



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114551489 A

(43) 申请公布日 2022. 05. 27

(21) 申请号 202210133188.1

(22) 申请日 2022.02.11

(71) 申请人 中国科学院上海技术物理研究所
地址 200083 上海市虹口区玉田路500号

(72) 发明人 王少伟 玄志一 刘清权 陆卫

(74) 专利代理机构 上海沪慧律师事务所 31311
专利代理师 郭英

(51) Int. Cl.
H01L 27/146 (2006.01)

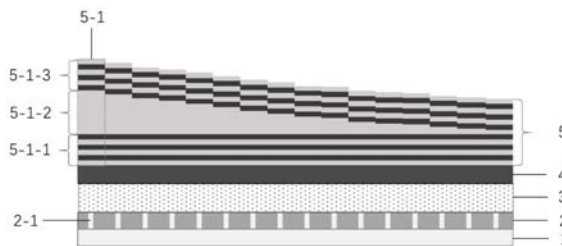
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

一种分光与探测一体化的短波红外光谱探测器

(57) 摘要

本发明公开了一种分光与探测一体化的短波红外光谱探测器,其结构自下而上由硅基读出电路、In柱互联层、InGaAs光敏芯片、衬底、集成微腔分光结构阵列组成。本发明中,集成微腔分光结构阵列是基于法布里珀罗(FP)光学微腔原理的多通道集成分光器件。每个分光结构与相应InGaAs光敏芯片像元一体化集成,使每个探测器像元同时具备选频分光和探测能力,构成分光与探测一体化的短波红外光谱探测器。该探测芯片构成了最小化的短波红外光谱探测组件,具有分光与探测一体,光谱通道可以灵活设计、自由组合,稳定性高、工艺兼容等优点。



1. 一种分光与探测一体化的短波红外光谱探测器,其特征在于,

所述的短波红外光谱探测器结构自下而上分别为:硅基读出电路(1),In柱互联层(2)、InGaAs光敏芯片(3)、衬底(4)、集成微腔分光结构阵列(5);

所述集成微腔分光结构阵列(5)和InGaAs光敏芯片(3)单片集成于衬底(4)的两侧,无需外部机械结构进行耦合;集成微腔分光结构阵列(5)的像元与InGaAs光敏芯片(3)的像元在空间纵向方向上对准,其对准关系是一一对应,或者是一个分光微结构单元覆盖多个焦平面探测器像元;集成微腔分光结构阵列(5)的每个像元都有不同的窄带透射光谱,对应形成InGaAs光敏芯片(3)的每个光谱探测通道。

2. 根据权利要求1所述的一种分光与探测一体化的短波红外光谱探测器,其特征在于,所述集成微腔分光结构阵列(5)的微腔分光结构单元(5-1)由微腔下层DBR(5-1-1)、腔层(5-1-2)、微腔上层DBR(5-1-3)组成,集成微腔分光结构阵列(5)的像元排布方式设计为一维排布,或者为二维排布,或者设计为超像元结构,即N个不同的微腔结构像元组合为一个超像元,再组合为一个超像元阵列,形成成像和光谱同时探测的多光谱成像探测器。

3. 根据权利要求2所述的一种分光与探测一体化的短波红外光谱探测器,其特征在于,所述微腔下层DBR(5-1-1)和微腔上层DBR(5-1-3)是由m对DBR组成,m的范围是2~30,通过设计DBR膜层数量和腔层厚度调节探测器的分光探测光谱。

一种分光与探测一体化的短波红外光谱探测器

技术领域

[0001] 本发明涉及红外探测器领域。具体涉及一种分光与探测一体化的短波红外光谱探测器。特别涉及一种基于集成光学微腔的分光结构阵列与InGaAs焦平面探测器单片集成的短波红外光谱探测。

背景技术

[0002] 光谱学在遥感、物质分析、医疗检测等各个领域发挥着无可替代作用,已经渗透到我们的生活生产的方方面面。在红外多光谱领域,分光元件使探测器具有光谱维度的探测能力。常用的色散型、干涉型分光器件如光栅、棱镜、迈克尔逊干涉仪等,通过机械装置与红外探测器组装成多光谱、高光谱探测器,需要通过机械扫描的方式来实现对目标不同波长信息的连续获取。这导致红外多光谱探测系统成本高昂且体积庞大,不适用于便携型应用场景。目前便携式高光谱探测系统所采用的分光器件多为拼接式滤光片阵列、数字式可调分光器,这种分光器件虽然实现了小型化,但依然与探测芯片分离式组装,在光谱探测时有诸多弊端,如入射光串扰、易引入杂散光、固定装置易老化等。

[0003] 目前,将微纳型分光器件与红外探测器芯片一体化制备是重要的研究方向。新型微纳分光方式如光子晶体、超材料、量子点、钙钛矿等受到了广泛的关注,基于微纳加工的F-P集成光学微腔也是其中之一。光子晶体、超材料滤波器在波长尺度上与光发生共振等,实现对自然光的分光,然而很难实现窄带光谱透射。其结构为基于单层膜的二维或一维周期性结构,且为亚波长结构,需要高精度的电子束光刻,工艺成本高、难度大。此外,量子点、钙钛矿滤波器基于不同材料组分、尺寸对不同波长光的吸收或反射,实现对自然光的分光,但其依然无法做到窄带透射。虽然其工艺成本较低,但材料的光学稳定性难以保障。而FP集成光学微腔集对不同波长在腔层干涉并透射,可以实现窄带透射。同时,FP型集成微腔基于半导体工艺制备,特征尺寸大于工作波长,工艺难度低、稳定性高。将像元尺寸的集成微腔分光结构直接集成在探测器焦平面上,可以在保持高的光谱数量同时,将光谱探测系统缩小到芯片级别,具有极高的稳定性和可靠性,对光谱探测技术的发展具有重要的意义。

发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明提出了一种分光与探测一体化的短波红外光谱探测器。通过镀膜和微纳加工工艺,将像元尺寸的集成微腔分光结构阵列与探测器光敏芯片集成制备,解决了传统机械组装方式的光串扰、不稳定等问题。同时相对比其他类型的集成光谱探测方案,集成微腔分光结构阵列可以做到低成本、高稳定性、窄带探测。所集成分光结构的光谱可自由灵活设计与选择,结合微纳加工工艺,可设计出几十上百个光谱通道,形成分光与探测一体化的短波红外光谱探测器。相较于传统多光谱红外探测器,这种探测器的集成化程度更高、工作模式更稳定,在军事、航天、民用领域都有极大的应用价值和发展前景。

[0005] 本发明提出的分光与探测一体化的短波红外光谱探测器,其基本结构示意图如图1所示,至下而上分别为:硅基读出电路1,In柱互联层2、InGaAs光敏芯片3、衬底4、集成微腔

分光结构阵列5,其特征在于:所述集成微腔分光结构阵列5和InGaAs光敏芯片3单片集成于衬底4的两侧,无需外部机械结构进行耦合。集成微腔分光结构阵列5的像元与InGaAs光敏芯片3的像元在空间纵向方向上对准。其对准关系可以是一一对应,也可以是一个分光微结构单元覆盖多个焦平面探测器像元。成像探测时,入射光先被集成微腔分光结构阵列5的不同分光微结构单元5-1选频分光,再被对应位置InGaAs光敏芯片3像元探测并转换为电信号,最终电信号被In柱互联层2输出给硅基读出电路1。

[0006] 所述的In柱互联层2作用为将InGaAs光敏芯片3每个像元的电信号通过In柱2-1传输给硅基读出电路1。

[0007] 所述的InGaAs光敏芯片3的厚度为2~200 μm ,用于将探测到的光信号转换为电信号;

[0008] 所述衬底4厚度为10~1000 μm ,材料为InP,用于外延生长InGaAs光敏芯片3和制备集成微腔分光结构阵列5。

[0009] 所述集成微腔分光结构阵列5的每个微腔分光结构单元5-1由微腔下层DBR5-1-1、腔层5-1-2、微腔上层DBR5-1-3组成。每个微腔分光结构单元5-1是基于法布里珀罗光学谐振腔原理设计,该种分光器件可根据需求定制。其物理原理是在一维光子晶体中引入缺陷态,根据引入缺陷态的不同,可调谐分光器件的透射光的中心波长。将N个不同透射中心波长的分光器件集成在同一基片上,在N个不同空间位置处分别透射N个通道的窄带红外光,达到集成分光的目的。

[0010] 所述的集成微腔分光结构阵列5的像元排布方式可以自由设计。可以是一维排布,也可以是二维排布。可以是集成微腔分光结构阵列5的N个微腔分光结构单元5-1覆盖整个InGaAs光敏芯片3,每个通道覆盖一个单元面积的感光像元;也可以将不同微腔分光结构单元5-1组合为超像元阵列,根据需要灵活设计成1*2、2*2、2*3、3*3等为一组的超像元,同时,N个超像元阵列覆盖整个InGaAs光敏芯片3,形成成像和光谱同时探测的多光谱成像探测器。

[0011] 所述微腔下层DBR5-1-1和微腔上层DBR5-1-3由高、低折射率材料交替生长的介质层组成,腔层5-1-2为低折射率材料介质层。其材料包括但不限于:Si、Ge、Ta₂O₅、TiO₂、Nb₂O₅、Bi₂O₃、CdS、CdTe、CeO₂、CdSe、Gr₂O₃、金刚石、Dy₂O₃、Fe₂O₃、GaAs、HfO₂、Ho₂O₃、InAs、InSb、In₂O₃、PbTe、PbCl₂、PbF₂、Se、Sb₂O₃、Sb₂S₃、SnO₂、Si₃N₄、Te、ZnO、ZnSe、SiO、ZnS、SiO₂、Al₂O₃、AlO_xN_y、AlF₃、BiF₃、BaF₂、CaF₂、CeF₃、CsBr、CsI、Eu₂O₃、Gd₂O₃、LiF、LaF₃、La₂O₃、MgF₂、MgO、NaF、Na₃Al₃F₆、Nd₂O₃、NdF₃、Pr₆O₁₁、Sc₂O₃、SrF₂、SmF₃、Sm₂O₃、ThF₄、YbF₃、Y₂O₃、ZrO₂。

[0012] 所述微腔下层DBR5-1-1、微腔上层DBR5-1-3是由m对DBR组成,膜层对数m的范围是2~30。

[0013] 所述腔层5-1-2的厚度是0.1~10 μm 。

[0014] 所述的集成微腔分光结构阵列5的每个像元都有不同的窄带透射光谱,对应形成InGaAs光敏芯片3的每个光谱探测通道。

[0015] 本发明的优点是:

[0016] 1.将集成微腔分光结构阵列直接单片集成制备在焦平面探测器的衬底上,不改变传统红外探测器的结构,不增加传统红外探测器的体积,就能使其具备光谱识别能力,无需结构复杂、体积庞大的传统分光系统,极大地缩小了光谱探测系统的体积。

[0017] 2. 本发明所使用的集成微腔分光结构阵列各单元的光谱波段位置、窄带半峰宽度可以灵活调节和设计,且制备工艺简单。

[0018] 3. 光谱分辨率高,通过设计单片集成微腔分光结构的膜层,其光谱分辨率可达1nm甚至更高。

[0019] 4. 集成微腔分光结构阵列与InGaAs焦平面探测器像元对准关系多样化。根据不同的应用需求,可以设计为一一对应,或一个分光像元对应多个探测器像元;可以是线阵,也可以是面阵。

附图说明

[0020] 图1为分光与探测一体化的短波红外光谱探测器基本结构示意图;

[0021] 图2为分光与探测一体化的短波红外光谱探测器的具体制备步骤示意图;

[0022] 图3为一维线阵16通道线阵短波红外光谱探测器俯视结构图;

[0023] 图4为一维线阵16通道线阵短波红外光谱探测器响应光谱图;

[0024] 图5为凝视成像型四通道短波红外光谱探测器截面结构意图;

[0025] 图6为凝视成像型四通道短波红外光谱探测器俯视结构图;

[0026] 图7为凝视成像型四通道短波红外光谱探测器响应光谱图;

[0027] 图8为9通道面阵短波红外多光谱探测器截面结构意图;

[0028] 图9为9通道面阵短波红外多光谱探测器俯视结构图;

[0029] 图10为9通道面阵短波红外多光谱探测器响应光谱图;

[0030] 其中:

[0031] 1——硅基读出电路

[0032] 2——In柱互联层

[0033] 2-1——In柱

[0034] 3——InGaAs光敏芯片

[0035] 4——衬底

[0036] 5——集成微腔分光结构阵列

[0037] 5-1——微腔分光结构单元

[0038] 5-1-1——微腔上层DBR

[0039] 5-1-2——腔层

[0040] 5-1-3——微腔下层DBR

具体实施方式

[0041] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图和实施例,对本发明的技术方案进行清楚地描述。本发明提出一种分光与探测一体化的短波红外光谱探测器,其基本结构如附图1所示。集成微腔分光结构阵列5通过电子束蒸发镀膜、磁控溅射镀膜、光刻、刻蚀等工艺制作完成。

[0042] 实施例一

[0043] 本实施例以一维线阵16通道线阵短波红外光谱探测器为例:将1380-1666nm波段内16光谱通道的线阵集成微腔分光结构阵列制备在InGaAs焦平面探测器上,展示线阵集成

微腔分光结构阵列与InGaAs焦平面探测器单片集成的制备方法。分光器件采用高折射率材料Si、低折射率材料SiO₂,两种材料交替生长组成FP微腔的上下DBR,中间腔层材料为SiO₂。焦平面探测器单个像元尺寸为30*30μm,线阵分光器件的每个像元尺寸为120*1920μm。

[0044] 微腔分光结构的上下DBR对数m为3,即上层DBR膜系结构为(LH)³,下层DBR膜系结构为(HL)³,腔层为xL。其中H为高折射率材料Si,厚度为144nm;L为低折射率材料SiO₂,厚度为286nm;x为膜层厚度系数。使用组合刻蚀改变x的数值,集成微腔分光结构阵列的透过峰位可随x线性调节,16个通道的光谱峰位分别为1402nm、1420nm、1437nm、1454nm、1472nm、1490nm、1507nm、1525nm、1543nm、1560nm、1578nm、1595nm、1613nm、1631nm、1648nm、1666nm。

[0045] 分光与探测一体化的短波红外光谱探测器的具体制备步骤如图2所示,具体工艺过程为:

[0046] 1.采用硅基读出电路1倒装互联的InGaAs光敏芯片3,在衬底4背面单片集成分光器件阵列5。

[0047] 2.使用电子束热蒸发镀膜工艺镀制分光器件阵列的微腔下层DBR膜系5-1-1,并镀制中间腔层5-1-2。

[0048] 3.使用灰度光刻、反应离子刻蚀工艺对中间腔层5-1-2进行微纳加工。

[0049] 4.使用电子束热蒸发镀膜工艺镀制微腔上层DBR膜系5-1-3。

[0050] 将16通道线阵短波红外光谱探测器制备完成后,其切面结构如示意图1所示,其俯视图结构如图3所示。每个微腔分光结构单元5-1像元对应InGaAs光敏芯片3上的一行光敏像元。本实施例的多光谱探测器的响应光谱如图4所示,16个窄带光谱具有较好的分离度,且峰位半峰宽均小于20nm。将制备好的多光谱探测器与成像系统结合后,可以对目标物体和场景进行16个光谱通道的多光谱成像。

[0051] 实施例二

[0052] 本实施例以分光与探测一体化的凝视成像型四通道短波红外光谱探测器为例:在1000-1500nm波段内,将4个不同透射光谱的微腔分光结构单元5-1组成的超像元,面阵集成为分光器件阵列,制备4通道超像元的短波红外成像光谱探测器。集成微腔分光结构阵列5采用高折射率材料TiO₂、低折射率材料SiO₂,两种材料交替生长组微腔上下DBR,中间腔层材料为SiO₂。焦平面探测器单个像元尺寸为20*20μm,线阵分光器件的每个像元尺寸为80*80μm。DBR的对数m为2,即微腔上层DBR结构为(LH)²,微腔下层DBR膜系结构为(HL)²,微腔的中间腔层为xL。每层高折射率材料TiO₂的厚度为80nm;每层低折射率材料SiO₂的厚度为188nm;x为膜层数。使用组合刻蚀改变x的数值,分光器件阵列的透过峰位可随x线性调节,四个通道的光谱峰位分别为1100nm、1200nm、1300nm、1400nm。该凝视成像型四通道短波红外光谱探测器的工艺过程与实施例一类似。该探测器截面结构如示意图5所示,其俯视图结构如图6所示。本实施例的4通道光谱探测器的响应光谱如图7所示。将制备好的多光谱探测器与成像系统结合后,可以对目标物体和场景进行4个光谱通道的成像探测,在凝视成像的同时获取图像光谱信息。

[0053] 实施例三

[0054] 本实施例以分光与探测一体化的9通道面阵短波红外多光谱探测器为例:在1000-1700nm波段内,将9个不同透射光谱的微腔分光结构单元5-1组成的超像元,面阵集成为分光器件阵列,制备9通道的短波红外多光谱探测器。集成微腔分光结构阵列5采用高折射率

材料Si、低折射率材料SiO₂,两种材料交替生长组成微腔上下DBR,中间腔层材料为SiO₂。焦平面探测器单个像元尺寸为10*10μm,面阵分光器件的每个像元尺寸为60*60μm。DBR的对数m为30,即微腔上层DBR结构为(LH)¹²,微腔下层DBR膜系结构为(HL)¹²,微腔的中间腔层为xL。每层高折射率材料Si的厚度为120nm;每层低折射率材料SiO₂的厚度为240nm;x为膜层数。使用组合刻蚀改变x的数值,分光器件阵列的透过峰位可随x线性调节,9个通道的光谱峰位分别为1200nm、1250nm、1300nm、1350nm、1400nm、1450nm、1500nm、1550nm、1600nm。该9通道面阵短波红外多光谱探测器的工艺过程与实施例一类似。该探测器截面结构如示意图8所示,其俯视结构如图9所示。本实施例的9通道响应光谱如图10所示。30对DBR使得每个光谱通道的带宽小于1nm,可应用于高灵敏度的极窄带多光谱探测。

[0055] 显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

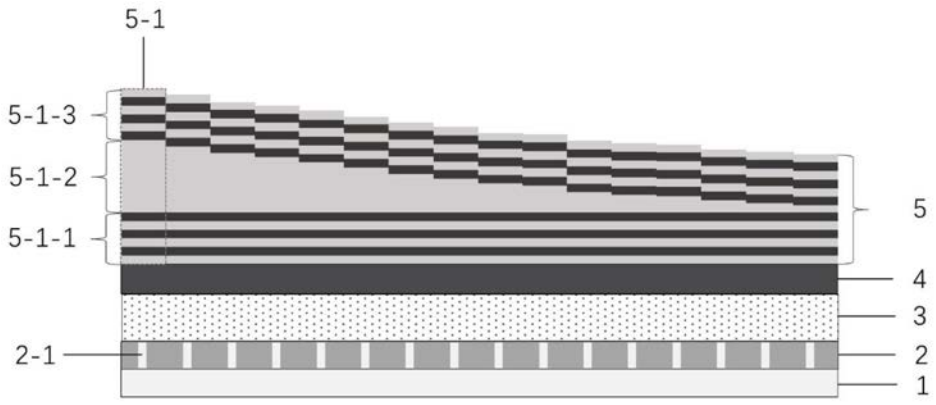


图1

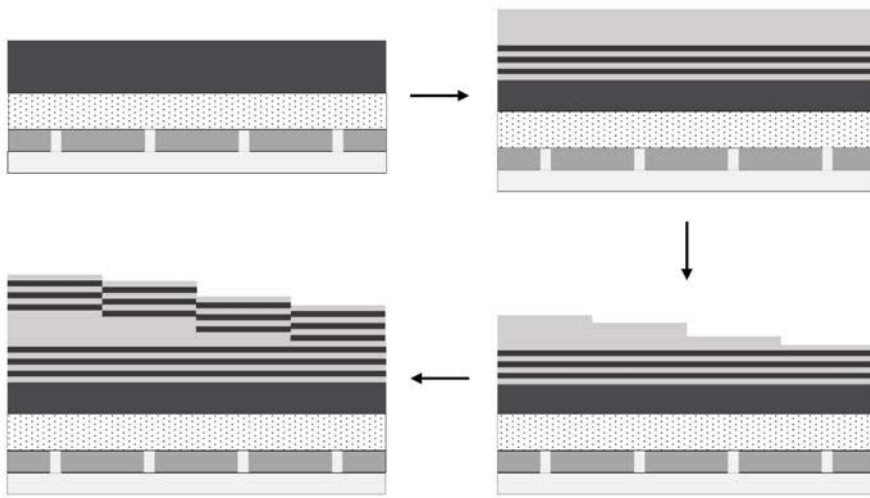


图2

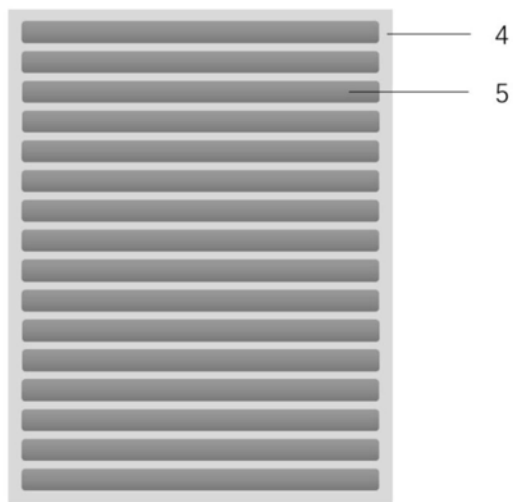


图3

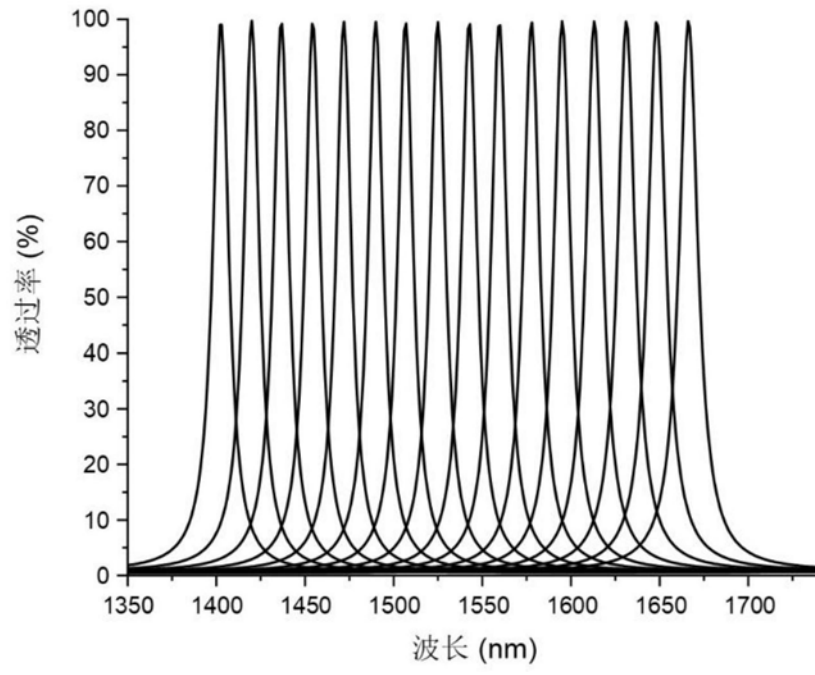


图4

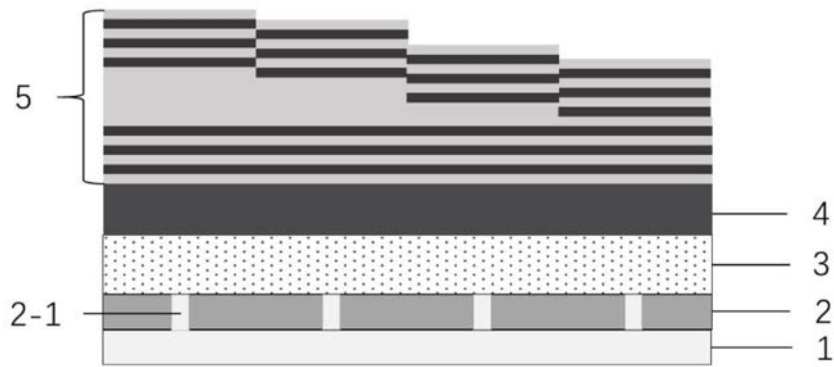


图5

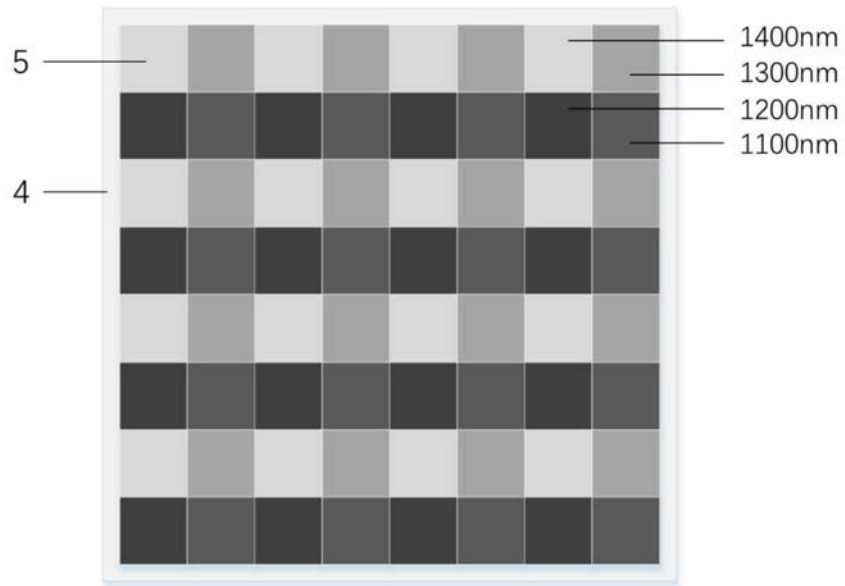


图6

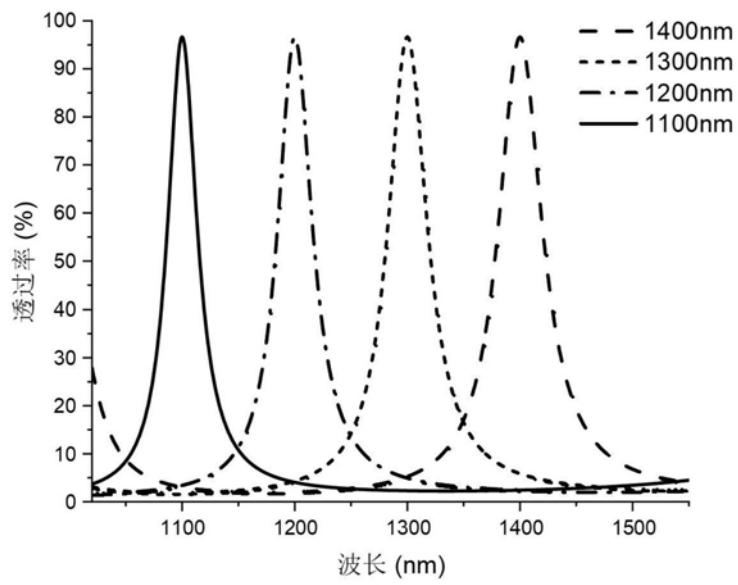


图7

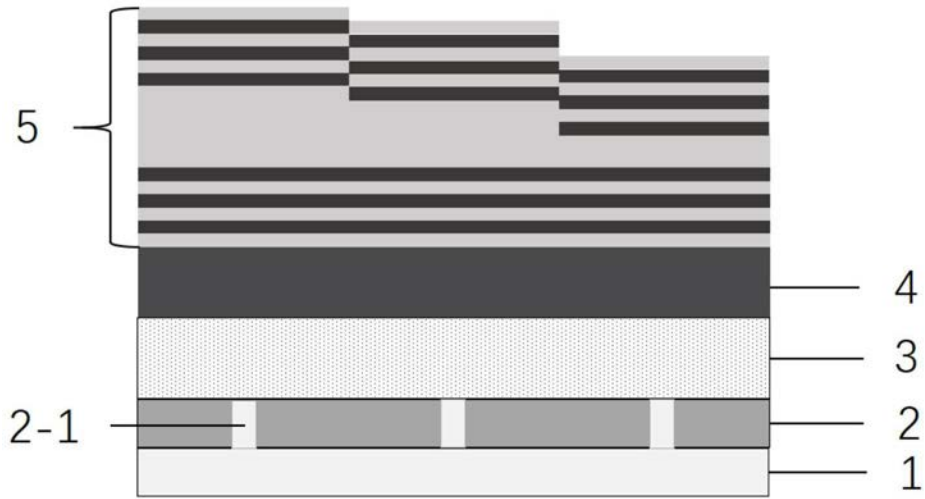


图8

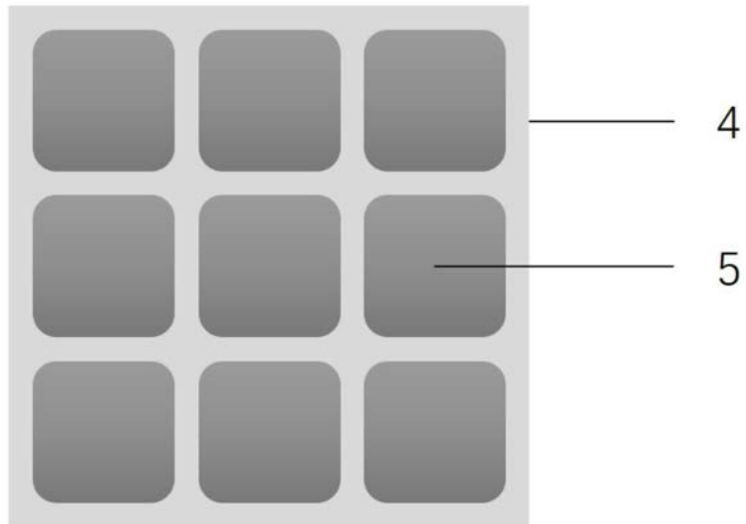


图9

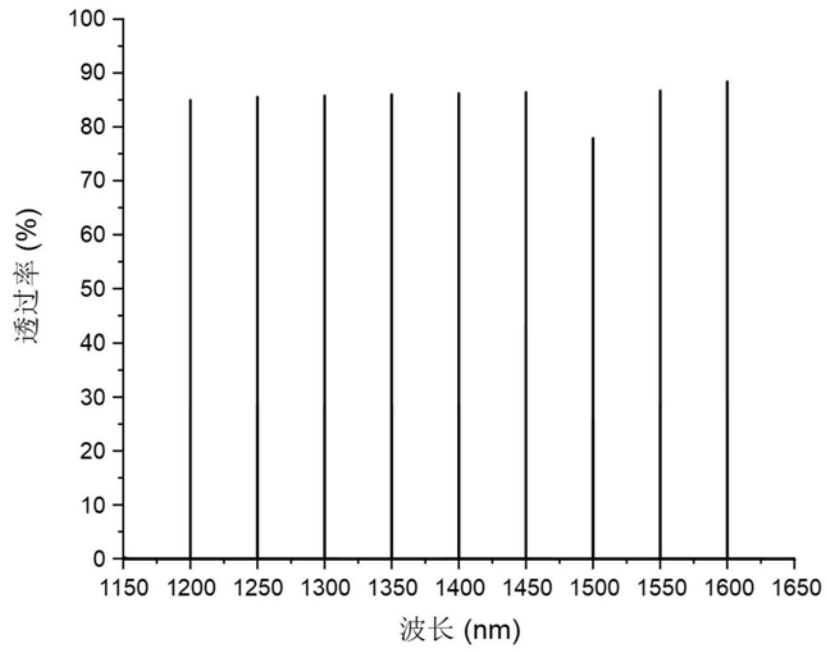


图10