



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105977786 A

(43)申请公布日 2016.09.28

(21)申请号 201610500037.X

(22)申请日 2016.06.29

(71)申请人 北京工业大学

地址 100124 北京市朝阳区平乐园100号

(72)发明人 解意洋 徐晨 王秋华 荀孟

潘冠中 董毅博 安亚宁

(74)专利代理机构 北京思海天达知识产权代理
有限公司 11203

代理人 沈波

(51) Int. Cl.

H01S 5/183(2006.01)

H01S 5/06(2006.01)

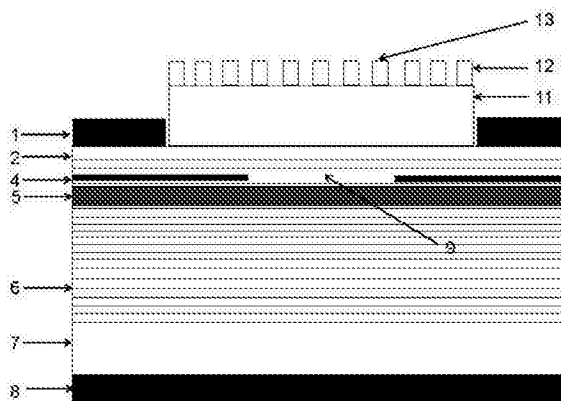
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

低折射率介质支撑型高对比度光栅面发射
激光器

(57)摘要

本发明公开了低折射率介质支撑型高对比度光栅面发射激光器,利用外延生长技术和半导体平面微纳米加工工艺进行制作,在高对比度光栅层上加工制作出高对比度光栅以形成低折射率支撑型高对比度光栅面发射激光器结构。高对比度光栅相对于上DBR结构具有更高的反射率和更宽的反射带宽,能够为激光器激射提供足够的反射率,高的反射率有利于减小谐振腔损耗、降低器件阈值电流。宽的高反射率带宽更好的匹配谐振腔模式,降低器件加工制备难度、易于器件激射。低折射率介质支撑高对比度光栅结构由两层介质膜组成,且厚度只有几百纳米,相对于P型DBR的 $3\mu\text{m}$ - $5\mu\text{m}$,有效的降低了器件外延难度。



1. 低折射率介质支撑型高对比度光栅面发射激光器,其特征在于:

该激光器利用外延生长技术和半导体平面微纳米加工工艺,对器件进行了全新的设计与制作;该器件材料利用MOCVD或MBE外延生长技术生长,具体的制作工艺如下:先在衬底(7)上生长下DBR(6),然后依次按下述顺序生长有源区(5)、氧化限制层(4)、P型欧姆接触层(2)、低折射率介质层(11)、高对比度光栅层(12)的外延材料;

低折射率支撑型高对比度光栅面发射激光器与普通面发射激光器制备工艺相同,先采用半导体加工工艺制作出内腔式垂直腔面发射激光器,其中小台面的刻蚀到低折射率介质层(11),大台面的位置刻蚀到氧化限制层(4)以下,完成内腔式器件制备;内腔式器件制备完成后,再通过湿法氧化来氧化器件的氧化限制层(4)和低折射率介质层(11),使其由原来的高折射率材料转变成低折射率材料,形成低折射率支撑结构和氧化限制结构;低折射率介质层(11)制备完成后,通过电子束曝光技术和感应耦合离子刻蚀技术在高对比度光栅层(12)上加工制作出高对比度光栅(13)以形成低折射率支撑型高对比度光栅面发射激光器结构,高对比度光栅(13)呈条形等间距均匀对称布置。

2. 根据权利要求1所述的低折射率介质支撑型高对比度光栅面发射激光器,其特征在于:

高对比度光栅(13)相对于上DBR(3)结构具有更高的反射率和更宽的反射带宽,能够为激光器激射提供足够的反射率,高的反射率有利于减小谐振腔损耗、降低器件阈值电流;宽的高反射率带宽更好的匹配谐振腔模式,降低器件加工制备难度、易于器件激射;低折射率介质支撑高对比度光栅结构由两层介质膜组成,且厚度只有几百纳米,相对于P型DBR的 $3\mu\text{m}$ - $5\mu\text{m}$,有效的降低了器件外延难度;低折射率介质支撑型高对比度光栅结构的采用,器件的电流直接经过电极注入到有源区,能够有效减小器件的串联电阻,减少器件自产热并改善器件的热稳定性;此外,高对比度光栅(13)只对偏振方向垂直于光栅的光具有高的反射率,而对于偏振方向平行于光栅的光反射率较低,因而在器件中只有偏振方向垂直于光栅的光才可以获得足够高的增益激射;高对比度光栅(13)对激光的偏振方向进行选择 and 设定,实现对器件的偏振控制,且是目前最有效的偏振控制方法;通过设计高对比度光栅(13)来设计激光器激射波长,实现器件激射波长控制。

3. 根据权利要求1所述的低折射率介质支撑型高对比度光栅面发射激光器,其特征在于:通过在垂直腔面发射半导体激光器中采用低折射率介质支撑的高对比度光栅结构(13)代替上DBR(3)结构,来改善器件的阈值电流、基横模出光功率、偏振特性以及串联电阻和热特性;低折射率介质支撑的高对比度光栅结构位于P型欧姆接触层上;这样的结构与内腔式结构与内腔式VCSEL相同,器件的注入电流直接流入到器件有源区,不经过器件的P型DBR,有效的减少器件的串联电阻;低折射率介质支撑型器件的激射区域由光栅区域决定;氧化限制孔只限制电流注入,为了提高器件的单模输出功率,可以设计高对比度光栅的结构,增加氧化孔径,考虑载流子扩散受注入电流的影响氧化孔径也不宜过大,否则会降低载流子注入的均匀性,增加阈值电流和工作电流,不利于模式选择;所以在制作器件时制作氧化孔径为 $10\mu\text{m}$ 左右的面发射激光器。

4. 根据权利要求1所述的低折射率介质支撑型高对比度光栅面发射激光器,其特征在于:高对比度光栅(13)是由低折射率介质材料绕着高折射率材料构成的亚波长光栅结构,具有极高反射率和反射带宽;在低折射率介质支撑层选取方面,选取折射率较低的二氧化

硅和氧化铝,该激光器由一步外延工艺制备,所以选择由AlAs湿法氧化获得的氧化铝作为低折射率介质支撑层,厚度则需要对器件谐振腔进行匹配,且需要考虑氧化带来的材料厚度变化,材料厚度为100nm-300nm;在高对比度光栅层方面,对于不同的波长需要进行不同选择,激射波长大于870nm的器件,选择GaAs材料,而对于波长小于870nm器件,则选择AlGaAs材料或者其他高折射率材料,其厚度需要与低折射率介质层进行匹配,一般厚度在200-400nm;对于高对比度光栅结构(13),其周期一般小于激光器激射波长,980nm器件的光栅周期在360-440nm,占空比在0.4-0.7左右,刻蚀深度能够小范围控制器件激射波长,通常完全刻蚀,且光栅面积通常完全覆盖整个器件的氧化孔(9)的面积。

5. 根据权利要求1所述的低折射率介质支撑型高对比度光栅面发射激光器,其特征在于:高对比度光栅(13)具体制作通过利用电子束曝光技术将设计好的图形直写在电子束胶上;再通过显影将胶上得到高对比度光栅(13)图形,在利用感应耦合离子刻蚀刻蚀掉未被保护的高折射率介质材料去胶得到高对比度光栅(13)图形;除了以上制备方法外还能够通过用干涉光刻的方法,用光刻胶掩膜制备高对比度光栅(13)。

6. 根据权利要求5所述的低折射率介质支撑型高对比度光栅面发射激光器,其特征在于:用光刻胶掩膜制备高对比度光栅(13)具体步骤是依次用丙酮乙醇去离子水洗净器件芯片,然后烘干、在器件芯片表面甩上一层光刻胶、前烘坚膜、干涉光刻、显影、后烘、ICP刻蚀、去胶;也能得到高对比度光栅(13);

通过以上各种方法制备的低折射率支撑型高对比度光栅面发射激光器,利用高对比度光栅结构(13)代替了上P型DBR(3),通过提高器件谐振腔的反射率和反射带宽来降低器件的阈值电流,通过改变注入电流的注入路径减小器件的串联电阻,提高器件的热稳定性,通过对激射光的偏振方向的选择来控制器件的偏振方向,通过光栅结构设计使器件在出光孔径较大时依然可以实现单横模工作;这样在保证单模工作同时,氧化孔径相对增加到10 μ m,单模功率从原来1mW以下提高到几个毫瓦,阈值电流可以降低到1mA以下,偏振功率抑制比到达40dB。

低折射率介质支撑型高对比度光栅面发射激光器

技术领域

[0001] 本发明属于光电子技术领域,具体是关于一种新型垂直腔面发射半导体激光器的设计与制作;适合于多种波长的(650nm、850nm、980nm、1064nm、1310nm和1550nm等)垂直腔面发射半导体激光器。

背景技术

[0002] 垂直腔面发射激光器(vertical cavity surface emitting lasers,VCSEL)是一种性能优异的新型半导体激光器,具有低成本、低功耗、低阈值电流、光纤耦合效率高,易于形成二维阵列,小注入电流下高的调制速率等优异特性。在数据传输、光互联、光存储、传感和光计算等方面有很好的应用前景,并在光通信、短距离光互联、大型服务器局域网和计算机主板间的自由空间光互联等领域得到广泛应用。

[0003] VCSEL通常由三五族化合物半导体材料构成,通过分子束外延(MBE)或金属化学汽相淀积(MOCVD)技术外延制备获得,经过半导体工艺制备形成器件。基本结构如图1所示(以波长980nm VCSEL为例):上金属电极(P型金属电极)1、P型欧姆接触层2、周期交替生长的上分布布拉格反射镜(上DBR)3、 $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$ 高铝组分的氧化限制层4、有源区5、周期交替生长的下分布布拉格反射镜(下DBR)6、衬底7、N型金属电极8、氧化孔9、出光孔10。一般为单个器件或者阵列结构。该种激光器一般存在以下缺点:

[0004] 1)器件电流经过P型DBR(上DBR 3)注入有源区,引入较大的串联电阻,增加器件的自产热,导致器件的热稳定性和可靠性变差。

[0005] 2)P型掺杂材料制备难度较大,且重掺杂P型材料会吸收器件出射激光,增加器件损耗,影响器件的阈值电流,降低器件的激射功率,甚至导致器件无法激射。

[0006] 3)面发射激光器的台面通常为圆形或者方形,由于结构对称性器件激射光的偏振状态不稳定,随着注入电流和温度而改变。人们虽然可以通过采用非对称台面结构和刻蚀椭圆空气孔光子晶体等微结构来控制器件的偏振特性,但普通的非对称台面结构和微结构对器件出射光偏振控制效果不佳,且加工工艺复杂。

[0007] 4)普通VCSEL要想实现基横模激射必须通过控制氧化孔孔径或者在其上DBR3刻蚀微结构来实现。对于氧化孔型基横模器件,氧化孔直径必须小于 $5\mu\text{m}$,较小的氧化孔引入较大的串联电阻,且在制作工艺上很难控制。微结构基横模器件,微结构加工制备难度大,且会损伤器件,增加器件的损耗,增加器件的阈值电流。

发明内容

[0008] 本发明的目的在于克服以上现有技术缺点,设计和制作一种低阈值电流、小串联电阻、基横模偏振稳定的垂直腔面发射激光器。

[0009] 为达到上述目的,本发明的低折射率介质支撑型高对比度光栅垂直腔面发射激光器采用了全新的物理思想,利用外延生长技术和半导体平面微纳米加工工艺,对器件进行了全新的设计与制作。该器件材料利用MOCVD或MBE等外延生长技术生长,具体的制作工艺

如下:先在衬底7上生长下DBR6,然后依次按下述顺序生长有源区5、氧化限制层4、P型欧姆接触层2、低折射率介质层11、高对比度光栅层12的外延材料。

[0010] 低折射率支撑型高对比度光栅面发射激光器与普通面发射激光器制备工艺相同,先采用半导体加工工艺制作出内腔式垂直腔面发射激光器,其中小台面的刻蚀到低折射率介质层11,大台面的位置刻蚀到氧化限制层4以下,完成内腔式器件制备。内腔式器件制备完成后,再通过湿法氧化来氧化器件的氧化限制层4和低折射率介质层11,使其由原来的高折射率材料转变成低折射率材料,形成低折射率支撑结构和氧化限制结构。低折射率介质层11制备完成后,通过电子束曝光技术(EBL)和感应耦合离子刻蚀技术(ICP)在高对比度光栅层12上加工制作出高对比度光栅13以形成低折射率支撑型高对比度光栅面发射激光器结构(如图2),高对比度光栅13具体结构如图3,高对比度光栅13呈条形均匀等间距对称布置。

[0011] 本发明中采用低折射率支撑亚波长高对比度光栅结构代替传统器件的上DBR的反射镜功能。高对比度光栅13相对于上DBR3结构具有更高的反射率和更宽的反射带宽,能够为激光器激射提供足够的反射率,高的反射率有利于减小谐振腔损耗、降低器件阈值电流。宽的高反射率带宽更好的匹配谐振腔模式,降低器件加工制备难度、易于器件激射。低折射率介质支撑高对比度光栅结构由两层介质膜组成,且厚度只有几百纳米,相对于P型DBR的 $3\mu\text{m}-5\mu\text{m}$,有效的降低了器件外延难度。低折射率介质支撑型高对比度光栅结构的采用,器件的电流直接经过电极注入到有源区,能够有效减小器件的串联电阻(主要来源P型DBR结构),减少器件自产热并改善器件的热稳定性。此外,高对比度光栅13只对偏振方向垂直于光栅的光具有高的反射率,而对于偏振方向平行于光栅的光反射率较低,因而在器件中只有偏振方向垂直于光栅的光才可以获得足够高的增益激射。高对比度光栅13对激光的偏振方向进行选择 and 设定,实现对器件的偏振控制,且是目前最有效的偏振控制方法;通过设计高对比度光栅13来设计激光器激射波长,实现器件激射波长控制。

[0012] 本发明通过在垂直腔面发射半导体激光器中采用低折射率介质支撑的高对比度光栅结构13代替上DBR3结构,来改善器件的阈值电流、基横模出光功率、偏振特性以及串联电阻和热特性。低折射率介质支撑的高对比度光栅结构位于P型欧姆接触层上。这样的结构与内腔式结构与内腔式VCSEL相同,器件的注入电流直接流入到器件有源区,不经过器件的P型DBR,有效的减少器件的串联电阻。低折射率介质支撑型器件的激射区域主要由光栅区域决定。氧化限制孔只限制电流注入,为了提高器件的单模输出功率,可以设计高对比度光栅的结构,增加氧化孔径,考虑载流子扩散受注入电流的影响氧化孔径也不宜过大,否则会降低载流子注入的均匀性,增加阈值电流和工作电流,不利于模式选择。所以在制作器件时制作氧化孔径为 $10\mu\text{m}$ 左右的面发射激光器。

[0013] 高对比度光栅13是由低折射率介质材料绕着高折射率材料构成的亚波长光栅结构,具有极高反射率和反射带宽,其反射率和反射带宽易受到衬底折射率、光栅周期、占空比、刻蚀深度、形貌等多种因素影响,直接决定了器件能否正常工作。在低折射率介质支撑层选取方面,选取折射率较低的二氧化硅和氧化铝等材料,本申请的器件由一步外延工艺制备,所以选择可以由AlAs湿法氧化获得的氧化铝作为低折射率介质支撑层,厚度则需要对器件谐振腔进行匹配,且需要考虑氧化带来的材料厚度变化,材料厚度为 $100\text{nm}-300\text{nm}$ 。在高对比度光栅层方面,对于不同的波长需要进行不同选择,激射波长大于 870nm 的器件,

选择GaAs材料(考虑GaAs的吸收峰),而对于波长小于870nm器件,则选择AlGaAs材料或者其他高折射率材料,其厚度需要与低折射率介质层进行匹配,一般厚度在200-400nm。对于高对比度光栅结构13,其周期一般小于激光器激射波长,980nm器件的光栅周期在360-440nm,占空比在0.4-0.7左右,刻蚀深度能够小范围控制器件激射波长,通常完全刻蚀,且光栅面积通常完全覆盖整个器件的氧化孔9的面积。

[0014] 高对比度光栅13具体制作通过利用电子束曝光(EBL)技术将设计好的图形直写在电子束胶上。再通过显影将胶上得到如图3中所示的高对比度光栅13图形,在利用感应耦合离子刻蚀(ICP)刻蚀掉未被保护的高折射率介质材料(如GaAs)去胶得到图3中所示高对比度光栅13图形。除了以上制备方法外还可以通过用干涉光刻的方法,用光刻胶掩膜制备高对比度光栅13。具体步骤是依次用丙酮乙醇去离子水洗净器件芯片,然后烘干、在器件芯片表面甩上一层光刻胶、前烘坚膜、干涉光刻、显影、后烘、ICP刻蚀、去胶。也可得到高对比度光栅13。

[0015] 通过以上各种方法制备的低折射率支撑型高对比度光栅面发射激光器,利用高对比度光栅结构13代替了上P型DBR3,通过提高器件谐振腔的反射率和反射带宽来降低器件的阈值电流,通过改变注入电流的注入路径减小器件的串联电阻,提高器件的热稳定性,通过对激射光的偏振方向的选择来控制器件的偏振方向,通过光栅结构设计使器件在出光孔径较大时依然可以实现单横模工作。这样在保证单模工作同时,氧化孔径可相对增加到10 μ m,单模功率从原来1mW以下提高到几个毫瓦,阈值电流可以降低到1mA以下,偏振功率抑制比可以到达40dB。

[0016] 本发明有效的低折射率介质支撑的高对比度光栅13与VCSEL结合起来,可以有效的降低VCSEL的阈值电流,串联电阻,实现基横模高功率偏振稳定面发射激光器,获得低阈值单模高功率输出。

[0017] 与现有技术相比,本发明具有以下优点

[0018] 1、低折射率支撑高对比度光栅结构的采用,简化上反射镜外延结构,降低了器件外延工艺及制备难度,解决了P型DBR制备和DBR高掺杂吸收激射光的问题。

[0019] 2、新型器件注入电流通过电极直接注入到有源区,减小了器件的串联电阻,可以有效改善器件的热稳定性,提高器件的可靠性和寿命。

[0020] 3、光栅反射镜可以对出射光进行偏振方向的选择,抑制偏振方向与光栅方向平行的光,器件出射光具有很好的偏振稳定性。通过对光栅结构的设计,还可以让器件在单模工作状态下的发光面积增大,单模功率比普通的氧化限制型和普通的光子晶体垂直腔面发射半导体激光器的功率大,获得低阈值单模高功率输出。

[0021] 4、更低的阈值电流,更强的抗干扰能力、更高的传输速度、(几十分贝以上的的边模抑制比)更窄线宽20MHz以下、更强的调制特性、以及更好的偏振特性,器件的功率偏振抑制比可达到40dB。

附图说明

[0022] 下面结合附图及实施例对本发明进一步详细说明

[0023] 图1、垂直腔面发射半导体激光器结构示意图

[0024] 图2、低折射率介质支撑型高对比度光栅面发射激光器示意图

[0025] 图3、高对比度光栅结构示意图

[0026] 图中:1、上金属电极(P型金属电极),2、P型欧姆接触层,3、周期交替生长的上分布布拉格反射镜(上DBR),4、 $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$ 氧化限制层,5、有源区,6、周期交替生长的下分布布拉格反射镜(下DBR),7、衬底,8、N型金属电极,9、氧化孔,10、出光孔,;11、低折射率介质层,12、高对比度光栅层,13、高对比度光栅。

具体实施方式

[0027] 以下以波长980nm为例,对本发明作进一步详细说明。

[0028] S1、通过在在 N^+ 型GaAs衬底上生长得到衬底7利用MOCVD方法依次在衬底上生长0.2微米的GaAs缓冲层然后再生长 $\text{N}^+\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{As}$ (71nm掺杂浓度 $1.5 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)和 $\text{N}^+\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ (81nm掺杂浓度 $1.5 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)构成的36个周期的下DBR6、 $\text{In}_{0.17}\text{Al}_{0.83}\text{As}$ 和GaAs(0.92)P组成的有源区5, AlAs (30nm掺杂浓度 $2.5 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)氧化限制层4、50nm重掺杂GaAs和59nm $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 重掺杂的欧姆接触层2(掺杂浓度 $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$)、不掺杂的AlAs低折射率介质层11(163nm)和高对比度光栅层GaAs(226nm)。

[0029] S2、利用传统的氧化限制性垂直腔面发射半导体激光器的制作工艺制作出台面75-95微米、出光孔10孔径40-50微米、氧化孔9的孔径10微米、500纳米TiAu的P电极1的内腔式器件半成品芯片(不作减薄、溅射背面电极和解离工艺)。

[0030] S3、将以次用丙酮和无水乙醇以及去离子水洗净烘干的样品放入到烘箱中烘干,在其表面化旋涂电子束光刻胶(Zep520型)前烘坚膜、再将样品放入电子束曝光机中曝光、显影、后烘在胶上得到所需图形。图形中光子晶体的周期从360-440nm。占空比从0.3-0.6。

[0031] S4、用感应耦合离子刻蚀(ICP)刻蚀掉未被保护的GaAs、去胶。将胶上图形转移到GaAs材料上,形成高对比度光栅。

[0032] S5、减薄到100微米左右、溅射背面电极8(背面电极AuGeNiAu厚度300nm)、合金、解离、压焊,就可得到所需要的激光器。

[0033] S6、测试

[0034] 用仪器测量了以下几种内腔多有源区光子晶体垂直腔面发射半导体激光器:

[0035] 通过使用光谱分析仪测试周期为400nm占空比为0.35的刻蚀深度226nm的 Al_2O_3 支撑型高对比度光栅面发射激光器,发现其谱线宽小于0.01nm,边模抑制比30dB,功率偏振抑制比大于40dB。用近场光学显微镜观察其光斑特性显示其为基横模。用激光测试系统测试其单模功率3.0mW。阈值电流0.7mA、串联电阻20 Ω 。

[0036] 周期为420nm,占空比为0.32刻蚀深度226nm的 Al_2O_3 支撑型高对比度光栅面发射激光器,边模抑制比35dB、基横模功率2.8mW、阈值电流0.8mA、串联电阻22 Ω 。

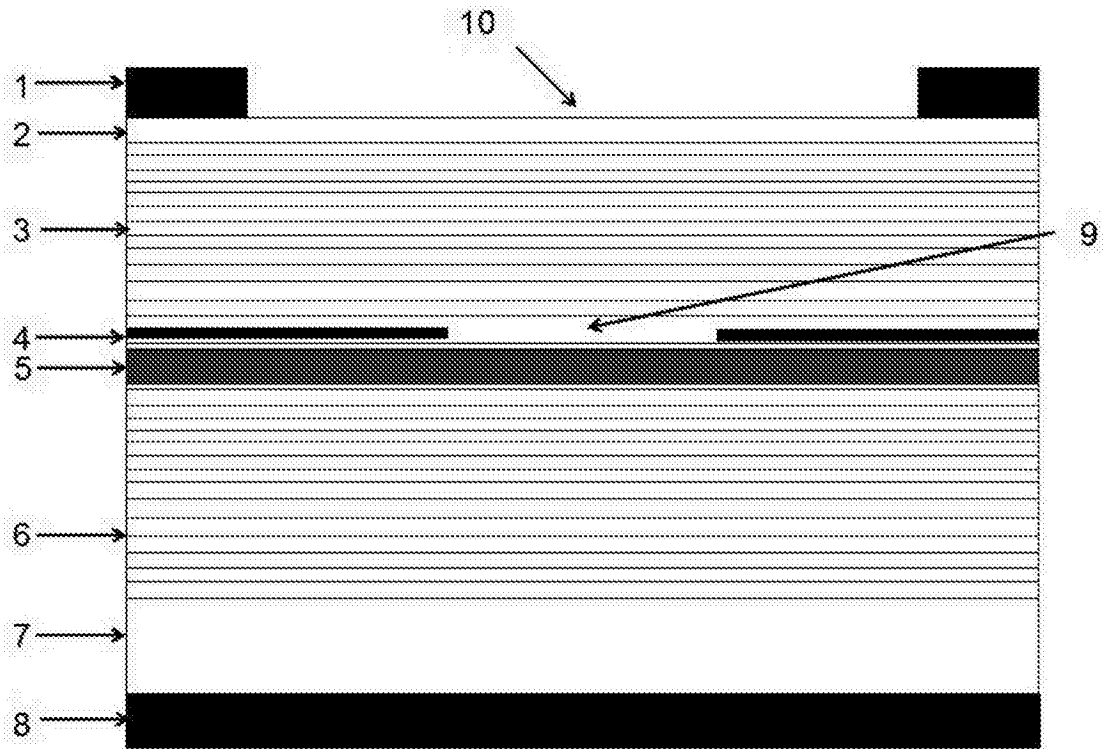


图1

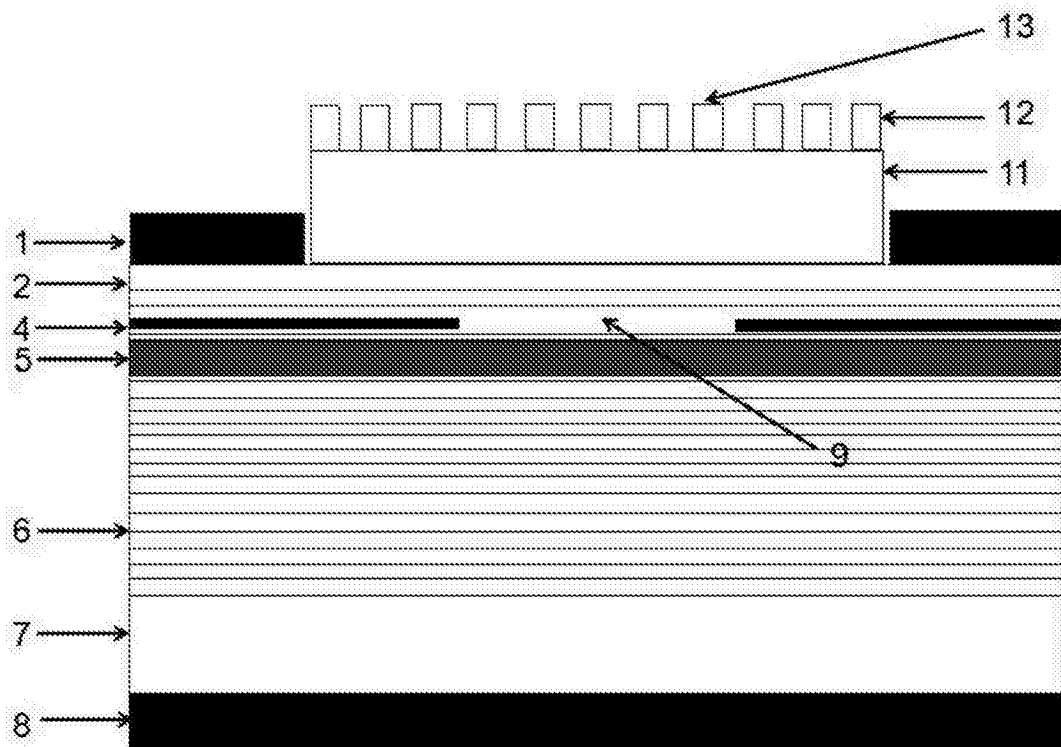


图2

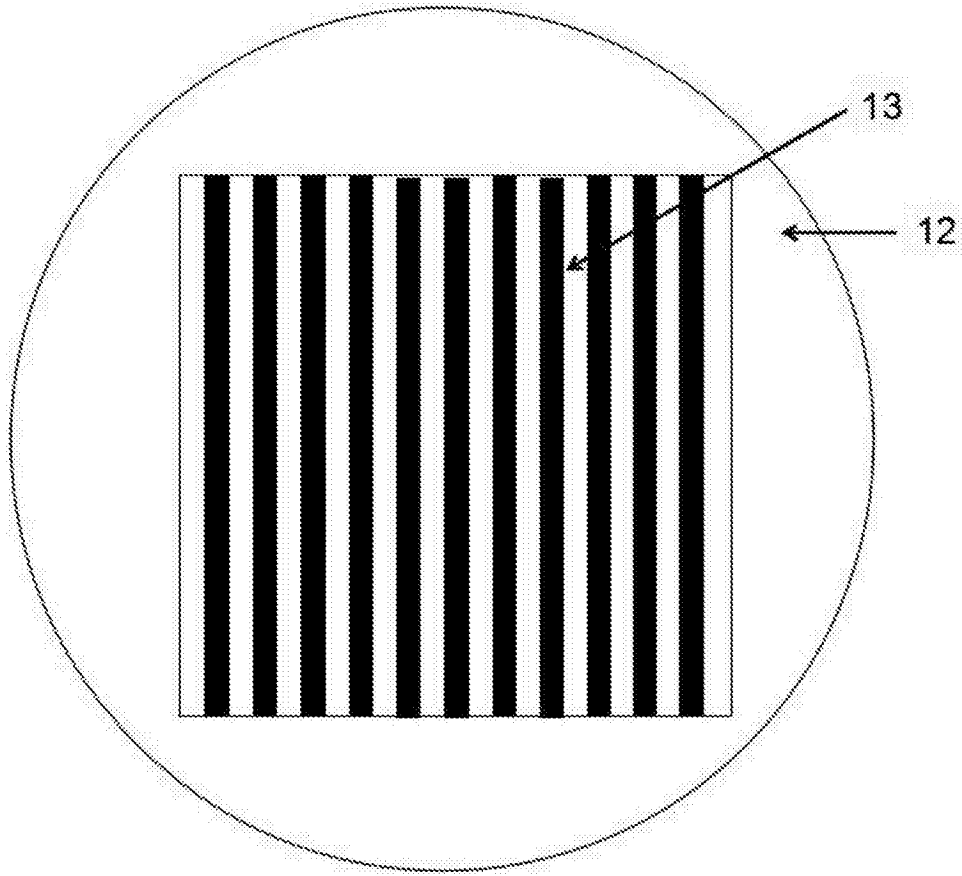


图3