



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118801214 A

(43) 申请公布日 2024.10.18

(21) 申请号 202410369508.2

(22) 申请日 2024.03.28

(30) 优先权数据

63/495,357 2023.04.11 US

18/348,933 2023.07.07 US

(71) 申请人 朗美通经营有限责任公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 R·杜贝 M·G·彼得斯

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

专利代理师 张维

(51) Int. Cl.

H01S 5/183 (2006.01)

H01S 5/068 (2006.01)

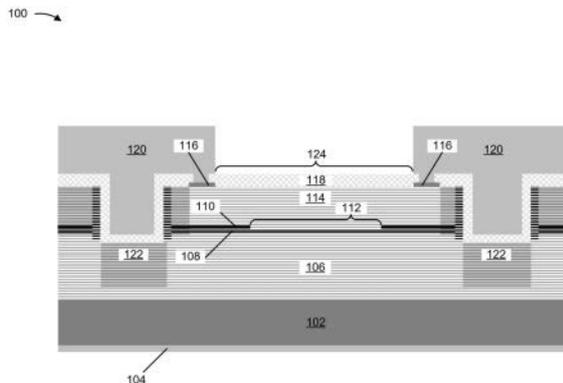
权利要求书2页 说明书9页 附图5页

(54) 发明名称

用于改善偏振稳定性的有非对称孔的垂直腔面发射激光器

(57) 摘要

垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 可以包括衬底、第一反射镜结构和用于生成光的腔体区域。腔体区域可以使光的第一部分的谐振波长和光的第二部分的谐振波长从 VCSEL 的增益峰值偏移, 其中第一部分具有第一偏振, 并且第二部分具有第二偏振, 并且第一部分的谐振波长的偏移不同于第二部分的谐振波长的偏移。VCSEL 可以包括限制孔, 该限制孔具有不对称形状以引起第一部分的谐振波长和第二部分的谐振波长的光谱分离。VCSEL 可以包括第二反射镜结构和形成输出孔的一个或多个层。



1. 一种垂直腔面发射激光器 (VCSEL), 包括:
 - 衬底;
 - 第一反射镜结构, 在所述衬底上方;
 - 腔体区域, 在所述第一反射镜结构上方并且用于生成光,
 - 其中, 所述腔体区域用于使所述光的第一部分的谐振波长和所述光的第二部分的谐振波长从所述VCSEL的增益峰值偏移至少一阈值量,
 - 其中, 所述光的所述第一部分具有第一偏振, 并且所述光的所述第二部分具有第二偏振, 并且
 - 其中, 所述光的所述第一部分的谐振波长与所述增益峰值的偏移不同于所述光的所述第二部分的谐振波长与所述增益峰值的偏移;
 - 限制层, 所述限制层形成与所述腔体区域相邻或靠近所述腔体区域的限制孔,
 - 其中所述限制孔具有不对称形状, 以引起所述光的所述第一部分的谐振波长与所述光的所述第二部分的谐振波长的光谱分离;
 - 第二反射镜结构, 在所述限制层上方; 以及
 - 一个或多个层, 在所述第二反射镜结构上方形成输出孔。
2. 根据权利要求1所述的VCSEL, 其中所述腔体区域中的量子阱的铟 (In) 含量在约6%至约18%的范围内。
3. 根据权利要求1所述的VCSEL, 其中, 所述腔体区域中的量子阱的厚度在约2纳米至约16纳米的范围内。
4. 根据权利要求1所述的VCSEL, 其中所述腔体区域中的量子阱势垒层的厚度在约2纳米至约25纳米的范围内。
5. 根据权利要求1所述的VCSEL, 其中, 所述限制孔具有椭圆形、卵形、矩形、菱形或六边形中的一种。
6. 根据权利要求1所述的VCSEL, 其中所述输出孔具有不对称形状, 以引起所述光的所述第一部分的谐振波长和所述光的所述第二部分的谐振波长的进一步光谱分离。
7. 根据权利要求1所述的VCSEL, 其中所述光的所述第一部分的谐振波长与所述增益峰值的偏移或所述光的所述第二部分的谐振波长与所述增益峰值的偏移中的至少一个在从大约8纳米到大约16纳米的范围内。
8. 根据权利要求1所述的VCSEL, 其中所述光的所述第一部分的谐振波长与所述光的所述第二部分的谐振波长之间的差在从大约0.015纳米到大约0.020纳米的范围内。
9. 根据权利要求1所述的VCSEL, 其中所述增益峰值相对于所述光的所述第一部分的谐振波长和所述光的所述第二部分的谐振波长蓝移。
10. 根据权利要求1所述的VCSEL, 其中, 所述增益峰值相对于所述光的所述第一部分的谐振波长和所述光的所述第二部分的谐振波长红移。
11. 一种发射器, 包括:
 - 腔体区域, 用于生成光,
 - 其中, 所述腔体区域用于使具有第一偏振的所述光的第一部分的第一谐振波长从所述发射器的增益峰值偏移第一量, 并且
 - 其中, 所述腔体区域用于使具有第二偏振的所述光的第二部分的第二谐振波长从所述

发射器的增益峰值偏移不同于所述第一量的第二量;以及
限制层,所述限制层形成限制孔,

其中所述限制孔具有非旋转对称形状,以引起所述第一谐振波长和所述第二谐振波长的光谱分离。

12. 根据权利要求11所述的发射器,其中所述腔体区域中的量子阱的铟(In)含量在从大约6%到大约18%的范围内。

13. 根据权利要求11所述的发射器,其中所述腔体区域中的量子阱的厚度在从大约2纳米到大约16纳米的范围内。

14. 根据权利要求11所述的发射器,其中所述腔体区域中的量子阱势垒层的厚度在从大约2纳米到大约25纳米的范围内。

15. 根据权利要求11所述的发射器,还包括形成输出孔的一个或多个层,其中所述输出孔具有非旋转对称形状,以引起所述第一谐振波长和所述第二谐振波长的进一步光谱分离。

16. 根据权利要求11所述的发射器,其中,所述第一谐振波长与所述增益峰值的偏移或所述第二谐振波长与所述增益峰值的偏移中的至少一个在从大约8纳米到大约16纳米的范围内。

17. 根据权利要求11所述的发射器,其中,所述第一谐振波长和所述第二谐振波长之间的差在约0.015纳米至约0.020纳米的范围内。

18. 一种设备,包括:

垂直腔面发射激光器(VCSEL),包括:

衬底;

第一反射镜结构;

腔体区域,用于生成光,其中,所述腔体区域的一个或多个特性使得所述光的第一部分的谐振波长和所述光的第二部分的谐振波长从所述VCSEL的增益峰值偏移至少一阈值量,

其中所述光的所述第一部分的偏振不同于所述光的所述第二部分的偏振,并且

其中所述光的所述第一部分的谐振波长不同于所述光的所述第二部分的谐振波长;

限制层,所述限制层形成限制孔,其中所述限制孔的形状使得所述光的所述第一部分的谐振波长与所述光的所述第二部分的谐振波长分离;

第二反射镜结构,在所述限制层上方;以及

一个或多个层,在所述第二反射镜结构上方形成输出孔。

19. 根据权利要求18所述的设备,其中满足以下至少一者:

所述腔体区域中的量子阱的铟(In)含量在约6%至约18%的范围内,

所述腔体区域中的量子阱的厚度在约2纳米至约16纳米的范围内,或者

所述腔体区域中的量子阱势垒层的厚度在约2纳米至约25纳米的范围内。

20. 根据权利要求18所述的设备,其中所述光的所述第一部分的谐振波长与所述增益峰值的偏移或所述光的所述第二部分的谐振波长与所述增益峰值的偏移中的至少一个在从大约8纳米到大约16纳米的范围内。

用于改善偏振稳定性的有非对称孔的垂直腔面发射激光器

技术领域

[0001] 本公开总体上涉及一种垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 和一种具有不对称孔的 VCSEL, 该不对称孔引起光的具有不同偏振的部分的谐振波长的分离。

背景技术

[0002] VCSEL是半导体激光器, 更具体地是具有单片激光谐振器的二极管激光器, 其中光在垂直于芯片表面的方向上发射。通常, 激光谐振器由平行于芯片表面的两个分布式布拉格反射器 (DBR) 反射镜组成, 其间是产生光的腔体区域 (由一个或多个量子阱组成)。通常, VCSEL的上反射镜和下反射镜分别掺杂为p型和n型材料, 从而形成二极管结。

发明内容

[0003] 在一些实施方式中, VCSEL包括: 衬底; 在所述衬底上方的第一反射镜结构; 腔体区域, 所述腔体区域在所述第一反射镜结构上方并且用于生成光, 其中, 所述腔体区域用于使所述光的第一部分的谐振波长和所述光的第二部分的谐振波长从所述VCSEL的增益峰值偏移至少一阈值量, 其中, 所述光的所述第一部分具有第一偏振, 并且所述光的所述第二部分具有第二偏振, 并且其中所述光的所述第一部分的谐振波长与所述增益峰值的偏移不同于所述光的所述第二部分的谐振波长与所述增益峰值的偏移; 限制层, 所述限制层形成与所述腔体区域相邻或靠近所述腔体区域的限制孔, 其中所述限制孔具有不对称形状, 以引起所述光的所述第一部分的谐振波长与所述光的所述第二部分的谐振波长的光谱分离; 在所述限制层上方的第二反射镜结构; 以及在第二反射镜结构上方形成输出孔的一个或多个层。

[0004] 在一些实施方式中, 发射器包括用于生成光的腔体区域, 其中腔体区域用于使具有第一偏振的光的第一部分的第一谐振波长从发射器的增益峰值偏移第一量, 并且其中腔体区域用于使具有第二偏振的光的第二部分的第二谐振波长从发射器的增益峰值偏移不同于第一量的第二量; 限制层, 所述限制层形成限制孔, 其中所述限制孔具有非旋转对称形状, 以引起所述第一谐振波长和所述第二谐振波长的光谱分离。

[0005] 在一些实施方式中, 一种装置包括VCSEL, 所述VCSEL包括: 衬底; 第一反射镜结构; 腔体区域, 所述腔体区域用于生成光, 其中, 所述腔体区域的一个或多个特性使得所述光的第一部分的谐振波长和所述光的第二部分的谐振波长从所述VCSEL的增益峰值偏移至少一阈值量, 其中, 所述光的所述第一部分的偏振不同于所述光的所述第二部分的偏振, 并且其中所述光的所述第一部分的谐振波长不同于所述光的所述第二部分的谐振波长; 限制层, 所述限制层形成限制孔, 其中所述限制孔的形状使得所述光的所述第一部分的谐振波长与所述光的所述第二部分的谐振波长分离; 在所述限制层上方的第二反射镜结构; 以及在第二反射镜结构上方形成输出孔的一个或多个层。

附图说明

[0006] 图1A-1C是与包括不对称孔的VCSEL的示例性实施方式相关联的图。

[0007] 图2A-2C是示出由VCSEL产生的光的谐振波长从包括不对称孔的VCSEL的增益峰值的偏移的示例的图。

[0008] 图3A和3B是示出与由包括不对称孔的VCSEL生成的光的谐振波长的光谱分离相关联的示例的图。

具体实施方式

[0009] 示例实施方式的以下详细描述参考附图。不同附图中的相同附图标记可以标识相同或相似的元件。

[0010] 常规VCSEL具有圆柱形对称几何形状,这意味着VCSEL的限制孔和输出孔在形状上是圆形的。这种圆柱形对称几何形状可以使VCSEL以简并模式发射激光。简并模式是具有相同谐振波长但具有不同空间图案(即,不同电场分布)的模式。例如,具有方位角指数0和径向指数1的线性偏振(LP)模式(即,LP01模式)具有两倍简并性,这意味着对于LP01模式(以及对于方位角指数为0的其他LP模式)可以存在两个正交偏振状态。作为另一示例,具有方位角折射率1和径向折射率1的LP模式(即LP11模式)具有四倍简并性,这意味着对于LP11模式(以及方位角折射率大于或等于1的其他LP模式),可以存在两个正交偏振状态和每个偏振的两个空间模式,具有不同谐振波长和场分布的任何两个或更多个模式被称为非简并模式。

[0011] 通常,简并模式是不可分离的,并且VCSEL没有优选的偏振状态。然而,VCSEL可能由于例如电光效应(例如,由外部或内部电场引起)或弹光效应(例如,由机械应变引起)而产生不受控制的双折射。不受控制的双折射导致VCSEL的简并模式的谐振波长之间的小差异。因此,VCSEL可以例如在对应于衬底的两个晶轴方向中的一个的方向上(例如,取决于衬底的晶轴取向)略微偏振。衬底的晶轴方向可以决定线性偏振状态的方向。例如,对于在[100]结晶方向上取向的衬底,[011]和[0-11]晶轴成为有利的偏振方向。由于VCSEL的这种轻微极化,VCSEL的操作条件(例如,温度、驱动电流、外部施加的应力等)的变化可以引起VCSEL的极化状态的自发变化。偏振状态的这种自发变化被称为偏振闪烁或偏振切换。偏振闪烁导致光通信信道中的噪声,并且类似地,对于需要稳定偏振状态的应用是有害的。此外,由于偏振闪烁的可能性,在使用偏振敏感光学器件的光学系统中使用常规VCSEL可能是不切实际的或不可能的。

[0012] 本文描述的一些实施方式提供了具有改善的偏振稳定性的VCSEL。在一些实施方式中,本文描述的VCSEL包括一个或多个不对称孔和腔体区域,该腔体区域在VCSEL的增益和谐振光谱中提供至少阈值量的失配。这里,增益和谐振光谱中的一个或多个不对称孔和阈值量的失配通过在VCSEL的操作期间减少或消除偏振闪烁来改善VCSEL的偏振状态的稳定性。下面提供附加细节。

[0013] 图1A-1C是与包括不对称孔的VCSEL 100的示例性实施方式相关联的图。在一些实施方式中,VCSEL 100可以包括在发射器阵列(例如,VCSEL 100阵列)中。在一些实施方式中,如图1A所示,VCSEL 100是顶部发射发射器。可替代地,在一些实施方式中,VCSEL 100可以是底部发射发射器(例如,具有与图1A所示的结构类似的结构,具有修改以实现底部发

射)。如图1A所示,VCSEL 100可以包括衬底102、底部金属104、底部反射镜结构106、包括一个或多个有源区(本文称为腔体区域108)的腔、形成限制孔112的限制层110、顶部反射镜结构114、顶部接触层116、介电层118、顶部金属120和一个或多个隔离注入122。如图所示,VCSEL 100的一个或多个层(例如,顶部接触层116、介电层118、顶部金属120等)可以形成输出孔124。

[0014] 衬底102包括支撑材料,在该支撑材料上或内生长或制造VCSEL 100的一个或多个层或特征。在一些实施方式中,衬底102包括n型材料。在一些实施方式中,衬底102包括半绝缘类型的材料。在一些实施方式中,当VCSEL 100包括一个或多个底部发射发射器时,可以使用半绝缘类型的材料,以便减少来自衬底102的光学吸收。在这样的实施方式中,VCSEL 100可以包括在底部反射镜结构106中或附近的接触缓冲器。在一些实施方式中,衬底102可由半导体材料形成,例如砷化镓(GaAs)、磷化铟(InP)或另一类型的半导体材料。在一些实施方式中,VCSEL 100的底部接触部(例如,底部n接触部)可以由衬底102的背侧制成。在一些实施方式中,VCSEL 100的底部接触部可以由VCSEL 100的前侧制成。在一些实施方式中,可以通过例如将台面台阶或沟槽蚀刻到衬底102或者在底部反射镜结构106中或附近插入接触缓冲来实现前侧接触。

[0015] 底部金属104包括在衬底102的底表面上(例如,在VCSEL 100的背侧处)的金属层。在一些实施方式中,底部金属104由n型材料形成。在一些实施方式中,底部金属104是与衬底102电接触的层。在一些实施方式中,底部金属104用作VCSEL 100的阳极。在一些实施方式中,底部金属104可包含经退火金属化层,例如金-锗-镍(AuGeNi)层、钯-锗-金(PdGeAu)层以及其它实例。

[0016] 底部反射镜结构106是VCSEL 100的光学谐振器的底部反射器。例如,底部反射镜结构106可以包括DBR、介电反射镜或另一类型的反射镜结构。在一些实施方式中,底部反射镜结构106由n型材料形成。在一些实施方式中,底部反射镜结构106在衬底102的顶表面上。在一些实施方式中,底部反射镜结构106可以具有在从大约3.5微米(μm)到大约9 μm 的范围内的厚度,诸如5 μm 。在一些实施方式中,底部反射镜结构106包括使用金属有机化学气相沉积(MOCVD)技术、分子束外延(MBE)技术或另一技术生长的一组层(例如,砷化铝镓(AlGaAs)层)。

[0017] 腔体区域108包括一个或多个层,其中电子和空穴复合以发射光并限定VCSEL 100的发射波长范围。例如,腔体区域108可以包括一个或多个量子阱(QWs)形式的一个或多个有源区。在一些实施方式中,腔体区域108可以包括一个或多个腔体间隔层(例如,以使得外延生长能够具有足够的空间用于使得组合物或温度斜坡变化)。在一些实施方式中,一个或多个腔体间隔层可以减小腔体区域108的有源区之间的应变和/或可以减轻VCSEL 100的激光操作的热问题。在一些实施方式中,一个或多个腔体间隔层可包括氧化层。腔体区域108(包括一个或多个有源区和任何腔体间隔层)、顶部反射镜结构114和底部反射镜结构106的光学厚度限定VCSEL 100的谐振腔波长,其可以被设计在腔体区域108的发射波长范围内以实现激光发射。在一些实施方式中,腔体区域108可以形成在底部反射镜结构106上。在一些实施方式中,腔体区域108可具有在从大约0.006 μm 到大约0.5 μm 的范围内的厚度,例如0.15 μm 或0.30 μm 。在一些实施方式中,腔体区域108包括使用MOCVD技术、MBE技术或另一技术生长的一组层。

[0018] 在一些实施方式中,腔体区域108被设计成使得由VCSEL 100生成的光的不同偏振部分的谐振波长从VCSEL 100的增益峰值偏移至少一阈值量。例如,腔体区域108可以被设计成使得由VCSEL 100生成的光的第一部分(例如,具有第一偏振,诸如x偏振的光)的谐振波长从VCSEL 100的增益峰值偏移第一量,并且使得由VCSEL 100生成的光的第二部分(例如,具有第二偏振,诸如y偏振的光)的谐振波长从VCSEL 100的增益峰值偏移第二(例如,不同的)量。这里,光的第一部分的谐振波长与增益峰值的偏移可以不同于光的第二部分的谐振波长与增益峰值的偏移。在一些实施方式中,腔体区域108用于使由VCSEL 100生成的光的一部分的谐振波长从增益峰值偏移例如在从大约8纳米(nm)到大约16nm的范围内的量。也就是说,在一些实施方式中,光的第一部分的谐振波长与增益峰值的偏移或光的第二部分的谐振波长与增益峰值的偏移中的至少一个可以在大约8nm和大约16nm之间的范围内。在一些实施方式中,腔体区域108可以被设计为使得增益峰值相对于光的第一部分的谐振波长和光的第二部分的谐振波长蓝移(blue-shifted)。替代地,在一些实施方式中,腔体区域108可以被设计为使得增益峰值相对于光的第一部分的谐振波长和光的第二部分的谐振波长红移(red-shifted)。下面参考图2A-2C描述关于谐振波长偏移与增益峰值的偏移的附加细节。

[0019] 在一些实施方式中,可以通过选择腔体区域108或腔体区域108的有源区的一个或多个材料特性来定制谐振波长中的一个或多个谐振波长与增益峰值的偏移。例如,在一些实施方式中,可以基于腔体区域108的材料含量来提供谐振波长中的一个或多个谐振波长与增益峰值的偏移。作为一个示例,腔体区域108可以包括有源区,该有源区包括砷化镓铟(InGaAs)QW。在这种情况下,可以基于InGaAs QW的铟(In)含量(例如,基于InGaAs QW中的In的量)来提供谐振波长和增益峰值之间的偏移。在这样的示例中,InGaAs QW的In含量可以在大约6%至大约18%的范围内(例如,对于室温下的915nm增益峰值)。值得注意的是,存在宽范围的有源区组成,包括Ga、In、铝(Al)、砷(As)、磷(P)、氮(N)和/或锑(Sb),以覆盖在大约600nm至大约1600nm范围内的发射,并且有源区的材料含量可以取决于给定场景中的有源区组成。

[0020] 作为另一示例,可以基于腔体区域108的有源区的一个或多个特性来提供谐振波长中的一个或多个谐振波长与增益峰值的偏移。例如,腔体区域108可以包括具有一个或多个QW和一个或多个QW势垒层的有源区。通常,作为电子和空穴的量子限制的结果的VCSEL 100的发射波长可以由一个或多个QW的宽度(厚度)确定。例如,VCSEL 100的增益峰值可以通过增加一个或多个QW的宽度而红移,或者相反地,可以通过减小一个或多个QW的宽度而蓝移。这里,可以选择一个或多个QW的厚度,以便提供谐振波长与增益峰值的偏移。在一些实施方式中,QW的厚度可在约2nm到约16nm的范围内。在一些实施方式中,可以基于一个或多个QW的宽度来选择一个或多个QW势垒层的宽度(厚度)(例如,以便提供具有期望总厚度的有源区)。在一些实施方式中,QW势垒层的厚度可以在约2nm至约25nm的范围内(例如,对于最高增益的多个QW有源区)。在一些实施方式中,有源区的总厚度可在约0.05m到约0.15m的范围内,例如0.05m。

[0021] 限制层110是为VCSEL 100提供光学和/或电限制的层。在一些实施方式中,限制层110增强VCSEL 100的载流子和模式限制,并且因此可以改善VCSEL 100的性能。在一些实施方式中,限制层110在腔体区域108上、下或中。在一些实施方式中,在限制层110和腔体区域

108之间可以存在一个或多个间隔层或反射镜层(例如,DBR)。在一些实施方式中,限制层110在腔体区域108的更靠近底部反射镜结构106的一侧上(即,在腔体区域108的衬底侧上)。在一些实施方式中,限制层110在腔体区域108的更靠近顶部反射镜结构114的一侧上(即,在腔体区域108的非衬底侧上)。

[0022] 在一些实施方式中,限制层110是由于VCSEL 100的一个或多个外延层的氧化而形成的氧化物层。例如,限制层110可以是由于外延层(例如,AlGaAs层、AlAs层等)的氧化而形成的氧化铝(Al_2O_3)层。在一些实施方式中,限制层110可以具有在约 $0.007\mu\text{m}$ 至约 $0.04\mu\text{m}$ 的范围内的厚度,例如 $0.02\mu\text{m}$ 。在一些实施方式中,在VCSEL 100周围蚀刻的氧化沟槽(在图1A中示出为填充)可以允许蒸汽进入形成限制层110的外延层。在一些实施方式中,氧化沟槽可以不完全包围限制层110。例如,氧化沟槽可以遵循限制区域的一般形状,但是在相邻的氧化沟槽之间可以存在间隙。在一些实施方式中,限制层110可以遵循一般的几何形状,但是可以具有与氧化沟槽的形状或位置相关联的变化和/或与氧化速率相关联的变化。在一些实施方式中,除了限制层110之外,VCSEL 100可以包括提供电流限制的一个或多个其他类型的结构或层,诸如注入钝化结构、台面隔离结构、沟槽隔离结构、掩埋隧道结等。附加地或替代地,用于提供电流限制的这种其他类型的结构或层可以包括在限制层110中或与限制层110集成。

[0023] 在一些实施方式中,限制层110限定限制孔112。因此,在一些实施方式中,限制孔112是由限制层110限定的光学活性孔。在一些实施方式中,限制孔112的尺寸(例如,给定方向上的宽度)在约 $1\mu\text{m}$ 至约 $300\mu\text{m}$ 的范围内,诸如 $5\mu\text{m}$ 或 $8\mu\text{m}$ 。在一些实施方式中,限制孔112可以通过氧化形成(例如,当限制层110是氧化层时)。附加地或替代地,限制孔112可以通过其他手段形成,诸如通过注入、扩散、再生长(例如,使用高电阻层、电流阻挡层、隧道结等)或气隙,以及其他示例。

[0024] 在一些实施方式中,限制孔112具有不对称形状。也就是说,限制层110可以形成为使得限制孔112具有非旋转对称的形状。例如,限制孔112可以具有椭圆形形状、卵形形状、矩形形状、菱形形状或六边形形状以及其他示例。图1B和1C是示出分别具有椭圆形状和六边形形状的限制孔112的示例的图。如上所述,图1B和1C中所示的限制孔112相对于第一方向(例如,x方向)的尺寸小于限制孔112相对于第二方向(例如,y方向)的尺寸。在实践中,限制孔112可以具有纵横比 $x:y$ 小于1或大于1的任何形状。也就是说,限制孔112可以具有纵横比 $x:y$ 不等于1的任何形状。

[0025] 在一些实施方式中,限制孔112的不对称形状引起由VCSEL 100产生的光的第一部分的谐振波长与由VCSEL 100产生的光的第二部分的谐振波长的光谱分离。例如,在一些实施方式中,光的第一部分的谐振波长与光的第二部分的谐振波长之间的差可以在从大约 0.015nm 到大约 0.020nm 的范围内。在一些实施方式中,由不对称限制孔112提供的光谱分离使得能够利用偏振增益依赖性来使一种偏振状态在VCSEL 100的操作中优于另一种偏振状态(例如,如下面关于图2A-2C所述)。例如,不对称限制孔112可以实现明确限定的非简并偏振状态。在一些实施方式中,具有不对称限制孔112的VCSEL 100中的轴向双折射提供不同的有效折射率(例如,在不同的方向上),并且因此在轴向方向上分离谐振波长。VCSEL 100的偏振状态之间的光谱分离可以通过调节不对称限制孔112的纵横比 $x:y$ 来定制。下面参考图3A和3B描述关于谐振波长的光谱分离的附加细节。

[0026] 顶部反射镜结构114是VCSEL 100的光学谐振器的顶部反射器。例如,顶部反射镜结构114可以包括DBR、介电反射镜等。在一些实施方式中,顶部反射镜结构114由p型材料形成。在一些实施方式中,顶部反射镜结构114可具有在约 $1\mu\text{m}$ 到约 $6\mu\text{m}$ 范围内的厚度,例如 $3\mu\text{m}$ 。在一些实施方式中,顶部反射镜结构114包括使用MOCVD技术、MBE技术或另一技术生长的一组层(例如,AlGaAs层)。在一些实施方式中,顶部反射镜结构114在腔体区域108上或上方生长。

[0027] 在一些实施方式中,从底部反射镜结构106的底表面到顶部反射镜结构114的顶表面的总厚度可以在例如大约 4.5m 至大约 26.4m 的范围内,诸如大约 8.6m 。在一些实施方式中,可以选择VCSEL 100的一个或多个层的厚度,以便提供实现高反射率(例如,大于约99%的反射率)的结构。在一些实施方式中,较小的总厚度可以促进VCSEL 100的生长时间的减少或VCSEL 100内的应力的减小。

[0028] 顶部接触层116是VCSEL 100的顶部接触层,其与顶部反射镜结构114电接触,电流可以流过顶部反射镜结构114。在一些实施方式中,顶部接触层116包括退火的金属化层。例如,顶部接触层116可以包括铬-金(Cr-Au)层、金-锌(Au-Zn)、钛-铂-金(TiPtAu)层、金-锗-镍(AuGeNi)层、钯-锗-金(PdGeAu)层等。在一些实施方式中,顶部接触层116具有在约 $0.03\mu\text{m}$ 到约 $0.3\mu\text{m}$ 范围内的厚度,例如 $0.2\mu\text{m}$ 。在一些实施方式中,顶部接触层116具有环形形状、开槽环形形状、齿轮形状或另一种类型的圆形或非圆形形状(例如,取决于VCSEL 100中的VCSEL的设计)。

[0029] 介电层118是至少部分地将顶部金属120与一个或多个其他层或特征(例如,沟槽的侧壁)绝缘的层。在一些实施方式中,介电层118可包括(例如)氮化硅(SiN)、二氧化硅(SiO₂)、聚合物电介质或另一类型的绝缘材料。

[0030] 顶部金属120是VCSEL 100的前侧处的顶部金属层。在一些实施方式中,顶部金属120由p型材料形成。替代地,在一些实施方式中,顶部金属120由n型材料形成。在一些实施方式中,顶部金属120可为与顶部接触层116进行电接触的层。在一些实施方式中,顶部金属120可以用作VCSEL 100的阴极。

[0031] 隔离注入122是防止自由载流子到达沟槽边缘和/或将相邻VCSEL 100彼此隔离(例如,如果沟槽没有完全包围VCSEL 100的VCSEL)的区域。隔离注入122可以包括例如离子注入材料,例如氢/质子注入材料或类似的注入元件,以降低导电性。

[0032] 输出孔124是VCSEL 100的孔,光通过该孔发射。如图所示,输出孔124可以由VCSEL 100的一个或多个层限定,例如顶部接触层116、介电层118或顶部金属120。在一些实施方式中,输出孔124的大小(例如,给定方向上的宽度)在约 $1\mu\text{m}$ 到约 $300\mu\text{m}$ 的范围内,例如 $5\mu\text{m}$ 或 $8\mu\text{m}$ 。

[0033] 在一些实施方式中,输出孔124具有不对称形状。也就是说,输出孔124可以形成为使得输出孔124具有非旋转对称的形状。例如,输出孔124可以具有椭圆形形状、卵形形状、矩形形状、菱形形状或六边形形状,以及其他示例。在一些实施方式中,输出孔124可以具有与限制孔112相同的尺寸或相同的形状(例如,图1B和1C中所示的示例适用于输出孔124)。也就是说,在一些实施方式中,输出孔124的形状或尺寸可以匹配(在公差内)限制孔112的形状或尺寸。在一些实施方式中,输出孔124相对于第一方向(例如,x方向)的尺寸小于输出孔124相对于第二方向(例如,y方向)的尺寸。在实践中,输出孔124可以具有纵横比x:y不等

于1的任何形状。在一些实施方式中,输出孔124与限制孔112对准(在公差内)。

[0034] 在一些实施方式中,输出孔124的不对称形状引起由VCSEL 100生成的光的第一部分的谐振波长与由VCSEL 100生成的光的第二部分的谐振波长的进一步光谱分离。也就是说,输出孔124的不对称形状可以用于增加光的第一部分的谐振波长和光的第二部分的谐振波长的光谱分离(例如,除了由限制孔112提供的光谱分离之外)。在一些实施方式中,由不对称输出孔124提供或改善的光谱分离使得能够利用偏振增益依赖性来使一种偏振状态在VCSEL 100的操作中优于另一种偏振状态(例如,如下文关于图2A-2C所述)。在一些实施方式中,可以通过调节输出孔124的纵横比 $x:y$ 来定制VCSEL 100的偏振状态之间的光谱分离。下面参考图3A和3B描述关于谐振波长的光谱分离的附加细节。

[0035] 以这种方式,VCSEL 100可以实现改善的偏振稳定性(例如,与常规VCSEL相比)。也就是说,在VCSEL 100的增益和谐振光谱中提供至少阈值量的失配的一个或多个不对称孔(例如,限制孔112和/或输出孔124)和腔体区域108可以通过减少或消除VCSEL操作期间的偏振闪烁来改善VCSEL 100的偏振稳定性。结果,可以减少或消除光通信信道中的VCSEL 100中的可归因于偏振闪烁的噪声,VCSEL 100可以适用于需要稳定偏振状态的应用,和/或VCSEL 100可以用于使用偏振敏感光学器件的光学系统。

[0036] 此外,相比使用局部应力产生双折射的方法,本文关于VCSEL 100描述的技术和装置更有效。本文描述的使用不对称性来产生双折射的技术和装置比基于应力的方法更可控、可重复和稳定。此外,由于本文所述的技术和装置不需要外延改性,因此这些技术和装置比需要外延改性的方法更便宜且更不复杂。这里,由于制造不对称孔的过程与制造对称孔的过程相同,因此制造不需要任何附加或复杂的处理步骤。

[0037] 图1A中所示的层的数量、布置、厚度、顺序、对称性等是作为示例提供的。在实践中,VCSEL 100可以包括与图1A中所示的层相比附加的层、更少的层、不同的层、不同构造的层或不同布置的层。例如,如上所述,在一些实施方式中,VCSEL 100可以是底部发射VCSEL,并且类似于图1A所示的结构可以用于底部发射,其中适当修改以支持底部发射(例如,输出孔可以形成在VCSEL的底部而不是VCSEL的顶部)。附加地或替代地,VCSEL 100的一组层(例如,一个或多个层)可以执行被描述为由VCSEL 100的另一组层执行的一个或多个功能,并且任何层可以包括多于一个层。此外,如上所述,图1B和1C是作为示例提供的。其他示例可以与关于图1B和1C描述的示例不同。

[0038] 图2A-2C是示出由VCSEL 100产生的光的谐振波长从VCSEL 100的增益峰值的偏移的示例的图。

[0039] 在一些实施方式中,增益相关偏振可以帮助稳定VCSEL 100的正交线性偏振状态。在实践中,将功率划分为VCSEL 100的两个偏振(例如,两个正交的本征偏振)取决于非简并偏振腔谐振与增益光谱的相对光谱重叠。在一些实施方式中,可以通过建立增益峰值(即,激光增益光谱的峰值)和谐振波长之间的失配来实现这种功率划分。在一些实施方式中,VCSEL 100可以被设计成具有相对窄的增益光谱,其在侧面上具有相对较陡的斜率或相对高的镜损耗,以促进两个偏振状态之间的功率分配。在一些实施方式中,具有相对较陡斜率的增益光谱实现了改进的功率分配和改进的偏振消光比(PER)。

[0040] 在谐振波长基本上与增益峰值对准的常规VCSEL(其示例在图2B中示出,其示出了0度($^{\circ}$)偏振状态和90 $^{\circ}$ 偏振状态)中,当例如红移增益曲线扫过谐振波长时(例如,由于欧姆

加热),主偏振状态可以突然切换。为了避免这种情况,VCSEL 100的腔体区域108被设计成使得增益峰值相对于由VCSEL 100产生的不同偏振光的谐振波长红移或蓝移。图2A示出了增益峰值相对于不同偏振状态(例如,0°偏振状态和90°偏振状态)的谐振波长的红移的示例。图2C示出了增益峰值相对于不同偏振状态(例如,0°偏振状态和90°偏振状态)的谐振波长的蓝移的示例。这里,增益峰值的偏移(例如,红移或蓝移)提供谐振波长与增益峰值的偏移。即使当VCSEL 100的操作条件改变时,这些(不同的)偏移也允许VCSEL 100保持主导偏振状态。例如,在温度变化的情况下,增益峰值可以每摄氏度偏移大约0.3nm(nm/C),而谐振波长可以偏移大约0.07nm/°C。这里,在增益曲线的给定侧上的谐振波长仍将导致相同的主偏振状态,因为将不存在增益峰值的扫描。在一些实施方式中,增益峰值从至少一个谐振波长(例如,更接近增益峰值的谐振波长)的8nm和16nm之间的偏移(例如,蓝移)可以通过更高阶模式的开始实现具有单个主偏振状态的VCSEL 100的激光操作。

[0041] 如上所述,图2A-2C是作为示例提供的。其他示例可以与关于图2A-2C描述的示例不同。

[0042] 图3A和3B是示出与由VCSEL 100生成的光的谐振波长的光谱分离相关联的示例的图。

[0043] 通过比较图3A和图3B可以看出,不同偏振状态(例如,0°偏振状态和90°偏振状态)的谐振波长的较大光谱分离实现了较大功率分配,并且因此改善了主偏振状态的稳定性。也就是说,通过增加由VCSEL 100产生的具有第一偏振的光的一部分的谐振波长和由VCSEL 100产生的具有第二偏振的光的一部分的谐振波长的光谱分离来增强功率分配。如上所述,限制孔112和/或输出孔124可以具有增加该光谱分离的不对称形状,这意味着限制孔112和/或输出孔124的不对称形状可以改善VCSEL 100的偏振稳定性(例如,与常规VCSEL相比)。在一些实施方式中,改进的功率划分还改进了VCSEL 100的PER。

[0044] 如上所述,图3A和3B是作为示例提供的。其他示例可以与关于图3A和3B描述的示例不同。

[0045] 前述公开内容提供了说明和描述,但并不旨在穷举或将实施方式限制于所公开的精确形式。可以根据上述公开内容进行修改和变化,或者可以从实施方式的实践中获得修改和变化。此外,除非前述公开明确地提供了一个或多个实施方式不可以组合的原因,否则可以组合本文描述的任何实施方式。

[0046] 如本文所使用的,术语“部件”旨在被广义地解释为硬件、固件和/或硬件和软件的组合。

[0047] 如本文所使用的,根据上下文,满足阈值可以指大于阈值、大于或等于阈值、小于阈值、小于或等于阈值、等于阈值、不等于阈值等的值。

[0048] 即使在权利要求中叙述和/或在说明书中公开了特征的特定组合,但是这些组合并不旨在限制各种实施方式的公开内容。事实上,这些特征中的许多可以以权利要求书中未具体叙述和/或说明书中未公开的方式组合。尽管下面列出的每个从属权利要求可以直接属于仅一个权利要求,但是各种实施方式的公开包括每个从属权利要求与权利要求集中的每个其他权利要求的组合。如本文所使用的,提及项目列表中的“至少一个”的短语是指这些项目的任何组合,包括单个成员。作为示例,“a、b或c中的至少一个”旨在涵盖a、b、c、a-b、a-c、b-c和a-b-c,以及与多个相同项目的任何组合。

[0049] 当部件或一个或多个部件(例如,激光发射器或一个或多个激光发射器)被描述或要求保护(在单个权利要求内或跨多个权利要求)为执行多个操作或被配置为执行多个操作时,该语言旨在广泛地覆盖各种架构和环境。例如,除非另有明确声明(例如,通过使用“第一部件”和“第二部件”或区分权利要求中的部件的其他语言),否则该语言旨在覆盖执行或被配置为执行所有操作的单个部件、共同执行或被配置为执行所有操作的一组部件、执行或被配置为执行第一操作的第一部件和执行或被配置为执行第二操作的第二部件、或者执行或被配置为执行操作的部件的任何组合。例如,当权利要求具有形式“一个或多个部件被配置为:执行X;执行Y;该权利要求应当被解释为意指“被配置为执行X的一个或多个部件;被配置为执行Y的一个或多个(可能不同的)部件;以及被配置为执行Z”的一个或多个(也可能是不同的)部件。

[0050] 除非明确描述如此,否则本文使用的元件、动作或指令不应被解释为关键或必要的。此外,如本文所使用的,冠词“一”和“一种”旨在包括一个或多个项目,并且可以与“一个或多个”互换使用。此外,如本文所使用的,冠词“该”旨在包括结合冠词“该”引用的一个或多个项目,并且可以与“一个或多个”互换使用。此外,如本文所使用的,术语“集合”旨在包括一个或多个项目(例如,相关项目、不相关项目、或者相关和不相关项目的组合)。在仅意图一个项目的情况下,使用短语“仅一个”或类似语言。此外,如本文所使用的,术语“有”、“具有”、“带有”等旨在是开放式术语。此外,除非另有明确说明,否则短语“基于”旨在表示“至少部分地基于”。此外,如本文所使用的,术语“或”在串联使用时旨在是包含性的,并且可以与“和/或”互换使用,除非另有明确说明(例如,如果与“任一”或“中的仅一个”组合使用)。此外,为了便于描述,本文可以使用空间相对术语,例如“下方”、“下部”、“上方”、“上部”、“上方”、“下面”等,以描述如图所示的一个元件或特征与另一个或多个元件或特征的关系。除了图中描绘的取向之外,空间相对术语旨在涵盖装置、装置和/或元件在使用或操作中的不同取向。装置可以以其他方式定向(旋转90度或处于其他定向),并且本文使用的空间相对描述符同样可以相应地解释。

[0051] 相关申请的交叉引用

[0052] 本专利申请要求于2023年4月11日提交的美国临时专利申请No. 63/495,357的优先权,该临时专利申请的名称为“用于改善偏振稳定性的具有非对称孔的垂直腔面发射激光器”。该在先申请的公开内容被认为是本专利申请的一部分,并通过引用结合到本专利申请中。

100 →

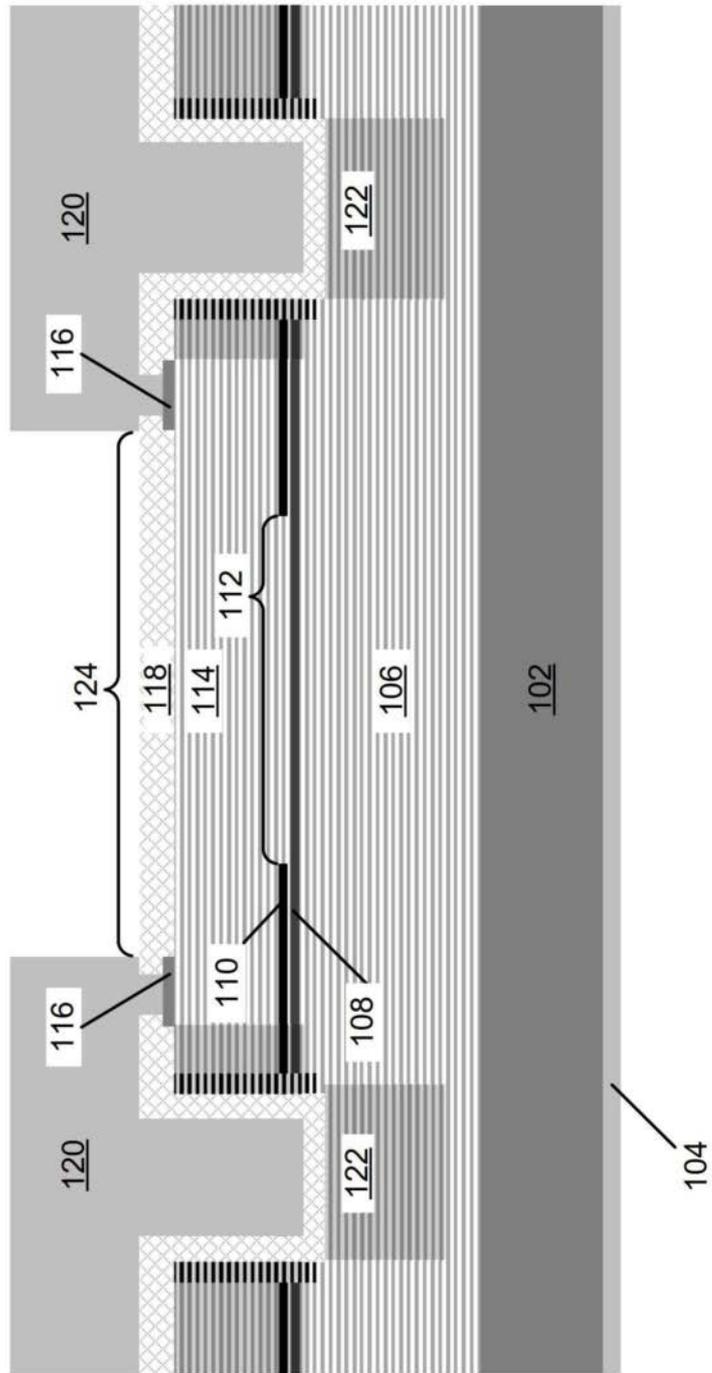


图1A

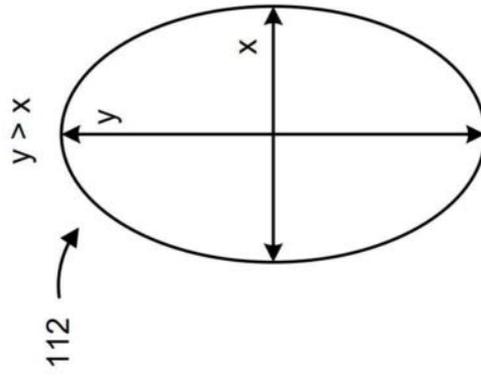


图1B

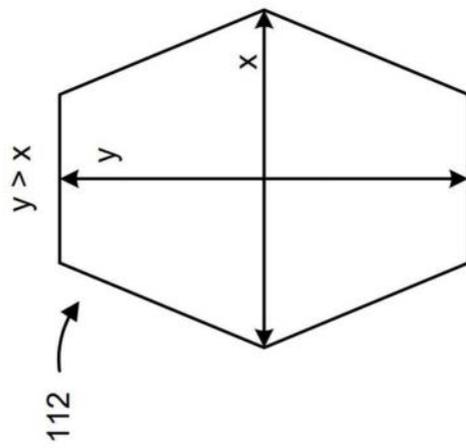


图1C

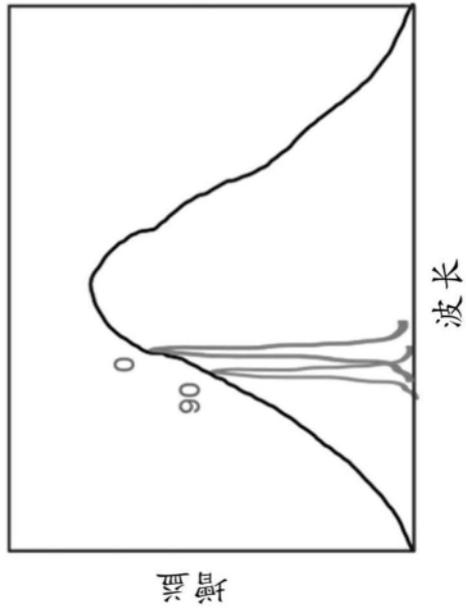


图2A

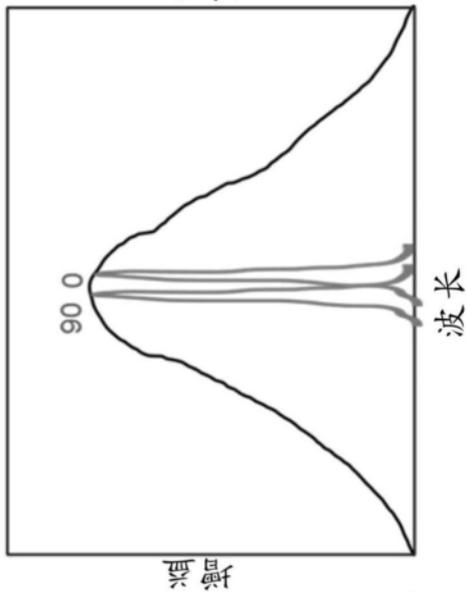


图2B

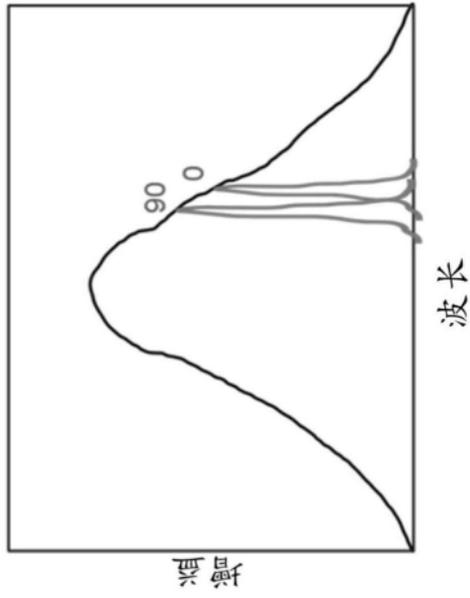


图2C

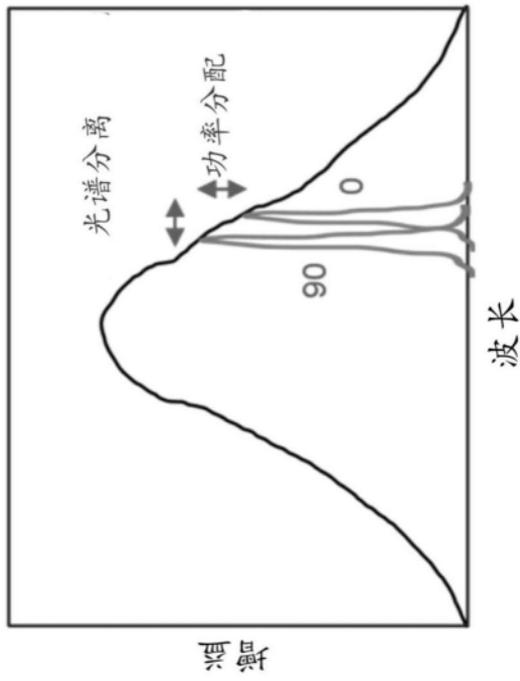


图3A

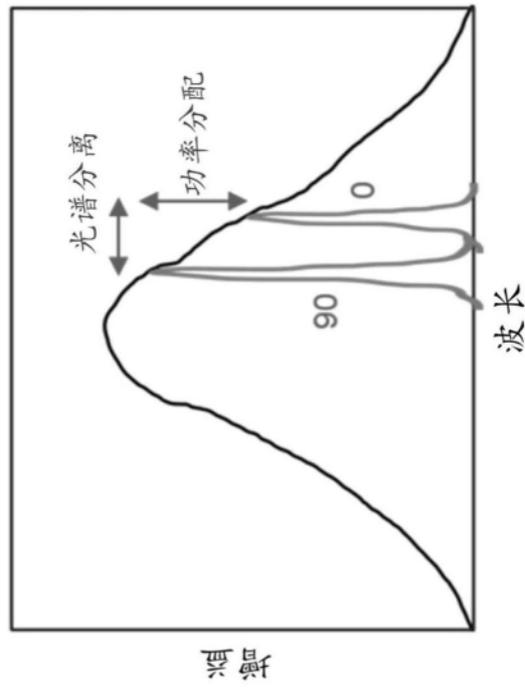


图3B