



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105305228 B

(45)授权公告日 2019.12.06

(21)申请号 201510393621.5

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2015.07.07

H01S 5/183(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 吴蕾蕾

申请公布号 CN 105305228 A

(43)申请公布日 2016.02.03

(30)优先权数据

2014-142912 2014.07.11 JP

(73)专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72)发明人 长友靖浩

(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 宿小猛

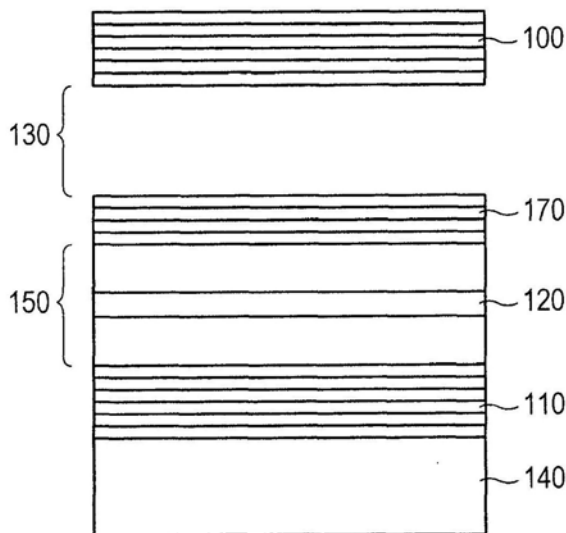
权利要求书2页 说明书11页 附图6页

(54)发明名称

表面发射激光器和光学干涉层析成像装置

(57)摘要

本公开涉及表面发射激光器和光学干涉层析成像装置。为了提供能够改善波长调谐效率的波长可调表面发射激光器，提供了一种表面发射激光器，包括：第一反射镜；包括活性层的半导体空腔；和第二反射镜，第一反射镜、半导体空腔和第二反射镜被以所述的顺序形成，在第一反射镜和半导体空腔之间形成的间隙部分，空腔长度是可调的，其中该表面发射激光器具有在所述间隙部分和所述半导体空腔之间形成的高反射率结构，并且满足表达式 $(\lambda/2) \times m + \lambda/8 < L < (\lambda/2) \times m + 3\lambda/8$ ，其中L是半导体空腔的光学厚度，m是1或者更大的整数，并且 λ 是激光振荡的中心波长。



1. 一种表面发射激光器,其特征在于,包括:
第一反射镜;
包括活性层的半导体空腔;和
第二反射镜,
第一反射镜、半导体空腔和第二反射镜被以所述的顺序形成,
其中在第一反射镜和半导体空腔之间形成间隔部分,
其中空腔长度是能够调整的,
其中空腔长度是第一反射镜和第二反射镜之间的光学厚度,
其中所述表面发射激光器具有在所述间隔部分和所述半导体空腔之间形成的高反射率结构,

其中满足 $(\lambda/2) \times m + \lambda/8 < L < (\lambda/2) \times m + 3\lambda/8$, 其中L是在半导体空腔的第一反射镜侧处的第一界面和在半导体空腔的第二反射镜侧处的第二界面的光学反射中没有相位变化的情况下转换为光学厚度之后的半导体空腔的光学厚度,m是1或者更大的整数,并且 λ 是激光振荡的中心波长,以及

其中所述高反射率结构包括如下结构:其中至少一个包括具有相对高的折射率的材料的高折射率层和包括具有相对低的折射率的材料低折射率层的对被堆叠。

2. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中所述高反射率结构包括分布式布拉格反射镜(DBR)。

3. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中所述半导体空腔的光学厚度L满足 $(\lambda/2) \times m + 3\lambda/16 < L < (\lambda/2) \times m + 5\lambda/16$ 。

4. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中所述半导体空腔的光学厚度L满足 $(\lambda/2) \times m + 7\lambda/40 \leq L \leq (\lambda/2) \times m + 13\lambda/40$ 。

5. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中所述半导体空腔的光学厚度包括在所述高反射率结构和所述半导体空腔的界面与所述半导体空腔和第二反射镜之间的界面之间的光程长度。

6. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中所述半导体空腔包括位于所述高反射率结构和第二反射镜之间的所有半导体层的堆叠体。

7. 根据权利要求1所述的表面发射激光器,其中所述高反射率结构在激光振荡的中心波长处具有50%或者更大的反射率。

8. 一种表面发射激光器,其特征在于,包括:
第一反射镜;
包括活性层的半导体空腔;和
第二反射镜,
第一反射镜、半导体空腔和第二反射镜被以所述的顺序形成,
其中在第一反射镜和半导体空腔之间形成间隔部分,
其中空腔长度是能够调整的,
其中空腔长度是第一反射镜和第二反射镜之间的光学厚度,
其中所述表面发射激光器具有在所述间隔部分和所述半导体空腔之间形成的高反射率结构,

其中满足 $(\lambda/2) \times m + \lambda/8 < L < (\lambda/2) \times m + 3\lambda/8$, 其中L是半导体空腔的光学厚度, m是1或者更大的整数, 并且 λ 是激光振荡的中心波长, 以及

其中所述高反射率结构包括如下结构: 其中至少一个包括具有相对高的折射率的材料的高折射率层和包括具有相对低的折射率的材料低折射率层的对被堆叠。

9. 根据权利要求8所述的表面发射激光器, 其中所述高反射率结构包括分布式布拉格反射镜(DBR)。

10. 根据权利要求8所述的表面发射激光器, 其中所述半导体空腔的光学厚度L满足 $(\lambda/2) \times m + 3\lambda/16 < L < (\lambda/2) \times m + 5\lambda/16$ 。

11. 根据权利要求8所述的表面发射激光器, 其中所述半导体空腔的光学厚度L满足 $(\lambda/2) \times m + 7\lambda/40 \leq L \leq (\lambda/2) \times m + 13\lambda/40$ 。

12. 根据权利要求8所述的表面发射激光器, 其中所述半导体空腔的光学厚度包括在所述高反射率结构和所述半导体空腔的界面与所述半导体空腔和第二反射镜之间的界面之间的光程长度。

13. 根据权利要求8所述的表面发射激光器, 其中所述半导体空腔包括位于所述高反射率结构和第二反射镜之间的所有半导体层的堆叠体。

14. 根据权利要求8所述的表面发射激光器, 其中所述高反射率结构在激光振荡的中心波长处具有50%或者更大的反射率。

15. 一种信息获取装置, 其特征在于, 包括:

根据权利要求1到14中任一个所述的表面发射激光器; 和

信息获取部分, 被配置为获取关于将被测量的对象的内部的信息。

16. 一种光学干涉层析成像装置, 其特征在于, 包括:

根据权利要求1到14中任一个所述的表面发射激光器;

干涉光学系统, 被配置为将来自光源设备的光分为参考光以及要被照射到将被测量的对象的照射光, 并且通过照射到将被测量的对象的光的反射和所述参考光来产生干涉光;

光检测部分, 被配置为接收所述干涉光; 以及

信息获取部分, 被配置为基于来自所述光检测部分的信号来获取关于将被测量的对象的信息。

表面发射激光器和光学干涉层析成像装置

技术领域

[0001] 本发明涉及波长可调表面发射激光器和使用该波长可调表面发射激光器的光学干涉层析成像装置。

背景技术

[0002] 可以期待将能够改变激光振荡波长的波长可调激光器应用于各种领域,包括通信、感测和成像,并且因此近年来对其进行了积极的研究和开发。

[0003] 作为这样一种波长可调激光器,已知所谓的MEMS-VCSEL结构,其中通过微机电系统(MEMS)技术控制垂直空腔表面发射激光器(VCSEL)的激光振荡波长。

[0004] 一般通过在—对诸如分布式布拉格反射镜(DBR)的反射镜之间夹入活性层来形成VCSEL,并且激光根据由反射镜之间的光程长度确定的空腔长度以—种波长振荡。在MEMS-VCSEL中,通过机械地移动—个反射镜的位置,可以改变空腔长度,以便改变激光振荡波长(参见例如美国专利No.6549687)。

[0005] 在MEMS-VCSEL中,相对于反射镜位置的改变量的激光振荡波长的改变量有时被称为波长调谐效率。已知波长调谐效率的大小受空腔长度和—种表面涂层的影响(“Broadband MEMS-Tunable High-Index-Contrast Subwavelength Grating Long-Wavelength VCSEL”, Il-Sug Chung et al., IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.46, No.9, p.1245-1253, (2010))。

发明内容

[0006] 为了增强MEMS-VCSEL的波长扫描速度并且扩大波长可调范围,希望改善波长调谐效率。

[0007] 鉴于上述问题,本发明的—个目的是提供—种能够改善波长调谐效率的波长可调表面发射激光器。

[0008] 根据本发明的—个实施例,提供了一—种表面发射激光器,包括:

[0009] 第一反射镜;

[0010] 包括活性层的半导体空腔;和

[0011] 第二反射镜,

[0012] 第一反射镜、半导体空腔和第二反射镜被以所述的顺序形成,

[0013] 在第一反射镜和所述半导体空腔之间形成的间隙部分,

[0014] 空腔长度是可调的,

[0015] 其中所述表面发射激光器具有在所述间隙部分和所述半导体空腔之间形成的高反射率结构,以及

[0016] 其中满足 $(\lambda/2) \times m + \lambda/8 < L < (\lambda/2) \times m + 3\lambda/8$, 其中L是在半导体空腔的第一反射镜侧处的第一界面和在半导体空腔的第二反射镜侧处的第二界面的光学反射中没有相位变化的情况下,转换为光学厚度之后的半导体空腔的光学厚度,m是1或者更大的整数,并且 λ

是激光振荡的中心波长。

[0017] 根据本发明的一个实施例,可以提供能够改善波长调谐效率的波长可调表面发射激光器。

[0018] 根据以下参考附图对示例性实施例的描述,本发明的其它特征将变得清楚。

附图说明

[0019] 图1是用于示出根据本发明的实施例的MEMS-VCSEL的结构示意截面图。

[0020] 图2是用于示出展现应用本发明的结构的光学特性的计算结果的图。

[0021] 图3是用于示出展现应用本发明的结构的光学特性的计算结果的图。

[0022] 图4是用于示出包括本发明的实施例的MEMS-VCSEL的光学干涉层析成像装置的示意图。

[0023] 图5A、图5B和图5C是用于示出比较例的MEMS-VCSEL的结构示意截面图。

[0024] 图6是用于示出展现比较例的MEMS-VCSEL的光学特性的计算结果的图。

[0025] 图7A和图7B是用于示出用于说明波长调谐效率和纵向模式间隔之间的关系的结果的图。

[0026] 图8是用于示出展现比较例的MEMS-VCSEL的光学特性的计算结果的图。

具体实施方式

[0027] 现在将根据附图详细描述本发明的优选实施例。

[0028] (实施例1)

[0029] 下面描述根据本发明的实施例的波长可调垂直空腔表面发射激光器(VCSEL)。

[0030] 首先,定义此处使用的术语。

[0031] 如此处使用的,激光器元件的基板侧被定义为下侧,并且与基板相反的一侧被定义为上侧。

[0032] 如此处使用的,中心波长被用于指可以从表面发射激光器发射的激光光束的波长范围的中心处的波长。换言之,中心波长指可以振荡的激光器的最短波长和最长波长之间的中心处的波长。由空腔长度的变化范围、反射镜的反射带、活性层的增益带等确定可以振荡的激光器的波长。在设计时,基本上,中心波长被设置,然后相应地确定元件的结构。

[0033] 如此处使用的,在包括上部反射镜(第一反射镜)和下部反射镜(第二反射镜)的空腔中,位于间隔部分和下部反射镜之间的半导体层被称为半导体空腔,并且其光学厚度被称为半导体空腔长度。当在间隔部分和半导体空腔之间形成抗反射膜或者高反射率结构时,该抗反射膜和高反射率结构未被包括在半导体空腔中,并且半导体空腔长度指没有抗反射膜和高反射率结构的光学厚度。

[0034] 如此处使用的,抗反射膜指如下的结构:即相对于当光从半导体空腔入射间隔部分侧时由形成半导体空腔的主要材料的折射率和间隔部分的折射率之间的差引起的光学反射(菲涅尔反射)的反射率,而减小反射率的结构。示例性的抗反射膜包括由具有形成半导体空腔的主要材料的折射率和间隔部分的折射率之间的中间折射率的材料形成的层,从而具有 $\lambda/4$ 的奇数倍的光学厚度,其中 λ 是中心波长。另外,通过形成多层膜的抗反射膜,还可以抑制更宽波长范围中的反射。

[0035] 另一方面,高反射率结构指与抗反射膜的作用相反的的结构,即,相对于由形成半导体空腔的主要材料的折射率和间隔部分的折射率之间的差引起的光学反射(菲涅尔反射)的反射率而增加反射率的结构。示例性高反射率结构包括如下的结构:其中具有不同折射率的两种层堆叠在一起,从而使得这些层中的每一个的光学厚度是 $\lambda/4$ 的奇数倍,并且层的总数是2或更大。具体地,优选地,该高反射率结构在中心波长处具有50%或更大的反射率。更优选地,该高反射率结构在中心波长处具有60%或更大的反射率。最优选地,该高反射率结构在中心波长处具有70%或更大的反射率。

[0036] 图5A是典型的MEMS-VCSEL的示意截面图。

[0037] 图5A中示出的MEMS-VCSEL由基于GaAs的化合物半导体形成。该MEMS-VCSEL被设置为具有1065nm的中心波长,并且被设计为使得波长围绕该中心波长可调。其中活性层620被置于上部反射镜600和下部反射镜610之间的空腔结构被置于基板640上。在该空腔结构中,具体地,在上部反射镜600和活性层620之间形成间隔部分630,从而可以驱动上部反射镜600。作为上部和下部反射镜,使用各自自由多层膜形成的分布式布拉格反射镜(DBR)。

[0038] 上部反射镜600和下部反射镜610之间的光学厚度被称为空腔长度。通过上部反射镜600在光轴方向上的移动,可以改变间隔部分630的长度,以便改变空腔长度,其伴随着激光振荡波长的改变。注意,如此处使用的光轴方向指连接上部反射镜和下部反射镜的线的方向,并且是垂直于基板的主平面的方向。在图5A到5C中,光轴方向对应于垂直方向。

[0039] 在下部反射镜610和间隔部分630之间形成的并且包括活性层620的半导体层650被称为半导体空腔,并且其光学厚度被称为半导体空腔长度。换言之,半导体空腔长度是下部反射镜610和半导体层650之间的界面与间隔部分630和半导体层650之间的界面之间的光程长度。注意,整个空腔的空腔长度是半导体空腔长度和间隔部分的光学厚度的和。

[0040] 图6是用于示出图5A中所示的MEMS-VCSEL结构的间隔部分长度(空隙长度)和激光振荡波长之间的关系的计算结果的图。在这种情况下,分别执行关于具有 2λ 、 3λ 和 4λ 的半导体空腔长度的三种结构的计算,其中 λ 是中心波长。

[0041] 根据计算的结果,可以看出,随着半导体空腔长度变大,该图的倾斜度变小。该图的倾斜度表示激光振荡波长(λ)相对于间隔部分长度(d_{air})的改变($\partial\lambda/\partial d_{\text{air}}$),以下其被简称为波长调谐效率。

[0042] 波长调谐效率高在如下方面对于MEMS-VCSEL是有利的。

[0043] 随着波长调谐效率变高,将振荡波长改变到类似程度所需的反射镜的位移数量可以变小,并且因此可以降低用于机械地驱动反射镜等所需的电压。当以类似电压电平驱动反射镜时,可以采用具有较大弹簧常数和较高谐振频率的结构,这对于高速波长扫描是有利的。

[0044] 另外,提高波长调谐效率导致纵向模式间隔变宽。如果纵向模式间隔窄,则导致模式跳越(hopping),并且激光振荡波长间断地跳跃或者在多个波长处同时发生振荡,这是限制单模的波长可调宽度的原因。通过加宽纵向模式间隔,可以去除这种限制。

[0045] 接着,参考图7A和图7B所示的计算的结果,描述波长调谐效率对纵向模式间隔的影响。

[0046] 图7A和图7B是用于示出关于具有不同空腔结构的两种MEMS-VCSEL结构的计算结果的图。它们都是被设计为波长在大约1065nm的中心波长处可调的MEMS-VCSEL,但是由于

空腔结构的不同,波长调谐效率不同。

[0047] 图7A中的中心波长附近的波长调谐效率大约为0.015,并且与下一级的纵向模式的波长间隔大约为25nm。另一方面,图7B中的中心波长附近的波长调谐效率大约为0.12,并且与下一级的纵向模式的波长间隔大约为60nm。

[0048] 以这种方式,可以确认,随着波长调谐效率变高,纵向模式间隔倾向于变宽。

[0049] 如参考图6所示的计算结果所描述地,已知波长调谐效率的大小取决于半导体空腔长度。为了提高波长调谐效率,减小半导体空腔长度是有效的,但实际上存在限制。

[0050] 特别地,在其中激光器通过电流注入而振荡的结构的情况下,必须形成用于扩散和缩减电流的层,并且因此,与其中激光器通过光激励而振荡的结构相比较,必须增加半导体空腔长度,并且难以提高波长调谐效率。

[0051] 作为通过除减小半导体空腔长度之外的手段提高波长调谐效率的一个例子,一般已知如下的结构,其中在间隔部分和半导体空腔之间的界面处形成抗反射(AR)膜。另一方面,还一般已知当在间隔部分和半导体空腔之间的界面处形成诸如分布式布拉格反射镜(DBR)的用于提高反射率的结构时,波长调谐效率被降低(IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 46, p. 1245 (2010))。

[0052] 这被参考图5A到图5C和图8描述。

[0053] 图5A到图5C是被形成为使得波长在大约1065nm处可调的基于GaAs的MEMS-VCSEL结构的示意截面图。

[0054] 图5A所示的结构是基本结构,在间隔部分630和半导体空腔650之间的界面处没有形成任何东西。

[0055] 图5B所示的结构是如下的结构,其中向图5A所示的结构间隔部分630和半导体空腔650之间的界面增加1/4波长的光学厚度的AlAs氧化物层作为抗反射(AR)膜660。

[0056] 图5C所示的结构是如下的结构,其中向图5A所示的结构间隔部分630和半导体空腔650之间的界面增加包括GaAs层和AlAs氧化物层的堆叠对的DBR 670, GaAs层和AlAs氧化物层中的每一个为1/4波长的光学厚度。

[0057] 在图5A到图5C所示的结构中的每一个中,当1065nm的中心波长是 1.00λ 时,除抗反射膜和DBR之外的半导体空腔长度被设计为是 3.00λ 。

[0058] 注意,在图5A到图5C所示的结构中的每一个中,当具有1065nm波长的光从半导体空腔650入射间隔部分630侧时,间隔部分630侧的半导体空腔650的界面处的反射率的计算值如下。在图5A所示的结构中,间隔部分630侧的半导体空腔650的界面处(即,半导体空腔650和间隔部分630之间的界面处)的反射率是28.4%。在图5B所示的结构中,间隔部分630侧的半导体空腔650的界面处(即,半导体空腔650和抗反射膜660之间的界面处)的反射率是0.1%。在图5C所示的结构中,间隔部分630侧的半导体空腔650的界面处(即,半导体空腔650和DBR 670(高反射率结构)之间的界面处)的反射率是73.5%。

[0059] 图8是用于示出相对于图5A到图5C所示的结构中的每一个,相对于大约1065nm的波长,展现间隔部分长度(空隙长度)的改变量和激光振荡波长之间的关系的计算结果的图。

[0060] 与基本结构相比(对应于图5A),确认增了AR膜的结构(对应于图5B)具有较高的波长调谐效率,而相反地,增加了DBR的结构(对应于图5C)具有较低的波长调谐效率。

[0061] 如上所述,一般已知可以通过尽可能地减小MEMS-VCSEL的空腔长度或者通过在间隔部分和半导体空腔之间的界面处形成AR膜,来改善波长调谐效率。

[0062] 然而,为了实现能够更迅速并且在更宽范围上改变波长的MEMS-VCSEL,希望对波长调谐效率的进一步改善。

[0063] 在应用本发明的结构中,通过组合对不同于相关技术的结构的半导体空腔长度的选择与间隔部分和半导体空腔之间的界面处的反射率的提高,与相关技术的结构相比较,可以提高波长调谐效率。

[0064] 具体地,通过形成MEMS-VCSEL以使得半导体空腔长度接近 $(\lambda/2) \times m + \lambda/4$,并且在间隔部分和半导体空腔之间的界面处形成高反射率结构,可以获得上述效果(其中m是1或者更大的整数,并且 λ 是中心波长,这也适用于下面的描述)。

[0065] 如此处使用的高反射率结构是如下的结构,其被形成为反射率高于由作为形成该半导体空腔的主要材料的半导体材料的折射率和该间隔部分的折射率之间的差异在该界面处产生的光学反射的反射率。示例的高反射率结构包括如下的结构,其中至少一对由具有相对高的折射率的材料形成的高折射率层和由具有相对低的折射率的材料形成的低折射率层堆叠。更优选地,该高反射率结构是多层膜结构,其中由具有相对高的折射率的材料形成的层和由具有相对低折射率的材料形成的层交替地堆叠在诸如DBR内,从而使得这些层中的每一个的光学厚度是 $\lambda/4$ 的奇数倍,其中 λ 是中心波长。

[0066] 另外,该半导体空腔是位于高反射率结构和下部反射镜之间的所有半导体层的堆叠体。

[0067] 参考图1描述应用本发明的示例MEMS-VCSEL。

[0068] 上部反射镜100、间隔部分130、高反射率结构170、包括活性层120的半导体空腔150、下部反射镜110和基板140被从上到下以所述顺序放置。半导体空腔150的光学厚度被称为半导体空腔长度。换言之,该半导体空腔长度是高反射率结构170和半导体空腔150之间的界面与半导体空腔150和下部反射镜110之间的界面之间的光程长度。

[0069] 应用本发明的结构被形成为半导体空腔长度是 $(\lambda/2) \times m + \lambda/4$,其中 λ 是中心波长。

[0070] 在本发明中,MEMS-VCSEL可以是电流注入类型,其中通过由电极(未示出)向活性层120注入电流来发射光,或者MEMS-VCSEL可以是光激励类型,其中由外部光源(未示出)向活性层120照射激励光。

[0071] 另外,由通过在电极(未示出)之间施加电压产生的静电力在MEMS-VCSEL的厚度方向上驱动上部反射镜100。

[0072] 注意,此处的半导体空腔长度被转换为自由端反射情况下的半导体空腔长度,在自由端反射中,在光学反射中,在半导体空腔的上部和下部界面处不存在相位变化。转换指的是当半导体空腔的上部和下部界面处的光学反射中存在相位变化时,使得半导体空腔长度的光学厚度是考虑了该相位变化的量的光学厚度。例如,在IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 46, p. 1245 (2010) 的第三段中描述了用于转换的特定方法。

[0073] 当反射中存在相位变化时,有效光路相应地改变,并且因此必须调整实际的半导体空腔长度。例如,在固定端反射的情况下,当反射中的相位变化是 π 时,有效光路从自由端反射情况下的光路平移 $\lambda/2$ 。为了通过空腔的来回往复形成 $\lambda/2$ 的光程长度,必须以 $\lambda/4$ 改变空腔长度。

[0074] 例如,在半导体空腔的上部和下部界面中仅任一处的固定端反射的情况下,适用于本发明的半导体空腔长度是 $(\lambda/2) \times m + \lambda/4 - \lambda/4$ (或 $+\lambda/4$), 其是 $(\lambda/2) \times m$ (或者 $(\lambda/2) \times (m+1)$)。

[0075] 除非另外说明,半导体空腔的上部和下部界面处的光学反射在此处被配置为自由端反射。

[0076] 注意,一般地,当光从由具有高折射率的材料形成的层入射由具有低折射率的材料形成的层时,其间的界面处的光学反射是自由端反射。另一方面,当光从由具有低折射率的材料形成的层入射由具有高折射率的材料形成的层时,其间的界面处的光学反射是固定端反射。

[0077] 另外,在多层膜的情况下,从各个界面反射的光被合成,并且因此存在其中反射既不是纯粹的自由端反射也不是纯粹的固定端反射的情况。在DBR的情况下,基本上,当最接近DBR的活性层的层具有比与该层接触的入射侧层中的介质的折射率高的折射率时,该反射是固定端反射。另一方面,当最接近DBR的活性层的层具有比与该层接触的入射侧层中的介质的折射率低的折射率时,该反射是自由端反射。然而,随着DBR中的各个层的光学厚度从 $\lambda/4$ 偏移,反射逐渐偏离纯粹的固定端反射或者纯粹的自由端反射。另外,在例如其中高折射率层比 $\lambda/4$ 厚并且低折射率层比 $\lambda/4$ 薄的DBR (诸如厚度调节DBR) 的情况下,即使在中心波长处,反射也既不是自由端反射也不是固定端反射。

[0078] 基于这一点,根据本发明的MEMS-VCSEL被形成为在转换到自由端反射的情况之后,半导体空腔长度是 $(\lambda/2) \times m + \lambda/4$, 其中 λ 是中心波长。

[0079] 作为上部反射镜100和下部反射镜110,使用各自自由多层膜形成的分布式布拉格反射镜(DBR)。夹在上部反射镜100和下部反射镜110之间的区域是空腔,在空腔中形成光学驻波。上部反射镜100可以在光轴方向(图1中的垂直方向)上移动。通过改变间隔部分130的长度(以下简称为空隙长度),空隙长度被改变以便改变激光振荡波长。

[0080] 图2是用于示出图1所示的结构和用于比较的结构的空隙长度的改变量和激光振荡波长之间的关系的计算结果的图。

[0081] 类似于参考图5A到图5C和图8描述的情况,基本结构是在间隔部分和半导体空腔之间的界面处不形式任何东西的结构。AR膜添加结构是如下的结构,其中在间隔部分和半导体空腔之间的界面处形成AR膜。DBR添加结构是如下的结构,其中在间隔部分和半导体空腔之间的界面处形成作为高反射率结构的DBR。该DBR添加结构是应用本发明的结构,并且该基本结构和AR膜添加结构是用于比较的结构。

[0082] 注意,除AR膜和DBR之外的半导体空腔长度被设计为是 3.25λ , 其中1065nm的中心波长是 1.00λ 。

[0083] 当将图2所示的计算结果与上面参考图8所述的比较例的结构的计算结果进行比较时,可以观察到很大的不同。

[0084] 为了澄清该不同,制定如下的表1,其中从图2和图8所示的计算结果读取各个结构的波长调谐效率,并且按大小的降序列出。

[0085] [表格1]

[0086]

半导体空腔长度、界面结构	中心波长附近的波长调谐效率
3.25λ、DBR 添加结构	0.31
3.25λ、基本结构	0.21
3.25λ、AR 膜添加结构	0.12
3.00λ、AR 膜添加结构	0.12
3.00λ、基本结构	0.05
3.00λ、DBR 添加结构	0.015

[0087] 可以从该表读取如下内容。

[0088] 首先,当半导体空腔长度从3.00 λ 改变为3.25 λ 时,空腔长度增加,但是基本结构的波长调谐效率仍然得以改进。

[0089] 对于其中向基本结构添加了AR膜的结构,获得了下面的结果。在相关技术的3.00 λ 的半导体空腔长度的情况下,波长调谐效率变高,但是在具有3.25 λ 的半导体空腔长度的应用本发明的结构的情况下,相反地,波长调谐效率变低。

[0090] 另一方面,对于其中向基本结构添加了DBR的结构,获得了下面的结果。在相关技术的3.00 λ 的半导体空腔长度的情况下,波长调谐效率变低,但是在具有3.25 λ 的半导体空腔长度的应用本发明的结构的情况下,相反地,波长调谐效率变高。

[0091] 该结果可被解释为波长调谐效率根据半导体空腔长度而改变,并且其改变量根据间隔部分和半导体空腔之间的界面处的反射率而变化。

[0092] 这被参考图3进一步地详细描述。

[0093] 图3是用于示出对于具有各种结构的MEMS-VCSEL,当中心波长是1065nm时,波长调谐效率和半导体空腔长度之间的关系的计算结果的图。

[0094] 对于在间隔部分和半导体空腔之间的界面处不形成任何东西的基本结构、具有包括在该界面处形成的一对层的DBR的结构、具有包括在该界面处形成的三对层的DBR的结构、具有包括在该界面处形成的五对层的DBR的结构和具有在该界面处形成的AR膜的结构,计算1065nm中心波长附近的波长调谐效率对半导体空腔长度的相关性。

[0095] 参考图3,可以看出,每当半导体空腔长度改变 $\lambda/4$ 时,波长调谐效率反复上下变化。还可以看出,虽然反复出现微小的上下变化,但是作为整体趋势,随着半导体空腔长度变大,波长调谐效率变低。

[0096] 在这种情况下,对于具有AR膜的结构,随着半导体空腔长度改变,波长调谐效率的上下变化范围为窄。

[0097] 另一方面,对于具有DBR的结构,随着半导体空腔长度改变,波长调谐效率的上下变化范围为宽。另外,随着DBR中层的对的数目增加,波长调谐效率的上下变化的范围变宽。

[0098] 至此已经说明,通过向间隔部分和半导体空腔之间的界面添加AR膜,改善了波长

调谐效率,但是至此仅仅评论了其中半导体空腔长度是 $(\lambda/2) \times m$ 的情况。

[0099] 通过本发明的发明人的评论可以明了,如以上参考图3所述,当半导体空腔长度是 $(\lambda/2) \times m + \lambda/4$ 时,如果添加AR膜,那么波长调谐效率反而变坏。

[0100] 下面尝试给出本结果的定性评论。

[0101] 诸如AR膜的用于减小反射率的结构可被理解为具有产生对于半导体空腔长度的差异的不敏感性的效果。因此,对于任何半导体空腔长度,获得当形成AR膜时波长调谐效率为高的半导体空腔长度的特性和波长调谐效率为低的半导体空腔长度的特性之间的中间特性。

[0102] 具体地,在波长调谐效率最初为低的半导体空腔长度 $(\lambda/2) \times m$ 的情况下,通过添加AR膜,可以提高波长调谐效率。另一方面,在波长调谐效率最初为高的半导体空腔长度 $(\lambda/2) \times m + \lambda/4$ 的情况下,通过添加AR膜,波长调谐效率降低。

[0103] 另一方面,诸如DBR的用于提高反射率的结构可被理解为具有产生对半导体空腔长度的差异的敏感性的效果。具体地,在波长调谐效率最初为低的半导体空腔长度 $(\lambda/2) \times m$ 的情况下,通过添加DBR,波长调谐效率进一步降低。另一方面,在波长调谐效率最初为高的半导体空腔长度 $(\lambda/2) \times m + \lambda/4$ 的情况下,通过添加DBR,波长调谐效率进一步提高。

[0104] 结果,从提高波长调谐效率的角度出发,具有半导体空腔长度 $(\lambda/2) \times m + \lambda/4$ 并且添加了诸如DBR的高反射率结构的结构最适合。

[0105] 在应用本发明的结构中,不必然需要半导体空腔长度精确地等于 $(\lambda/2) \times m + \lambda/4$, 并且其中半导体空腔在 $(\lambda/2) \times m + \lambda/4$ 附近的某个范围内的结构也可以获得本发明的效果。具体地,半导体空腔是更接近 $(\lambda/2) \times m + \lambda/4$ 而不是更接近 $(\lambda/2) \times m$ 的值就足够了。换言之,当满足下列条件时,可以获得本发明的效果:

[0106] $(\lambda/2) \times m + \lambda/8 < L < (\lambda/2) \times m + 3\lambda/8$,

[0107] 其中L是半导体空腔长度,m是1或者更大的整数,并且 λ 是激光振荡的中心波长。

[0108] 另外,当满足下列条件时,优选地,与基本结构相比较,波长调谐效率得以改善:

[0109] $(\lambda/2) \times m + 7\lambda/40 \leq L \leq (\lambda/2) \times m + 13\lambda/40$

[0110] 另外,当满足下列条件时,更优选地,该范围更接近 $(\lambda/2) \times m + \lambda/4$:

[0111] $(\lambda/2) \times m + 3\lambda/16 \leq L \leq (\lambda/2) \times m + 5\lambda/16$.

[0112] 在应用本发明的结构中,在反射镜可以获得对于激光振荡来说足够的反射率的范围内,不具体地限制上部反射镜和下部反射镜。例如,可以使用由电介质或者半导体多层膜、金属膜或者衍射光栅形成的DBR。

[0113] 在应用本发明的结构中,在间隔部分和半导体空腔之间的界面处形成的高反射率结构提高反射率就足够了。例如,可以使用由电介质或者半导体多层膜、金属膜或者衍射光栅形成的DBR。

[0114] 在它们当中,由于可以在形成半导体空腔之后通过共同的晶体生长形成DBR的制造优点,以及由于其导电性而可以扩散电流以便有助于使得电流注入均匀化的优点等,由半导体多层膜形成的DBR(所谓的半导体DBR)是特别优选的。

[0115] 另外,由电介质多层膜形成的DBR(所谓的电介质DBR)在DBR不能导电方面次于半导体DBR,但是在能够获得大于半导体多层膜可以获得的折射率差方面表现优异,并且因此能够容易地获得高反射率。因此,根据其用途,存在电介质DBR比半导体DBR更优选的情况。

[0116] 在应用本发明的结构中,作为活性层,可以使用用于通常使用的表面发射激光器的活性层。可以根据需要激光振荡的波长,恰当地选择形成活性层的材料的组成、活性层的厚度等。

[0117] 在应用本发明的结构中,对于用于沿着光轴方向垂直移动上部反射镜的单元,可以使用在MEMS领域中通常使用的技术。例如,可以使用静电技术、压电技术、热技术、电磁技术或者液压技术。

[0118] 在应用本发明的结构中,间隔部分可被以气体或者液体填充,或者可以是真空。此处使用的真空指负压状态,即,气压比标准大气压低的状态。假设间隔部分被以空气填充并且折射率为1,执行此处的计算。

[0119] 应用本发明的表面发射激光器可以通过光激发或者电流注入来产生激光振荡。在电流注入的情况下,必须形成电极,但是为了简化描述和图示,在此处和附图中省略了这种电极。

[0120] 另外,应用本发明的多个表面发射激光器可被布置在单个平面内,以便用作阵列光源。

[0121] (实施例2)

[0122] 在实施例2中,描述包括在实施例1中描述的表面发射激光器的光源设备的应用例子。波长可调光源设备可被用作用于光通信的光源或者用于光测量的光源。另外,该光源设备可被用作信息获取装置的光源设备,该信息获取装置被配置为获得关于将被以无损伤和非破坏性的方式测量的对象的内部的信息。下面,作为使用本实施例的光源设备的信息获取装置的例子,参考图4描述光学干涉层析成像装置(以下简称为OCT装置)。

[0123] 图4是用于示出根据该实施例的OCT装置8的示意图。OCT装置8包括至少一个光源设备801、干涉光学系统802、光检测部分803和被配置为获得关于将被测量的对象的内部的信息的信息获取部分804。作为光源设备801,可以使用实施例1的表面发射激光器。另外,虽然未示出,信息获取部分804包括傅里叶变换器。信息获取部分804包括傅里叶变换器指的是信息获取部分804具有对输入的数据执行傅里叶变换的功能,并且在信息获取部分804具有该功能的范围内,不对其施加特定的限制。一个示例结构是信息获取部分804包括运算部分,并且该运算部分具有执行傅里叶变换的功能。具体地,该运算部分是包括CPU的计算机,并且该计算机运行具有执行傅里叶变换的功能的应用。另一示例结构是信息获取部分804包括具有执行傅里叶变换的功能的傅里叶变换电路。

[0124] 从光源设备801发射的光穿过干涉光学系统802,以便作为具有关于将被测量的对象812的信息的干涉光而输出。由光检测部分803接收该干涉光。注意,光检测部分803可以是差分检测类型,或者可以是简单的光强监测类型。关于接收的干涉光的强度的时间波形的信息被从光检测部分803发送到信息获取部分804。信息获取部分804获得接收的干涉光的强度的时间波形的峰值并且执行傅里叶变换,以便获得关于对象812的信息(例如,关于层析图象的信息)。注意,此处描述的光源设备801、干涉光学系统802、光检测部分803和信息获取部分804可被任意地布置。

[0125] 下面,详细描述从自光源设备801发射光到获取关于将被测量的对象的内部的信息的处理。自光源设备801发射的光穿过光纤805,入射耦合器806,然后被分为穿过用于照射光的光纤807的照射光以及穿过用于参考光的光纤808的参考光。耦合器806在光源的波

长带内以单模式操作,并且各种类型的光纤耦合器可以是3dB耦合器。照射光穿过准直器809成为准直光,并且被镜810反射。被镜810反射的光穿过透镜811,照射对象812,并且被对象812的深度方向的各个层反射。

[0126] 另一方面,参考光穿过准直器813,并且被镜814反射。在耦合器806处,由来自对象812的反射光和来自镜814的反射光产生干涉光。干涉光穿过光纤815、穿过准直器816以被聚光,并且被光检测部分803接收。关于由光检测部分803接收的干涉光的强度的信息被转换为诸如电压的电气信息,并且被发送至信息获取部分804。信息获取部分804处理关于干涉光的强度的数据,具体地,执行傅里叶变换,以便获得关于层析图像的信息。被执行傅里叶变换的关于干涉光的强度的数据是在正常情况下以相等波数间隔采样的数据,但是还可以使用以相等波长间隔采样的数据。

[0127] 获得的关于层析图像的信息可被从信息获取部分804发送到图像显示部分817,并且可被作为图像显示。注意,通过在垂直于照射光的入射方向的平面内以镜810扫描该光,可以获得将被测量的对象812的三维层析图像。另外,可以通过信息获取部分804经由电路818控制光源设备801。另外,虽然未示出,但是可以连续地监测从光源设备801发射的光的强度,并且可以使用其数据来校正用于指示干涉光的强度的信号的振幅。

[0128] OCT装置可用于在眼科、牙科、皮肤医学等领域中获取诸如动物或者人类的活体的内部的层析图像。关于活体的层析图像的信息不仅包括活体的层析图像,而且包括获取层析图像所需的数字数据。特别地,适合地,将被测量的对象是人体的眼底、牙齿、血管,并且OCT装置被用于获取关于其层析图像的信息。

[0129] [例子]

[0130] 下面描述本发明的例子。注意,本发明不限于下面描述的例子。例如,在本发明的范围内,可以适当地改变材料的种类和组成、形状以及尺寸。

[0131] 在下面的例子中,描述激光振荡波长在1060nm附近的情况,但是通过选择适当的材料和适当的结构,可以实现任意波长的操作。

[0132] [例子1]

[0133] 作为例子1,参考图1描述应用本发明的VCSEL。图1是用于示出这个例子中的VCSEL的层结构的示意截面图。

[0134] 这个例子的VCSEL由基于GaAs的化合物半导体形成,并且被设计为可以在1060nm中心波长附近执行波长扫描。

[0135] 上部反射镜100、间隔部分130,高反射率结构170、包括活性层120的半导体空腔150、下部反射镜110和GaAs基板140被以所述顺序从上到下放置。

[0136] 上部反射镜100由DBR形成,其中交替形成的36.5对 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ 和 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 被堆叠。

[0137] 借助通过应用电压产生的静电力,可以垂直地改变上部反射镜100的位置。图1中未示出用于施加该电压的电极。

[0138] 间隔部分130被空气填充,并且间隔部分130的长度(空隙长度)在1600nm附近可调。类似于上部反射镜100,高反射率结构170由DBR形成,其中交替形成的5对 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ 和 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 堆叠。

[0139] 活性层120具有多量子阱结构,其中由GaInAs形成的量子阱层和由GaAsP形成的势

垒层的三个周期堆叠。

[0140] 活性层120通过电流注入发射光。注意,图1未示出用于电流注入的电极。

[0141] 半导体空腔长度被配置为对应于大约 1.75λ ,其中1060nm中心波长为 1.00λ 。

[0142] 下部反射镜110由DBR形成,其中交替形成的5对 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ 和 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 堆叠在交替形成的30对堆叠的GaAs和AlAs上。

[0143] 使用外延生长和选择性湿法刻蚀形成这个例子的间隔部分130。描述该处理的概述。

[0144] 当执行外延生长时,在对应于间隔部分的部分形成膜作为GaAs牺牲层。

[0145] 通过使用水、柠檬酸和过氧化氢水溶液的混合液体作为刻蚀剂,可以根据AlGaAs中的Al成分执行选择性刻蚀。在这个例子中,以4:1(体积比)的比例混合的柠檬酸液(其是水和柠檬酸(重量比1:1)的混合物)和浓度为30%的过氧化氢水溶液的混合物被用作刻蚀剂。这种刻蚀剂使得能够选择性刻蚀GaAs和 $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$,并且可以通过仅去除GaAs牺牲层来形成间隔部分。

[0146] 高反射率结构170对于具有1060nm波长的光具有大约60%的反射率,其比不形成高反射率结构时的间隔部分和半导体空腔之间的界面处的反射率(大约28%)高。这可以提高波长调谐效率。

[0147] 根据该计算,当不形成高反射率结构170时的波长调谐效率是0.246。通过如在这个例子中形成高反射率结构170,波长调谐效率可被改善为0.262。

[0148] 如上所述,根据应用本发明的结构,可以获得一种波长可调表面发射激光器,其具有比相关技术的波长可调表面发射激光器更优异的波长调谐效率。

[0149] 虽然已经参考示例性实施例描述了本发明,但是应当理解本发明不限于公开的示例性实施例。所附权利要求的范围应当被给予最宽泛的解释,以便包括所有这些修改以及等同结构与功能。

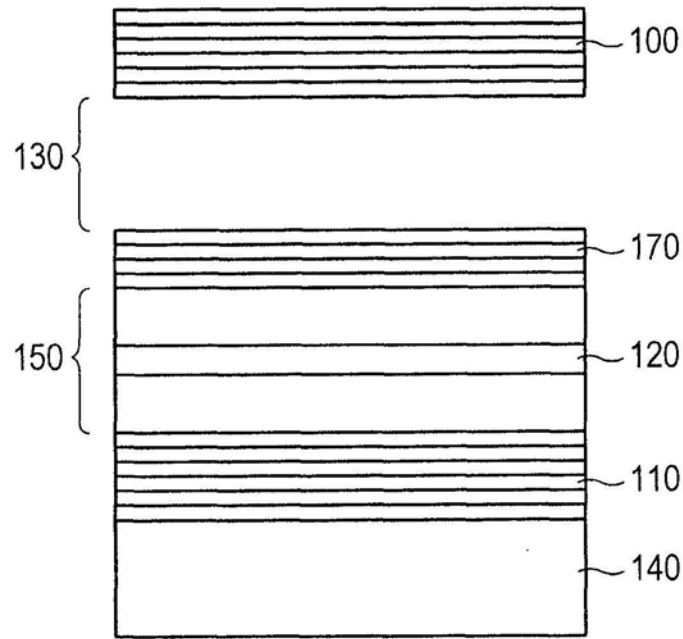


图1

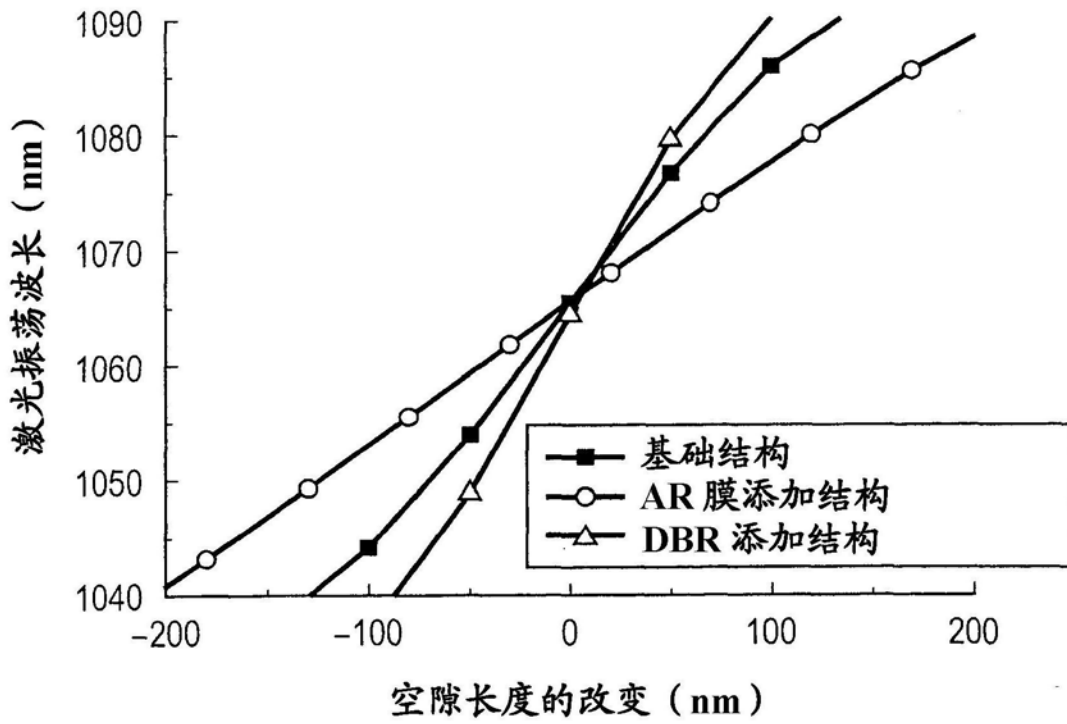


图2

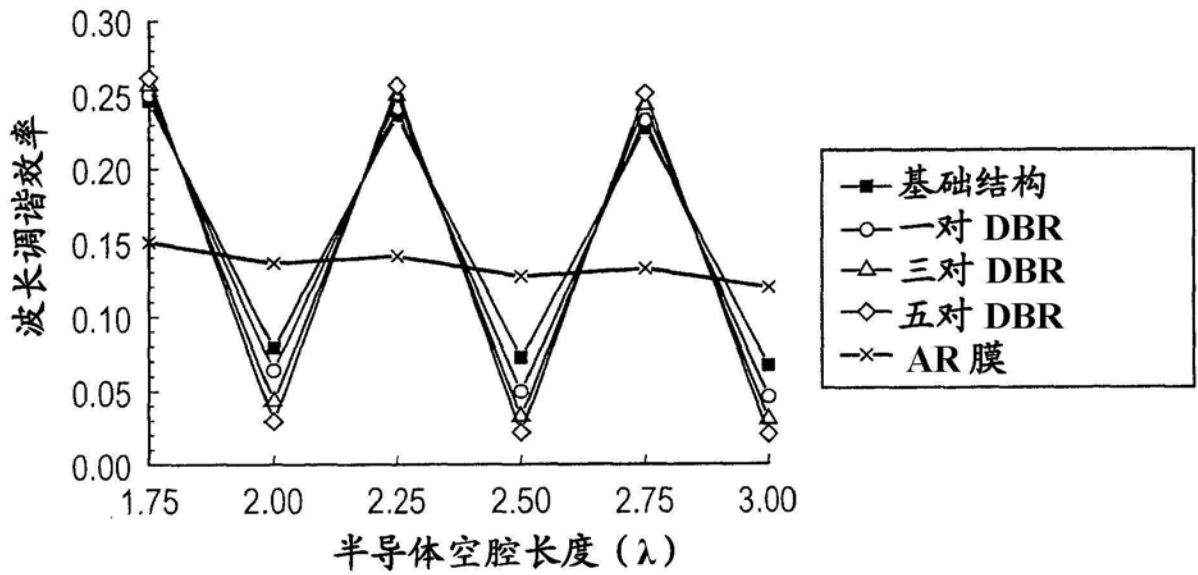


图3

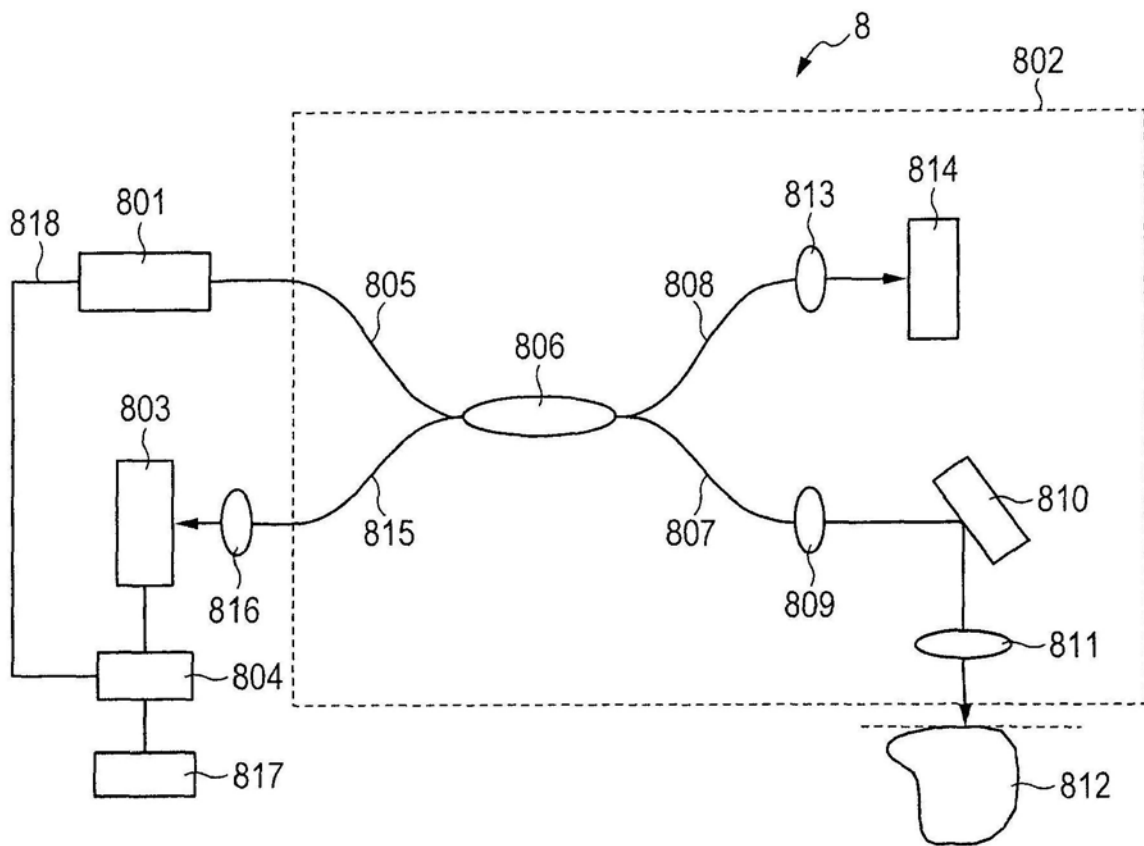


图4

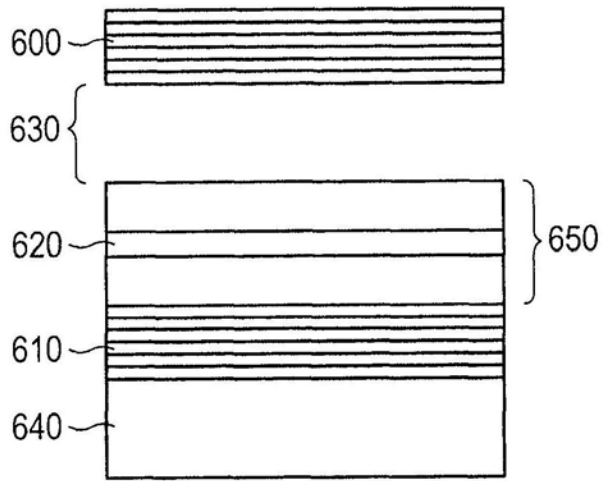


图5A

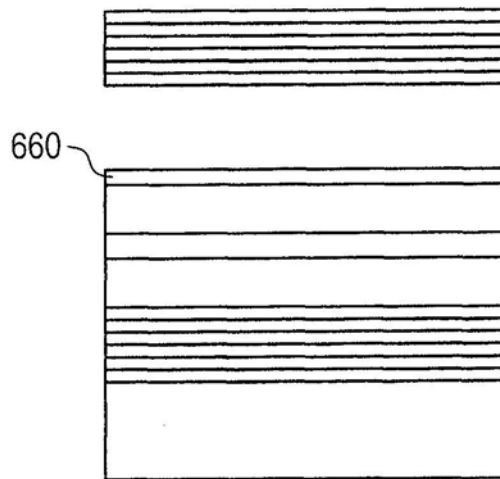


图5B

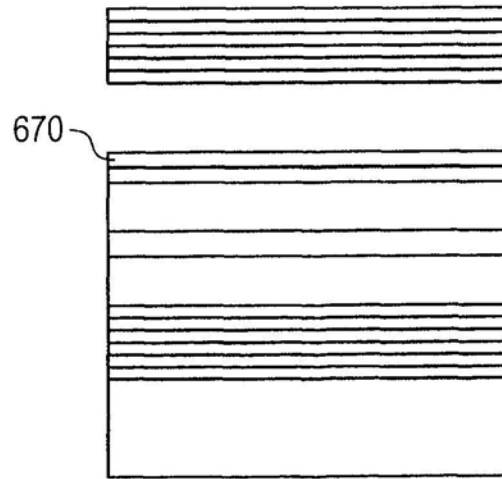


图5C

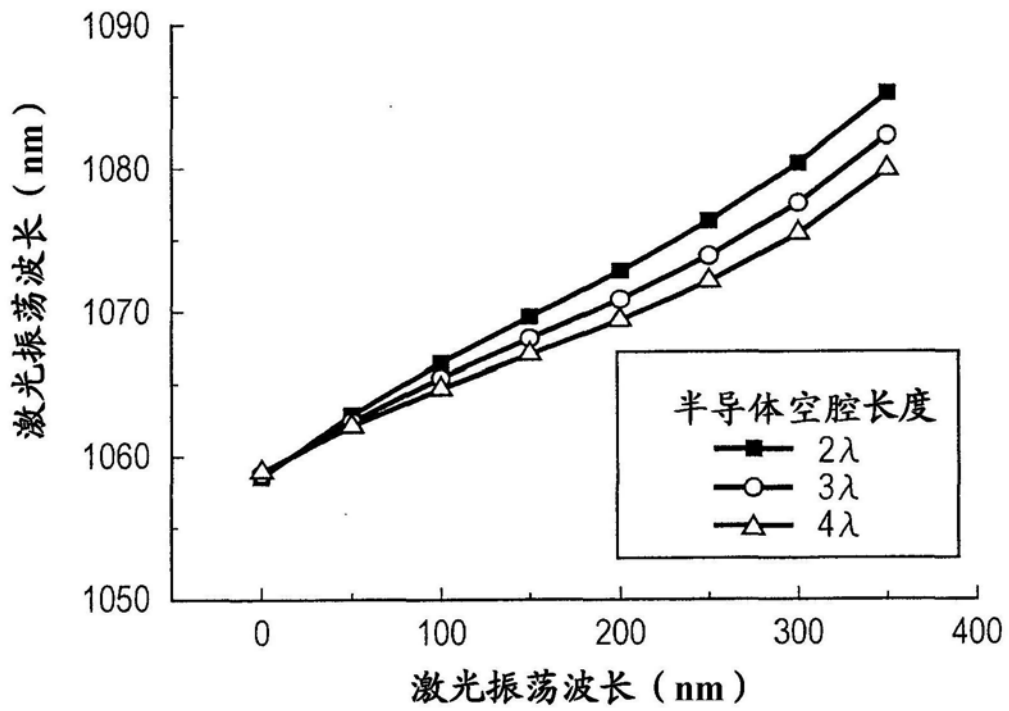


图6

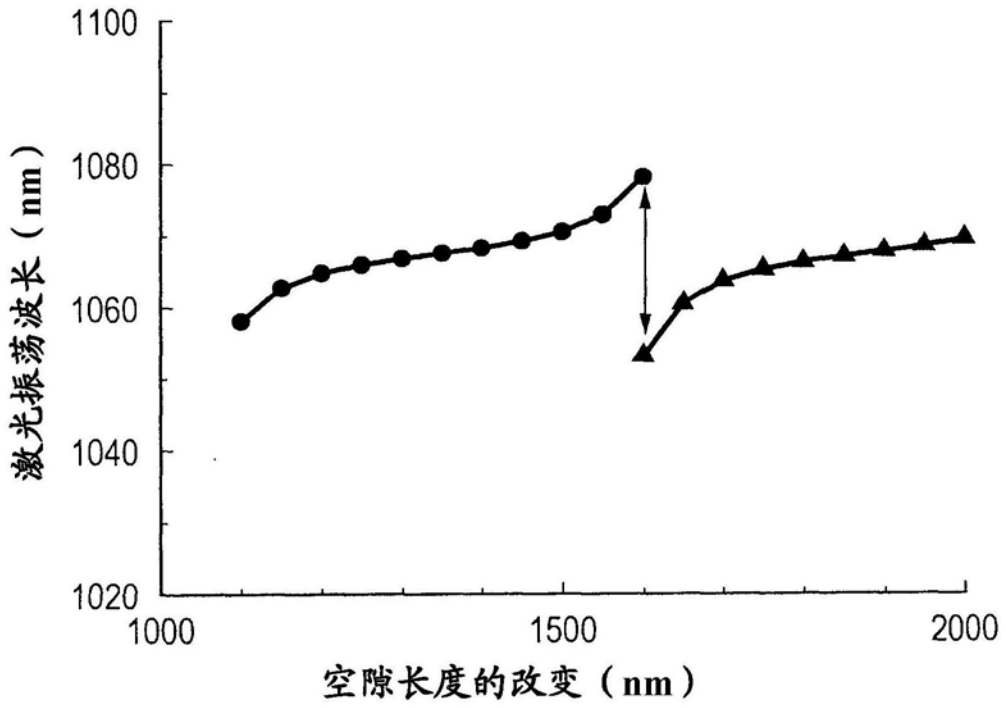


图7A

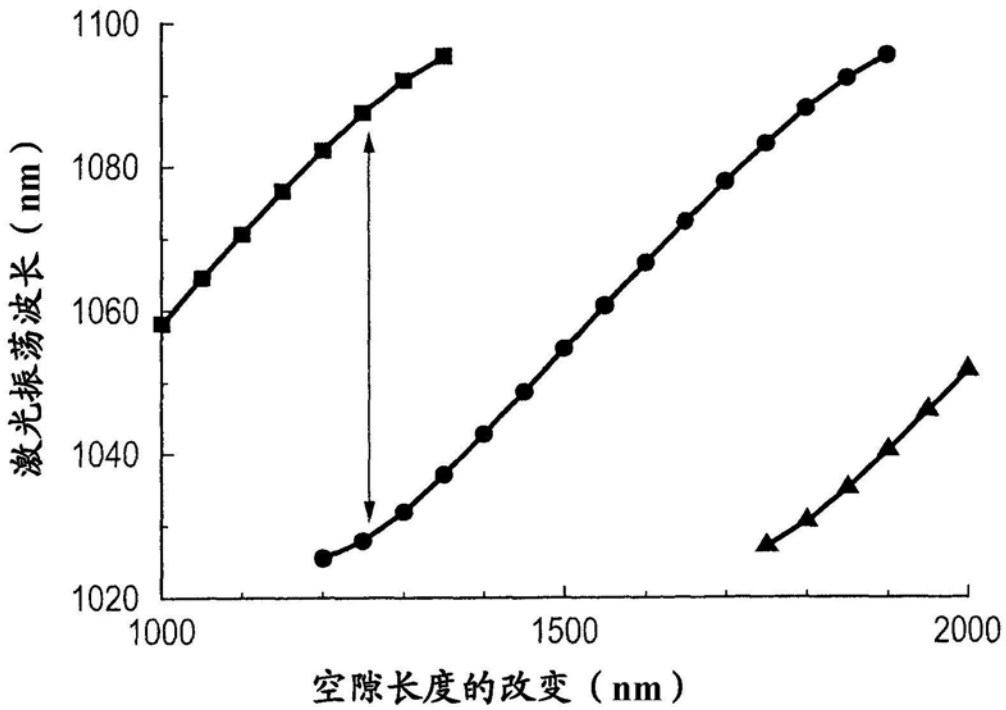


图7B

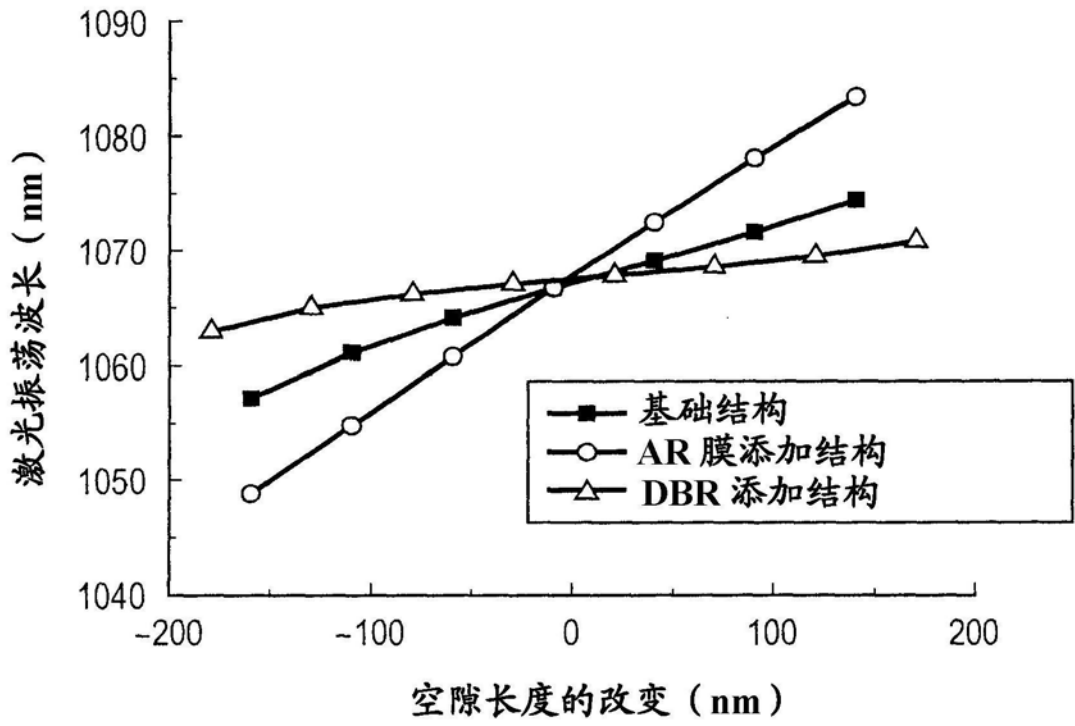


图8