



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104885315 B

(45)授权公告日 2018.03.27

(21)申请号 201380067151.2

前田史贞 植田充纪 田中健二

(22)申请日 2013.10.23

(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司 11240

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104885315 A

代理人 田喜庆 吴孟秋

(43)申请公布日 2015.09.02

(51)Int.Cl.

H01S 5/14(2006.01)

(30)优先权数据

2012-285027 2012.12.27 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2015.06.19

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2013/006271 2013.10.23

(87)PCT国际申请的公布数据

W02014/103117 EN 2014.07.03

(73)专利权人 索尼公司

地址 日本东京

(72)发明人 藤田五郎 冈美智雄 吉田浩

(56)对比文件

CN 102570298 A, 2012.07.11,

CN 102570298 A, 2012.07.11,

US 4942583 A, 1990.07.17,

US 4530574 A, 1985.07.23,

CN 201126923 Y, 2008.10.01,

CN 102273030 A, 2011.12.07,

CN 2924866 Y, 2007.07.18,

CN 102025102 A, 2011.04.20,

CN 101604818 A, 2009.12.16,

审查员 林玉华

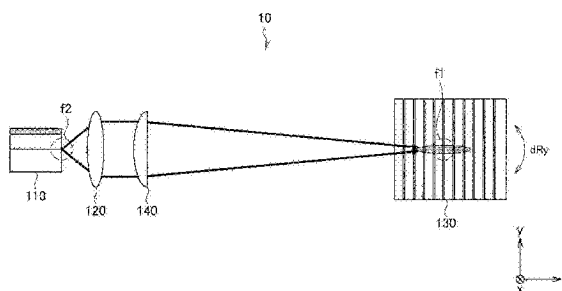
权利要求书2页 说明书22页 附图23页

(54)发明名称

激光发射装置和主振荡器功率放大器系统

(57)摘要

提供了一种激光发射装置,该装置包括:半导体激光器;光栅,相对于半导体激光器被定位成在其之间形成谐振器结构;以及光学系统,定位在半导体激光器和光栅之间。光学系统被配置和布置为使得共焦点形成在半导体激光器的发光表面和光栅的反射表面上。



1. 一种激光发射装置,包括:

半导体激光器;

光栅,相对于所述半导体激光器定位以在所述光栅和所述半导体激光器之间形成谐振器结构;以及

光学系统,定位在所述半导体激光和所述光栅之间,所述光学系统被配置和布置为使得共焦点形成在所述半导体激光器的发光表面和所述光栅的反射表面上;

其中,所述光学系统包括中继透镜;

其中,所述中继透镜包括多个球面透镜;

其中,所述球面透镜被配置成使得仅一个所述球面透镜在与从所述半导体激光器发射的光的光轴垂直的任意方向上的横向移动改变所述中继透镜和所述光栅之间的光轴相对于所发射的光的光轴的倾斜角度。

2. 根据权利要求1所述的激光发射装置,其中,所述光学系统包括圆柱形透镜。

3. 根据权利要求2所述的激光发射装置,其中,所述圆柱形透镜在所述透镜的至少一个表面上具有圆柱形表面,所述圆柱形表面具有第一表面,所述第一表面在第一方向上具有曲率但在正交于所述第一方向上的第二方向上不具有曲率。

4. 根据权利要求3所述的激光发射装置,其中,所述圆柱形透镜的所述第一表面在所述第一方向上用作球面透镜并且在所述第二方向上用作平面透镜。

5. 根据权利要求2所述的激光发射装置,其中,所述圆柱形透镜被配置为在第一方向上压缩从所述半导体激光器发射的光的光斑直径,并且在正交于所述第一方向的第二方向上维持从所述半导体激光器发射的光的所述光斑直径。

6. 根据权利要求1所述的激光发射装置,其中,所述半导体激光器是包括形成在p型半导体熔覆层和n型半导体熔覆层之间的有源层的激光二极管。

7. 根据权利要求6所述的激光发射装置,其中,所述半导体激光器包括发光侧和与所述发光侧相对的后侧,所述后侧的至少一部分包括反射涂层。

8. 根据权利要求7所述的激光发射装置,其中,所述半导体激光器的所述发光侧的至少一部分包括抗反射涂层。

9. 根据权利要求1所述的激光发射装置,进一步包括设置在所述半导体激光器和所述光学系统之间的准直透镜,所述准直透镜被配置为将从所述半导体激光器发射的光转换成平行的光。

10. 根据权利要求1所述的激光发射装置,其中,所述半导体激光器发射脉冲激光,并且其中,所述球面透镜被配置成使得沿着从所述半导体激光器发射的光的光轴的移动改变所述脉冲激光的色散特性。

11. 根据权利要求2所述的激光发射装置,其中,所述球面透镜和所述圆柱形透镜被配置和布置为使得所发射的光的共焦点位于所述光学系统与所述光栅的所述反射表面之间。

12. 权利要求2所述的激光发射装置,其中,所述球面透镜定位在所述圆柱形透镜与所述光栅之间。

13. 权利要求2所述的激光发射装置,其中,所述圆柱形透镜定位在所述球面透镜与所述光栅之间。

14. 一种主振荡器功率放大器系统,包括:

激光发射装置,包括

半导体激光器,

光栅,相对于所述半导体激光器定位以在所述光栅和所述半导体激光器之间形成谐振器结构,以及

第一光学系统,定位在所述半导体激光器和所述光栅之间,所述第一光学系统被配置和布置成使得共焦点形成在所述半导体激光器的发光表面和所述光栅的反射表面上;以及

半导体光学放大器;

其中,所述第一光学系统包括中继透镜;

其中,所述中继透镜包括多个球面透镜;

其中,所述球面透镜被配置成使得仅一个所述球面透镜在与从所述半导体激光器发射的光的光轴垂直的任意方向上的横向移动改变所述中继透镜和所述光栅之间的光轴相对于所发射的光的光轴的倾斜角度。

15. 根据权利要求14所述的主振荡器功率放大器系统,进一步包括光学地定位在所述激光发射装置的所述光栅和所述半导体光学放大器之间的隔离器和反射镜。

16. 根据权利要求15所述的主振荡器功率放大器系统,其中,所述第一光学系统包括第一圆柱形透镜。

17. 根据权利要求16所述的主振荡器功率放大器系统,进一步包括定位在所述半导体光学放大器和所述反射镜之间的第二光学系统,所述第二光学系统包括第二圆柱形透镜。

18. 根据权利要求17所述的主振荡器功率放大器系统,其中,所述第一圆柱形透镜被设置为与所述第二圆柱形透镜对称,所述光栅、所述隔离器、和所述反射镜插入在所述第一光学系统和所述第二光学系统之间。

激光发射装置和主振荡器功率放大器系统

技术领域

[0001] 本公开涉及激光发射装置和用于制造激光发射装置的方法。

[0002] 本公开包含与在2012年12月27日提交至日本专利局的日本在先专利申请JP 2012-285027所公开的主题相关的主题,将其全部内容通过引用结合于此。

背景技术

[0003] 在外部谐振器激光发射装置中,谐振器结构形成在激光光源和外部反射镜之间。作为外部谐振器,Littrow外部谐振器和Littman外部谐振器是已知的,在每个中光栅(衍射光栅)用作外部反射镜。

[0004] 在Littrow外部谐振器和Littman外部谐振器中,从激光光源发射的光由光栅反射并且在光栅和激光光源之间谐振,使得形成谐振器结构。应注意,入射在光栅上的光根据光栅的结构根据波长以不同的角度衍射。在此,关于入射光的衍射条件的光栅的结构实例包括反射表面上的凹槽之间的间隔(光栅间隔),相对于激光光源的布置角度(入射光至光栅的入射角)等。因此,通过调整关于衍射条件的光栅的这样的结构并且控制期望的波长带的光的衍射角,可以选择返回至激光光源的光的波长带。以这种方式,在使用光栅的外部谐振器激光发射装置中,可控制将被谐振的光的波长带。

[0005] 另一方面,在使用光栅的外部谐振器激光发射装置中,当将被谐振的光的波长通过根据波长的改变来改变光栅的结构而改变时,同样改变了来自外部谐振器激光发射装置的输出光的光轴的方向。因此,在使用光栅的外部谐振器激光发射装置中,已提出根据波长选择校正光轴的改变的技术。

[0006] 例如,专利文献1公开了以下技术,其中光轴通过改变容积式衍射光栅的厚度不根据波长的改变偏移(从激光光源至容积式衍射光栅的发射光的入射方向的宽度)。此外,例如,专利文献2和专利文献3公开了以下技术,其中增加了选择波长的自由度并且通过进一步提供激光光源和光栅之间或者光栅的后部的棱镜校正光轴的偏移。

[0007] [引用列表]

[0008] [专利文献]

[0009] PTL 1:JP 2008-192902A

[0010] PTL 2:JP 2008-071798A

[0011] PTL 3:JP 2005-322813A

发明内容

[0012] 技术问题

[0013] 在此,在激光光源和光栅之间形成的谐振器结构中,其谐振效率和被谐振的光的波长主要取决于激光光源和光栅之间的相对位置关系。在此,谐振效率由,例如,来自激光光源的发射光由光栅反射的光和返回至激光光源的光的比率表示。因此,即使当光栅相对于激光光源的布置角度仅稍微改变,由光栅反射的光和返回至激光光源的光的比率可能减

小并且谐振效率可能降低。谐振效率的这种降低使得来自激光发射装置的最终输出光的强度(能量)减小。

[0014] 另一方面,激光光源和光栅之间的相对位置关系可能由,例如,周围温度的改变、装置本身中产生的机械扭曲等而无意地改变。激光光源和光栅之间的相对位置关系的这种改变会使得输出光的波长或者强度改变,并且因此,不能稳定地获得期望的输出,并且会降低装置的可靠性。在以上专利文献1至3中提出的技术针对这样的可靠性的降低不一定有效。

[0015] 考虑到以上所述,已需要激光发射装置确保选择波长的自由度和稳定输出。因此,本公开提出新颖的和改善的激光发射装置,通过该装置可获得更稳定的输出和制造激光发射装置的方法。

[0016] 问题的解决方案

[0017] 根据实施方式,提供了一种激光发射装置,该装置包括:半导体激光器;光栅,相对于半导体激光器定位成在其之间形成谐振器结构;以及光学系统,布置在半导体激光器和光栅之间。光学系统被配置和布置为在半导体激光器的发光表面和光栅的反射表面上形成共焦点。

[0018] 根据另一实施方式,提供了主振荡器功率放大器系统,该系统包括激光发射装置和半导体光放大器。激光发射装置包括:半导体激光器;光栅,相对于半导体激光器定位成在其之间形成谐振器结构;以及光学系统,位于半导体激光器和光栅之间。光学系统被配置和布置为在半导体激光器的发光表面和光栅的反射表面上形成共焦点。

[0019] 发明的有利效果

[0020] 根据本公开的实施方式,如上所述,可以获得更稳定的输出。

附图说明

[0021] [图1A]图1A是示出常规Littrow外部谐振器激光发射装置的结构实例的顶视图;

[0022] [图1B]图1B是示出常规Littrow外部谐振器激光发射装置的结构实例的侧视图;

[0023] [图2]图2是示出用作Littrow外部谐振器激光发射装置的激光光源的常规激光二极管的结构实例的示意图;

[0024] [图3A]图3A是示出根据本公开的第一实施方式的激光发射装置的结构实例的顶视图;

[0025] [图3B]图3B是示出根据本公开的第一实施方式的激光发射装置的结构实例的侧视图;

[0026] [图4]图4是示出用作根据本公开的第一实施方式的激光发射装置的激光光源的激光二极管的结构实例的示意图;

[0027] [图5A]图5A是示出来自根据本公开的第一实施方式的激光发射装置和常规Littrow外部谐振器激光发射装置的输出光的强度的曲线图;

[0028] [图5B]图5B是示出根据本公开的第一实施方式的激光发射装置和常规Littrow外部谐振器激光发射装置的激光发射装置的SA部分的光密度的曲线图;

[0029] [图6A]图6A是示出球面透镜被引进为中继透镜的激光发射装置的结构实例的顶视图;

- [0030] [图6B]图6B是示出球面透镜被引进为中继透镜的激光发射装置的结构实例的侧视图；
- [0031] [图7]图7是用于说明激光发射装置中中继透镜对光轴偏移的校正效果的视图；
- [0032] [图8]图8是示出激光发射装置中的中继透镜的位置在z轴方向上改变的状态的顶视图；
- [0033] [图9A]图9A是示出来自激光发射装置的输出光的光谱的曲线图；
- [0034] [图9B]图9B是示出来自激光发射装置的输出光的光谱的曲线图；
- [0035] [图10]图10是示出激光发射装置中的中继透镜的位置在z轴方向上改变的状态的侧视图；
- [0036] [图11]图11是示出激光发射装置的锁模振荡阈值的改变的曲线图；
- [0037] [图12A]图12A是示出根据本公开的第二实施方式的激光发射装置的结构实例的顶视图；
- [0038] [图12B]图12B是示出根据本公开的第二实施方式的激光发射装置的结构实例的侧视图；
- [0039] [图13A]图13A是示出来自根据本公开的第二实施方式的激光发射装置的输出光的光谱的曲线图；
- [0040] [图13B]图13B是示出来自根据本公开的第二实施方式的激光发射装置的输出光的光谱的曲线图；
- [0041] [图13C]图13C是示出来自根据本公开的第二实施方式的激光发射装置的输出光的光谱的曲线图；
- [0042] [图14]图14是示出根据本公开的第二实施方式的激光发射装置的锁模振荡阈值的改变的曲线图；
- [0043] [图15]图15是示出使用根据本公开的第二实施方式的激光发射装置的MOPA系统的结构实例的示意图；
- [0044] [图16A]图16A是示出根据本公开的第一实施方式和第二实施方式的变形例变形例的激光发射装置的结构实例的顶视图；
- [0045] [图16B]图16B是示出根据本公开的第一实施方式和第二实施方式的变形例的激光发射装置的结构实例的侧视图。

具体实施方式

[0046] 下文中,将参考附图详细描述本公开的优选实施方式。应注意,在该说明和附图中,具有基本相同功能和结构的结构元件利用相同的参考标号来表示,并且省略这些结构元件的重复说明。

[0047] 应该注意,描述将按以下顺序进行。

[0048] 1.对常规外部谐振器激光发射装置的讨论

[0049] 2.第一实施方式

[0050] 2-1.根据第一实施方式的激光发射装置的示意性结构

[0051] 2-2.根据第一实施方式的激光发射装置的效果

[0052] 3.第二实施方式

[0053] 3-1.对中继透镜的讨论

[0054] 3-2.根据第二实施方式的激光发射装置的示意性结构

[0055] 3-3.根据第二实施方式的激光发射装置的效果

[0056] 4.变形例

[0057] 4-1.对MOPA系统的应用

[0058] 4-2.透镜结构(透镜系统)的变形例

[0059] 5.结论

[0060] <1.对常规外部谐振器激光发射装置的讨论>

[0061] 在描述本公开的优选实施方式之前,为了使得本公开的内容更清楚,将首先描述常规外部谐振器激光发射装置的结构。以下将示出本发明人关于常规外部谐振器激光发射装置的论述的结果以及本发明人涉及的本公开的背景技术。

[0062] 将参考图1A、图1B、和图2描述具有常规的Littrow外部谐振器的外部谐振器激光发射装置(在下文中,也称为Littrow外部谐振器激光发射装置)的示意性结构。图1A是示出常规的Littrow外部谐振器激光发射装置的结构实例的顶视图。图1B是示出常规的Littrow外部谐振器激光发射装置的结构实例的侧视图。图2是示出用作Littrow外部谐振器激光发射装置的激光光源的常规半导体激光器(激光二极管)的结构实例的示意图。

[0063] 参照图1A和图1B,常规Littrow外部谐振器激光发射装置900包括半导体激光器(激光二极管)910、准直透镜(CL)920、和光栅(衍射光栅)930。如在图1A和图1B中示出的,从激光二极管910发射的光(发射光)穿过准直透镜920并入射在光栅930上。在此,在以下描述中,在Littrow外部谐振器激光发射装置900中从激光二极管910向着光栅930发出的光的方向被限定为z轴的正方向。就是说,z轴方向是激光二极管910和光栅930的光轴方向。此外,垂直于光轴方向并平行于设置在光栅的反射表面上的凹槽的延伸方向的方向被限定为y轴方向。此外,垂直于y轴和z轴的方向被限定为x轴方向。

[0064] 激光二极管910是Littrow外部谐振器激光发射装置900的激光光源的一个实例。激光二极管910具有有源层夹在p型半导体熔覆层(cladding layer)和n型半导体熔覆层之间的结构。光是通过有源层中的电子和空穴再结合生成的,并且谐振器结构使得光在预定区域内谐振。光以相同的相位放大并且有规律振荡,使得激光二极管910发出具有相同的相位的激光。随后将参考图2描述激光二极管910的具体结构。

[0065] 准直透镜920是,例如,设置在激光二极管910和光栅930之间的球面透镜或非球面透镜,并且使得来自激光二极管910的发射光与入射在光栅930上的光大体平行。应注意,准直透镜920的形状(例如,弯曲的)和材料(例如,折射率、反射率、或透射率)可以在没有任何特定限制的情况下根据来自激光二极管的发射光的波长等视情况而确定。

[0066] 光栅(衍射光栅)930将入射光衍射至预定方向。例如,光栅930是板状构件,并且多个凹槽以预定间隔形成在光栅930的表面上。如在图1A和图1B中示出的,光栅930被设置为使得在其上设置凹槽的表面(反射表面)以相对于光轴(z轴)(连接激光二极管910和光栅930)的预定角度倾斜地面向激光二极管910。

[0067] 如在图1A中示出的,光栅930被设置为相对于由x轴和z轴控制的平面(以下简称x-z平面)上的z轴成预定角度 R_x 倾斜。在此,x-z平面同样是由z轴和设置在光栅930上的凹槽的布置方向控制的平面。如在图1A中示出的,当来自激光二极管910的发射光入射到在其上

形成凹槽的光栅930的表面上时,根据光栅930的布置角度 R_x ,发射光的一级衍射光(first-order diffracted light)穿过准直透镜920并被返回至激光二极管910。此外,光栅930上的入射光的零级衍射光(zeroth-order diffracted light)以与入射角相同的角度被反射并被输出至外部。在此,如描述随后参考图2,与激光二极管910的发光表面相对的表面(位于 z 轴的负方向上的表面)有高反射(HR)涂层,使得返回至激光二极管910的光由HR涂层反射并且向着光栅930再次发出。以这种方式,在Littrow外部谐振器激光发射装置900中,在激光二极管910和光栅930之间形成谐振器结构。在此,一级衍射光的衍射角和波长以及光栅930上的凹槽之间的间隔满足布拉格定律($2d\sin(R) = nh$, d 是光栅930上的凹槽之间的间隔, h 是入射光的波长, R 是衍射角,并且 n 是整数)。因此,通过在考虑布拉格规律的情况下确定光栅930上的凹槽之间的间隔和布置角度 R_x ,可谐振期望的波长的光。此外,来自激光二极管910的发射光沿光栅930上的凹槽的布置方向以预定扩展(宽度)入射,使得确保作为一级衍射光返回至激光二极管910的光的波长。

[0068] 另一方面,如在图1B中示出的,光栅930被设置为使得由 y 轴和 z 轴控制的平面(以下简称 $y-z$ 平面)具有相对于 z 轴成预定角度 R_y 的倾斜。尽管在图1B中示出的实例中 $R_y = 0$ (Rad),但 R_y 被调整使得从光栅930返回的光可以入射在随后描述的激光二极管910的发光表面上的光斑915上(光发出的位置)并且谐振器的结合性可为最大,即,谐振效率可为最大。

[0069] 下面,将参考图2描述激光二极管910的常规结构。激光二极管910具有有源层911夹在 p 型熔覆层912和 n 型熔覆层之间的堆叠的层状结构。此外,在堆叠的层方向上的 p 型熔覆层912的顶面上,例如,设置条形电极914。通过将电压施加至电极914,电子被注入至有源层911并且电子和空穴之间的再结合在有源层911中被提高。然后,通过再结合产生的光从有源层911的端面上的光斑915发射至 z 轴的正方向。应注意,作为有源层911、 p 型熔覆层912、和 n 型熔覆层913的主要材料,可使用,例如,III至V半导体。在此,在以下描述中,如在图2中示出的, n 型熔覆层913、有源层911、和 p 型熔覆层912在激光二极管910中堆叠的方向在激光二极管910中被限定为 y 轴的正方向。 y 轴方向也称为竖直方向。此外,此外,在垂直于竖直方向的方向上(即, x 轴方向),当看光从激光二极管910发出的方向时左右方向的左方向被限定为 x 轴的正方向。此外, x 轴方向也称为水平方向。应注意,在图1A中示出的顶视图对应于从图2中的竖直方向之中的 y 轴的正方向看的视图,并且在图1B中示出的侧视图对应于从图2中的水平方向之中的 x 轴的负方向看的视图。以这种方式, n 型熔覆层913、有源层911、和 p 型熔覆层912在激光二极管910中堆叠的方向大体对应于 y 轴方向,即,设置在光栅930上的凹槽的延伸方向。

[0070] 此外,在激光二极管910的后表面(z 轴的负方向上的表面),至少对应于有源层911的端面的区域具有高反射(HR)涂层,并且在前表面(z 轴方向的正方向上的表面),即,发光表面,至少对应于有源层911的端面的区域具有抗反射(AR)涂层。如上所述,从激光二极管910发射的光的一级衍射光由光栅930返回至激光二极管910。返回至激光二极管910的光入射在有源层911上,由后表面上的HR涂层反射,并且再次向着光栅930发出。

[0071] 以这种方式,在Littrow外部谐振器激光发射装置900中,谐振器结构形成在其上形成凹槽的光栅930的表面(反射表面)和激光二极管910的后表面之间。为了实现这样的谐振器结构,来自光栅930的一级衍射光必须被返回至在图2中示出的激光二极管910的发光

表面中的有源层911的端面。当从光栅930返回入射在有源层911的端面上的光的比率由于某种原因减小时,谐振器结构中的谐振效率会降低。

[0072] 在此,将论述以下情况,其中激光二极管910、准直透镜920、和光栅930之间的相对位置关系在Littrow外部谐振器激光发射装置900中改变。在此,这样的相对位置关系的改变由光栅930的布置角度的预定角度的偏移量 dR_x 和 dR_y 表示。应注意, dR_x 指的是光栅930相对于x-y平面上的z轴的角度 R_x 的偏移量,如在图1A中示出的。还应注意, dR_y 指的是光栅930相对于y-z平面上的z轴的角度 R_y 的偏移量,如在图1B中示出的。

[0073] 首先,将考虑光栅930的布置角度从 R_x 偏移 dR_x 的情况。在这种情况下,因为来自激光二极管910的发射光的入射角相对于光栅930上的凹槽的布置方向改变,所以返回至激光二极管910的光的波长改变。此外,返回至激光二极管910的光的入射位置向x轴方向偏移。在此,如在图2中示出的,x轴方向是与激光二极管910的堆叠的层方向正交的方向,即,有源层910展开的方向,并且因此,即使当入射位置在x轴方向上稍微偏移时也可以保持谐振器结构。因此, dR_x 影响谐振的光的波长而不是谐振效率并且还影响来自Littrow外部谐振器激光发射装置900的输出光的波长。

[0074] 另一方面,将考虑以下情况,其中光栅930的布置角度从 R_y 偏移 dR_y 。在这种情况下,从光栅930返回至激光二极管910的光的入射位置向y轴方向偏移。在此,如在图2中示出的,y轴方向是激光二极管910的堆叠的层方向,并且因此,即使当入射位置仅稍微偏移时,返回的光可能不会入射在有源层911的端面上并且会降低谐振效率。因此, dR_y 主要影响谐振效率和来自Littrow外部谐振器激光发射装置900的输出光的强度。

[0075] 上面已参考图1A、图1B、和图2描述了常规的Littrow外部谐振器激光发射装置900的示意性结构。在这样的结构中,如上所述,光栅的倾斜角度的改变 dR_x 影响波长的选择,而倾斜角度的改变 dR_y 影响谐振效率(结合性)。具体地,因为激光二极管910的结构,所以即使 dR_y 的角度的微小改变也会使得谐振效率大大降低。

[0076] 另一方面,通常,装置的周围温度的改变,装置本身产生的机械扭曲等会使得装置中的每个结构构件之间的相对位置关系稍微改变。例如,装置本身或装置的周围温度的改变,会使得每个结构构件本身、支撑结构部件的底座和支撑构件等热膨胀或者热收缩。此外,由于装置的组合、老化等导致的机械扭曲会在物理上移动每个结构构件之间的相对位置关系。并且,在图1A和图1B中示出的Littrow外部谐振器激光发射装置900中,对于包括光源、透镜、和光栅的光学系统,光学相对位置关系会由于这样的温度的改变等而无意中改变。因此,当 R_x 或 R_y 改变时,期望的波长的光不能以期望的强度被输出,并且外部谐振器激光发射装置的可靠性会降低。应注意,在以上描述中,论述作为常规外部谐振器激光发射装置的实例的Littrow外部谐振器激光发射装置的结果,以上论述结果还应用于其他结构,只要外部谐振器激光发射装置使用光栅作为外部反射镜即可。例如,同样在外部谐振器激光发射装置具有Littman外部谐振器的情况下(在下文中也称为Littman外部谐振器激光发射装置),可靠性会如以上情况一样降低。

[0077] 考虑到以上所述,在论述具有更高的可靠性并确保选择波长的自由度的激光发射装置之后,本发明人已经得出以下外部谐振器激光发射装置以及用于制造外部谐振器激光发射装置的以下方法。在下文中,将详细地描述根据本公开的实施方式的外部谐振器激光发射装置和用于制造外部谐振器激光发射装置的优选实施方式。应注意,在以下描述中,通

过采用Littrow外部谐振器激光发射装置作为外部谐振器激光发射装置的实例来描述每个实施方式。然而,本公开不限于这个实例,并且可以应用于具有任何结构的外部谐振器激光发射装置,只要外部谐振器激光发射装置像Littman外部谐振器激光发射装置一样使用光栅作为外部反射镜即可。

[0078] <2.第一实施方式>

[0079] 首先,将描述本公开的第一实施方式。应注意,在以下描述中,外部谐振器激光发射装置也简称为激光发射装置,例如。

[0080] (2-1.根据第一实施方式的激光发射装置的示意性结构)

[0081] 首先,将参考图3A、图3B、和图4描述根据本公开的第一实施方式的外部谐振器激光发射装置的示意性结构。图3A是示出根据本公开的第一实施方式的激光发射装置的结构实例的顶视图。图3B是示出根据本公开的第一实施方式的激光发射装置的结构实例的侧视图。图4是示出用作根据本公开的第一实施方式的激光发射装置的激光光源的半导体激光器的结构实例的示意图。

[0082] 参照图3A和图3B,根据本公开的第一实施方式的激光发射装置10包括半导体激光器(激光二极管)110、准直透镜(CL)120、圆柱形透镜140、和光栅(衍射光栅)130。如在图3A和图3B中示出的,来自激光二极管110的发射光穿过准直透镜120和圆柱形透镜140,并且入射在光栅130上。

[0083] 以这种方式,根据第一实施方式的激光发射装置10的结构对应于圆柱形透镜140进一步设置在参考图1A和图1B描述的常规Littrow外部谐振器激光发射装置900中的准直透镜920的后面部分中的结构。应注意,示出坐标轴的x轴、y轴、和z轴,示出光栅130的布置角度的 R_x 和 R_y ,以及在图3A和图3B中的 dR_x 和 dR_y 以与图1A和图1B中的x轴、y轴、z轴、 R_x 、 R_y 、 dR_x 、和 dR_y 相似的方式限定,并且因此省去其详细说明。

[0084] 激光二极管110是Littrow外部谐振器激光发射装置10的激光光源(半导体激光器)的一个实例。激光二极管110具有有源层夹在p型半导体熔覆层和n型半导体熔覆层之间的结构。光是通过有源层中的电子和空穴再结合生成的,并且谐振器结构使得光在预定区域内谐振。光以相同的相位放大并且有规律振荡,使得激光二极管110发出具有相同相位的激光。随后将参考图4描述激光二极管110的具体结构。

[0085] 准直透镜120是,例如,设置在激光二极管110和光栅130之间的球面透镜或非球面透镜,并且使得来自激光二极管110的发射光成为大体的平行光。应注意,准直透镜120的形状(例如,弯曲的)和材料(例如,折射率、反射率、或透射率)可以在没有任何特定限制的情况下根据来自激光二极管130的发射光的波长等视情况而确定。

[0086] 圆柱形透镜140设置在激光二极管110和光栅130之间并且在准直透镜120的后面部分中。因此,如在图3A和图3B中示出的,由准直透镜120变成大体平行光的光入射在圆柱形透镜140上。

[0087] 在此,圆柱形透镜140是指至少在透镜的一个表面上具有圆柱形表面的透镜。在此,圆柱形表面是指在一个方向上具有曲率而在正交于该方向的另一个方向上不具有曲率的表面。在第一实施方式中,圆柱形透镜140具有圆柱被沿着平行于轴(穿过圆柱中彼此面向的两个表面上的圆形的中心的直线)的表面切割的形状。利用这样的形状,圆柱形透镜140具有与具有曲率的方向上的球面透镜相似功能,并且具有与在不具有曲率的方向上的

平面透镜相似的功能。

[0088] 如在图3A和图3B中示出的,在第一实施方式中,圆柱形透镜140被设置为使得圆柱形表面面向z轴的负方向。此外,圆柱形透镜140被设置为用作x-y平面上的平面透镜,并且用作y-z平面上的球面透镜。随后将详细描述圆柱形透镜140的功能。

[0089] 光栅(衍射光栅)130将入射光衍射至预定方向。例如,光栅130是板状构件,并且多个凹槽以预定间隔形成在光栅130的表面上。如在图3A和图3B中示出的,光栅130被设置为在其上设置凹槽的表面(反射表面)以相对于连接激光二极管110和光栅130的光轴(z轴)成预定角度倾斜地面向激光二极管110。

[0090] 如在图3A中示出的,光栅130被设置为相对于x-z平面上的z轴成预定角度 R_x 倾斜。在此,x-z平面同样是由z轴和设置在光栅130上的凹槽的布置方向控制的平面。如在图3A中示出的,当来自激光二极管110的发射光入射在凹槽形成在其上的光栅130的表面上时,根据光栅130的布置角度 R_x ,发射光的一级衍射光穿过准直透镜120和圆柱形透镜140并且返回至激光二极管110。此外,光栅130上的入射光的零级衍射光以与入射角相同的角度被反射并被输出至外部。在此,如随后参考图4描述的,激光二极管110的后侧上(z轴的负方向上)的端面有高反射(HR)涂层,使得返回至激光二极管110的光由HR涂层反射并且再次朝向光栅130发射。以这种方式,在激光发射装置10中,在激光二极管110和光栅130之间形成谐振器结构。在此,一级衍射光的衍射角和波长以及光栅130上的凹槽之间的间隔满足布拉格定律($2d \sin(R) = nh$, d 是光栅130上的凹槽之间的间隔, h 是入射光的波长,并且 R 是衍射角)。因此,通过在考虑布拉格规律的情况下确定光栅130上的凹槽之间的间隔和布置角度 R_x ,可谐振期望的波长的光。

[0091] 另一方面,如在图3B中示出的,光栅130被设置为y-z平面具有相对于z轴成预定角度的倾斜。尽管在图3B中示出的实例中 $R_y = 0$ (Rad),但 R_y 被调整使得从光栅130返回的光可入射在随后描述的激光二极管110的发光表面上的光斑116上(光发射的位置)并且谐振器的结合性可为最大,即,谐振效率可为最大。

[0092] 在此,将详细描述第一实施方式中的圆柱形透镜140的功能。参照图3A和图3B,至少一个圆柱形透镜140设置在激光二极管110和光栅130之间使得共焦点形成在激光二极管110的发光表面和光栅130的反射表面上。具体地,如在图3A中示出的,圆柱形透镜140被设置为用作x-z平面上的平面透镜,即,使得不具有曲率的方向变为大体平行于x轴方向。因此,在x-z平面上,来自激光二极管110的发射光以相对于光栅130上的凹槽的布置方向的预定扩展(宽度) $D1$ 作为大体平行的光入射至光栅130。以这种方式,当来自激光二极管110的发射光以相对于光栅130上的凹槽的布置方向具有预定宽度 $D1$ 地入射时,确保了作为一级衍射光返回至激光二极管110的光的波长带。此外,通过改变 R_x (产生 dR_x),可选择谐振的光的波长。

[0093] 此外,如在图3B中示出的,圆柱形透镜140被设置为用作y-z平面上的球面透镜,即,使得具有曲率的方向变为y轴方向。此外,圆柱形透镜140设置为使得焦点 $f1$ 是形成在光栅130的反射表面上的共焦点中的一个并且焦点 $f2$ 是形成在激光二极管110的光斑(发光位置)的共焦点的另一个。因此,在y-z平面上,因为共焦点形成在激光二极管110的发光表面和光栅130的反射表面上,所以来自激光二极管110的发射光在光栅130的反射表面上的焦点 $f1$ 和激光二极管110的发光表面上的焦点 $f2$ 之间谐振,并且所以可抑制由于 R_y (dR_y)的改

变引起的谐振效率的降低。

[0094] 下面,将参考图4描述根据第一实施方式的激光二极管110的结构。应注意,在图4中示出的x轴、y轴、和z轴对应于在图3A和图3B中的各个坐标轴。

[0095] 参照图4,激光二极管110具有有源层111夹在p型熔覆层112和n型熔覆层113之间的堆叠的层状结构。此外,在堆叠的层方向上的n型熔覆层113的下表面上(y轴的负方向上的表面),设置被固定到接地电位上电极115。此外,在堆叠的层方向上的p型熔覆层112的顶面上(y轴的正方向上的表面),设置电极114。以这种方式,n型熔覆层113、有源层111、和p型熔覆层112在激光二极管110中堆叠的方向大体对应于y轴方向,即,设置在光栅130上的凹槽的延伸方向。

[0096] 在此,激光二极管110是具有饱和吸收(SA)部分和增益部分的所谓的二分激光二极管(BS-LD)。在激光二极管110中,由于这个结构电极114被划分成两个区域,并且电极114具有两个区域:SA部分电极114a和增益部分电极114b。

[0097] 通过将反向偏置电压 V_{SA} 施加至SA部分电极114a,激光二极管110可用作发射与外部反射镜相关联的脉冲光的锁模激光光源。此外,通过电压 V_{SA} 的值,调整SA部分的光密度。因为SA部分的透射率根据SA部分的光密度改变,所以通过调整电压 V_{SA} ,激光二极管110可用作短脉冲锁模的激光光源。另一方面,通过不施加电压 V_{SA} ($V_{SA}=0$ (V)),激光二极管110也可用作连续波(CW)激光光源。此外,SA部分还用作光盘。就是说,SA部分电极114a中的电流值对应于光密度,并且通过监测电流值,可评估激光二极管110中的光密度,即,激光振荡中谐振的强度。

[0098] 激光增益电流 $I_{增益}$ 被施加至增益部分电极114b。通过施加电流 $I_{增益}$,电子被注入至有源层111,并且电子和空穴之间的再结合在有源层111中被提高。此外,通过再结合产生的光从有源层111的一个端面上的光斑116朝向z轴方向的正方向发射。应注意,在这个实施方式中,对于来自激光二极管110的发射光的波长没有特定的限制,并且可以应用任意波长的光。因此,有源层111、p型熔覆层112、和n型熔覆层113的主要材料可根据来自激光二极管110的发射光的波长被选择为合适的。例如,作为有源层111、p型熔覆层112、和n型熔覆层113的主要材料,主要使用III-V半导体,诸如,GaN、GaAs、GaInN、和/或AlGaA。

[0099] 此外,在激光二极管110的后表面中(z轴的负方向上的表面),至少对应于有源层111的端面的区域具有高反射(HR)涂层,并且在前表面(z轴方向的正方向上的表面),即,发光表面,至少对应于有源层111的端面的区域具有抗反射(AR)涂层。如上所述,从激光二极管110发射的光的一级衍射光由光栅130返回至激光二极管110。返回至激光二极管110的光入射在有源层111上,被后表面上的HR涂层反射,并且再次朝向光栅130发射。

[0100] 以这种方式,在激光发射装置10中,谐振器结构形成在其上形成凹槽的光栅130的表面(反射表面)和激光二极管110的后表面之间。在这样的结构中,像在图1A和图1B中示出的常规的Littrow外部谐振器激光发射装置900中一样,光栅的倾斜角度的改变 dR_x 影响波长的选择,而倾斜角度的改变 dR_y 影响谐振效率(结合性)。

[0101] 在此,在激光发射装置10中,如上所述,至少一个圆柱形透镜140设置在激光二极管110和光栅130之间使得共焦点形成在激光二极管110的发光表面和光栅130的反射表面上。因此,来自激光二极管110的发射光在光栅130的反射表面上的焦点 f_1 和激光二极管110的发光表面上的焦点 f_2 之间谐振,并且可以抑制倾斜角度的改变 dR_y 的影响和谐振效率的

降低。

[0102] 具体地,圆柱形透镜140设置为使得来自激光二极管110的发射光以在x-z平面上具有沿光栅130的凹槽的布置方向的宽度(扩展)D1作为大体平行的光入射在光栅130上。此外,圆柱形透镜140设置为使得,在y-z平面上,作为一个共焦点的焦点f1形成在光栅130的反射表面上,并且作为另一个共焦点的焦点f2形成在激光二极管110的光斑(发光位置)处。以这种方式,在激光发射装置10中,来自激光二极管110的发射光以相对于光栅130上的凹槽的布置方向具有预定宽度D1地入射,使得确保作为一级衍射光返回至激光二极管110的光的波长带。此外,通过改变Rx(生成dRx),可选择谐振的光的波长。以这种方式,在激光发射装置10中,可以确保波长选择性并且抑制由于dRy导致的谐振效率的降低。

[0103] 上面已参考图3A、图3B、和图4描述了根据本公开的第一实施方式的激光发射装置10的结构。应注意,在以上描述中,激光二极管110是BS-LD的情况参考图4示出,第一实施方式不限于这个实例。只要可以形成外部谐振器结构,则任何已知的激光光源可用作根据第一实施方式的激光二极管110,并且对其类型和结构没有限制。此外,在第一实施方式中,由激光光源(激光二极管)发射的激光可以是脉冲激光或CW激光。

[0104] (2-2. 根据第一实施方式的激光发射装置的效果)

[0105] 下面,将参考图5A和图5B描述根据本公开的第一实施方式的激光发射装置10的效果。图5A是示出来自根据本公开的第一实施方式的激光发射装置10和常规Littrow外部谐振器激光发射装置900的输出光的强度的曲线图。图5B是示出根据本公开的第一实施方式的激光发射装置10和常规Littrow外部谐振器激光发射装置的激光发射装置900的SA部分的光密度的曲线图。应注意,当获得在图5A和图5B中示出的数据时,具有与激光二极管110相同结构的激光二极管用作Littrow外部谐振器激光发射装置900的激光光源,使得评估SA部分中的输出光的强度和光密度。

[0106] 在图5A中,横轴表示光栅130和930相对于图1A、图1B、图3A、和图3B中的y-z平面上的z轴的倾斜角度dRy (mRad)。此外,纵轴表示来自根据第一实施方式和常规Littrow外部谐振器激光发射装置900的输出光的强度Po (mW)。在图5A中,纵轴的值越大,输出光的强度越高。

[0107] 此外,在图5B中,横轴表示光栅130和930倾斜角度dRy (mRad) 与在图5A中一样,并且纵轴表示SA电流值 (mA),该电流值是根据第一实施方式的激光发射装置10和常规Littrow外部谐振器激光发射装置900的激光二极管110和910中的SA部分的电流值。如上所述,通过激光二极管110的SA部分的电流值,可以评估SA部分的光密度和激光振荡的谐振的强度。在图5B中纵轴的值越小(电流值越小),光密度和谐振器中的谐振程度(给合程度)越高。

[0108] 应注意,在图5A和图5B中示出的数据在以下条件下获得:使用各自具有3900(线/mm)的衍射密度的光栅130和930;并且来自激光发射装置10和Littrow外部谐振器激光发射装置900的输出光的波长被设置为405nm。在这时候,根据Brag定律,为了控制从光栅130和930返回至激光二极管110的一级衍射光的波长,每个光栅130和930的布置角度Rx被设置为约等于0.82(Rad)。(0.82(Rad)约等于47(度)。)此外,激光发射装置10和Littrow外部谐振器激光发射装置900中的准直透镜120和920各自具有 $f=4.02\text{mm}$ 的焦距f,并且激光发射装置10中的圆柱形透镜140具有 $f=70\text{mm}$ 的焦距f。此外,激光二极管110和910的驱动条件是 V_{SA}

$=0$ (V) (即, CW激光器), 并且 $I_{\text{增益}}=60$ (mA)。

[0109] 参照图5A和图5B, 在常规Littrow外部谐振器激光发射装置900中, 人们发现即使 R_y 的轻微的改变也会减小强度 P_0 并增加SA电流。这被认为是因为 R_y 的改变减小从光栅930返回至光斑915的光与返回至激光二极管910的光的比率, 使得谐振效率降低。

[0110] 另一方面, 参照图5A和图5B, 在根据第一实施方式的激光发射装置10中, 即使当 R_y 改变时, 依然保持强度 P_0 和SA电流的几乎恒定值。以这种方式, 在激光发射装置10中, 获得比在Littrow外部谐振器激光发射装置900中对 R_y 的改变的更大容许量。这被认为是因为, 如上所述, 通过设置激光发射装置10中的圆柱形透镜140, 共焦点形成在激光二极管110的发光表面和光栅130的反射表面上, 并且因此, 即使当 R_y 改变时, 来自激光二极管110的发射光在光栅130的反射表面上的焦点 f_1 和激光二极管110的发光表面上的焦点 f_2 之间谐振, 并且抑制谐振效率的降低。

[0111] 上面已参考图3A、图3B、图4、图5A、和图5B描述了本公开的第一实施方式。如上所述, 根据第一实施方式, 通过设置圆柱形透镜140, 共焦点形成在激光二极管110的发光表面和光栅130的反射表面上。因此, 来自激光二极管110的发射光更可靠地在光栅130的反射表面上的焦点 f_1 和激光二极管110的发光表面上的焦点 f_2 之间谐振, 并且因此, 可以确保对光栅130的布置角度 R_y 的改变的容许量并且抑制谐振效率的降低。此外, 在第一实施方式中, 因为提供了共焦点使用圆柱形透镜140而不是球面透镜, 所以光相对于光栅130上的凹槽的布置方向以预定扩展(宽度)入射并且确保了波长选择性。因此, 可以确保波长选择性并抑制由于 dR_y 导致的谐振效率的降低。

[0112] 应注意, 尽管图5A和图5B示出使用CW激光器的结果, 其中在激光二极管110和910中 $V_{SA}=0$ (V), 但当使用脉冲激光器时可以获得类似的结果。

[0113] 此外, 在以上描述中, 如在图3A和图3B中示出的, 激光二极管110和光栅130之间的透镜系统通过准直透镜120和圆柱形透镜140形成; 然而, 第一实施方式中的透镜系统的结构不限于这个实例。在第一实施方式中, 对于设置在激光二极管110和光栅130之间的透镜的类型和数量没有限制, 并且可以使用任何透镜结构只要光路被形成为使得在 x - z 平面上光相对于凹槽的布置方向以预定宽度 D_1 入射并且在 y - z 平面上共焦点形成在激光二极管110的发光表面和光栅130的反射表面上即可。

[0114] <3. 第二实施方式>

[0115] 下面, 将描述本公开的第二实施方式。在本公开的第二实施方式中, 相对于上述第一实施方式进一步设置中继透镜(relay lens)。在以下第二实施方式的描述中, 为了使得第二实施方式的效果更清楚, 将通过采用球面透镜用作中继透镜作为实例的情况讨论引入至激光发射装置的中继透镜。下面, 作为本公开的第二实施方式, 将描述圆柱形透镜被设置为中继透镜的激光发射装置。

[0116] (3-1. 中继透镜的讨论)

[0117] 首先, 将参考图6A和图6B描述球面透镜被引入作为中继透镜的激光发射装置的示意性结构。图6A是示出球面透镜被引入作为中继透镜的激光发射装置的结构实例的顶视图。图6B是示出球面透镜被引入作为中继透镜的激光发射装置的结构实例的侧视图。

[0118] 参照图6A和图6B, 球面透镜被引入作为中继透镜的激光发射装置40包括激光二极管410、准直透镜420、光栅430、和中继透镜440。如在图6A和图6B中示出的, 激光发射装置40

的结构对应于中继透镜440被进一步设置在图1A和图1B中示出的Littrow外部谐振器激光发射装置900的结构中的结构。在此,激光二极管410、准直透镜420、和光栅430与参考图1A、图1B、图3A、和图3B描述的激光二极管110和910、准直器透镜120和920、和光栅130和930具有相同的功能和结构,并且因此省去其详细说明。

[0119] 中继透镜440包括球面透镜441和442。在激光发射装置40中,来自激光二极管410的发射光穿过准直透镜420以及球面透镜441和442并且入射到光栅430上。通过设置一对球面透镜441和442作为中继透镜440,如在图6A和图6B中示出的,大体平行的光可入射到光栅430上。

[0120] 在包括这样的中继透镜的激光发射装置440中,通过改变中继透镜440在x轴方向、y轴方向、和z轴方向中的任意一个方向上的位置(各个方向上的改变量分别被称为dx、dy、和dz,如在图6A、图6B、和图8中示出的),可以获得以下效果。

[0121] 例如,通过在x轴方向上调整放置在中继透镜440的后面部分中的球面透镜442的位置,可控制沿x轴方向的光轴的倾斜。就是说,通过在x轴方向上将球面透镜442的位置移动dx,可以调整相对于光栅430上的凹槽的布置方向的入射光的入射角以及在x轴方向上返回至激光二极管410的光的入射位置。

[0122] 此外,例如,通过在y轴方向上调整放置在中继透镜440的后面部分中的球面透镜442的位置,可以控制y轴方向上的光轴的倾斜。就是说,通过将球面透镜442的位置y轴方向上改变dy,可以调整光栅430上的凹槽的延伸方向上的入射光的入射角以及在y轴方向上返回至激光二极管410的光的入射位置。

[0123] 应注意,以上示出放置在中继透镜440的后面部分的球面透镜442的位置在x轴和y轴方向上改变的情况,但在调整光轴的情况下,放置在前面部分的球面透镜441的位置同样在x轴和y轴方向上改变。就是说,通过在x轴和y轴方向上调整至少一个包括在中继透镜440中的球面透镜441和442的位置,可以调整光轴的倾斜。

[0124] 在以上方式中,通过引入中继透镜440,可以在激光发射装置40中更容易地校正光轴的偏移。将参考图7描述激光发射装置40中的中继透镜440对光轴的偏移的这样的校正效果。图7是用于说明激光发射装置40中的中继透镜440对光轴偏移的校正效果的视图。图7是示意性地示出激光发射装置40安装在底座(base)上的状态的侧视图。参照图7,在底座450上,设置激光二极管支撑底座41、准直透镜支撑底座421、和中继透镜支撑底座443和444。此外,激光二极管支撑底座441、准直透镜支撑底座421、和中继透镜支撑底座443和444分别支撑激光二极管410、准直透镜420、和球面透镜441和442。

[0125] 在此,如以上在<1. 常规外部谐振器激光发射装置的论述>中描述的,在激光发射装置40中,光轴(结构构件之间的光学相对位置关系)会因为周围温度的改变或者在装置组合的时候的扭曲,因为老化等稍微改变。例如,假设激光发射装置40实际安装在某个底座上,如在图7中示出的,底座本身例如会由于周围温度的改变、老化等导致的机械扭曲而扭曲。

[0126] 在此,如通过图7中的箭头示出的,假设底座450的两端由于某种原因向上翘曲(在y轴的正方向上),则激光二极管410和光栅430之间的相对位置关系被改变并且光轴从预定位置偏移。当这样的改变在激光二极管410和光栅430之间的相对位置关系上无意中产生时,会改变输出光的波长和强度,不能稳定地获得期望的输出光,并且会降低激光发射装置

40的可靠性。尽管在图7中仅关注底座450的翘曲,但这样的扭曲同样会在激光二极管支撑底座411、准直透镜支撑底座421、和中继透镜支撑底座443和444中产生。

[0127] 在此,如上所述,激光发射装置40具有通过中继透镜440调整光轴的倾斜(扭曲)的功能。因此,通过在x轴和y轴方向上调整中继透镜440的位置,可以调整由于底座450、激光二极管支撑底座441、准直透镜支撑底座421、和中继透镜支撑底座443和444的扭曲导致的光轴的移动。因此,例如,当使用激光发射装置40时通过中继透镜440调整光轴,可以获得获得更多稳定输出并且更准确地进行测量和观察。

[0128] 同样在首先通过确定激光二极管410、准直透镜420、和光栅430的位置,并且然后通过安装中继透镜440重新安装激光发射装置40的情况下,可以更容易地调整光轴。改变中继透镜440的位置比改变激光二极管410和光栅430的位置更容易,并且因此可以向用户提供高度的便利。

[0129] 如上所述,通过提供中继透镜440,可以容易地调整光轴。

[0130] 此外,在激光发射装置40输出脉冲激光的情况下,如在图8中示出的,通过调整放置在中继透镜440的后面部分的球面透镜的位置的在z轴方向上的改变dz,可以控制脉冲激光的色散。图8是示出在图6A和图6B中示出的激光发射装置40中中继透镜440的位置在z轴方向上改变的状态的顶视图。

[0131] 图8示出了当放置在中继透镜440的后面部分的球面透镜442在激光二极管410的方向(z轴方向的负方向)上偏移dz时激光发射装置40中的光路的改变。如在图8中示出的,通过将球面透镜442移动dz,球面透镜442和光栅430之间的实线指示的光路根据波长改变为由虚线指示的光路。在图8示出的实例中,在从球面透镜442朝向光栅430的光之中,相对长的波长的光(长波长光)沿着长光路传播,并且相对短的波长的光(短波长光)沿着短光路传播。因此,光的波长被不同地谐振,导致来自激光发射装置40的输出光的色散。

[0132] 应注意,尽管上面已描述了放置在中继透镜440的后面部分的球面透镜442的位置在z轴方向上改变的情况,但是在控制色散的情况下,放置在前面部分的球面透镜441的位置同样可以在z轴方向上改变。就是说,通过在z轴方向上调整包括在中继透镜440中的球面透镜441和442的至少一个的位置,可以控制色散。

[0133] 将参考图9A和图9B描述通过以上方式在z轴方向(光轴方向)上改变放置在激光发射装置40中的中继透镜440的后面部分的球面透镜442的位置而获得的效果。图9A和图9B分别是示出来自在图6A和图6B中示出的激光发射装置40的输出光的光谱的曲线图。图9A是示出当 $dz=0\text{mm}$ 时,即,当球面透镜442在预定位置时,输出光的光谱的曲线图。图9B是示出当球面透镜442的位置移动 $dz=-2\text{mm}$ 时,输出光的光谱的曲线图。应注意,在图9A中的激光二极管410的驱动条件是 $V_{SA}=-9\text{ (V)}$ 并且 $I_{\text{增益}}=55\text{ (mA)}$,并且在图9B中的激光二极管410的驱动条件是 $V_{SA}=-9\text{ (V)}$ 并且 $I_{\text{增益}}=62\text{ (mA)}$ 。此外,当获得在图9A和图9B中示出的数据时,具有 $f=4.02\text{mm}$ 、 $f=80\text{mm}$ 、和 $f=40\text{mm}$ 的焦距f的准直透镜和球面透镜被分别用作激光发射装置40中的准直透镜420和球面透镜441和442。

[0134] 在图9A和图9B中的每个中,来自激光发射装置40的输出光的光谱利用表示输出光的频率的横轴和表示输出光的强度的纵轴来绘制。参照图9A和图9B,通过将球面透镜442的位置从 $dz=0\text{mm}$ 改变至 $dz=-2\text{mm}$,发现除预定光谱以外的分量减少。例如,在图9A和图9B中示出的光谱A1是对应于约850 (MHz) 的频率的输出光,而光谱A1周围的其他光谱根据球面透

镜442的位置的改变降低。这意味着可以获得具有更少噪声的预定频率分量的脉冲光作为来自激光发射装置40的输出光。以这种方式,通过在光轴方向上调整中继透镜440的位置,可以减少脉冲光的噪声分量,该脉冲光是来自激光发射装置40的输出光。产生这样的效果的原因中的一个被认为是,如参考图8描述的,通过在光轴方向上改变中继透镜440的位置,光栅430上的入射光的光路根据波长改变并且会获得色散(频散)效果。

[0135] 上面已参考图6A和图6B描述了球面透镜被引入作为中继透镜的激光发射装置40的示意性结构。此外,已经参考图7、图8、图9A、和图9B描述了将中继透镜引入至激光发射装置40的效果。

[0136] 另一方面,当中继透镜440在z轴方向上移动时,如在图8中示出的,输出光的光谱被改善但存在以下问题。就是说,如在图10中示出的,例如,通过根据在z轴方向上的中继透镜440的位置的改变来改变光栅430上的入射角,会降低返回至激光二极管410的光的比率并且会降低谐振效率。图10是示出在图6A和图6B中示出的激光发射装置40中的中继透镜440的位置在z轴方向上改变的状态的侧视图。在此,图10是对应于在图8中示出的激光发射装置40的顶视图的侧视图。

[0137] 如在图10中示出的,通过将放置在中继透镜440的后面部分的球面透镜442的位置向z轴的负方向改变 dz ,改变光栅430上被光照射的区域(光照射区域)。激光发射装置40的光学系统被设计为使得入射在光栅430上的光被返回至激光二极管410并且在其中 $dz=0$ (mm)的状态(即,球面透镜442在z轴方向上未移动的状态)下形成谐振器。因此,光照射区域改变的部分中(例如,在图10中增加的光照射区域的面积的部分)的光可能不能返回至激光二极管410并且是从谐振器分散的损失分量。这样的损失会降低谐振器的谐振效率。

[0138] 为了确定这个,考虑在激光发射装置40中的锁模振荡阈值(mode-locked threshold)。图11是示出激光发射装置40的锁模振荡阈值的改变的曲线图。

[0139] 在图11中,横轴表示施加至激光二极管410的增益部分的电流 $I_{\text{增益}}$ (mA),并且纵轴表示来自激光发射装置40的输出光的强度 P_o (mW)。此外,在电压 V_{SA} 施加至激光二极管410的SA部分的时的强度 P_o 和电流 $I_{\text{增益}}$ 之间的关系和球面透镜442在z轴方向上的位置的改变被绘制。

[0140] 首先,当($V_{SA}=0$ (V), $dz=0$ (mm))时,强度 P_o 和电流 $I_{\text{增益}}$ 具有由几乎直线表示的关系。下面,通过将条件改变为($V_{SA}=-9$ (V), $dz=0$ (mm)),如在图11中示出的,曲线图移动至右边。由此可见当电压 V_{SA} 的值从0 (V)改变至-9 (V)时,即,当来自激光二极管410的发射光从CW激光改变至脉冲激光时,为了获得相同的强度 P_o 的输出光,需要更高的电流 $I_{\text{增益}}$ 。

[0141] 在此,通过进一步将条件改变为($V_{SA}=-9$ (V), $dz=-1.5$ (mm)),如在图11中示出的,曲线图进一步移动至右边。以这种方式,通过将球面透镜442的位置在z轴方向上从 $dz=0$ (mm)改变至 $dz=-1.5$ (mm),获得相同的强度 P_o 的输出光所必需的电流 $I_{\text{增益}}$ 的值进一步增加。就是说,锁模振荡阈值增加。

[0142] 从以上所述,如图11所示,通过将球面透镜442在z轴方向上的位置改变 dz ,为了获得来自激光发射装置40的期望的输出,人们发现需要电流 $I_{\text{增益}}$ 的更高的电流值。这被认为是因为,如参考图10描述的,球面透镜442的位置的改变 dz 产生激光二极管410和光栅430之间形成的谐振器的损失。

[0143] 如上所述,通过将中继透镜引入至激光发射装置,可以获得以下效果。就是说,相

对于x轴和y轴方向,通过调整中继透镜在x轴方向和y轴方向上的位置,可以容易地调整光轴。此外,相对于z轴方向(光轴方向),通过调整中继透镜在z轴方向上的位置,可以产生色散效果并且可以减少输出光的噪声。

[0144] 另一方面,如在图11中示出的,人们发现中继透镜为了减少输出光的噪声在z轴方向上的位置的改变增加了锁模振荡阈值。为了抑制这样的锁模振荡阈值的增加,必须根据中继透镜在z轴方向上的位置的改变抑制谐振器的损失的增加。

[0145] 本发明人已讨论了怎样利用抑制谐振器损失的增加降低输出光的噪声并且已得出本公开的以下第二实施方式。第二实施方式将在以下细节上进行描述。

[0146] (3-2. 根据第二实施方式的激光发射装置的示意性结构)

[0147] 将参考图12A和图12B描述根据本公开的第二实施方式的激光发射装置的示意性结构。图12A是示出根据本公开的第二实施方式的激光发射装置的结构实例的顶视图。图12B是示出根据本公开的第二实施方式的激光发射装置的结构实例的侧视图。

[0148] 参照图12A和图12B,根据本公开的第二实施方式的激光发射装置20包括激光二极管210、准直透镜220、光栅230、圆柱形透镜240、和中继透镜250。在此,激光二极管210、准直透镜220、光栅230、和圆柱形透镜240与根据第一实施方式的激光发射装置10中的激光二极管110、准直透镜120、光栅130、和圆柱形透镜140具有相同的功能和结构。就是说,激光发射装置20的结构对应于中继透镜250被进一步设置在根据第一实施方式的激光发射装置10中的结构。因此,在以下第二实施方式的描述中,省去与第一实施方式重叠的结构详细说明,并且将主要描述与第一实施方式不同的中继透镜250。

[0149] 中继透镜250包括一对圆柱形透镜251和252。在激光发射装置20中,来自激光二极管210的发射光穿过准直透镜220、圆柱形透镜240、和圆柱形透镜251和252并入射到光栅230上。在此,以上(3-1. 中继透镜的论述)中描述的激光发射装置40的中继透镜包括球面透镜441和442。在以上方式中,根据第二实施方式的激光发射装置20对应于激光发射装置40中由球面透镜441和442形成的中继透镜440由圆柱形透镜251和252形成的中继透镜250替代的结构。

[0150] 参照图12A,在第二实施方式中,准直透镜220、圆柱形透镜240、和中继透镜250被设置为使得来自激光二极管210的发射光在x-z平面上沿光栅230上的凹槽的布置方向以预定扩展(宽度)D2作为大体平行的光入射在光栅230上。具体地,圆柱形透镜251和252被设置为用作x-z平面上的球面透镜,即,使得具有曲率的方向是x轴方向。更具体地,在x-z平面上,放置在前面部分的圆柱形透镜251被设置为使得圆柱形表面面向z轴的负方向并且放置在后面部分的圆柱形透镜252被设置为圆柱形表面面向z轴方向的正方向。通过以这种方式设置中继透镜250(圆柱形透镜251和252),如在图12A中示出的,来自激光二极管210的发射光在x-z平面上相对于光栅230上的凹槽的布置方向以预定扩展(宽度)D2入射。

[0151] 另一方面,参照图12B,在第二实施方式中,准直透镜220、圆柱形透镜240、和中继透镜在y-z平面上被设置为使得共焦点形成在激光二极管210的发光表面和光栅230的反射表面上。具体地,圆柱形透镜251和252被设置为用作y-z平面上的平面透镜,即,使得不具有曲率的方向大体平行于y轴。在第二实施方式中,通过以这种方式设置中继透镜250(圆柱形透镜251和252),光学系统形成为在x-z平面上使得作为一个共焦点的焦点f1形成在光栅230的反射表面上并且作为另一个共焦点的焦点f2形成在激光二极管210的光斑(发光位

置)处。

[0152] 如以上参考图12A和图12B描述的,通过利用以上方式设置中继透镜250,在第二实施方式中,可以获得与第一实施方式相同的效果。就是说,根据第二实施方式,因为共焦点形成在激光二极管210的发光表面和光栅230的反射表面上,所以可以确保对光栅230的布置角度 R_y 的改变的容许量并抑制谐振效率降低。此外,在第二实施方式中,光相对于光栅230上凹槽的布置方向以预定扩展(宽度)D2入射,使得确保波长选择性。因此,可以确保波长选择性并抑制由于 dR_y 导致的谐振效率的降低。

[0153] 此外,在第二实施方式中,通过设置中继透镜250,可以获得以上(3-1.中继透镜的论述)中描述的效果,该效果是通过提供中继透镜产生的。就是说,根据第二实施方式,通过在x轴方向和y轴方向上调整中继透镜250(圆柱形透镜251和252)的位置,可以调整光轴在x轴方向和y轴方向上的倾斜。此外,通过调整中继透镜250(圆柱形透镜251和252)在z轴方向上的位置,可以控制输出光的色散。

[0154] 此外,在第二实施方式中,通过由圆柱形透镜251和252形成中继透镜250,可以通过控制色散抑制谐振器的损失增加,并且减少输出光的噪声。将在以下描述第二实施方式的这些效果。

[0155] (3-3.根据第二实施方式的激光发射装置的效果)

[0156] 将参考图13A、图13B、图13C、和图14描述由根据本公开的第二实施方式的激光发射装置20产生的效果。图13A至图13C是分别示出来自根据本公开的第二实施方式的激光发射装置20的输出光的光谱的曲线图。图13A是示出当 $dz=0\text{mm}$ 时,即,当放置在中继透镜250的后面部分的圆柱形透镜252在预定位置时输出光的光谱的曲线图。图13B是示出当圆柱形透镜252移动 $dz=-1.5\text{mm}$ 时的输出光的光谱的曲线图。图13C是示出当圆柱形透镜252移动 $dz=-3\text{mm}$ 时的输出光的光谱的曲线图。应注意,在图13A至图13C中的每个中示出的光谱均在以下条件下测量的:施加至激光二极管210的SA部分的电压 V_{SA} 是 $V_{SA}=-9\text{V}$ 。此外,图13A、图13B、和图13C是当施加至激光二极管210的增益部分的电流 $I_{\text{增益}}$ 分别是 $I_{\text{增益}}=54\text{mA}$ 、 57mA 、和 59mA 时的曲线图。应注意,在图13A至图13C中示出的横轴和纵轴意味着与在图9A和图9B中示出的曲线图中的那些相同的物理量。

[0157] 参照图13A至图13C,通过将圆柱形透镜252的位置从 $dz=0\text{mm}$ 改变至 $dz=-1.5\text{mm}$ 和 $dz=-3.0\text{mm}$,除预定光谱以外的分量减少。例如,通过关注图13A至图13C中的光谱B1和光谱C1,光谱B1和C1周围的其他光谱根据圆柱形透镜252的位置的改变减少。这意味着可以获得具有比来自激光发射装置20的输出光更少的噪声的预定频率分量的脉冲激光。以这种方式,在激光发射装置20中,通过调整中继透镜250在光轴方向上的位置,如在图6A和图6B中示出的激光发射装置40中的,可以获得来自激光二极管210的发射光的色散(频散)效果并且抑制来自激光发射装置20的输出光的脉冲光的噪声分量。

[0158] 下面,将参考图14描述根据本公开的第二实施方式的激光发射装置20的锁模振荡阈值。图14是示出根据本公开的第二实施方式的激光发射装置20中的锁模振荡阈值的改变的曲线图。应注意,在图14中示出的曲线图中的横轴和纵轴意味着与在图11中示出的曲线图中的那些相同的物理量。

[0159] 在图14中,绘制在将电压 V_{SA} 施加至激光二极管210的SA部分的时候输出光的强度 P_o 和施加至激光二极管210的增益部分的电流 $I_{\text{增益}}$ 之间的关系和圆柱形透镜252在z轴方向

上的位置的改变。具体地,将电压 V_{SA} 和圆柱形透镜252在z轴方向上的位置的改变 dz 而言,强度 P_0 和电流 $I_{增益}$ 之间的关系是在以下四个条件下测量的: ($V_{SA}=0$ (V), $dz=0$ (mm))、($V_{SA}=-9$ (V), $dz=0$ (mm))、($V_{SA}=-9$ (V), $dz=-1.5$ (mm))、和 ($V_{SA}=-9$ (V), $dz=-3$ (mm))。

[0160] 参照图14,当条件从 ($V_{SA}=0$ (V), $dz=0$ (mm)) 改变至 ($V_{SA}=-9$ (V), $dz=0$ (mm)) 时,曲线图以与图11中的相同的方式改变。然而,在图14中,当 dz 改变时,即,当条件改变至 ($V_{SA}=-9$ (V), $dz=-1.5$ (mm)) 或者 ($V_{SA}=-9$ (V), $dz=-3$ (mm)) 时,曲线图的右移的量被抑制为小于图11中的。以这种方式,在第二实施方式中,可以使得由于圆柱形透镜252(中继透镜)的位置的改变导致的锁模振荡阈值的增加小于在图6A和图6B中示出的激光发射装置40的结构中的。这被认为是因为通过在第二实施方式中设置圆柱形透镜240、251、和252使得共焦点形成在激光二极管210的发光表面和光栅230的反射表面上,并且因此,即使当圆柱形透镜252的位置在z轴方向上改变时,发射光穿过共焦点并且在激光二极管210和光栅230之间谐振,使得可以抑制谐振器的损失。以这种方式,根据第二实施方式,可以抑制谐振器的损失的增加并且减少输出光的噪声。

[0161] 上面已参考图6A、图6B、图7、图8、图9A、图9B、图10、图11、图12A、图12B、图13A至图13C、和图14描述了本公开的第二实施方式。如以上描述的,根据第二实施方式,可以获得除第一实施方式获得的效果之外的以下效果。

[0162] 在第二实施方式中,相对第一实施方式进一步设置由圆柱形透镜251和252形成的中继透镜250。因此,通过调整中继透镜250(圆柱形透镜251和252)在x轴方向和y轴方向的位置,可以调整光轴在x轴方向和y轴方向上的倾斜。此外,通过调整中继透镜250(圆柱形透镜251和252)在z轴方向上的位置,可以控制输出光的色散。

[0163] 此外,在第二实施方式中,因为中继透镜250是由圆柱形透镜251和252形成的,共焦点形成在激光二极管210的发光表面和光栅230的反射表面上,所以可以通过控制色散抑制谐振器的损失的增加并且减少输出光的噪声。

[0164] 应注意,尽管在以上描述中,在图6A和图6B中示出的中继透镜440由一对球面透镜441和442形成并且在图12A和图12B示出的中继透镜250由一对圆柱形透镜251和252形成,但用于第二实施方式的中继透镜不限于这些实例。在第二实施方式中,可以采用任何透镜结构只要光路形成成为使得光相对于x-z平面上的凹槽的布置方向以预定宽度 D_2 入射并且共焦点在y-z平面上形成在激光二极管110的发光表面和光栅130上的反射表面上即可,对于形成中继透镜的透镜的类型和数量以及设置在激光二极管110和光栅130之间的透镜的类型和数量没有限制。

[0165] <4. 变形例>

[0166] 下面,将描述本公开的第一实施方式和第二实施方式的变形例。

[0167] (4-1. 对MOPA系统的应用)

[0168] 首先,将参考图15描述当根据第一实施方式和第二实施方式的任意激光发射装置10和20用于至所谓的主振荡器功率放大器(MOPA)时的示意性结构。图15是示出根据本公开的第二实施方式的激光发射装置20应用到其中的MOPA系统的结构实例的示意图。应注意,尽管在图15中根据第二实施方式的激光发射装置20作为应用至MOPA系统的实例,但根据第一实施方式的激光发射装置10也可以相似地应用。

[0169] 在此,MOPA系统指的是以下系统,其中,半导体激光器作为外部谐振器进行操作的

锁模激光二极管 (MLLD) 用作主激光器, 以利用半导体光学放大器 (SOA) 来放大锁模激光二极管的功率。图15示出了根据第二实施方式的激光发射装置20被应用为MOPA系统中的主激光器的结构实例。

[0170] 参照图15, 在MOPA系统50中, 隔离器 (isolator) 570和反射镜560设置在激光发射装置20的后面部分中。此外, 由圆柱形透镜551和552、圆柱形透镜540、和准直透镜520形成的中继透镜550设置在反射镜560的后面部分中。依次穿过这些部件的光最终入射到SOA 510上并输出到外部。在此, 中继透镜550、圆柱形透镜540、和准直透镜520具有与激光发射装置20中的中继透镜250、圆柱形透镜240、和准直透镜220相同的功能和结构。以这种方式, 在MOPA系统50中, 中继透镜550、圆柱形透镜540、和准直透镜520被设置为与具有插入其间的光栅230、隔离器570、和反射镜560的激光发射装置20中的中继透镜250、圆柱形透镜240、和准直透镜220对称。

[0171] 在激光发射装置20中, 从激光二极管210发射的激光通过多个透镜 (准直透镜220、圆柱形透镜240、和中继透镜250), 输出光的相位的状态和照射区域的扩展会来自激光二极管210的发射光的状态改变。响应这个, 如在图15中示出的, 与激光发射装置20中的透镜系统对称的透镜系统进一步设置在MOPA系统50中, 并且因此, 可以使得入射在SOA 510上的光的状态再次成为从激光二极管210发射的状态, 并且最终获得更稳定的光作为来自MOPA系统50的输出光。因此, 例如, 用作另一个光学装置的光源的激光发射装置20进一步设置在MOPA系统50的后面部分等的情况下, 可以实现具有更稳定的输出的光源。

[0172] (4-2. 透镜结构 (透镜系统) 的变形例)

[0173] 下面, 将参考图16A和图16B描述具有根据第一实施方式和第二实施方式的任意一个的激光发射装置中的不同的透镜系统的变形例。图16A是示出根据本公开的第一实施方式和第二实施方式的变形例的激光发射装置的结构实例的顶视图。图16B是示出根据本公开的第一实施方式和第二实施方式的变形例的激光发射装置的结构实例的侧视图。

[0174] 参照图16A和图16B, 根据这个变形例的激光发射装置30包括激光二极管310、准直透镜320、球面透镜340、圆柱形透镜350、和光栅330。在激光发射装置30中, 来自激光二极管310的发射光依次穿过准直透镜320、球面透镜340、和圆柱形透镜350、并且入射到光栅330上, 使得谐振器结构形成在激光二极管310和光栅330之间。在此, 激光二极管310、准直透镜320、和光栅330具有与第一实施方式和第二实施方式中的激光二极管110和210、准直透镜120和220、和光栅130和230相同的功能和结构, 因此省去其详细说明。

[0175] 参照图16A, 激光发射装置30的球面透镜340和圆柱形透镜350被设置为使得与光栅330的反射表面相比更靠近激光二极管310的预定位置变为 x - z 平面上的焦点 f_3 。具体地, 例如, 圆柱形透镜350被设置为用作 x - z 平面上的球面透镜, 即, 使得具有曲率的方向是 x 轴方向, 如在图16A中示出的。因此, 在激光发射装置30中, 如在图16A中示出的, 光入射在光栅330上以便相对于光栅330上的凹槽的布置方向具有预定扩展 (宽度) D_3 。就是说, 圆柱形透镜350是用于色散的透镜。以这种方式, 在激光发射装置30中, 因为来自激光二极管310的发射光相对于光栅330上的凹槽的布置方向以预定宽度 D_3 入射, 所以确保作为一级衍射光返回至激光二极管310的光的波长带。此外, 通过改变 R_x (产生 dR_x), 可以选择谐振的光的波长。

[0176] 此外, 参照图16B, 激光发射装置30的球面透镜340和圆柱形透镜350被设置为使得

共焦点在 y - z 平面上形成在激光二极管310的发光表面和光栅330的反射表面上。具体地,例如,如在图16B中示出的,圆柱形透镜350被设置为用作 y - z 平面上的平面透镜,即,使得不具有曲率的方向变为大体平行于 y 轴方向。因此,在激光发射装置30中,来自激光二极管310的发射光在光栅330的反射表面上的焦点 f_1 和激光二极管310的发光表面上的焦点 f_2 之间谐振,并且抑制光栅330的布置角度的改变 dR_y 的影响并抑制谐振效率的降低。因此,根据这个变形例,可以抑制由于 dR_y 导致的谐振效率的降低并且由于 dR_x 还确保了波长选择性。

[0177] 上面已参考图16A和图16B描述了根据本公开的第一实施方式和第二实施方式的变形例的激光发射装置30的结构。

[0178] 这里,根据本公开的实施方式的激光发射装置的结构不限于在图3A、图3B、图12A、图12B、图16A、和图16B中示出的以上描述的结构。根据本公开,对于光学系统的结构没有限制,只要光学系统满足以下要求即可,即光学系统形成在激光二极管和光栅之间,从而使得来自激光二极管的发射光在 x - z 平面上相对于设置在光栅的反射表面上的凹槽的布置方向以预定宽度入射在光栅上并且共焦点在 y - z 表面上形成在激光二极管的发光表面和光栅的反射表面上。例如,在图16A和图16B中示出的变形例中,球面透镜340和圆柱形透镜350可相反地设置。即使在球面透镜340和圆柱形透镜350相反设置的情况下,也可以获得与图16A和图16B中示出的激光发射装置相同的效果。以这种方式,在根据本公开的实施方式的激光发射装置的结构中,光学系统可被适当地设计,只要满足以上条件即可。

[0179] <5. 结论>

[0180] 如以上描述的,根据本公开的第一实施方式和第二实施方式,可以获得以下效果。

[0181] 根据第一实施方式,通过设置圆柱形透镜140,共焦点形成在激光二极管110的发光表面和光栅130的反射表面上。因此,来自激光二极管110的发射光更可靠地在光栅130的反射表面上的焦点 f_1 和激光二极管110的发光表面上的焦点 f_2 之间谐振,并且因此,可以确保对光栅130的布置角度 R_y 的改变的容许量并且抑制谐振效率的降低。此外,在第一实施方式中,因为使用圆柱形透镜140而不是球面透镜以提供共焦点,所以光相对于光栅130上的凹槽的布置方向以预定扩展(宽度) D_1 入射并且确保波长选择性。因此,可以确保波长选择性并抑制由于 dR_y 导致的谐振效率的降低。

[0182] 此外,在第二实施方式中,除第一实施方式获得的效果之外,可以获得以下效果。

[0183] 在第二实施方式中,相对第一实施方式进一步设置由圆柱形透镜251和252形成的中继透镜250。因此,通过调整中继透镜250(圆柱形透镜251和252)在 x 轴方向和 y 轴方向的位置,可以调整光轴在 x 轴方向和 y 轴方向上的倾斜。此外,通过调整中继透镜250(圆柱形透镜251和252)在 z 轴方向上的位置,可以控制输出光的色散。此外,在第二实施方式中,因为中继透镜250是由圆柱形透镜251和252形成的,共焦点形成在激光二极管210的发光表面和光栅230的反射表面上,所以可以通过控制色散抑制谐振器的损失的增加并且减少输出光的噪声。

[0184] 以这种方式,第一实施方式和第二实施方式,通过在常规外部谐振器激光发射装置的结构中进一步设置一个或多个圆柱形透镜,抑制谐振效率的降低。因此,第一实施方式和第二实施方式不需要复杂的结构,并且可以利用更简单的结构获得更稳定的输出。

[0185] 本领域的技术人员应理解的是,根据设计要求和因素,可出现各种修改、组合、子组合以及变形,只要它们在所附权利要求或其等同物的范围内。

[0186] 另外,本技术也可以如下配置。

[0187] (1) 一种激光发射装置,包括:

[0188] 半导体激光器,被配置为发射预定波长的光;

[0189] 光栅,设置在半导体激光器的后面部分并且被配置为通过反射来自半导体激光器的发射光并提取部分外部的发射光与半导体激光器一起形成谐振器结构;以及

[0190] 至少一个圆柱形透镜,以使得共焦点形成在半导体激光器的发光表面和光栅的反射表面上的方式设置在半导体激光器和光栅之间。

[0191] (2) 根据(1)所述的激光发射装置,

[0192] 其中,圆柱形透镜以如下方式设置:共焦点的一个焦点在由光轴方向和第一方向控制的平面中形成在光栅的反射表面上,第一方向是设置在光栅上的凹槽的延伸方向。

[0193] (3) 根据(1)或(2)所述的激光发射装置,

[0194] 其中,圆柱形透镜以如下方式设置:来自半导体激光器的发射光在由光轴方向和第二方向控制的平面上以预定扩展入射在光栅的反射表面上,第二方式是设置在光栅上的凹槽的布置方向。

[0195] (4) 根据(2)所述的激光发射装置,

[0196] 其中,第一方向是有源层和熔覆层在半导体激光器中堆叠的方向。

[0197] (5) 根据(1)至(4)的任一项所述的激光发射装置,进一步包括:

[0198] 一对圆柱形透镜,作为半导体激光器和光栅之间的中继透镜。

[0199] (6) 根据(5)所述的激光发射装置,

[0200] 其中,发射光在光栅上的入射角度由圆柱形透镜在光轴方向上的位置控制,设置在一对圆柱形透镜的后面部分的圆柱形透镜形成中继透镜。

[0201] (7) 根据(1)至(4)中的任一项所述的激光发射装置,

[0202] 其中,圆柱形透镜以如下方式设置:与光栅的反射表面相比更靠近半导体激光器的预定位置在由光轴方向和第二方向控制的平面上变为焦点,第二方向是设置在光栅上的凹槽的布置方向。

[0203] (8) 根据(7)所述的激光发射装置,

[0204] 其中,发射光在光栅上的入射角由沿着光轴方向的圆柱形透镜的位置控制。

[0205] (9) 根据(1)至(8)中的任一项所述的激光发射装置,

[0206] 其中,激光发射装置是主振荡器功率放大器(MOPA)系统中的锁模激光二极管(MLLD),该主振荡器功率放大器通过使用其中半导体激光器被操作为外部谐振器的MLLD利用半导体光放大器(SOA)放大锁模激光二极管的功率,并且

[0207] 其中,在MOPA系统中的SOA的前面部分中,第二透镜组设置为相对于MOPA系统中的光轴的第一透镜组对称,第二透镜组具有与设置在激光发射装置中的半导体激光器和光栅之间的第一透镜组相同或基本相同的结构。

[0208] (10) 一种用于制造激光发射装置的方法,该方法包括:

[0209] 设置发射预定波长的光的半导体激光器;

[0210] 在半导体激光器的后面部分设置光栅,光栅被配置为通过反射来自半导体激光器的发射光与半导体激光器一起形成谐振器结构;并且

[0211] 以如下方式在半导体激光器和光栅之间设置至少一个圆柱形透镜:共焦点形成在

半导体激光器的发光表面和光栅的反射表面上。

[0212] 此外,本技术也可以如下配置。

[0213] (1) 一种激光发射装置,包括:

[0214] 半导体激光器;

[0215] 光栅,相对于半导体激光器定位成在其之间形成谐振器结构;以及

[0216] 光学系统,定位在半导体激光器和光栅之间,光学系统被配置和布置为使得共焦点形成在半导体激光器的发光表面和光栅的反射表面上。

[0217] (2) 根据(1)所述的激光发射装置,其中,光学系统包括圆柱形透镜。

[0218] (3) 根据(2)所述激光发射装置,其中,圆柱形透镜在透镜的至少一个表面上具有圆柱形表面,圆柱形表面具有在第一方向具有曲率但在正交于第一方向上的第二方向上不具有曲率的第一表面。

[0219] (4) 根据(3)所述的激光发射装置,其中,圆柱形透镜的第一表面在第一方向上用作球面透镜并且在第二方向上用作平面透镜。

[0220] (5) 根据(2)所述的激光发射装置,其中,圆柱形透镜被配置为在第一方向上压缩从半导体激光器发射的光的光斑直径,并且在正交于第一方向的第二方向上基本维持从半导体激光器发射的光的光斑直径。

[0221] (6) 根据(1)所述激光发射装置,其中,半导体激光器是包括形成在p型半导体熔覆层和n型半导体熔覆层之间的有源层的激光二极管。

[0222] (7) 根据(6)所述的激光发射装置,其中,半导体激光器包括发光侧和与发光侧相对的后侧,后侧的至少一部分包括反射涂层。

[0223] (8) 根据(7)所述的激光发射装置,其中,半导体激光器的发光侧的至少一部分包括抗反射涂层。

[0224] (9) 根据(1)所述的激光发射装置,进一步包括设置在半导体激光器和光学系统之间的准直透镜,准直透镜被配置为将从半导体激光器发射的光转换成基本上平行的光。

[0225] (10) 根据(1)所述的激光发射装置,其中,光学系统包括中继透镜。

[0226] (11) 根据(10)所述的激光发射装置,其中,中继透镜包括多个球面透镜。

[0227] (12) 根据(11)所述的激光发射装置,其中,球面透镜被配置为使得透镜中的仅一个在垂直于从半导体激光器发射的光的光轴的任意方向上的横向移动改变中继透镜和光栅之间的光轴相对于发射光的光轴的倾斜角度。

[0228] (13) 根据(11)所述的激光发射装置,其中,半导体激光器发射脉冲激光,并且其中,球面透镜被配置为使得沿着从半导体激光器发射的光的光轴的移动改变脉冲激光的色散特性。

[0229] (14) 根据(1)所述的激光发射装置,其中,光学系统包括圆柱形透镜、以及包括多个球面透镜的中继透镜。

[0230] (15) 根据(1)所述的激光发射装置,其中,光学系统包括球面透镜和圆柱形透镜。

[0231] (16) 根据(15)所述的激光发射装置,其中,球面透镜和圆柱形透镜被配置和布置为使得发射光的共焦点定位在光学系统和光栅的反射表面之间。

[0232] (17) 根据(15)所述的激光发射装置,其中,球面透镜定位在圆柱形透镜和光栅之间。

- [0233] (18) 根据 (15) 所述的激光发射装置, 其中, 圆柱形透镜定位在球面透镜和光栅之间。
- [0234] (19) 一种主振荡器功率放大器系统, 包括:
- [0235] 激光发射装置, 包括
- [0236] 半导体激光器,
- [0237] 光栅, 相对于半导体激光器被定位成在其之间形成谐振器结构, 以及
- [0238] 光学系统, 定位在半导体激光器和光栅之间, 光学系统被配置和布置为使得共焦点形成在半导体激光器的发光表面和光栅的反射表面上; 以及
- [0239] 半导体光学放大器。
- [0240] (20) 根据 (19) 所述的主振荡器功率放大器系统, 进一步包括光学地定位在激光发射装置的光栅和半导体光放大器之间的隔离器和反射镜。
- [0241] (21) 根据 (20) 所述的主振荡器功率放大器系统, 其中, 光学系统包括第一圆柱形透镜。
- [0242] (22) 根据 (21) 所述的主振荡器功率放大器系统, 进一步包括定位在半导体光学放大器和反射镜之间的第二光学系统, 第二光学系统包括第二圆柱形透镜。
- [0243] (23) 根据 (22) 所述的主振荡器功率放大器系统, 其中, 第一圆柱形透镜被设置为与第二圆柱形透镜对称, 光栅、隔离器、和反射镜插入在第一光学系统和第二光学系统之间。
- [0244] 参考标号列表
- [0245] 10、20、30、40 激光发射装置
- [0246] 50 MOPA 系统
- [0247] 110、210、310、410 激光二极管
- [0248] 120、220、320、420、520 准直透镜
- [0249] 130、230、330、430 光栅
- [0250] 140、240、350、540 圆柱形透镜
- [0251] 250、550 中继透镜
- [0252] 251、252、551、552 圆柱形透镜
- [0253] 340 球面透镜
- [0254] 440 中继透镜
- [0255] 441、442 球面透镜
- [0256] 510 半导体光放大器 (SOA)

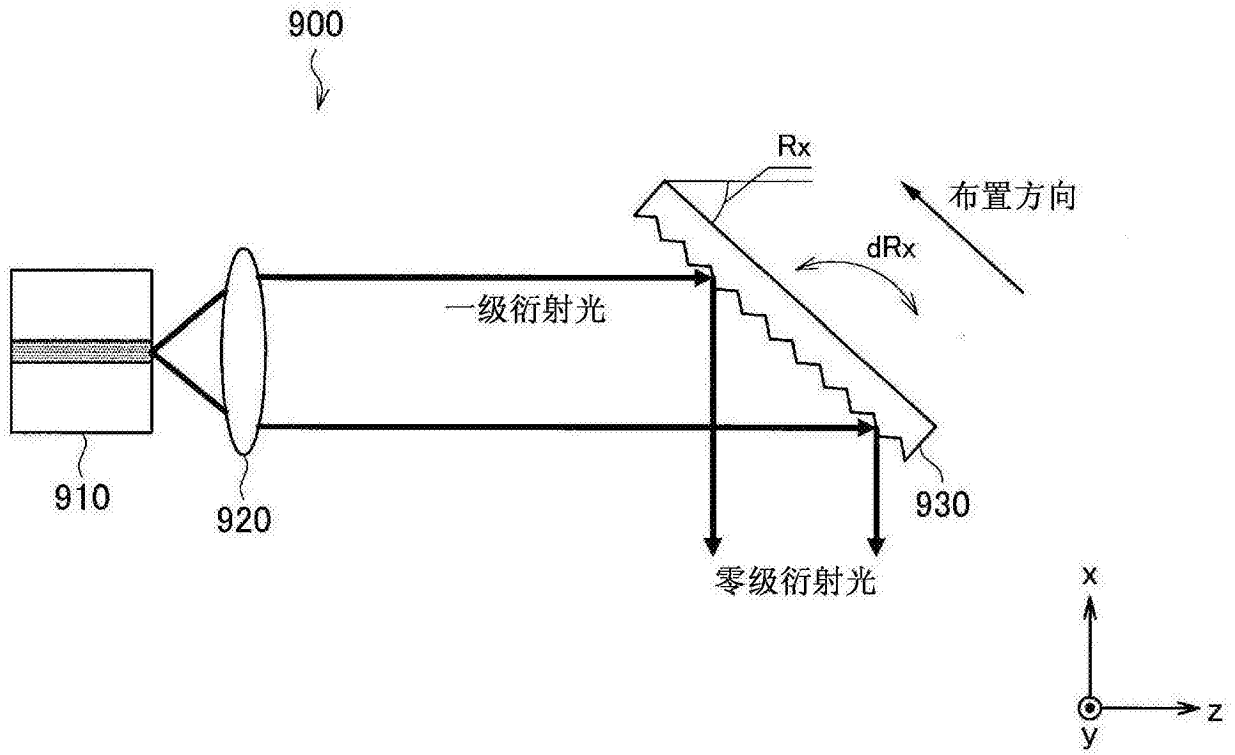


图1A

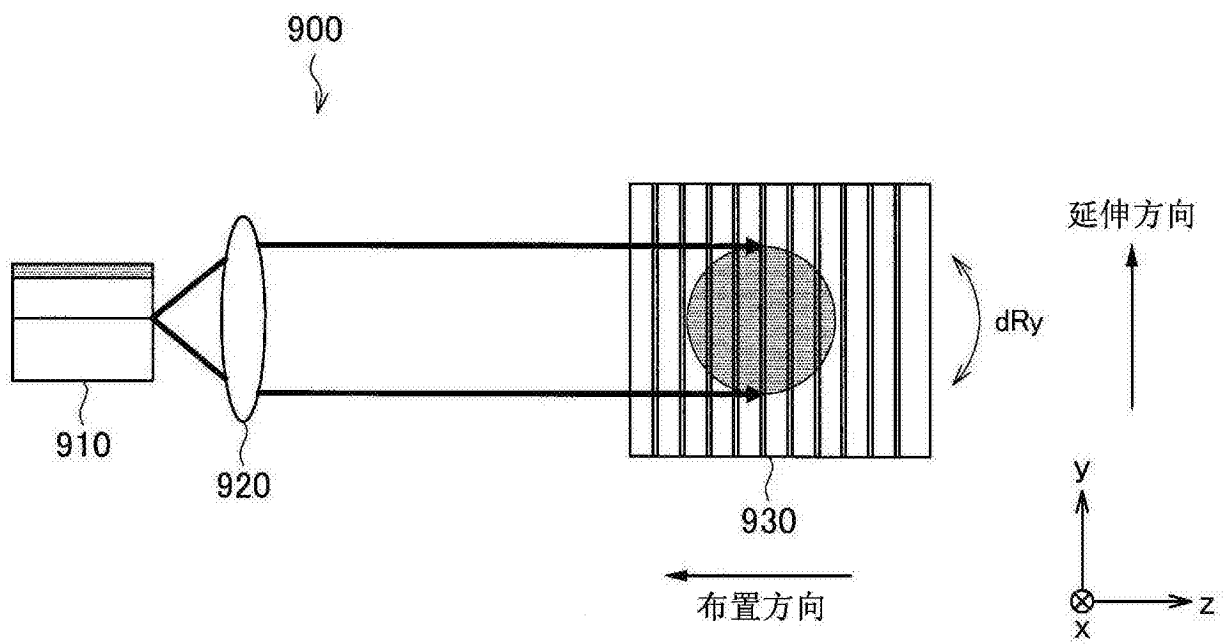


图1B

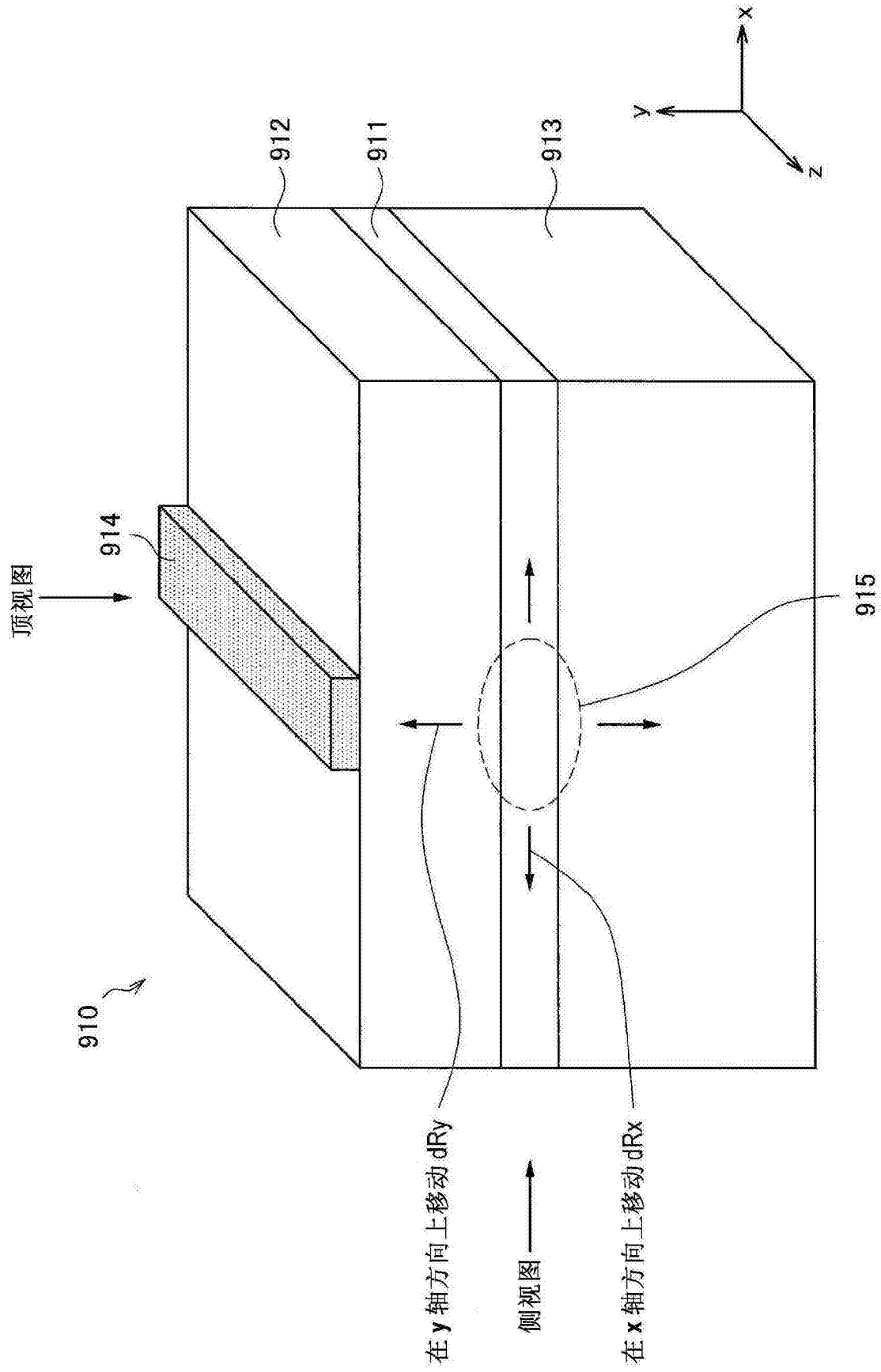


图2

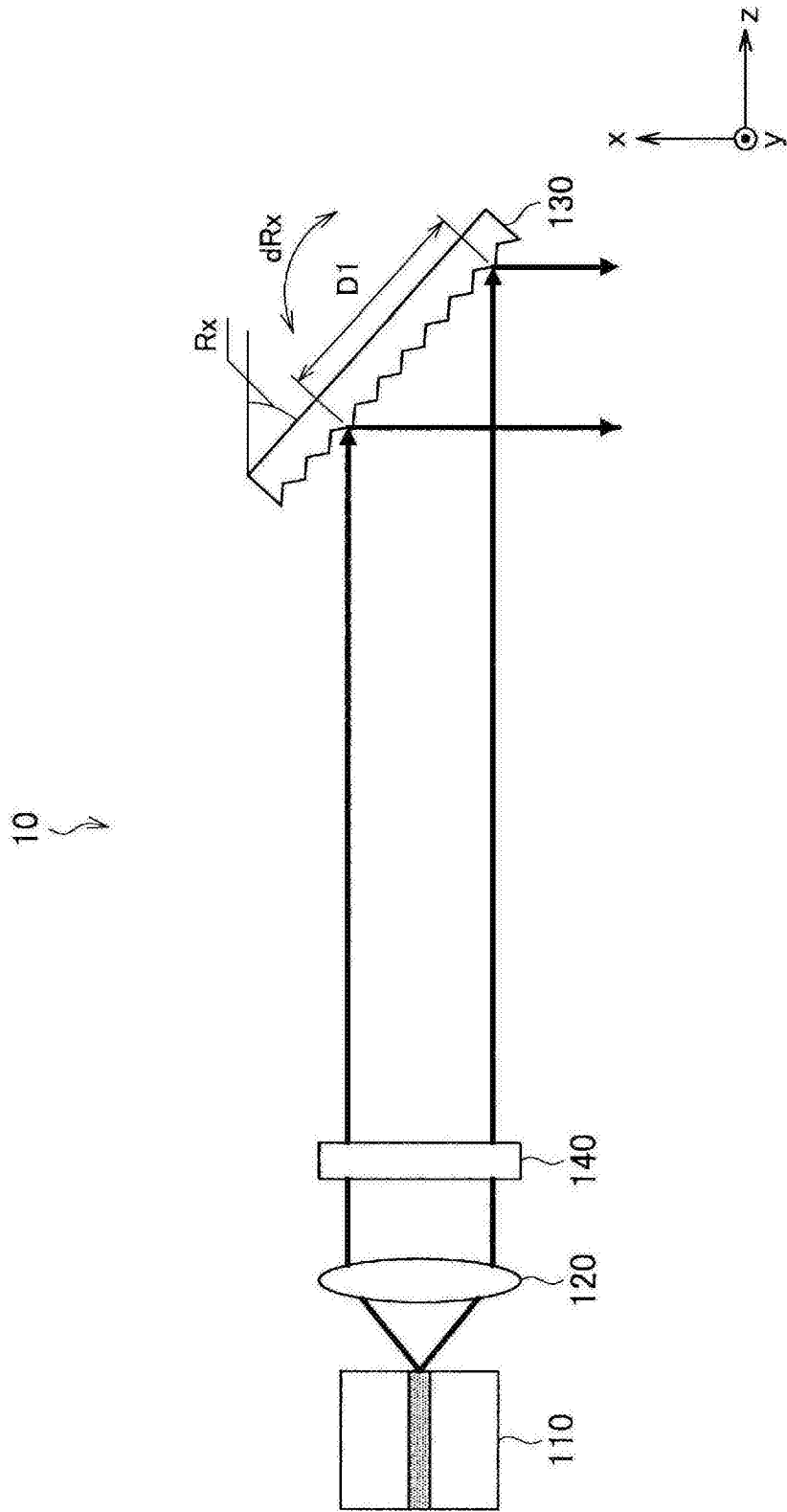


图3A

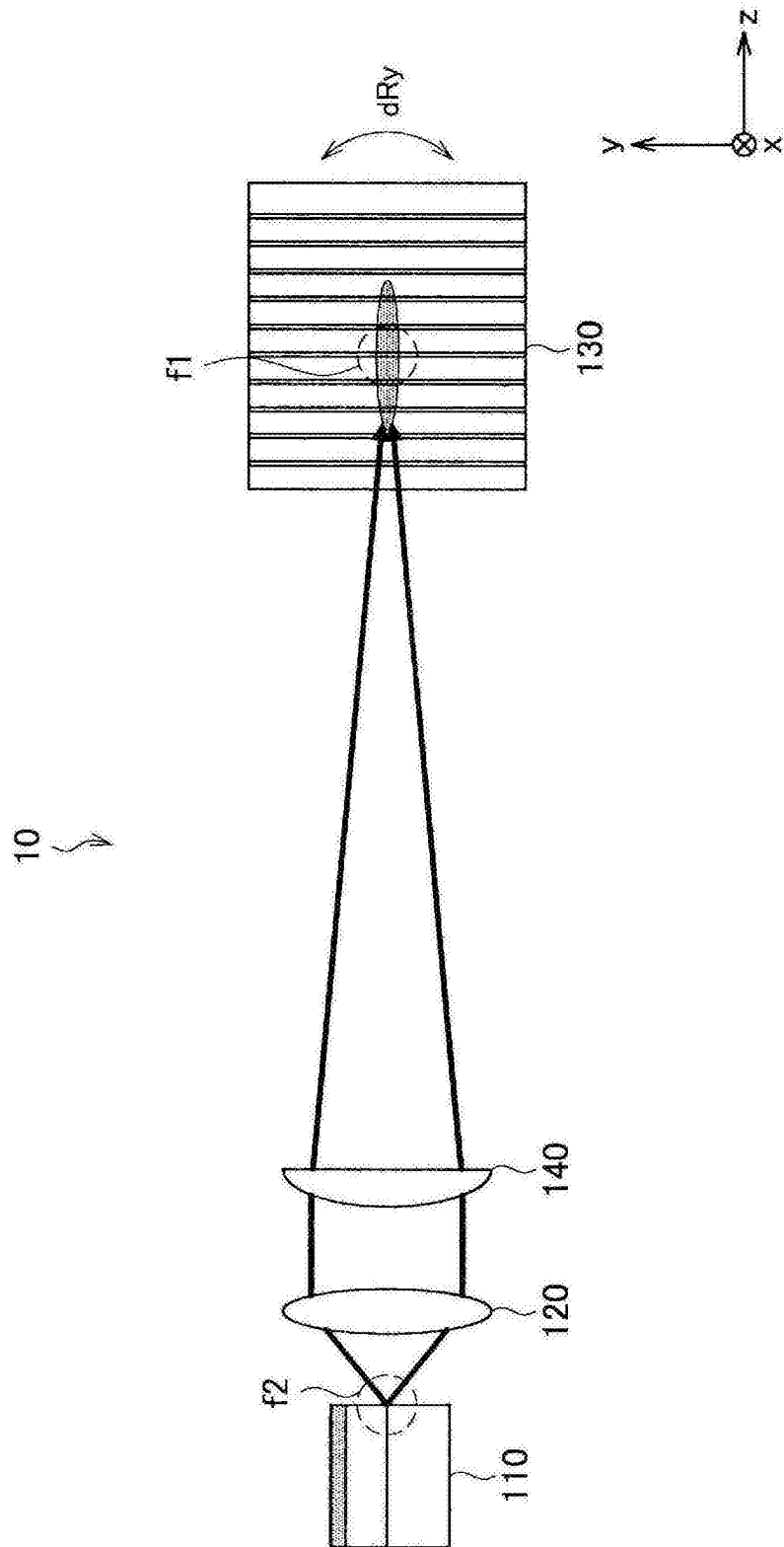


图3B

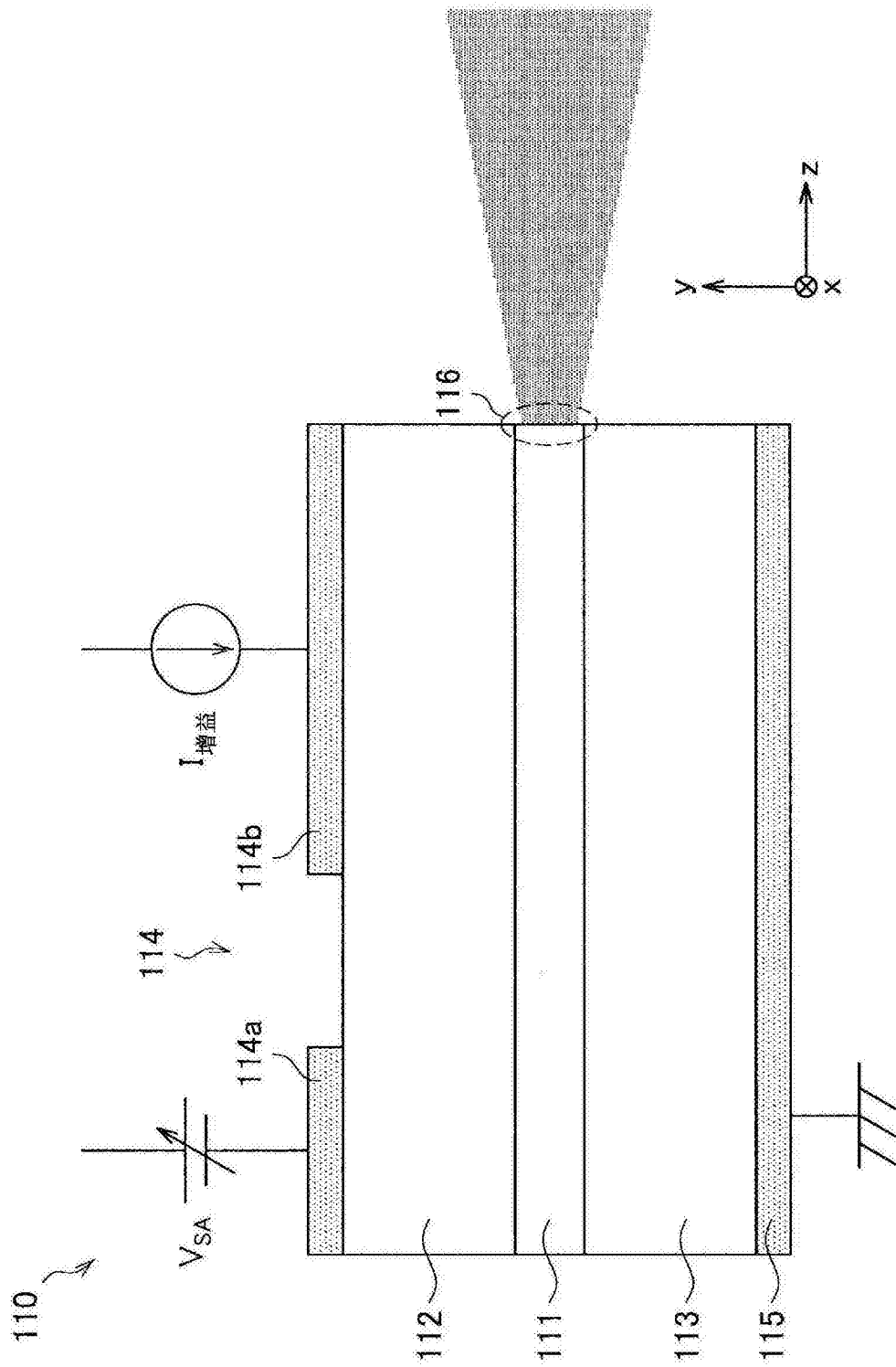


图4

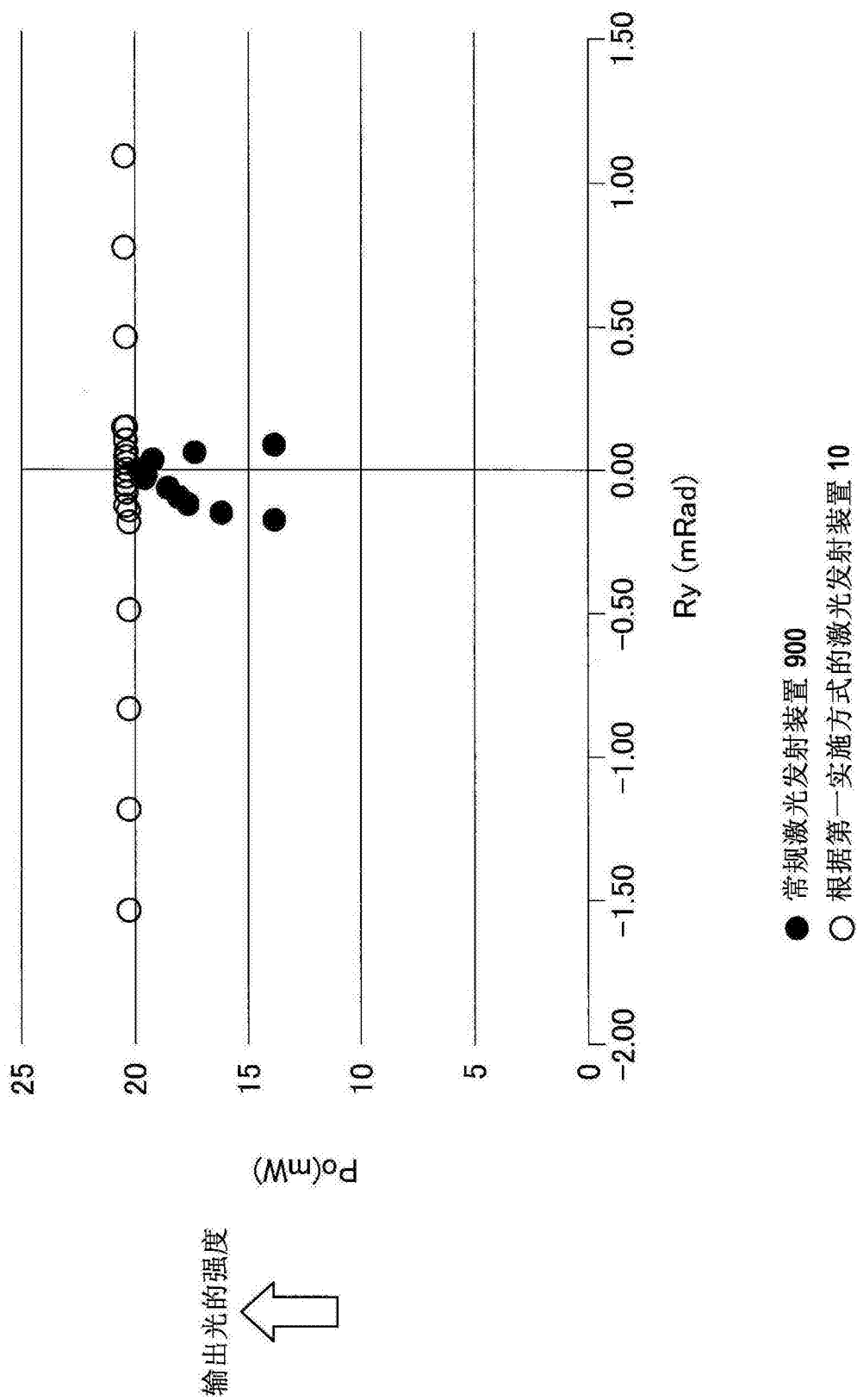


图5A

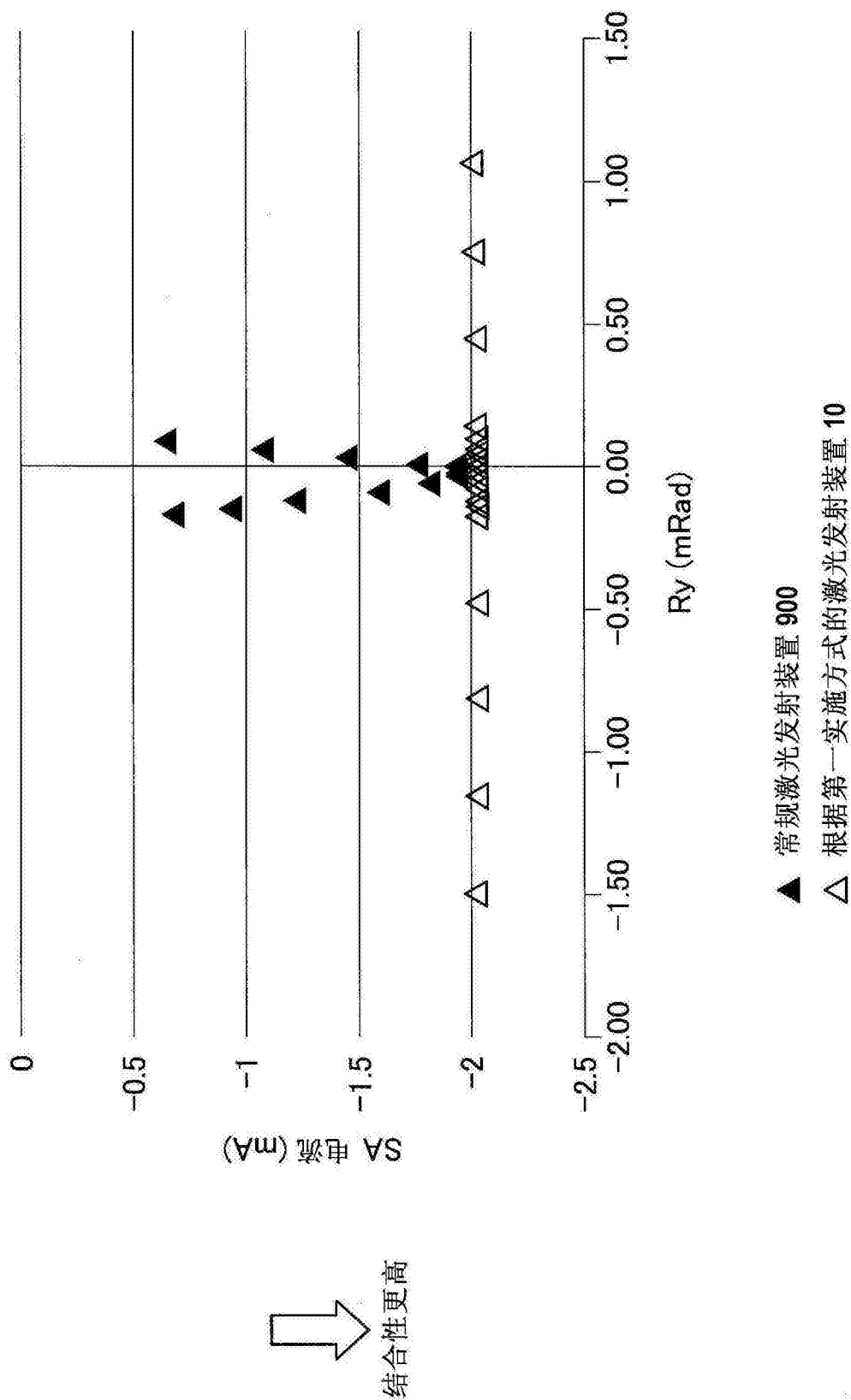


图5B

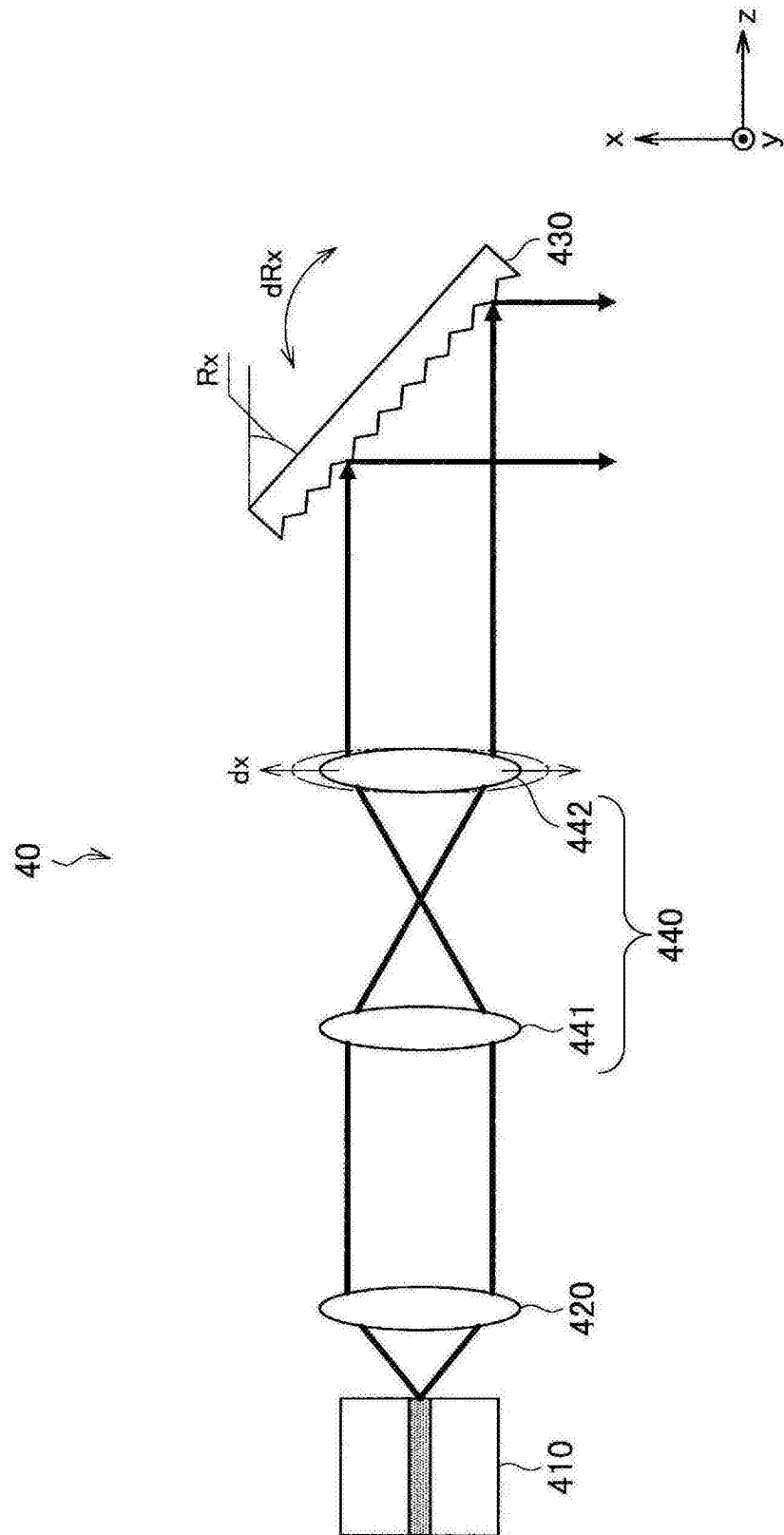


图6A

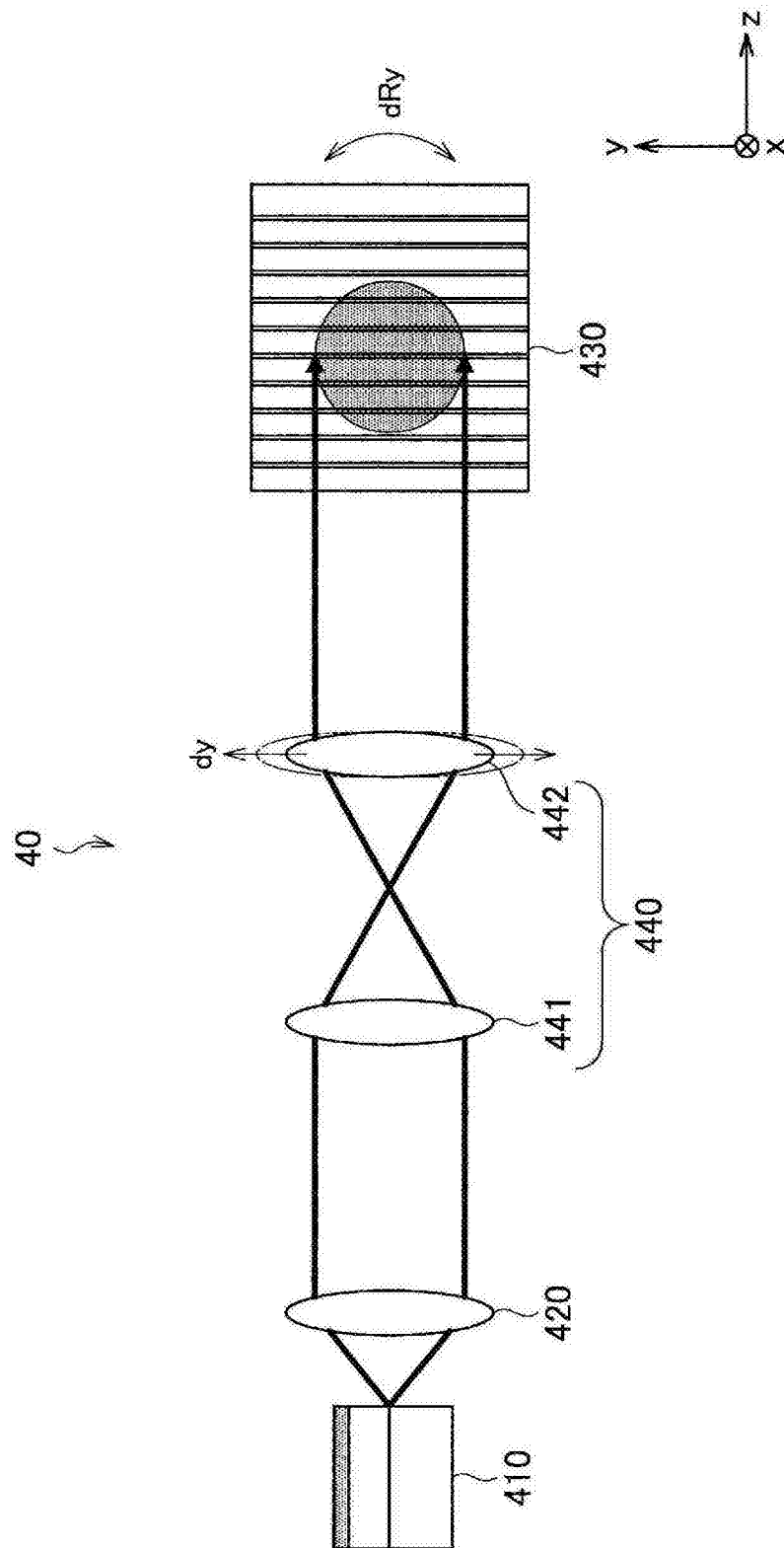


图6B

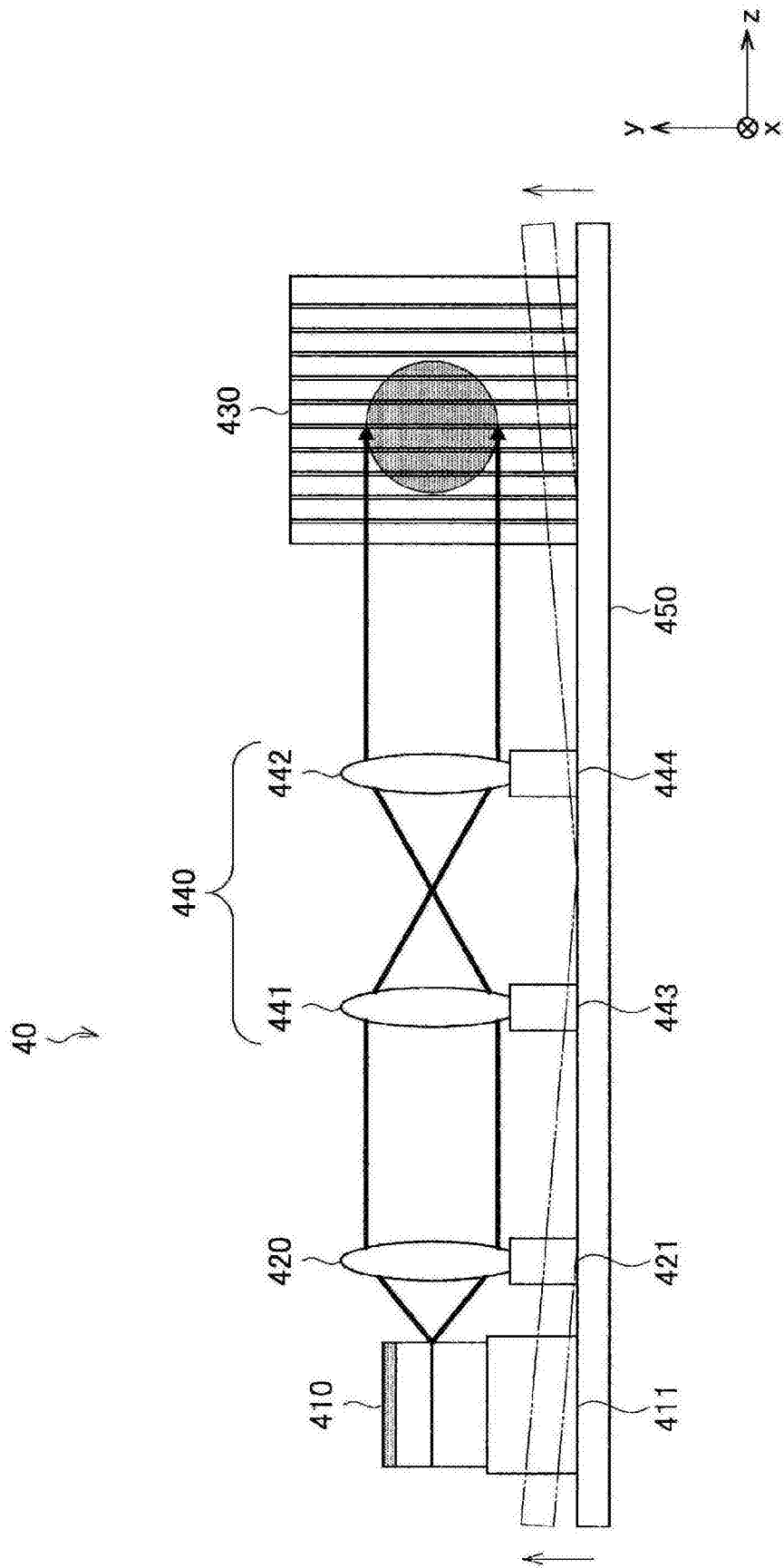


图7

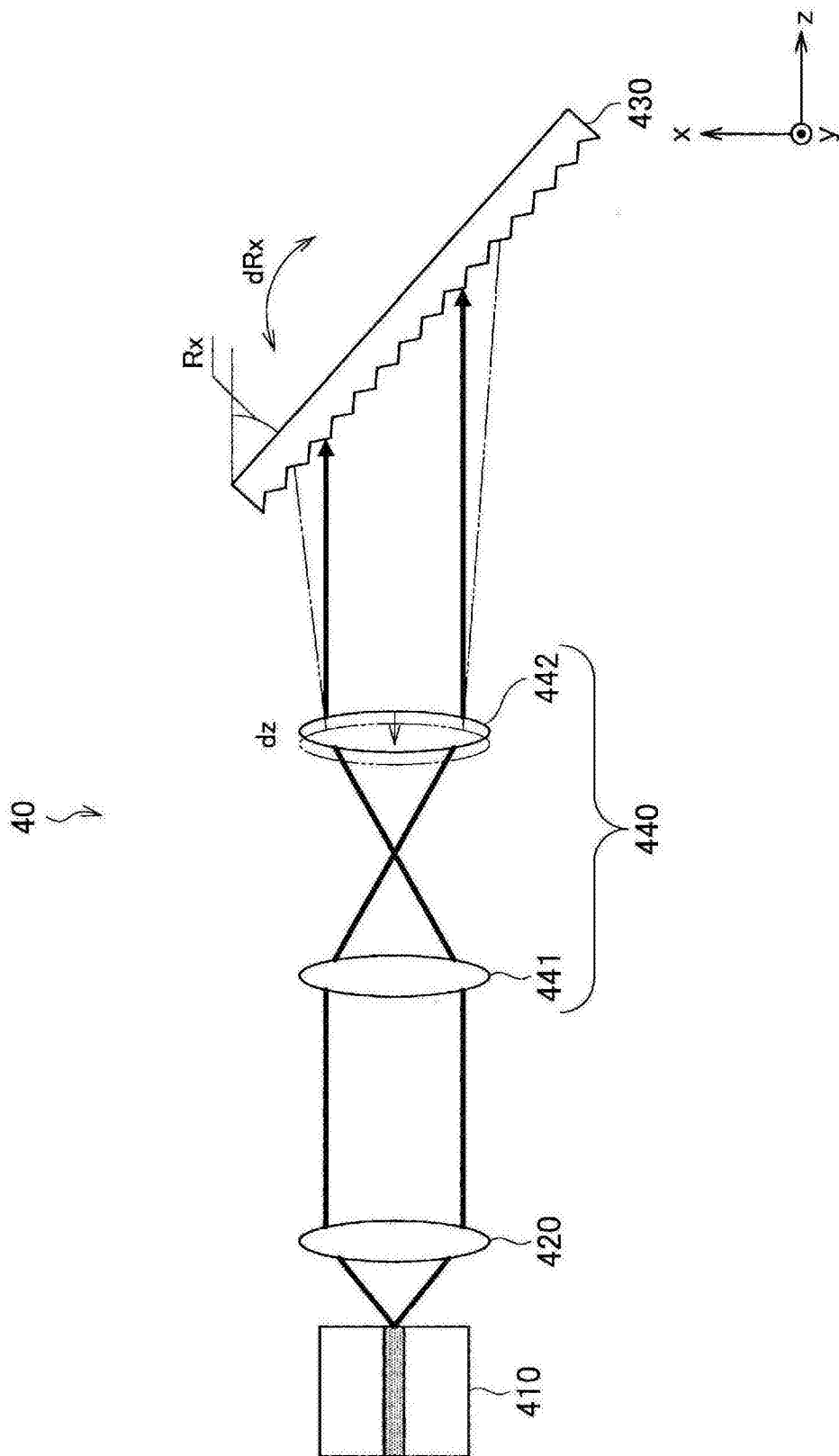


图8

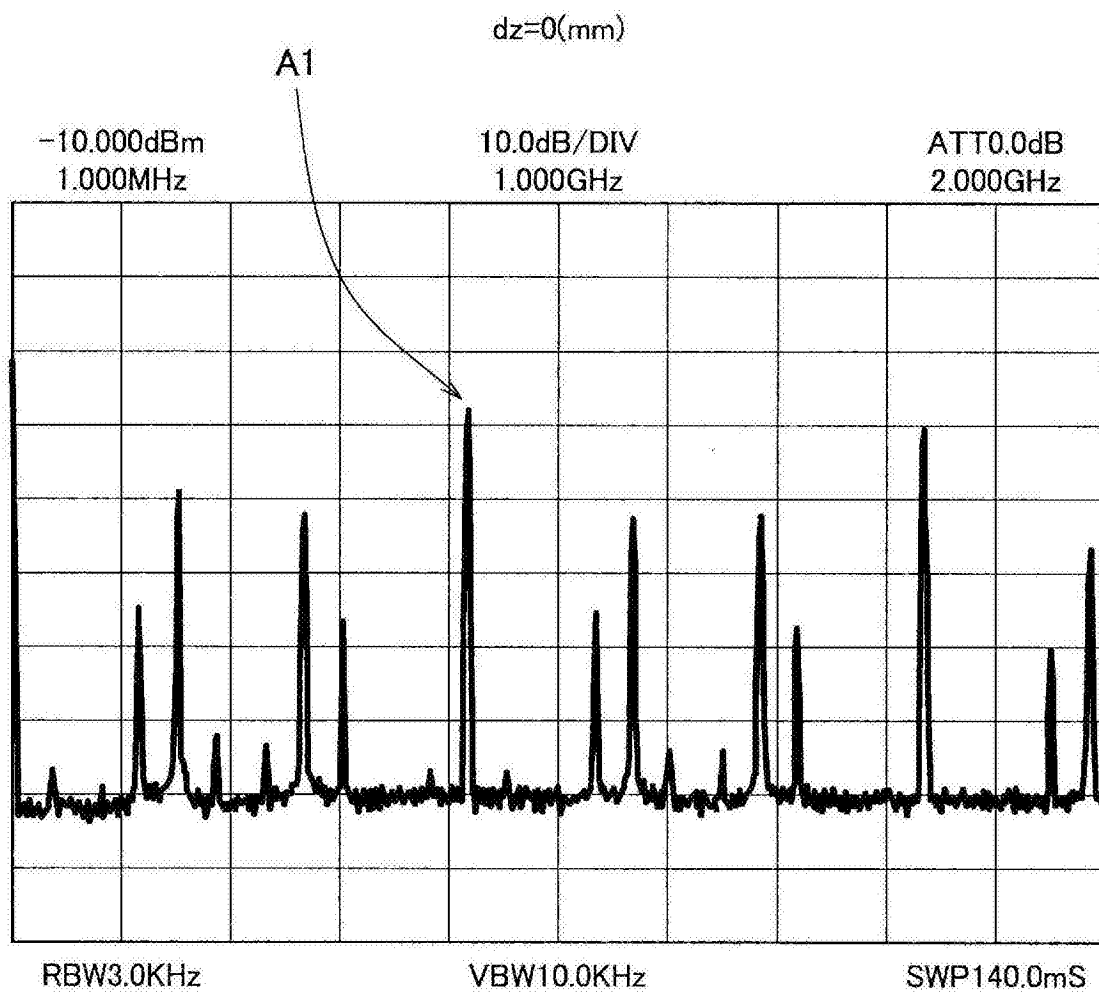


图9A

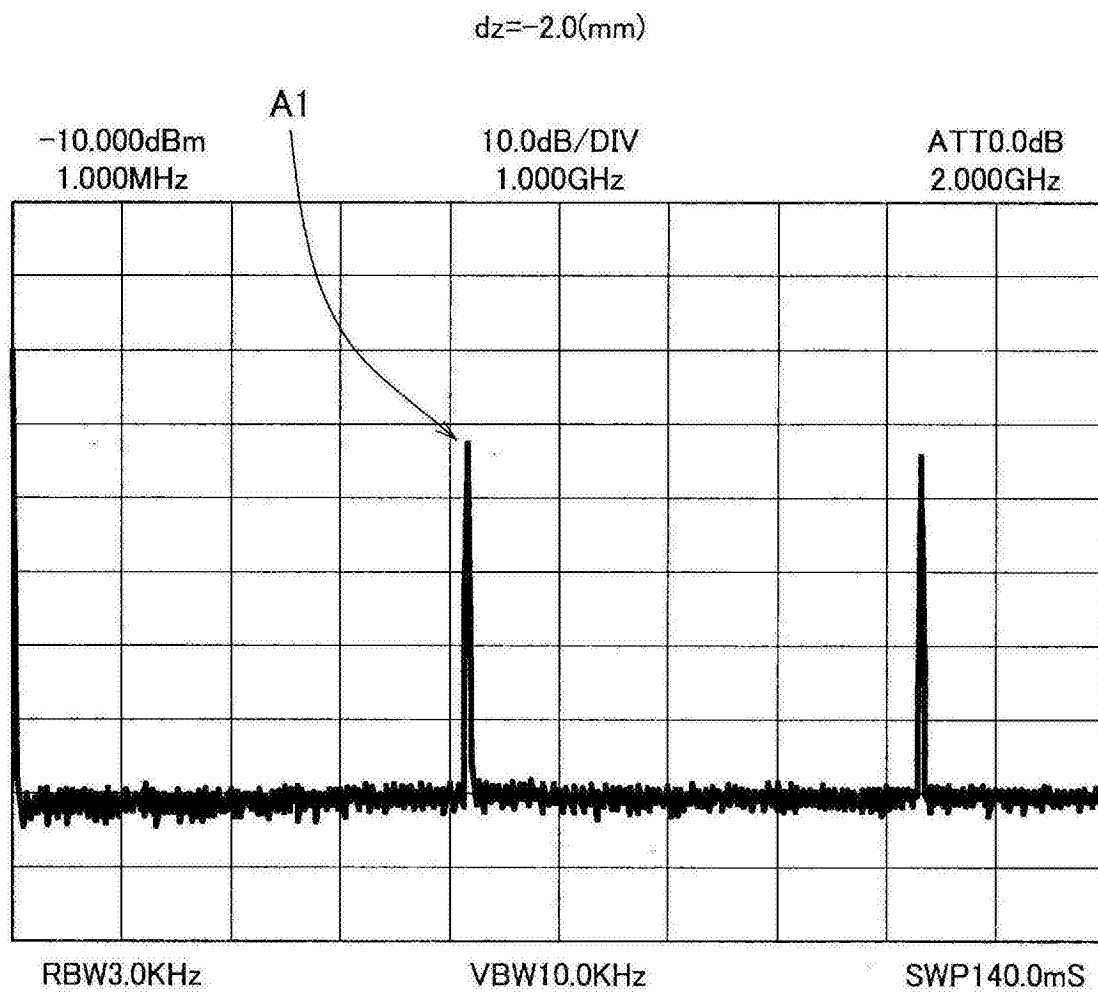


图9B

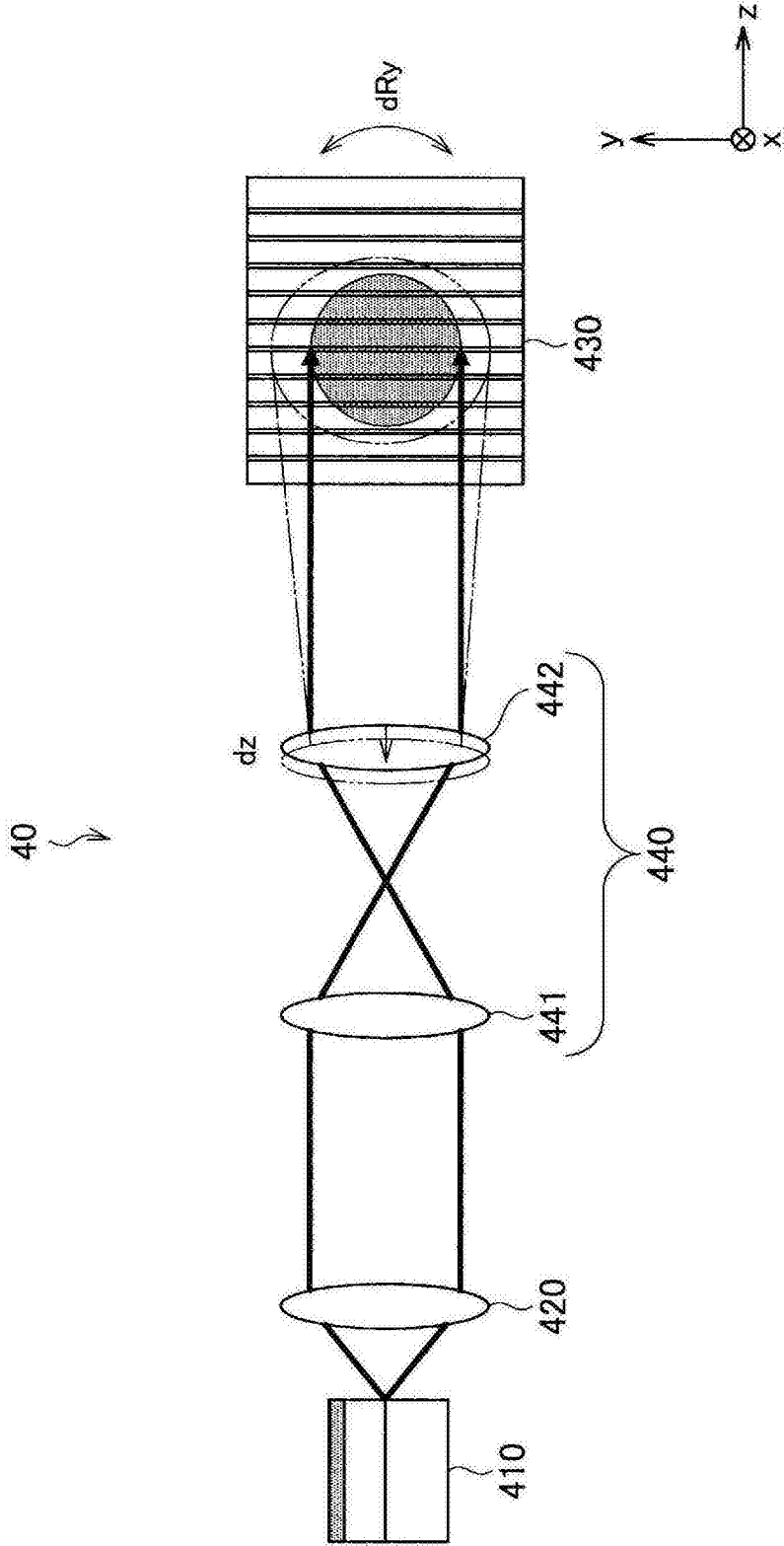


图10

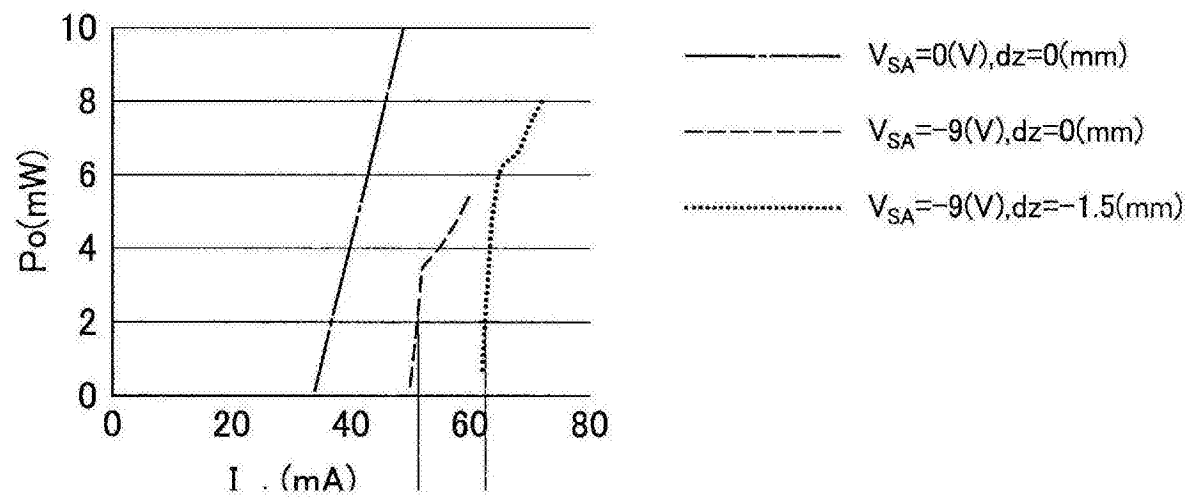


图11

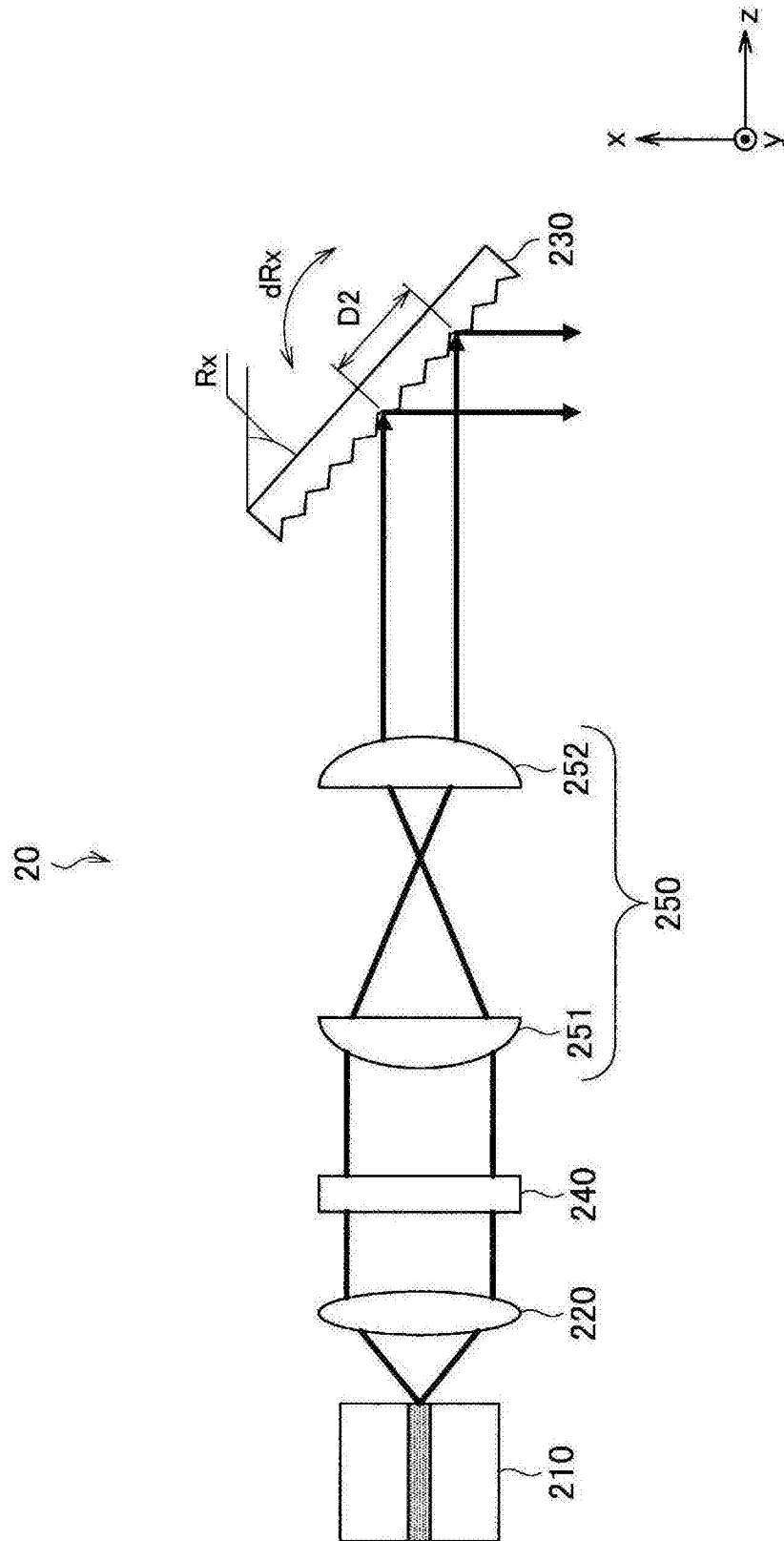


图12A

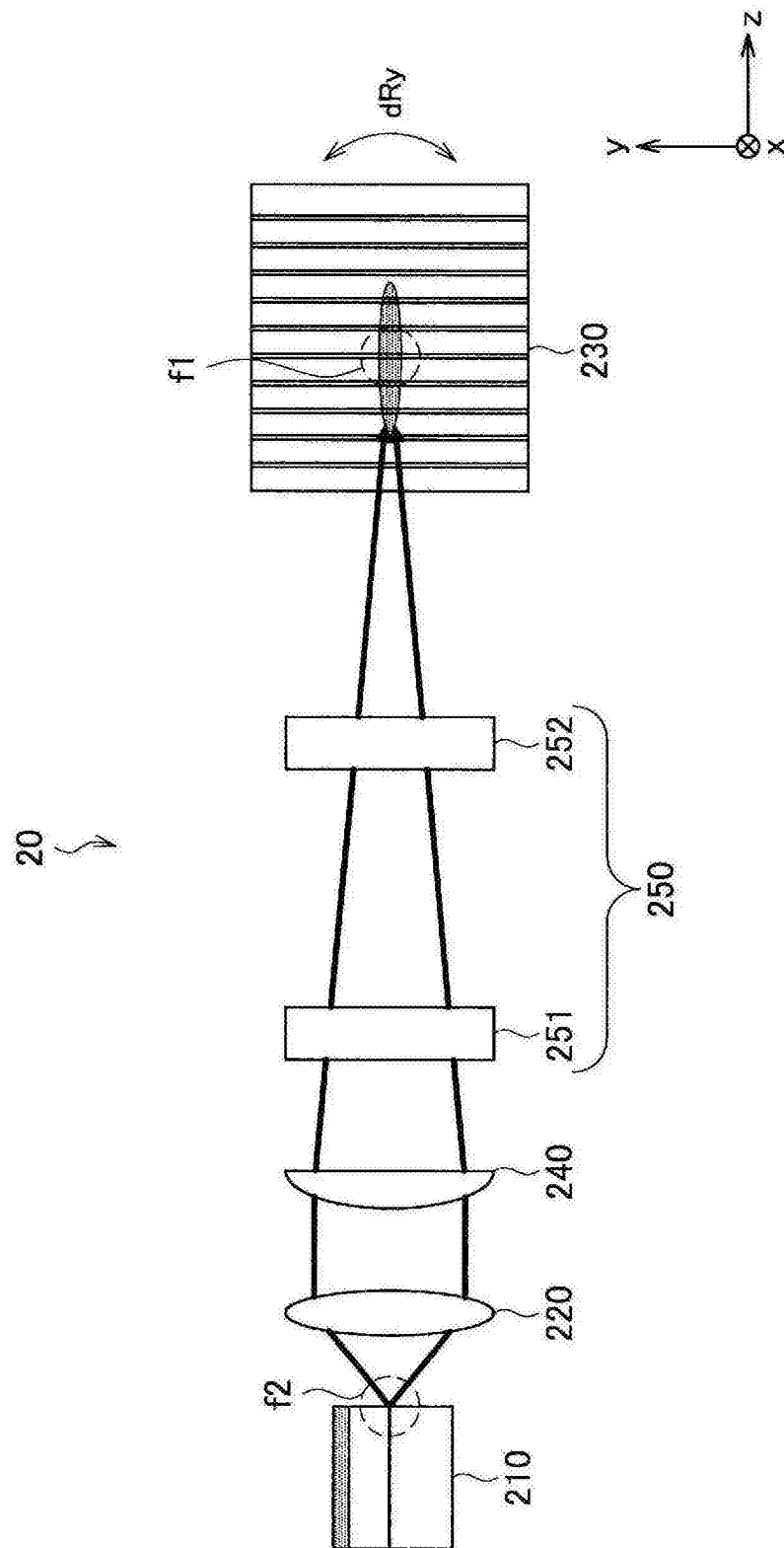


图 12B

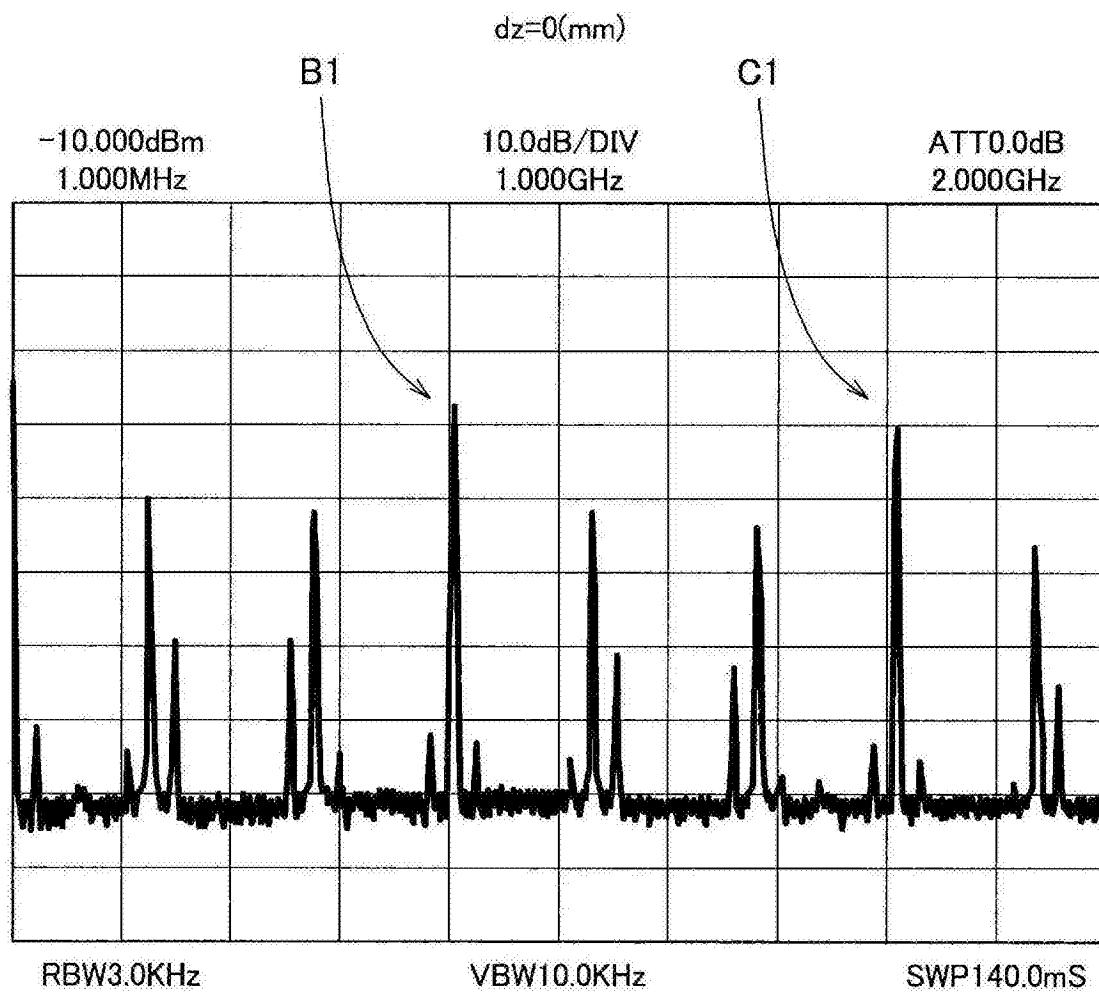


图13A

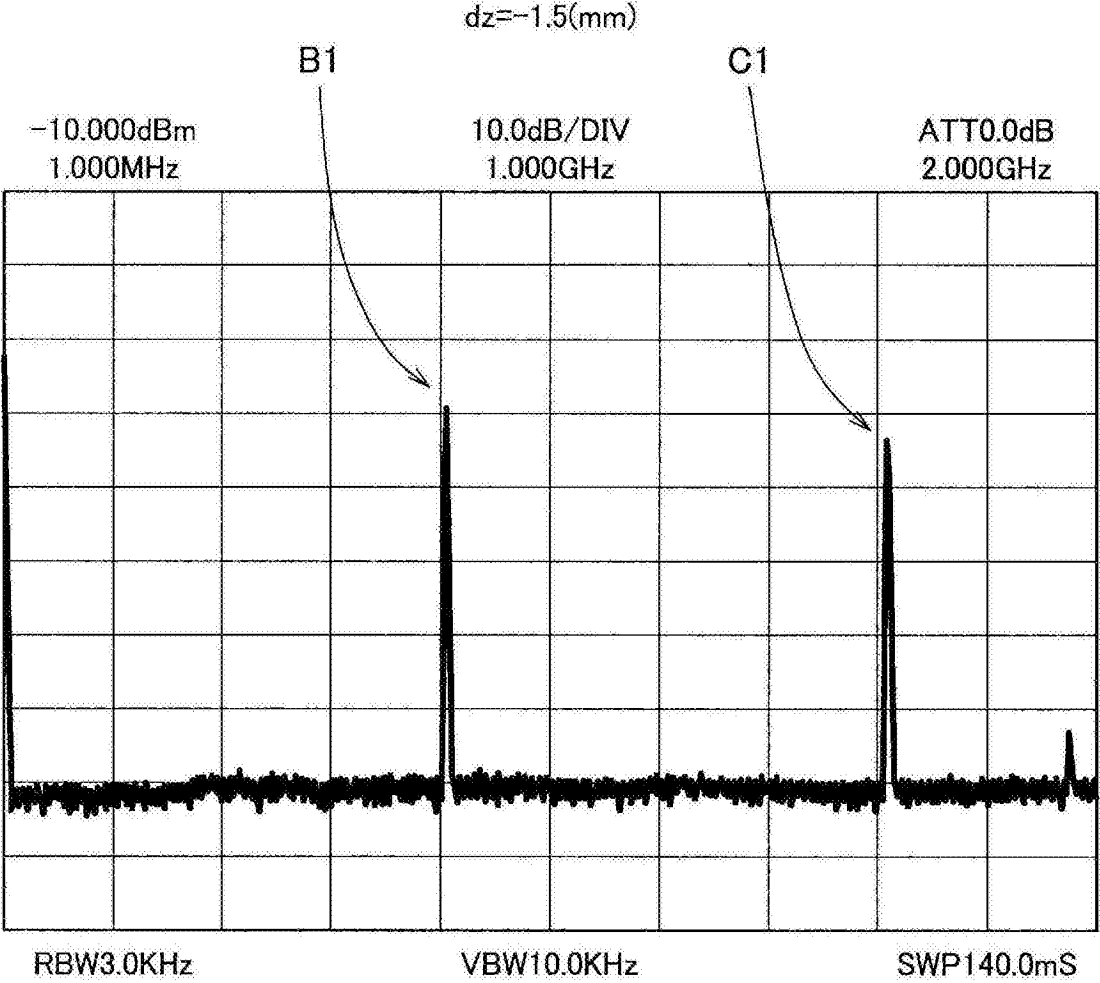


图13B

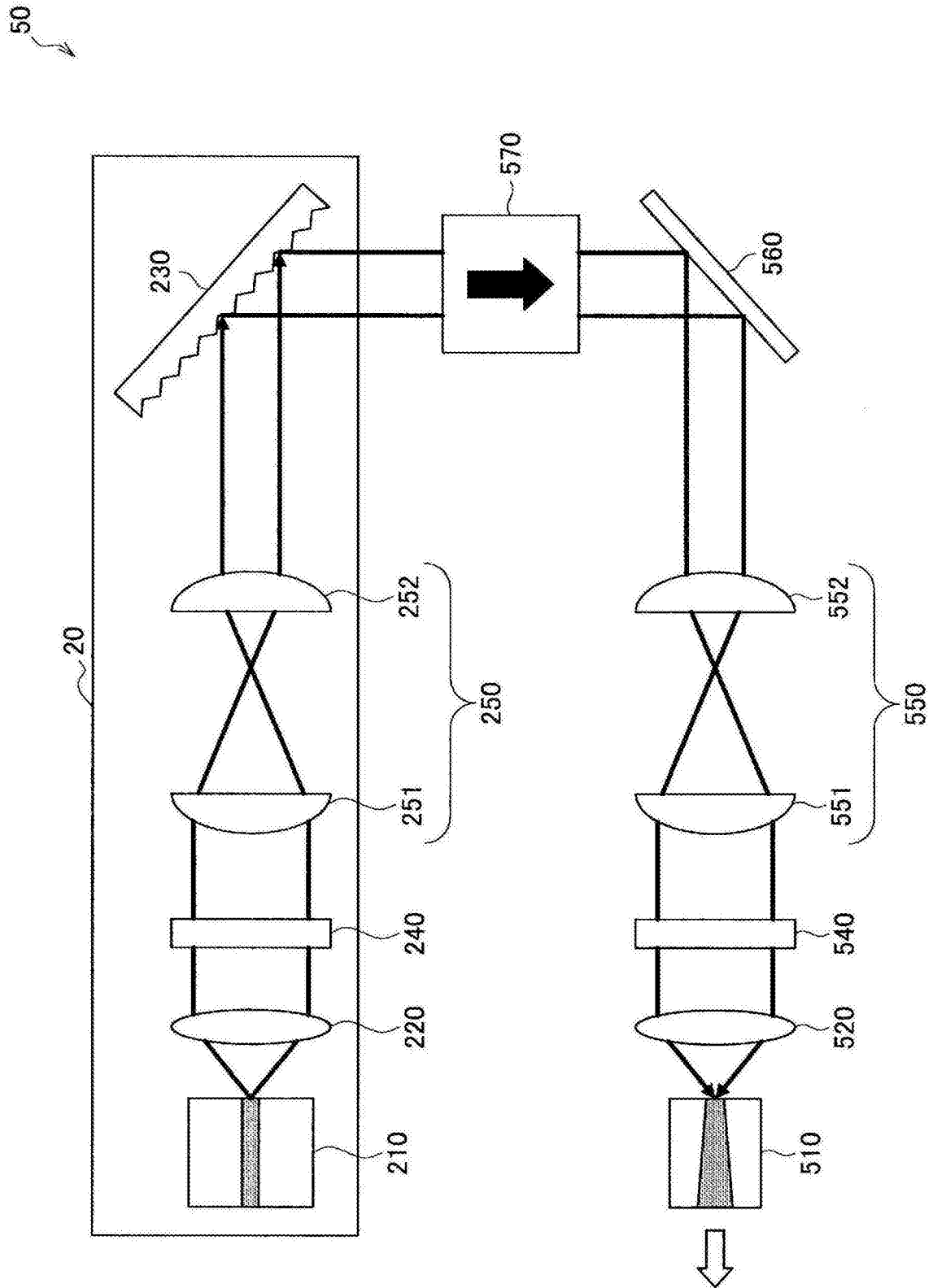


图15

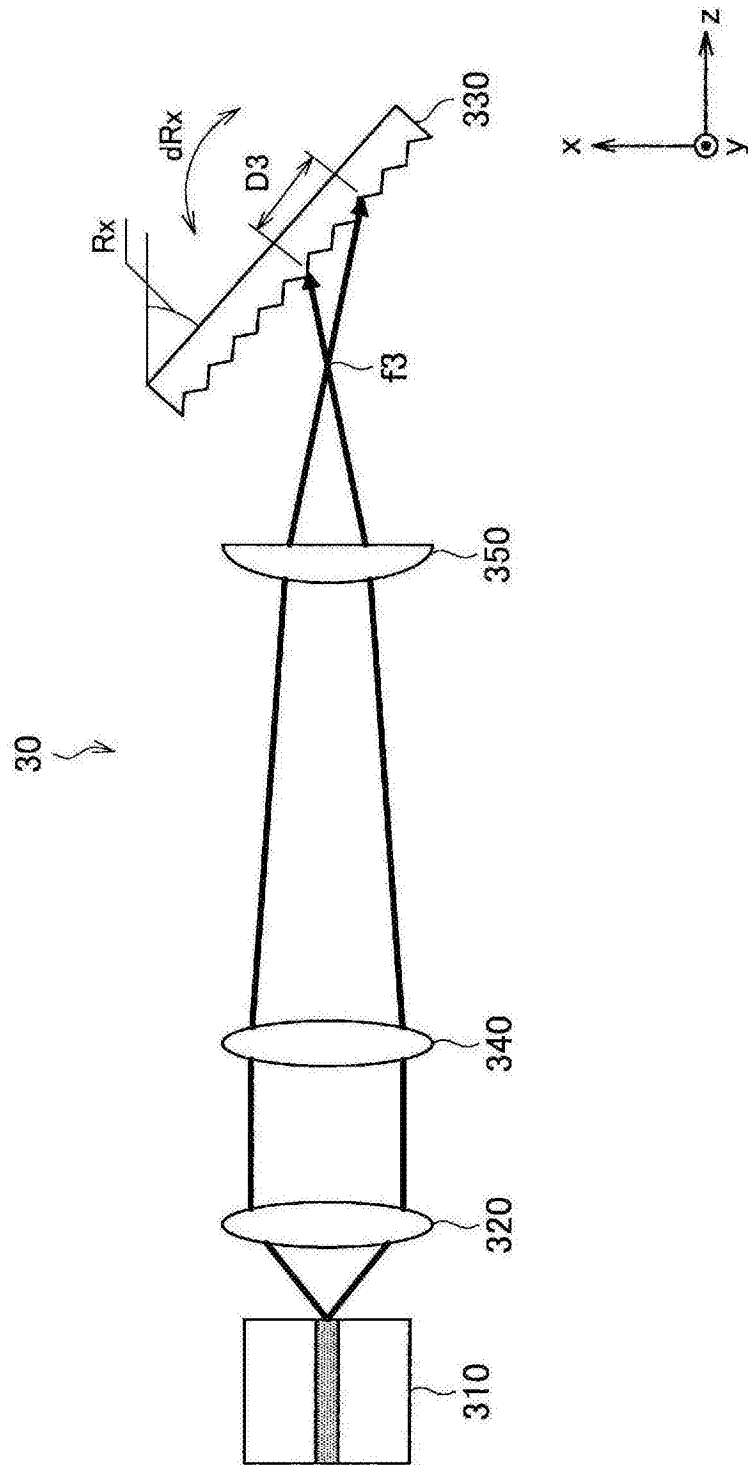


图16A

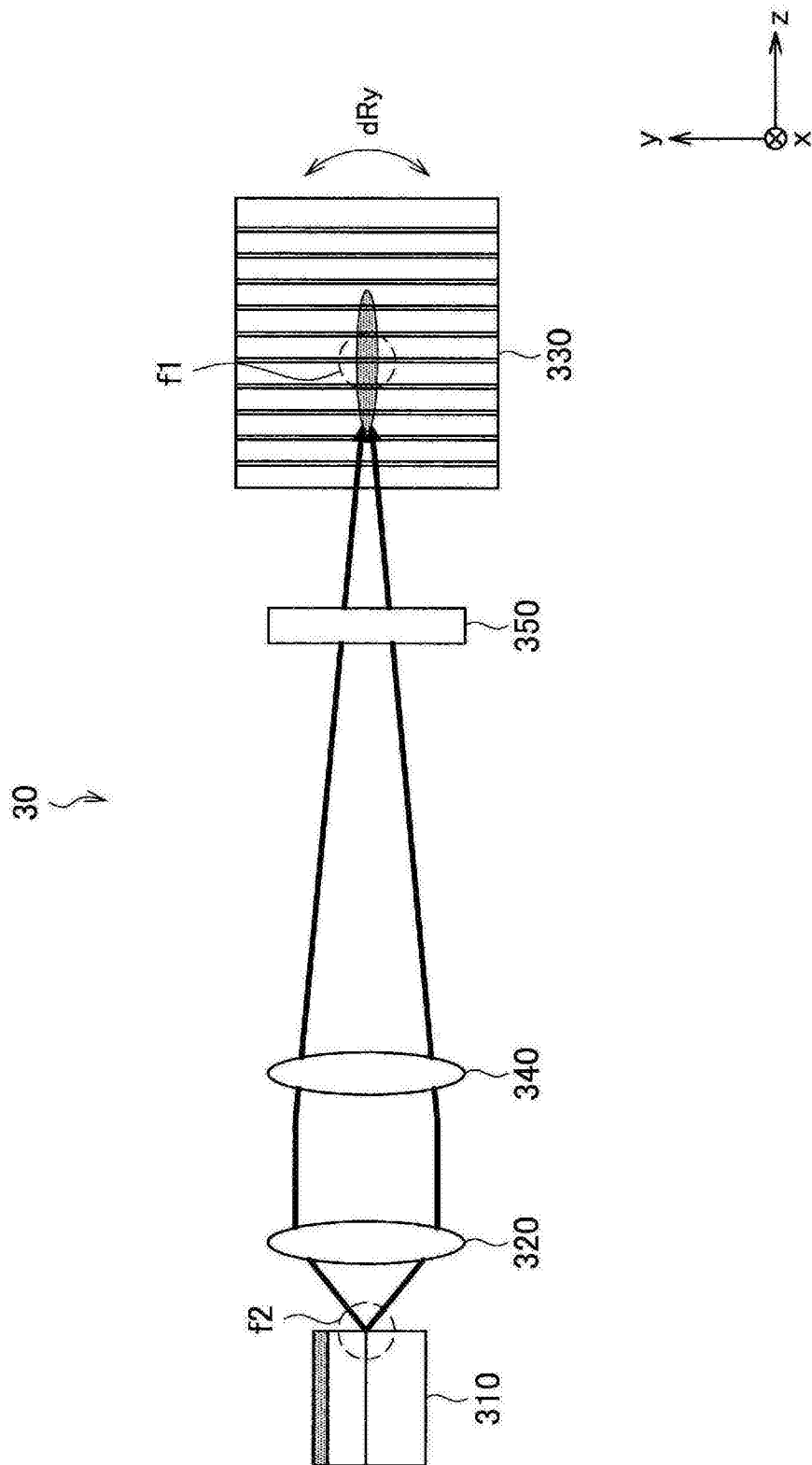


图16B