



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106654858 A

(43)申请公布日 2017.05.10

(21)申请号 201710133270.3

(22)申请日 2017.03.08

(71)申请人 长春理工大学

地址 130022 吉林省长春市朝阳区卫星路  
7089号

(72)发明人 郝永芹 谢检来 王勇 冯源  
晏长岭 邹永刚 刘国军 王霞  
王志伟

(74)专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务  
所(普通合伙) 22210

代理人 陶尊新

(51)Int. Cl.

H01S 5/183(2006.01)

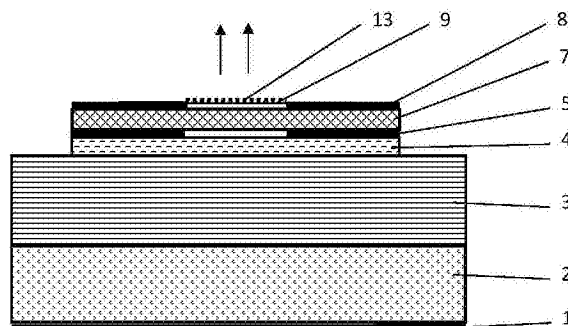
权利要求书1页 说明书3页 附图4页

(54)发明名称

具有双层亚波长光栅反射镜的垂直腔面发射半导体激光器

(57)摘要

具有双层亚波长光栅反射镜的垂直腔面发射半导体激光器属于半导体激光器技术领域。现有VCSEL器件膜层结构过多,阈值电流较高。本发明其特征在于,高折射率导电基底位于氧化物限制层上面;器件的一个制作步骤为:在高折射率导电基底上依次生长低折射率亚层、高折射率亚波长光栅层和低折射率光栅层;采用刻蚀技术将高折射率亚波长光栅层和低折射率光栅层的中间部分制作成双层亚波长光栅;同时采用刻蚀技术将低折射率亚层、高折射率亚波长光栅层和低折射率光栅层的周边部分去除,并在高折射率导电基底周边部分上表面制作p面电极。所述垂直腔面发射半导体激光器同时具有阈值电流低、工作稳定性强等特点,能够直接输出偏振光,用作光通信光源。



1. 一种具有双层亚波长光栅反射镜的垂直腔面发射半导体激光器,自下而上包括以下组成部分,n面电极(1)、衬底(2)、n-DBR反射镜(3)、有源增益区(4)、氧化物限制层(5)和高折射率导电基底(7),在器件的上表面自外向里依次为p面电极(8)、低折射率亚层(9),其特征在于,高折射率导电基底(7)位于氧化物限制层(5)上面;器件的一个制作步骤为:在高折射率导电基底(7)上依次生长低折射率亚层(9)、高折射率亚波长光栅层(11)和低折射率光栅层(12);采用刻蚀技术将高折射率亚波长光栅层(11)和低折射率光栅层(12)的中间部分制作成双层亚波长光栅(13);同时采用刻蚀技术将低折射率亚层(9)、高折射率亚波长光栅层(11)和低折射率光栅层(12)的周边部分去除,并在高折射率导电基底(7)周边部分上表面制作p面电极(8)。

2. 根据权利要求1所述的具有双层亚波长光栅反射镜的垂直腔面发射半导体激光器,其特征在于,所述低折射率亚层(9)材料为 $\text{SiO}_2$ ,膜厚为 $0.32\mu\text{m}$ ,对 $2\mu\text{m}$ 波长的折射率为1.47;所述高折射率亚波长光栅层(11)材料为Si,膜厚为 $0.572\mu\text{m}$ ,对 $2\mu\text{m}$ 波长的折射率为3.48;所述低折射率光栅层(12)材料为 $\text{SiO}_2$ ,膜厚为 $0.13\mu\text{m}$ ,对 $2\mu\text{m}$ 波长的折射率为1.47。

3. 根据权利要求1所述的具有双层亚波长光栅反射镜的垂直腔面发射半导体激光器,其特征在于,所述双层亚波长光栅(13)占空比为0.55,周期为 $0.86\mu\text{m}$ 。

4. 根据权利要求1所述的具有双层亚波长光栅反射镜的垂直腔面发射半导体激光器,其特征在于,低折射率亚层(9)与双层亚波长光栅(13)构成一种HCG,作为垂直腔面发射半导体激光器谐振腔的上反射镜。

## 具有双层亚波长光栅反射镜的垂直腔面发射半导体激光器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种具有双层亚波长光栅反射镜的垂直腔面发射半导体激光器,所述双层亚波长光栅反射镜同时具有高反射率、宽带宽、偏振性强等特点,所述垂直腔面发射半导体激光器同时具有阈值电流低、工作稳定性强等特点,能够直接输出偏振光,用作光通信光源,属于半导体激光器技术领域。

### 背景技术

[0002] VCSEL(垂直腔面发射半导体激光器)具有阈值电流低、输出圆形光斑、易于单片集成、工作稳定性强等特点。VCSEL的谐振腔由下反射镜、有源增益区、上反射镜构成,下反射镜、上反射镜统称腔面反射镜。现有腔面反射镜主要有两种。一是DBR(分布式布拉格反射镜),其结构特点是多膜层,即所述DBR由20对以上光学厚度均为四分之一波长的高、低折射率半导体材料交替生长层构成,利用折射率周期变化实现光反馈,获得DBR的高反射率、宽带宽效果。二是DBR-HCG反射镜,其中的HCG(高对比度亚波长光栅)部分由一层低折射率亚层和一层高折射率亚波长光栅构成,HCG部分在利用亚层材料与亚波长光栅材料之间的折射率差以及亚波长光栅的衍射来实现光反馈的同时,获得显著的偏振性;其中的DBR部分由几对光学厚度均为四分之一波长的高、低折射率半导体材料交替生长层构成,结构简单,但足以弥补高折射率亚波长光栅反射率和带宽的不足;将DBR-HCG反射镜用作VCSEL器件的上反射镜时,能够直接输出偏振光;

[0003] 与本发明相关的一种现有VCSEL器件其结构如图1所示,其下反射镜为DBR,上反射镜为DBR-HCG反射镜。进一步讲它自下而上包括以下组成部分,n面电极1、衬底2、n-DBR反射镜3、有源增益区4、氧化物限制层5、p-DBR反射镜6、高折射率导电基底7;在器件的上表面自外向里依次为p面电极8、低折射率亚层9;低折射率亚层9表面分布高折射率亚波长光栅10,如图1、图2所示。所述n-DBR反射镜3由20对光学厚度均为四分之一波长的高、低折射率半导体材料交替生长层构成;所述氧化物限制层5是高铝铝镓砷导电层周边环形区域被氧化而形成的 $Al_2O_3$ 层;所述p-DBR反射镜6由4对光学厚度均为四分之一波长的高、低折射率半导体材料交替生长层构成;所述高折射率导电基底7材料为GaAs或者GaSb;所述低折射率亚层9材料为 $SiO_2$ ;所述高折射率亚波长光栅10材料为Si。由p-DBR反射镜6、高折射率导电基底7、低折射率亚层9和高折射率亚波长光栅10构成一个DBR-HCG反射镜,作为该VCSEL器件的上反射镜。然而,该VCSEL器件存在其技术问题,由4对光学厚度均为四分之一波长的高、低折射率半导体材料交替生长层构成的p-DBR反射镜6依然使得器件的膜层结构过多,精密的膜层对膜厚变化敏感,使得膜层的生长难度依然较大,同时,器件总厚度偏大,导致阈值电流较高。所述DBR-HCG反射镜中的HCG由于其自身的结构特点,很难实现对TE或者TM模反射率在大于99.9%前提下的宽带宽衍射,另外,对制作精度要求也较高,致使器件长期工作稳定性差。所述DBR-HCG反射镜中的DBR由于其衍射特性不受偏振态控制,偏振特性弱,TE、TM模的反射率差 $\Delta R < 10\%$ 。

## 发明内容

[0004] 本发明针对现有VCSEL器件存在的技术问题,确定发明目的为提高谐振腔上反射镜的反射率,拓宽反射宽带,增强谐振光偏振性,进一步降低器件的阈值电流,增强工作稳定性,降低制作难度,为此,我们发明了一种具有双层亚波长光栅反射镜的垂直腔面发射半导体激光器。

[0005] 本发明之具有双层亚波长光栅反射镜的垂直腔面发射半导体激光器自下而上包括以下组成部分,n面电极1、衬底2、n-DBR反射镜3、有源增益区4、氧化物限制层5和高折射率导电基底7,在器件的上表面自外向里依次为p面电极8、低折射率亚层9,如图3所示,其特征在于,高折射率导电基底7位于氧化物限制层5上面;器件的一个制作步骤为:在高折射率导电基底7上依次生长低折射率亚层9、高折射率亚波长光栅层11和低折射率光栅层12,如图4所示;采用刻蚀技术将高折射率亚波长光栅层11和低折射率光栅层12的中间部分制作成双层亚波长光栅13,如图5所示;同时采用刻蚀技术将低折射率亚层9、高折射率亚波长光栅层11和低折射率光栅层12的周边部分去除,并在高折射率导电基底7周边部分上表面制作p面电极8,如图3所示。

[0006] 本发明其技术效果如下所述。

[0007] 在本发明中,低折射率亚层9与双层亚波长光栅13构成一种HCG(高对比度亚波长光栅),作为本发明之垂直腔面发射半导体激光器谐振腔的上反射镜,也就是所说的具有双层亚波长光栅反射镜。由于引入的低折射率光栅层12与高折射率亚波长光栅层11之间的折射率差,为HCG提供了折射率的高对比度,在反射镜的反射率大于99.9%的前提下,带宽得到拓宽;引入的低折射率光栅层12还获得一个附带效果,即充当了防氧化层,防止高折射率亚波长光栅层11Si膜氧化。所述的低折射率亚层9也为HCG提供了折射率的高对比度,同时充当相位匹配层。所述的HCG对入射谐振光具有高衍射反射作用,在实现腔内谐振的同时输出强偏振光。

[0008] 在本发明中,高折射率导电基底7直接制作在氧化物限制层5上,相比于所述现有VCSEL器件,省去了p-DBR部分。在上反射镜中无DBR,这使得器件的制作成本和难度降低,制作质量容易得到保证,器件的长期工作稳定性得到提高;所说的无DBR意味着在器件层结构中去除了4对光学厚度均为四分之一波长的高、低折射率半导体材料交替生长层,而增加的低折射率光栅层12并非位于电流注入通道上,因此,本发明之垂直腔面发射半导体激光器的阈值电流得以明显降低。

[0009] 本发明中的具有双层亚波长光栅反射镜只有三个膜层,膜层材料普遍易得,能够一次性刻蚀完成光栅的制作。

## 附图说明

[0010] 图1是现有上反射镜为DBR-HCG反射镜的VCSEL器件结构示意图。图2是现有上反射镜为DBR-HCG反射镜的VCSEL器件光栅结构放大示意图。图3是本发明之具有双层亚波长光栅反射镜的垂直腔面发射半导体激光器结构示意图,该图同时作为摘要附图。图4是本发明中的双层亚波长光栅的一个制作环节示意图。图5是本发明中的双层亚波长光栅结构放大示意图。图6是本发明中的具有双层亚波长光栅反射镜的反射率变化曲线图,反射中心波长

为 $2\mu\text{m}$ ,图中的曲线1是TM模反射率曲线,图中的曲线2是TE模反射率曲线。图7是本发明中的具有双层亚波长光栅反射镜的TM模反射率大于99%的放大变化曲线图。图8是本发明中的具有双层亚波长光栅反射镜的TM模反射率大于99.9%的放大变化曲线图。图9是本发明当去除低折射率光栅层后谐振腔上反射镜的TM模反射率大于99.9%的放大变化曲线图。

### 具体实施方式

[0011] 本发明之具有双层亚波长光栅反射镜的垂直腔面发射半导体激光器自下而上包括以下组成部分,n面电极1、衬底2、n-DBR反射镜3、有源增益区4、氧化物限制层5和高折射率导电基底7,如图3所示。所述n-DBR反射镜3由20对光学厚度均为四分之一波长的高、低折射率半导体材料交替生长层构成。所述氧化物限制层5是高铝铝镓砷导电层周边环形区域被氧化而形成的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 层。所述高折射率导电基底7材料为GaAs或者GaSb,如GaSb,对 $2\mu\text{m}$ 波长的折射率为3.90。在器件的上表面自外向里依次为p面电极8、低折射率亚层9,如图3所示。高折射率导电基底7位于氧化物限制层5上面。器件的一个制作步骤为:在高折射率导电基底7上依次生长低折射率亚层9、高折射率亚波长光栅层11和低折射率光栅层12,如图4所示。所述低折射率亚层9材料为 $\text{SiO}_2$ ,膜厚为 $0.32\mu\text{m}$ ,对 $2\mu\text{m}$ 波长的折射率为1.47;所述高折射率亚波长光栅层11材料为Si,膜厚为 $0.572\mu\text{m}$ ,对 $2\mu\text{m}$ 波长的折射率为3.48;所述低折射率光栅层12材料为 $\text{SiO}_2$ ,膜厚为 $0.13\mu\text{m}$ ,对 $2\mu\text{m}$ 波长的折射率为1.47。采用刻蚀技术将高折射率亚波长光栅层11和低折射率光栅层12的中间部分制作成双层亚波长光栅13,如图5所示,占空比为0.55,周期为 $0.86\mu\text{m}$ 。同时采用刻蚀技术将低折射率亚层9、高折射率亚波长光栅层11和低折射率光栅层12的周边部分去除,并在高折射率导电基底7周边部分上表面制作p面电极8,如图3所示。低折射率亚层9与双层亚波长光栅13构成一种HCG(高对比度亚波长光栅),作为垂直腔面发射半导体激光器谐振腔的上反射镜,是一种具有双层亚波长光栅反射镜。

[0012] 从图6所示的本发明中的具有双层亚波长光栅反射镜的反射率变化曲线图可知,该具有双层亚波长光栅反射镜在正入射情况下对TM模表现出很高的反射率以及较宽的宽带,同时在TM模高反射率带宽处TE模反射率峰值为77%,可见其对TM模的偏振性很强。

[0013] 从图7所示的本发明中的具有双层亚波长光栅反射镜的TM模反射率大于99%的放大变化曲线图可知,带宽覆盖从 $1.87\mu\text{m}$ 到 $2.17\mu\text{m}$ ,高反射带宽达到300nm。

[0014] 从图8所示的本发明中的具有双层亚波长光栅反射镜的TM模反射率大于99.9%的放大变化曲线图可知,反射率达到如此之高,其带宽依然有约200nm,即从 $1.906\mu\text{m}$ 到 $2.101\mu\text{m}$ 。

[0015] 可见,尽管VCSEL器件对反射镜有反射率大于99.5%、带宽大于100nm以及偏振性的苛刻要求,本发明均已满足。

[0016] 从图9所示的本发明当去除低折射率光栅层后谐振腔上反射镜的TM模反射率大于99.9%的放大变化曲线图可知,此时的光栅相当于现有技术中的HCG,由于又无DBR,这时的谐振腔上反射镜的带宽效果十分混乱。可见省去p-DBR部分与增设低折射率光栅层12这两个技术措施密切相关,共同成为本发明的核心技术特征。

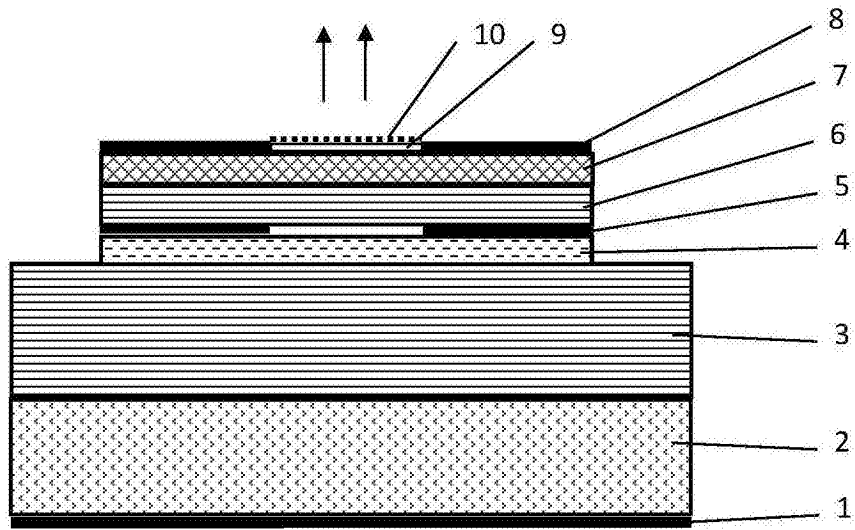


图1

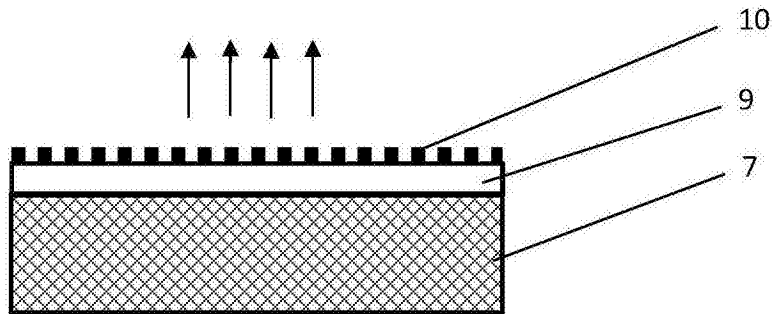


图2

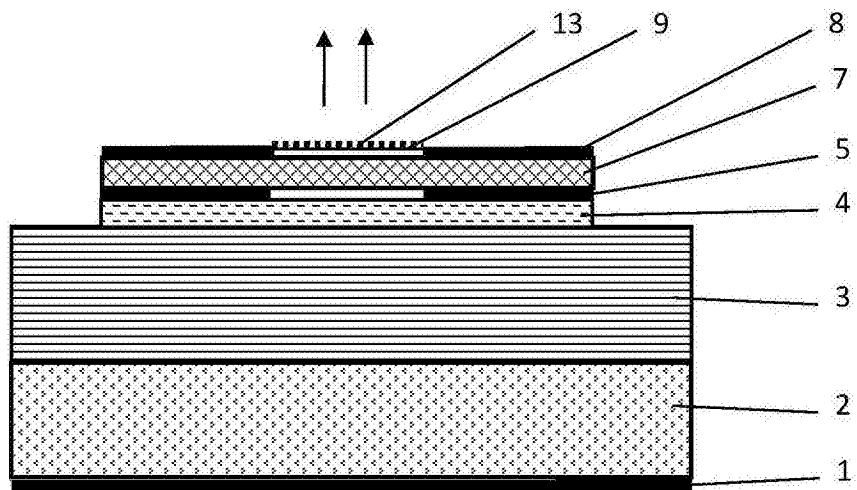


图3

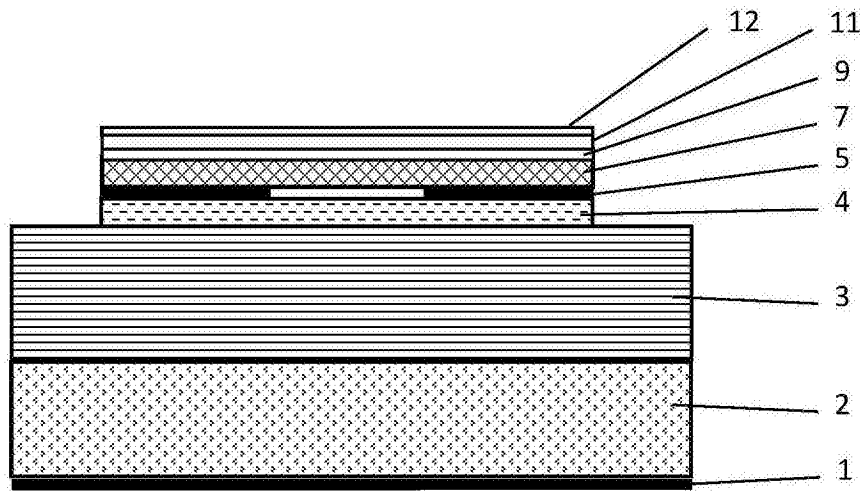


图4

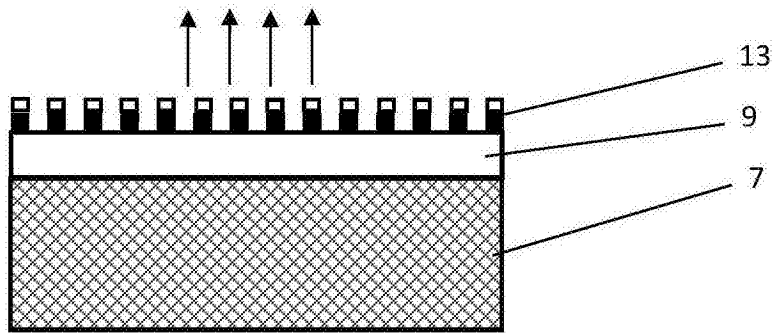


图5

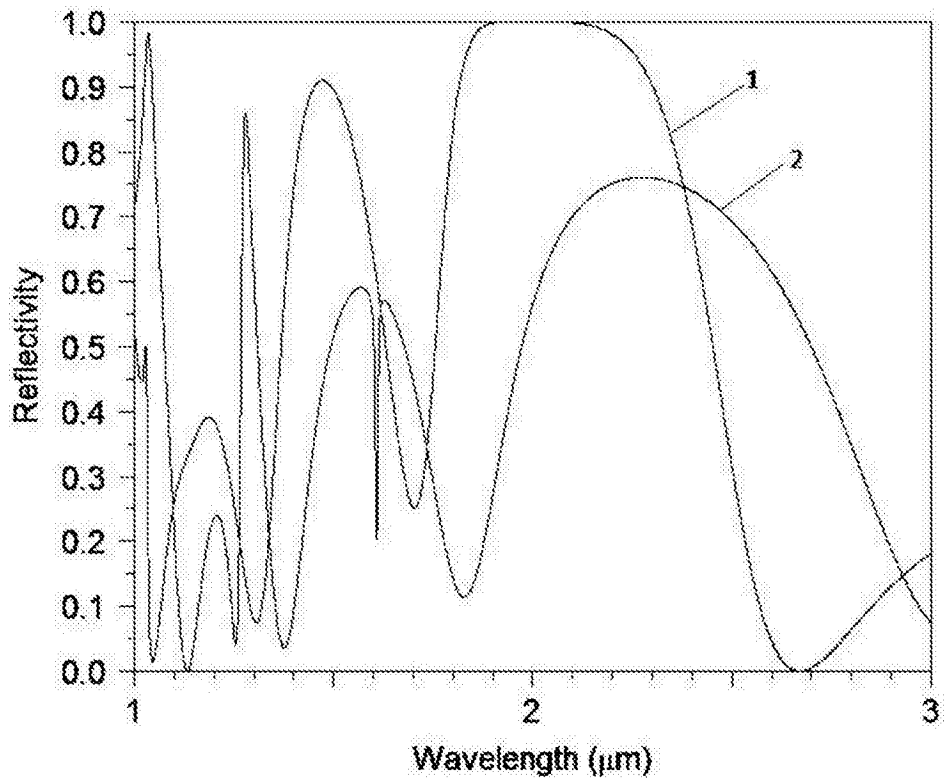


图6

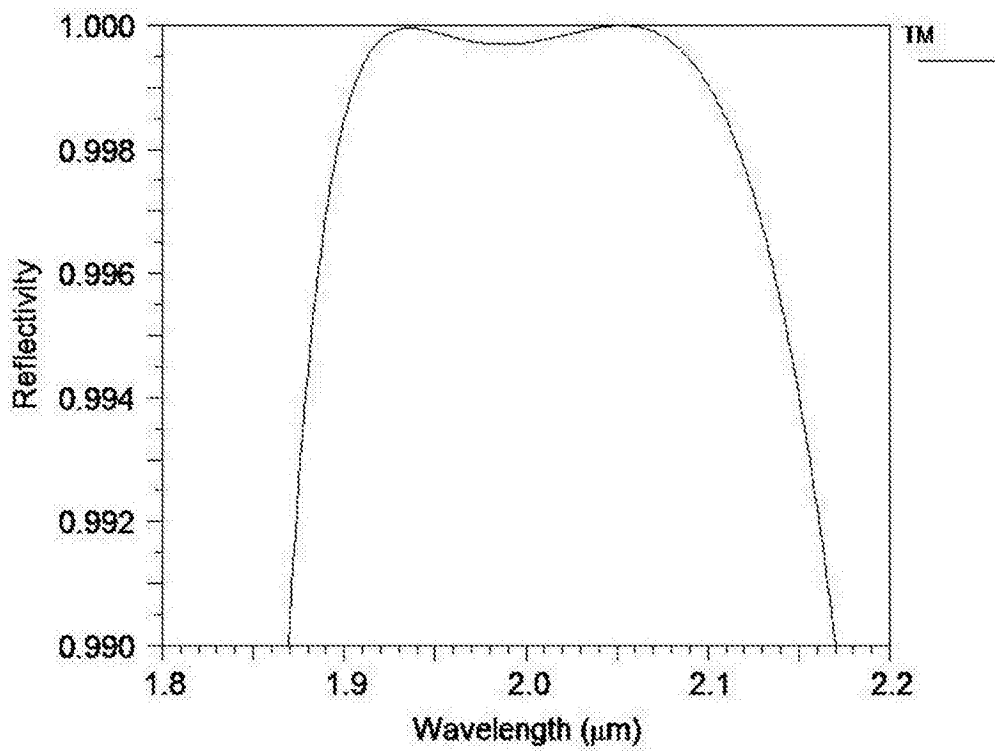


图7



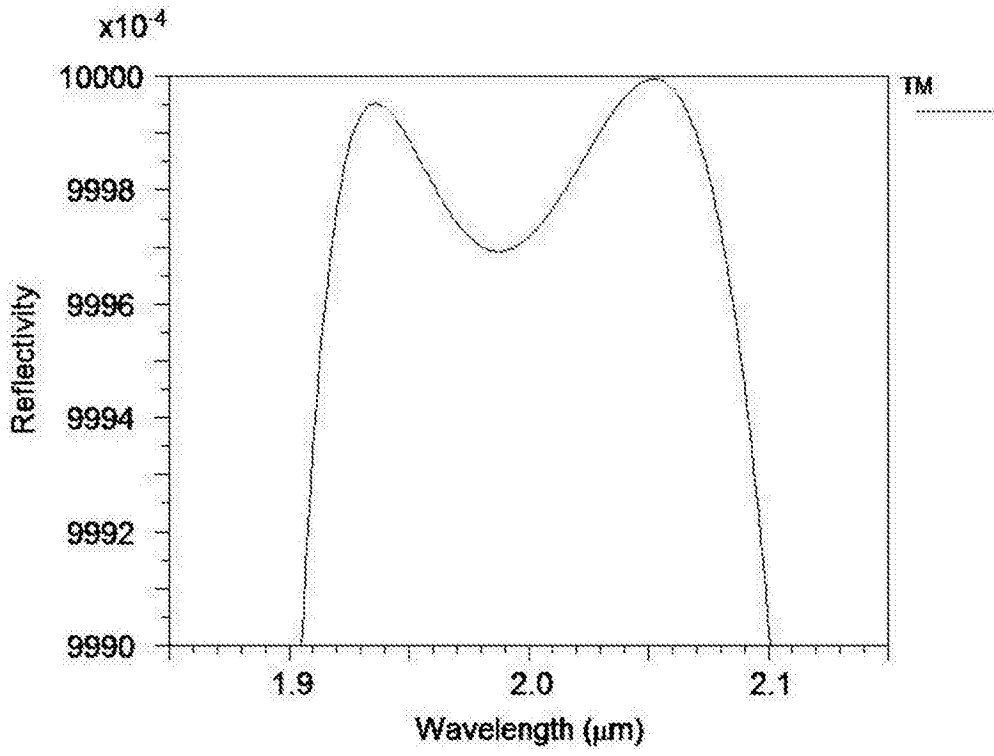


图8

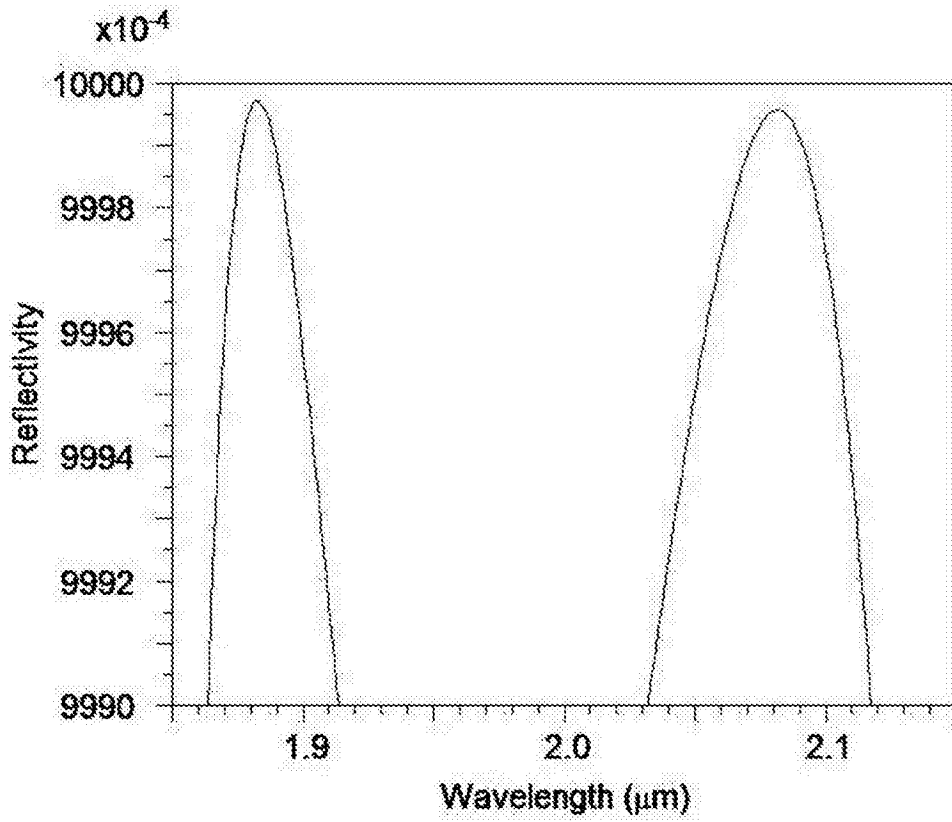


图9