



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110546571 B

(45) 授权公告日 2021. 10. 22

(21) 申请号 201880011977.X

帕斯卡莱·斯内尔拉特

(22) 申请日 2018.02.12

谢里夫·贝拉塞尔

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110546571 A

(74) 专利代理机构 北京柏杉松知识产权代理事
务所(普通合伙) 11413

(43) 申请公布日 2019.12.06

代理人 谢攀 刘继富

(30) 优先权数据
17305169.9 2017.02.15 EP

(51) Int.Cl.

G03F 7/20 (2006.01)

B82Y 40/00 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.08.14

G02B 21/00 (2006.01)

G01N 21/64 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2018/053398 2018.02.12

G03F 9/00 (2006.01)

H01J 37/317 (2006.01)

H01J 37/26 (2006.01)

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/149777 EN 2018.08.23

(56) 对比文件

US 7160654 B2, 2007.01.09

US 2008157404 A1, 2008.07.03

EP 2738607 A1, 2014.06.04

CN 101573791 A, 2009.11.04

CN 101900938 A, 2010.12.01

(73) 专利权人 法国国家科学研究中心
地址 法国巴黎
专利权人 索邦大学
巴黎狄德罗大学-巴黎第七大学

审查员 周勇

(72) 发明人 阿涅斯·迈特雷
阿兰特·杰拉·达万

权利要求书2页 说明书10页 附图6页

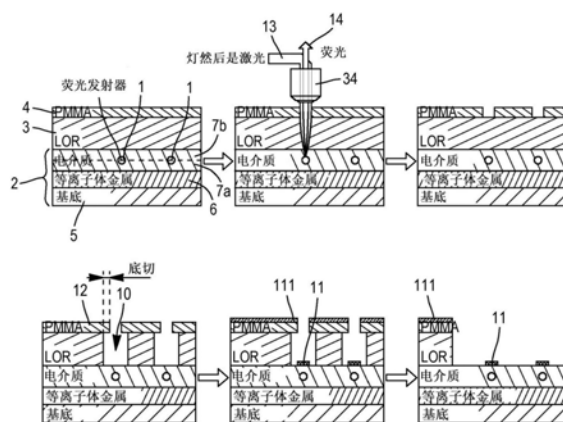
(54) 发明名称

适用于包含至少一个脆弱纳米结构体的样品的电子束光刻过程

(1) 的位置之上的下抗蚀剂层(3)的厚度。

(57) 摘要

本发明涉及在样品(2)上进行的光刻过程, 该样品(2)包括至少一个结构体(1)并且被至少下抗蚀剂层(3)和上抗蚀剂层(4)覆盖, 该过程包括: 通过光学装置(8), 以光学装置为参考对所选择的结构体(1)的位置和与样品(2)整合的标记的位置进行成像或确定; 通过电子束装置, 以电子束装置为参考对每个标记的位置成像或确定; 推导出以电子束装置为参考的所选择的结构体(1)的位置; 将所选择的结构体(1)的位置之上的上抗蚀剂层(4)暴露于电子束中以去除所选择的结构体(1)的位置之上的上抗蚀剂层(4)的所有厚度, 但是不去除或不完全去除所选择的结构体



CN 110546571 B

1. 一种在包含至少一个结构体(1)的样品(2)上进行的光刻过程,所述过程包括:
在样品(2)上放置至少两个抗蚀剂层(3、4),所述至少两个抗蚀剂层(3、4)包括与样品(2)接触的下抗蚀剂层(3)和在下抗蚀剂层(3)之上的上抗蚀剂层(4),
通过光学装置(8),接收来自选择的结构体(1)的辐射(14)并且以光学装置(8)为参考对所选择的结构体(1)的位置和与样品(2)整合的标记(21)的位置进行成像或确定,
通过电子束装置,以电子束装置为参考对每个标记(21)的位置进行成像或确定,
基于:
以电子束装置为参考的每个标记(21)的位置,和
以光学装置(8)为参考的所选择的结构体(1)的位置和标记(21)的位置,
推导出以电子束装置为参考的所选择的结构体(1)的位置,
通过电子束装置,将所选择的结构体(1)的位置之上的上抗蚀剂层(4)暴露于电子束,以便去除所选择的结构体(1)的位置之上的上抗蚀剂层(4)的所有厚度,但是不去除或不完全去除所选择的结构体(1)的位置之上的下抗蚀剂层(3)的厚度。
2. 根据权利要求1所述的过程,其特征在于,所述过程包括:在去除所选择的结构体(1)的位置之上的所述上抗蚀剂层(4)的所有厚度之后,包括去除所选择的结构体(1)的位置之上的所述下抗蚀剂层(3)的剩余厚度的至少一部分的另一去除步骤。
3. 根据前述权利要求中任一项所述的过程,其特征在于,以所述光学装置(8)为参考对所选择的结构体(1)的位置进行成像或确定包括获取对所述标记(21)和来自所选择的结构体(1)的荧光辐射(14)成像的图像的步骤。
4. 根据权利要求1或2所述的过程,其特征在于,所述标记(21)是通过光学光刻形成的。
5. 根据权利要求4所述的过程,其特征在于,所述标记(21)由同一光学装置(8)的激光器制成。
6. 根据权利要求1或2所述的过程,其特征在于,所述标记至少在上抗蚀剂层(4)上形成。
7. 根据权利要求1或2所述的过程,其特征在于,所述下抗蚀剂层(3)的厚度至少50nm。
8. 根据权利要求1或2所述的过程,其特征在于,所述上抗蚀剂层(4)的厚度小于5 μ m。
9. 根据权利要求1或2所述的过程,其特征在于,所述过程还包括:在将所述上抗蚀剂层(4)暴露于电子束中和去除所选择的结构体(1)的位置之上的所述上抗蚀剂层(4)的所有厚度的步骤之前,基于来自所选择的结构体(1)的辐射(14)来选择所选择的结构体(1)的步骤。
10. 根据权利要求9所述的过程,其特征在于,选择所选择的结构体(1)的步骤基于来自所选择的结构体(1)的辐射(14)的:
波长和/或
极化和/或
强度和/或
聚束或抗聚束发射特性,
和/或所选择的结构体(1)的估计寿命。
11. 根据权利要求1或2所述的过程,其特征在于,所述过程包括在所选择的结构体(1)的位置之上沉积金属贴片(11)的步骤,其中,在该位置处所述上抗蚀剂层(4)的所有厚度已

被去除。

12. 根据权利要求1或2所述的过程,其特征在于,所述至少一个结构体(1)包含在样品中的结构层(7a、7b)内。

13. 根据权利要求12所述的过程,其特征在于,所述至少一个结构体(1)包含在样品中的形成所述结构层的具有相同介电材料的两个结构层(7a、7b)之间。

14. 根据权利要求12所述的过程,其特征在于:

所述结构层(7a、7b)的一个第一侧与所述至少两个抗蚀剂层(3、4)中的一个下抗蚀剂层(3)接触,并且

所述结构层(7a、7b)的一个第二侧与金属层(6)或布拉格镜接触。

15. 根据权利要求1或2所述的过程,其特征在于,每个结构体(1)是量子点、纳米金刚石中的氮空位中心或荧光分子。

16. 根据权利要求1或2所述的过程,其特征在于,所述标记在所述下抗蚀剂层(3)和所述上抗蚀剂层(4)上形成。

适用于包含至少一个脆弱纳米结构体的样品的电子束光刻过程

技术领域

[0001] 本发明涉及光刻过程。

背景技术

[0002] 其中以纳米精度布置有单个(或聚集的)荧光纳米发射器(诸如量子点、纳米金刚石中的氮空位中心和荧光分子)的光子和等离子体纳米结构在诸如单光子发射和等离子体的许多领域中找到了应用,并且这些结构充当在单个发射器级别上研究光-物质相互作用的理想工具。制造这种结构的需要在将纳米发射器放置在结构内部时进行纳米级横向和纵向的控制。为此,必须在不破坏纳米发射器的同时,在纳米发射器周围进行光刻。当处理单个纳米发射器时,因为单个发射器不像发射器聚集体那样坚固和明亮,因此这项任务会变得非常困难。

[0003] 在诸如胶体CdSe/CdS量子点之类的易损的单个发射器上执行光刻是非常困难的,因为光刻必须在发射器正上方执行,但是激光强度需要达到执行光刻光漂白的程度,因此会破坏相关的发射器,从而使得这个过程失败。

[0004] 本发明的目的是提出一种光刻过程,该光刻过程能够优选地在纳米级在易碎发射器(特别是单个或单独发射器)上进行,与现有技术相比,其具有有限的光漂白或破坏发射器的风险。

发明内容

[0005] 本发明涉及在包含至少一个结构体的样品上的光刻过程,所述过程包括:

[0006] -在样品上放置至少两个抗蚀剂层,该至少两个抗蚀剂层包括与样品接触的下抗蚀剂层和在下抗蚀剂层之上的上抗蚀剂层,

[0007] -通过光学装置,接收来自所选择的结构体的辐射并以光学装置为参考对所选择的结构体的位置和与样品整合的标记(优选至少三个标记)的位置进行成像或确定,

[0008] -通过电子束装置,以电子束装置为参考对每个标记的位置进行成像或确定,

[0009] -基于:

[0010] o以电子束装置为参考的每个标记的位置,和

[0011] o以光学装置为参考的所选择的结构体的位置和标记的位置,

[0012] 推导出以电子束装置为参考的所选择的结构体的位置,

[0013] -通过电子束装置,将所选择的结构体的位置之上的上抗蚀剂层暴露于电子束中,以便去除在所选择的结构体的位置之上的上抗蚀剂层的所有厚度,但是不去除或不完全去除所选择的结构体的位置之上的下抗蚀剂层的厚度。

[0014] 根据本发明的过程可以包括:在去除所选择的结构体的位置之上的上抗蚀剂层的所有厚度之后,包括去除(优选地通过溶剂或化学溶液)所选择的结构体的位置之上的下抗蚀剂层的剩余厚度的至少一部分的另一步骤。

- [0015] 以光学装置为参考对所选择的结构体的位置进行成像或确定可以包括获取对标记和来自所选择的结构体的荧光辐射成像的图像的步骤。
- [0016] 所述标记能够通过光学光刻形成。
- [0017] 所述标记能够通过用于以光学装置为参考对所选择的结构体的位置进行成像或确定的同一光学装置的激光器制成。
- [0018] 所述标记能够至少在上抗蚀剂层上形成,优选地在下抗蚀剂层和上抗蚀剂层上形成。
- [0019] 所述下层的厚度能够至少50nm,优选至少200nm。
- [0020] 所述上层的厚度能够小于5 μ m,优选小于400nm。
- [0021] 根据本发明的过程能够包括:在将上抗蚀剂层暴露于电子束中和去除所选择的结构体的位置之上的上抗蚀剂层的所有厚度的步骤之前,基于所选择的结构体的辐射来选择所选择的结构体的步骤。
- [0022] 选择所选择的结构体的步骤能够基于所选择的结构体的辐射的:
- [0023] -波长和/或
- [0024] -极化和/或
- [0025] -强度和/或
- [0026] -聚束或抗聚束发射特性,
- [0027] 和/或所选择的结构体的估计寿命。
- [0028] 根据本发明的过程能够包括在所选择的结构体的位置之上沉积金属层(优选与样品接触)的步骤,其中,在该位置处所述上抗蚀剂层的所有厚度已被去除。
- [0029] 所述至少一个结构体能够包含在样品中的结构层内。所述至少一个结构体能够包含在样品中的形成所述结构层的具有相同介电材料的两个层之间。此外:
- [0030] -所述结构层的一个第一侧能够与至少两个抗蚀剂层中的一个层接触,和/或
- [0031] -所述结构层的一个第二侧能够与金属层或布拉格(Bragg)镜接触。
- [0032] 每个结构体能够是荧光发射器(如量子点、纳米金刚石中的氮空位中心或荧光分子),或能够通过透射或反射显微镜检测到的任何结构体(荧光或非荧光)。

附图说明

- [0033] 在审查了非限制性实施例的详细说明和附图后,本发明的其他优点和特点将显而易见,其中:
- [0034] -图1(a)至1(f)是样品2的侧视图,该图示出了根据本发明过程的过程的最佳实施方式的实施例的不同步骤;在制造等离子体贴片天线的特定情况下描述了该实施例,
- [0035] -图2示出了用于实现图1过程的步骤1(b)的光学装置8,
- [0036] -图3是用光学装置8制成的发射器1和标记21的荧光图像,
- [0037] -图4示出了在图3的荧光图像上绘制的电子束写入曝光图案,
- [0038] -图5是在对暴露于电子束中的部分顶部抗蚀剂层4(PMMA)蚀刻后样品2的反射显微镜图像,
- [0039] -图6是在底部抗蚀剂层3化学显影后工作区域的荧光显微镜图像,
- [0040] -图7示出了在电子束光刻(线19)之前和电子束光刻(线20)之后对所选结构体1

(CdSe/CdS量子点)的寿命的测量,

[0041] -图8(a)至8(d)是样品2的侧视图,该图示出了根据本发明的过程的实施例的变体的不同步骤,

[0042] -图9至11示出了能够通过根据本发明的过程制造的其他结构:

[0043] o图9是等离子体贴片天线的局部透视图(左)和侧视图(右),

[0044] o图10是金属-电介质天线的局部透视图(左)和侧视图(右),

[0045] o图11是Tamm结构的局部透视图(左)和侧视图(右)。

具体实施方式

[0046] 这些实施例绝不是限制性的,而是能够考虑本发明的变体,其仅包括对随后描述或示出的特征的选择,如果对特征的选择足以提供技术优势或者将本发明与现有技术区分开来,则该选择与其他描述或示出的特征隔离(尽管该选择是从包含这些其他特征的句子中作出的)。该选择包括至少一个特征,优选地是没有结构细节的功能特征或者仅具有结构细节的一部分的功能特征,如果该部分足以提供技术优势或者将本发明与现有技术区分开。

[0047] 下面将描述根据本发明过程的实施例,其中:

[0048] -通过荧光显微镜(使用汞灯15和适当的光学滤波器)对例如量子点(胶体或外延)的荧光发射器1(单个或聚集体)、荧光分子和具有特定性质(发射强度、波长、取向、极化等)的纳米金刚石中的氮空位中心进行成像,并且

[0049] -通过(由激光器17执行的)在覆盖发射器1的两层抗蚀剂3、4上的光学光刻来围绕发射器1生成对准标记21(用于电子束光刻)。

[0050] 使用包含所选的感兴趣的荧光发射器1和对准标记21的荧光显微镜图像来绘制电子束写入图案。在将对准标记21的扫描电子显微镜扫描与荧光显微镜图像对齐后,在嵌入在两层抗蚀剂3、4下面的选择的纳米发射器1上进行电子束光刻。上抗蚀剂层4是电子抗蚀剂,下抗蚀剂层3阻止电子束光刻的电子损坏其下方的荧光发射器1并且还用于剥离步骤。另外,执行光刻过程的沉积和剥离步骤并制造所需的装置。

[0051] 现在将参考图1至图7详细描述根据本发明的过程的实施例和用于实施根据本发明的该过程实施例的系统。

[0052] 根据本发明的该光刻过程实施例使用光学光刻和电子束光刻的组合来确定地将金属贴片11定位在单个或更多个荧光发射器1上。

[0053] 根据本发明的光刻过程实施例是在包含至少一个结构体1的样品2上实施的。

[0054] 每个结构体1是单个光发射器1(即,能够一次发射一个光子的结构)或聚合的光发射器1(由多个单个结构体1的集合形成)。每个结构体1优选地是单个光发射器1。

[0055] 每个发射器是纳米发射器,即,具有能够完全进入直径为100nm的球体内的体积的发射器。

[0056] 每个光发射器1是在吸收光子之后发光的物体。被吸收的光子能够是可见光的、紫外的、红外的、或者总的来说是来自电磁波谱的任何部分。

[0057] 每个结构体1通常是量子点、纳米金刚石中的氮空位中心或荧光分子。

[0058] 在图3至图7的实施例的特定情况中,每个结构1是胶体CdSe/CdS量子点,更确切地

说是CdSe/CdS核/壳胶体量子点。

[0059] 至少一个结构体1包含在样品2的结构层7a、7b内。

[0060] 如图1(a)所示,至少一个结构体1包含在样品中的两个层7a、7b之间,优选地两个层7a、7b具有形成结构层的相同介电材料,通常为PMMA(聚甲基丙烯酸甲酯)。

[0061] 样品2包括中间层6,中间层6包含在基底5(通常是硅晶片)和结构层7a、7b之间。中间层6是金属层6。在图3至图7的实施例的特定情况中,选择金(Au)作为等离子体金属。

[0062] 样品2的制备如下:

[0063] -在晶片5(例如,硅晶片)上,通过等离子体气相沉积来沉积等离子体金属(例如,金或银)的光学厚层6(~200nm)。

[0064] -然后在层6上沉积(例如,通过旋涂)介电材料层7a。层7a的典型厚度是0nm至2 μ m。

[0065] -然后在介电层7a的顶部,将单个或更多个荧光结构体1(例如,量子点、纳米金刚石中的氮空位中心等)分散到液体中(用于CdSe/CdS量子点的己烷;或甲苯或氯仿等)。对该分散液进行旋涂。

[0066] -然后沉积另一介电材料层7b。层7b的典型厚度是0nm至200nm。最后,获得了具有嵌入的单个结构体1或更多个荧光结构体1的介电材料的层7a、7b。

[0067] 如图1(a)所示,根据本发明的过程的实施例包括在样品2上放置至少两个抗蚀剂层3、4的步骤。

[0068] 至少两个的抗蚀剂层3、4包括两种不同抗蚀剂的两层,这两层包括与样品2接触的下抗蚀剂(LOR)的下层3和在下层3上(优选地与其接触)的上抗蚀剂(PMMA)的第二(或上)层4。

[0069] 更确切地说,在介电层7a、7b之上,旋涂并烘烤LOR®5A抗蚀剂的层3(厚度约500nm)。LOR®5A是MicroChem公司生产的商用光刻剥离抗蚀剂。

[0070] 在LOR®5A层3之上,旋涂并烘烤50nm厚的PMMA(聚甲基丙烯酸甲酯)层4。

[0071] 下层3比上层4厚(优选至少三倍厚)。

[0072] 在该步骤中:

[0073] -结构层7a、7b的一个第一侧与下抗蚀剂层3接触。

[0074] -结构层7a、7b的一个第二侧与金属层6接触。

[0075] 第二(或上)层4的厚度小于400nm,优选小于100nm,更优选小于60nm。假设能够观察到抗蚀剂层之下的发射器,抗蚀剂层4的厚度的选择取决于抗蚀剂的性质(其化学性质和密度)和光束的电子的能量。为了确认抗蚀剂层3和4的厚度以及电子暴露参数(电子电压、工作距离、孔径、电子剂量),进行剂量测试。数次剂量测试的结果允许限定抗蚀剂3、4的类型和厚度。

[0076] 层4的厚度通过实验选择足够地薄,以便允许通过光学显微镜对抗蚀剂3、4之下的发射器1进行成像。

[0077] 上抗蚀剂4是电子抗蚀剂(即,对电子束光刻敏感的抗蚀剂;或者换句话说,能够在其上进行电子束光刻的抗蚀剂)。通过将该抗蚀剂4局部地暴露于电子束的低能电子中,能够预期地去除暴露的部分。因为使用非常薄的上抗蚀剂层4,低电子剂量曝光是可行的。因为不仅仅依靠将抗蚀剂4暴露于电子束光刻以在电子抗蚀剂4中生成底切12,因此能够使用薄膜电子抗蚀剂。正如将在下面看到的,通过化学蚀刻下抗蚀剂3来在电子抗蚀剂4中生成

底切12,并且因此成功的剥离成为可能。

[0078] 第一(或下)层3的厚度至少为50nm,优选至少200nm,更优选至少400nm。下抗蚀剂3防止电子破坏性地渗透到发射器1(其位于下抗蚀剂3正下方)中。通过使用适当的溶剂,下抗蚀剂3被选择性地去除并创建计划好的结构。此外,下抗蚀剂3的去除在上抗蚀剂4中生成底切12,并且这有助于最终的剥离。

[0079] 下抗蚀剂3能够是电子抗蚀剂,但这不是必需的。

[0080] 在以下两个约束之间通过实验选择层3的厚度:

[0081] -足够薄以便允许通过光学显微镜对抗蚀剂3、4之下的发射器1进行成像,并且

[0082] -足够厚以防止电子破坏性地渗透到发射器1中。

[0083] 下抗蚀剂3和/或上抗蚀剂4是光学光刻抗蚀剂,即,能够通过以适当波长和强度(激光器17)的电磁波来曝光或燃烧的抗蚀剂,以便至少在上抗蚀剂4中生成孔或标记21(优选至少三个标记,如下文所述)。

[0084] 标记21对于光学和电子显微镜是可见的。

[0085] 在该特定实施例中,下抗蚀剂(LOR)是能够被适当强度的光学(紫外)激光束燃烧的光学抗蚀剂,使得由下抗蚀剂吸收激光产生的热量蒸发位于加热区域上方的上抗蚀剂(PMMA),从而在上抗蚀剂中留下孔。

[0086] 至少两个抗蚀剂层3、4的发光非常低。因此,能够容易地观察到相对不太明亮的单个荧光发射器1,而没有任何非预期的曝光问题。

[0087] 根据本发明的过程实施例还包括将样品2放入光学装置8中的步骤,更准确地说将样品2放在机动平台33上的步骤。

[0088] 图2示出了光学装置8。光学装置8包括平台33、显微镜35、显微镜35的物镜34和激光器17。

[0089] 平台33是位于物镜34前面的压电平台33。

[0090] 如图1(b)所示,根据本发明的过程实施例包括以下步骤:

[0091] -由光学装置8接收来自每个结构体1的荧光辐射14,样品2位于平台33上

[0092] -通过激光器17(优选地光学装置8)进行光学光刻,以至少在上抗蚀剂层4上(并且优选地也在下抗蚀剂层3上)制作标记21,样品2和之前一样位于平台33上。这避免了创建金属对准标记的额外步骤,该步骤对样品2具有破坏性,因为在清洁沉积的光刻残留物的过程中会损坏样品2并留下不需要的残留物。

[0093] 通过荧光显微镜(使用显微镜35的显微镜灯15)对样品2成像,并且在显微镜35的照相机16上约 $90 \times 60 \mu\text{m}^2$ 的区域内观察发射器1。选择发射器1的具有适当密度的区域,并且在该区域的边缘处,利用被显微镜物镜34聚焦的激光器17烧制包括孔21的三个二维点阵18的对准标记(光学光刻)。

[0094] 图2示出了:

[0095] -来自灯15的激发光束13激发发射器1以进行成像或确定其位置;图2仅是示意性的,物镜34利用激发光束13同时照射数个发射器。

[0096] -光束13激发每个发射器1发射并且由物镜34收集的荧光14。

[0097] 在样品2上,通过将样品2暴露在激光器17的聚焦光束(4.5至5mW,连续波,405nm激光)3秒钟来烧制点阵18的每个孔21。成像区域的大小取决于CCD摄像机16和成像光学系统

的视场。

[0098] 图3是发射器1和烧制的孔21的点阵的荧光图像。用100x的物镜34对样品2成像。给定光学装置8, CCD摄像机16的图像上的1392x1040像素对应于 $92.17 \times 68.86 \mu\text{m}^2$ 的实际大小。由此推断出CCD摄像机图像上的1个像素的长度为66.21nm。

[0099] 根据本发明的过程实施例还包括以光学装置8为参考来成像或确定每个结构体1和与样品2整合的标记21的位置的步骤。

[0100] 以光学装置8为参考来成像或确定每个结构体1的位置包括获取对标记21和来自每个结构体1的荧光辐射14成像的图像的步骤。

[0101] 来自每个点阵18的一个角孔21充当用于即将进行的电子束光刻的对准标记。每个点阵18中的孔21的数量是不同的,这使得可对其进行区分:这可以在CCD(电荷耦合器件)摄像机图像中指定每个荧光发射器1的位置并且有助于在整个协议中定向样品2。

[0102] 根据本发明的过程实施例还包括(在将上抗蚀剂层4暴露于电子束中和去除每个所选结构体1之上的上抗蚀剂层4的所有厚度之前)选择至少一个所选结构体1暴露于电子束光刻的步骤,该选择基于所选结构体1发射的检测光14。

[0103] 选择至少一个所选结构1的步骤基于每个所选结构体1发射并由光学装置8检测到的光14的:

[0104] -波长和/或

[0105] -极化和/或

[0106] -强度和/或

[0107] -聚束或抗聚束发射特性,

[0108] 和/或每个所选结构体1的估计寿命。该寿命估计能够基于时间分辨荧光测量。

[0109] 从发射器1和对准标记21的CCD摄像机荧光显微镜图像,使用兼容软件生成电子束曝光图案。对该图像尺寸进行校准并且将其中心视为原点。相应地为待曝光的纳米晶体1分配坐标。在每个所选择的结构体1周围,绘制要被曝光区域的形状。

[0110] 例如,如图4所示:

[0111] 以不同的所选结构体1为中心分别绘制

[0112] -许多直径为600nm的圆22,

[0113] -许多直径为1000nm的圆23,和

[0114] -许多直径为1500nm的圆24。

[0115] 在荧光图像上,在三个对准孔21(每个点阵18一个孔21)的相应中心处放置标识。Raith ELPHY Quantum软件被用于此任务。图4示出了在荧光图像上绘制的电子束写入曝光图案。

[0116] 根据本发明的过程实施例还包括将样品2放入电子束显微镜装置(未示出)中的步骤。

[0117] 根据本发明的过程实施例包括通过电子束装置以电子束装置为参考成像或确定每个标记21的位置的步骤。

[0118] 用扫描电子显微镜快速扫描样品2,并观察对准点阵18。扫描应该快速且非常优化,因为在相同区域上的慢速扫描或多次扫描,尤其是在高电压情况下,会暴露扫描的PMMA并使该区域不能用于光刻。在对准孔21上进行放大之后,标记位置被确认,从而使扫描电子

显微镜的输出通过电子束光刻软件与荧光图像相对应。电子束暂时被切断。

[0119] 根据本发明的过程实施例包括基于：

[0120] o以电子束装置为参考每个标记21的位置，和

[0121] o以光学装置8为参考每个所选结构体1的位置和标记21的位置，

[0122] 来以电子束装置为参考推断每个所选结构体1的位置的步骤。

[0123] 根据本发明的过程实施例还包括通过电子束装置，将每个所选结构体1的位置之上的上抗蚀剂层4暴露于电子束中的步骤。

[0124] 然后，写入过程指令电子束以指定的曝光电荷剂量曝光图案。此过程大约耗费1分钟。下面提到的是已使用成功的电子束参数：

[0125] 电压=10kV

[0126] 工作距离=8mm

[0127] 光圈=10 μ m

[0128] 写场=100 μ m

[0129] 每个圆的顶点数=128

[0130] 暴露剂量(也称面积剂量,见下表)

[0131]

圆直径 (nm)	曝光剂量 ($\mu\text{C}/\text{cm}^2$)
600nm (图4的圆22)	45 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$
1000nm (图4的圆23)	40 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$
1500nm (图4的圆24)	30 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$

[0132] 这里所述的电子束曝光参数是针对于50nm厚的PMMA层(加权平均摩尔质量, $M_w = 101000$)和500nm的LOR5A(厚度防止电子破坏下面的发射器)。

[0133] 在研究了使层4充分暴露但不会使单个发射器1的荧光恶化的参数之后,确定了这些电荷剂量值。

[0134] 厚度为 t_{RU} 的上抗蚀剂4是电子抗蚀剂。在电子束光刻步骤中,厚度为 t_{RL} 的下抗蚀剂3保护所关注的结构体1免受电子破坏。选择的电子剂量的量至少是暴露上抗蚀剂4所需的量。对于给定厚度的上抗蚀剂4和电子剂量,选择下抗蚀剂3的厚度和类型,使得进行电子束光刻的结构不会被电子束的电子完全破坏。

[0135] 根据本发明的过程实施例还包括通过溶剂或化学溶液去除先前提供给电子束的至少两个抗蚀剂层3、4的所有部分的步骤,即,去除每个所选结构体1的位置之上的上抗蚀剂层4的所有厚度但是不去除或不完全去除每个所选结构体1的位置之上的下抗蚀剂层3的厚度:在电子束曝光之后,将样品2从电子束显微镜装置中取出,倒转地浸入20至21 $^{\circ}$ C的MIBK(甲基异丁基酮)和异丙醇(以1:3的比例混合)的溶液中并摇动45秒。然后,通过将样品2浸入异丙醇溶液中对其进行清洁,并吹干。此过程去除曝光过的PMMA,并标记图1(c)步骤结束。在图5中给出了用MIBK蚀刻电子束曝光层4(PMMA)后的反射显微镜图像。

[0136] 根据本发明的过程实施例还包括通过与先前的溶剂或化学溶液不同的另一溶剂或化学溶液,去除每个所选结构体1的位置之上的下抗蚀剂层3的部分或全部剩余厚度。

[0137] 通过将样品2(倒转地)浸入Microposit[®] MF[®]319(由Shipley Co.制造的商业显影剂)溶液中持续3到5秒,来去除在PMMA中的蚀刻孔22、23、24之下的层3(LOR[®]5A)。这

样可以去除蚀刻层4 (PMMA) 之下的层3 (LOR®5A), 并在每个选定的发射器1之上在层3中生成孔10和在层4 (PMMA) 中生成底切12, 如图1 (d) 的步骤所示。

[0138] 图6的图像是在层3 (LOR®5A) 显影后工作区域的荧光显微镜图像。层3 (LOR®5A) 的材料是发光材料。因此, 将其从一些区域去除会使该区域在图像中看起来较暗。图6示出了显影的孔22、23、24内部的几个所选发射器1 (白点)。

[0139] 如图1 (e) 所示, 根据本发明的过程实施例还包括使金属层11 (或“贴片”11) 与样品2接触并且沉积在每个所选结构体1位置上方的步骤, 其中, 已去除第一抗蚀剂层3和第二抗蚀剂层4的所有厚度。

[0140] 通过物理气相沉积来沉积等离子体金属贴片11和膜111。

[0141] 如图1 (f) 所示, 然后将样品2倒置浸入MF®319的溶液中并摇动约50秒以进行剥离。该过程从位于每个所选发射器1之上的等离子体金属贴片11附近去除层3 (LOR®5A)、层4 (PMMA) 和等离子体金属膜111, 从而生成等离子体金属贴片天线。

[0142] 图7示出了在电子束光刻之前 (线19) 和电子束光刻之后 (线20) 所选结构体1 (CdSe/CdS量子点) 的寿命的测量。在这两种情况下, 注意到寿命为11ns, 这表明由于电子暴露预防策略, 本发明不会损坏或改变发射器1。寿命估计通过时间分辨荧光测量来完成。

[0143] 尽管根据本发明的过程包括电子束光刻, 但是在其上进行光刻的发射器1免受直接和破坏性的电子暴露。因此, 该技术甚至能够用于受直接电子暴露损坏的发射器1。根据本发明, 电子束光刻能够用于确定性地制造单个发射器结构而不直接和破坏性地将发射器1暴露于写光束的电子, 并且这由于对发射器1的成像不是使用传统的扫描电子显微镜的方法 (其涉及电子与发射器的直接相互作用, 扫描电子显微镜和电子束光刻是在同一机器中进行的) 而是利用光学激发和检测来实施的而可行。根据本发明过程的实施例, 光学荧光图像用作电子束写入图案, 并且所选区域暴露于预先配置的电子剂量中, 由于发射器1由下抗蚀剂厚层3保护, 从而使抗蚀剂4暴露而不会损坏下面的发射器1。

[0144] 根据本发明的过程达成了实现等离子体 (或光子) 纳米结构的目标, 其中, 纳米发射器1被确定地精确地放置在谐振电磁场最大的位置处, 因此发射器1和场之间的相互作用也是最大的。将发射器1确定性地在纳米结构内定位意味着能够选取具有期望特性 (如发射波长、寿命、极化等) 的特定选择纳米发射器1, 并且在纳米发射器的横向和纵向定位的控制下将其包括在制造的纳米结构内部。通过本发明可获得的光刻尺寸受到电子束光刻的分辨率的限制 (其具有比光学光刻更高的分辨率)。

[0145] 本发明能够在室温或超低温下使用。

[0146] 本发明允许从随机分布的发射器1中选择任何发射器1 [易碎或健壮的, 单一或聚集的] 并在其上方执行光刻。尽管在图1 (a) 至图1 (f) 中, 发射器1看上去是对齐的, 但是这些发射器也能够是随机定向的。

[0147] 本发明在室温下工作。

[0148] 本发明也可在低温下工作。

[0149] 当然, 本发明不限于刚才描述的实施例, 并且可以在不超出本发明范围的情况下对这些实施例进行许多修改。

[0150] 本发明不限于图1 (f) 的天线的制造。

[0151] 本发明可用于制造采用单个或更多个荧光结构体1(例如量子点、纳米金刚石中的氮空位中心等)的各种光子结构体。这种光子结构体的示例是单结构等离子体贴片天线、金属-电介质天线、Tamm结构体等。

[0152] 通过更好地校准荧光显微镜图像上的距离(通过使用更合适的光学元件,子像素分辨率)和对光学标记更精确的电子显微镜扫描,能够显著地提高技术精度。

[0153] 以下场景/装置将受益于本发明:

[0154] 1) 需要对装置内部的结构进行控制和最佳定位的任何单个结构装置。

[0155] 2) 包含期望的单光子源和用于量子信息的纠缠光子源的单结构发光装置。

[0156] 3) 单光子探测器和光子态探测器。

[0157] 4) 具有一组最佳耦合到空腔的结构的微型激光器。

[0158] 5) 需要对敏感和低发光结构(例如胶体量子点、荧光分子等)精确的纳米级定位的各种纳米结构装置。

[0159] 在能够组合的不同变体中:

[0160] -如图8(a)(对应于图1(a)的步骤)、图8(b)(对应于图1(c)的步骤)、图8(c)和图8(d)所示,至少两抗蚀剂层能够包括三个或更多个抗蚀剂层。例如,下层3能够被分成数个层3a、3b,并且图1(d)的化学显影步骤可以分离成图8(c)和图8(d)的数个化学显影步骤,使得底部抗蚀剂3a、3b依次通过化学显影进行蚀刻,以获得感兴趣的区域;和/或

[0161] -如图9所示,根据本发明的过程能够在同一样品2上制造多个天线;和/或

[0162] -如图10所示,根据本发明的过程能够包括将介电层37沉积在金属层11之上并与金属层11接触的步骤,以便获得至少一个金属-电介质天线,金属层11优选地是每个天线的封装层11;为了在每个贴片11上放置介电帽37,要进行两次光刻:首先用于放置贴片11,然后用于将介电帽37放置在贴片11上;和/或

[0163] -如图11所示,样品2的层6不必是金属的,并且可以不存在或者可以例如用布拉格(Bragg)镜9替换以获得至少一个Tamm结构;和/或

[0164] -在制造的结构中,抗蚀剂3、4、基底5、金属膜6、介电层7a、7b和贴片11的厚度能够根据需要进行修改。这同样适用于材料和形状。例如,基底能够是任何合适的材料,如Si、玻璃、Ag等;和/或

[0165] -结构体1上的贴片11能够是任何等离子体金属,如Au、Ag、Al、Pt等或一些其他新材料;和/或

[0166] -层11能够是非金属和/或半导体和/或介电层11;和/或

[0167] -在层5或6上直接放置较大结构体1的情况下,可以不存在层7a、7b;和/或

[0168] -可能结构体1的集合包括比量子点、纳米金刚石中的氮空位中心或荧光分子具有更多可能性;和/或

[0169] -每个结构体1不必是光或荧光发射器1,和/或从结构体接收的辐射14不必是荧光但能够是透射或反射的辐射。能够针对非发射器结构体1来扩展本发明的范围,能够通过反射远场光学显微镜或透射显微镜来对其进行成像以确定其相对于光学器件8的位置。如果使用透射光学显微镜进行光学成像,则层5、6、7a和/或7b是足够透明的。本发明不仅限于荧光发射器1;其他物体(可以不是荧光发射器,并且可以表现出或不表现出对光的敏感性)也可受益于本发明。例如,结构体1能够是其上附着有一些非荧光分子的金属盘:这些分子能

够因为与电子的相互作用而破坏或转化,因此通过光学光刻生成对准标记21并用反射显微镜对盘1和对准标记21成像。该图像用于绘制电子束曝光图案,并且通过电子束光刻将金属贴片11放置在分子上方的所期望的位置;因此,前面描述中的表述“发射器”或“荧光发射器”可以推广到任何结构;和/或

[0170] -不必去除在所选结构体1的位置之上的下抗蚀剂层3的所有剩余厚度。例如,为了增加所选发射器1之上的金属贴片11的垂直距离,可以留下发射器1之上的层3的一部分;和/或

[0171] -可以将发射器1夹在层7a(例如SiO₂)和层7b(例如PMMA)之间,而没有层5和/或6。

[0172] 当然,本发明的不同特征、形式、变体和实施例能够各种组合形式彼此组合直至它们不相容或相互排斥。特别地,上述所有变体和实施例是可彼此组合。

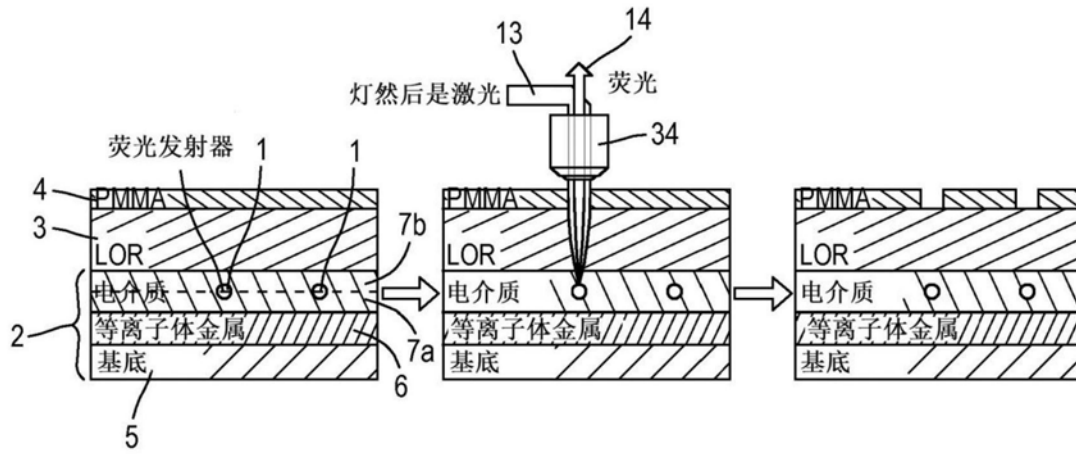


图1a

图1b

图1c

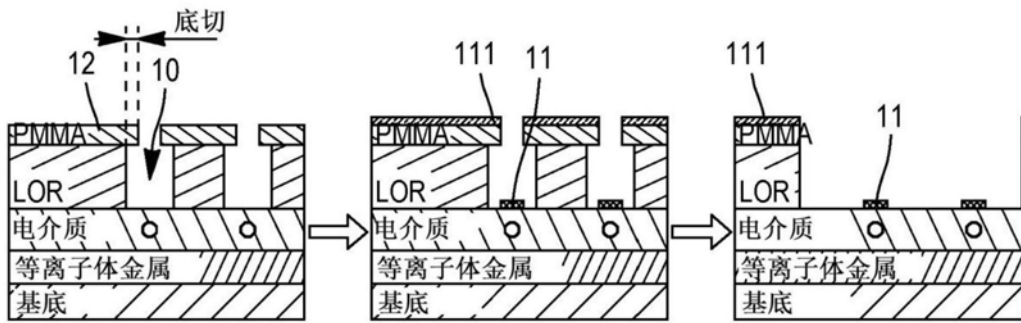


图1d

图1e

图1f

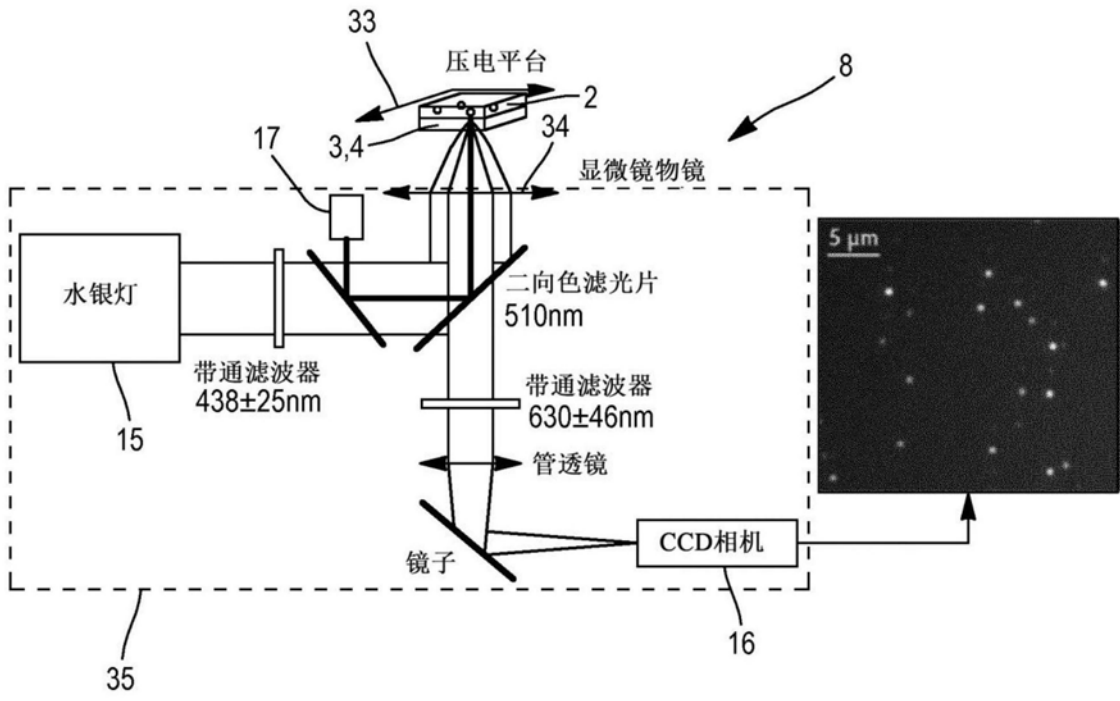


图2

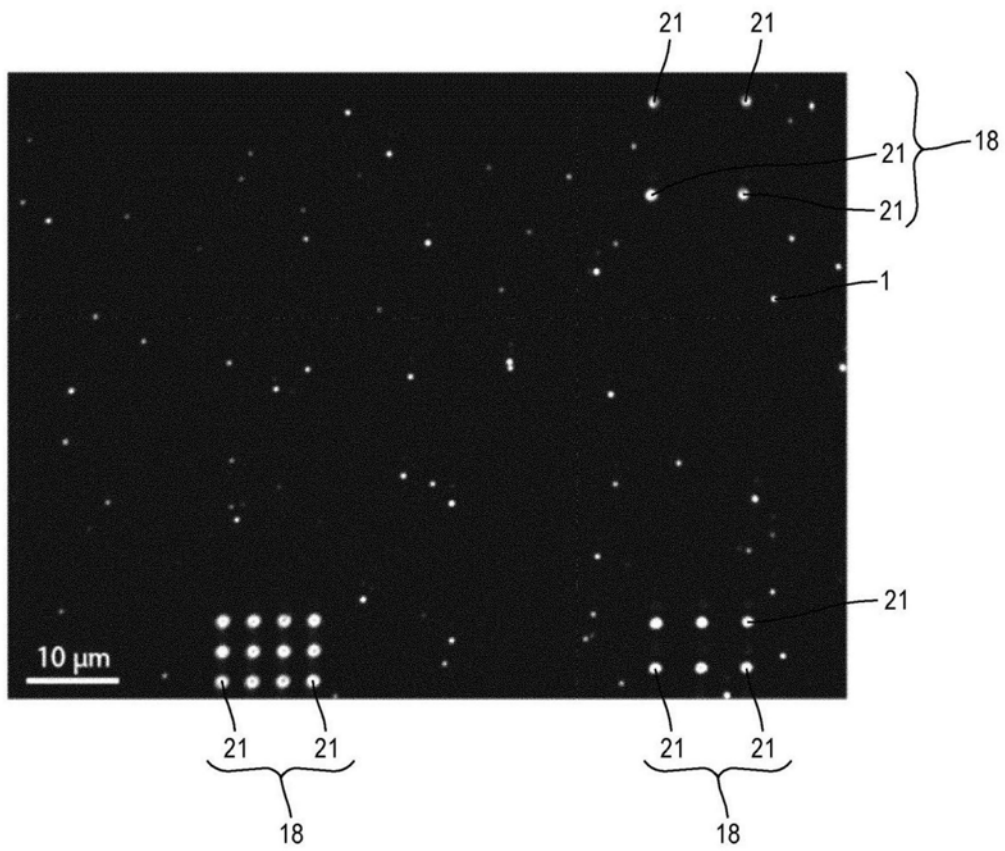


图3

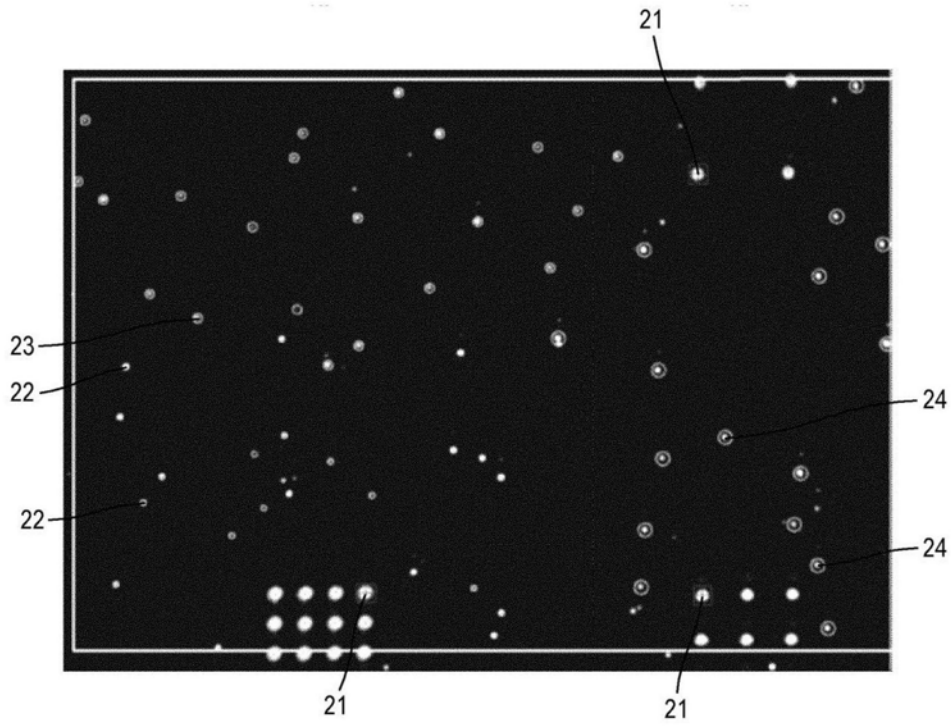


图4

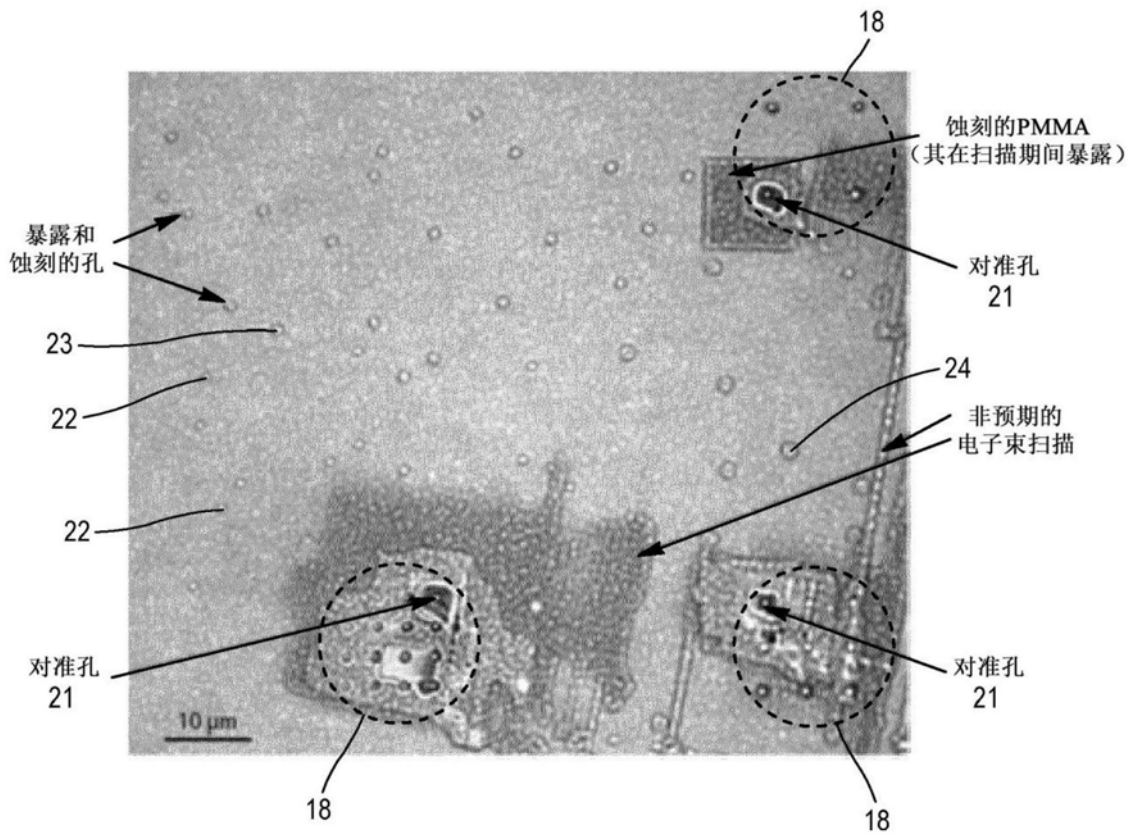


图5

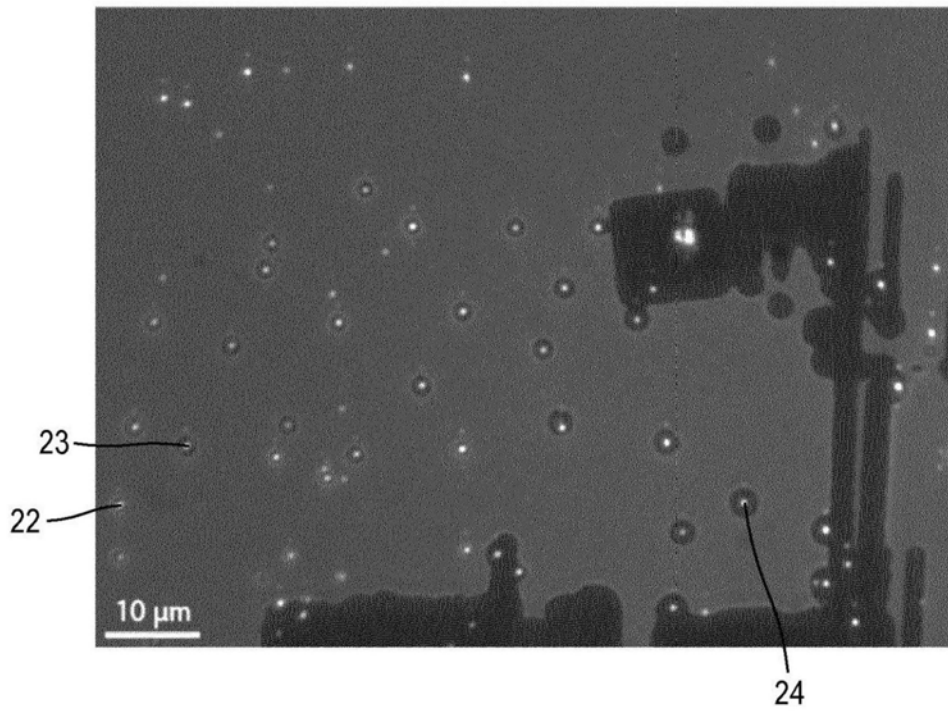


图6

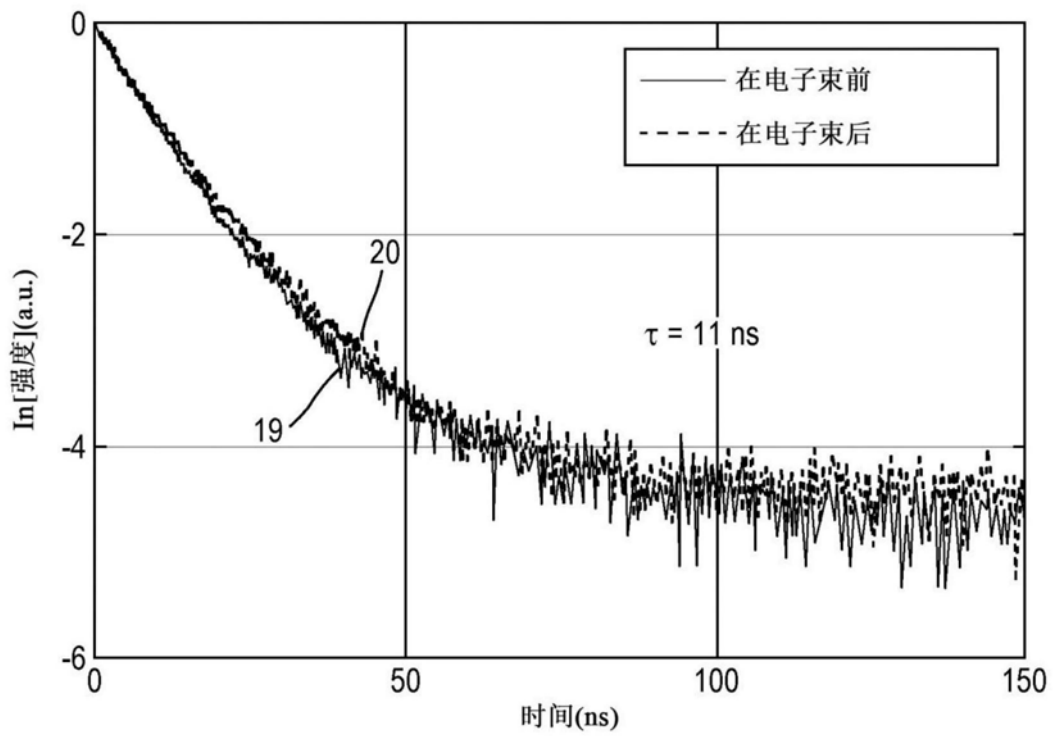


图7

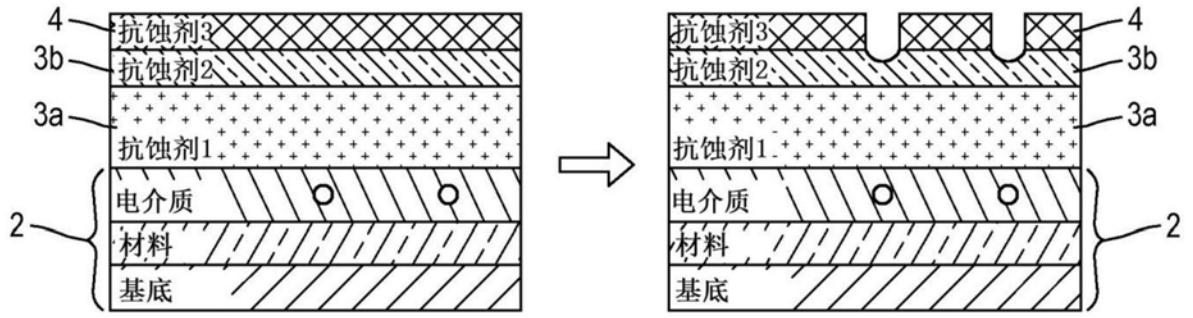


图8a

图8b

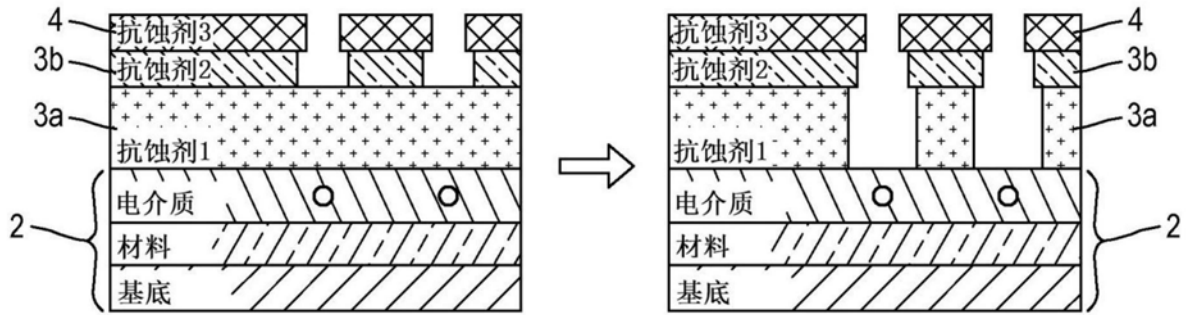


图8c

图8d

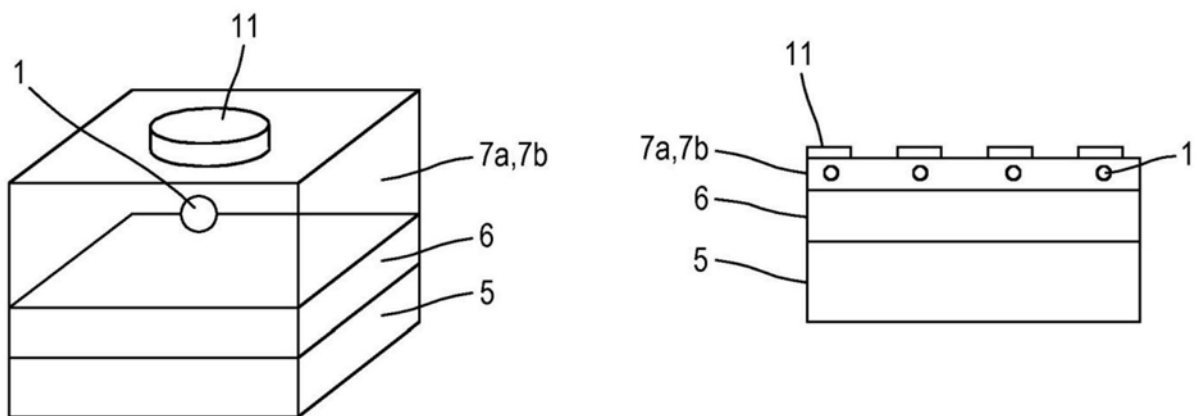


图9

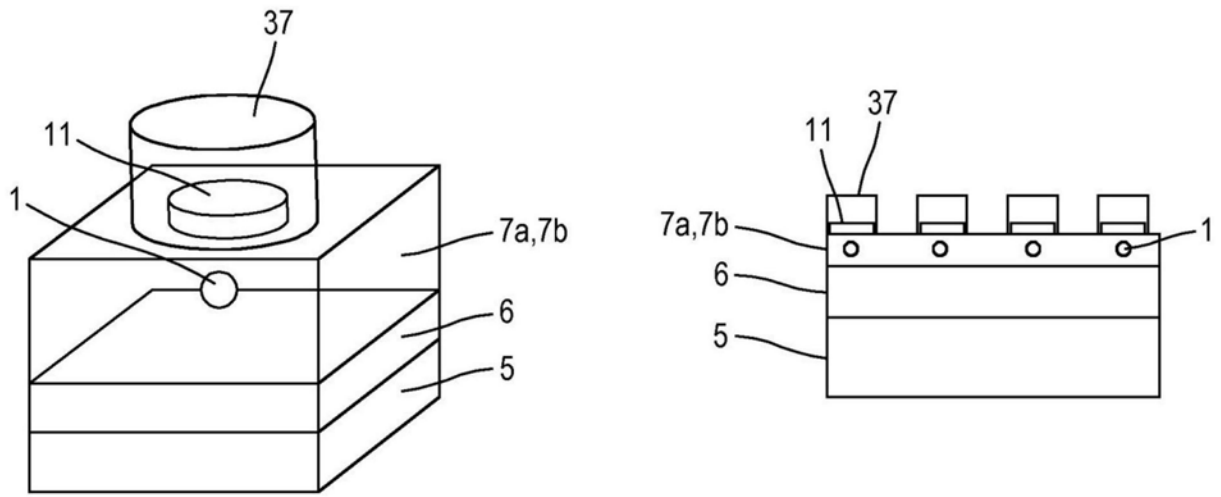


图10

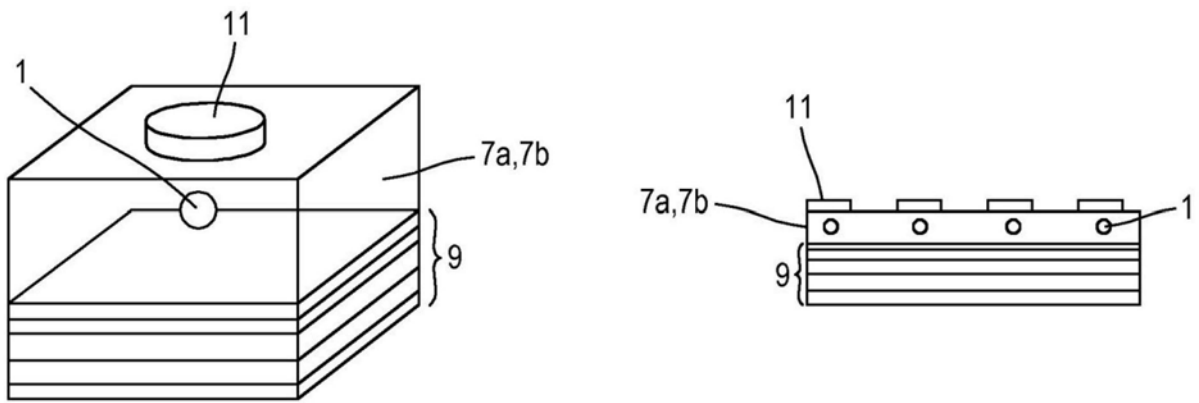


图11