



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102419480 A

(43) 申请公布日 2012.04.18

(21) 申请号 201110452806.0

G02B 6/13(2006.01)

(22) 申请日 2011.12.30

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路 3888 号

(72) 发明人 王维彪 梁静秋 梁中翥 周建伟

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 王淑秋

(51) Int. Cl.

G02B 27/09(2006.01)

G02B 6/122(2006.01)

G02B 6/24(2006.01)

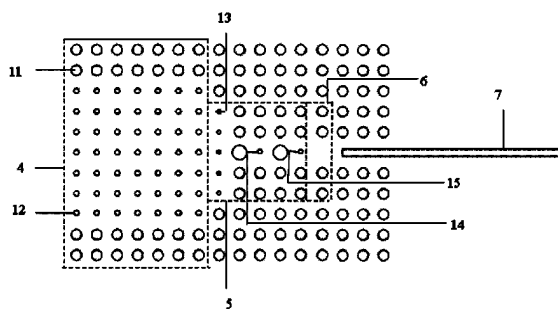
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 6 页

(54) 发明名称

基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统及其制备方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统及制作方法,该系统由 W7 型光子晶体波导、光子晶体谐振腔、W1 型光子晶体波导和纳米线波导顺序密接排列构成;光子晶体谐振腔采用在光子晶体中加入点缺陷构成,并且光子晶体谐振腔与 W7 型光子晶体波导衔接处分布一行介质柱,该行介质柱构成耦合区;光子晶体谐振腔与 W1 型光子晶体波导衔接处,且与点缺陷对应位置分布有一个或多个耦合介质柱;整个系统集成在一个基底上。本发明采用两级压缩结构,使光束经过一级压缩和二级压缩两次压缩,从而达到更高的压缩比以及更小的出射光斑,耦合效率高,光信息在器件间传播的损耗低;另外相对于渐变波导,大大的减小了器件的体积,提高了器件的集成度。



1. 一种基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统,其特征在于由 W7 型光子晶体波导 (4)、光子晶体谐振腔 (5)、W1 型光子晶体波导 (6) 和纳米线波导 (7) 顺序密接排列构成;光子晶体谐振腔 (5) 采用在光子晶体中加入点缺陷 (14) 构成,并且光子晶体谐振腔 (5) 与 W7 型光子晶体波导 (4) 衔接处分布一行介质柱 (13),该行介质柱构成耦合区;光子晶体谐振腔 (5) 与 W1 型光子晶体波导衔接处,且与点缺陷 (14) 对应位置分布有一个或多个耦合介质柱 (15);整个系统集成在一个基底上。

2. 根据权利要求 1 所述的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统,其特征在于所述构成 W7 型光子晶体波导 (4)、光子晶体谐振腔 (5) 及 W1 型光子晶体波导 (6) 主体结构的介质柱 (11) 半径为 r ;光子晶体谐振腔 (5) 与 W1 型光子晶体波导 (6) 衔接处分布一行半径为 r_2 的耦合区介质柱 (13);光子晶体谐振腔中的点缺陷 (14) 由一个半径为 r_3 的介质柱构成;光子晶体谐振腔 (5) 与 W1 型光子晶体波导衔接处,且与点缺陷 (14) 对应位置分布有一个耦合介质柱 (15),耦合介质柱半径为 r_4 ;纳米线波导宽度 $W = 140\text{nm}$,光子晶体谐振腔中的点缺陷 (14) 与纳米线波导 (7) 间距离 $d = 1.05\ \mu\text{m}$, $r = 102\text{nm}$, $r_1 = 51\text{nm}$, $r_2 = 45\text{nm}$, $r_3 = r_4 = 57\text{nm}$ 。

3. 一种如权利要求 1 所述的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统的制备方法,其特征在于通过在基底上制作钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导构成缩束系统结构,具体制作过程如下:

第一步,制备划片所需的划片槽;

第二步,制备 ICP 刻蚀钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导所需的光刻胶掩膜;

第三步,利用第二步制备的 ICP 光刻胶掩膜结构进行 ICP 刻蚀,制作基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统主体结构;

第四步,对要求尺寸精度高于 10nm 的介质柱进行单独加工;

第五步,去除器件结构边缘区。

4. 根据权利要求 3 所述的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统的制备方法,其特征在于制备划片所需的划片槽的步骤如下:

(A) 对衬底硅 (101) 上生长二氧化硅埋层 (102) 的基底进行清洁处理;

(B) 在二氧化硅埋层 (102) 上利用溶胶凝胶法制备一层钛酸锶薄膜 (103);

(C) 在钛酸锶薄膜 (103) 上制作一层光刻胶膜 (104);

(D) 将步骤 (C) 制作完成的结构放入烘箱中前烘;

(E) 对光刻胶膜 (104) 进行紫外曝光,得到与刻蚀划片槽所需光刻版相同的图形;

(F) 经过显影、坚膜,得到制作划片槽所需的光刻胶掩膜结构;

(G) 对步骤 (F) 制作好的光刻胶掩膜结构进行 ICP 刻蚀,然后去掉光刻胶膜 (104) 得到带有划片槽的划片结构。

5. 根据权利要求 3 所述的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统的制备方法,其特征在于制备 ICP 刻蚀钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导所需的光刻胶掩膜步骤如下:

(H) 在步骤 (G) 制备好的带有划片槽的划片结构上制作一层光刻胶膜 (201);

(I) 将步骤 (H) 制备完成的结构放入烘箱中前烘;

(J) 对制备好的光刻胶膜 (201) 进行电子束曝光;

(K) 经过显影、坚膜,得到制作钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导所需的 ICP 光刻

胶掩膜结构。

6. 根据权利要求 3 所述的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统的制备方法,其特征在在于利用第二步制备的 ICP 光刻胶掩膜结构进行 ICP 刻蚀,制作基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统主体结构步骤如下:

(L) 对步骤 (K) 制作好的 ICP 光刻胶掩膜结构进行 ICP 刻蚀,得到钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导;

(M) 将钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导上的光刻胶去除,并清洗。

7. 根据权利要求 3 所述的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统的制备方法,其特征在在于对要求尺寸精度高于 10nm 的介质柱进行单独加工的步骤如下:

(N) 在步骤 (M) 得到的结构上涂覆一层光刻胶 (301) 作为保护层;

(O) 对制备好的光刻胶 (301) 进行光学曝光、显影,得到光刻胶掩膜结构,将需要加工的钛酸锶介质柱所在区域暴露出来;

(P) 利用 FIB 工艺对需要加工的钛酸锶介质柱进行加工使其达到所需尺寸,去除光刻胶。

8. 根据权利要求 3 所述的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统的制备方法,其特征在在于去除器件结构边缘区步骤如下:

(Q) 在步骤 (P) 得到的器件结构表面涂覆 PMMA 层 (401);

(R) 对 PMMA 层 (401) 进行同步辐射 X 射线曝光、显影,在器件结构上制作一个保护层;

(S) 按照划片槽划片,得到由钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导构成的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统器件主体结构;

(T) 将步骤 (S) 得到的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统器件结构放入磨片机中,分别用不同的研磨液或抛光液进行侧面研磨及抛光,去除边缘区并使器件结构侧面平整。

基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统及其制作方法

技术领域：

[0001] 本发明属于光学技术领域，涉及一种微结构光子晶体元件，具体地说是一种基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统及其制作方法。

背景技术：

[0002] 光子晶体是由具有不同介电常数的物质，在空间周期性排列形成的人工微结构。近年来，基于光子晶体材料的光电功能器件得到了广泛的关注，利用光子晶体的光子禁带和光子局域特性，光子晶体波导、滤波器、光开关、耦合器等光子晶体光电器件已见诸报道，为未来大规模光电集成以及全光网络的实现打下了良好的基础。

[0003] 光子晶体是由不同折射率的介质周期性排列而成的人工微结构，电磁波在其中传播时由于布拉格散射，电磁波会受到调制而形成能带结构，这种能带结构叫做光子能带。光子能带之间可能出现带隙，即光子带隙。由于带隙中没有任何态存在，频率落在带隙中的电磁波被禁止传播。如果在光子晶体中引入介电缺陷或介电无序，会出现光子局域现象，在光子带隙中将形成相应的缺陷能级，特定频率的光可在这个缺陷能级中出现。通过在完整的二维光子晶体中引入缺陷，破坏光子禁带，引入缺陷态，可用来制作二维光子晶体功能器件。在二维光子晶体中引入线缺陷即去掉数排介质柱，那么相应频率的电磁波就只能在这个线缺陷中传播，离开线缺陷就会迅速衰减，可以通过在二维光子晶体中引入线缺陷来制作光子晶体波导。区别于传统光学波导的内反射原理，光子晶体波导基础原理是不同方向缺陷模共振匹配，故理论上光子晶体波导不受转角限制，弯曲损耗极小，可以用于制作低损耗转弯波导。

[0004] 然而想要将现有的光子晶体器件集成在同一基片上却面临着器件间通光宽度不同以及耦合效率低下等诸多困难，故能在连接功能器件的同时，实现对光束高效的微压缩及微聚焦的缩束系统对多光子晶体功能器件的集成有着极为重要的意义。缩束系统的主要技术参数是光斑大小、压缩率和传输效率。压缩率是指入射光束和出射光束半高宽的比值，其数值根据设计要求越大越好。而传输效率则是出射端和入射端光强的比值，传输效率的高低直接影响着系统的效率。渐变波导可以实现器件连接并对光束进行控制，然而，渐变波导宽度的变化会导致严重的反射损失及模式失配，从而影响传输效率。所以，渐变波导的渐变角通常比较小而长度较长，难以缩小体积并应用于光电集成及全光网络中。为了减小宽度变化带来的损耗，有的研究提出引入抛物面透镜或伽利略望远镜光学系统来增大渐变角，以便能在较小的长度下完成光束宽度的控制。但同时光学器件的引入会使得渐变波导的结构复杂化，降低器件的集成度。另外，在光通信波段光子晶体器件尺度即亚微米尺度下，几何光学器件的衍射效应非常明显，限制了上述两种方法的应用。所以，迫切需要一种能实现亚微米尺度下对光束进行调节，并具有高传输效率的缩束系统以实现光信息在器件间低损耗耦合传播。

发明内容：

[0005] 本发明要解决的一个技术问题是提供一种能实现亚微米尺度下对光束进行调节,并具有高传输效率,能够实现光信息在器件间低损耗耦合传播的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统。

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统由 W7 型光子晶体波导、光子晶体谐振腔、W1 型光子晶体波导和纳米线波导顺序密接排列构成;光子晶体谐振腔采用在光子晶体中加入点缺陷构成,并且光子晶体谐振腔与 W7 型光子晶体波导衔接处分布一行介质柱,该行介质柱构成耦合区;光子晶体谐振腔与 W1 型光子晶体波导衔接处,且与点缺陷对应位置分布有一个或多个耦合介质柱;整个系统集成在一个基底上。

[0007] 构成 W7 型光子晶体波导、光子晶体谐振腔及 W1 型光子晶体波导主体结构的介质柱半径为 r 。

[0008] 所述 W7 型光子晶体波导的缺陷区由半径为 r_1 的介质柱构成, r_1 大于或小于 r 。

[0009] 所述光子晶体谐振腔中的点缺陷由半径为 r_3 的一个或多个介质柱构成, r_3 大于或小于 r 。

[0010] 所述点缺陷也可为光子晶体中去掉一个或多个介质柱形成的空隙。

[0011] 所述光子晶体谐振腔耦合区介质柱的半径为 r_2 , r_2 大于或小于 r 。

[0012] 所述光子晶体谐振腔的耦合介质柱半径为 r_4 , r_4 大于或小于 r 。

[0013] 本发明中 W7 型光子晶体波导、W1 型光子晶体波导和纳米线波导的通光宽度不同,尤其 W7 型光子晶体波导和纳米线波导间通光宽度相差较大。而对于通信波段的 W1 型光子晶体波导,其通光宽度为几百个纳米,与纳米线波导通光宽度较为接近,故本发明采用 W1 型光子晶体波导和光子晶体谐振腔作为中介,将 W7 型光子晶体波导和纳米线波导连接起来,即采用两次压缩的方式实现对光束宽度的控制。其中一级压缩部分由 W7 型光子晶体波导、光子晶体谐振腔和 W1 型光子晶体波导构成,二级压缩部分由 W1 型光子晶体波导和纳米线波导构成。一、二级缩束之间由 W1 型光子晶体波导连接。由于 W7 型光子晶体波导、W1 型光子晶体波导和纳米线波导的通光宽度依次减小,故只要实现三者之间的高效耦合,即可实现对光束宽度的微控制。

[0014] 本发明的优点是采用两级压缩结构,使光束经过一级压缩和二级压缩两次压缩,从而达到更高的压缩比以及更小的出射光斑。特别是采用光子晶体谐振腔作为中介,将 W7 型光子晶体波导与 W1 型光子晶体波导连接,光子晶体谐振腔与 W7 型光子晶体波导衔接处分布一行作为耦合区的介质柱,光子晶体谐振腔与 W1 型光子晶体波导衔接处且与点缺陷对应位置分布有耦合介质柱,大大提高了耦合效率,光信息在器件间传播的损耗低。另外相对于渐变波导,本发明大大的减小了器件的体积,提高了器件的集成度。

[0015] 本发明要解决的另一个技术问题是提供一种基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统的制作方法。

[0016] 为了解决上述技术问题,本发明的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统的制作方法通过在基底上制作钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导形成缩束系统结构。

[0017] 具体制作过程如下:

[0018] 第一步,制备划片所需的划片槽;

[0019] 第二步,制备 ICP 刻蚀钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导所需的光刻胶掩

膜；

[0020] 第三步,利用第二步制备的 ICP 光刻胶掩膜结构进行 ICP 刻蚀,制作基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统主体结构；

[0021] 第四步,对要求尺寸精度高于 10nm 的介质柱进行单独加工；

[0022] 第五步,去除器件结构边缘区。

[0023] 第一步,制备划片所需的划片槽；

[0024] (A) 对衬底硅上生长二氧化硅埋层的基底进行清洁处理；

[0025] (B) 在二氧化硅埋层上利用溶胶凝胶法制备一层钛酸锶薄膜；

[0026] (C) 在钛酸锶薄膜上制作一层光刻胶膜；

[0027] (D) 将步骤 (C) 制作完成的结构放入烘箱中前烘；

[0028] (E) 对光刻胶膜进行紫外曝光,得到与刻蚀划片槽所需光刻版相同的图形；

[0029] (F) 经过显影、坚膜,得到制作划片槽所需的光刻胶掩膜结构；

[0030] (G) 对步骤 (F) 制作好的光刻胶掩膜结构进行 ICP 刻蚀,然后去掉光刻胶膜得到带有划片槽的划片结构；

[0031] 第二步,制备 ICP 刻蚀钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导所需的光刻胶掩膜；

[0032] (H) 在步骤 (G) 制备好的带有划片槽的划片结构上制作一层光刻胶膜；

[0033] (I) 将步骤 (H) 制备完成的结构放入烘箱中前烘；

[0034] (J) 对制备好的光刻胶膜进行电子束曝光；

[0035] (K) 经过显影、坚膜,得到制作钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导所需的 ICP 光刻胶掩膜结构；

[0036] 第三步,利用第二步制备的 ICP 光刻胶掩膜结构进行 ICP 刻蚀,制作基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统主体结构；

[0037] (L) 对步骤 (K) 制作好的 ICP 光刻胶掩膜结构进行 ICP 刻蚀,得到钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导；

[0038] (M) 将钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导上的光刻胶去除,并清洗；

[0039] 第四步,对要求尺寸精度高于 10nm 的介质柱进行单独加工；

[0040] (N) 在步骤 (M) 得到的结构上涂覆一层光刻胶作为保护层；

[0041] (O) 对制备好的光刻胶进行光学曝光、显影,得到光刻胶掩膜结构,将需要加工的钛酸锶介质柱所在区域暴露出来；

[0042] (P) 利用 FIB 工艺对需要加工的钛酸锶介质柱进行加工使其达到所需尺寸,去除光刻胶；

[0043] 第五步,去除器件结构边缘区；

[0044] (Q) 在步骤 (P) 得到的器件结构表面涂覆 PMMA 层；

[0045] (R) 对 PMMA 层进行同步辐射 X 射线曝光、显影,在器件结构上制作一个保护层；

[0046] (S) 按照划片槽划片,得到由钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导构成的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统器件主体结构；

[0047] (T) 将步骤 (S) 得到的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统器件结构放入磨片机中,分别用不同的研磨液或抛光液进行侧面研磨及抛光,去除边缘区并使器件结构侧面平

整。

[0048] 本发明应用电子束曝光加 ICP 刻蚀和 FIB 刻蚀方法加工,使所述光子晶体两级缩束系统有加工精度高、聚焦效果好,表面粗糙度低等优点,解决了因粗糙度偏高带来的散射大的问题。将同步辐射 X 射线光刻技术与研磨、抛光技术相结合进行边缘区去除及侧面修整,可以在去除边缘区的过程中有效保护多级二维光子晶体缩束系统结构。

附图说明：

- [0049] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细说明。
- [0050] 图 1 是本发明的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统主体平面示意图。
- [0051] 图 2 是二级压缩部分示意图。
- [0052] 图 3 为刻蚀划片槽所需光刻版示意图。
- [0053] 图 4a ~ 4g 为制备划片槽所需的划片槽工艺过程示意图。
- [0054] 图 5a ~ 5f 为制备钛酸锶介质柱的工艺过程示意图。
- [0055] 图 6a ~ 6f 为加工要求尺寸精度高于 10nm 的介质柱的工艺过程示意图。
- [0056] 图 7a ~ 7e 为去除器件结构边缘区的工艺过程示意图。

具体实施方式：

[0057] 如图 1、2 所示,本发明的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统由 W7 型光子晶体波导 4、光子晶体谐振腔 5、W1 型光子晶体波导 6 和纳米线波导 7 顺序密接排列构成;光子晶体谐振腔 5 采用在光子晶体中加入点缺陷 14 构成,并且光子晶体谐振腔 5 与 W7 型光子晶体波导 4 衔接处分布一行介质柱 13,该行介质柱构成耦合区;光子晶体谐振腔 5 与 W1 型光子晶体波导衔接处,且与点缺陷 14 对应位置分布有一个或多个耦合介质柱 15;整个系统集成在一个基底上。

[0058] 特征频率的电磁波 (1550nm) 从左侧 W7 型光子晶体波导入射,经过高品质光子晶体谐振腔的耦合作用,光束从 W7 型光子晶体波导耦合到 W1 型光子晶体波导,由于 W1 型光子晶体波导通光孔径尺寸小于 W7 型光子晶体波导,光束完成一级压缩。W1 型光子晶体波导中的光束经过 W1 型光子晶体波导和纳米线波导的高效耦合,从通光孔径更小的纳米线波导出射,完成光束的二级压缩。

[0059] W7 型光子晶体波导、W1 型光子晶体波导和纳米线波导的通光宽度不同,尤其 W7 型光子晶体波导和纳米线波导间通光宽度相差较大。而对于通信波段的 W1 型光子晶体波导,其通光宽度为几百个纳米,与纳米线波导通光宽度较为接近,故本发明采用 W1 型光子晶体波导和光子晶体谐振腔作为中介,将 W7 型光子晶体波导和纳米线波导连接起来,即采用两次压缩的方式实现对光束宽度的控制。两级光子晶体压缩系统由一级压缩和二级压缩两部分组成,其中一级压缩由 W7 型光子晶体波导、光子晶体谐振腔和 W1 型光子晶体波导构成,二级压缩由 W1 型光子晶体波导和纳米线波导构成。一、二级缩束之间由 W1 型光子晶体波导连接。由于 W7 型光子晶体波导、W1 型光子晶体波导和纳米线波导的通光宽度依次减小,故只要实现三者之间的高效耦合,即可实现对光束宽度的微控制。

[0060] 所述构成 W7 型光子晶体波导 4、光子晶体谐振腔 5 及 W1 型光子晶体波导 6 主体结构的介质柱 11 半径为 r 。光子晶体谐振腔 5 与 W1 型光子晶体波导 4 衔接处分布一行半径

为 r_2 的耦合区介质柱 13;光子晶体谐振腔中的点缺陷 14 由一个半径为 r_3 的介质柱构成;光子晶体谐振腔 5 与 W1 型光子晶体波导衔接处,且与点缺陷 14 对应位置分布有一个耦合介质柱 15,耦合介质柱半径为 r_4 ;纳米线波导宽度 $W = 140\text{nm}$,光子晶体谐振腔中的点缺陷 14 与纳米线波导 7 间距离 $d = 1.05\ \mu\text{m}$ 。

[0061] 当 $r = 102\text{nm}$, $r_1 = 51\text{nm}$, $r_2 = 35\text{nm}$, $r_3 = 75\text{nm}$ 时,该缩束系统具有 93.1% 的出射效率。

[0062] 当 $r = 102\text{nm}$, $r_1 = 51\text{nm}$, $r_2 = 45\text{nm}$, $r_3 = r_4 = 57\text{nm}$ 时,出射效率可达 91.87% ;

[0063] 当 $r = 102\text{nm}$, $r_1 = 51\text{nm}$, $r_2 = 170\text{nm}$, $r_3 = r_4 = 205\text{nm}$ 时,出射效率为 90.45% ;

[0064] 当 $r = 102\text{nm}$, $r_1 = 51\text{nm}$, $r_2 = 55\text{nm}$, $r_3 = r_4 = 235\text{nm}$ 时,出射效率为 85.6% ;

[0065] 当 $r = 102\text{nm}$, $r_1 = 51\text{nm}$, $r_2 = 67\text{nm}$, $r_3 = r_4 = 228\text{nm}$ 时,出射效率为 87.5% ;

[0066] 当 $r = 102\text{nm}$, $r_1 = 51\text{nm}$, $r_2 = 40\text{nm}$, $r_3 = r_4 = 80\text{nm}$ 时,出射效率为 92.32% ;

[0067] 当 $r = 102\text{nm}$, $r_1 = 51\text{nm}$, $r_2 = 82\text{nm}$, $r_3 = r_4 = 160\text{nm}$ 时,出射效率为 90.49% ;

[0068] 当 $r = 102\text{nm}$, $r_1 = 51\text{nm}$, $r_2 = 105\text{nm}$, $r_3 = r_4 = 82\text{nm}$ 时,出射效率为 85.68% ;

[0069] 当 $r = 102\text{nm}$, $r_1 = 51\text{nm}$, $r_2 = 95\text{nm}$, $r_3 = r_4 = 75\text{nm}$ 时,出射效率为 80.25% 。

[0070] 为了达到缩束的目的,本发明利用 W7 型光子晶体波导、高品质光子晶体谐振腔和 W1 型光子晶体波导的高效耦合,将光束进行压缩。制作过程中要求在完整的光子晶体结构中分别对 W7 型光子晶体波导缺陷区介质柱和光子晶体谐振腔的耦合区介质柱、构成点缺陷的介质柱和耦合介质柱的半径进行优化。其中,缩束系统主体上的介质柱均为钛酸锶介质柱,钛酸锶介质柱制备于基底上。钛酸锶介质柱为正方晶格结构,其晶格周期为 510nm 。钛酸锶介质柱高度 $h = 220\text{nm}$,基底的二氧化硅埋层 102 厚度 $h_2 = 3\ \mu\text{m}$,衬底硅 101 厚度 $h_3 = 600\ \mu\text{m}$ 。

[0071] 图 3 为刻蚀划片槽所需光刻版示意图。光刻版为边长为 $A = 2\text{cm}$ 的正方形结构,正方形结构被分为 16 个正方形小单元,每个单元边长为 $a = 0.5\text{cm}$ 。所设计的二维光子晶体缩束系统制作于小单元内,经过划片一次曝光可得 16 组两级缩束系统。

[0072] 本发明的两级缩束系统制作于基底上,基底上排列有数十个至数百个钛酸锶介质柱和一个钛酸锶纳米线波导。基底由二氧化硅埋层(低折射率层)102 和衬底硅 101 构成。钛酸锶介质柱阵列及纳米线波导与二氧化硅埋层接触。

[0073] 本发明的具体制作过程如下:

[0074] 第一步,制备划片所需的划片槽;

[0075] (A) 对衬底硅 101 为 $600\ \mu\text{m}$ 厚,其上生长 $3\ \mu\text{m}$ 厚二氧化硅埋层 102 的基底(如图 4a 所示)进行清洁处理;

[0076] (B) 如图 4b 所示,在二氧化硅埋层 102 上利用溶胶凝胶法制备一层钛酸锶薄膜 103;

[0077] (C) 如图 4c 所示,在钛酸锶薄膜 103 上制作一层厚度为 $2\text{--}3\ \mu\text{m}$ 的光刻胶膜 104;

[0078] (D) 将步骤 (C) 制作完成的结构放入烘箱中前烘;

[0079] (E) 如图 4d 所示,对光刻胶膜 104 进行紫外曝光,得到与刻蚀划片槽所需光刻版相同的图形;

[0080] (F) 如图 4e 所示,经过显影、坚膜,得到制作划片槽所需的光刻胶掩膜结构;

[0081] (G) 如图 4f 所示,对步骤 (F) 制作好的光刻胶掩膜结构进行 ICP(感应耦合等离子

体刻蚀)刻蚀,刻蚀深度为 $4\mu\text{m}$;如图4g所示,去掉光刻胶膜104得到带有划片槽的划片结构;

[0082] 第二步,制备 ICP 刻蚀钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导所需的掩膜;

[0083] (H) 如图 5a、5b 所示,在步骤 (G) 制备好的带有划片槽的划片结构上制作一层厚度为 100nm 的光刻胶膜 201;

[0084] (I) 将步骤 (H) 制备完成的结构放入烘箱中前烘;

[0085] (J) 如图 5c 所示,对制备好的光刻胶膜 201 进行电子束曝光;

[0086] (K) 如图 5d 所示,经过显影、坚膜,得到制作基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统主体结构所需的 ICP 光刻胶掩膜结构;

[0087] 第三步,利用第二步制备的 ICP 光刻胶掩膜结构进行 ICP 刻蚀,制作基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统主体结构;

[0088] (L) 如图 5e 所示,对步骤 (K) 制作好的 ICP 光刻胶掩膜结构进行 ICP 刻蚀,刻蚀深度为 220nm,得到钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导;

[0089] (M) 如图 5f 所示,将钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导上的光刻胶去除,并清洗;

[0090] 第四步,对要求尺寸精度高于 10nm 的介质柱进行单独加工;

[0091] (N) 如图 6a、6b 所示,在步骤 (M) 得到的结构上涂覆一层光刻胶 301 作为保护层;

[0092] (O) 如图 6c、6d 所示,对制备好的光刻胶 301 进行光学曝光、显影,得到光刻胶掩膜结构,将需要加工的钛酸锶介质柱(包括一级光子晶体缺陷区介质柱 12、光子晶体谐振腔耦合区介质柱 13、光子晶体谐振腔点缺陷介质柱 14、光子晶体谐振腔耦合介质柱 15,图中以介质柱 14 为例)所在区域暴露出来;

[0093] (P) 如图 6e、6f 所示,利用聚焦离子束(FIB)工艺对需要加工的钛酸锶介质柱进行高精度加工使其达到所需尺寸,去除光刻胶(图中介质柱 11 为 W7 型光子晶体波导 4、光子晶体谐振腔 5 及 W1 型光子晶体波导 6 主体结构介质柱,为不需要单独加工的介质柱);

[0094] 第五步,去除器件结构边缘区;

[0095] (Q) 如图 7a、7b 所示,在步骤 (P) 得到的器件结构表面涂覆 PMMA 层 401;

[0096] (R) 如图 7c、7d 所示,对 PMMA 层 401 进行同步辐射 X 射线曝光、显影,在器件结构上制作一个保护层;

[0097] (S) 按照划片槽划片,即得到 16 个由钛酸锶介质柱阵列和钛酸锶纳米线波导构成的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统器件主体结构;

[0098] (T) 如图 7e 所示,将步骤 (S) 得到的基于光子晶体谐振腔的两级缩束系统器件结构放入磨片机中,分别用不同的研磨液或抛光液进行侧面研磨及抛光,去除边缘区并使器件结构侧面平整。

[0099] 由于 PMMA 折射率小于硅材料,满足在垂直器件方向上的全反射条件,故保留 PMMA 作为器件的保护结构,增加器件的牢固度,不易损坏。

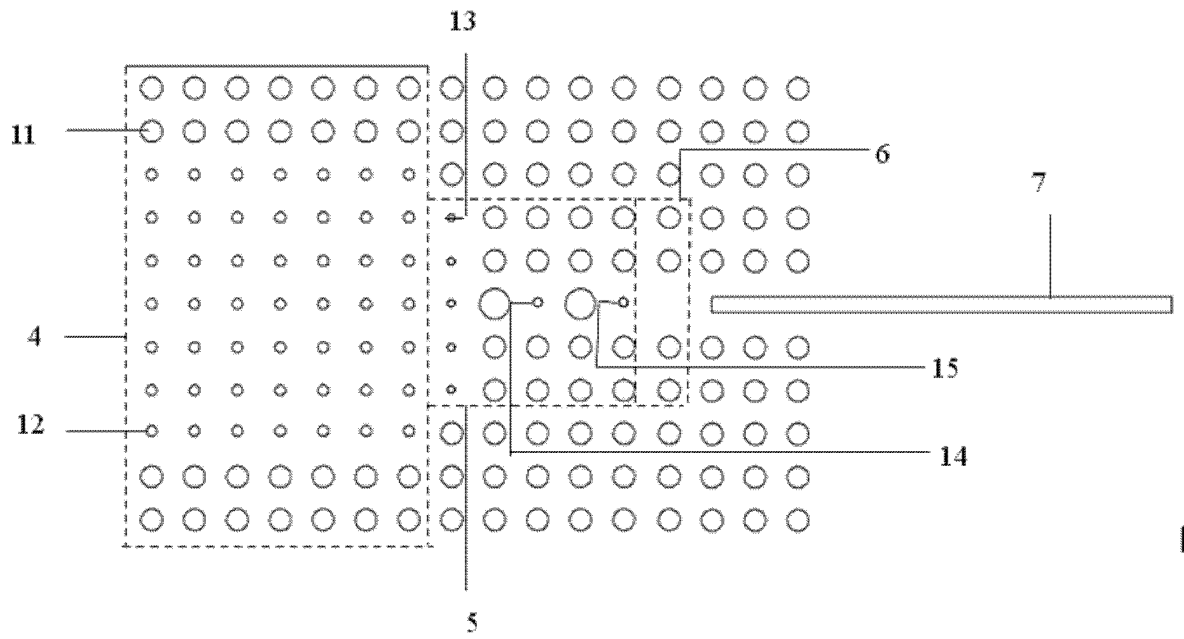


图 1

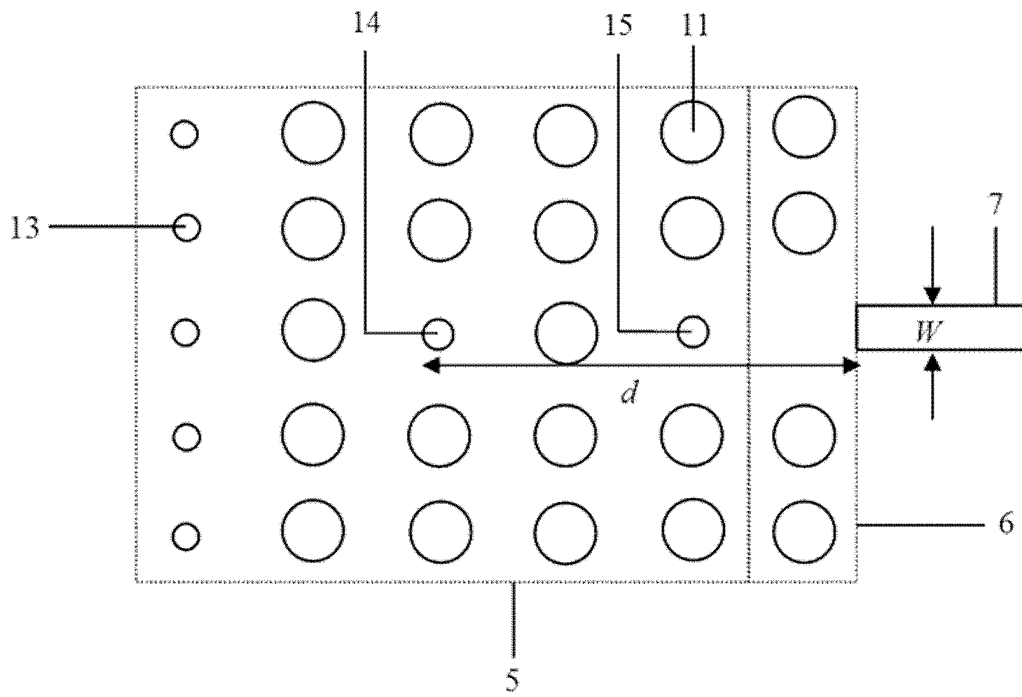


图 2

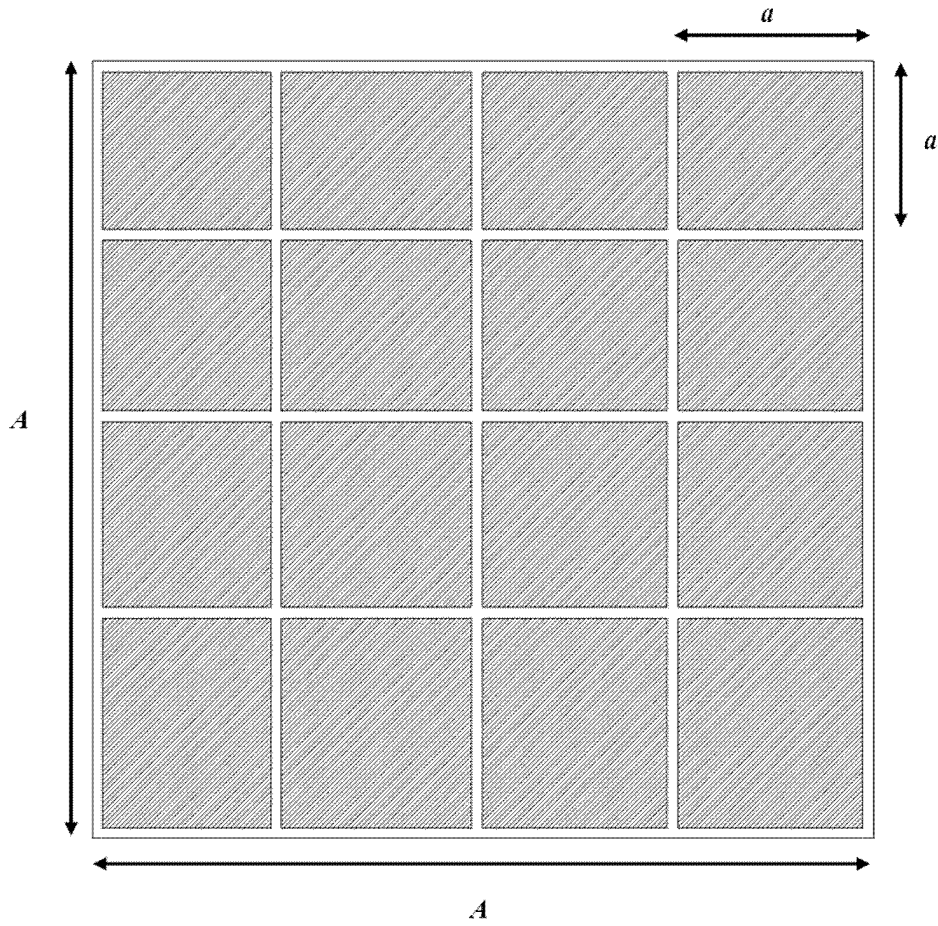


图 3

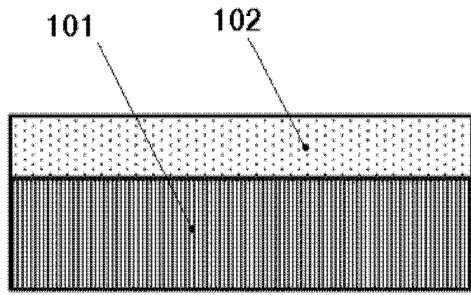


图 4a

制备钛酸锶薄膜

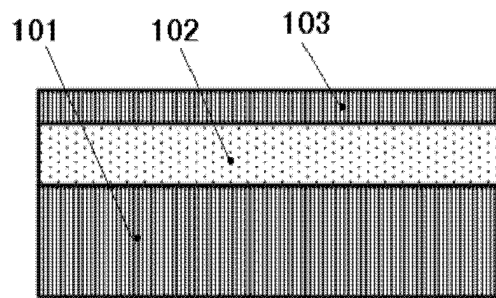


图 4b

旋涂光刻胶

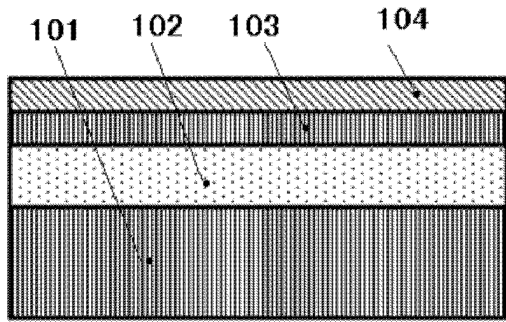


图 4c

曝光

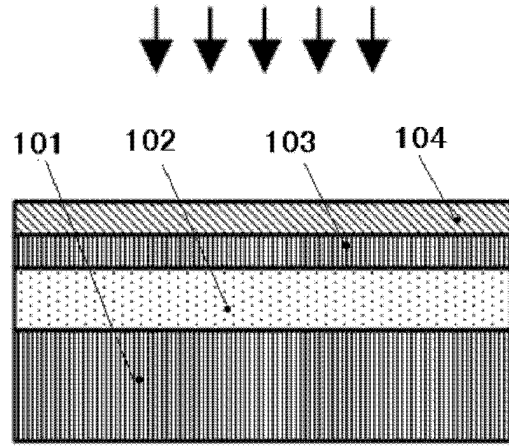


图 4d

显影

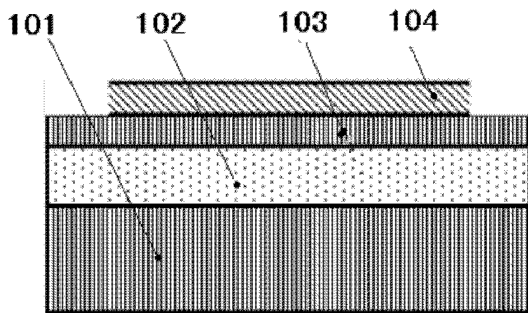


图 4e

ICP 刻蚀

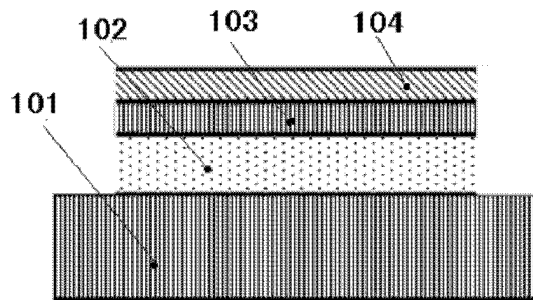


图 4f

去胶

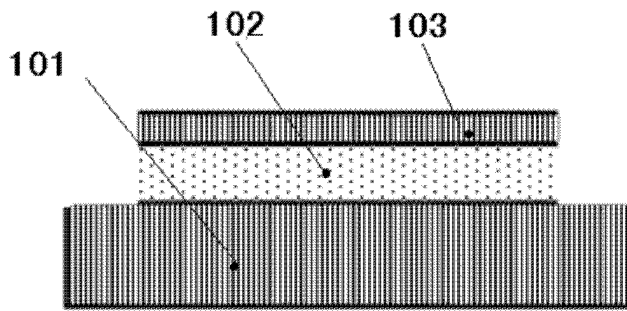


图 4g

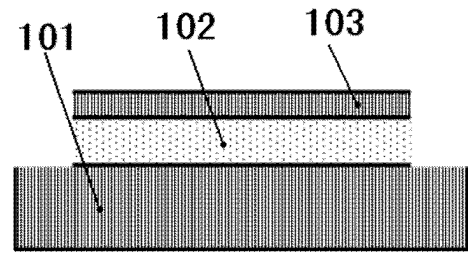


图 5a

旋涂光刻胶

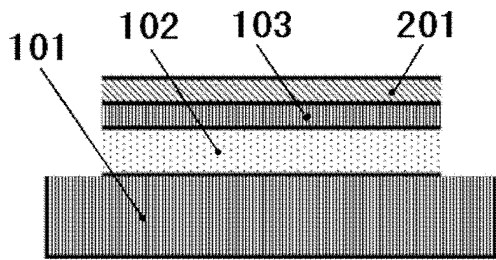


图 5b

电子束曝光

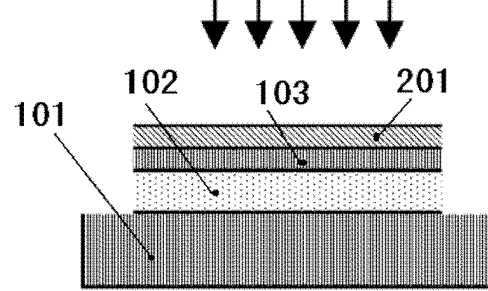


图 5c

显影

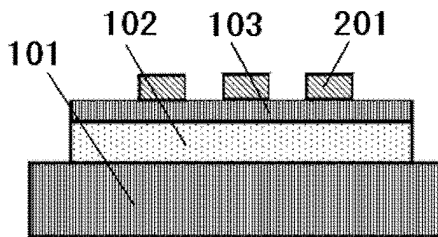


图 5d

ICP 刻蚀

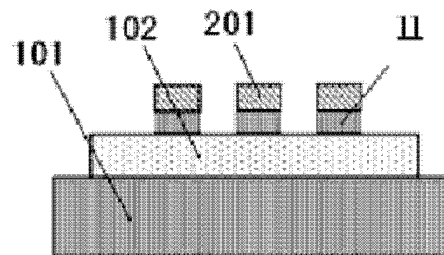


图 5e

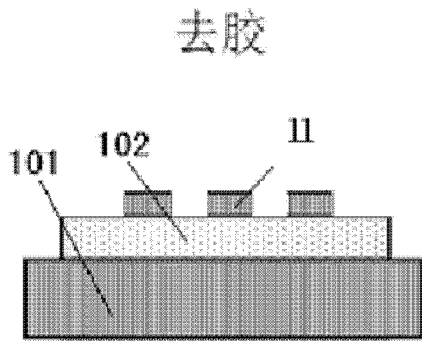


图 5f

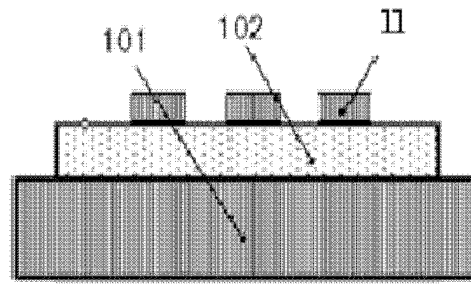


图 6a

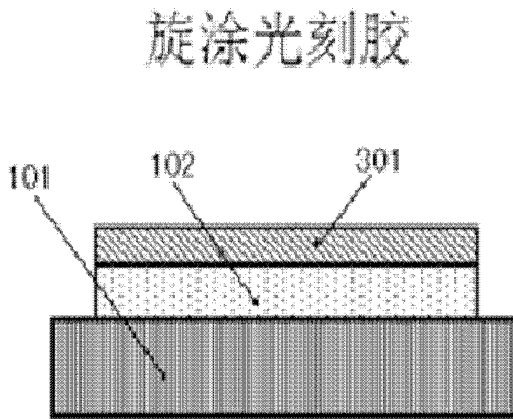


图 6b

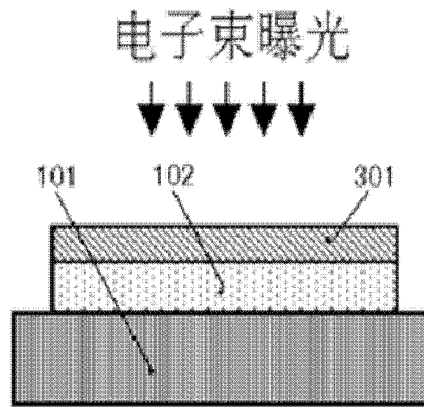


图 6c

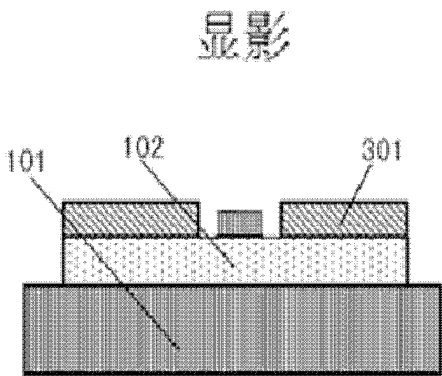


图 6d

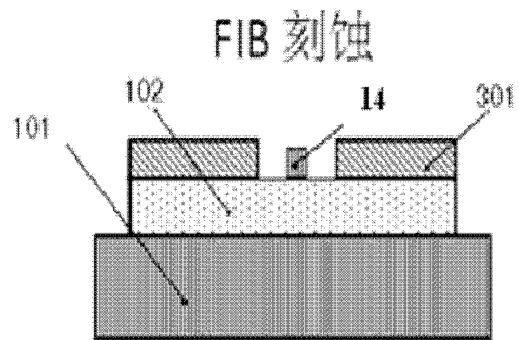


图 6e

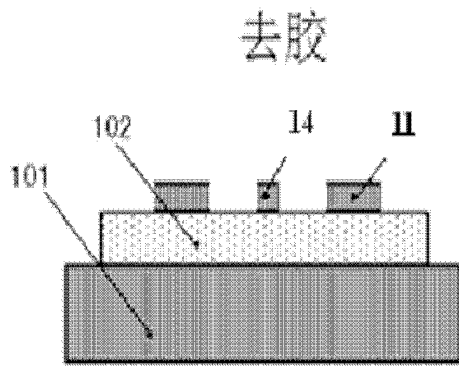


图 6f

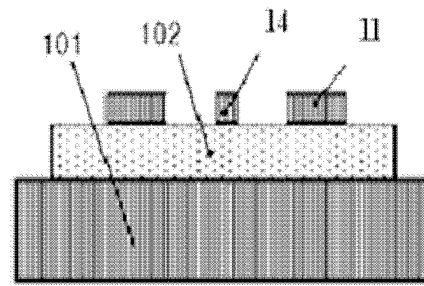


图 7a

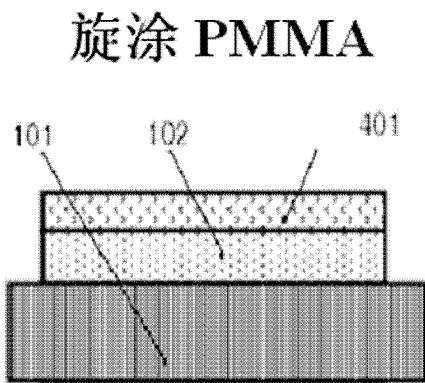


图 7b

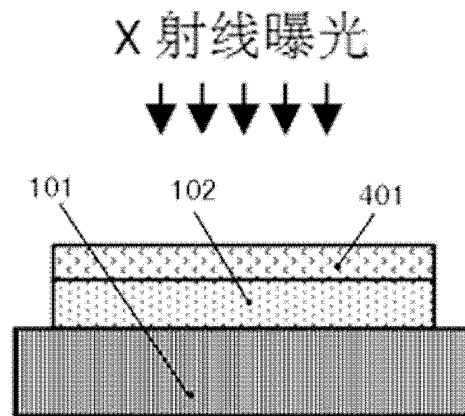


图 7c

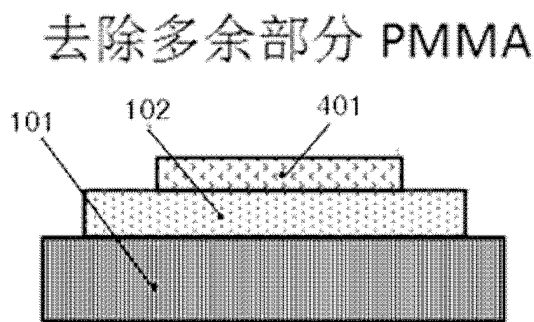


图 7d

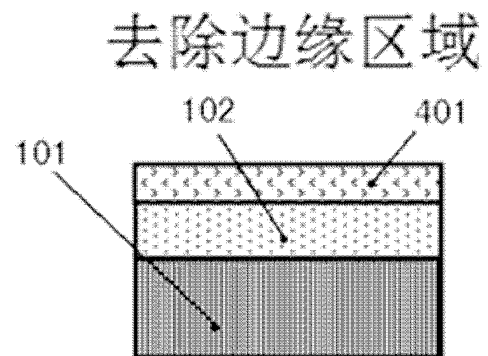


图 7e