SooPAT

光子晶体边耦合双通道光波导传输系统

申请号：201210021943.3
申请日：2012-01-31

申请(专利权)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
发明(设计)人 王维彪 梁静秋 梁中翥 周建伟

主分类号 G02B6/28(2006.01)I
分类号 G02B6/28(2006.01)I G02B6/122(2006.01)I
公开(公告)号 102590949A
公开(公告)日 2012-07-18
专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210
代理人 陶尊新

www.soopat.com

注：本页蓝色字体部分可点击查询相关专利

(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102590949 B
(45)授权公告日 2014.01.15

(21)申请号 201210021943.3

(22)申请日 2012.01.31

(73)专利权人 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 陶尊新

(51)Int.Cl.
G02B 6/28(2006.01)
G02B 6/122(2006.01)

审查员 钟杰

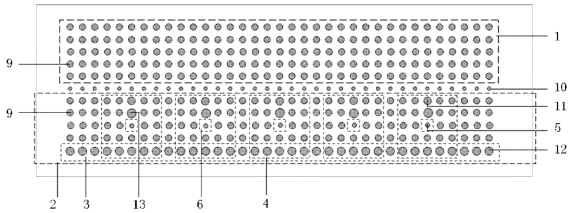
权利要求书1页 说明书5页 附图8页

(54)发明名称

光子晶体边耦合双通道光波导传输系统

(57)摘要

光子晶体边耦合双通道光波导传输系统，涉及光学技术领域中的一种微结构光子晶体元件，解决了现有光子晶体波导因粗糙度偏高带来的散射大的问题，提供一种能实现光子晶体波导和传统光学器件或外置光源间高效耦合系统，该系统包括波导层、低折射率埋层和衬底层，波导层位于低折射率埋层上部，低折射率埋层下部与衬底层相连；采用多光子晶体谐振腔并联的方式，通过波导二区的耦合区将电磁波耦合进光子晶体波导缺陷区，耦合效率高；由于光子晶体谐振腔上部与点缺陷对应位置处分布有耦合介质柱，进一步提高了耦合效率。整个光子晶体波导集成在同一基片上，不需要外置的光学元件，使得光子晶体波导结构更紧凑、体积更小，并具有更高的集成度。



CN 102590949 B

1. 光子晶体边耦合双通道光波导传输系统，该系统包括波导层、低折射率埋层（7）和衬底层（8），波导层位于低折射率埋层（7）上部，低折射率埋层（7）下部与衬底层（8）相连；其特征是，构成光子晶体边耦合双通道光波导传输系统主体的铝酸镧柱为正方晶格结构，晶格周期为 510nm；所述波导层包括波导一区（1）、缺陷区（10）和波导二区（2），所述波导一区（1）由多个周期性排列介质柱（9）组成，波导一区（1）与波导二区（2）的衔接处分布一行缺陷介质柱，该行缺陷介质柱构成缺陷区（10），所述波导二区最外面分布一行耦合介质柱（12），该行耦合介质柱构成耦合区（3），并且波导二区（2）中包含多个沿平行于缺陷区（10）方向排列的点缺陷（6），每个点缺陷（6）与周围的波导二区（2）中周期性排列介质柱（9）以及最外面的耦合介质柱（12）构成光子晶体谐振腔（4）；多个光子晶体谐振腔（4）关联，每个光子晶体谐振腔（4）中的点缺陷（6）上部对应位置处依次分布有第二耦合介质柱（13）和第一耦合介质柱（11）；所述周期性排列介质柱（9）的半径为 r，且 r=102nm；点缺陷（6）的介质柱（5）的半径 r_1=51nm，缺陷区（10）的介质柱半径 r_5=51nm。

2. 根据权利要求 1 所述的光子晶体边耦合双通道光波导传输系统，其特征在于，所述波导一区（1）的多个周期性排列介质柱（9）的半径为 r。

3. 根据权利要求 1 所述的光子晶体边耦合双通道光波导传输系统，其特征在于，所述耦合区介质柱（12）的半径 r_4 大于或小于所述周期性排列介质柱（9）的半径 r。

4. 根据权利要求 1 所述的光子晶体边耦合双通道光波导传输系统，其特征在于，所述点缺陷（6）为在光子晶体中改变一个或多个所述周期性排列介质柱（9）的半径形成的缺陷或者在光子晶体中去掉一个或多个所述周期性排列介质柱（9）形成的空隙。

光子晶体边耦合双通道光波导传输系统

技术领域

[0001] 本发明涉及光学技术领域中的一种微结构光子晶体元件，具体涉及一种光子晶体边耦合双通道光波导传输系统。

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。若在完整的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。

[0004] 实现光子晶体器件与传统光学器件或光源间的高效耦合对于未来全光网络的实现有着重要的意义。然而，由于光子晶体器件尺寸较小，在光子晶体器件与传统光学器件或光源的耦合过程中，耦合面积和耦合效率均难以提升。近年来，几何光学方法及倏逝波耦合等方法被提出以实现高效耦合。几何光学方法是通过使用聚焦透镜以及透镜光纤等外置几何光学器件将光聚焦到光子晶体器件入射端面以实现耦合的方法。然而，要想将光聚焦到光子晶体器件尺度上是非常困难的。另外，几何光学耦合方法从根本上讲并没有提高系统的耦合面积，而且过多外置器件的引入会使系统结构复杂化，不利于与其他器件的集成。同时，外置光学器件所引起的反射、散射损耗以及插值损耗会降低系统的耦合效率。倏逝波耦合方法利用倏逝波产生及耦合的原理将光从器件的顶端耦合到器件中，从而大大的提高了耦合面积。倏逝波方法也面临着一些问题，例如特定渐变光纤的加工、耦合过程中使用的渐变光纤与光子晶体器件的距离参数难以控制、需要精密的外置校准和调节系统以及外置的校准调节系统对集成度的影响等问题，这些都限制了倏逝波耦合方法的应用。因此，迫切需要一种效率高、集成度高、操作简单且能够实现光子晶体器件与传统光学器件或光源高效耦合的方法。

发明内容

[0005] 本发明提出了一种能实现光子晶体波导和传统光学器件或外置光源间高效耦合的光子晶体边耦合双通道光波导传输系统。

[0006] 光子晶体边耦合双通道光波导传输系统，该系统包括波导层、低折射率埋层和衬底层，波导层位于低折射率埋层上部，低折射率埋层下部与衬底层相连；构成光子晶体边耦合双通道光波导传输系统主体的铝酸镧柱为正方晶格结构，晶格周期为 510nm；所述波导层包括波导一区、缺陷区和波导二区，所述波导一区由多个周期性排列介质柱组成，波导一区与波导二区的衔接处分布一行缺陷介质柱，该行缺陷介质柱构成缺陷区，所述波导二区最外面分布一行耦合介质柱，该行耦合介质柱构成耦合区，并且波导二区中包含多个沿平行于缺陷区方向排列的点缺陷，每个点缺陷与周围的波导二区中周期性排列介质柱以及最外面的耦合介质柱构成光子晶体谐振腔；多个光子晶体谐振腔关联，每个光子晶体谐振腔中的点缺陷上部对应位置处依次分布有第二耦合介质柱和第一耦合介质柱；所述周期性排列介质柱的半径为 r，且 r=102nm；点缺陷的介质柱的半径 r_1=51nm，缺陷区的介质柱半径 r_5=51nm。

[0007] 本发明的工作原理：本发明采用多光子晶体谐振腔并联的方式，通过波导二区的耦合区将电磁波耦合进光子晶体波导缺陷区，从而达到提高耦合面积的目的，耦合效率高；同时，由于耦合面积的提高也为耦合前预聚焦和对准等操作提供了便利。由于光子晶体谐振腔上部与点缺陷对应位置处分布有耦合介质柱，进一步提高了耦合效率。另外，整个光子晶体波导集成在同一基片上，不需要外置的光学元件，使得光子晶体波导结构更紧凑、体积更小，并具有更高的集成度。

[0008] 本发明的有益效果：本发明波导采用侧面耦合结构，选择了多个光子晶体谐振腔并联，可以在保证耦合效率的同时为光源预聚焦及对准操作提供便利。另外整个光子晶体边耦合双通道光波导传输系统集成在同一基片上，不需要外置的光学元件，从而使得光子晶体边耦合双通道光波导传输系统更紧凑、体积更小并具有更高的集成度。与其他耦合方法相比，本发明的光子晶体边耦合双通道光波导传输系统具有效率高、体积小、结构简单以及集成度高等优点。应用电子束曝光加 ICP 刻蚀方法加工，使光子晶体边耦合双通道光波导传输系统有加工精度高、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光子晶体边耦合双通道光波导传输系统结构。

附图说明

[0009] 图 1 是本发明光子晶体边耦合双通道光波导传输系统主体平面示意图；

[0010] 图 2 是本发明光子晶体边耦合双通道光波导传输系统波导二区部分示意图；

[0011] 图 3a、3b、3c 是耦合效率随介质柱参数变化曲线；

[0012] 图 4 是本发明光子晶体边耦合双通道光波导传输系统主体三维示意图；

[0013] 图 5 为刻蚀划片槽所需光刻版示意图；

[0014] 图 6a ～ 6g 为制备划片所需的划片槽工艺过程示意图；

[0015] 图 7a ～ 7f 为制备铝酸镧柱的工艺过程示意图；

[0016] 图 8a ～ 8f 为加工尺寸要求严格的介质柱的工艺过程示意图；

[0017] 图 9a ～ 9f 去除器件边缘区，以最后得到光子晶体边耦合双通道光波导传输系统的工艺过程示意图。

具体实施方式

[0018] 具体实施方式一、结合图 1 至图 5 说明本实施方式，光子晶体边耦合双通道光波导传输系统，该系统包括波导层、低折射率埋层 7 和衬底层 8，波导层位于低折射率埋层 7 上部，低折射率埋层 7 下部与衬底层 8 相连；所述波导层包括波导一区 1、缺陷区和波导二区 2，所述波导一区 1 由多个介质柱 9 周期性排列组成，波导一区 1 与波导二区 2 的衔接处分布一行缺陷介质柱 10，该行缺陷介质柱构成缺陷区，所述波导二区最外面分布一行耦合介质柱 12，该行耦合介质柱构成耦合区 3，并且波导二区 2 中包含多个沿平行于缺陷区 10 方向排列的点缺陷 6，每个点缺陷 6 与周围的介质柱 9 以及最外面的耦合介质柱 12 构成光子晶体谐振腔 4；多个光子晶体谐振腔 4 关联，每个光子晶体谐振腔 4 中的点缺陷 6 上部对应位置处依次分布有第二耦合介质柱 13 和第一耦合介质柱 11。所述光子晶体谐振腔与光子晶体波导响应频率相同。

[0019] 本实施方式所述的波导一区 1 的多个介质柱 9 的半径为 r。

[0020] 本实施方式所述的耦合区介质柱 12 的半径 r_4 大于或小于介质柱 9 的半径 r。

[0021] 本实施方式所述的点缺陷 6 由半径为 r_1 的介质柱 5 构成，缺陷区由半径为 r_5 的介质柱构成；r_1 与 r_5 的值相同。

[0022] 本实施方式所述的点缺陷 6 为在光子晶体中改变一个或多个介质柱的半径形成的缺陷或者在光子晶体中去掉一个或多个介质柱形成的空隙。

[0023] 本实施方式针对 1550nm 的电磁波，以铝酸镧柱作为介质柱为例对本实施方式作详细说明。结合图 2 所示，为了达到耦合的目的，本发明利用五个并联谐振腔 4 对光束进行高效耦合，此时器件的耦合长度在 15μm 左右，可以在保证耦合效率的同时为光源预聚焦及对准操作提供便利。制作过程中要求在完整的光子晶体结构中对铝酸镧柱的半径进行优化，其中，构成光子晶体边耦合双通道光波导传输系统主体的铝酸镧柱为正方晶格结构，其晶格周期为 510nm。入射光从耦合区入射，经过五个并联谐振腔 4 及其上部的第一耦合介质柱 11、第二耦合介质柱 13 的高效耦合，将光耦合进缺陷区，耦合进缺陷区的电磁波在缺陷区中双向传播，并由光子晶体波导的左右通道同时出射。

[0024] 对于 1550nm 的电磁波，构成光子晶体波导主体的介质柱半径 r=102nm。

[0025] 如图 3a、3b、3c 所示：

[0026] 当构成点缺陷的介质柱 5 的半径 r_1=51nm，第一耦合介质柱 11 的半径 r_2=120nm，第二耦合介质柱 13 的半径 r_3=260nm，耦合区介质柱 12 的半径 r_4=230nm，缺陷区 10 的介质柱半径 r_5=51nm 时，光子晶体边耦合双通道光波导传输系统可实现 95.47% 的耦合效率。

[0027] 当构成点缺陷的介质柱 5 的半径 r_1=51nm，第一耦合介质柱 11 的半径 r_2=240nm，第二耦合介质柱 13 的半径 r_3=100nm，耦合区介质柱 12 的半径 r_4=150nm，缺陷区 10 的介质柱半径 r_5=51nm 时，光子晶体边耦合双通道光波导传输系统可实现 90.54% 的耦合效率。

[0028] 当构成点缺陷的介质柱 5 的半径 r_1=51nm，第一耦合介质柱 11 的半径 r_2=230nm，第二耦合介质柱 13 的半径 r_3=100nm，耦合区介质柱 12 的半径 r_4=100nm，缺陷区 10 的介质柱半径 r_5=51nm 时，光子晶体边耦合双通道光波导传输系统可实现 85.9% 的耦合效率。

[0029] 当构成点缺陷的介质柱 5 的半径 r_1=51nm，第一耦合介质柱 11 的半径 r_2=80nm，第二耦合介质柱 13 的半径 r_3=110nm，耦合区介质柱 12 的半径 r_4=110nm，缺陷区 10 的介质柱半径 r_5=51nm 时，光子晶体边耦合双通道光波导传输系统可实现 82.35% 的耦合效率。

[0030] 当构成点缺陷的介质柱 5 的半径 r_1=51nm，第一耦合介质柱 11 的半径 r_2=130nm，第二耦合介质柱 13 的半径 r_3=90nm，耦合区介质柱 12 的半径 r_4=120nm，缺陷区 10 的介质柱半径 r_5=51nm 时，光子晶体边耦合双通道光波导传输系统可实现 81.74% 的耦合效率。

[0031] 如图 4 所示，本发明的光子晶体波导器件是在基底上制备数十个至数百个顺序排列的铝酸镧柱形成。基底由二氧化硅埋层（低折射率层）102 和衬底硅 101 构成。铝酸镧柱制备于二氧化硅埋层上，铝酸镧柱高度 h_1=220nm，二氧化硅埋层厚度 h_2=3μm，衬底硅厚度 h_3=600μm。

[0032] 图 5 为刻蚀划片槽所需光刻版示意图。光刻版为边长为 A=2cm 的正方形结构，正方形结构被分为 16 个正方形小单元，每个单元变长为 a=0.5cm。所设计的光子晶体边耦合双通道光波导传输系统制作于小单元内，经过划片一次曝光可得 16 组光子晶体边耦合双通道光波导传输系统。

[0033] 具体实施方式二、结合图 6 至图 9 说明本实施方式，本实施方式为具体实施方式一所述的光子晶体边耦合双通道光波导传输系统的具体制作过程：

[0034] 第一步，制备划片所需的划片槽；

[0035] （A）对衬底硅 101 为 600μm 厚，其上生长 3μm 厚二氧化硅埋层 102 的基底（如图 6a 所示）进行清洁处理；

[0036] （B）如图 6b 所示，在二氧化硅埋层 102 上利用溶胶凝胶法制备一层铝酸镧薄膜 103；

[0037] （C）如图 6c 所示，在铝酸镧薄膜 103 上制作一层厚度为 2-3μm 的光刻胶膜 104；

[0038] （D）将步骤（C）制作完成的结构放入烘箱中前烘；

[0039] （E）如图 6d 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；

[0040] （F）如图 6e 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；

[0041] （G）如图 6f 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 4μm；如图 6g 所示，去掉光刻胶膜 104 得到划片槽结构；

[0042] 第二步，制备 ICP 刻蚀铝酸镧柱所需的掩膜；

[0043] （H）如图 7a、7b 所示，在步骤（G）制备好的划片槽结构上制作一层厚度为 100nm 的光刻胶膜 201；

[0044] （I）将步骤（H）制备完成的结构放入烘箱中前烘；

[0045] （J）如图 7c 所示，对制备好的光刻胶膜 201 进行电子束曝光；

[0046] （K）如图 7d 所示，经过显影、坚膜，得到制作光子晶体边耦合双通道光波导传输系统主体结构所需的 ICP 光刻胶掩膜结构；

[0047] 第三步，制作光子晶体边耦合双通道光波导传输系统主体结构；

[0048] （L）如图 7e 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，得到铝酸镧柱 9；

[0049] （M）如图 7f 所示，将铝酸镧柱 9 上的光刻胶去除，并清洗；

[0050] 第四步，对要求尺寸精度高于（10nm）的铝酸镧柱进行单独加工：

[0051] （N）如图 8a、8b 所示，在步骤（M）得到的光子晶体波导结构上涂覆一层光刻胶 301 作为保护层；

[0052] (O)如图8c、8d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，将需要加工的铝酸镧柱(包括耦合区介质柱12、第一耦合介质柱11、第二耦合介质柱13、缺陷区介质柱和构成点缺陷的介质柱5，图中以介质柱5为例)所在区域暴露出来；

[0053] (P)如图8e、8f所示，利用聚焦离子束(FIB)工艺对需要加工的铝酸镧柱进行高精度加工使其达到所需尺寸，去除光刻胶；

[0054] 第五步，去除边缘区；

[0055] (Q)如图9a、9b所示，在步骤(P)得到的器件结构表面涂覆PMMA层401；

[0056] (R)如图9c、9d所示，对PMMA层401进行同步辐射X射线曝光、显影，在器件结构的光子晶体波导区域上制作一个保护层；

[0057] (S)按照划片槽划片，即得到16个由铝酸镧柱9构成的光子晶体波导结构；

[0058] (T)如图9e所示，将步骤(S)得到的器件结构放入磨片机中，分别用不同的抛光液进行侧面研磨及抛光，去除器件结构边缘区并使器件侧面平整；

[0059] (U)如图9f所示，对剩余的PMMA层401进行同步辐射X射线曝光，然后通过显影去除PMMA保护层、并对其进行清洗，得到本发明的光子晶体边耦合双通道光波导传输系统。

[0060] 本实施方式所述的电磁波从波导二区的耦合区进入由多个光子晶体谐振腔并联构成的耦合系统，与并联光子晶体谐振腔及光子晶体波导响应频率相同的电磁波经过数个并联光子晶体谐振腔，被耦合介质柱高效耦合进缺陷区；由于器件的左右对称性，耦合进缺陷区的电磁波在缺陷区中能够双向传播，并且由光子晶体波导左右两通道出射的电磁波能量相同。本实施方式所述的光子晶体边耦合双通道光波导传输系统也可以作为一种高效的T型波导。

[0061] 本发明不限于上述实施方式，光子晶体波导也可以是其他型，如W3型、W5型；中间缺陷区可以是光子晶体中去掉一行或多行介质柱形成，或者由大于或小于波导一区、波导二区介质柱的一行或多行介质柱构成；波导二区中点缺陷可以由一个尺寸不同的介质柱构成，也可以由多个尺寸不同介质柱构成，也可以通过去掉一个或多个介质柱构成；耦合区介质柱和第一、第二耦合介质柱尺寸可以大于或小于其他介质柱。因此，凡是在本发明权利要求1技术方案基础上作出的任何简单变形，都在本发明意图保护范围之内。

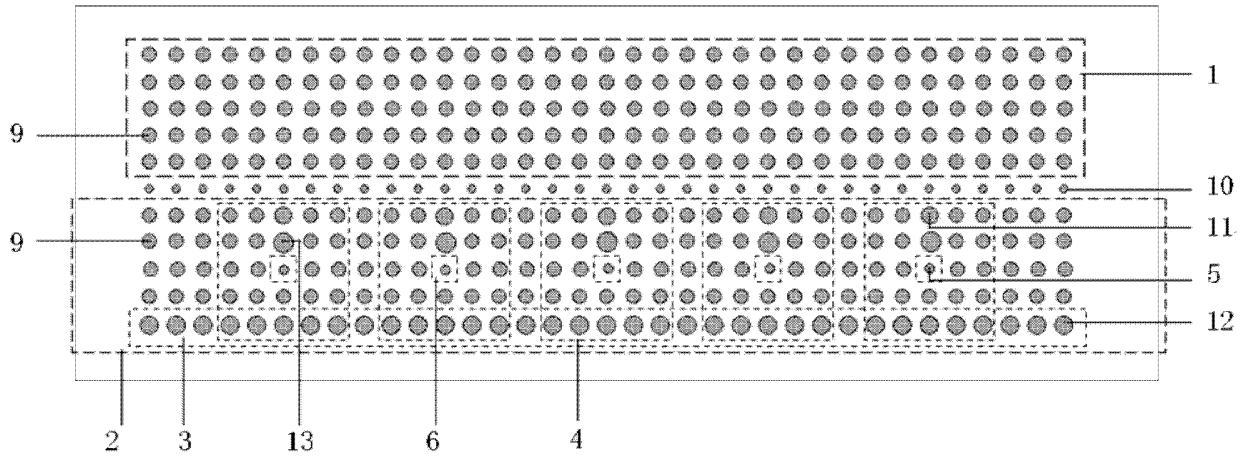


图 1

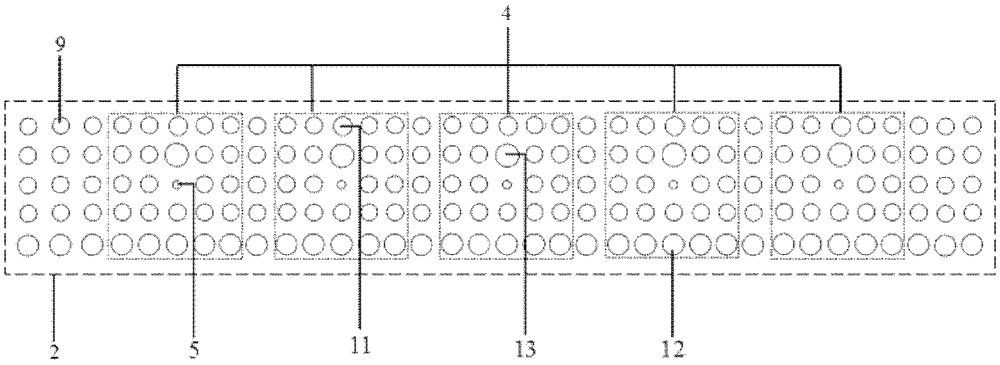


图 2

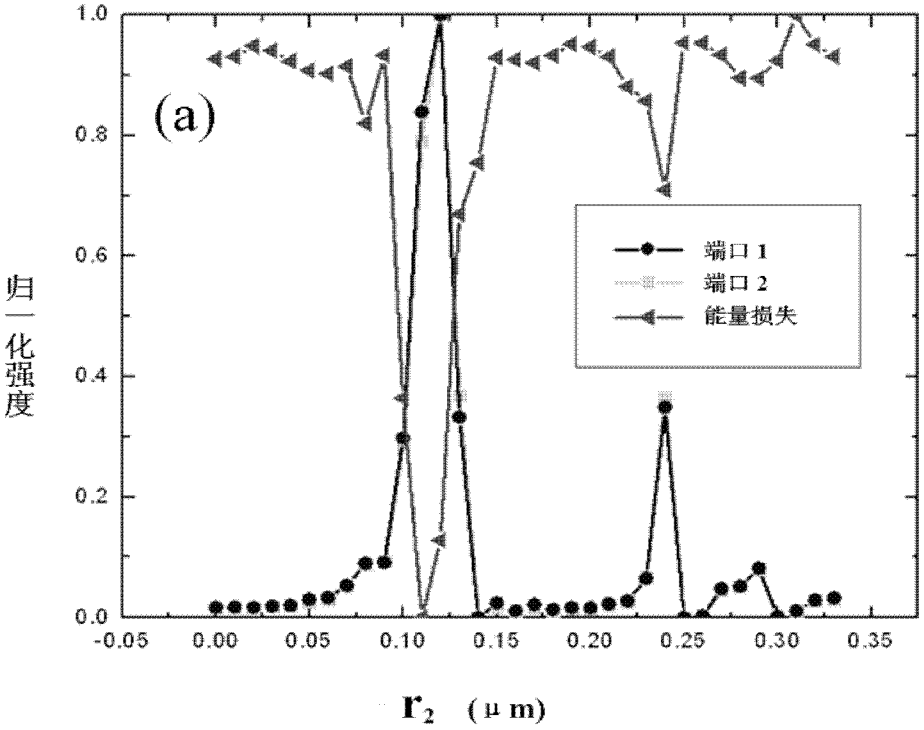


图 3a

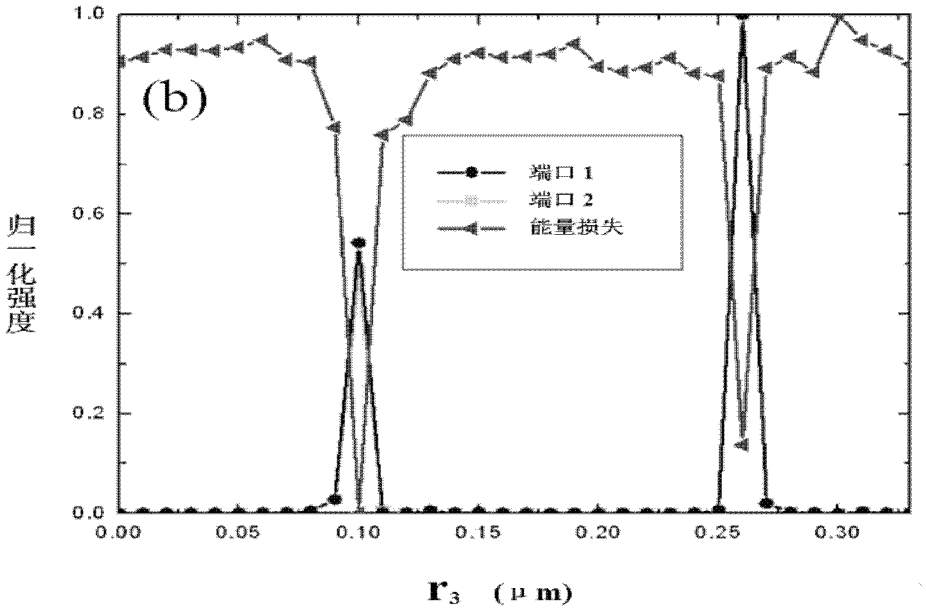


图 3b

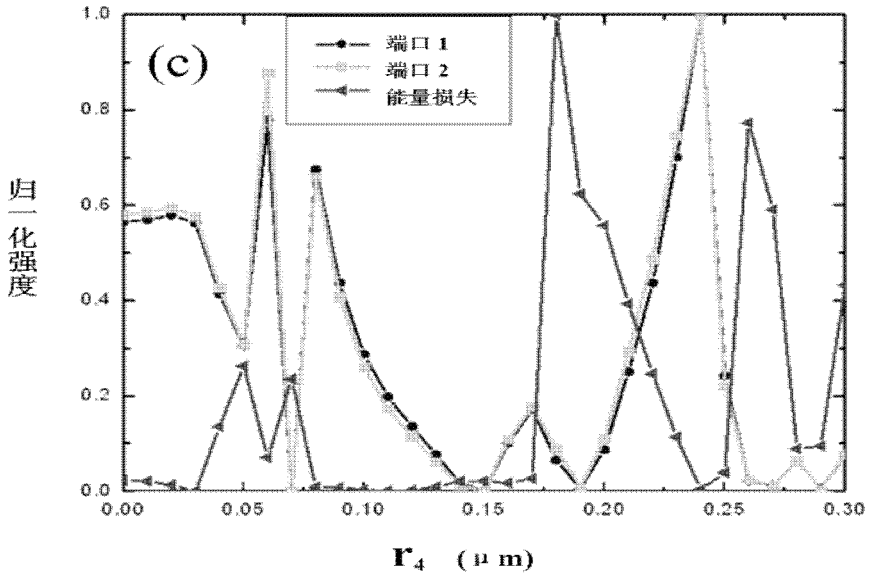

(c)
端口 1
端口 2
能量损失
归一化强度
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
r4 (μm)

图 3c

图 3

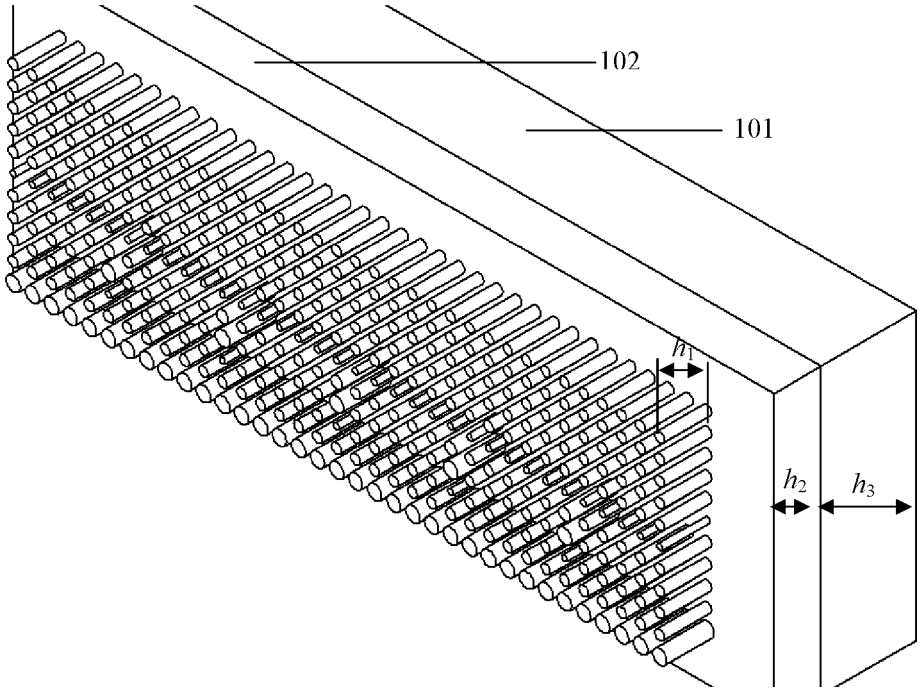

102
101
h1
h2
h3

图 4

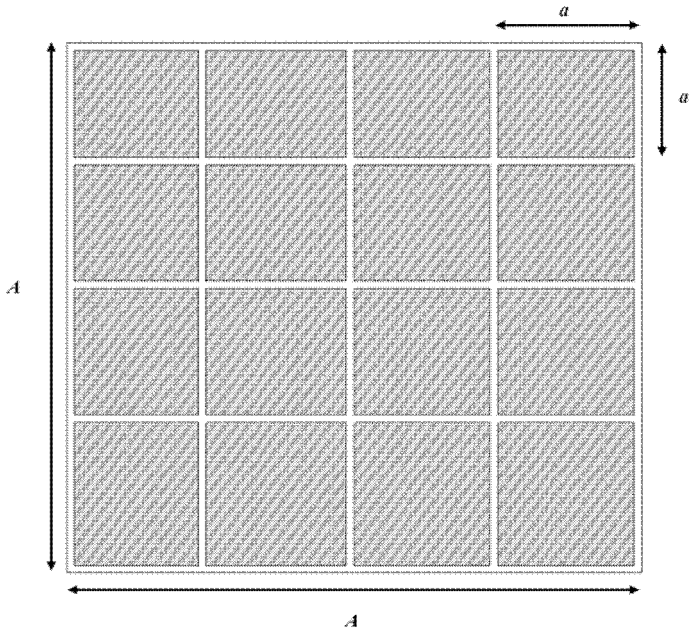


图 5

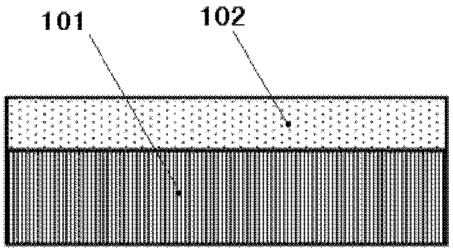


图 6a

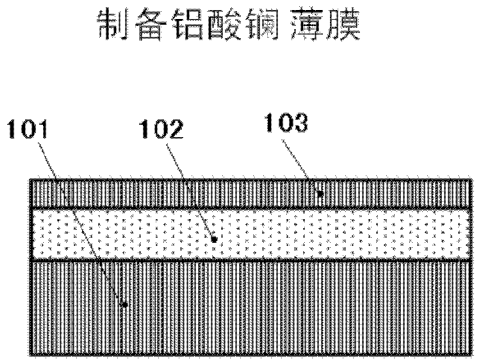


图 6b

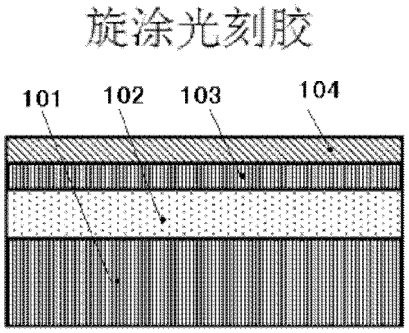


图 6c

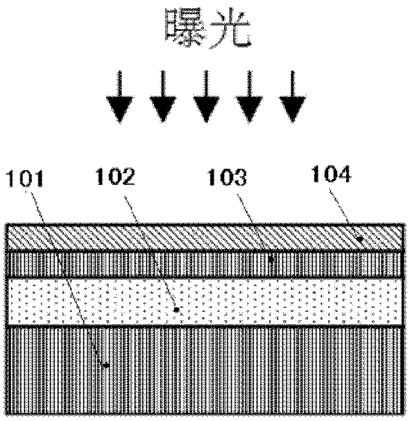


图 6d

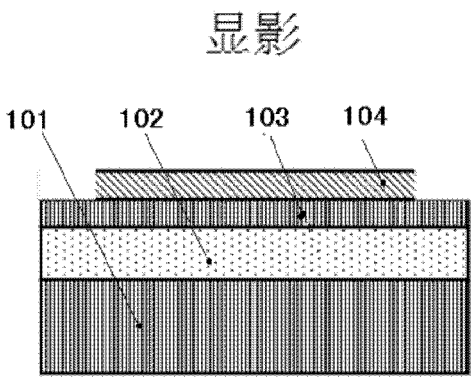


图6e

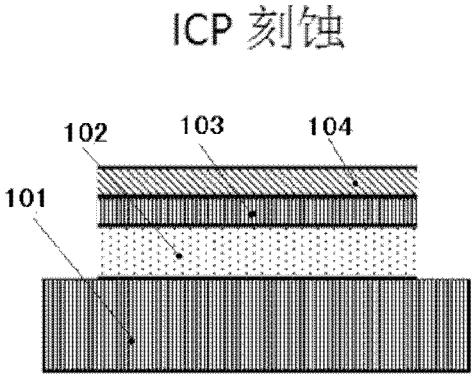


图6f

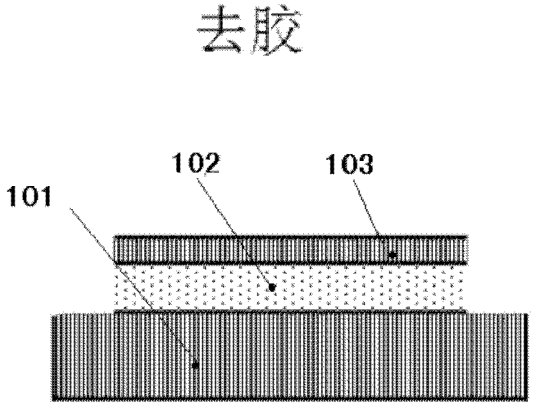


图6g

图 6

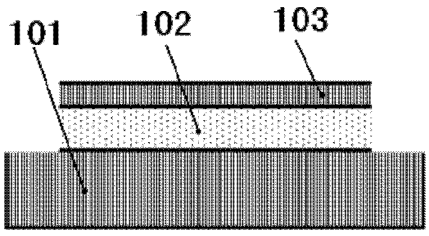


图 7a

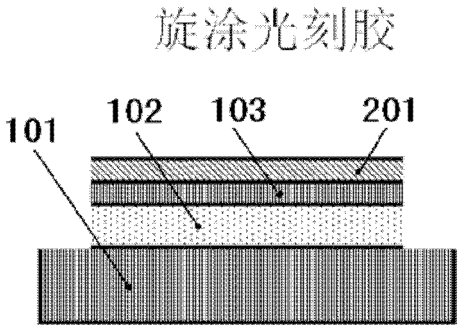


图 7b

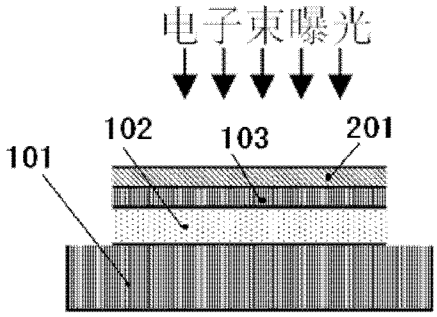


图7c

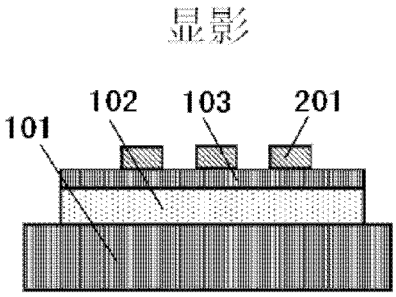


图7d

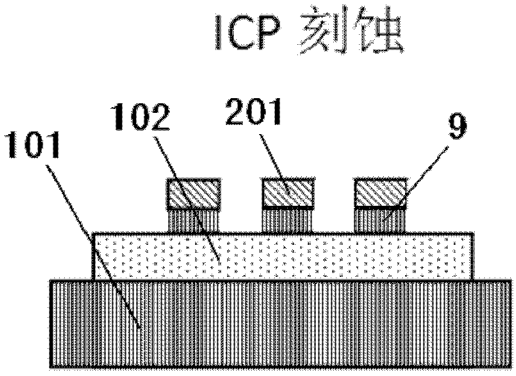


图7e

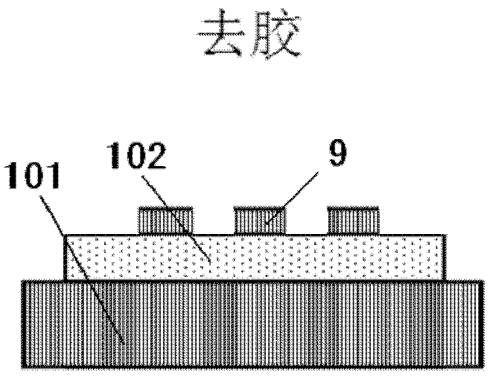


图7f

图 7

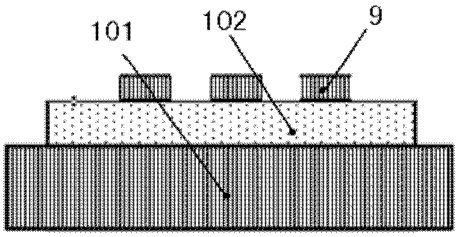


图 8a

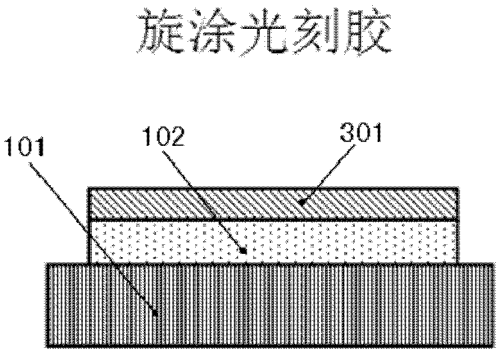


图 8b

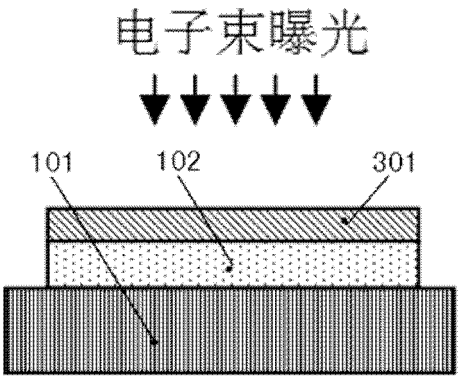


图8c

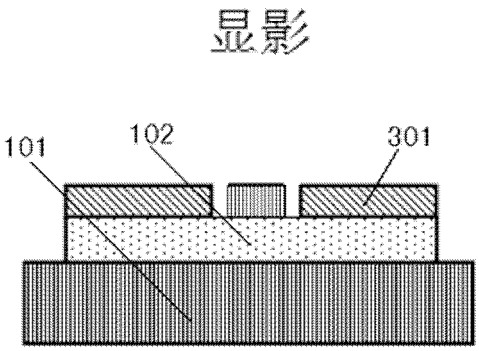


图8d

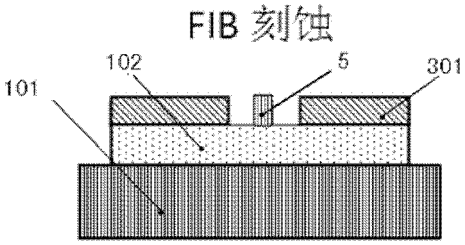


图8e

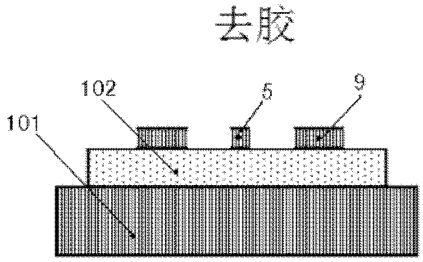


图8f

图 8

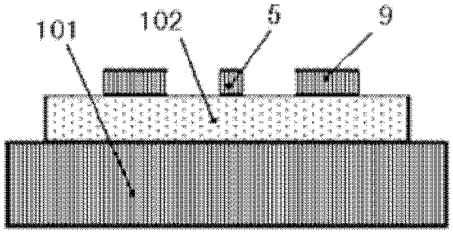


图 9a

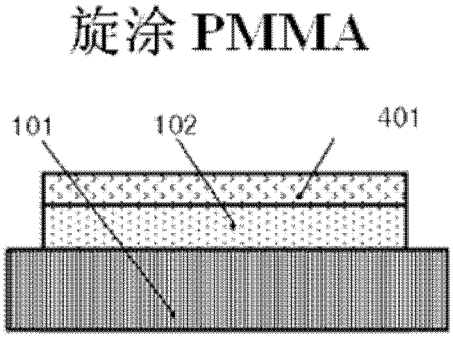


图 9b

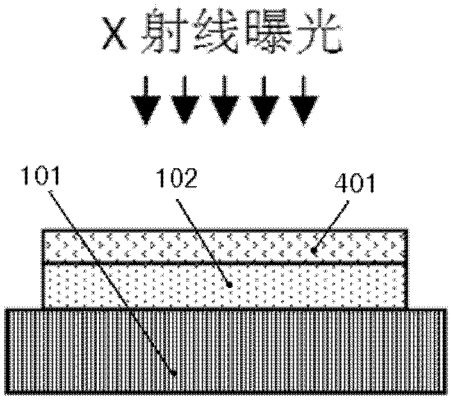


图9c

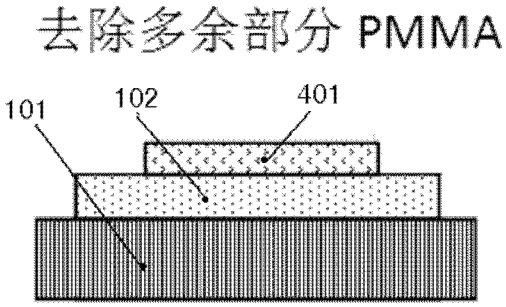


图9d

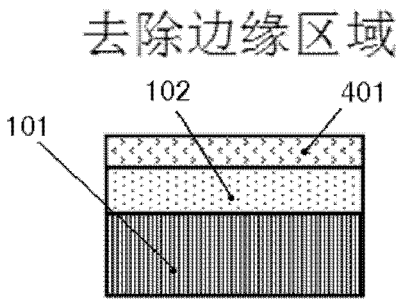


图9e

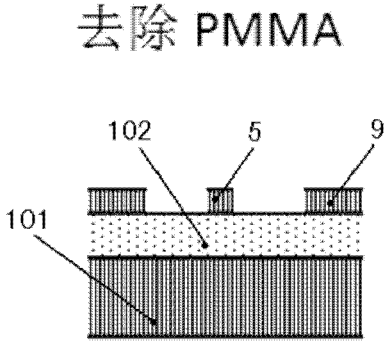


图9f

图 9