



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 221041919 U

(45) 授权公告日 2024. 05. 28

(21) 申请号 202322788931.X

(22) 申请日 2023.10.17

(73) 专利权人 吉光半导体科技有限公司

地址 130000 吉林省长春市经济技术开发区  
淄博路1783-16号

(72) 发明人 王小龙 佟存柱 蒋宁 于舒睿  
高士涵

(74) 专利代理机构 长春中科长光知识产权代理  
事务所(普通合伙) 22218

专利代理师 张羽

(51) Int. Cl.

H01S 5/183 (2006.01)

H01S 5/042 (2006.01)

H01S 5/065 (2006.01)

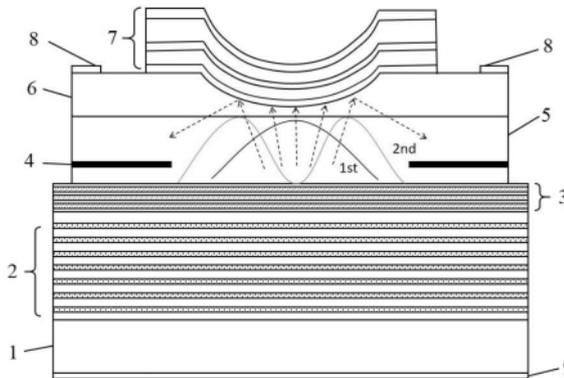
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 实用新型名称

一种单模低发散角垂直腔面发射激光器

(57) 摘要

本实用新型涉及半导体激光器技术领域,尤其涉及一种单模低发散角垂直腔面发射激光器。包括由下至上依次紧密堆叠的衬底、N型DBR层、多量子阱有源区、电流限制层、间隔层、凹面刻蚀层和凹面介质膜DBR层;凹面刻蚀层与凹面介质膜DBR层向间隔层方向凹陷,共同形成凹面反射镜,用于滤除高阶模式;凹面刻蚀层上设有P型接触电极,所述P型接触电极作为正极;N型接触电极层叠于所述衬底背离所述N型DBR层的一侧表面,形成负极。优点在于:通过在VCSEL腔内部设置凹面反射镜,加大高阶模式的损耗,抑制高阶模式的产生,降低了发散角;凹面反射镜有很强的抑制高阶模式,相对于现有技术,可以增大氧化孔的尺寸、提高VCSEL的功率。



1. 一种单模低发散角垂直腔面发射激光器,其特征在于:包括由下至上依次紧密堆叠的衬底、N型DBR层、多量子阱有源区、电流限制层、间隔层、凹面刻蚀层和凹面介质膜DBR层;

所述凹面刻蚀层与所述凹面介质膜DBR层向所述间隔层方向凹陷,共同形成凹面反射镜,用于滤除高阶模式;

所述凹面刻蚀层上设有P型接触电极,所述P型接触电极作为正极;N型接触电极层叠于所述衬底背离所述N型DBR层的一侧表面,形成负极。

2. 根据权利要求1所述的一种单模低发散角垂直腔面发射激光器,其特征在于:所述凹面反射镜的焦点与所述电流限制层的氧化孔的中心在一条直线上。

3. 根据权利要求2所述的一种单模低发散角垂直腔面发射激光器,其特征在于:所述凹面刻蚀层的材料为GaAs。

4. 根据权利要求3所述的一种单模低发散角垂直腔面发射激光器,其特征在于:所述电流限制层用于限制注入载流子的流动路径。

5. 根据权利要求4所述的一种单模低发散角垂直腔面发射激光器,其特征在于:所述电流限制层的氧化孔的孔径大于4微米。

6. 根据权利要求5所述的一种单模低发散角垂直腔面发射激光器,其特征在于:所述间隔层用于调整腔内光场分布情况,使所述多量子阱有源区处于腔内光场强的位置,增大光场的限制因子。

7. 根据权利要求6所述的一种单模低发散角垂直腔面发射激光器,其特征在于:所述凹面介质膜DBR层为氧化物介质膜,按照高低折射率周期排布,每层厚度按照四分之一光学厚度生长。

8. 根据权利要求7所述的一种单模低发散角垂直腔面发射激光器,其特征在于:所述衬底为III-V族半导体材料。

## 一种单模低发散角垂直腔面发射激光器

### 技术领域

[0001] 本实用新型涉及半导体激光器技术领域,尤其涉及一种单模低发散角垂直腔面发射激光器。

### 背景技术

[0002] 垂直腔面发射激光器,简称(VCSEL),它具有低阈值电流、圆形光斑、高调制带宽、单纵模激射、易于实现高密度二维阵列、制作成本较低等诸多优点,在许多领域中都具有广泛得应用,特别是在光纤通讯领域扮演着重要的角色。VCSEL由于横向宽度较大,器件通常为多横模激射,导致输出激光的相干性较差,并且发散角较大。为了实现基模激射,常用的方法是通过制作小的电流注入孔径来限制高阶横模,一般可采用湿氮氧化、质子轰击或掩埋异质结等方式。但仅通过缩小电流的注入孔径控制模式的方法会极大地增大器件的串联电阻,导致器件发热失效。并且,减小电流注入区的面积不利于VCSEL实现高功率激射。还有一些其它的VCSEL模式控制方法,例如表面浮雕结果、反波导结构等。这些方法普遍存在的问题是将控制模式的微结构做在了器件的表面,虽然制作工艺简单,但对模式间引入的损耗差异偏小。导致VCSEL在工作过程中,随着电流的增大,高阶模容易获得更高的增益从而激射形成多模。如何通过使用有效的、可靠的、简单的结构、工艺等方式,使VCSEL具有基模、低发散角的输出特性,是本领域技术人员所要解决的技术问题。

### 实用新型内容

[0003] 本实用新型为解决上述问题,提供一种单模低发散角垂直腔面发射激光器。

[0004] 本实用新型目的在于提供一种单模低发散角垂直腔面发射激光器,包括由下至上依次紧密堆叠的衬底、N型DBR层、多量子阱有源区、电流限制层、间隔层、凹面刻蚀层和凹面介质膜DBR层;

[0005] 所述凹面刻蚀层与所述凹面介质膜DBR层向所述间隔层方向凹陷,共同形成凹面反射镜,用于滤除高阶模式;

[0006] 所述凹面刻蚀层上设有P型接触电极,所述P型接触电极作为正极;所述N型接触电极层叠于所述衬底背离所述N型DBR层的一侧表面,形成负极。

[0007] 优选的,凹面反射镜的焦点与所述电流限制层的氧化孔的中心在一条直线上。

[0008] 优选的,凹面刻蚀层的材料为GaAs。

[0009] 优选的,电流限制层用于限制注入载流子的流动路径。

[0010] 优选的,电流限制层的氧化孔的孔径大于4微米。

[0011] 优选的,间隔层用于调整腔内光场分布情况,使所述多量子阱有源区处于腔内光场强的位置,增大光场的限制因子。

[0012] 优选的,凹面介质膜DBR层为氧化物介质膜,按照高低折射率周期排布,每层厚度按照四分之一光学厚度生长。

[0013] 优选的,衬底为III-V族半导体材料。

[0014] 与现有技术相比,本实用新型能够取得如下有益效果:

[0015] 本实用新型技术方案通过在VCSEL腔内部设置凹面反射镜,对高阶模式进行发散,增大高阶模式的损耗,且在VCSEL的腔内模式间作用较强,使得高阶模式获得的损耗较大,进一步抑制高阶模式的产生,而基模由于发散角较小,模式分布处于光轴附近,使得凹面结构对基模几乎不产生损耗,因此降低了发散角;同时,由于凹面反射镜具有很强的抑制高阶模式,相对现有技术,可以增大氧化孔的尺寸、加大VCSEL注入电流,进而增大VCSEL的功率。

### 附图说明

[0016] 图1是根据本实用新型实施例提供的基模垂直腔面发射激光器结构示意图。

[0017] 附图标记:

[0018] 1、衬底;2、N型DBR层;3、多量子阱有源区;4、电流限制层;5、间隔层;6、凹面刻蚀层;7、凹面介质膜DBR层;8、P型接触电极;9、N型接触电极。

### 具体实施方式

[0019] 在下文中,将参考附图描述本实用新型的实施例。在下面的描述中,相同的模块使用相同的附图标记表示。在相同的附图标记的情况下,它们的名称和功能也相同。因此,将不重复其详细描述。

[0020] 为了使本实用新型的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及具体实施例,对本实用新型进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本实用新型,而不构成对本实用新型的限制。

[0021] 本实用新型提供一种单模低发散角垂直腔面发射激光器,包括由下至上依次紧密堆叠的衬底、N型DBR层、多量子阱有源区、电流限制层、间隔层、凹面刻蚀层和凹面介质膜DBR层;

[0022] 所述凹面刻蚀层与所述凹面介质膜DBR层向所述间隔层方向凹陷,共同形成凹面反射镜,用于滤除高阶模式;

[0023] 所述凹面刻蚀层上设有P型接触电极,所述P型接触电极作为正极;所述N型接触电极层叠于所述衬底背离所述N型DBR层的一侧表面,形成负极。

[0024] 所述凹面反射镜的焦点与所述电流限制层的氧化孔的中心在一条直线上。

[0025] 所述N型DBR层为高低折射率半导体材料交替生长的多周期N型DBR结构,每层厚度按照四分之一光学厚度生长;

[0026] 所述多量子阱有源区为多量子阱结构组成的有源区结构,用来产生形成激光所需要的光增益;

[0027] 所述电流限制层为绝缘层,用来限制注入载流子的流动路径;

[0028] 所述间隔层,用于调整VCSEL腔内光场分布情况,使所述多量子阱有源区处于腔内光场强的位置,增大光场的限制因子;

[0029] 所述凹面刻蚀层为内腔凹面结构,所述凹面结构可以利用湿法腐蚀的各向同性原理来实现;

[0030] 所述凹面介质膜DBR层为氧化物介质膜,按照高低折射率周期排布,每层厚度按照四分之一光学厚度生长,构成的顶部DBR(可选材料包括Si、SiO<sub>2</sub>、HfO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等),其反射率

比所述N型DBR层低,使激光从凹面介质膜DBR层出射;

[0031] P型接触电极和N型接触电极,分别对应所述基模垂直腔面发射激光器的正极和负极。

[0032] 在具体的实施例中,所述衬底为III-V族半导体材料;优选为GaN、GaAs、InP或GaSb;

[0033] 在具体的实施例中,所述N型DBR层为具有高低Al组分的 $Al_xGa_{1-x}As$ 半导体材料,典型的高Al组分 $x=0.9$ ,低Al组分 $x=0.1$ ,典型的周期数约为32个周期,每层厚度按照四分之一材料的光学厚度生长,反射率 $>99.5\%$ ;

[0034] 在具体的实施例中,所述多量子阱有源区为GaAs/ $Al_xGa_{1-x}As$ , $x=0.2\sim 0.3$ ,通过调整阱的厚度或势垒Al组分,可以调解有源区的发光波段覆盖850nm;

[0035] 在具体的实施例中,所述电流限制层通过横向湿法氧化高Al组分的 $Al_xGa_{1-x}As$ 形成, $Al=0.98$ ;或者通过质子轰击的工艺,在目标深度位置形成具有高电阻率的绝缘区,形成电流限制,典型的质子有氢、锌等;

[0036] 在具体的实施例中,所述间隔层由 $Al_xGa_{1-x}As$ 构成, $x=0.3\sim 0.4$ ;

[0037] 在具体的实施例中,所述凹面刻蚀层的材料为GaAs;

[0038] 在具体的实施例中,所述凹面介质膜DBR层通过交替生长Si和 $SiO_2$ 来实现,每层厚度为四分之一材料的光学厚度,典型周期约为8~9;

[0039] 在具体的实施例中,所述P型接触电极为Ti/Pt/Au的三层结构;所述N型接触电极为Au-Ge/Ni/Au结构。

[0040] 本实用新型的VCSEL结构通过腔内部的凹面镜对高阶模式进行发散,增大高阶模式的损耗,且由于凹面镜结构在VCSEL的腔内,与模式间作用较强,使得高阶模式获得的损耗较。而基模由于发散角较小,模式分布处于光轴附近,使得凹面结构对基模几乎不产生损耗。因此,通过凹面结构可以有效的增大高阶模式的损耗,从而使基模始终可以在VCSEL谐振腔内往返形成受激放大,而其它的高阶模式则被抑制,因而降低发散角。同时,由于凹面反射镜具有很强的抑制高阶模式,相对现有技术,可以增大氧化孔的尺寸、加大VCSEL注入电流,当增大VCSEL注入电流时,虽然在注入区的载流子分布会呈现两边高中间低的特性,但该区域的高阶模式并不会产生激射,因此不会出现模式增多的情况。进而增大VCSEL的功率。

[0041] 实施例1

[0042] 图1示出了一种单模低发散角垂直腔面发射激光器,包括由下至上依次紧密堆叠的衬底1、N型DBR层2、多量子阱有源区3、电流限制层4、间隔层5、凹面刻蚀层6和凹面介质膜DBR层7;

[0043] 凹面刻蚀层6用于与凹面介质膜DBR层7共同形成凹面反射镜,从而实现对高阶模式的滤除;所述凹面反射镜的焦点与电流限制层4的氧化孔的中心在一条直线上;

[0044] 凹面刻蚀层6上设有P型接触电极8,作为正极;N型接触电极9层叠于衬底1背离N型DBR层2的一侧表面,形成负极。

[0045] 衬底1的材料为GaAs;

[0046] N型DBR层2为具有高低Al组分的 $Al_xGa_{1-x}As$ 半导体材料,高Al组分 $x=0.9$ ,低Al组分 $x=0.1$ ,周期数为32,每层厚度按照四分之一材料的光学厚度生长,反射率 $>99.5\%$ ;

- [0047] 多量子阱有源区3的材料为GaAs/ $Al_{0.2}Ga_{0.8}As$ ;
- [0048] 电流限制层4的材料为氧化的 $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$ ;
- [0049] 氧化孔的孔径大于4微米;
- [0050] 间隔层5的材料为 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ ;
- [0051] 凹面刻蚀层6的材料为GaAs;
- [0052] 凹面介质膜DBR层7为交替生长Si和 $SiO_2$ 的氧化物介质膜,每层厚度为四分之一材料的光学厚度,典型周期为8,其反射率比N型DBR层2低,使激光从凹面介质膜DBR层7出射;
- [0053] P型接触电极8为Ti/Pt/Au的三层结构;N型接触电极9为Au-Ge/Ni/Au结构。
- [0054] 现有技术中,氧化孔的直径小于4微米,以限制高阶模式;本实施例中凹面刻蚀层6用于与凹面介质膜DBR层7共同形成凹面反射镜,具有较强的高阶模式的滤除作用,进而可以加大氧化孔的孔径,进而可以获得更高的功率。
- [0055] 实施例2
- [0056] 一种单模低发散角垂直腔面发射激光器的制备方法,具体包括如下步骤:
- [0057] S1、采用MOCVD法在衬底1上交替外延生长具有高低Al组分的 $Al_xGa_{1-x}As$ 半导体材料,形成N型DBR层2;
- [0058] S2、在N型DBR层2上外延生长多量子阱有源区3;
- [0059] S3、在多量子阱有源区3上外延生长 $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$ ;
- [0060] S4、继续外延生长间隔层5;
- [0061] S5、在间隔层5上外延生长GaAs材料;
- [0062] S6、将样品进行涂胶、光刻、显影,形成台面结构图形,用ICP刻蚀设备对台面结构进行干法刻蚀,直至暴露出步骤S3所述的 $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$ 材料,刻蚀的气体为 $Cl_2/BCl_3/Ar$ ;
- [0063] S7、采用湿法氧化设备,在高温高湿的环境中对 $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$ 材料进行横向氧化,形成电流限制层4;电流限制层4是对注入载流子的限制结构,形成孔径的直径可通过氧化时间来控制;
- [0064] S8、进行第二次光刻,再次经过匀胶、光刻、显影步骤后形成凹面刻蚀层6的结构图形;采用湿法腐蚀液对步骤S5生长的GaAs材料进行湿法刻蚀,通过调整腐蚀液的配比可以使得溶液实现各向同性的腐蚀,最终形成凹面刻蚀层6;所述湿法腐蚀液为磷酸双氧水系、硫酸双氧水系、硝酸双氧水系等;
- [0065] S9、用负性光刻胶进行第三次光刻,制作电极图形;对光刻显影后的样品用磁控溅射设备蒸镀P型金属,将蒸镀完成后的样品放置在丙酮溶液中进行Lift-off剥离工艺,形成P型接触电极8;
- [0066] S10、用负性光刻胶进行第四次光刻,对光刻、显影后的样品使用电子束蒸发设备交替生长沉积Si和 $SiO_2$ ,将蒸镀好的样品在丙酮溶液中进行Lift-off剥离工艺,去除不需要的部分,形成凹面介质膜DBR层7;
- [0067] S11、将衬底1减薄抛光,然后采用电子束蒸发蒸镀N型接触电极9,完成整个结构的制备。
- [0068] 实施例3
- [0069] 一种单模低发散角垂直腔面发射激光器的制备方法,与实施例2的不同之处在于步骤S7中电流限制层4的制备通过质子轰击的工艺方案,在目标深度位置形成具有高电阻

率的绝缘区,形成电流限制;所述的质子为氢、锌等;步骤S9采用电子束蒸发制备P型接触电极8;其余的制备步骤相同。

[0070] 本实用新型的机构制备工艺过程简单,均为半导体的常规工艺,可靠性和重复性都可以得到很好的保证。

[0071] 应该理解,可以使用上面所示的各种形式的流程,重新排序、增加或删除步骤。例如,本实用新型公开中记载的各步骤可以并行地执行也可以顺序地执行也可以不同的次序执行,只要能够实现本实用新型公开的技术方案所期望的结果,本文在此不进行限制。

[0072] 上述具体实施方式,并不构成对本实用新型保护范围的限制。本领域技术人员应该明白的是,根据设计要求和因素,可以进行各种修改、组合、子组合和替代。任何在本实用新型的精神和原则之内所作的修改、等同替换和改进等,均应包含在本实用新型保护范围之内。

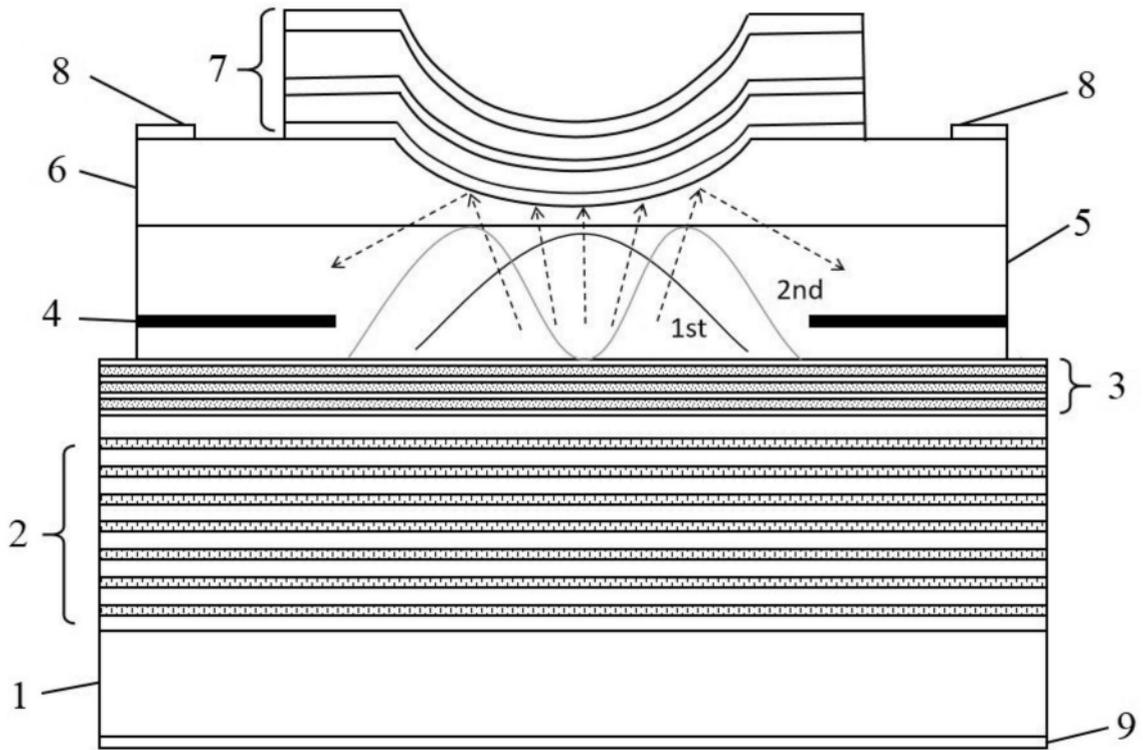


图1