



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112379131 A

(43) 申请公布日 2021.02.19

(21) 申请号 202011207958.X

(22) 申请日 2020.11.02

(71) 申请人 中国科学技术大学

地址 230026 安徽省合肥市包河区金寨路
96号

(72) 发明人 吴贇琨 任希锋 李明 郭光灿

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021

代理人 周天宇

(51) Int. Cl.

G01Q 60/22 (2010.01)

G01Q 70/16 (2010.01)

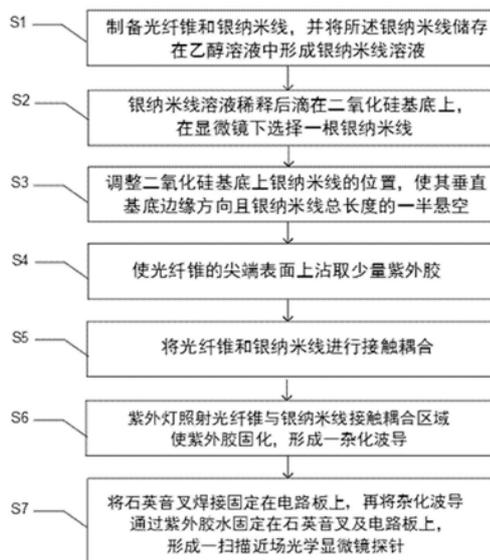
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

一种杂化波导及光学显微镜探针的制备方法、光学显微镜探针

(57) 摘要

本公开提供了一种光学显微镜探针,包括:光纤锥、银纳米线、石英音叉及电路板,光纤锥及银纳米线通过耦合形成一杂化波导,石英音叉焊接固定在电路板上,杂化波导通过紫外胶水固定在石英音叉及所述电路板上。通过实验得到了该光学显微镜探针超过20%的整体耦合效率,并且对不同样品以物镜激发探针收集和探针激发物镜收集的模式进行了扫描成像,实验结果证明了该光学显微镜探针的高效率和用以超分辨光学成像的可行性。本公开还提供一种杂化波导及一种光学显微镜探针的制备方法。



1. 一种光学显微镜探针的制备方法,其特征在于,包括:
 - S1,制备光纤锥和银纳米线,并将所述银纳米线储存在乙醇溶液中形成银纳米线溶液;
 - S2,将所述银纳米线溶液稀释后滴在二氧化硅基底上,在显微镜下选择一根银纳米线;
 - S3,利用三维微纳平移台控制钨针将所述银纳米线推至所述二氧化硅基底边缘,使其垂直所述二氧化硅基底边缘方向且所述银纳米线总长度的一半悬空;
 - S4,将去涂覆层光纤表面涂附紫外胶,然后通过所述三维微纳平移台将其靠近所述光纤锥,使所述光纤锥的尖端表面上沾取紫外胶;
 - S5,将所述光纤锥移动至所述银纳米线悬空部分的正下方,然后移动所述光纤锥使所述银纳米线从所述二氧化硅基底挑起并与所述光纤锥接触耦合;
 - S6,利用紫外灯照射所述光纤锥与所述银纳米线接触耦合区域使所述紫外胶固化,形成一杂化波导;
 - S7,将石英音叉焊接固定在电路板上,再将所述杂化波导通过紫外胶水固定在所述石英音叉及所述电路板上,形成一光学显微镜探针。
2. 根据权利要求1所述的光学显微镜探针的制备方法,其特征在于,所述S1包括:
 - S11,采用熔拉法制备光纤锥,所述光纤锥的锥角为 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$,尖端直径为150nm;
 - S12,采用化学法制备银纳米线,所述银纳米线直径为200nm \sim 300nm,其长度为8 $\mu\text{m}\sim$ 12 μm 。
3. 根据权利要求1所述的光学显微镜探针的制备方法,其特征在于,所述S2中所述银纳米线溶液稀释后的浓度为20 $\mu\text{g}/\text{ml}\sim$ 200 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 。
4. 根据权利要求1所述的光学显微镜探针的制备方法,其特征在于,所述S6中所述紫外灯照射所述耦合区域时间为5 \sim 8min。
5. 根据权利要求1或2所述的光学显微镜探针的制备方法,其特征在于,所述S7中所述杂化波导通过紫外胶水固定在所述石英音叉及所述电路板上的步骤包括:
 - S71,将所述杂化波导及固定在一起的所述石英音叉及所述电路板放置在六维微纳调整台上,并通过显微镜调整所述杂化波导的俯仰角和方位角使其与所述石英音叉的上臂平行;
 - S72,平行调整所述杂化波导位置使其伸出所述石英音叉,再使其下降靠近所述石英音叉的上臂位置;
 - S73,采用点胶机或自制点胶设备在所述石英音叉的上臂最前端、中间支撑柄及所述电路板的垫片上分别滴取低折射率紫外胶水;
 - S74,采用氮气发生器及紫外光源照射滴胶区域若干分钟,使所述低折射率紫外胶水固化,使得所述杂化波导与所述石英音叉及所述电路板固定在一起,形成一光学显微镜探针。
6. 根据权利要求5所述的扫描近场光学显微镜探针的制备方法,其特征在于,所述S72中所述杂化波导伸出所述石英音叉长度为300 $\mu\text{m}\sim$ 400 μm ,其下降至离所述石英音叉上臂8 $\mu\text{m}\sim$ 10 μm 处。
7. 根据权利要求5所述的扫描近场光学显微镜探针的制备方法,其特征在于,所述S74中采用氮气发生器及紫外光源照射所述滴胶区域5 \sim 8min。
8. 一种光学显微镜探针,其特征在于,包括:光纤锥、银纳米线、石英音叉及电路板,所述光纤锥及所述银纳米线通过耦合形成一杂化波导,所述石英音叉焊接固定在所述电路板

上,所述杂化波导通过紫外胶水固定在所述石英音叉及所述电路板上。

一种杂化波导及光学显微镜探针的制备方法、光学显微镜探针

技术领域

[0001] 本公开涉及表面等离子激元和近场光学领域,具体涉及到一种杂化波导及光学显微镜探针的制备方法、光学显微镜探针。

背景技术

[0002] 现有技术中的商业扫描近场显微镜探针大多采用孔径型,即在锥形的光纤表面镀上金属膜,然后在尖端端面留出一个孔径很小,一般直径约为50~150nm,用于收集和发射的出光口。当探针移动到扫描样品的近场范围时,探针可与物质结构表面的倏逝波进行相互作用,从而突破光学衍射极限。但这种探针的光学透过率极低,当孔径约为100nm时,其效率约为 10^{-4} ;而当孔径约为50nm时,其效率仅约为 10^{-5} ,极大地限制了近场探针在弱信号下的应用。

[0003] 近年来,各种其他的新型扫描近场显微镜探针的报道,如光学天线探针,具有光栅结构的远场激发等离子激元探针,金字塔型探针等等,但这些探针或者对加工工艺和技术有极高的要求,或者是探针的使用光路较为复杂,都存在一定的自身缺陷。

发明内容

[0004] 为了解决现有技术中上述问题,本公开提供了一种杂化波导及光学显微镜探针的制备方法、光学显微镜探针,通过将一根可实现光学模式和表面等离子激元模式之间相互高效转换的光纤锥-银纳米线杂化波导,与一个带电路板的石英音叉组装在一起,形成一种光学显微镜新型探针,其可直接组装进商业扫描近场光学显微镜进行近场光学扫描,同时得到扫描样品的高精度形貌图和高效率的突破衍射极限的光学强度图。

[0005] 本公开的一个方面提供了一种杂化波导的制备方法,包括:

[0006] S1,制备光纤锥和银纳米线,并将银纳米线储存在乙醇溶液中形成银纳米线溶液;S2,将银纳米线溶液稀释后滴在二氧化硅基底上,在显微镜下选择一根银纳米线;S3,利用三维微纳平移台控制钨针将银纳米线推至二氧化硅基底边缘,使其垂直二氧化硅基底边缘方向且银纳米线总长度的一半悬空;S4,将去涂覆层光纤表面涂附紫外胶,然后通过三维微纳平移台将其靠近光纤锥,使光纤锥的尖端表面上沾取紫外胶;S5,将光纤锥移动至银纳米线悬空部分的正下方,然后移动光纤锥使银纳米线从二氧化硅基底挑起并与光纤锥接触耦合;S6,利用紫外灯照射光纤锥与银纳米线接触耦合区域使紫外胶固化,形成一杂化波导;S7,将石英音叉焊接固定在电路板上,再将杂化波导通过紫外胶水固定在石英音叉及电路板上,形成一光学显微镜探针。

[0007] 进一步地,S1包括:S11,采用熔拉法制备光纤锥,光纤锥的锥角为 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$,尖端直径为150nm;S12,采用化学法制备银纳米线,银纳米线直径为200nm~300nm,其长度为 $8\mu\text{m}\sim 12\mu\text{m}$ 。

[0008] 进一步地,S2中银纳米线溶液稀释后的浓度为 $20\mu\text{g}/\text{ml}\sim 200\mu\text{g}/\text{ml}$ 。

[0009] 进一步地, S6中紫外灯照射耦合区域时间为5~8min。

[0010] 进一步地, S7中杂化波导通过紫外胶水固定在石英音叉及电路板上的步骤包括: S71, 将杂化波导及固定在一起的石英音叉及电路板放置在六维微纳调整台上, 并通过显微镜调整杂化波导的俯仰角和方位角使其与石英音叉的上臂平行; S72, 平行调整杂化波导位置使其伸出石英音叉, 再使其下降靠近石英音叉的上臂位置; S73, 采用点胶机或自制点胶设备在石英音叉的上臂最前端、中间支撑柄及电路板的垫片上分别滴取低折射率紫外胶水; S74, 采用氮气发生器及紫外光源照射滴胶区域若干分钟, 使低折射率紫外胶水固化, 使得杂化波导与石英音叉及电路板固定在一起, 形成一光学显微镜探针。

[0011] 进一步地, S72中杂化波导伸出石英音叉长度为 $300\mu\text{m}\sim 400\mu\text{m}$, 其下降至离石英音叉上臂 $8\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 处。

[0012] 进一步地, S74中采用氮气发生器及紫外光源照射滴胶区域5~8min。

[0013] 本公开的另一个方面提供了一种光学显微镜探针, 包括: 光纤锥、银纳米线、石英音叉及电路板, 光纤锥及银纳米线通过耦合形成一杂化波导, 石英音叉焊接固定在电路板上, 杂化波导通过紫外胶水固定在石英音叉及电路板上。

[0014] 本公开利用光纤锥与银纳米线进行耦合制备杂化波导, 然后通过将杂化波导与石英音叉及电路板组装在一起, 形成光学显微镜探针, 其实现了将光场局域在突破衍射极限的亚波长尺寸实现超分辨成像, 整个探针的效率在实验上可以达到20%以上, 远远高于市面上的商业探针, 并且这个效率可以通过优化光纤锥锥角及耦合长度等几何参数得到进一步提高。理论上, 优化光纤锥锥角及耦合长度等几何参数后的最佳效率可以达到80%左右。本公开提供的光学显微镜探针制备方法简单, 其可以直接与各种商业扫描近场光学显微镜系统适配使用, 不需要另外的复杂光路, 实验上实现扫描样品的光路简单且兼容性高。

附图说明

[0015] 为了更完整地理解本公开及其优势, 现在将参考结合附图的以下描述, 其中:

[0016] 图1A和图1B示意性示出了根据本公开实施例的光学显微镜探针制备流程图。

[0017] 图2示意性示出了根据本公开实施例的杂化波导的结构电镜图。

[0018] 图3示意性示出了根据本公开实施例的显微镜下杂化波导的亮场 CCD图 (a) 和暗场通光 CCD图 (b)。

[0019] 图4示意性示出了根据本公开实施例的光学显微镜探针结构示意图。

[0020] 图5示意性示出了根据本公开实施例的光学显微镜探针透过效率随入射光偏振变化的曲线图。

[0021] 图6示意性示出了根据本公开实施例的光学显微镜探针的实验装置图。

[0022] 图7示意性示出了根据本公开实施例的光学显微镜探针的量子点荧光成像的探针收集强度图 (a) 和物镜收集强度图 (b)。

[0023] 图8示意性示出了根据本公开实施例的光学显微镜探针的扫描 PMMA 条纹的形貌图 (a) 和超分辨光学强度图 (b)。

图8 (c) 示意性示出了根据本公开实施例的光学显微镜探针的扫描 PMMA 条纹的形貌图 (a) 中红色线段下对应的部分形貌信号图;

图8(d)示意性示出了根据本公开实施例的光学显微镜探针的扫描 PMMA 条纹的超分辨光学强度图(b)中红色线段下对应的部分光学强度信号图。

具体实施方式

[0024] 以下,将参照附图来描述本公开的实施例。但是应该理解,这些描述只是示例性的,而并非要限制本公开的范围。在下面的详细描述中,为便于解释,阐述了许多具体的细节以提供对本公开实施例的全面理解。然而,明显地,一个或多个实施例在没有这些具体细节的情况下也可以被实施。此外,在以下说明中,省略了对公知结构和技术的描述,以避免不必要地混淆本公开的概念。

[0025] 在此使用的术语仅仅是为了描述具体实施例,而并非意在限制本公开。在此使用的术语“包括”、“包含”等表明了所述特征、步骤、操作和/或部件的存在,但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征、步骤、操作或部件。

[0026] 在此使用的所有术语(包括技术和科学术语)具有本领域技术人员通常所理解的含义,除非另外定义。应注意,这里使用的术语应解释为具有与本说明书的上下文相一致的含义,而不应以理想化或过于刻板的方式来解释。

[0027] 图1A和图1B示意性示出了根据本公开实施例的光学显微镜探针制备流程图。

[0028] 如图1A和图1B所示,本公开的实施例提供了一种光学显微镜探针结构的制备方法,包括:

[0029] S1,制备光纤锥和银纳米线,并将银纳米线储存在乙醇溶液中形成银纳米线溶液。

[0030] 本公开的实施例中,S1中制备光纤锥和银纳米线包括:

[0031] S11,采用熔拉法制备光纤锥,光纤锥的锥角为 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$,尖端直径为150nm。其中,锥角较平缓保证了光在光纤锥中的聚焦为绝热过程,且该几何参数下保证了与银纳米线的较高的整体耦合系数,整体耦合效率高达20%及以上,整体耦合效率包括光纤锥与银纳米线的耦合效率和光传输效率。

[0032] S12,采用化学法制备银纳米线,银纳米线直径为200nm~300nm,其长度为 $8\mu\text{m}\sim 12\mu\text{m}$ 。其中,该范围直径下的银纳米线保证了银纳米线与光纤锥耦合后作为探针进行近场扫描时的稳定,且该几何参数保证了与光纤锥较高的耦合系数。

[0033] S2,将银纳米线溶液稀释后滴在二氧化硅基底上,在显微镜下选择一根银纳米线。

[0034] 本公开的实施例中,银纳米线溶液稀释后的浓度为 $20\mu\text{g}/\text{ml}\sim 200\mu\text{g}/\text{ml}$,该浓度下的银纳米线方便进行单根银纳米线操作,浓度太浓使得银纳米线聚集堆叠在一起不好进行单根操作,太小浓度使得银纳米线密度太低不太容易找到合适做探针的银纳米线,且优选在显微镜下挑选一根表面干净且白光源照射下较亮的银纳米线。

[0035] S3,利用三维微纳平移台控制钨针将银纳米线推至二氧化硅基底边缘,使其垂直二氧化硅基底边缘方向且银纳米线总长度的一半悬空。

[0036] S4,将去涂覆层光纤表面涂附紫外胶,然后通过三维微纳平移台将其靠近光纤锥,使光纤锥的尖端表面上沾取紫外胶。

[0037] 本公开的实施例中,在上述光纤锥的尖端表面上沾取少量的紫外胶,以防紫外胶

沾取过多导致光纤锥的导光损耗增加。

[0038] S5,将光纤锥移动至银纳米线悬空部分的正下方,然后移动光纤锥使银纳米线从二氧化硅基底挑起并与光纤锥接触耦合。

[0039] S6,利用紫外灯照射光纤锥与银纳米线接触耦合区域使紫外胶固化,形成一杂化波导。

[0040] 本公开的实施例中,紫外灯照射光纤锥与银纳米线接触耦合区域 5~8min,并等待紫外胶固化,增加光纤锥与银纳米线在耦合区域之间的附着力。最后可小幅度摇晃平移台确认银纳米线不会掉下,确保银纳米线与光纤锥粘牢在一起。

[0041] S7,将石英音叉焊接固定在电路板上,再将杂化波导通过紫外胶水固定在石英音叉及电路板上,形成一光学显微镜探针。

[0042] 本公开的实施例中,S7中杂化波导通过紫外胶水固定在石英音叉及电路板上的步骤杂化波导通过紫外胶水固定在石英音叉及电路板上的步骤包括:S71,将杂化波导及固定在一起的石英音叉及电路板放置在六维微纳调整台上,并通过显微镜调整杂化波导的俯仰角和方位角使其与石英音叉的上臂平行;S72,平行调整杂化波导位置使其伸出石英音叉,再使其下降靠近石英音叉的上臂位置;S73,采用点胶机或自制点胶设备在石英音叉的上臂最前端、中间支撑柄及电路板的垫片上分别滴取低折射率紫外胶水;S74,采用氮气发生器及紫外光源照射滴胶区域若干分钟,使低折射率紫外胶水固化,使得杂化波导与石英音叉及电路板固定在一起,形成一光学显微镜探针。

[0043] 本公开的实施例中,S72中杂化波导伸出石英音叉长度为 300 μm ~400 μm ,其下降至离石英音叉上臂8 μm ~10 μm 处。该伸出长度是为了保证在不影响石英音叉共振性质的前提下,波导自身的机械抖动也在可接受范围。该高度是为了在保证滴胶前光纤锥不直接接触音叉以免磕破的前提下,少量胶水即可将光纤锥固定在石英音叉上臂。

[0044] 本公开的实施例中,S73中电路板的垫片上分别0.05 μl ~0.1 μl 滴取低折射率紫外胶水,适量控制低折射率紫外胶水的用量是为了减少胶水造成的光学散射,避免影响石英音叉的共振特性。

[0045] 本公开的实施例中,S74中采用氮气发生器及紫外光源照射滴胶区域5~8min,增加杂化波导与石英音叉及电路板的附着力,从而保证进行近场扫描时探针的稳定性。

[0046] 如图2所示为本公开实施例制备的杂化波导的结构电镜图,从图中可以看到光纤锥与银纳米线接触耦合效果很好,其为紧密接触耦合。

[0047] 如图3所示为显微镜下本公开制备的杂化波导的亮场CCD图(a)和暗场通光CCD图(b)。在该杂化波导光纤中通入激光,可以观察到银纳米线端口被点亮,说明杂化波导的耦合效果较佳,激光可在杂化波导顺利传输。

[0048] 图4示意性示出了根据本公开实施例的光学显微镜探针结构示意图。从图中可以看出,本公开方法制备的光学显微镜探针结构完整性和稳定性较好。

[0049] 图5示意性示出了根据本公开一实施例的光学显微镜探针透过效率随入射光偏振变化的曲线图。在光纤锥的锥角为3°~5°,光纤锥与银纳米线耦合长度为5 μm 的几何设计下,从图中可知,随着偏振角度的变化,该光学显微镜探针透过效率可达到20%及以上。本公开提供的光纤锥的锥角及银纳米线几何设计尺寸下制备的光学显微镜探针透过效率均可到20%及以上,且实现的耦合效率相差不多。

[0050] 本公开的实施例还提供了一种光学显微镜探针,包括:光纤锥、银纳米线、石英音叉及电路板,光纤锥及银纳米线通过耦合形成一杂化波导,石英音叉焊接固定在电路板上,杂化波导通过紫外胶水固定在石英音叉及电路板上。

[0051] 图6示意性示出了根据本公开一实施例的光学显微镜探针的实验装置图。本公开的实施例中,将光学显微镜探针应用于扫描近场光学显微镜5中,利用自带的剪切力反馈控制模式,使得在扫描过程中光学显微镜探针能稳定维持在距样品约20nm高度,该光学显微镜探针能适用于物镜激发物镜收集、物镜激发探针收集、探针激发物镜收集和探针激发探针收集四种模式。

[0052] 如图6所示,利用该实验装置对CdSe量子点样品进行荧光强度扫描,可同时进行物镜激发物镜收集和物镜激发探针收集两种模式或探针激发探针收集和探针激发物镜收集两种模式。

[0053] 本公开的实施例中,物镜激发物镜收集和物镜激发探针收集实验原理:泵浦光从光纤15输入经过物镜端16入射到双色片3上进行激光波长选择处理,其对小于567nm的光进行反射,大于等于567nm的光进行透射,经过双色片3后的反射光传输到反射镜14进行反射,然后输入到物镜8聚焦到测试样品7的表面,然后激发量子点向各个方向辐射650nm左右的荧光信号,该荧光信号可同时被物镜和探针收集进光纤,进行后续信号处理。在物镜收集中,该荧光信号通过物镜8输入到反射镜14进行反射,再经过双色片3进行激光波长选择处理后输入到共聚焦系统11提高该荧光信号的空间滤波信号信噪比并输出,然后该荧光信号通过滤光片2过滤掉泵浦光并只输出荧光信号,最后该荧光信号通过物镜收集端17连接的光纤进行信号收集。在探针收集中,该荧光信号通过光学显微镜探针6,然后经过偏振共振器4后输入到双色片3进行激光波长选择处理,再输入到滤光片2过滤掉泵浦光并只输出荧光信号,最后该荧光信号通过探针收集端1连接的光纤进行信号收集。其中,在进行扫描之前可将可翻转的分光镜13翻转下来,使得部分激光反射到CCD相机10中,利用CCD相机10可对样品进行初步的观察和定位,对样品进行初步的观察和定位后将分光镜13翻转上去。

[0054] 本公开的实施例中,探针激发探针收集和探针激发物镜收集模式原理:泵浦光从光纤输入经过探针端18入射到双色片3上进行激光波长选择处理,其对小于567nm的光进行反射,大于等于567nm的光进行透射,经过双色片3后的反射光传输到偏振共振器4对光进行光偏振调整,然后输入进光学显微镜探针6并通过光学显微镜探针6聚焦到测试样品7的表面,然后激发量子点向各个方向辐射650nm左右的荧光信号,该荧光信号可同时被探针和物镜收集进光纤,进行后续信号处理。在探针收集中,该荧光信号通过光学显微镜探针6经过扫描近场光学显微镜5,然后经过偏振共振器4后输入到双色片3进行激光波长选择处理,再输入到滤光片2过滤掉泵浦光并只输出荧光信号,最后该荧光信号通过探针收集端1连接的光纤进行信号收集。在物镜收集中,该荧光信号通过物镜8输入到反射镜14进行反射,再经过双色片3进行激光波长选择处理后输入到共聚焦系统11提高该荧光信号的空间滤波信号信噪比并输出,然后该荧光信号通过滤光片2过滤掉泵浦光并只输出荧光信号,最后该荧光信号通过物镜收集端17连接的光纤进行信号收集。其中,在进行扫描之前可将可翻转的分光镜13翻转下来,使得部分激光反射到CCD相机10中,利用CCD相机10可对样品进行初步的观察和定位,对样品进行初步的观察和定位后将分光镜13翻转上去。

[0055] 图7示意性示出了根据本公开实施例的光学显微镜探针的CdSe量子点荧光成像的物镜激发探针收集强度图(a)和物镜激发物镜收集强度图(b)的对比图,从图中可以看出在物镜激发模式下两种收集方式的效果吻合的很好,且信号最强位置的强度在同一数量级,证明了该光学显微镜探针的收集效率与物镜在同一数量级。

[0056] 本公开的实施例中,该实验装置应用于对无源的PMMA条纹样品进行透过率成像,将波长为808nm从光纤输入经过探针端1,采用探针激发物镜收集模式进行扫描成像,可同时得到无源的PMMA条纹样品的形貌图和光学强度分布图。另外,对无源的PMMA条纹样品进行透过率成像也可采取物镜激发探针收集模式。

[0057] 如图8所示,无源的PMMA条纹样品的形貌图(a)(b)和超分辨光学强度图(c)(d),从图中可以看出探针收集的效果很好,且光学强度扫描得到的条纹半高全宽约为295nm,突破了该波长下的光学衍射极限,实现了超分辨成像。

[0058] 本公开提供了一种光学显微镜探针,其是一种高效率的突破衍射极限的新型近场光学显微镜探针,通过实验验证得到了该光学显微镜探针超过20%的整体效率,并且对不同样品以物镜激发探针收集和探针激发物镜收集的模式进行了扫描成像,实验结果证明了该光学显微镜探针的高效率和用以超分辨光学成像的可行性。并且这种光学显微镜探针制备简单,其耦合效率可通过使用调整光纤锥和银纳米线的几何尺寸得到进一步提高,可以用来进行超分辨成像,局域地调控纳米尺寸的颗粒发光等,可取代目前的常规商业近场光学探针,尤其对弱信号下的近场光学成像和量子光学等领域有广泛的应用价值。

[0059] 本领域技术人员可以理解,本公开的各个实施例和/或权利要求中记载的特征可以进行多种范围组合和/或结合,即使这样的组合或结合没有明确记载于本公开中。特别地,在不脱离本公开精神和教导的情况下,本公开的各个实施例和/或权利要求中记载的特征可以进行多种组合和/或结合。所有这些组合和/或结合均落入本公开的范围。

[0060] 尽管已经参照本公开的特定示例性实施例示出并描述了本公开,但是本领域技术人员应该理解,在不背离所附权利要求及其等同物限定的本公开的精神和范围的情况下,可以对本公开进行形式和细节上的多种改变。因此,本公开的范围不应该限于上述实施例,而是应该不仅由所附权利要求来进行确定,还由所附权利要求的等同物来进行限定。

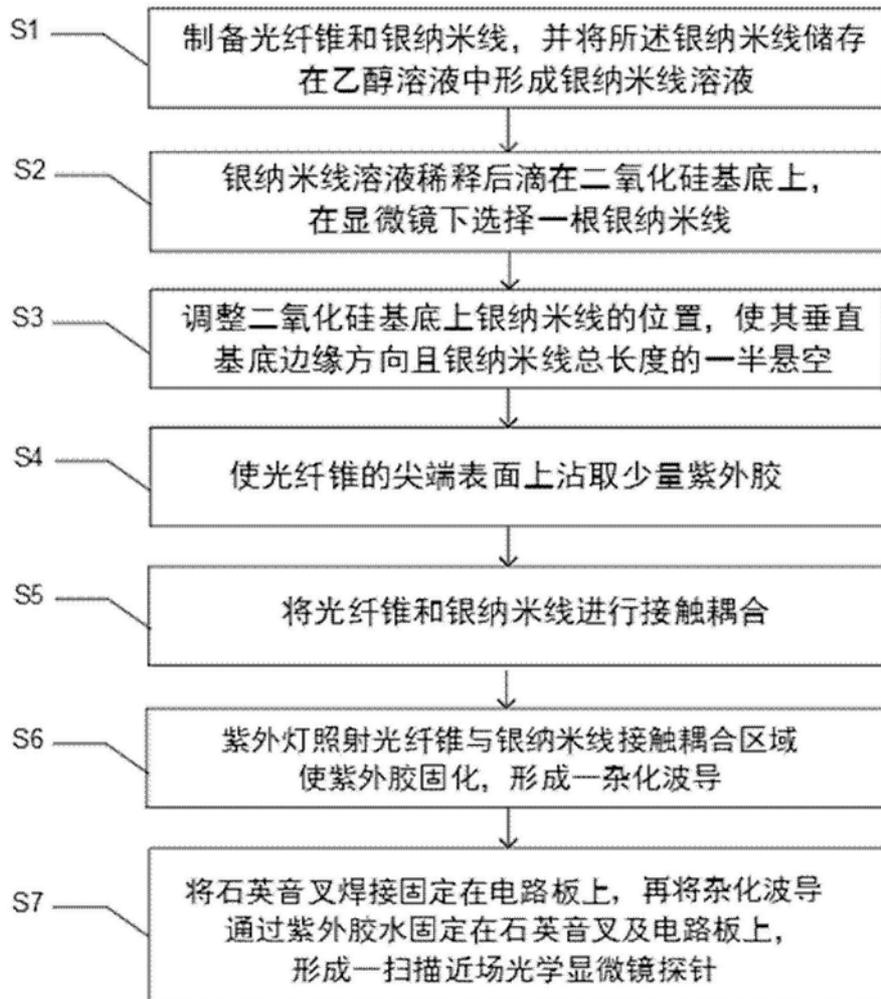


图1A

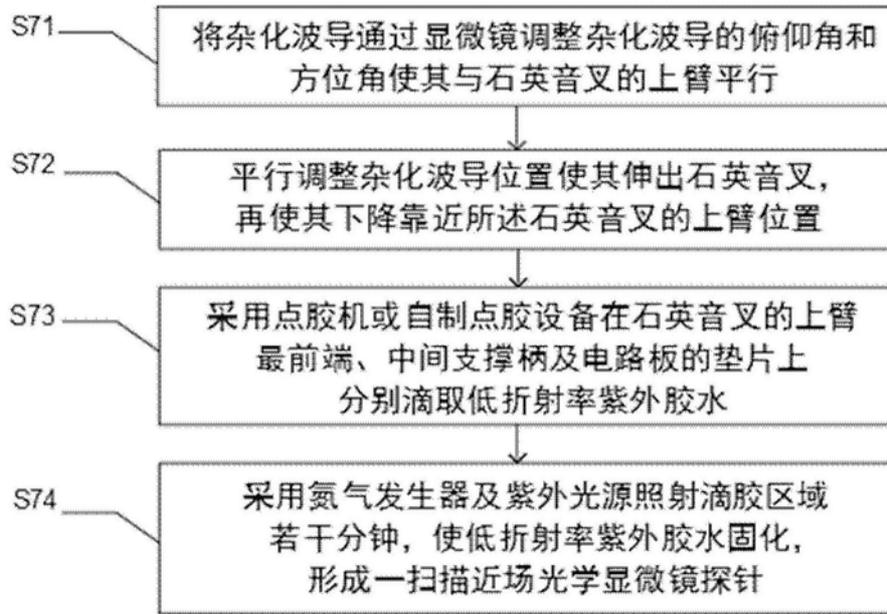


图1B

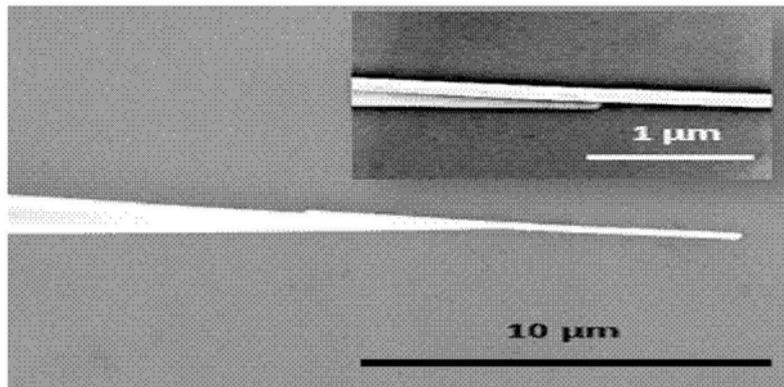


图2

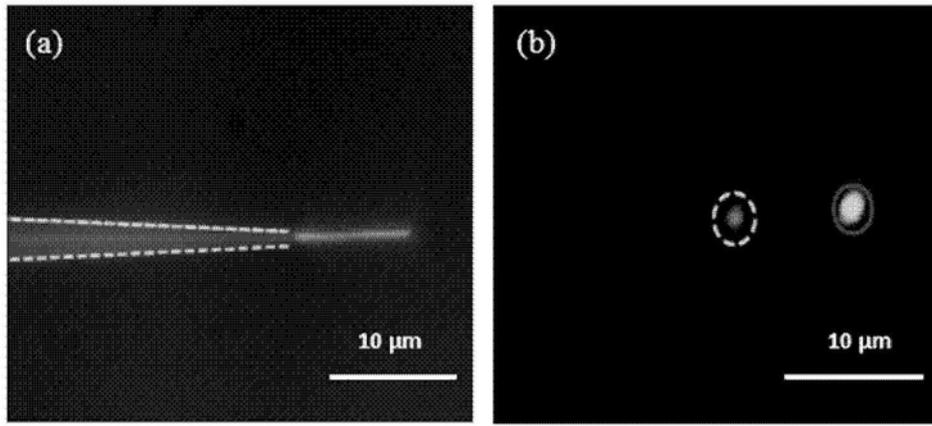


图3

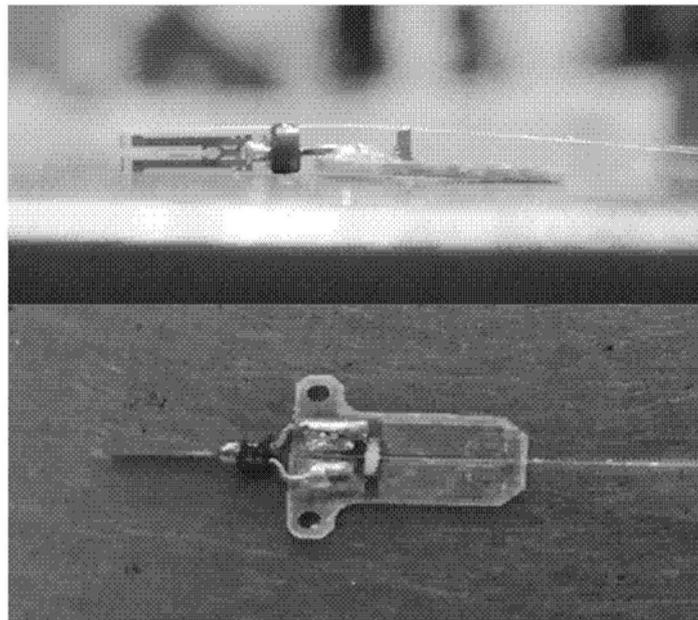


图4

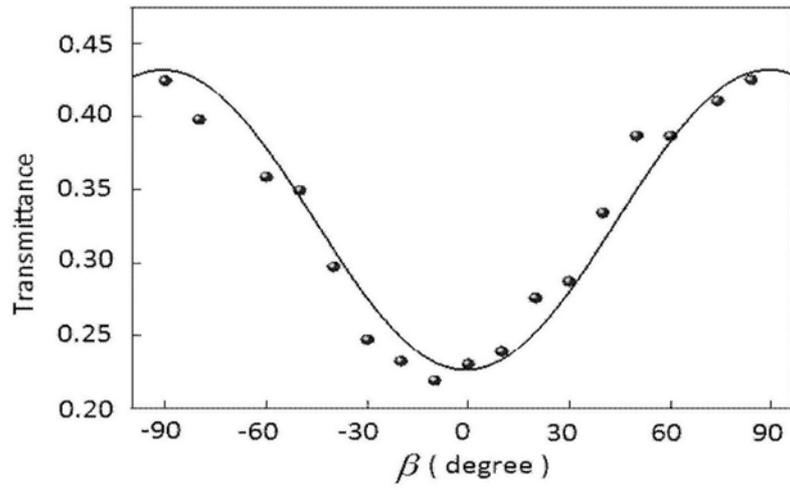


图5

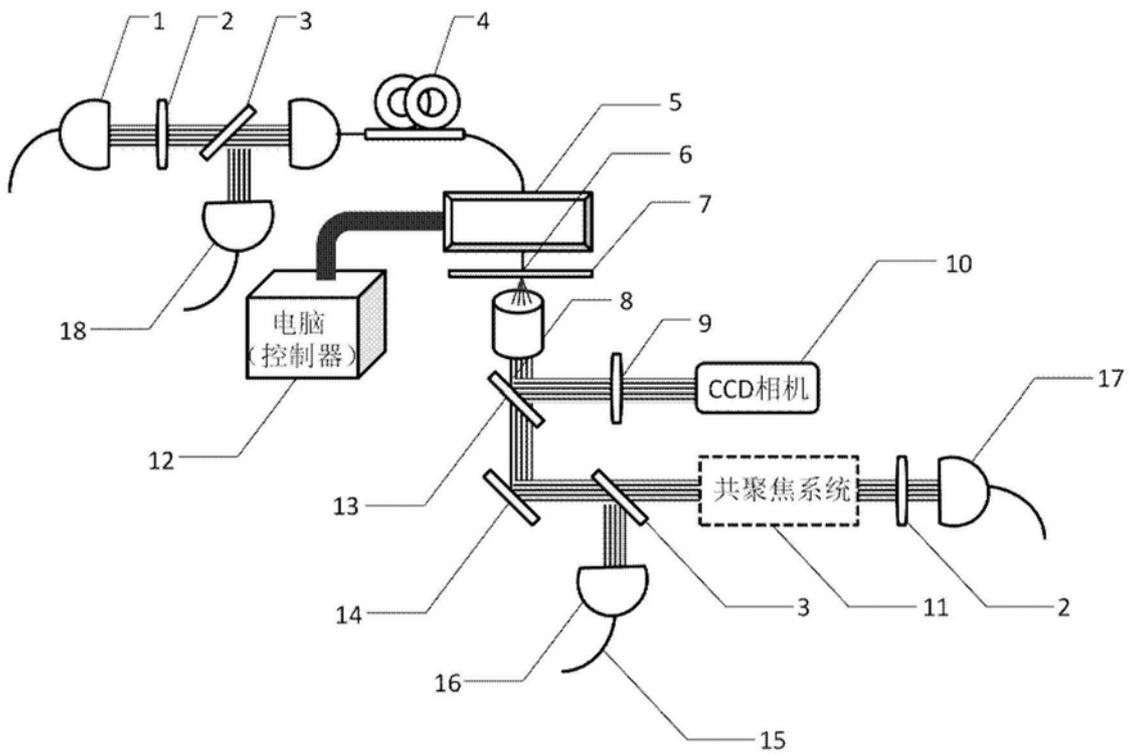


图6

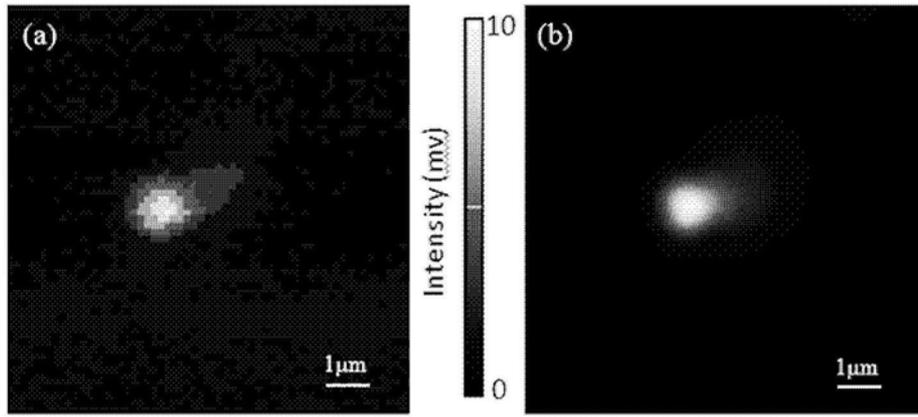


图7

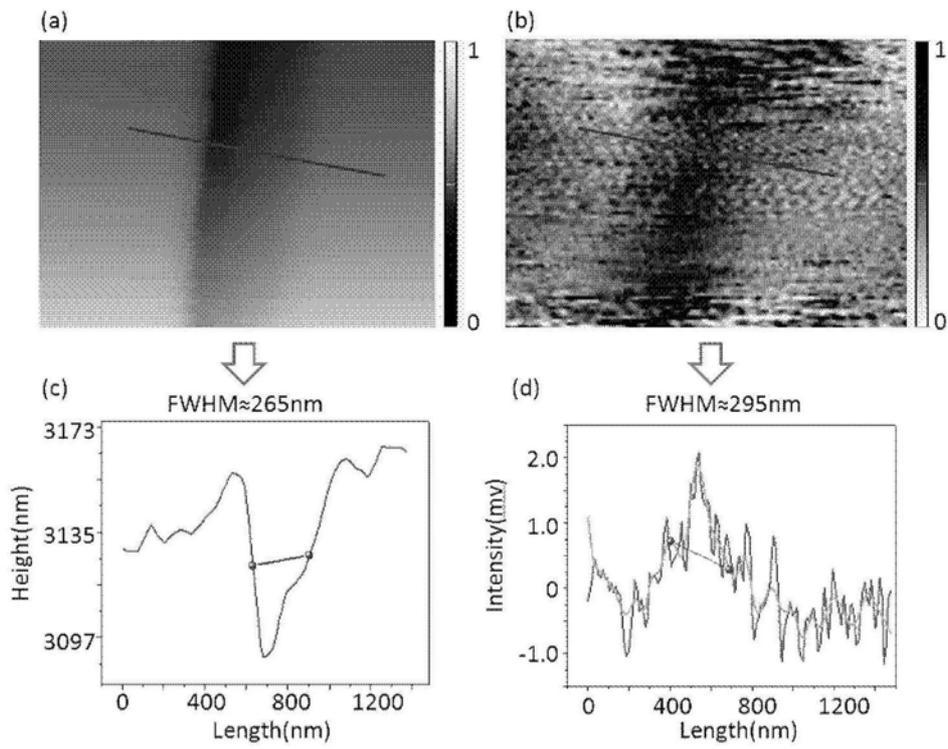


图8