



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 118040460 B

(45) 授权公告日 2024.09.13

(21) 申请号 202410101887.7

(22) 申请日 2024.01.25

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 118040460 A

(43) 申请公布日 2024.05.14

(73) 专利权人 哈尔滨工程大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南  
通大街145号

(72) 发明人 王文鑫 毕成浩 黄雪璇 郭驰宇

(74) 专利代理机构 哈尔滨奥博专利代理事务所

(普通合伙) 23220

专利代理师 马秋云

(51) Int. Cl.

H01S 5/026 (2006.01)

H01S 5/02345 (2021.01)

(56) 对比文件

CN 114530753 A, 2022.05.24

CN 115021067 A, 2022.09.06

审查员 叶志浩

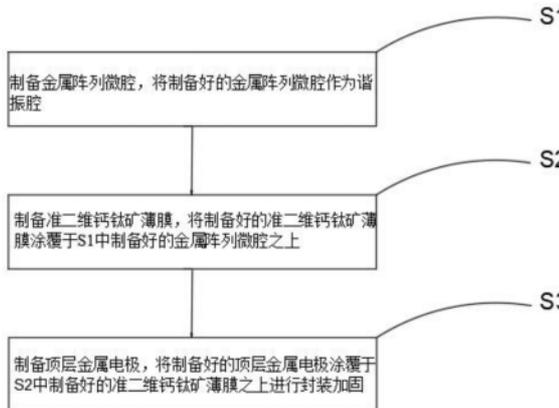
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法,属于激光与纳米技术领域。首先制备金属阵列微腔,将制备好的金属阵列微腔作为谐振腔。接着制备准二维钙钛矿薄膜,将制备好的准二维钙钛矿薄膜涂覆于制备好的金属阵列微腔之上。之后制备顶层金属电极,将制备好的顶层金属电极涂覆于制备好的准二维钙钛矿薄膜之上进行封装加固。本发明以简单经济的方法实现了全波段、高功率、窄带宽、强相干的纳米激光器。本发明工艺简单、成本低廉、批次性好且能够实现按需定制,对实现片上集成与光计算等新兴光学领域的发展并推动实现其应用具有重要意义。



1. 一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法,其特征在于:所述一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法是通过以下步骤实现的:

S1:制备金属阵列微腔,将制备好的金属阵列微腔作为谐振腔,所述金属阵列微腔的材质为金、银、铝、铜、锡中的一种,所述制备金属阵列微腔的步骤包括:

S1.1:将金属薄片裁剪成圆形基底,对金属基底经过液压机压平后,先后使用无水乙醇与超纯水进行超声清洗,重复清洗直至表面无油膜无杂质,

S1.2:将S1.1得到的洗净后的金属基底取出吹干,在配制好的酸性抛光液中进行冰水浴抛光,

S1.3:对S1.2得到的抛光好的金属基底使用无水乙醇冲洗表面残留的酸性溶液,吹干后借助具有初始结构的高硬度金属膜于液压机中进行转移压印,将初始结构转印至金属基底上,

S1.4:将S1.3中压印好的金属基底置于氧化液中进行氧化,获得金属阵列微腔及其氧化物基底,所述氧化液为碳酸、柠檬酸、氢氟酸、草酸、亚硫酸、磷酸中的一种,所述氧化的电压为2~15 V/片,电流为0.2~53A/片,时间为0~16 h,

S1.5:将S1.4氧化好的金属基底取出,使用无水乙醇洗净,浸泡于弱酸中去除残留氧化层,获得金属阵列微腔;

S2:制备准二维钙钛矿薄膜,将制备好的准二维钙钛矿薄膜涂覆于S1中制备好的金属阵列微腔之上;

S3:制备顶层金属电极,将制备好的顶层金属电极悬浊液涂覆于S2中制备好的准二维钙钛矿薄膜之上进行封装加固。

2. 根据权利要求1所述的一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法,其特征在于:所述S2中制备准二维钙钛矿薄膜的步骤包括:

S2.1:配制前驱体反应溶液:将大分子有机物、一价金属卤化物、二价金属卤化物溶解于极性有机溶剂中,经过搅拌后过滤备用,得到前驱体反应溶液;

S2.2:将S2.1得到的前驱体反应溶液于隔绝水氧环境中,滴加至所述金属阵列微腔正中心,随后旋涂;

S2.3:将S2.2旋涂好的准二维钙钛矿薄膜进行退火。

3. 根据权利要求2所述的一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法,其特征在于:所述S2.1中大分子有机物为萘甲胺、苯乙胺、正丁胺、苯基丁氨、三乙胺中的一种。

4. 根据权利要求2所述的一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法,其特征在于:所述S2.1中一价金属卤化物表示为 $A'X$ ,其中, $A'$ 为钾、铯、铷中的一种, $X$ 为卤族元素Cl、Br、I中的一种或多种混合。

5. 根据权利要求2所述的一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法,其特征在于:所述S2.1中二价金属卤化物表示为 $B_2X$ ,浓度为0.01-1.2mol/L,其中, $B$ 为铅、锡、锆中的一种, $X$ 为卤族元素Cl、Br、I中的一种或多种混合。

6. 根据权利要求2所述的一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法,其特征在于:所述S2.1中极性有机溶剂为二甲基亚砷、N-N二甲基甲酰胺、 $\gamma$ -羟基丁酸内酯、N-甲基吡咯烷酮、乙二醇甲醚中的一种。

7. 根据权利要求1所述的一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法, 其特征在于: 顶层电极为铟锡氧化物涂层。

8. 根据权利要求7所述的一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法, 其特征在于: 所述顶层电极的制备步骤包括:

S3.1: 将铟锡氧化物粉末溶解于间二甲苯中形成悬浊液;

S3.2: 将S3.1得到的悬浊液旋涂于所述准二维钙钛矿薄膜之上;

S3.3: 将S3.2旋涂好的顶层电极进行退火。

## 一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种纳米激光器的制备方法,具体涉及一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法,属于激光与纳米技术领域。

### 背景技术

[0002] 现代科技中,激光以其高亮度、高准直性、高单色性与高相干性在显示、测量、加工、通信、国防等领域大显身手。激光是在自发辐射的基础上,即原子中的电子吸收能量后从低能级跃迁到高能级后,在电子回到低能级时将能量以光子的形式进行释放这一过程,添加泵浦源将原子进行激发,并选用具有光放大能力的材料作为增益介质,随后借助合适的腔进行模式选择,针对输出的光子进行调控,使其具有高度一致的光学特性。基于此,激光器的核心三要素分别为谐振腔、泵浦源以及增益介质。现阶段,仪器小型化、集成化趋势明显,但激光光源的小型化进展并不理想:目前市面上最小的激光器仍为宏观量级,相对于片上集成等应用领域来讲依旧体积巨大,基于此,能够突破衍射极限实现亚波长量级的激光发射便成为了众望所归,科研人员不约而同地将目光投向了微纳激光器,其中等离激元激光器借助金属表面的自由电子集体震荡产生的电磁波对光场进行限制,能够实现亚波长束缚并能产生极大的场增强,突破了衍射极限。但由于其作用原理中涉及金属介质的损耗较大,较难实现低阈值、高功率的激光发射,且目前激光出射能力有限,无法脱离实验室阶段,目前无法实现量产,投入应用。钙钛矿材料作为良好的增益材料,具有高量子产率、带隙灵活可调、高载流子迁移率的优点,但其作为激光增益介质时易产生能量积聚并发生击穿,且在连续光泵浦下会发生激射突然终止的情况,即“激光死亡”现象。

[0003] 因此,现有技术下的激光器体积较大,无法兼顾高功率与小型化需求,与现有科学仪器小型化以及片上集成、量子通信等应用需求相悖;同时,现有的小型激光二极管虽相比于激光器具有体积小、造价低的优点,但其发出的光束准直性差、相干度低、功率小、亮度低,并不能很好地满足应用需求。

### 发明内容

[0004] 本发明为解决突破衍射极限,实现微纳激光发射,制造亚波长量级的激光器的问题,使用具有高量子产率、带隙灵活可调、高载流子迁移率的钙钛矿材料作为增益介质,并结合微纳阵列微腔对光场进行局域作用,通过电注入的方式实现高功率、窄带宽、高相干且高准直的电注入亚波长量级的钙钛矿纳米激光的发射。进而提出一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法。

[0005] 本发明为解决上述问题采取的技术方案是:

[0006] 一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法,所述一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法是通过以下步骤实现的:

[0007] S1:制备金属阵列微腔,将制备好的金属阵列微腔作为谐振腔;

[0008] S2:制备准二维钙钛矿薄膜,将制备好的准二维钙钛矿薄膜涂覆于S1中制备好的

金属阵列微腔之上；

[0009] S3:制备顶层金属电极,将制备好的顶层金属电极涂覆于S2中制备好的准二维钙钛矿薄膜之上进行封装加固。

[0010] 进一步的,所述S1中的制备金属阵列微腔的步骤包括:

[0011] S1.1:将金属薄片裁剪成圆形基底,对金属基底经过液压机压平后,先后使用无水乙醇与超纯水进行超声清洗,重复清洗直至表面无油膜无杂质;

[0012] S1.2:将S1.1得到的洗净后的金属基底取出吹干,在配置好的酸性抛光液中进行冰水浴抛光;

[0013] S1.3:对S1.2得到的抛光好的金属基底使用无水乙醇冲洗表面残留的酸性溶液,吹干后借助具有初始结构的高硬度金属膜于液压机中进行转移压印,将初始结构转印至金属基底上;

[0014] S1.4:将S1.3中压印好的金属基底置于氧化液中进行氧化,获得金属阵列微腔及其氧化物基底;

[0015] S1.5:将S1.4氧化好的金属基底取出,使用无水乙醇洗净,浸泡于弱酸中去除残留氧化层,获得金属阵列微腔。

[0016] 进一步的,所述金属阵列微腔的材质为金、银、铝、铜、锡中的一种。

[0017] 进一步的,S1.1中所述的金属薄片的厚度为0.1~4mm。

[0018] 进一步的,S1.1中所述的圆形基底的直径为8~50mm。

[0019] 进一步的,S1.2中所述的酸性抛光液为盐酸、硝酸、高氯酸中的一种。

[0020] 进一步的,S1.2中所述的冰水浴抛光的电压为6~30V/片,电流为0.2~5A/片,时间为0.5~5min。

[0021] 进一步的,S1.4中所述的氧化液为碳酸、柠檬酸、氢氟酸、草酸、亚硫酸、磷酸中的一种。

[0022] 进一步的,S1.4中所述氧化的电压为2~15V/片,电流为0.2~53A/片,时间为0~16h。

[0023] 进一步的,S1.5中所述弱酸为铬酸、磷酸、草酸中的一种。

[0024] 进一步的,S1.5中所述浸泡的时间为2~24h。

[0025] 进一步的,所述S2中制备准二维钙钛矿薄膜的步骤包括:

[0026] S2.1:配制前驱体反应溶液:将大分子有机物、一价金属卤化物、二价金属卤化物溶解于极性有机溶剂中,经过搅拌后过滤备用,得到前驱体反应溶液;

[0027] S2.2:将S2.1得到的前驱体反应溶液于隔绝水氧环境中,滴加至所述金属阵列微腔正中心,随后旋涂;

[0028] S2.3:将S2.2旋涂好的准二维钙钛矿薄膜进行退火。

[0029] 进一步的,所述S2.1中大分子有机物为蔡甲胺、苯乙胺、正丁胺、苯基丁氨、三乙胺中的一种。

[0030] 进一步的,所述S2.1中一价金属卤化物表示为A'X,其中,A'为钾、铯、铷、铅、锡、锗、甲胺、甲脒中的一种,X为卤族元素Cl、Br、I中的一种或多种混合。

[0031] 进一步的,所述S2.1中二价金属卤化物表示为B<sub>2</sub>X,浓度为0.01-1.2mol/L,其中,B为钾、铯、铷、铅、锡、锗中的一种,X为卤族元素Cl、Br、I中的一种或多种混合。

[0032] 进一步的,所述S2.1中极性有机溶剂为二甲基亚砷、N-N二甲基甲酰胺、 $\gamma$ -羟基丁酸内酯、N-甲基吡咯烷酮、乙二醇甲醚中的一种。

[0033] 进一步的,S2.1中所述的搅拌方式为磁力搅拌器搅拌,搅拌温度为25~120°C,磁力搅拌器的转速为500~4000rpm,搅拌时间为2~18h;

[0034] 进一步的,S2.1中所述的过滤的方式为尼龙NY膜一次性油系滤器过滤。

[0035] 进一步的,S2.2中所述旋涂的转速为2000~8000r/min。

[0036] 进一步的,S2.3中所述的退火温度为60~150°C,时间为10~120s。

[0037] 进一步的,顶层电极为铟锡氧化物涂层。

[0038] 进一步的,所述顶层电极的制备步骤包括:

[0039] S3.1:将铟锡氧化物粉末溶解于间二甲苯中形成悬浊液;

[0040] S3.2:将S3.1得到的悬浮液旋涂于所述准二维钙钛矿薄膜之上;

[0041] S3.3:将S3.2旋涂好的顶层电极进行退火。

[0042] 进一步的,S3.1中所述悬浊液的质量浓度为0.2~20mg/mL。

[0043] 进一步的,S3.2中所述旋涂的转速为2000~6000r/min。

[0044] 进一步的,S3.3中所述的退火温度为80~150°C,时间为20~80s。

[0045] 本发明的有益效果是:

[0046] 1、本发明基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法将具有高量子产率、带隙灵活可调、高载流子迁移率的钙钛矿材料准二维钙钛矿薄膜作为纳米激光的增益材料,结合了纳米阵列微腔,改变了载流子注入的分布模式,利用阵列微腔产生的等离极化激元及其局域作用建立全新的反馈机制,突破“激光死亡”,解决了钙钛矿材料一般情况下作为激光增益介质时易击穿、输出功率低的问题。

[0047] 2、本发明基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法将金属阵列微腔上复合准二维钙钛矿薄膜再覆盖透明电极进行封装,结合了准二维钙钛矿薄膜量子产率高、发光全波段可调、载流子迁移率高以及纳米阵列微腔能够突破衍射极限实现激光发射且能够优化载流子注入分布的优点,以简单经济的方法实现了全波段、高功率、窄带宽、强相干的纳米激光器。

[0048] 3、本发明与传统激光器相比,其成功突破衍射极限,实现了亚波长量级的激光发射,工艺简单、成本低廉、批次性好且能够实现按需定制,该方法有助于实现片上集成与光计算等新兴光学领域的发展与应用。

## 附图说明

[0049] 图1是本发明的流程示意图。

[0050] 图2是本发明的金属阵列微腔的结构示意图。

[0051] 图3是本发明制备的钙钛矿微纳激光器的结构示意图。

[0052] 图4是本发明制备的钙钛矿纳米激光器的电致激发光谱。

[0053] 图5是本发明制备的钙钛矿纳米激光器的泵浦功率密度与激光强度、激光半峰宽示意图。

[0054] 图中:1、金属阵列微腔;2、准二维钙钛矿薄膜;3、顶层金属电极;wavelength、波长;intensity、激光强度;pump density、泵浦功率密度;FWHM、激光半峰宽。

## 具体实施方式

[0055] 下面,结合附图对本发明做出进一步的描述:

[0056] 具体实施方式一:结合图1-5说明本实施方式,如图1-3所示,本实施方式所述一种基于金属阵列微腔的钙钛矿纳米激光器的制备方法,所述方法通过以下步骤实现:

[0057] S1:制备金属阵列微腔1,将制备好的金属阵列微腔1作为谐振腔。所述金属阵列微腔1的材质为金(Au)、银(Ag)、铝(Al)、铜(Cu)、锡(Sn)中的一种加工制成的纳米阵列或阵列微腔,该金属阵列微腔1由氧化法制备而成,制备金属阵列微腔1的步骤包括:

[0058] S1.1:将金属薄片裁剪成圆形基底,对金属基底经过液压机压平后,先后使用无水乙醇与超纯水进行超声清洗,重复清洗直至表面无油膜无杂质。优选所述金属薄片的厚度为0.1~4mm,便于基底的制备,所述的圆形基底的直径为8~50mm,便于金属阵列微腔1的生成。

[0059] S1.2:将S1.1得到的洗净后的金属基底取出吹干,在配置好的酸性抛光液(盐酸、硝酸、高氯酸)中进行冰水浴抛光。所述的冰水浴抛光的电压为6~30V/片,电流为0.2~5A/片,时间为0.5~5min,用以去除表面氧化物薄膜、细小划痕及其他杂质。

[0060] S1.3:对S1.2得到的抛光好的金属基底使用无水乙醇冲洗表面残留的酸性溶液,吹干后借助具有初始结构的高硬度金属膜于液压机中进行转移压印,将初始结构转印至金属基底上。

[0061] S1.4:将S1.3中压印好的金属基底置于氧化液(碳酸、柠檬酸、氢氟酸、草酸、亚硫酸、磷酸)中进行氧化,所述氧化的电压为2~15V/片,电流为0.2~53A/片,时间为0~16h,用以获得厚度约5~3000nm,阵列周期为100~1000nm的金属阵列微腔1及其氧化物基底。

[0062] S1.5:将S1.4氧化好的金属基底取出,使用无水乙醇洗净,浸泡于弱酸(铬酸、磷酸、草酸)中去除残留氧化层,所述浸泡的时间为2~24h,去除残留氧化层,即可于基底上获得阵列微腔,其结构型式极大程度依赖于氧化过程中的各个参数。

[0063] S2:制备准二维钙钛矿薄膜2,将制备好的准二维钙钛矿薄膜2涂覆于S1中制备好的金属阵列微腔1之上。准二维钙钛矿薄膜2的材质为钙钛矿材料,其由前驱体胶体溶液旋涂法制成,该准二维钙钛矿薄膜2是在所述金属阵列微腔1上由旋涂法制备而成,具体制备步骤如下:

[0064] S2.1:配制前驱体反应溶液:将大分子有机物(AX)、一价金属卤化物(A'X)、二价金属卤化物(BX<sub>2</sub>)溶解于极性有机溶剂中,经过搅拌后过滤备用,得到前驱体反应溶液。所述大分子有机物为萘甲胺(NMAX)、苯乙胺(PEAX)、正丁胺(BAX)、苯基丁氨(PBAX)、三乙胺(TEAX)中的一种,X为卤族元素Cl、Br、I中的一种或多种混合。一价金属卤化物(A'X)中,A'为钾(K)、铯(Cs)、铷(Rb)、铅(Pb)、锡(Sn)、锗(Ge)、甲胺(MA)、甲脒(FA)中的一种,X为卤族元素Cl、Br、I中的一种或多种混合。二价金属卤化物(BX)中,B为钾(K)、铯(Cs)、铷(Rb)、铅(Pb)、锡(Sn)、锗(Ge)中的一种,X为卤族元素Cl、Br、I中的一种或多种混合,浓度为0.01~1.2mol/L。所述极性有机溶剂为二甲基亚砜(DMSO)、N,N-二甲基甲酰胺(DMF)、 $\gamma$ -羟基丁酸内酯(GBL)、N-甲基吡咯烷酮(NMP)、乙二醇甲醚(MOE)中的一种。优选的所述搅拌方式为磁力搅拌器搅拌,搅拌温度为25~120°C,磁力搅拌器的转速为500~4000rpm,搅拌时间为2~18h,以使搅拌效果更好。所述的过滤的方式为尼龙NY膜一次性油系过滤器过滤,以使过滤效果更好。

[0065] S2.2:将S2.1得到的前驱体反应溶液于隔绝水氧环境中,滴加至所述金属阵列微腔1正中心,随后旋涂;优选的将50~1000 $\mu$ L前驱体溶液以300~800rpm的转速,滴加至前述阵列微腔正中心,随后将转速升至2000~8000rpm,旋涂20~90s,最终获得与阵列微腔形状契合,厚度均匀且成分为 $A_2-A'_n-1B_nX_{3n+1}$ 的准二维钙钛矿薄膜2,其中n代表有机层间的正六方八面体层厚度。

[0066] S2.3:将S2.2旋涂好的准二维钙钛矿薄膜2进行退火,所述的退火温度为60~150 $^{\circ}$ C,时间为10~120s。

[0067] S3:制备顶层金属电极3,将制备好的顶层金属电极3涂覆于S2中制备好的准二维钙钛矿薄膜2之上进行封装加固。所述顶层电极为铟锡氧化物涂层,其由溶液法旋涂沉积而成。所述顶层电极的制备步骤包括:

[0068] S3.1:将铟锡氧化物粉末溶解于间二甲苯中形成悬浊液;

[0069] S3.2:将S3.1得到的悬浮液旋涂于所述准二维钙钛矿薄膜2之上;

[0070] S3.3:将S3.2旋涂好的顶层电极进行退火。

[0071] 顶层电极为铟锡氧化物涂层,其由铟锡氧化物粉末溶解于间二甲苯中形成0.2~20mg/mL的悬浊液,以2000~6000r/min的转速旋涂于前述准二维钙钛矿薄膜2之上,并于80~150 $^{\circ}$ C的温度下退火20~80s即可获得致密透明的铟锡氧化物涂层。

[0072] 实施例1

[0073] 制备金属阵列微腔1:

[0074] 将0.8mm厚的铝薄片裁剪成直径为24mm的圆形基底,经过液压机压平后,先后使用无水乙醇与超纯水进行超声清洗,重复清洗直至表面无油膜无杂质;

[0075] 将上述清洗干净的铝基底取出吹干,在配置好的盐酸抛光液中以每片6V电压,0.5A电流的条件下进行冰水浴抛光2.5min,去除表面氧化物薄膜、细小划痕及其他杂质;

[0076] 将上述抛光好的铝基底使用无水乙醇冲洗干净表面残留的盐酸溶液,吹干后借助具有初始结构的镍膜于液压机中进行转移压印,将初始结构转印至金属基底上;

[0077] 将上述压印好的铝基底置于高氯酸氧化液中,以每片12V的电压、0.3A的电流进行氧化4h,获得厚度约300nm,阵列周期为500nm的铝阵列微腔及其氧化物基底;

[0078] 将上述氧化好的铝基底取出,使用无水乙醇洗净,泡于铬酸中9h,去除残留氧化层,即可于铝基底上获得完整的阵列微腔。

[0079] 制备准二维钙钛矿薄膜2:

[0080] 将0.06mol/L的 $PbBr_2$ 与NMABr、CsBr溶解于DMSO:DMF=7:3的混合极性有机溶剂中,形成有机-无机金属卤化物钙钛矿前驱体溶液;

[0081] 将上述溶液于室温下,置于转速900rpm的磁力搅拌器上,搅拌6h;

[0082] 将上述溶液于尼龙NY膜一次性油系滤器中过滤备用;

[0083] 于隔绝水氧环境中,将400 $\mu$ L前驱体溶液以600rpm的转速,滴加至前述阵列微腔正中心,随后将转速升至5500rpm,旋涂50s,最终获得与阵列微腔形状契合,厚度均匀且成分为 $(NMA)_2-Cs_{n-1}Pb_nBr_{3n+1}$ 的准二维钙钛矿薄膜2,其中n代表有机层间的正六方八面体层厚度;

[0084] 将旋涂好的准二维钙钛矿薄膜2置于120 $^{\circ}$ C的加热板上进行退火60s。

[0085] 制备顶层金属电极3:

[0086] 将铟锡氧化物粉末溶解于间二甲苯中,形成15mg/mL的悬浊液;

[0087] 将前述悬浊液以4000r/min的转速旋涂于前述准二维钙钛矿薄膜2之上,并于130°C的温度下退火30s即可获得致密透明的铟锡氧化物涂层。

[0088] 最终可以获得发光波长为526nm,半峰宽为0.07nm,激光阈值低至 $3.2\mu\text{J}/\text{cm}^2$ ,输出功率可达3.9mW,光束质量因子可达0.96,工作电流为78mA,阈值电流为65mA的钙钛矿纳米激光器。

[0089] 实施例2

[0090] 制备金属阵列微腔1:

[0091] 将1.2mm厚的银薄片裁剪成直径为10mm的圆形基底,经过液压机压平后,先后使用无水乙醇与超纯水进行超声清洗,重复清洗直至表面无油膜无杂质;

[0092] 将上述清洗干净的银基底取出吹干,在配置好的硝酸抛光液中以每片4V电压,0.8A电流的条件下进行冰水浴抛光1.5min,去除表面氧化物薄膜、细小划痕及其他杂质;

[0093] 将上述抛光好的银基底使用无水乙醇冲洗干净表面残留的硝酸溶液,吹干后借助具有初始结构的镍膜于液压机中进行转移压印,将初始结构转印至金属基底上;

[0094] 将上述压印好的银基底置于磷酸氧化液中,以每片9V的电压、0.5A的电流进行氧化2h,获得厚度约200nm,阵列周期为600nm的银阵列微腔及其氧化物基底;

[0095] 将上述氧化好的银基底取出,使用无水乙醇洗净,泡于铬酸中9h,去除残留氧化层,即可于银基底上获得完整的阵列微腔。

[0096] 制备准二维钙钛矿薄膜2:

[0097] 将0.06mol/L的 $\text{CrCl}_2$ 与PEACl、KCl溶解于DMSO:DMF=2:8的混合极性有机溶剂中,形成有机-无机金属卤化物钙钛矿前驱体溶液;

[0098] 将上述溶液于室温下,置于转速800rpm的磁力搅拌器上,搅拌12h;

[0099] 将上述溶液于尼龙NY膜一次性油系滤器中过滤备用;

[0100] 于隔绝水氧环境中,将300 $\mu\text{L}$ 前驱体溶液以400rpm的转速,滴加至前述阵列微腔正中心,随后将转速升至4500rpm,旋涂80s,最终获得与阵列微腔形状契合,厚度均匀且成分为 $(\text{PEA})_2\text{-K}_{n-1}\text{Cr}_n\text{Cl}_{3n+1}$ 的准二维钙钛矿薄膜2,其中n代表有机层间的正六方八面体层厚度;

[0101] 将旋涂好的准二维钙钛矿薄膜2置于75°C的加热板上进行退火20s。

[0102] 制备顶层金属电极3:

[0103] 将铟锡氧化物粉末溶解于间二甲苯中,形成10mg/mL的悬浊液;

[0104] 将前述悬浊液以3000r/min的转速旋涂于前述准二维钙钛矿薄膜2之上,并于90°C的温度下退火20s即可获得致密透明的铟锡氧化物涂层。

[0105] 最终可以获得发光波长为409nm,半峰宽为0.41nm,激光阈值低至 $9.4\mu\text{J}/\text{cm}^2$ ,输出功率可达2.7mW,光束质量因子可达0.94,工作电流为90mA,阈值电流为75mA的钙钛矿纳米激光器。

[0106] 如图4和图5所示,本发明使用具有高量子产率、带隙灵活可调、高载流子迁移率的钙钛矿材料作为增益介质,并结合微纳阵列微腔对光场进行局域作用,通过电注入的方式实现高功率、窄带宽、高相干且高准直的电注入亚波长量级的钙钛矿纳米激光的发射。突破衍射极限,实现微纳激光发射。

[0107] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例而已,并非对本发明作任何形式上的限制,虽

然本发明已以较佳实施例揭露如上,然而并非用以限定本发明,任何熟悉本专业的技术人员,在不脱离本发明技术方案范围内,当可利用上述揭示的技术内容做出些许更动或修饰为等同变化的等效实施例,但凡是未脱离本发明技术方案内容,依据本发明的技术实质,在本发明的精神和原则之内,对以上实施例所作的任何简单的修改、等同替换与改进等,例如将人脸识别改为车辆识别或人识别,均仍属于本发明技术方案的保护范围之内。

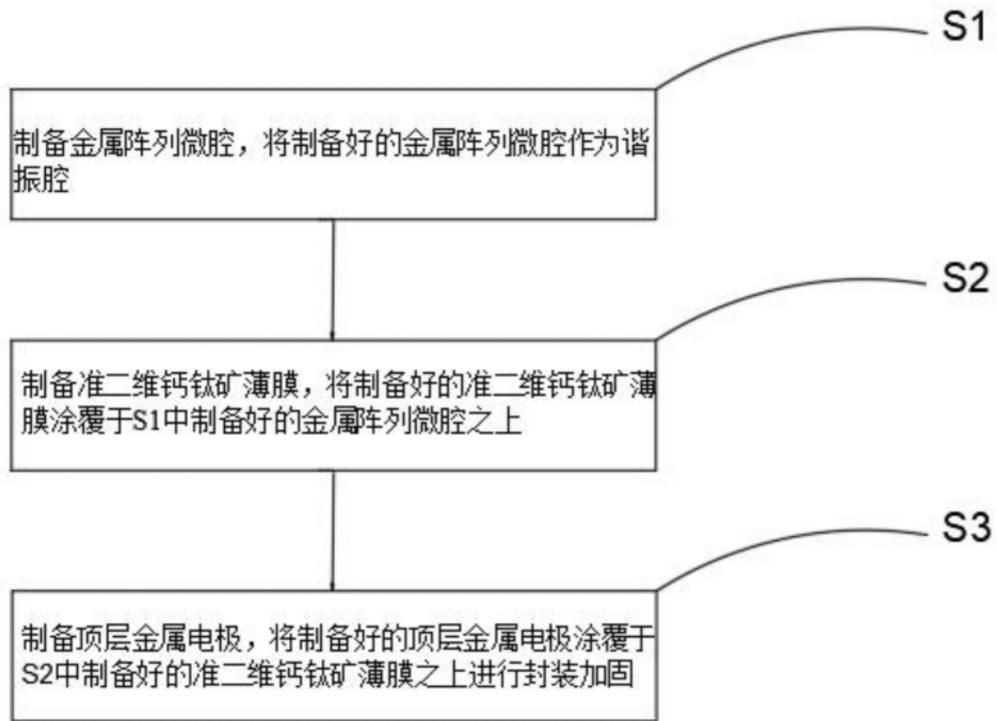


图1

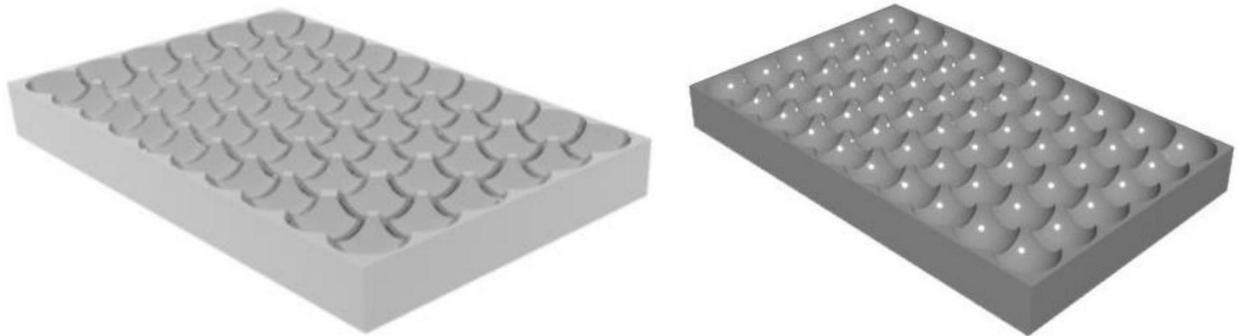


图2



图3

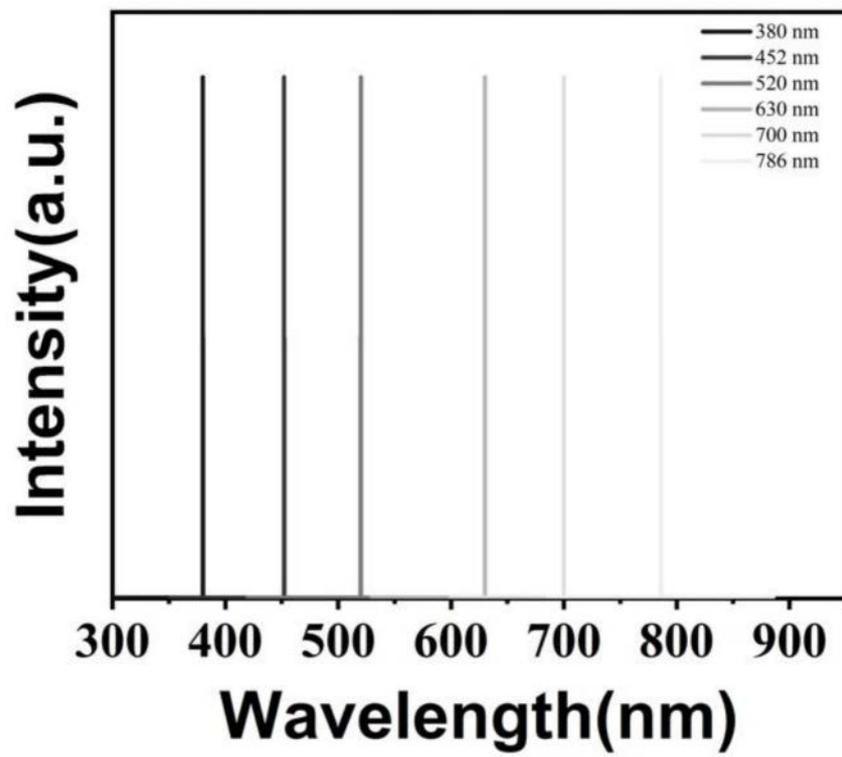


图4

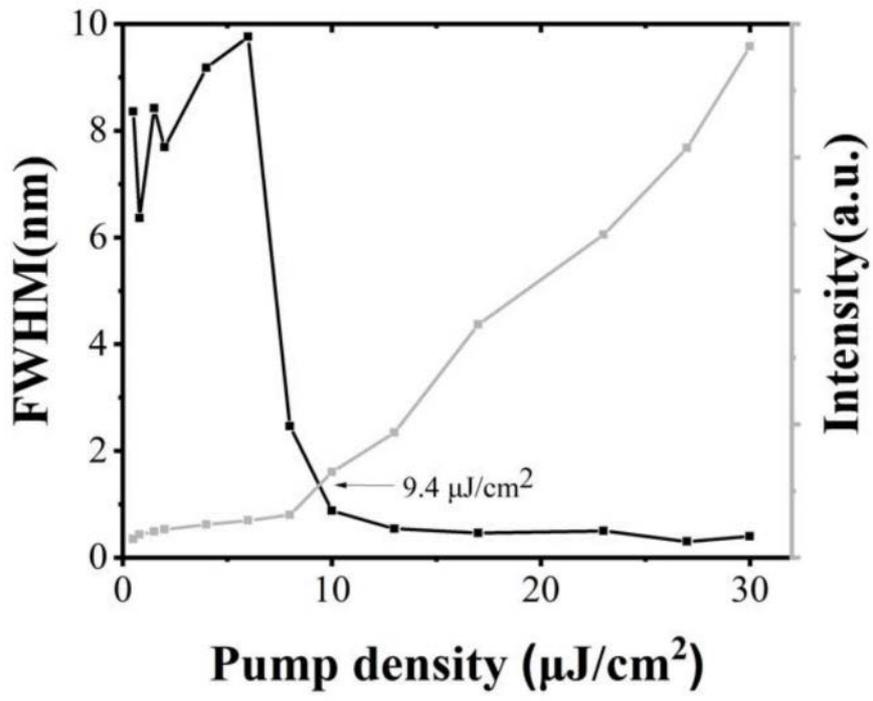


图5