



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104051957 A

(43) 申请公布日 2014. 09. 17

(21) 申请号 201410288829. 6

(22) 申请日 2014. 06. 23

(71) 申请人 天津工业大学

地址 300387 天津市西青区宾水西道 399 号

(72) 发明人 李鸿强 崔贝贝 周文骞 刘宇

(51) Int. Cl.

H01S 5/183(2006. 01)

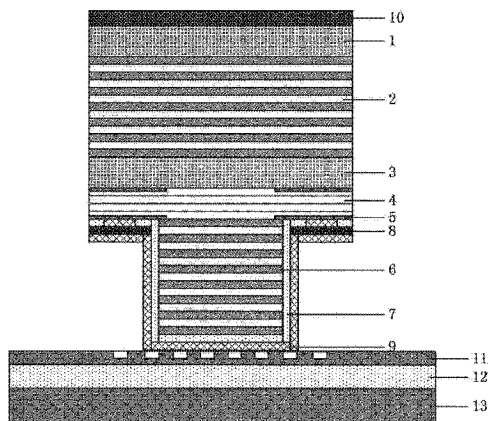
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种 1550nm 长波长垂直腔面发射激光器的制备方法及其应用

(57) 摘要

本发明公开了一种 InGaAsN/AlGaInAs 量子阱为有源层的 1550nm 长波长垂直腔面发射激光器,其特点在于有源层为 InP 基的 InGaAsN/AlGaInAs 的 QWs 以及 AlGaAsSb/AlAsSb 作为 DBR 材料。它的谐振腔腔长为 1λ 以实现更好的出光效果。另外本发明采用双层氧化限制层的结构使面发射激光器在性能上进一步改善,提高了单模输出功率,实现 1550nm 的长波长传输。该激光器包括 P 型 DBR 层、有源层、N 型 DBR 层、衬底、SiO₂ 绝缘层、透明导电介质 ZnO、P 型电极和 N 型背面电极。整个结构在材料上是晶格匹配的,因此可以广泛的应用外延技术。本发明的垂直腔面发射激光器制造工艺简单,重复性好,容易推广。



1. 一种 InGaAsN/AlGaInAs 量子阱为有源层的 1550nm 长波长垂直腔面发射激光器,其特征在于结构包括 InP 衬底、底部分布反馈布拉格腔镜和顶部分布反馈布拉格腔镜,中间夹有一个光学谐振微腔;光学谐振微腔包含包层,有源增益层和双层氧化限制层,它的谐振腔腔长为 1λ ,有源层是 InP 基的 InGaAsN/AlGaInAs 材料的 QWs,AlGaAsSb/AlAsSb 作为 DBR 材料;以光刻胶作掩膜,利用相关工艺,形成 SiO_2 绝缘层、透明导电介质层以及金属电极层;通过与 SOI 基下端反射耦合层的连接实现光电子集成。

2. 根据权利要求 1 所述的垂直腔面发射激光器,其特征在於:DBR 反射镜是由光学厚度为 $\lambda/4$,折射率不同的两种材料交替生长若干层而形成的多层堆结构;

基于反射光相互干涉原理,底部分布反馈布拉格腔镜 N 型 DBR 形成于 InP 衬底上,由组分渐变的 35 对 AlGaAsSb/AlAsSb 材料交替组成;顶部分布反馈布拉格腔镜 P 型 DBR 形成于谐振腔上方,由同样组分渐变的 31 对 AlGaAsSb/AlAsSb 材料交替组成。

3. 根据权利要求 1 所述的垂直腔面发射激光器,其特征在於:垂直腔面发射激光器谐振腔包层采用 AlInAs 材料;根据 VCSEL 器件谐振腔内形成稳定的驻波场的条件可知,垂直腔面发射激光器谐振腔多量子阱有源增益层 QWs 位于驻波场的波腹位置,得到较大的光增益和较好的光场限制;垂直腔面发射激光器谐振腔多量子阱有源增益层 QWs 由 InGaAsN/AlGaInAs 材料组成。

4. 根据权利要求 1 所述的垂直腔面发射激光器,其特征在於:垂直腔面发射激光器谐振腔氧化限制层设计为双层结构,其材料为 AlInO,位于驻波场的波腹位置,得到较大的光增益和较好的光场限制。

5. 根据权利要求 1 所述的垂直腔面发射激光器,其特征在於:在 P 型台面上方以及左右两侧通过采用 PECVD 的方法进行淀积形成 SiO_2 绝缘层。

6. 根据权利要求 1 所述的垂直腔面发射激光器,其特征在於:在 P 型台面上注入透明导电介质 ZnO,这种透明导电介质不仅起到增透膜的作用,还可以使电流均匀的注入有源区,减小阈值电流并提高单模输出功率。

7. 根据权利要求 1 所述的垂直腔面发射激光器,其特征在於:通过采用磁控溅射技术,在 P 型台面外围,溅射形成 P 型 Ti/Pt/Au 或 Ti/Au 电极层;

对衬底 InP 进行减薄及抛光,形成以 AuGeNi/Au 为材料的 N 型背面电极,并采用辐射桥电极替代常规的圆形电极,用以减少器件的焦耳热以及降低器件的热阻。

8. 根据权利要求 1 所述的垂直腔面发射激光器,其特征在於:其中所述反射耦合层是位于以 Si 作为衬底、 SiO_2 作为包层的 SOI 材料上;其中所述衬底是在其上表面提供有绝缘层的硅衬底,所述光波导和所述反射耦合层在所述绝缘层的上表面上。

9. 根据权利要求 1 所述的垂直腔面发射激光器,其特征在於:其中所述反射耦合层是具有一维光栅结构的高系数对比光栅反射层,其至少一侧光学地连接到所述光波导。

一种 1550nm 长波长垂直腔面发射激光器的制备方法及其应用

技术领域

[0001] 本发明涉及一种长波长 InGaAsN/AlGaInAs 量子阱为有源层的垂直腔面发射激光器的制造方法及其与光栅的耦合,在光电子集成中有重要应用,属于半导体激光器领域。

背景技术

[0002] 在半导体光电子产业中,半导体激光器只需要很低的电流供应就可以发射激光,又因体积小解决了光电子集成中因特征尺寸按比例缩小而引起的无法克服的困难,被称为微型激光器。凭借其易于和其它器件集成及工作寿命长的优点,这种低成本、高性能的光源在系统中的地位越来越突出并且愈加受到重视。半导体激光器按激光出射的角度的不同可分为:边发射激光器(Edge-Emitting Laser, EEL)和垂直腔面发射激光器(Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser, VCSEL)两种。虽然人们对于边发射激光器的研究要早于面发射激光器、在研究技术和涉及领域等方面取得了傲人的成绩,但其依旧存在着一些弊端。例如光束发散角过大、光束质量较低、制作成本偏高,较低的光纤耦合效率,还有不容易集成等缺点。而作为其替代产品,垂直腔面发射激光器强有力的促进了半导体光源的发展。

[0003] VCSEL 是一种出光方向垂直于谐振腔表面的半导体激光器,具有体积小、阈值低、光束方向性好、动态调制频率高、易成阵列、易耦合、易检测等优点,成为芯片间光互连应用的最佳光源,并受到了广泛的关注。

[0004] 随着光电子技术的发展和信息社会的需求,对该器件的深入细致的研究工作也在不断的进行,850nm、980nm、1100nm、1310nm 和 1550nm 波段均已取得了显著的成效。其中 1310nm/1550nm 波段的光源对硅基光波导具有低色散和低损耗的特点,因而成为光电子集成的最佳波段。目前,1310nm VCSEL 研究较多的是在 GaAs 基制作的 GaAs/AlGaAs DBR 和 GaInNAs/GaAs 有源区。与 1310nm VCSEL 不同,1550nm 波段则多选用 InP 基材料的有源区,使用比较广泛的材料体系是 AlInGaP/InP 和 InGaAsP/InP,其研究主要集中在 DBR 反射镜和整体结构的优化设计。利用掩埋隧道结技术、晶片键合、InP 基铟化物 DBR、GaAs 基有源区以及引入光子晶体等方法对研制性能良好的长波长 VCSEL 器件上将具有不同的突破。

[0005] 目前,短波长 850nm 和 980nm VCSEL 器件制备工艺已经比较成熟,并在商业领域得到了广泛的应用。但是,基于 InP 衬底的长波长 VCSEL 器件的发展却比较缓慢,主要有以下三个方面的原因。它难以形成与长波长有源增益区相匹配的高反射率、低电阻的 DBR 反射镜;长波长 VCSEL 器件的热问题也比较显著,长波长 VCSEL 所采用的四元或三元半导体材料要比短波长 VCSEL 所采用的二元材料热阻大的多,折射率差却小的多;它难于实现及制备理想的电流限制层。因此,以上三个方面的问题阻碍了长波长 VCSEL 器件的发展。

发明内容

[0006] 为解决上述问题,本发明提供了一种 InGaAsN/AlGaInAs 量子阱为有源层的

1550nm 长波长垂直腔面发射激光器的制备方案。

[0007] 本发明解决技术问题所采取的技术方案如下：

[0008] InGaAsN/AlGaInAs 量子阱为有源层的 1550nm 长波长垂直腔面发射激光器包括：InP 衬底、底部分布反馈布拉格腔镜，光学谐振微腔和顶部分布反馈布拉格腔镜；光学谐振微腔包含：包层，有源增益层和双层氧化限制层。

[0009] 其特征在于它的谐振腔腔长为 1λ ，多量子阱有源增益层 QWs 位于驻波场的波腹位置，以得到较大的光增益；整个结构的每层上的材料是晶格匹配的，因此可以广泛的应用外延技术。

[0010] 本发明旨在研究一种新颖的且与光栅耦合器有较高耦合效率和便于加工集成等特点的垂直腔面发射激光器，并能用于阵列波导光栅解调集成微系统中的光源与光栅耦合器之间的集成。为了得到性能优良的长波长 VCSEL 器件，本发明旨在从 DBR 反射镜、谐振腔和氧化限制层等方面进行综合改进，它将对光纤光栅传感解调领域的发展起到重要推动作用，所以对其进行研究是很有研究前景和实用价值的，同时对于未来光纤光栅解调系统的硅光电集成芯片研究具有重要意义。

[0011] 本发明的有益效果是：该垂直腔面发射激光器通过探针的连接，下端为出光口，即 P 型 DBR 上端输出的激光光束可以注入光栅耦合器中，通过对其上电极以及半导体台面的结构进行调节，能够将激光器的激光光束在预期位置自动整形聚焦为点状或线状的高功率高密度激光光斑。它提高了单模的输出功率，能够满足广泛的应用需求，并且该激光器制造工艺简单、重复性好、结构紧凑、解调精度高、解调速度快、成本也较低，易于普及推广。

附图说明

[0012] 图 1 是 VCSEL 与光栅耦合后形成的光电子集成的截面图；

[0013] 图 2 是谐振腔内结构分配示意图；

[0014] 图 3 是 VCSEL 与光栅耦合的结构示意图；

[0015] 图 4 是 VCSEL 的折射率及厚度示意图；

[0016] 图 5 是不同腔长下的功率谱分布图；

[0017] 图 6 是不同氧化限制层下的功率分布图；

[0018] 图 7 是 VCSEL 光场及光功率分配图；

[0019] 图 8 是 VCSEL 与光栅耦合后的光场及光功率分配图；

[0020] 图 9 是 N 型背面辐射桥电极示意图。

具体实施方式

[0021] 以下结合技术方案和附图详细叙述本发明的具体实施方式。

[0022] 这种 InGaAsN/AlGaInAs 量子阱为有源层的 1550nm 长波长垂直腔面发射激光器，包括顺次连接的 InP 衬底层 (1)、N 型 DBR (2)、InP 扩充层 (3)、量子阱有源增益层 QWs (4)、氧化限制层 (5)、P 型 DBR (6)、SiO₂ 绝缘层 (7)、透明导电介质 ZnO (8)、P 型电极 (9)、N 型背面电极 (10)、反射耦合层 (11)、硅包层 (12) 和硅衬底层 (13)。以下为实施案例及具体实施步骤：

[0023] 实施例 1：

[0024] 第一步,采用外延生长的方法制备衬底(1)、N型DBR(2)、扩展InP层(3)、有源区以及P型DBR(6)的外延片;

[0025] 制备InP衬底(1)和扩展InP层(3),其厚度分别约为500nm和775nm;然后在其上采用外延生长的方法生长由组分渐变的35对AlGaAsSb/AlAsSb材料交替组成的N型DBR(2),这需用光刻胶做掩膜进行湿法化学腐蚀N型DBR,由公式 $L = \lambda / 4n$ 可知,本发明设定AlGaAsSb和AlAsSb的厚度分别为110nm和125nm;由组分渐变的31对AlGaAsSb/AlAsSb材料交替组成的N型DBR(6)的与材料与厚度同N型DBR(2);有源区由3对InGaAsN/AlGaInAs材料的QWs和两层氧化限制层构成,谐振腔腔长为 1λ ;

[0026] 第二步,在P型DBR顶部旋涂光刻胶,进行湿法化学腐蚀P型DBR(6)形成P型台;通过光刻胶形成圆形掩膜图形,以N型台中心为同心轴,以4nm为半径,以该掩膜图形为掩膜,刻蚀P型DBR到谐振腔上部,但是不能刻蚀到谐振腔的氧化限制层;

[0027] 第三步,通过湿法氧化工艺,将器件放入氧化炉中,在冲有氮气及热水蒸气的高温条件下,对将暴露出侧壁的氧化限制层进行侧向氧化,形成氧化限制层(5)和出光孔径约为 $2.4\mu\text{m}$ 的谐振腔,由于本发明采用双层氧化限制层,所以需进行两次侧向氧化操作;

[0028] 第四步,在P型台面上方以及左右两侧通过采用PECVD的方法进行淀积形成 SiO_2 绝缘层(7);在氧化限制层上方的台面旋涂光刻胶,进行湿法化学腐蚀,通过光刻胶在圆柱形台面两侧,以距离P型台面侧边缘约2nm处为圆心,以约为2nm为半径,形成两个圆形掩膜图形,对 SiO_2 进行刻蚀,但是不能刻蚀到谐振腔的氧化限制层;

[0029] 第五步,向经刻蚀后形成的两个圆形孔径内分别注入透明导电介质ZnO(8),使其厚度与 SiO_2 相同,使两边台面齐平均匀;透明导电介质不仅起到增透膜的作用,还可以使电流均匀的注入有源区,减小阈值电流并提高单模输出功率;

[0030] 第六步,通过采用磁控溅射技术,在P型台面外围,即铺有 SiO_2 和透明导电介质ZnO的环形台面上溅射P型,形成P型Ti/Pt/Au或Ti/Au电极层(9);

[0031] 第七步,对衬底InP(1)进行减薄及抛光,形成以AuGeNi/Au为材料的N型背面电极(10);本发明中的N型电极采用辐射桥电极替代常规的圆形电极,用以减少器件的焦耳热以及降低器件的热阻;

[0032] 第八步,最后在器件P型DBR台面,即 SiO_2 保护层的上方涂BCB胶,进而可以与光栅部分进行连接。BCB层可以降低器件的电容,从而显著降低激光器的高频特性。

[0033] 实施例2:

[0034] 一种InGaAsN/AlGaInAs量子阱为有源层的1550nm长波长垂直腔面发射激光器,包括顺次连接的InP衬底层、N型DBR、InP扩充层、量子阱有源增益层QWs、氧化限制层、P型DBR(6)、绝缘层 SiO_2 以及N型和P型金属电极。所述的垂直腔面发射激光器谐振腔多量子阱有源增益层QWs由InGaAsN/AlGaInAs材料组成。采用外延生长的方法,P型DBR和N型DBR分别生长由组分渐变的31对和35对AlGaAsSb/AlAsSb材料交替组成。本实施案例需要用光刻胶做掩膜,对P型DBR和有源区均进行湿法化学腐蚀。在P型DBR顶部旋涂光刻胶,进行湿法化学腐蚀P型DBR和有源区,形成一个圆柱形台面,它以N型台中心为同心轴,以4nm为半径,以该掩膜图形为掩膜进行刻蚀,刻蚀到与氧化限制层相接触的N型DBR。用同实施案例1的方法对双层氧化限制层进行侧向氧化。在P型台面上方以及左右两侧通过采用PECVD的方法进行淀积形成 SiO_2 绝缘层,在P型台面上方旋涂光刻胶,进行湿法化学腐

蚀,在圆柱形台面上形成环形的 SiO_2 层。采用磁控溅射技术溅射 P 型电极层,涂上光刻胶,最后在 P 型 DBR 上方形成半径小于环形的 SiO_2 层的半径的环形电极。然后在环形电极中间的圆形区域以及电极上方注入透明导电介质 ZnO 来达到使电流均匀的注入有源区的效果。

[0035] 实施例 3:

[0036] 一种 InGaAsN/AlGaInAs 量子阱为有源层的 1550nm 长波长垂直腔面发射激光器用与光栅的集成,可在实施例 1 或实施例 2 的基础上,继续在 P 型台面上方以及左右两侧通过采用 PECVD 的方法再次淀积形成绝缘层 SiO_2 。该 SiO_2 绝缘层可以避免接下来旋涂的 BCB 胶粘连作用对金属电极的破坏,因此它起到很好的保护的作用;最后在器件 P 型 DBR 台面,即 SiO_2 保护层的上方涂 BCB 胶,进而可以与光栅部分进行连接。BCB 层可以降低器件的电容,从而不显著降低激光器的高频特性。

[0037] 需要说明的是,上述对各元件的定义并不仅限于实施方式中提到的具体结构、形状或大小,本领域的技术人员可以在形式和细节上对其进行简单熟知地替换。P 型、N 型台面不仅仅局限于圆柱形台面,也可以设计成矩形等其他结构;本发明所述器件结构的尺寸仅作参考用,并不局限于文中所述尺寸大小,其具体实际大小可根据实际需求进行变更;出光口部分并不仅限于与光栅的耦合,也可以应用于与其他光波导器件的集成。

[0038] 以上所述仅为本发明的具体实施样例而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

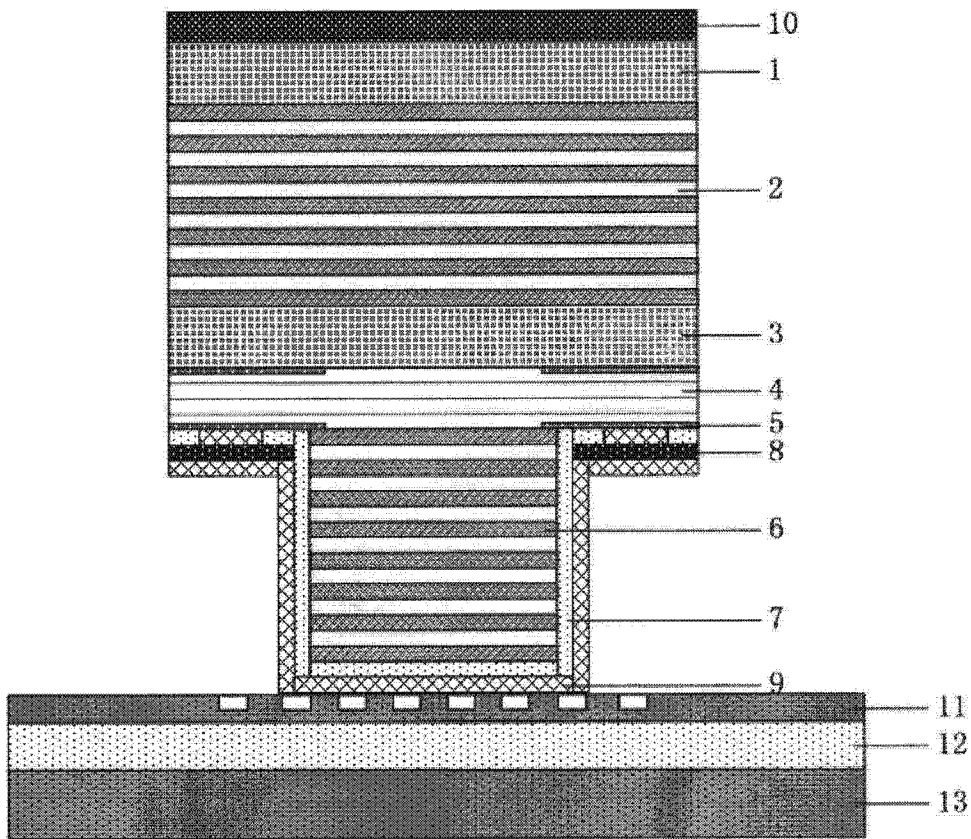


图 1

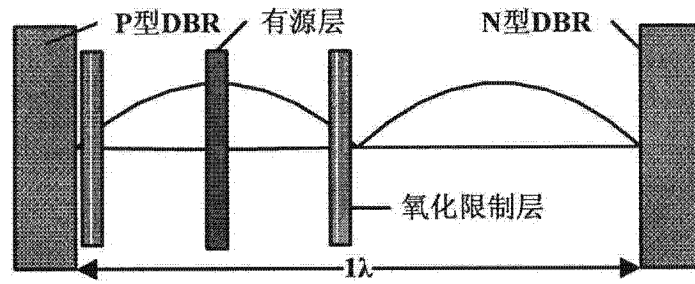


图 2

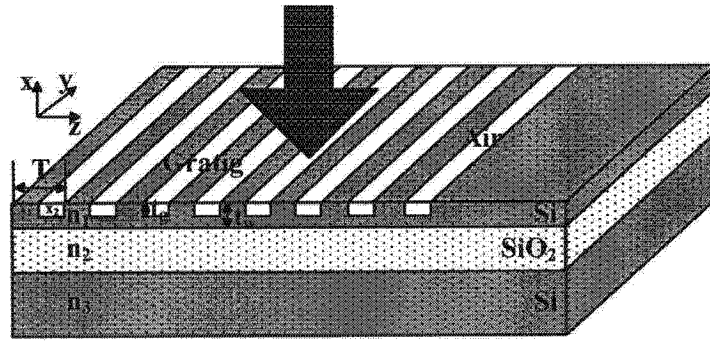


图 3

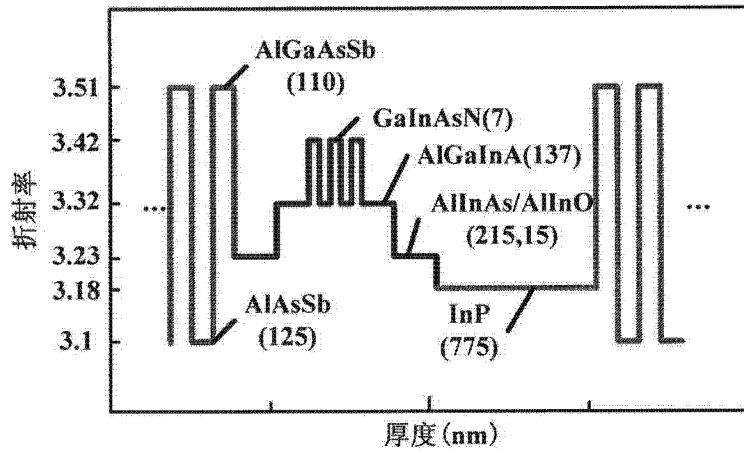


图 4

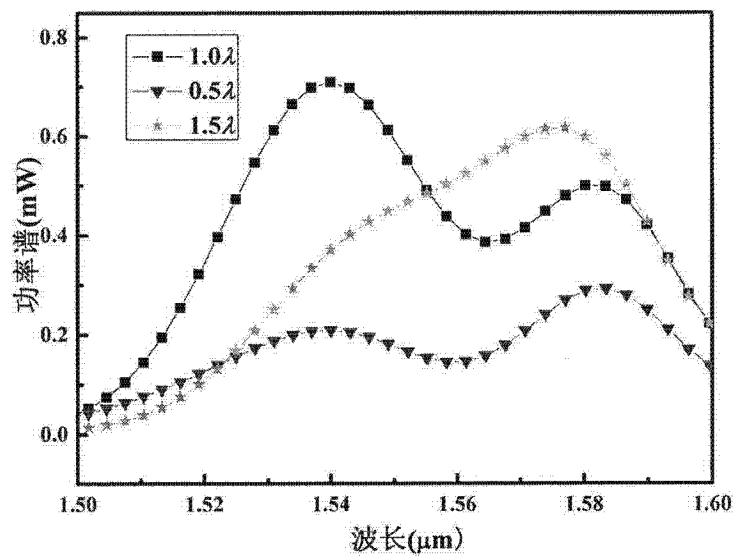


图 5

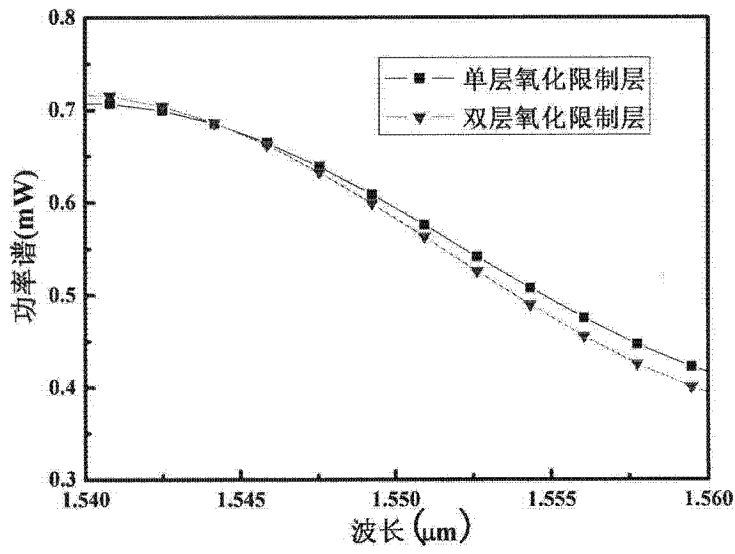


图 6

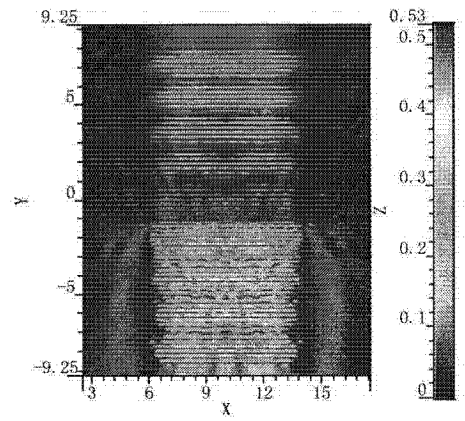


图 7

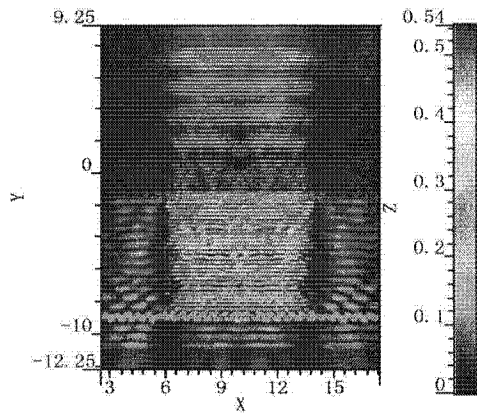


图 8

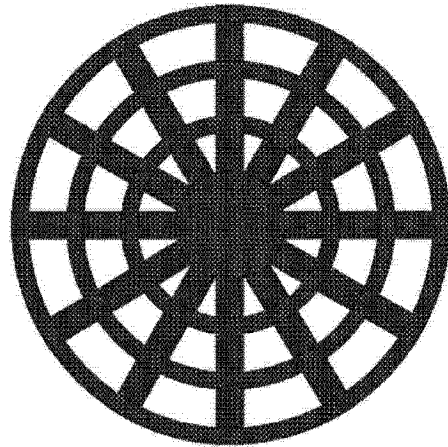


图 9