶梯结构150可具有图11所示的光路长度在中心区域中比在外部区域中短的凹面形状。

[0193] 在这种情况下,远场相位分布的符号颠倒,但是,强度分布保持相同。

[0194] 虽然在具有凸面形状的阶梯结构150与具有凹面形状的阶梯结构150之间、阶梯结构150的不同部分之间的边界的位置从有效相位分布中的边界的位置的偏离稍微不同,但是,两种情况下的偏离在这里被假定为相同。

[0195] 参照图12,根据本发明的第一实施例的表面发射激光器可被配置为从基板110侧发射射束。在这种情况下,发射射束的一侧也被称为前侧。因此,关于活性层114,前反射镜116指的是设置在发射射束的一侧的反射镜,不是指以安装取向设置在激光器的上侧的反射镜。

[0196] 例如,基板110和前反射镜116是n型半导体,并且,后反射镜112是p型半导体。发光区域内的基板110和前电极122的部分被去除。如上所述,适当地配置其它的部件。

[0197] 反射率分布

[0198] 前反射镜116即关于活性层114的前侧的反射镜的反射率可取决于阶梯结构150的形状而具有分布。

[0199] 例如,当图1所示的阶梯结构150的实际厚度P1和P2被设定为使得 $|n_1 \cdot P1 - n_1 \cdot P2|$ 变为 $\lambda/2$ 的整数倍时,前反射镜116基本上不具有反射率分布。

[0200] 如果尽可能地抑制由于阶梯结构150导致的前反射镜116中的反射率分布的出现,那么阶梯结构150对于空腔中的共振模式的影响减少。

[0201] 反射率分布可能未必被完全消除。根据情况,可以给予一些反射率分布以获得希望的特性。例如,如果使得外部区域中的反射率比中心区域中的反射率低,那么损失被选择性地给予高次模式。

[0202] 在外部区域中的透射率比中心区域中的透射率高的情况下,外部区域中的透过光线的影响增加。在这种情况下,通过使用具有比在外部区域和中心区域中的透射率相同的情况下使FFP平坦化的阶梯结构大的半径的阶梯结构,使FFP平坦化。

[0203] 制造方法

[0204] 现在将描述根据以上参照图1描述的第一实施例的表面发射激光器100的制造方法。

[0205] 在半导体基板110上生长分别用作后反射镜112、活性层114和前反射镜116的半导体层。通过金属有机化学气相沉积(MOCVD)等执行晶粒的生长。

[0206] 在前反射镜116中或者在后反射镜112和活性层114之间设置比用作前反射镜116和后反射镜112的层包含更多的Al含量的半导体层(用作电流约束结构118)。以上的半导体层形成为台面结构,使得电流约束结构118的侧壁露出到外面。

[0207] 通过例如诸如干蚀刻的光刻技术形成台面结构。台面结构具有直径为例如30 μm 的圆柱形状。

[0208] 用作台面结构中的电流约束结构118的层在高温水蒸汽气氛中从其侧壁被氧化,由此获得电流约束结构118。在例如450 $^{\circ}\text{C}$ 执行氧化。电流约束结构118的半径为例如2.8 μm 。

[0209] 电介质膜沉积于包含于台面结构中的前反射镜116上,并且形成为具有上述的形状的阶梯结构150。电介质膜由SiO或SiN等构成,并且通过等离子化学气相沉积(CVD)或溅射被沉积。

[0210] 如果改变沉积SiO等的膜的等离子CVD等的条件,阶梯结构150的折射率 n_1 可被调整。例如,如果 n_1 被设为1.5,那么产生180 $^{\circ}\text{C}$ 的相位差,使得 $n_1 \cdot P_1$ 和 $n_1 \cdot P_2$ 为 $\lambda/2$ 的整数倍。在这种情况下, P_1 为 $2\lambda/n_1$ 并且 P_2 为 $0.5\lambda/n_1$ 。

[0211] 并且,SiO具有约1.5的折射率,从而满足以上的条件,并且可被适当地用作高度耐久的保护膜。

[0212] 通过蚀刻或剥离等形成阶梯结构150。

[0213] 例如,在台面结构上沉积具有与 (P_1-P_2) 对应的厚度的第一电介质膜。随后,蚀刻掉外部区域中的第一电介质膜的一部分。然后,在第一电介质膜的产物上沉积具有与 P_2 对应的厚度的第二电介质膜。作为替代方案,在台面结构上沉积具有与 P_2 对应的厚度的第一电介质膜。随后,在台面结构的处于外部区域中的一部分上形成想用于剥离的抗蚀剂图案。并且,在抗蚀剂图案上沉积具有与 (P_1-P_2) 对应的厚度的第二电介质膜。然后,剥离的抗蚀剂图案被去除。

[0214] 在如上面描述的那样形成阶梯结构150之后,前电极122被设置在包含于台面结构中的前反射镜116的前表面上,并且,后电极120被设置在基板110的后表面上。通过气相沉积等形成后电极120和前电极122。

[0215] 包含阶梯结构150和电流约束结构118的表面发射激光器100还可包含第二横向模式控制机构。

[0216] 图14A和图14B作为第二横向模式控制机构示出分别包括第二电流约束结构119的示例性构成。第二电流约束结构119可以是图14A所示的通过离子注入形成的绝缘体或图14B所示的附加氧化约束结构。

[0217] 两个第二电流约束结构119中的任一个被设置在电流约束结构118的前侧,并且在比电流约束结构118窄的区域中约束电流。由于第二电流约束结构119的存在,载流子分布是可控制的。

[0218] 第二实施例

[0219] 在第一实施例中,阶梯结构150由单一材料制成。在本发明的第二实施例中,阶梯结构150由多种材料制成。

[0220] 第二实施例的有利效果中的一个在于,通过这种阶梯结构150,可以更自由地控制前反射镜116(包含阶梯结构150)的反射系数分布和透射系数分布。

[0221] 图13示出包括由具有不同的折射率的第一材料180和第二材料182制成的阶梯结

构150的表面发射激光器。

[0222] 例如,第一材料180是电介质,并具有约1.5~约2.0的折射率,并且,第二材料182是半导体,并具有约3.0~约3.5的折射率。

[0223] 与第一实施例同样,为了加宽FFP的传播角度并使得FFP的中心部分平坦,第一区域160中的透过光线与第二区域162中的透过光线之间的相位差 θ 需要满足下式:

[0224] $(1/4+N)2\pi < \theta < (3/4+N)2\pi$

[0225] 与第一实施例同样,在图13所示的第二实施例中,光路长度L1是从前反射镜116的前表面142到面144的第一区域160中的光路长度,光路长度L2是从前表面142到面144的第二区域162中的光路长度。面144是在表面发射激光器的外侧定义的基准面,并与层叠包含于表面发射激光器中的层的层叠方向垂直。光路差L表达为 $|L1-L2|$ 。由此,以上的透过光线之间的相位差 θ 为 $-2\pi L/\lambda$ 。

[0226] 第一区域160与第二区域162之间的边界到光源的光轴136具有距离R1。

[0227] 例如,假定第一材料180和第二材料182的折射率分别为1.5和3.0;作为电介质的第一材料180和作为半导体的第二材料182分别以 1.0λ 和 0.5λ 的光学厚度被设置在第一区域160中;并且,作为电介质的第一材料180以 0.5λ 的光学厚度被设置在第二区域162中。在这种构成中,阶梯结构150具有比仅由电介质制成的包含于根据第一实施例的表面发射激光器100中的阶梯结构150小的厚度。因此,设置不在前反射镜116中导致反射率分布并且并在不同区域中的透过光线之间产生 180° 的相位差的阶梯结构。因此,与第一实施例相比,更多地抑制散射损失。

[0228] 例如,第二材料182的膜即半导体膜以 0.5λ 的光学厚度沉积于前反射镜116上,并且,进一步在其上面以 0.5λ 的光学厚度沉积第一材料180的膜即电介质膜。在向得到的物体施加抗蚀剂之后,抗蚀剂被图案化,并且第二区域162中的电介质膜(第一材料180)的一部分被蚀刻。随后,通过使用得到的电介质膜(第一材料180)作为掩模,第二区域162中的半导体膜(第二材料182)的一部分被蚀刻。然后,去除抗蚀剂并在得到的物体的整个表面上以 0.5λ 的光学厚度沉积电介质材料即第一材料180的另一膜。因此,形成图13所示的阶梯结构150。

[0229] 可通过包括蚀刻和剥离的一个连续过程或者通过多个过程,形成根据第二实施例的阶梯结构150。

[0230] 例如,可在形成电流约束结构118之前设置形成阶梯结构150的一部分的第二材料182,并且,可在形成电流约束结构118之后接着设置形成阶梯结构150的另一部分的第一材料180。

[0231] 作为替代方案,可通过自对准与台面结构一起将形成阶梯结构150的一部分的第二材料182图案化,并且,在形成台面结构和电流约束结构118之后,可以以与第一实施例相同的方式形成形成阶梯结构150的另一部分的第一材料180。

[0232] 除了图1所示的构成以外,根据第二实施例的构成也适用于第一实施例的变更例。

[0233] 第三实施例

[0234] 本发明的第三实施例关于包括具有由分别不同的半径定义的部分的多个阶梯结构的表面发射激光器。

[0235] 例如,激光器包括基本上控制远场复合振幅的阶梯结构(第一阶梯结构)和基本上

控制前反射镜116的反射率分布的另一阶梯结构(第二阶梯结构)。可根据需要最佳地改变阶梯结构的各单个部分的直径。这里,与第二实施例同样,前反射镜116的反射率指的是前反射镜116和阶梯结构的组合的反射率。

[0236] 图15是包括两个阶梯结构的表面发射激光器的截面图。具体而言,控制反射率的第二阶梯结构155和控制远场复合振幅的第一阶梯结构150被依次层叠于前反射镜116上。

[0237] 使形成第二阶梯结构155的第二材料和形成第一阶梯结构150的第一材料的折射率分别为 n_2 和 n_1 。第二材料为例如半导体。第一材料为例如电介质。

[0238] 第二阶梯结构155在发光区域中包含具有不同的高度的中心部分(在第四区域166中延伸)和外部部分(在第五区域168中延伸)。因此,第二阶梯结构155在外部部分中具有比中心部分低的反射率,并且,控制横向模式。

[0239] 通过例如以为 $\lambda/4$ 的奇数倍的光学厚度蚀刻第二材料的膜的外部部分,形成第二阶梯结构155。

[0240] 与根据第一实施例的阶梯结构150同样,第一阶梯结构150在分别透过其中心部分(在第一区域160中延伸)和其外部部分(在第二区域162中延伸)的光线之间产生大的相位差。

[0241] 形成第一阶梯结构150的材料(第一材料)的折射率 n_1 和形成第二阶梯结构155的材料(第二材料)的折射率 n_2 是不同的。例如,第一材料是由 SiO_2 构成的电介质并具有1.5的折射率 n_1 ,并且,第二材料是由 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 构成的半导体,并具有3.3的折射率 n_2 。两个阶梯结构150和155的参数可被优化,由此,可控制横向模式和远场复合振幅。

[0242] 第一阶梯结构150和第二阶梯结构155具有由图15中的R1和R2表示的不同的半径。例如,半径R1是 $3.1\mu\text{m}$ 并且半径R2是 $2.3\mu\text{m}$ 。

[0243] 由第二材料制成的第二阶梯结构155被配置为使得具有不同的高度的部分之间的表达为 $|Q_1-Q_2|$ 的光路的长度差变为 $\lambda/4$ 的奇数倍。

[0244] 例如, $Q_1=0.5\lambda/n_2$ 且 $Q_2=0.25\lambda/n_2$ 。

[0245] 因此,从活性层分别进入中心部分(在第四区域166中延伸)和外部部分(在第五区域168中延伸)并在第二材料与第一材料之间的界面处被反射的波长 λ 的光线具有相反的相位。因此,前反射镜116的反射率在中心部分(在第四区域166中延伸)中变得比在外部部分(在第五区域168中延伸)中高。

[0246] 第二阶梯结构155的半径R2可被确定为:在使得在更高次的模式中出现抑制振荡的返回损失的同时防止出现基本模式中的明显的返回损失。

[0247] 减小外部部分的反射率增加外部部分的透射率。

[0248] 例如,当反射率从99.5%减小到95%时,透射率增加为10倍(透射系数的绝对值比增加为 $\sqrt{10}$ 倍)。

[0249] 特别地,在第二阶梯结构155具有宽的反射率分布的情况下,透过第五区域168中的第二阶梯结构155的一部分的光量可变得比透过第四区域166中的第二阶梯结构155的一部分的光量大。在这种情况下,第一阶梯结构150需要被配置,以在透过第五区域168中的第二阶梯结构155的一部分的光中产生相位差。

[0250] 为了这样做,通过在由比半径R2大的半径R1定义的部分中产生相位差的分布,至少在第五区域168中产生相位差。因此,产生单峰或平坦远场强度分布。

[0251] 即,如图15所示,第一阶梯结构150被配置为使得具有大的相位差的第一区域160与第二区域162之间的边界周围的至少一部分属于第五区域168。

[0252] 在属于第一区域160和第五区域168的区域中,使得从第二阶梯结构155的后表面142到在第一阶梯结构150的前侧定义的面144的光路长度为 L_1 。并且,在属于第二区域162和第五区域168两者的区域中,使从表面142到面144的光路长度为 L_2 。然后,确定第一阶梯结构150的实际厚度 P_1 和 P_2 ,使得在由光路长度 L_1 定义的区域与由光路长度 L_2 定义的区域之间产生 $90^\circ \sim 270^\circ$ 的相位差 θ 。

[0253] 第一阶梯结构150的半径 R_1 可被设计为使得基本模式的FFP的传播角度被加宽并且FFP的中心部分变得平坦。这里,设安装表面发射激光器的环境介质140的折射率为 n_0 (例如,当环境介质140为空气时, $n_0=1$)。然后, L_1-L_2 被表达为 $(n_1-n_0) \times (P_1-P_2)$ 。

[0254] 如果“ $n_1 \times P_1$ ”和“ $n_1 \times P_2$ ”分别被定义为作为 $\lambda/2$ 的整数倍的光学厚度,那么第一阶梯结构150不产生反射率分布。当例如 $P_1=2\lambda/n_1$ 且 $P_2=0.5\lambda/n_1$ 时满足该条件。

[0255] 希望属于第五区域168和第二区域162两者的区域中的反射率不低,原因是该区域大大影响远场复合振幅的形状。相反,为了便于控制横向模式,希望属于第五区域168和第一区域160两者的区域中的反射率相对地低。即,如上所述,希望第五区域168的属于第二区域162的部分(第五区域168的外部部分)具有比第五区域168的属于第一区域160的部分(第五区域168的内部部分)大的反射率。

[0256] 当“ $n_1 \times P_2$ ”不是 $\lambda/2$ 的整数倍时,可根据光路长度周期性地调制第二区域162中的前反射镜116的一部分的反射率。特别地,如果“ $n_1 \times P_2$ ”被设为 $\lambda/4$ 的奇数倍,那么属于第五区域168和第二区域162两者的区域中的反射率变得比属于第五区域168和第一区域160两者的区域中的反射率高。

[0257] 第四实施例

[0258] 本发明的第四实施例涉及第二实施例和第三实施例的组合。

[0259] 具体而言,根据第四实施例的表面发射激光器包括包含由分别不同的半径定义的部分的多个阶梯结构。阶梯结构中的至少一个由多种材料制成。

[0260] 图16A和图16B分别示出第一阶梯结构和第二阶梯结构。图16C是在表面发射激光器的前反射镜116上相互层叠的图16A和图16B所示的第一阶梯结构和第二阶梯结构的示意性截面图。

[0261] 图16B所示的第二阶梯结构由具有不同的折射率的多种材料制成,具体而言,由第一材料180和第二材料182制成。

[0262] 例如,第二材料182是半导体并具有3的折射率,并且,第一材料180是电介质并具有1.5的折射率。

[0263] 第二阶梯结构具有例如半径为 R_2 的圆柱形状。

[0264] 如图16B所示,从第二阶梯结构的后表面到在第二阶梯结构的前侧定义的面144的光路长度分别由 L_6 和 L_7 表示。

[0265] 在第二材料182与第一材料180之间存在大的折射率差。折射率差大大影响前反射镜116的反射率。例如,当第二材料182的光学厚度被设为 $\lambda/4$ 的奇数倍时,在前反射镜116中产生反射率分布。

[0266] 第一材料180的厚度被设定为使得光路长度 L_6 与 L_7 之间的差值变为 $\lambda/2$ 。

[0267] 这里,假定环境介质140的折射率为1并且第一材料180的光学厚度为 λ 。在这种情况下,以下的关系成立: $L6-L7 = (3-1)/3 \cdot \lambda/4 + (1.5-1)/1.5 \cdot \lambda = \lambda/2$ 。即,第二阶梯结构被配置为使得近场复合振幅具有相位差 π 的分布。

[0268] 图16A所示的第一阶梯结构由第三材料184制成。第三材料184是例如电介质并具有1.7的折射率。第三材料184可以与第一材料180相同。

[0269] 第一阶梯结构具有例如半径为比半径R2大的R1的圆柱形状。

[0270] 如图16A所示,从第一阶梯结构的后表面到在第一阶梯结构的前侧定义的面144的不同的光路长度分别由L4和L5表示。

[0271] 第三材料184被设置为使得其具有不同高度的部分中的光路长度L4和L5之间的差值变为 $\lambda/2$ 。

[0272] 这里,假定环境介质140的折射率为1并且与第三材料184中的高度差对应的光学厚度为 1.5λ 。在这种情况下,以下的关系成立: $L4-L5 = (1.5-1)/1.5 \cdot 1.5\lambda = \lambda/2$ 。即,第一阶梯结构被配置为使得近场复合振幅具有相位差 π 的分布。

[0273] 如图16C所示,在前反射镜116上层叠第一和第二阶梯结构。两个阶梯结构的轴相互一致。

[0274] 并且,共振模式关于光轴136对称。第一阶梯结构和第二阶梯结构的轴与共振模式的对称轴一致。

[0275] 由于在第二阶梯结构上层叠第一阶梯结构,因此,在由半径R2定义的区域中形成阶梯。然而,阶梯结构中的每一个的光学厚度分布被保持。

[0276] 参照图16C,从前反射镜116与第二阶梯结构之间的界面到在第一阶梯结构的前侧定义的面144的不同的光学厚度分别由L1、L2和L3表示。

[0277] 由于第二阶梯结构的存在,在由半径R2定义的区域的外侧的区域中,与由半径R2定义的区域相比,反射率较低并且透射率较高。在具有较高的透射率的第一阶梯结构的一部分中产生额外的大的相位差。因此,FFP加宽。

[0278] 并且,由于 $L1-L2 = \lambda/2$ 且 $L2-L3 = \lambda/2$,因此 $L1-L3 = \lambda$ 。

[0279] 在共振模式关于光轴136对称并且波前平坦的情况下,如果阶梯结构具有对称形状并且各对相邻的部分之间的光学厚度差均为 0.5λ 的整数倍,那么,在基于标量衍射近似的区域中,阶梯结构给予共振模式为0和 π 的相位差分布。在这种情况下,根据傅立叶变换的对称性,由通过以上的阶梯结构调制的近场复合振幅确定的远场复合振幅在其中心周围不具有任何相位差分布。因此,提供具有特别适于用作电子照相装置的光源的具有FFP的表面发射激光器。

[0280] 在以上的第一阶梯结构和第二阶梯结构的组合中,光路长度的分布具有凸面形状。存在其它的可能的组合,诸如图17A所示的具有凸面形状的第二阶梯结构和具有凹面形状的第一阶梯结构的组合、图17B所示的具有凹面形状的第二阶梯结构和具有凹面形状的第一阶梯结构的组合、以及图17C所示的具有凹面形状的第二阶梯结构和具有凸面形状的第一阶梯结构的组合。

[0281] 第五实施例

[0282] 本发明的第五实施例涉及根据第一到第四实施例的表面发射激光器中的任一个对于包括表面发射激光器阵列光源和扫描装置的图像形成装置的应用。表面发射激光器阵

列光源包括多个表面发射激光器。

[0283] 图18A、图18B、图19A和图19B示出包括表面发射激光器阵列光源514的电子照相图像形成装置。

[0284] 图18A和图18B分别是图像形成装置的平面图和侧视图。图19A和图19B分别示意性地示出主扫描方向和副扫描方向的光学部件的布置。

[0285] 图18A~19B所示的要素包括感光鼓500、充电装置502、显影装置504、转印充电装置506、定影装置508、旋转多棱镜510、马达512、表面发射激光器阵列光源514、用于反射的反射镜516、准直透镜520、圆柱透镜521和f- θ 透镜522。表面发射激光器阵列光源514导致线性偏光。例如，线性偏光的方向与主扫描方向平行。

[0286] 图18B所示的马达512驱动多棱镜510旋转。

[0287] 在第五实施例中，旋转多棱镜510具有例如六个反射表面。

[0288] 表面发射激光器阵列光源514用于进行记录，并且，被配置为根据图像信号通过驱动器被接通和关断。由此调制的激光束透过聚焦来自表面发射激光器阵列光源514的射束的准直透镜520并射向多棱镜510。

[0289] 参照图19A，主扫描孔径光阑530被设置在准直透镜520与多棱镜510之间的光轴上。主扫描孔径光阑530的位置尽可能地接近多棱镜510，使得来自表面发射激光器阵列光源514的各单个光线均匀地入射到多棱镜510的各表面中的每一个上。

[0290] 参照图19B，副扫描孔径光阑532被设置在表面发射激光器阵列光源514与圆柱透镜521之间，并处于与f- θ 透镜522的中心共轭的位置处。入射光瞳由以上的光学部件和孔径光阑确定。

[0291] 多棱镜510沿图18A所示的箭头的方向旋转。当多棱镜510旋转时，从表面发射激光器阵列光源514发射的激光束通过多棱镜510的依次设置的反射表面以连续变化的角度被偏转。被偏转的射束透过校正射束的畸变等的f- θ 透镜522，并随后以落到感光鼓500上的方式被反射镜516反射。因此，落在感光鼓500上的射束沿主扫描方向扫描移动。在这种情况下，被多棱镜510的各表面中的每一个反射的射束在感光鼓500上形成由沿主扫描方向延伸并与表面发射激光器阵列光源514的布置对应的多个线构成的图像。

[0292] 感光鼓500通过充电装置502事先充电，并且暴露于扫描移动的激光束，由此在其上面形成静电潜像。感光鼓500沿图18B所示的箭头的方向旋转。在感光鼓500上形成的静电潜像通过显影装置504显影成可见图像。可见图像通过转印充电装置506被转印到转印纸。具有可见图像的转印纸被传输到定影装置508，在该定影装置508上，执行定影。随后，具有定影的图像的纸被排出到装置的外面。

[0293] 包含于表面发射激光器阵列光源514中的各单个表面发射激光器分别在其输出表面上具有图1和其它图中的任一个示出的圆柱阶梯结构150 (具有半径a)。如果阶梯结构150沿径向是各向异性的，那么最小半径被定义为a。

[0294] 阶梯结构150产生相位差 π 。特别地，如果阶梯结构150沿径向具有各向异性，那么希望由阶梯结构150产生以抑制像差的相位差为 π 。

[0295] 图20是示出以上的情况下的共振模式的射束半径w与FFP的半最大值处的全宽度之间的关系的关系的示图。如第一实施例所述，共振模式被假定为Gaussian。在不设置阶梯结构的情况下，射束半径w和FFP彼此逆相关，并且，以下的关系成立： $Y(\text{rad}) = (2\log 2)^{1/2} \lambda / \pi w =$

$0.37 \times \lambda/w$ 。

[0296] 在设置阶梯结构150的情况下,存在FFP的半最大值处的全宽度在由 $w/a < 0.8$ 定义的区域(FFP具有单个峰的区域)中最小的点。在该点上, Y 为约 $0.75\lambda/a$ 。

[0297] 为了使形成图像的斑点的半径稳定化,希望表面发射激光器阵列光源514的FFP具有超过光学扫描系统的入射侧角度孔径(关于光轴从光源传播并定义入射光瞳的直径的角度)的半最大值处的全宽度。如果表面发射激光器阵列光源514的FFP具有比入射侧角度孔径小的半最大值处的全宽度,那么斑点半径变大并且不稳定。

[0298] 即,希望光学系统的入射侧F数 $F_{no.}$ 满足 $(0.75\lambda/a) > (1/F_{no.})$ 。由此,希望 $a < 0.75\lambda \cdot F_{no.}$ 。如果主扫描的F数和副扫描的F数不同,那么较小的值被取为 $F_{no.}$ 。如果阶梯结构的半径具有各向异性,那么较小的半径取为 a 。

[0299] 除非共振模式的宽度太大(大于或等于阶梯结构150的半径的0.8倍),否则以上的表面发射激光器的FFP具有比入射光瞳的直径大的半宽度。

[0300] 通过具有与入射光瞳的尺寸对应的半径的阶梯结构,FFP的半宽度增加。因此,提供尺寸稳定的图像形成斑点。

[0301] 阶梯结构可沿与包含主扫描方向和副扫描方向的面平行的方向具有各向异性。在这种情况下,为了加宽FFP,阶梯结构的半径沿包含于以上的面中并且F数较小的方向(角度孔径较大的方向)减小。

[0302] 即,如果主扫描方向和副扫描方向的入射侧F数不同,那么希望将主扫描方向和副扫描方向的阶梯结构的半径设为不同的值。因此,在保持图像形成斑点的稳定性的同时,减少由孔径光阑导致的渐晕量(amount of vignetting),并且激光束有效地聚焦于扫描表面上。

[0303] 因此,在副扫描方向的入射侧F数大的图像形成装置中,如果表面发射激光器阵列的激光器元件分别包括具有椭圆形状的阶梯结构,那么椭圆形状的主轴如希望地沿以规则的间隔设置激光器阵列的激光器元件的方向(副扫描方向)延伸。

[0304] 在副扫描方向的入射侧F数小的图像形成装置中,椭圆形状的短轴如希望地沿副扫描方向延伸。

[0305] 即,在沿第一方向以规则的间隔设置多个激光器元件的表面发射激光器阵列中,第一区域中的各第一阶梯结构的一部分如希望地具有椭圆形状,其中椭圆形状的短轴或长轴与第一方向一致。

[0306] 作为数值例,在各表面发射激光器如图1所示的第一实施例那样具有对称圆柱形状的情况下,假定波长 λ 为680nm,阶梯结构的半径 a 为 $3.8\mu\text{m}$,与阶梯结构中的高度差对应的光路差为 0.5λ ,并且入射侧F数为10。如果不设置阶梯结构,那么,当 $w = 3.0\mu\text{m}$ 时,FFP的半最大值处的全宽度 Y 为约 0.084rad 。因此,根据射束尺寸,在入射光瞳内的相同点处,远场强度可变得比峰值强度的一半低。

[0307] 相反,通过设置以上的阶梯结构,FFP的半最大值处的全宽度加宽到 $Y > 0.13$ 。由此,入射光瞳内的远场强度保持为峰值强度的一半或更高。因此,提供改善静电潜像的形成的稳定性的图像形成装置。

[0308] 在实施例的以上的描述中,在包括表面发射激光器的图像形成装置中,关于表面发射激光器的项也成立。

[0309] 虽然已参照示例性实施例描述了本发明,但应理解,本发明不限于所公开的示例性实施例。所附权利要求的范围应被赋予最宽泛的解释以包含所有这样的修改以及等同的结构和功能。

[0310] 本申请要求在2010年10月16日提交的日本专利申请No.2010-233164和2011年9月13日提交的日本专利申请No.2011-199434的权益,在此通过引用将它们的全部内容并入。

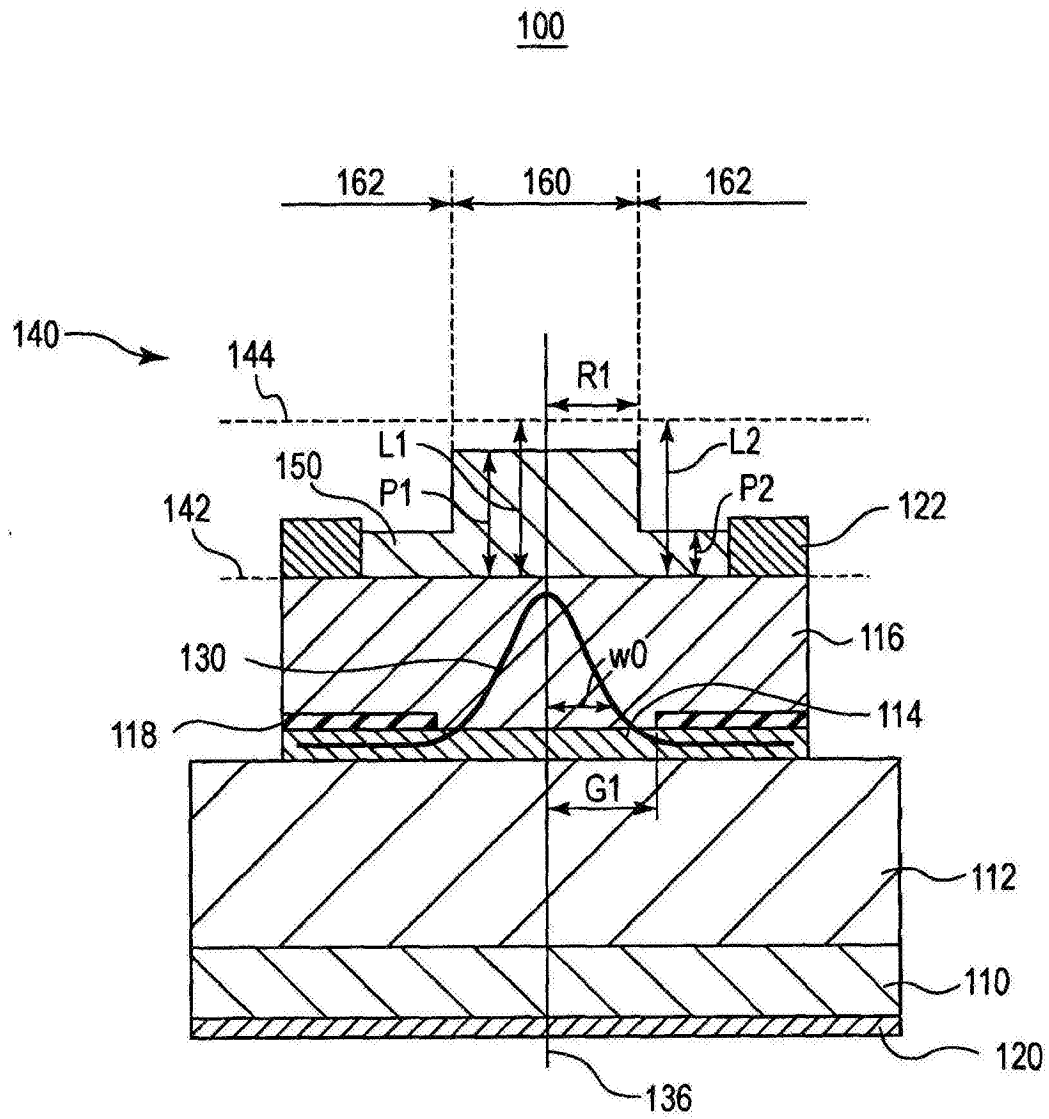


图1

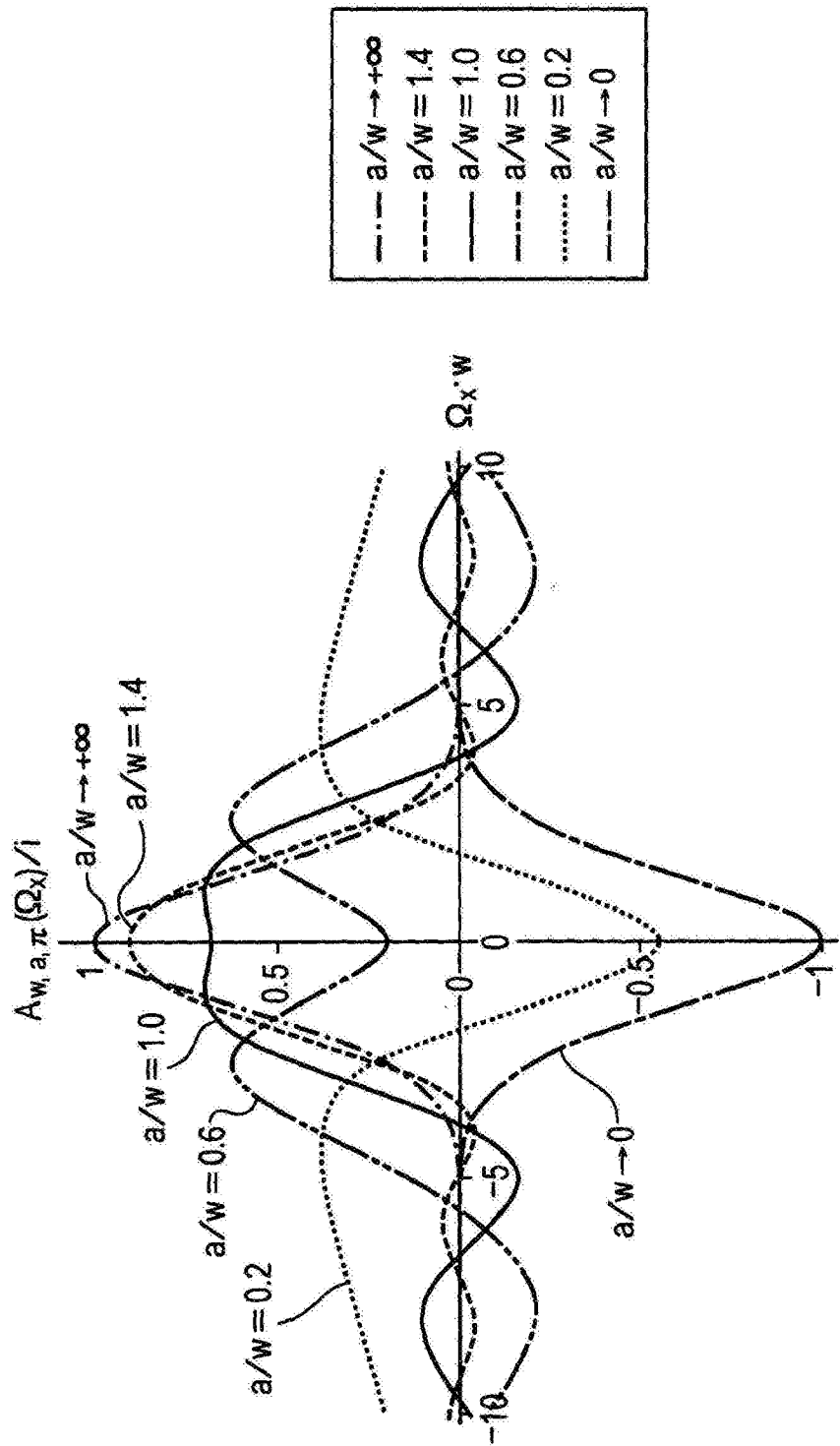


图2

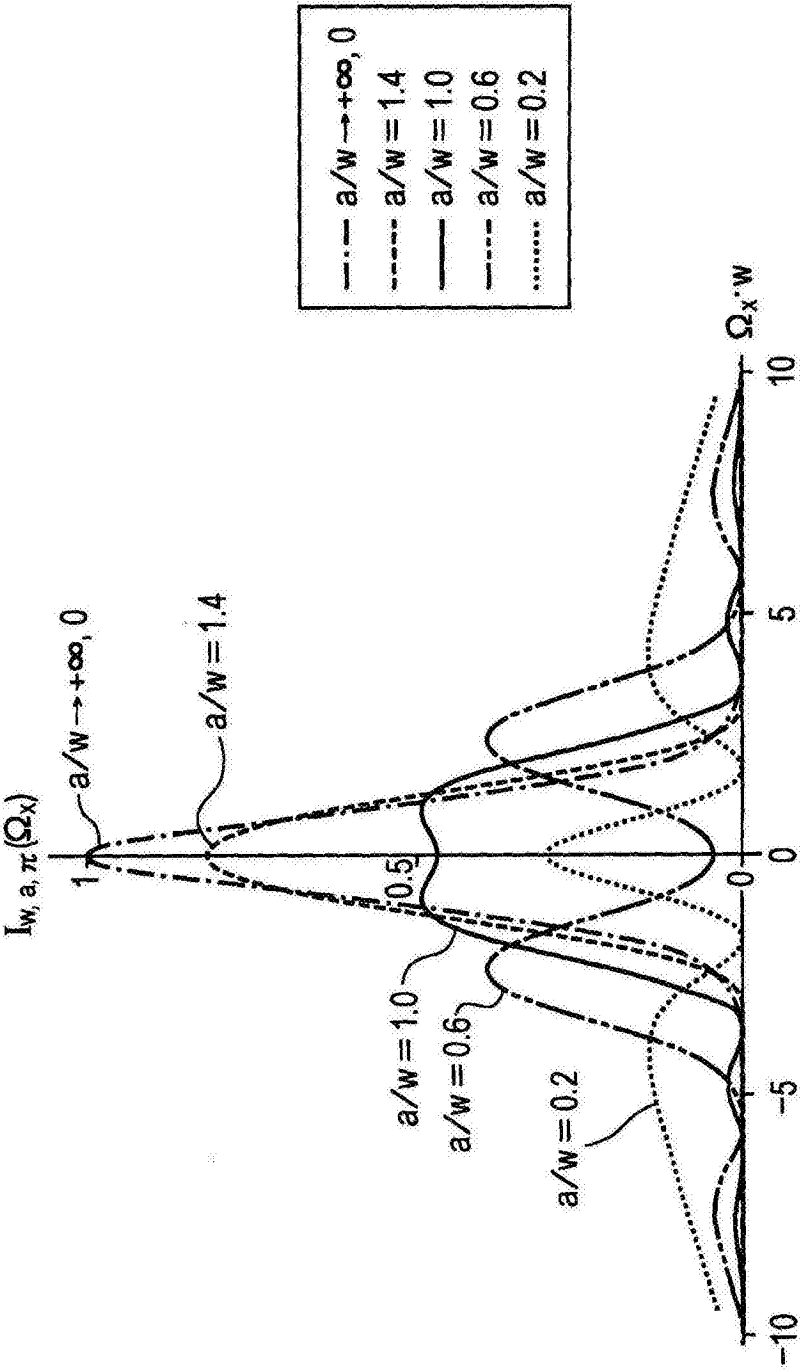


图3

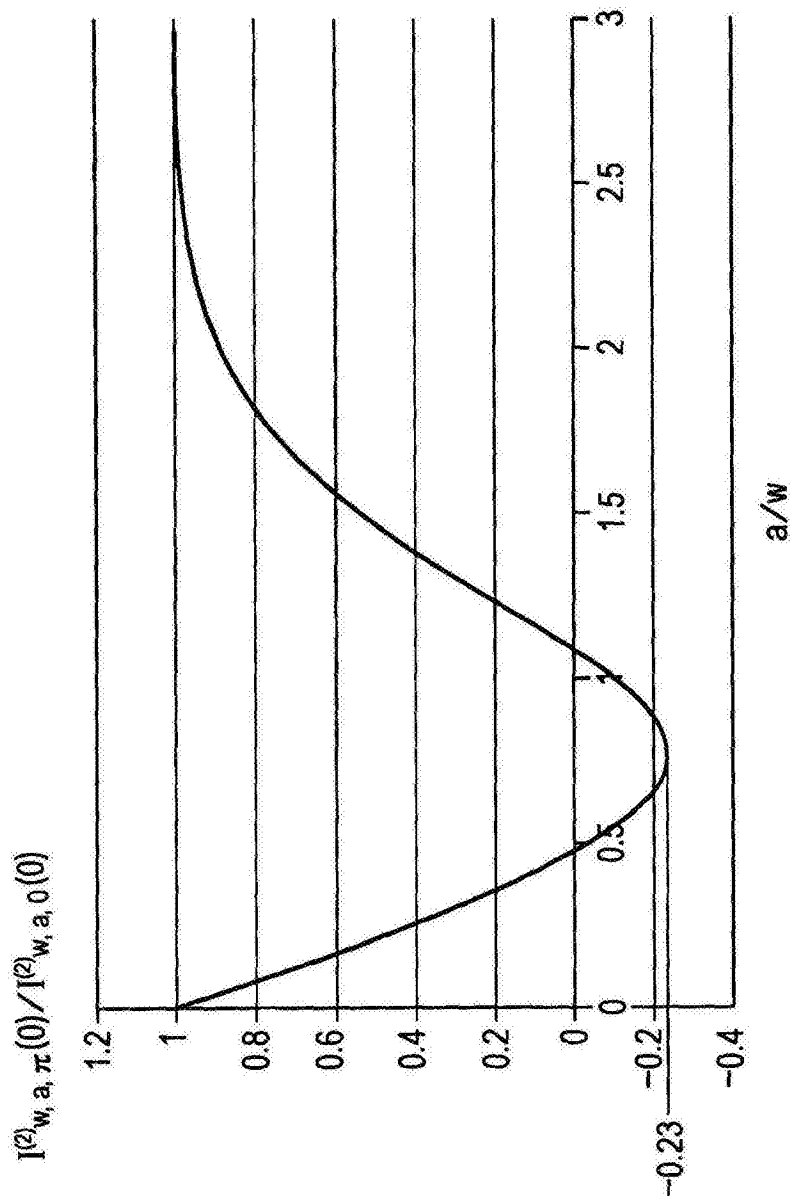


图4

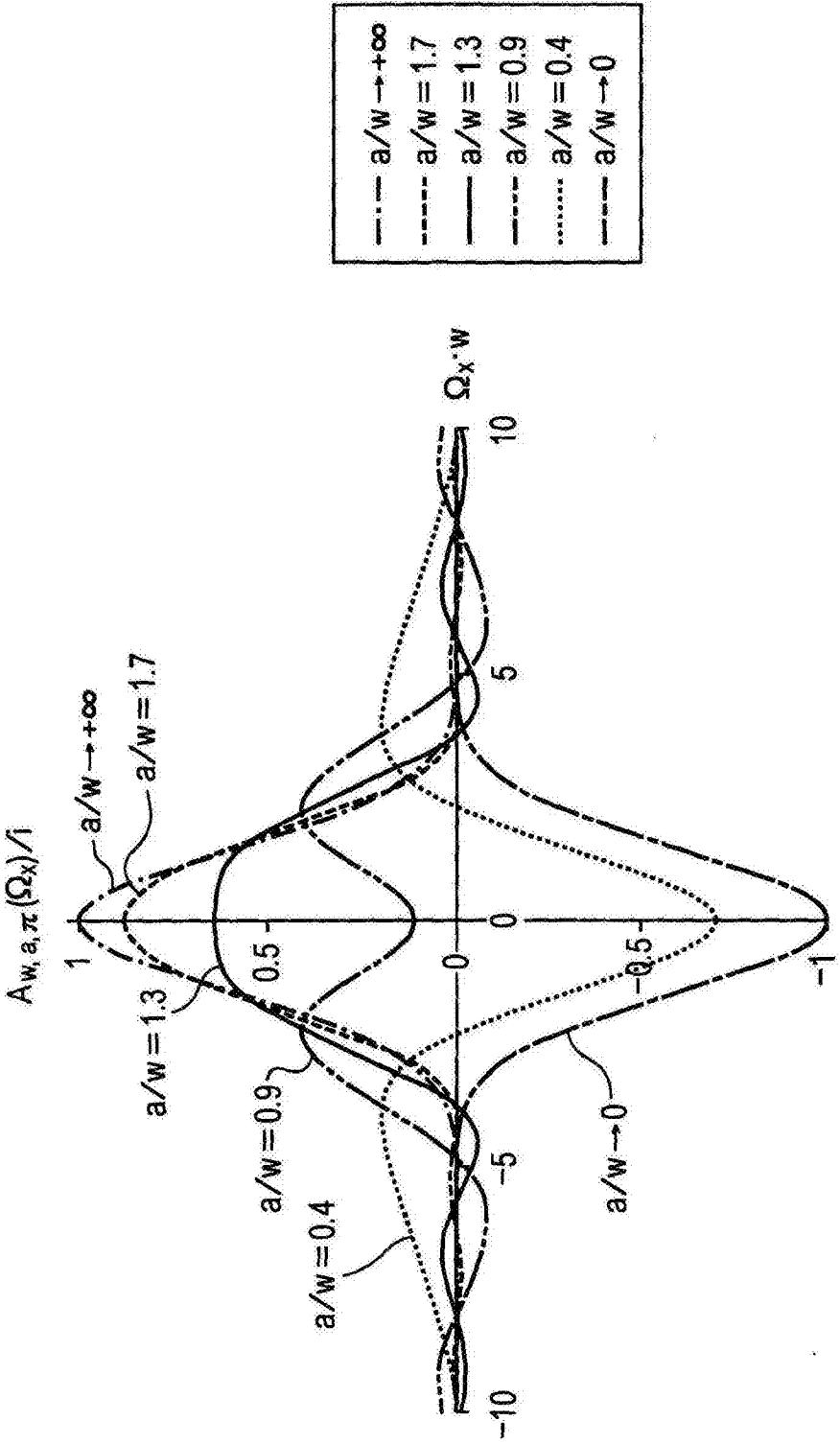


图5

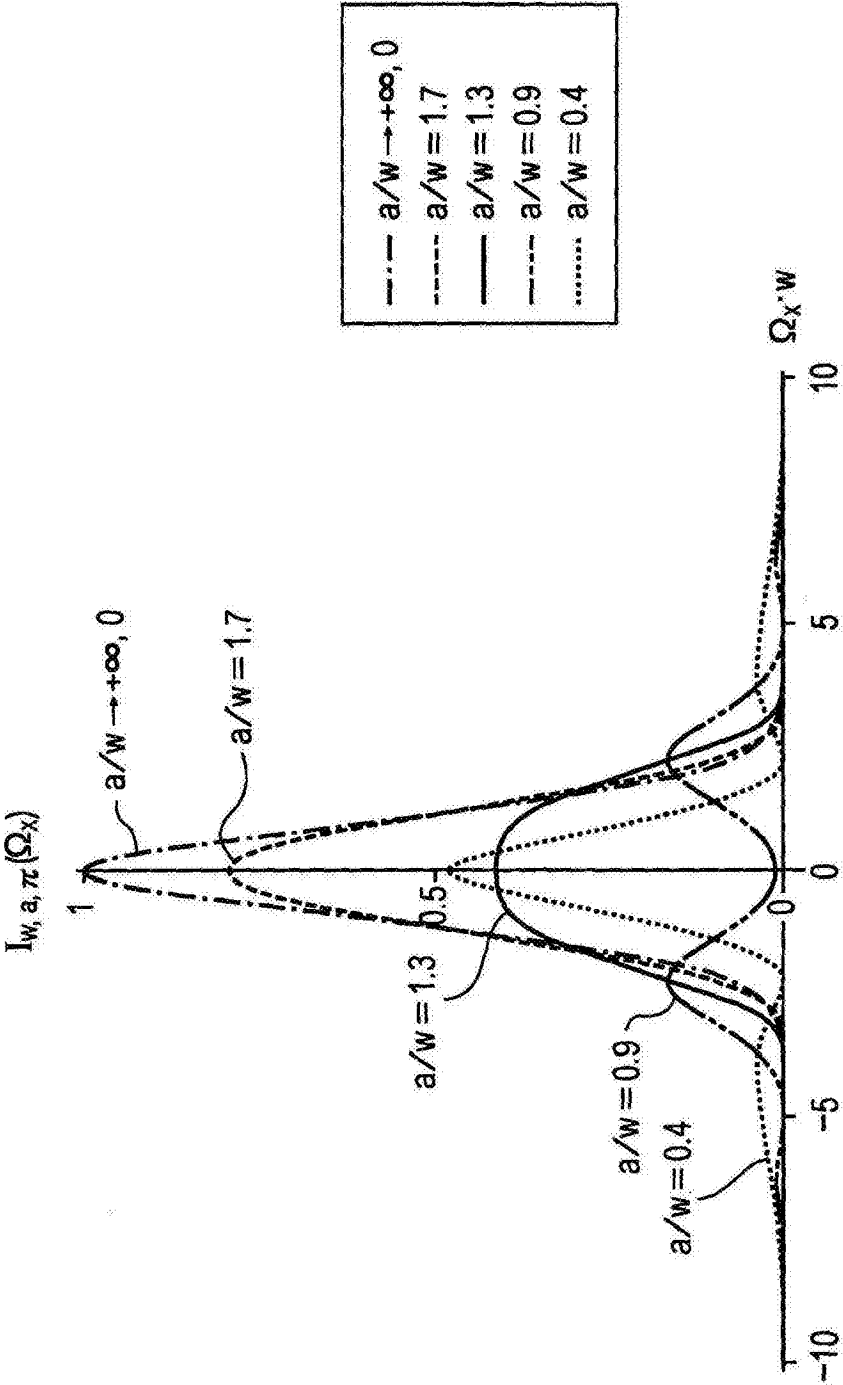


图6

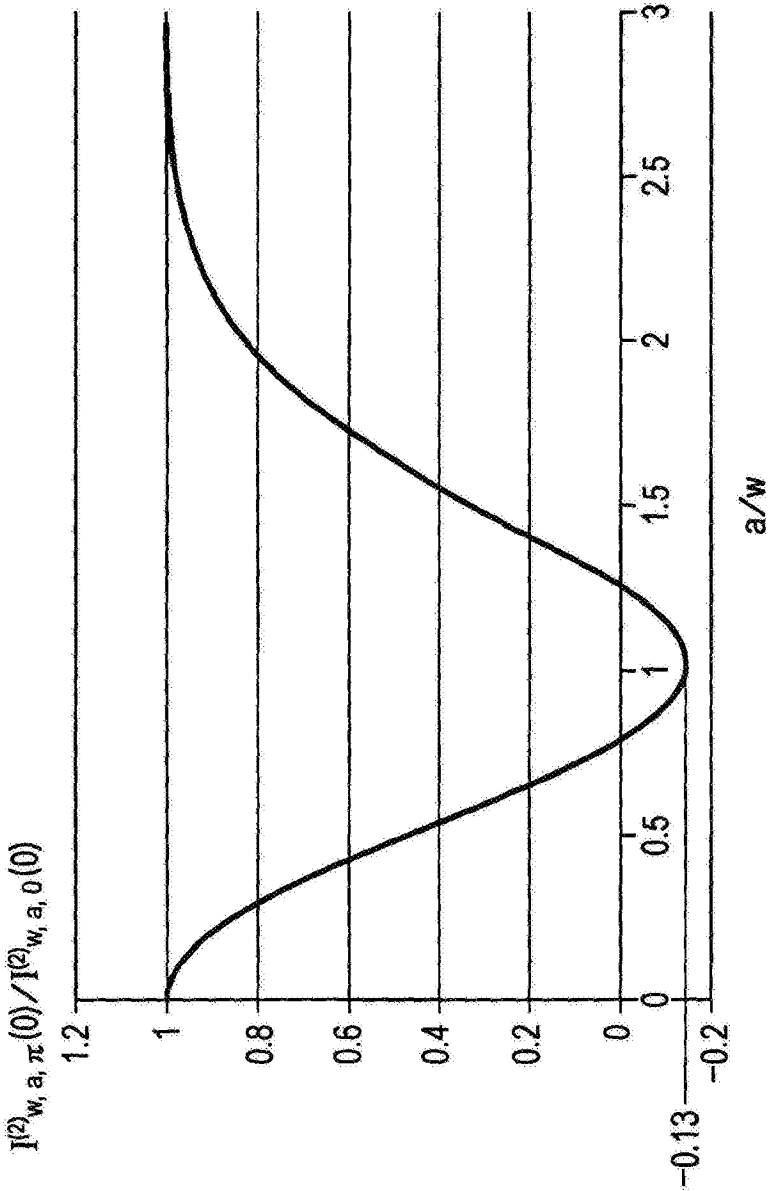


图7

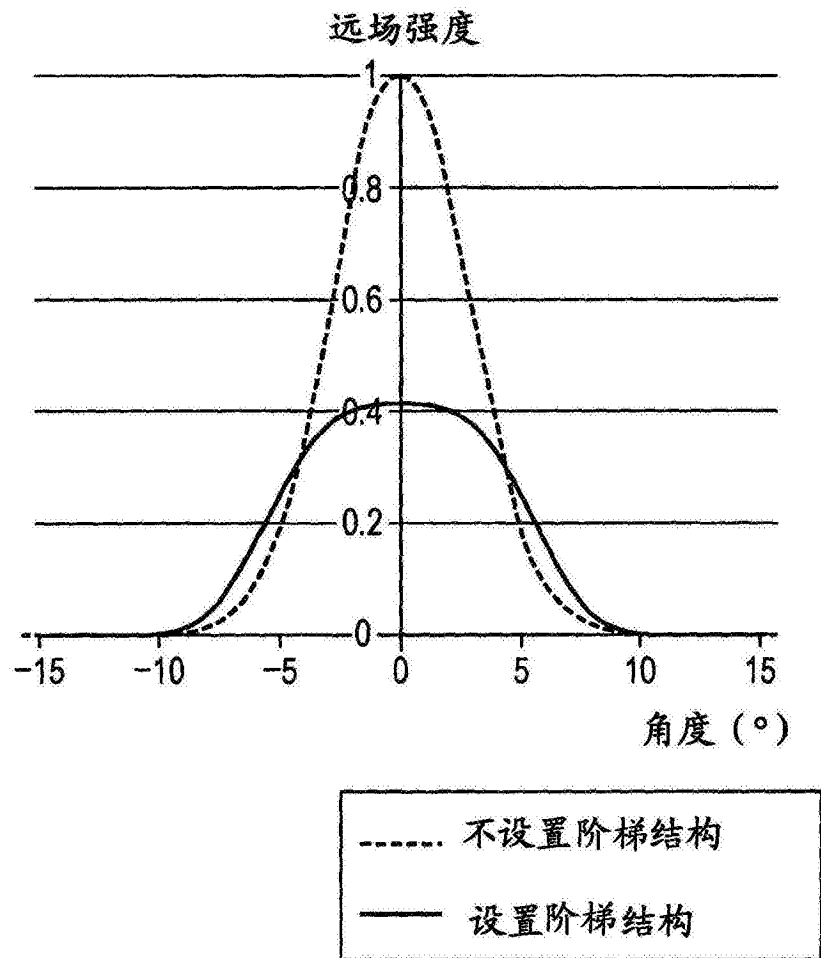


图8

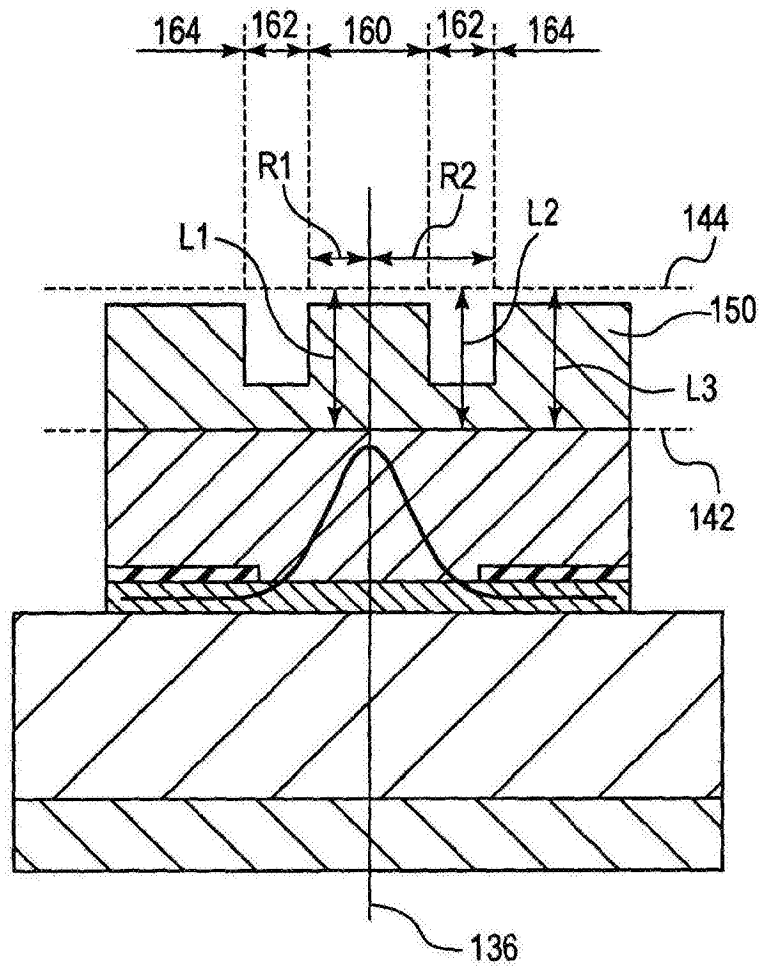


图9

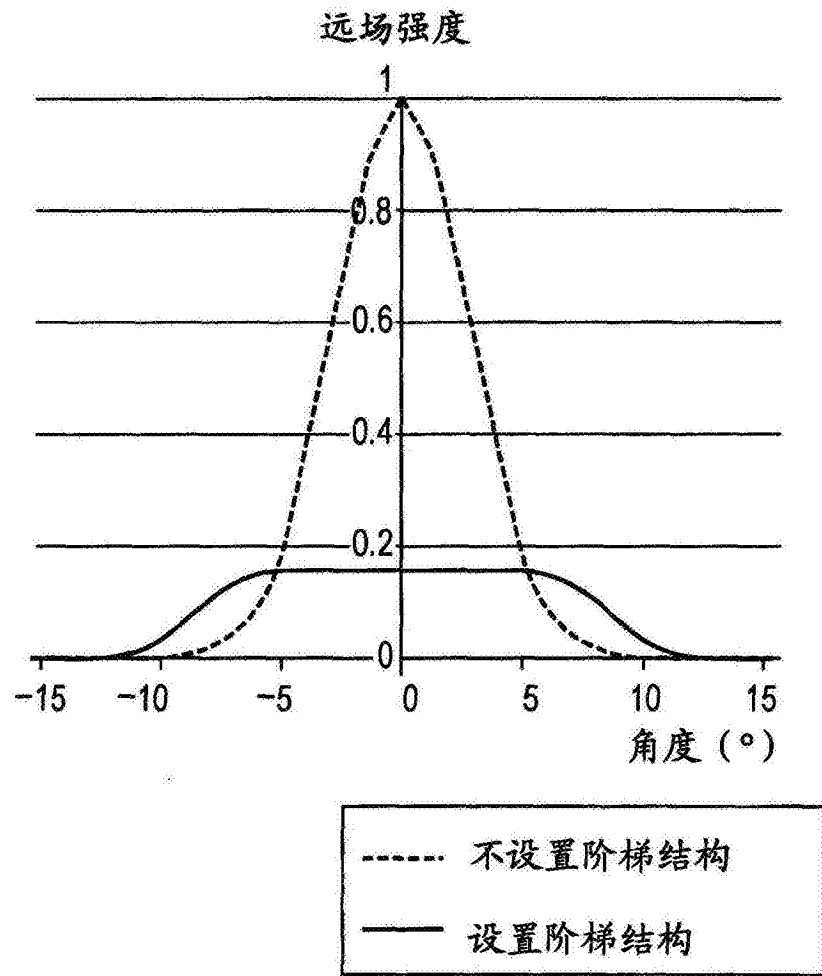


图10

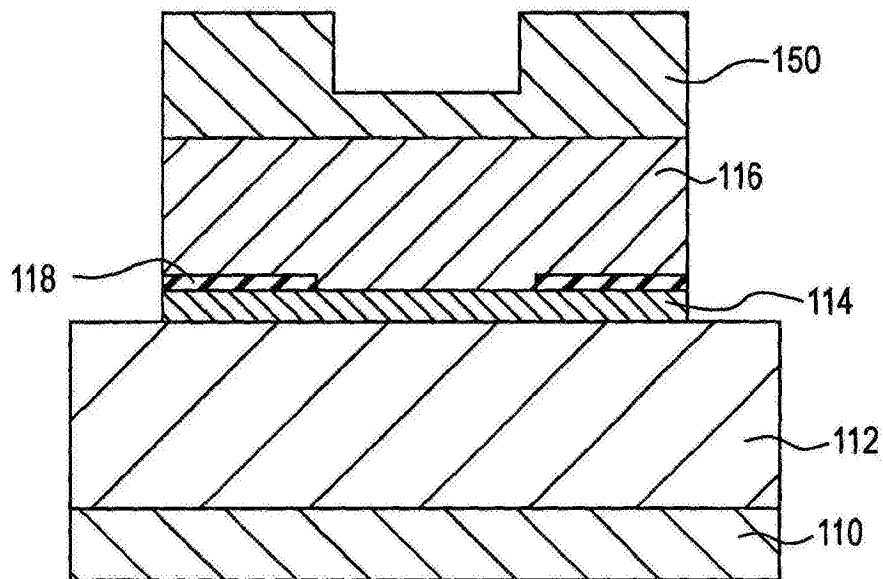


图11

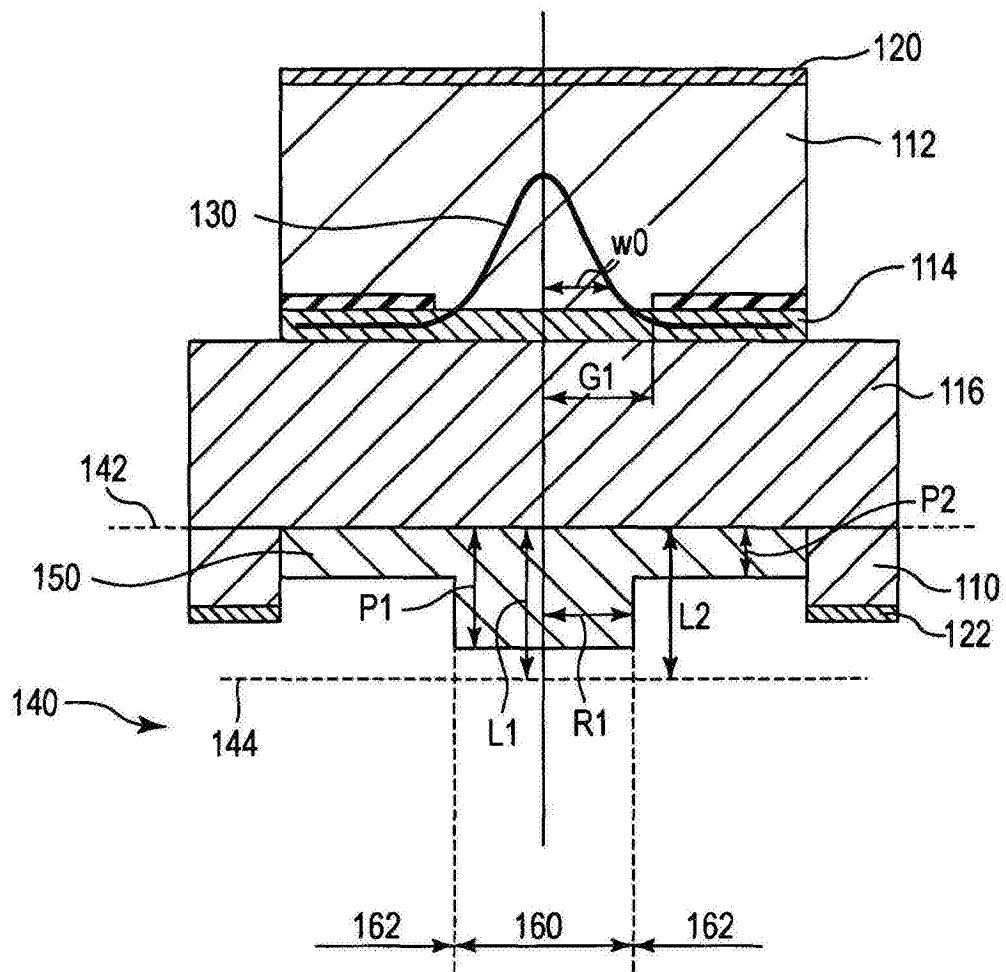


图12

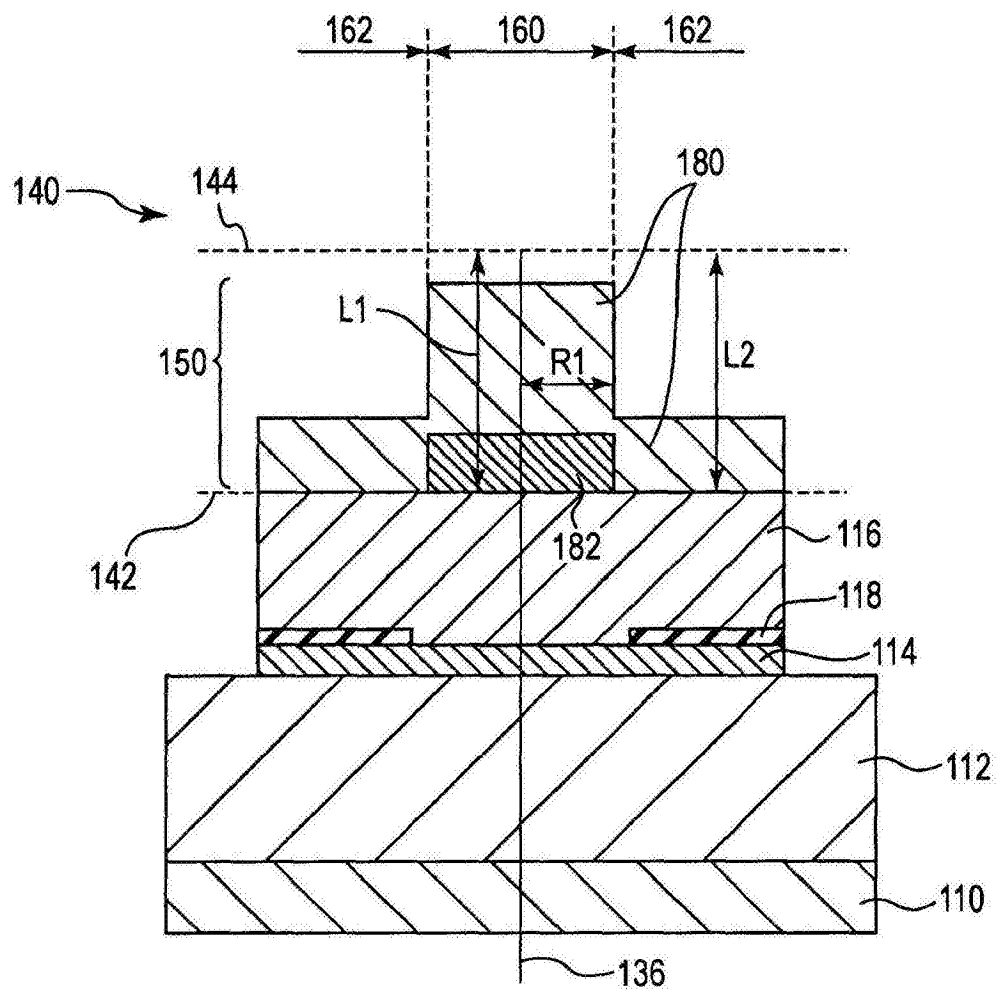


图13

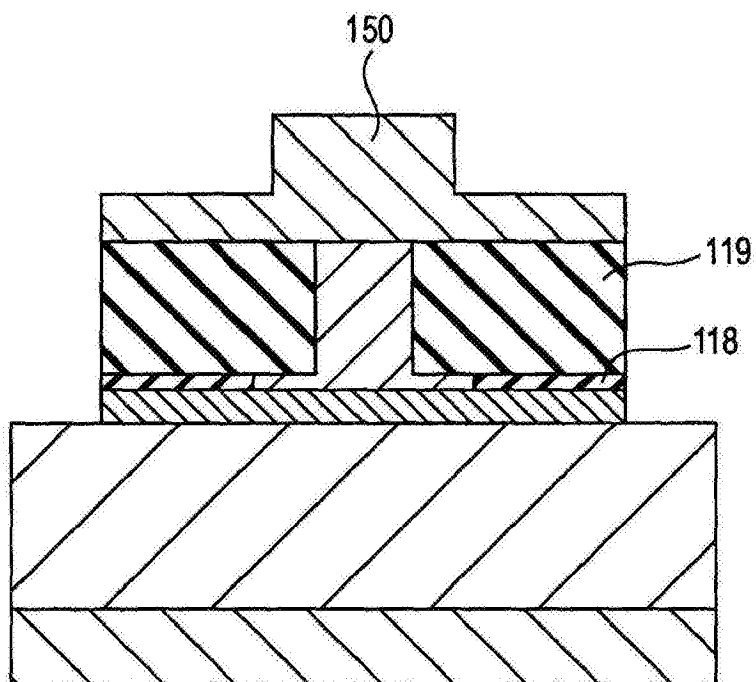


图14A

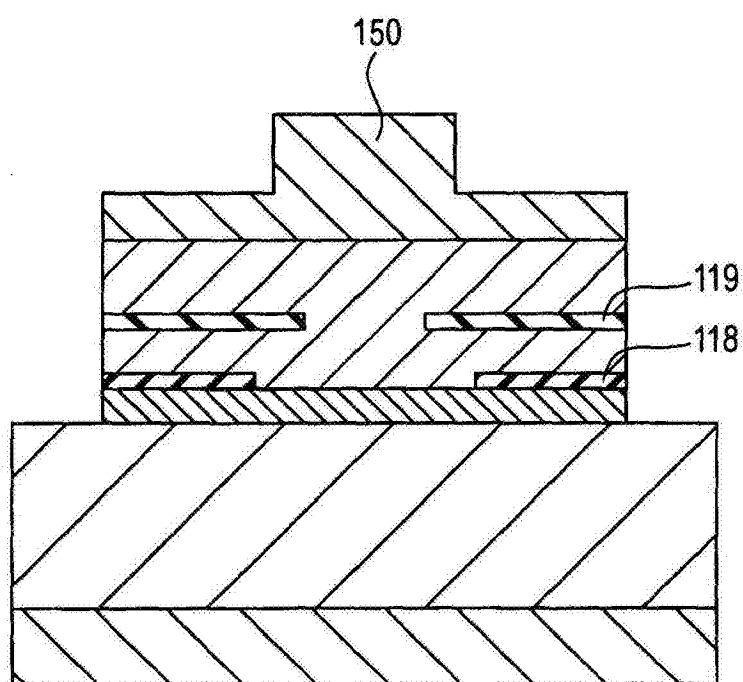


图14B

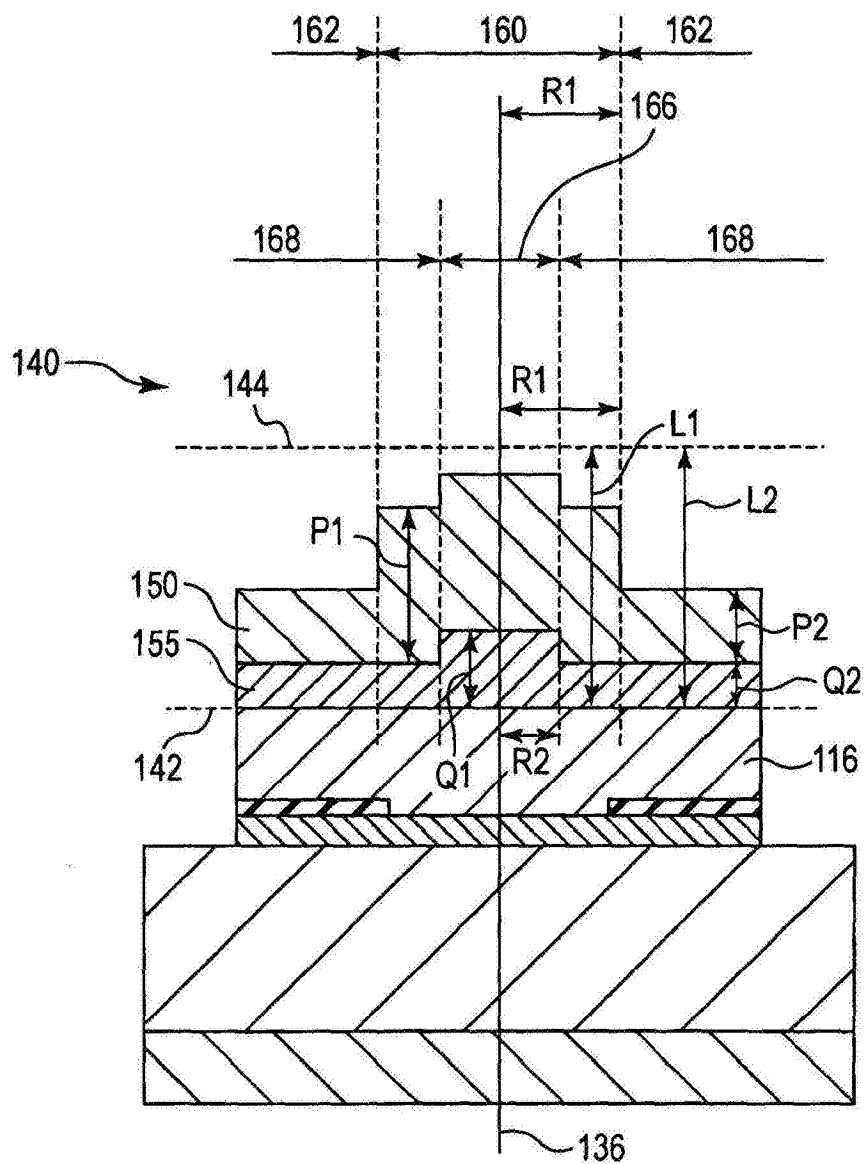


图15

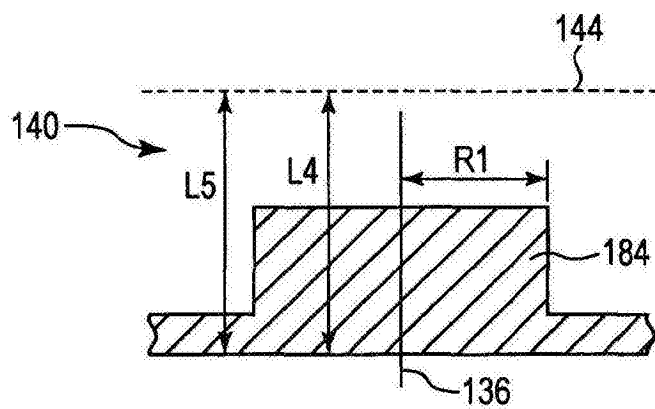


图16A

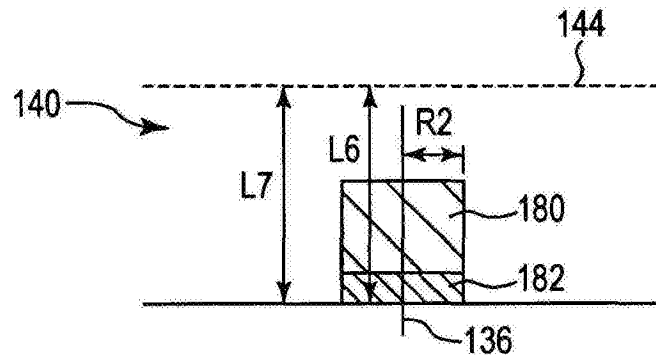


图16B

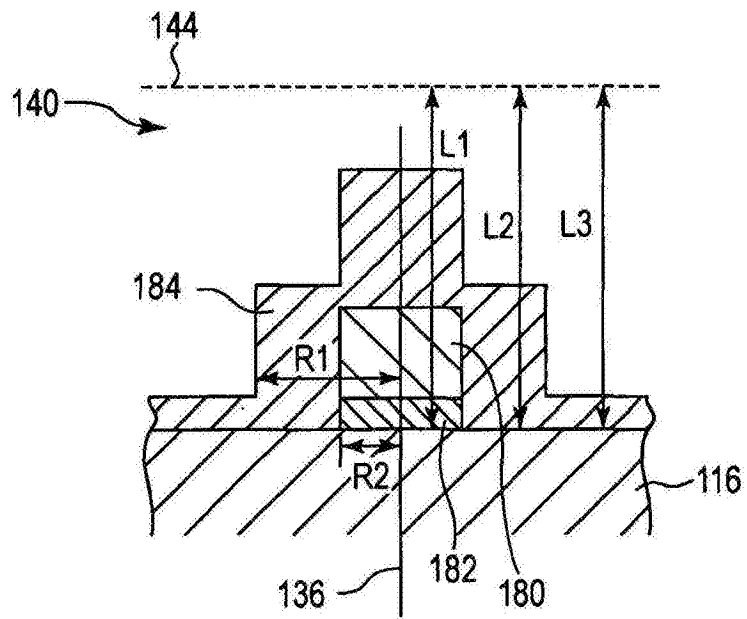


图16C

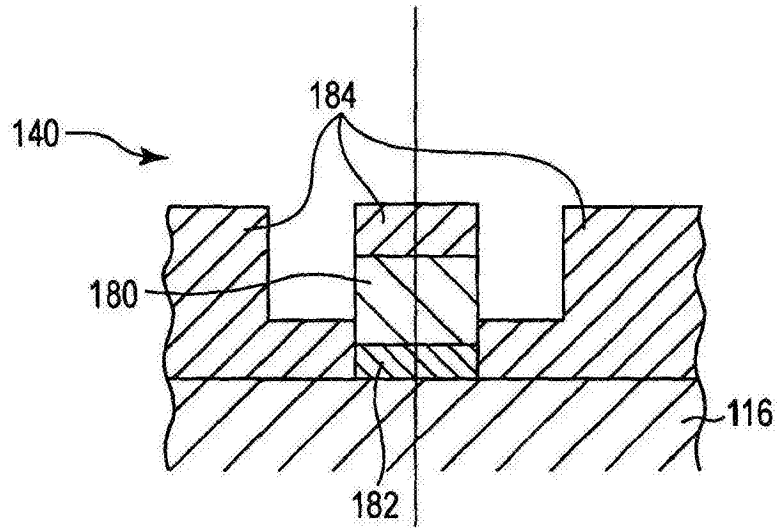


图17A

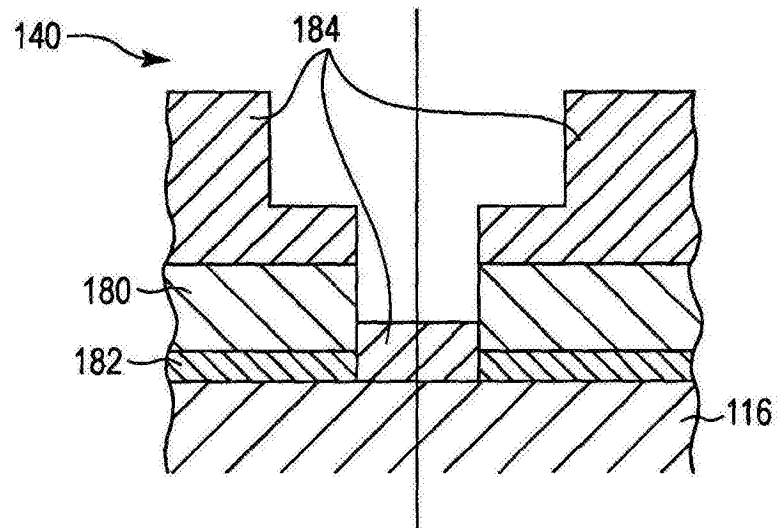


图17B

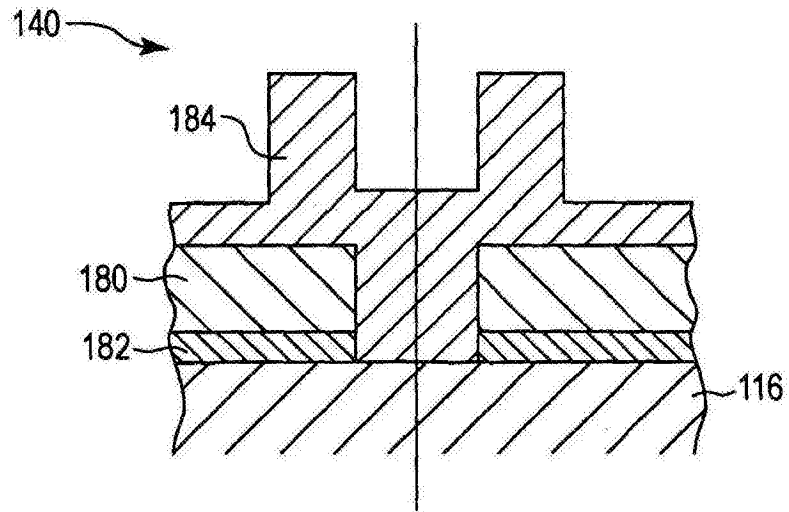


图17C

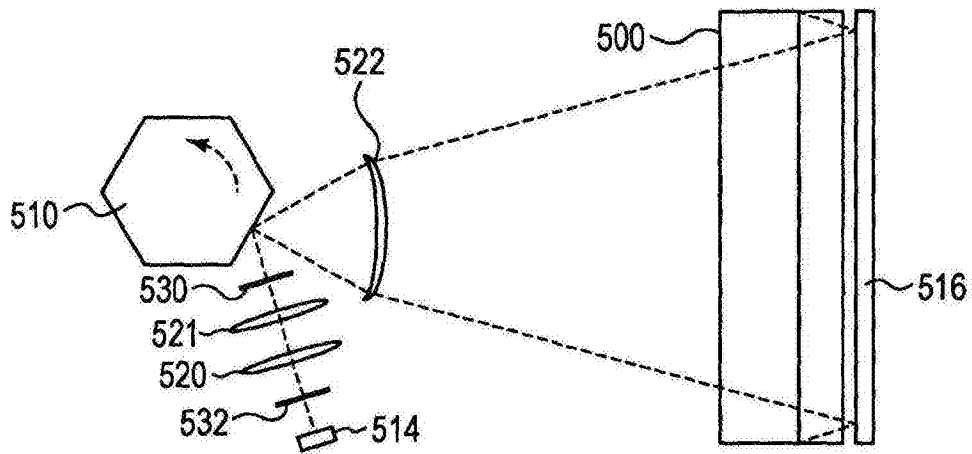


图18A

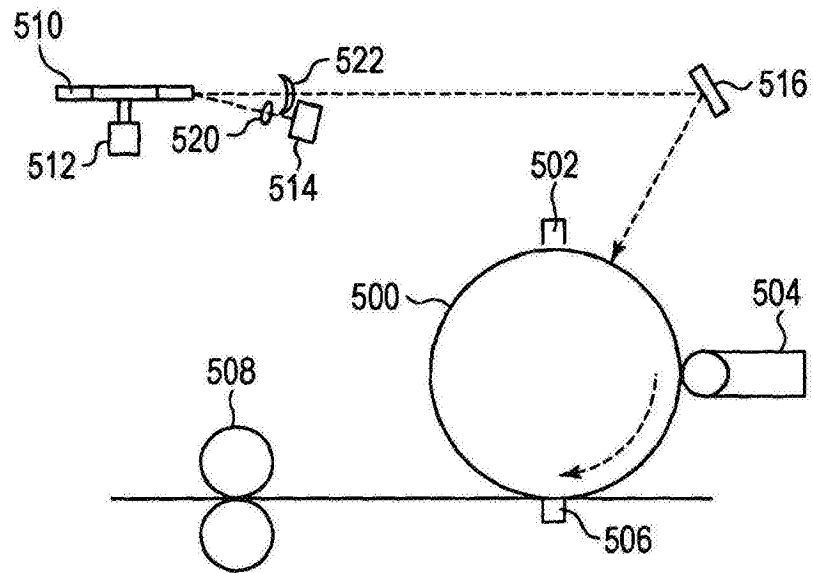


图18B

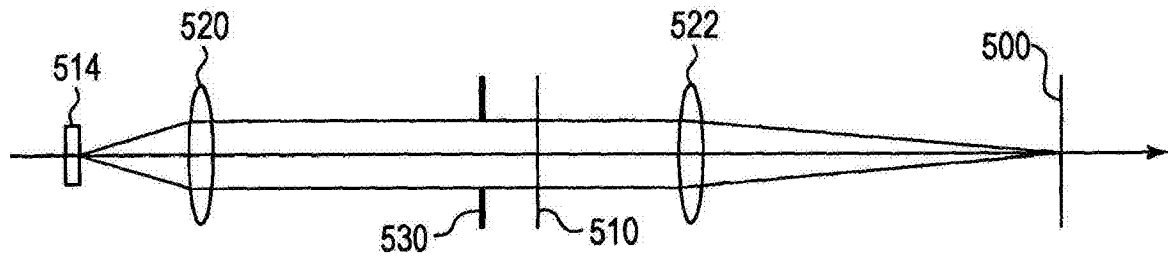


图19A

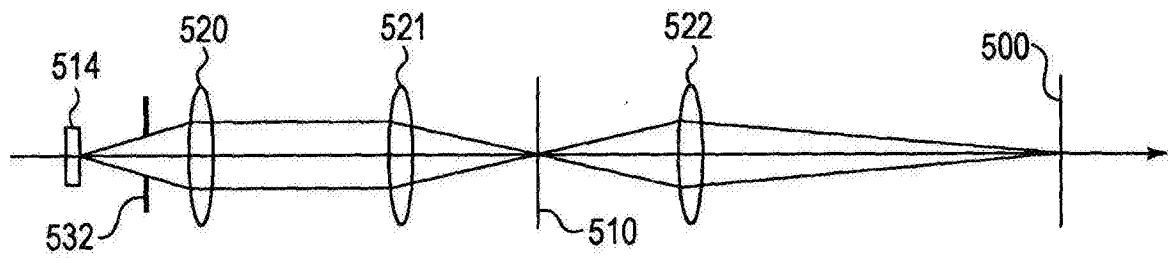


图19B

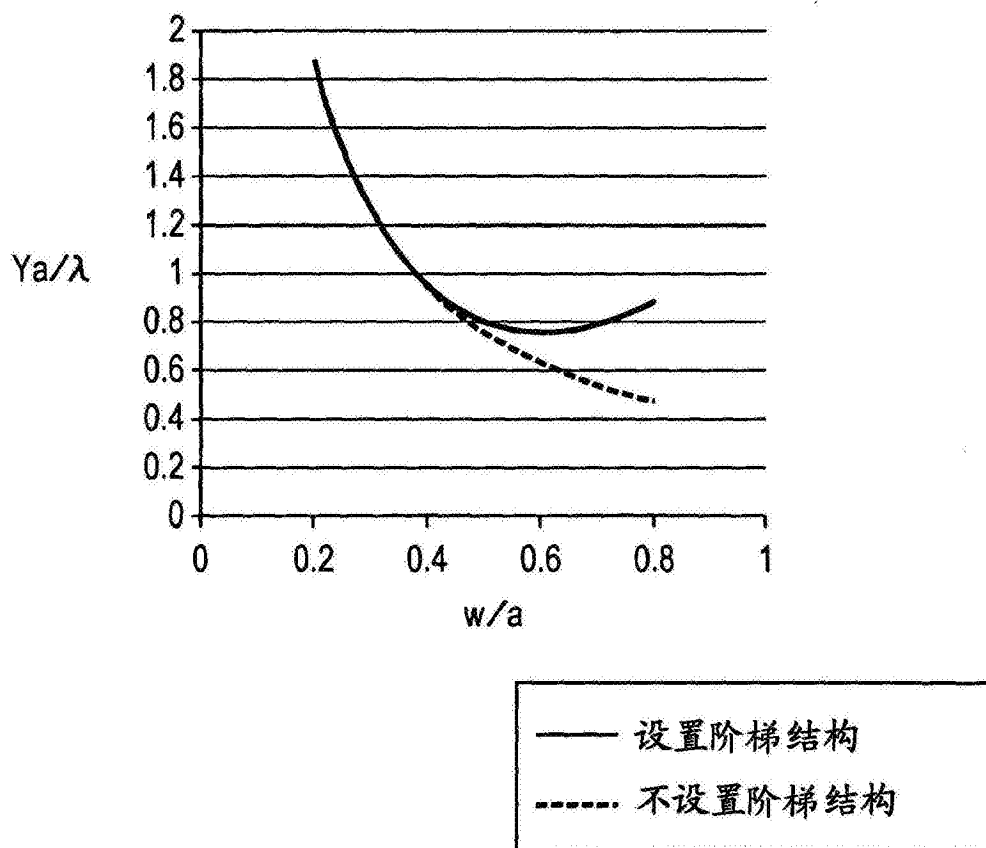


图20

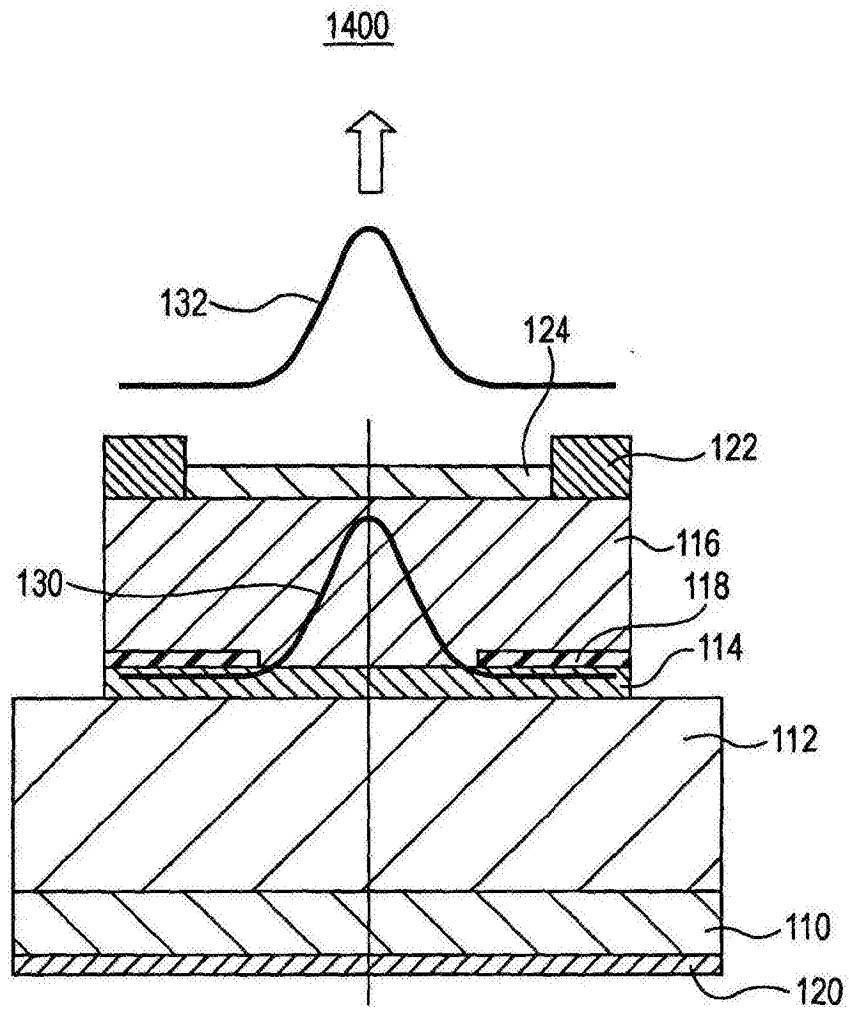


图21

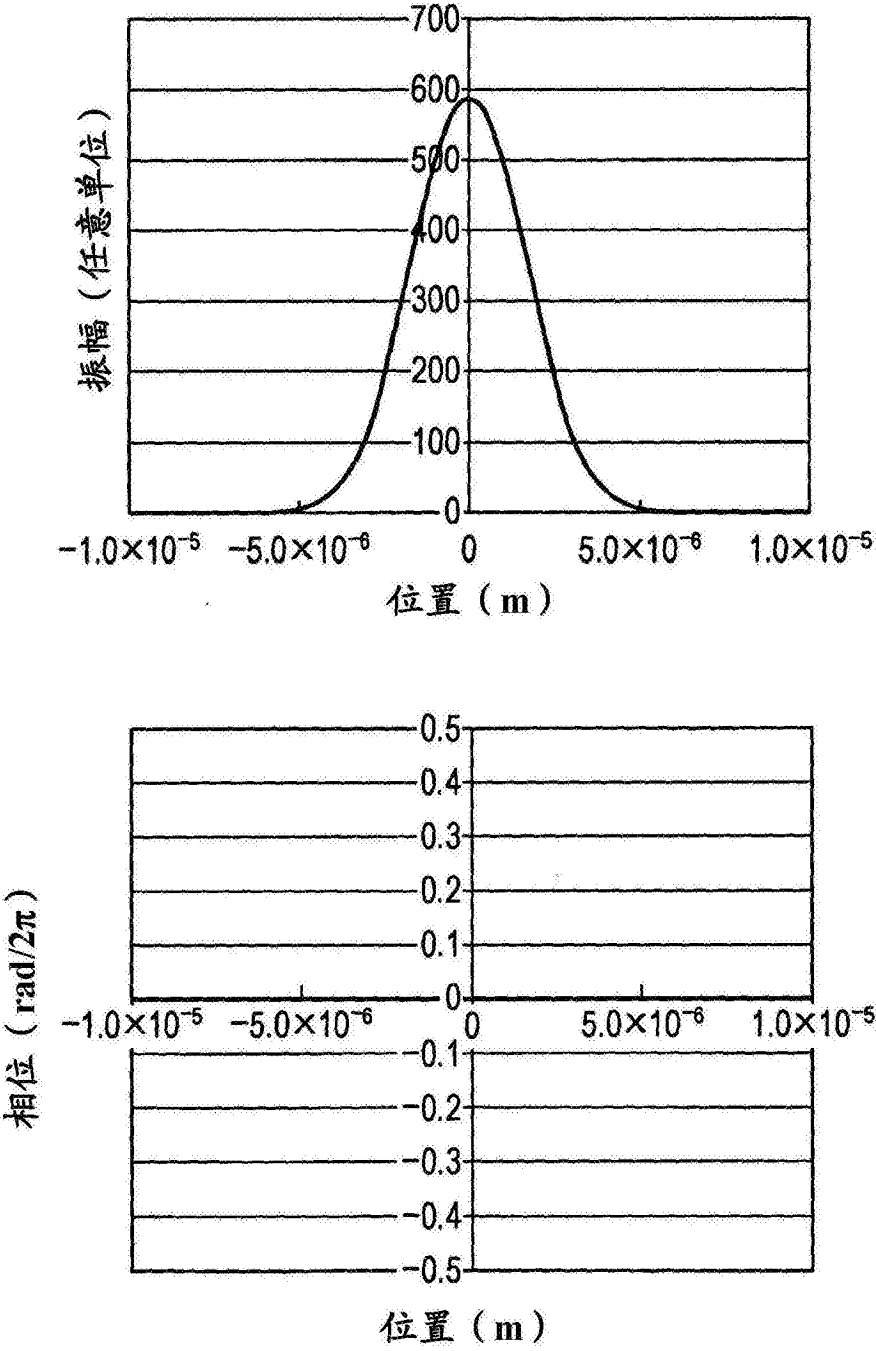


图22A

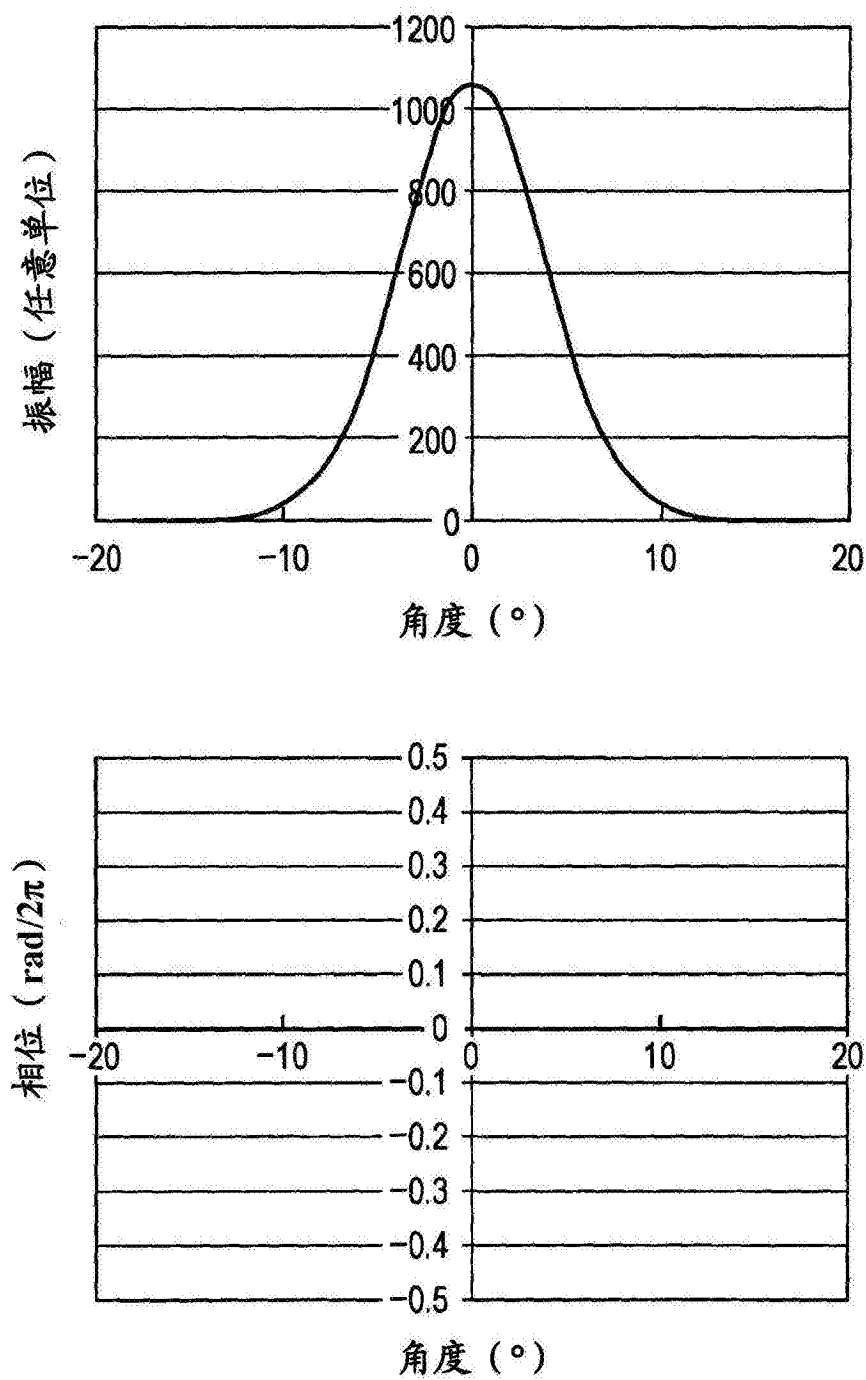


图22B

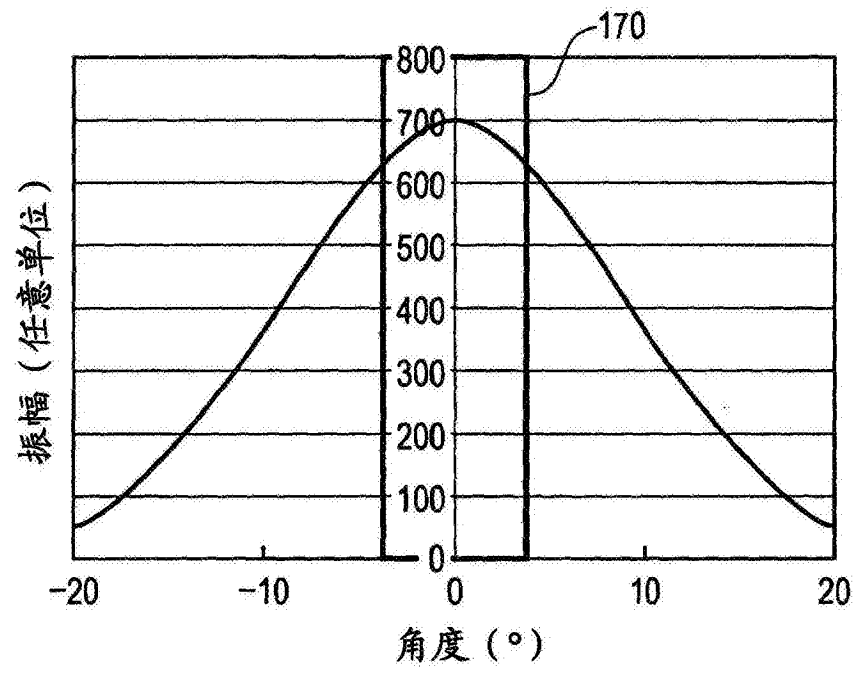


图23A

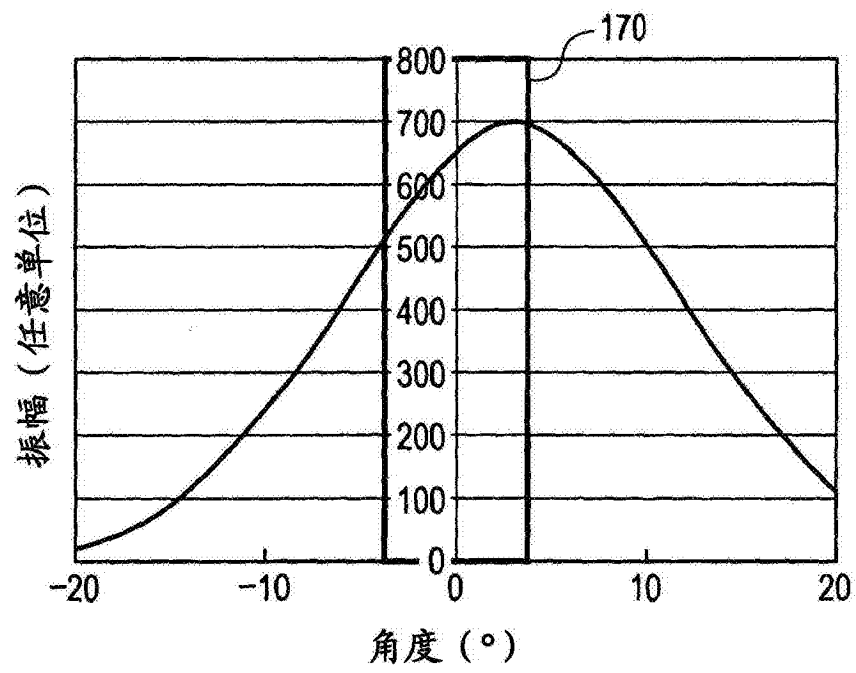


图23B

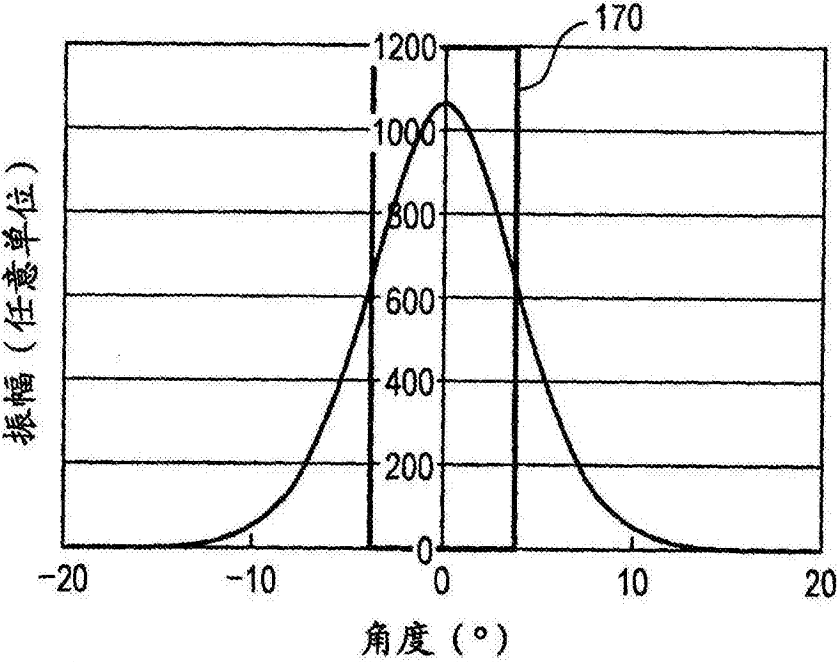


图23C

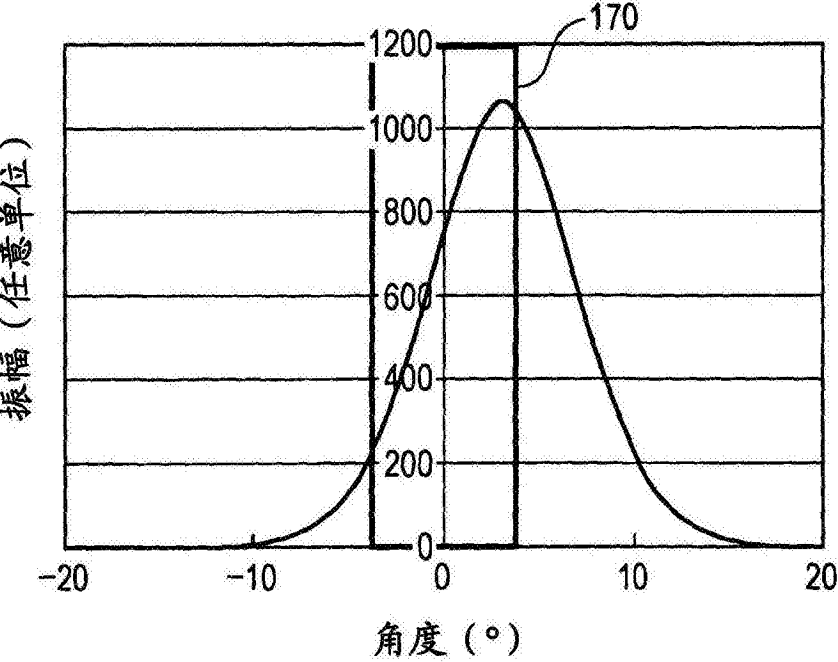


图23D