



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113562690 B

(45) 授权公告日 2022. 05. 31

(21) 申请号 202010348553.1

TW 201228923 A, 2012.07.16

(22) 申请日 2020.04.28

US 2008213567 A1, 2008.09.04

CN 102201532 A, 2011.09.28

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113562690 A

Keven Wang等. Performance limits of microactuation with vanadium dioxide as a solid engine. 《ACS Nano》. 2013, 第7卷(第3期),

(43) 申请公布日 2021.10.29

(73) 专利权人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华大学清华-富士康纳米科技研究中心401室

专利权人 鸿富锦精密工业(深圳)有限公司

He Ma等. Infrared micro-detectors with high sensitivity and high reponse speed using V02-coated helical carbon nanocoils. 《Journal of Materials Chemistry C》. 2019, 第7卷

(72) 发明人 王广 马赫 金翔 原华 魏洋

李群庆 姜开利 范守善

康炆东 等. 钨掺杂氧化钒基非制冷红外探测器性能研究. 《广西大学学报(自然科学版)》. 2017, 第42卷(第5期),

(51) Int. Cl.

B82B 1/00 (2006.01)

B82B 3/00 (2006.01)

B82Y 15/00 (2011.01)

B82Y 40/00 (2011.01)

Run Shi等. Single-crystalline vanadium dioxide actuators. 《Advanced Functional Materials》. 2019, 第29卷

(56) 对比文件

CN 107932475 A, 2018.04.20

CN 105336841 A, 2016.02.17

CN 102394110 A, 2012.03.28

KR 100848813 B1, 2008.07.28

JP 2013017340 A, 2013.01.24

周智伟 等. 基于超顺排碳纳米管/高分子复合材料的手臂状电热型致动器. 《新型炭材料》. 2017, 第32卷(第5期), (续)

审查员 韩雪明乐

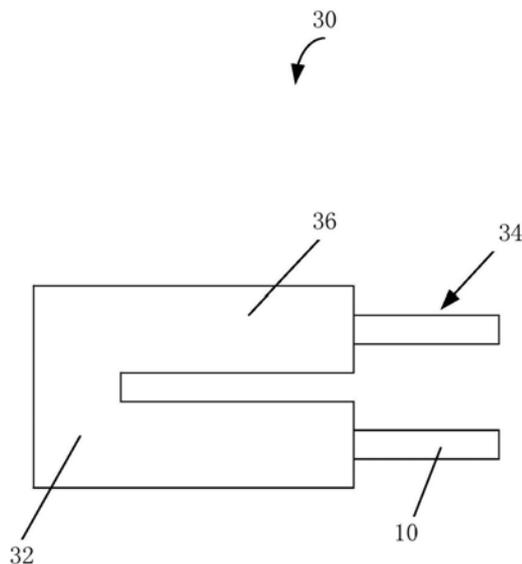
权利要求书1页 说明书10页 附图10页

(54) 发明名称

纳米操纵器

(57) 摘要

本发明涉及一种纳米操纵器,包括一基体和一夹持结构,所述夹持结构包括两个纳米纤维致动器,两个所述纳米纤维致动器间隔设置在所述基体上,所述纳米纤维致动器包括一复合结构体及一二氧化钒层,所述复合结构体包括一碳纳米管线及一氧化铝层,所述氧化铝层包覆在所述碳纳米管线的表面并与所述碳纳米管线同轴设置,所述二氧化钒层包覆在所述复合结构体的表面,且所述二氧化钒层与所述复合结构体非同轴设置。



CN 113562690 B

[接上页]

(56) 对比文件

Philip Kim, Charles M.

Lieber. Nanotube Nanotweezers. 《Science》

.1999, 第286卷

1. 一种纳米操纵器,包括一基体和一夹持结构,所述夹持结构包括两个纳米纤维致动器,两个所述纳米纤维致动器间隔设置在所述基体上,其特征在于,所述纳米纤维致动器包括一复合结构体及一二氧化钒层,所述复合结构体包括一碳纳米管线及一氧化铝层,所述碳纳米管线包括至少一根碳纳米管,所述氧化铝层包覆在所述碳纳米管线的表面并与所述碳纳米管线同轴设置,所述二氧化钒层包覆在所述复合结构体的表面,且所述二氧化钒层与所述复合结构体非同轴设置。

2. 如权利要求1所述的纳米操纵器,其特征在于,所述二氧化钒层厚度的最大值与最小值的比例为9:1至7:1。

3. 如权利要求1所述的纳米操纵器,其特征在于,所述碳纳米管线的长度为10微米至3厘米。

4. 如权利要求1所述的纳米操纵器,其特征在于,所述碳纳米管线的直径为0.5纳米至100纳米。

5. 如权利要求1所述的纳米操纵器,其特征在于,所述碳纳米管线为一非扭转的碳纳米管线,所述非扭转的碳纳米管线包括多个相互平行的所述碳纳米管,多个所述碳纳米管通过范德华力首尾相连,且沿所述碳纳米管线轴向延伸排列。

6. 如权利要求1所述的纳米操纵器,其特征在于,所述碳纳米管线为一扭转的碳纳米管线,所述扭转的碳纳米管线包括多个螺旋排列的所述碳纳米管,多个所述碳纳米管通过范德华力首尾相连,且沿所述碳纳米管线轴向螺旋延伸排列。

7. 如权利要求1所述的纳米操纵器,其特征在于,所述二氧化钒层为掺杂的二氧化钒层,掺杂的元素为钨、钼、铝、磷、铌、铯、或氟。

8. 如权利要求1所述的纳米操纵器,其特征在于,所述氧化铝层的厚度为5纳米至100纳米。

纳米操纵器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种纳米操纵器,尤其涉及一种基于碳纳米管的纳米操纵器。

背景技术

[0002] 致动器的工作原理为将其它能量转换为机械能,实现这一转换经常采用的途径有三种:通过静电场转化为静电力,即静电驱动;通过电磁场转化为磁力,即磁驱动;利用材料的热膨胀或其它热特性实现能量的转换,即热驱动。

[0003] 采用上述热驱动进行能量转换的致动器为热致动器。现有的热致动器通常是以聚合物为主体的膜状结构,通过电流使聚合物温度升高并导致明显的体积膨胀,从而实现致动。热致动设备的原理决定了电极材料必须具备很好的导电性、柔性和热稳定性。

[0004] 含有碳纳米管的复合材料已被发现可用来制备电热致动复合材料。现有技术提供一种含有碳纳米管的电热致动复合材料,包括柔性高分子基底材料及分散在柔性高分子基底材料中的碳纳米管。含有碳纳米管的电热致动复合材料可以导电,通电以后可发热,发热后,所述含有碳纳米管的电热致动复合材料体积发生膨胀,进而实现弯曲致动。然而,该电热致动复合材料只能朝一个方向弯曲,应用范围较窄。

发明内容

[0005] 本发明提出一种能够双向致动且能够快速夹持目标物的纳米操纵器。

[0006] 一种纳米操纵器,包括一基体和一夹持结构,所述夹持结构包括两个纳米纤维致动器,两个所述纳米纤维致动器间隔设置在所述基体上,其特征在于,所述纳米纤维致动器包括一复合结构体及一二氧化钒层,所述复合结构体包括一碳纳米管线及一氧化铝层,所述氧化铝层包覆在所述碳纳米管线的表面并与所述碳纳米管线同轴设置,所述二氧化钒层包覆在所述复合结构体的表面,且所述二氧化钒层与所述复合结构体非同轴设置。

[0007] 相较于现有技术,本案提供的纳米操纵器包括两个所述纳米纤维致动器,所述纳米纤维致动器中所述二氧化钒层与所述复合结构体非同轴设置,且所述二氧化钒层与所述复合结构体之间的热失配使所述纳米纤维致动器具有大幅度的双向致动功能,所述纳米纤维致动器在两个方向均具有较大的位移,形变较大,利于所述纳米操纵器夹持及转移目标物。由于所述纳米纤维致动器的直径为纳米级,利于夹持纳米级颗粒,同时所述纳米纤维致动器的响应速度快,利于提高夹持速度。

附图说明

[0008] 图1为本发明第一实施例提供的纳米纤维致动器的结构示意图。

[0009] 图2为本发明第一实施例提供的纳米纤维致动器在加热和冷却过程中弯曲变化的光学照片。

[0010] 图3为本发明第一实施例提供的非扭转的碳纳米管线的扫描电镜照片。

[0011] 图4为本发明第一实施例提供的扭转的碳纳米管线的扫描电镜照片。

[0012] 图5为本发明第一实施例提供的纳米纤维致动器在加热和冷却的过程中的四个致动阶段的示意图。

[0013] 图6为本发明第一实施例提供的纳米纤维致动器的位移与加热温度的函数关系图。

[0014] 图7为纯二氧化钒薄膜在加热和冷却过程中电阻和温度的关系图。

[0015] 图8为本发明第一实施例提供的纳米纤维致动器在加热和冷却过程中电阻与温度的关系图。

[0016] 图9为本发明第一实施例提供的纳米纤维致动器的位移与激光功率强度的函数关系图。

[0017] 图10为本发明第一实施例提供的纳米纤维致动器的制备方法流程图。

[0018] 图11为本发明第二实施例提供的仿生手臂的结构示意图。

[0019] 图12为本发明第三实施例提供的纳米操纵器的结构示意图。

[0020] 图13为本发明第三实施例提供的另一纳米操纵器的结构示意图。

[0021] 图14为本发明第三实施例提供的有无被激光照射的纳米操纵器的状态的光学照片。

[0022] 图15为本发明第四实施例制备的激光遥控开关系统的控制电路的结构示意图。

[0023] 主要元件符号说明

[0024]	纳米纤维致动器	100,200
[0025]	复合结构体	12
[0026]	碳纳米管线	121
[0027]	氧化铝层	123
[0028]	碳层	125
[0029]	二氧化钒层	14
[0030]	仿生手臂	20
[0031]	仿生手掌	22
[0032]	纳米操纵器	30
[0033]	基体	32
[0034]	夹持结构	34
[0035]	激光遥控开关系统	40
[0036]	电源	42
[0037]	电子装置	43
[0038]	第一电极	44
[0039]	第二电极	46
[0040]	光敏元件	48

[0041] 如下具体实施例将结合上述附图进一步说明本发明。

具体实施方式

[0042] 以下将结合附图详细说明本发明提供的纳米纤维致动器,采用该致动器的致动系统以及其他应用。

[0043] 请参见图1,本发明第一实施例提供一种纳米纤维致动器100,其包括一复合结构体12及一二氧化钒层14。所述复合结构体12包括一碳纳米管线121及一氧化铝层123,所述氧化铝层123包覆在所述碳纳米管线121的表面并与所述碳纳米管线121同轴设置,所述二氧化钒层14包覆在所述复合结构体12的表面,且所述二氧化钒层14与所述复合结构体12非同轴设置。

[0044] 所述复合结构体12包括所述碳纳米管线121及所述氧化铝层123。所述复合结构体12可以仅由所述碳纳米管线121及所述氧化铝层123组成。所述氧化铝层123均匀地包覆在所述碳纳米管线121的表面,并与所述碳纳米管线121同轴设置。所述碳纳米管线121的长度为10微米至3厘米。所述碳纳米管线121的直径为0.5纳米至100纳米。优选地,所述碳纳米管线121的直径为0.5纳米至10纳米。所述氧化铝层123的厚度为5纳米至100纳米。本实施例中,所述氧化铝层123的厚度为10纳米。

[0045] 所述碳纳米管线121为一自支撑结构。所述自支撑结构是指为所述碳纳米管线121不需要大面积的载体支撑,而只要相对两边提供支撑力即能整体上悬空而保持自身线状状态,即将所述碳纳米管线121置于(或固定于)间隔一定距离设置的两个支撑体上时,位于两个支撑体之间的所述碳纳米管线121能够悬空保持自身线状状态。

[0046] 所述碳纳米管线121包括至少一碳纳米管。所述碳纳米管线121可以为单根碳纳米管。所述碳纳米管线121也可以包括多个碳纳米管。当所述碳纳米管线121为单根碳纳米管时,所述单根碳纳米管可以为一超长碳纳米管。所述超长碳纳米管的长度大于1厘米。可以理解,可以裁减所述超长碳纳米管获得所需的长度的所述碳纳米管线121。所述超长碳纳米管的制备方法可以参见范守善等人于2008年2月1日申请的,于2009年8月5日公开的CN101497436A号中国公开专利申请。为节省篇幅,仅引用于此,但所述申请所有技术揭露也应视为本发明申请技术揭露的一部分。本实施例中,所述碳纳米管线121为单根碳纳米管,其长度为50微米,直径为2.11纳米。

[0047] 当所述碳纳米管线121包括多个碳纳米管时,所述碳纳米管线121可以为非扭转的碳纳米管线或者为扭转的碳纳米管线。

[0048] 请参见图3,当所述碳纳米管线121为非扭转的碳纳米管线时,所述非扭转的碳纳米管线包括多个相互平行的多个碳纳米管,所述多个碳纳米管可以通过范德华力首尾相连,且沿所述碳纳米管线121轴向延伸排列。所述碳纳米管线121可通过将碳纳米管拉膜通过有机溶剂处理得到。所谓碳纳米管拉膜即为从碳纳米管阵列中直接拉取获得的一种具有自支撑性的碳纳米管膜。具体地,该碳纳米管拉膜包括多个碳纳米管片段,该多个碳纳米管片段通过范德华力首尾相连,每一碳纳米管片段包括多个相互平行并通过范德华力紧密结合的碳纳米管。该碳纳米管片段具有任意的长度、厚度、均匀性及形状。具体地,可将有机溶剂浸润所述碳纳米管拉膜的整个表面,在挥发性有机溶剂挥发时产生的表面张力的作用下,碳纳米管拉膜中的相互平行的多个碳纳米管通过范德华力紧密结合,从而使碳纳米管拉膜收缩为一非扭转的碳纳米管线。该有机溶剂为挥发性有机溶剂,如乙醇、甲醇、丙酮、二氯乙烷或氯仿。通过有机溶剂处理的碳纳米管与未经有机溶剂处理的碳纳米管膜相比,比表面积减小,粘性降低。所述碳纳米管拉膜的结构及其制备方法请参见范守善等人于2007年2月9日申请的,2010年5月26日公告的,公告号为CN101239712B的中国发明专利申请公开说明书。所述非扭转的碳纳米管线及其制备方法请参见范守善等人于2002年9月16日申

请的,于2008年8月20日公告的第CN100411979C号中国公告专利“一种碳纳米管绳及其制造方法”。为节省篇幅,仅引用于此,但所述申请所有技术揭露也应视为本发明申请技术揭露的一部分。

[0049] 请参阅图4,当所述碳纳米管线121为扭转的碳纳米管线时,所述扭转的碳纳米管线包括多个螺旋排列的碳纳米管,所述多个碳纳米管可以通过范德华力首尾相连,且沿所述碳纳米管线121轴向螺旋延伸排列。所述扭转的碳纳米管线为采用一机械力将上述碳纳米管拉膜沿碳纳米管延伸方向的两端依照相反方向扭转获得。具体地,该扭转的碳纳米管线包括多个碳纳米管片段,该多个碳纳米管片段通过范德华力首尾相连,每一碳纳米管片段包括多个相互平行并通过范德华力紧密结合的碳纳米管。该碳纳米管片段具有任意的长度、厚度、均匀性及形状。进一步地,可采用一挥发性有机溶剂处理该扭转的碳纳米管线。在挥发性有机溶剂挥发时产生的表面张力的作用下,处理后的扭转的碳纳米管线中相邻的碳纳米管通过范德华力紧密结合,使扭转的碳纳米管线的比表面积减小,密度及强度增大。所述非扭转的碳纳米管线及其制备方法请参见范守善等人于2005年12月16日申请的,于2009年6月17日公告的第CN100500556C号中国公告专利“碳纳米管丝及其制作方法”。为节省篇幅,仅引用于此,但所述申请所有技术揭露也应视为本发明申请技术揭露的一部分。

[0050] 进一步,所述复合结构体12可以进一步包括一碳层125。所述复合结构体12可以仅由所述碳纳米管线121、所述碳层125及所述氧化铝层123构成。所述碳层125设置在所述碳纳米管线121及所述氧化铝层123之间,并且与所述碳纳米管线121及所述氧化铝层123接触设置。所述碳层125与所述碳纳米管线121及所述氧化铝层123同轴设置。所述碳层均匀地包覆在碳纳米管线121的表面。所述该碳层125为一非晶碳层。所述碳层125的厚度为0.1纳米至10纳米。本实施例中,所述碳层125的厚度为0.92纳米。

[0051] 所述二氧化钒层14包覆在所述复合结构体12表面,即所述二氧化钒层14包覆在所述氧化铝层123的表面。所述纳米纤维致动器100可以仅由所述复合结构体12及所述二氧化钒层14组成。所述二氧化钒层14与所述复合结构体12非同轴设置。具体地,请参见图1,在纳米纤维致动器100的垂直于轴向方向的横截面上,包覆在所述复合结构体12表面的二氧化钒层14厚度不同,即,所述复合结构体12偏离所述纳米纤维致动器100的轴心设置。可以理解,单独的二氧化钒层14为一空心结构,其壁厚(包覆在所述复合结构体12表面的二氧化钒层14厚度)并非均一。所述二氧化钒层14厚度的厚度可以根据实际需要选择,所述二氧化钒层14的厚度最大值与最小值的比例约为9:1至7:1。优选地,所述二氧化钒层14的厚度最大值与最小值的比例约为8:1。本实施例中,所述二氧化钒层14厚度的最大值为72纳米,与所述二氧化钒层14厚度的最小值为9纳米。以所述纳米纤维致动器100的轴心为基准,定义所述二氧化钒层14厚度大的一侧为第一侧,定义所述二氧化钒层14厚度小的一侧为第二侧。

[0052] 所述二氧化钒层14的材料可以是纯的二氧化钒,也可以为掺杂的二氧化钒。通过掺杂可以改变所述二氧化钒层14的相变温度。所述掺杂的元素可以为钨、钼、铝、磷、铌、铈、氟等,掺杂的重量比例可以为0.5%~5%。其中,掺杂钨、钼等大尺寸原子可以有效降低所述二氧化钒层14的相变温度。而掺杂铝、磷等小尺寸原子可以有效升高所述二氧化钒层14的相变温度。

[0053] 由图4及图5所示,所述纳米纤维致动器100具有双向致动的特性。图2中,所述纳米纤维致动器100的一端固定一钨针尖上,所述纳米纤维致动器100通过其自身和钨针尖的吸

引力固定在一起。采用激光照射所述纳米纤维致动器100。由图2所示,在加热和冷却过程中,所述纳米纤维致动器100朝两个相对的方向弯曲。因此,所述纳米纤维致动器100具有双向致动的特性。以所述纳米纤维致动器100的轴心为基准,定义所述纳米纤维致动器100朝向所述第一侧弯曲时的致动行为为正向致动,定义所述纳米纤维致动器100朝向所述第二侧弯曲时的致动行为为负向致动。由图5所示,所述纳米纤维致动器100在加热和冷却的过程中具有四个致动阶段。在加热所述纳米纤维致动器100的过程中,所述纳米纤维致动器100的致动过程包括第一致动阶段及第二致动阶段。在冷却所述纳米纤维致动器100的过程中,所述纳米纤维致动器100的致动过程包括第三致动阶段及第四致动阶段。所述纳米纤维致动器100的致动过程中,所述第一致动阶段及第四致动阶段为负向致动,第二致动阶段与第三致动阶段为正向致动。

[0054] 所述二氧化钒层14的相变温度为65℃。当所述二氧化钒层14在低于相变温度时,例如常温下,具有绝缘相,表现为绝缘体。当所述二氧化钒层14被加热至相变温度后,其突然发生相变,从绝缘相转变为金属相,而且,在沿着金属相的c轴方向引起体积收缩。因此,当所述纳米纤维致动器100的温度大于等于所述二氧化钒层14的相变温度时,所述纳米纤维致动器100的所述第一侧发生弯曲。当所述纳米纤维致动器100的温度小于所述二氧化钒层14的相变温度时,所述纳米纤维致动器100的所述第二侧发生弯曲。所述二氧化钒层14的相变体积收缩主导着所述纳米纤维致动器100具在第二致动阶段的正向致动和第四致动阶段的负向致动。另外,参见表1,由于二氧化钒具有比氧化铝和碳纳米管大的热膨胀系数,因此,所述纳米纤维致动器100在第一致动阶段为负向致动,在第三致动阶段为正向致动。具体地,在所述第一致动阶段,由于二氧化钒的热膨胀系数大于氧化铝和碳纳米管的热膨胀系数,加热后的所述纳米纤维致动器100的所述第一侧的体积变化大于所述第二侧的体积,因此,所述纳米纤维致动器100的所述第二侧发生弯曲。在冷却所述纳米纤维致动器100的所述第三致动阶段,所述纳米纤维致动器100的热膨胀系数依旧维持第二致动阶段的热膨胀系数,因此,所述纳米纤维致动器100的所述第二侧仍然继续弯曲,即所述纳米纤维致动器100的致动行为仍保持正向致动。

[0055] 表1纳米纤维致动器的材料属性

	材料	碳纳米管	氧化铝	二氧化钒
[0056]	泊松比	0. 2	0. 22	0. 3
	杨氏模量 (GPa)	450	400	140
	导热系数 ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)	2000	35	5
[0057]	热容量 ($\text{JKg}^{-1}\text{K}^{-1}$)	1000	730	700
	热膨胀系数(10^{-6}K^{-1})	3	6. 5	α (T)

[0058] 图6为纳米纤维致动器100的位移与加热温度的函数关系图。采用加热板给所述纳米纤维致动器100加热。所述加热板的材料为Pi加热带和铜块。由图6可见,所述纳米纤维致动器100在加热和降温的过程中发生双向致动且具有较大的位移。因此,所述纳米纤维致动器100具有较大的形变。

[0059] 图7为纯二氧化钒薄膜在加热和冷却过程中电阻和温度的关系图。图8为纳米纤维

致动器100在加热和冷却过程中电阻和温度的关系图。图7中,将所述纯二氧化钒薄膜设置在石英基板上,图8中将纳米纤维致动器100设置在具有到氧化硅涂层的硅基板上,在相同的参数下对所述纯二氧化钒薄膜和所述纳米纤维致动器100进行检测。由图7可见,在加热和冷却纯二氧化钒薄膜的过程中,纯二氧化钒薄膜的电阻急剧降低了约3个数量级。由图8可见,在加热和冷却所述纳米纤维致动器100的过程中,所述纳米纤维致动器100的电阻在整个MIT区域变化约200倍。由此可见,所述纳米纤维致动器100的电阻变化率低于纯二氧化钒薄膜。

[0060] 图9为纳米纤维致动器100的位移与激光功率强度的函数关系图。其中,采用波长为808纳米的激光照射长度为50微米纳米纤维致动器100,纳米纤维致动器100吸收激光的热量后发生双向致动。由图9可见,在加热过程中,纳米纤维致动器100在300mW和460mW的功率强度下分别实现了约37 μ m最大负位移和约45 μ m的最大正位移。

[0061] 本实施例的所述纳米纤维致动器100中所述二氧化钒层14与所述复合结构体12非同轴设置,且所述二氧化钒层14与所述复合结构体12之间的热失配使所述纳米纤维致动器100具有大幅度的双向致动功能,所述纳米纤维致动器100在两个方向均具有较大的位移,形变较大。由于所述纳米纤维致动器100的直径为纳米级,因此,所述纳米纤维致动器100响应速度快,且同时减小了所述纳米纤维致动器100的质量,有利于扩大所述纳米纤维致动器100的应用范围。

[0062] 参见图10,本发明第一实施例进一步提供一种纳米纤维致动器100的制备方法,该方法包括以下步骤:

[0063] 步骤S11,提供一碳纳米管线及一基底,将所述碳纳米管线121设置在基底上使所述碳纳米管线至少部分悬空;

[0064] 步骤S12,包覆一氧化铝层于所述碳纳米管线的表面形成一复合结构体;

[0065] 步骤S13,包覆一二氧化钒层于所述复合结构体的表面。

[0066] 在所述步骤S11中,通过物理气相沉积法或化学气相沉积法在所述基底上生长所述碳纳米管线121。所述碳纳米管线121包括至少一碳纳米管。所述基底的材料可以为硅、氧化硅、氮化硅及其组合。所述基底可以包括多个空隙。该多个空隙可以通过光刻形成。当所述碳纳米管线121设置在所述基底上时,对应所述空隙的所述碳纳米管线121悬空设置。本实施例中,所述碳纳米管线121为化学气相沉积法生长的单根碳纳米管,所述基底的材料为Si-SiO₂-Si₃N₄,所述基底具有七个长条状空隙,其宽度为350微米。

[0067] 本实施例中,在步骤S11中,在Si-SiO₂-Si₃N₄基底上设置Fe催化剂膜进行化学气相沉积来生长碳纳米管。具体地,将设置有催化剂的所述基底转移到石英管中,通入452sccm的保护气体氩气加热至970 $^{\circ}$ C,通入流量为216sccm的氢气,流量为0.8sccm的乙烯气体,流量为0.3sccm的二氧化碳气体生长碳纳米管,生长碳纳米管的时间为14分钟。然后将温度降至600 $^{\circ}$ C,将氩气气氛增加到1000sccm,停止通入乙烯和二氧化碳,并保持10分钟。最后,自然冷却至环境温度获得碳纳米管。该碳纳米管为一超长碳纳米管,长度为大于1厘米。

[0068] 在所述步骤S12中,通过原子沉积法在所述碳纳米管线121的表面的沉积所述氧化铝层123。具体地,通过原子沉积法使所述氧化铝层123均匀地包覆在所述碳纳米管线121悬空部分的外表面形成所述复合结构体12。本实施例中,采用三甲基铝(TMA)作为金属前体,H₂O和氮气(N₂)用作氧气源和载气。将设置有所述碳纳米管线121的基底转移到ALD系统

(NorthStar™, SVTA, 美国)的腔室中,在120℃下沉积所述氧化铝层123, N₂的流速为5sccm。所述氧化铝层123的厚度为10纳米。

[0069] 所述步骤S13中,在所述复合结构体12的表面包覆所述二氧化钒层14的方法包括:

[0070] S131,在所述氧化铝层123的表面沉积一层氧化钒层;以及

[0071] S132,在含氧气氛中退火使所述氧化钒层转变为二氧化钒层14。

[0072] 在所述步骤S131中,所述沉积氧化钒层的方法不限,可以为化学气相沉积、磁控溅射等。在所述步骤S132中,含氧气氛可以为空气中或氧气中。

[0073] 本实施例中,所述步骤S131中,通过直流磁控溅射的方法在所述氧化铝层123的表面沉积一层氧化钒层。所述直流磁控溅射采用高纯钒金属靶,溅射功率为60W,溅射温度为室温,工作气体为49.7sccm的氩气和0.3sccm的氧气的混合气体,溅射时间为25分钟。所述氧化钒层的成分为VO_x。所述步骤S132中,在低压氧气(4sccm)环境中对氧化钒层进行退火处理,所述退火温度为450℃,时间为10分钟。

[0074] 可选择地,在所述步骤S11和步骤S12之间,可以包括一在所述碳纳米管线121的表面形成所述碳层125的步骤。具体地,通过直流磁控溅射的方法在所述碳纳米管线121的表面沉积所述碳层125。本实施例中,通过直流磁控溅射的方法将非晶碳沉积在所述碳纳米管线121的表面。溅射功率为72W,溅射温度为室温,工作气体为25sccm的氩气,工作压强为0.3pa,溅射时间为10秒。所述碳层125的厚度为0.92纳米。

[0075] 本实施例提供的纳米纤维致动器100的制备方法操作简单,利于批量生产。在步骤S12中,通过原子沉积法在悬空的所述碳纳米管线121的表面形成所述氧化铝层123,所述氧化铝层123均匀地包覆在所述碳纳米管线121悬空部分的表面,且形成的所述氧化铝层123与所述碳纳米管线121同轴设置。在步骤S13中,过直流磁控溅射的方法在所述氧化铝层123的表面沉积一层氧化钒,然后经过退火形成所述二氧化钒层14。所述二氧化钒层14包覆在所述复合结构体12的表面,且所述二氧化钒层14与所述复合结构体12非同轴设置。

[0076] 请参见图11,本发明第二实施例提供一种的仿生手臂20,其包括一仿生手掌22和至少一个手指。所述至少一个手指为一纳米纤维致动器200。所述纳米纤维致动器200与所述纳米纤维致动器100的结构一样,区别点在所述纳米纤维致动器200的直径大于所述纳米纤维致动器100的直径。所述纳米纤维致动器200的直径为0.5厘米至3厘米。

[0077] 所述纳米纤维致动器200包括一复合结构体12及一二氧化钒层14。所述复合结构体12包括一碳纳米管线121及一氧化铝层123,所述氧化铝层123包覆在所述碳纳米管线121的表面并与所述碳纳米管线121同轴设置,所述二氧化钒层14包覆在所述复合结构体12的表面,且所述二氧化钒层14与所述复合结构体12非同轴设置。在所述纳米纤维致动器200中,所述二氧化钒层14厚度的厚度可以根据实际需要选择,所述二氧化钒层14的厚度最大值与最小值的比例约为9:1至7:1。优选地,所述二氧化钒层14的厚度最大值与最小值的比例约为8:1。所述复合结构体12的直径与所述纳米纤维致动器100'直径的百分比为10%-30%。本实施例中,所述二氧化钒层14的厚度最大值与最小值的比例约为8:1,所述复合结构体12的直径与所述纳米纤维致动器200直径的百分比为20%。

[0078] 所述纳米纤维致动器200固定在所述仿生手掌22的方式不限,例如,可通过粘贴或焊接的方式将所述纳米纤维致动器200固定在所述仿生手掌22上。所述仿生手掌22的材料和形状不限可以根据实际需要选择。所述仿生手掌22的材料可以为导电材料或者绝缘材

料。所述导电材料可以为银、铜、金、铝、钨、镍、铁等金属或任意两种的合金。所述绝缘材料为陶瓷、玻璃或橡胶。当所述仿生手掌22为导电材料时,通过给所述仿生手掌22通电可以使所述碳纳米管线121通电进而加热所述纳米纤维致动器200使所述纳米纤维致动器200产生致动行为。当所述仿生手掌22为绝缘材料时,可以通过激光照射加热所述纳米纤维致动器200使所述纳米纤维致动器200产生致动行为。所述激光可以是各种颜色的激光,也可以是被调制的激光束,也可以是无调制的激光束,只要能达到一定强度使所述纳米纤维致动器200弯曲致动即可。

[0079] 本实施例中,所述仿生手臂20包括四个间隔设置的所述手指,所述仿生手掌22的材料为铝,通过银浆将所述纳米纤维致动器200固定在所述仿生手掌22上。

[0080] 所述采用激光照射所述手指或者给所述手指通电时时,所述手指中由于所述二氧化钒层与所述复合结构体非同轴设置,且所述二氧化钒层与所述复合结构体之间的热失配使所述手指具有大幅度的双向致动功能,形变较大且响应速度快。因此,所述手指可以快速弯曲实现点触及抓握功能。

[0081] 请参见图12,本发明第三实施例提供一种采用上述纳米纤维致动器100的纳米操纵器30,其包括:一基体32和一夹持结构34,所述夹持结构34包括两个所述纳米纤维致动器100。两个所述纳米纤维致动器100间隔设置在所述基体32上。所述纳米纤维致动器100,其包括所述复合结构体12及所述二氧化钒层14。所述复合结构体12包括一碳纳米管线121及一氧化铝层123,所述氧化铝层123包覆在所述碳纳米管线121的表面并与所述碳纳米管线121同轴设置,所述二氧化钒层14包覆在所述复合结构体12的表面,且所述二氧化钒层14与所述复合结构体12非同轴设置。以所述纳米纤维致动器100的轴心为基准,定义所述二氧化钒层14厚度大的一侧为第一侧,定义所述二氧化钒层14厚度小的一侧为第二侧。两个所述纳米纤维致动器100的两个所述第一侧相邻设置,或者两个所述纳米纤维致动器100的两个所述第二侧相邻设置。

[0082] 所述基体32用于承载所述纳米纤维致动器100。所述纳米纤维致动器100固定在所述基体32的方式不限,例如,可通过粘贴、焊接或二者之间的吸引力将所述纳米纤维致动器100固定在所述基体32上。所述基体32的材料不限可以根据实际需要选择。所述基体32的材料可以为导电材料或者绝缘材料。所述导电材料可以为银、铜、金、铝、钨、镍、铁等金属或任意两种的合金。所述绝缘材料为陶瓷、玻璃或橡胶。当所述基体32为导电材料时,通过给所述基体32通电可以使所述碳纳米管线121通电进而加热所述纳米纤维致动器100使所述纳米纤维致动器100产生致动行为。当所述基体32为绝缘材料时,可以通过激光照射加热所述纳米纤维致动器100使所述纳米纤维致动器100产生致动行为。本实施例中,所述基体32为一钨针,所述纳米纤维致动器100和钨针通过二者之间的吸引力使所述纳米纤维致动器100固定在钨针尖上。

[0083] 所述基体32的形状不限,可以根据实际需要进行选择。如图12所示,所述基体32可以为一个整体结构,两个所述纳米纤维致动器13间隔设置在所述基体32的一端。请参照图13,所述基体32可以包括两个操纵臂36,两个所述操纵臂36间隔设置,两个所述纳米纤维致动器100分别设置在两个所述操纵臂36的端部。两个所述操纵臂36之间的距离可以根据实际需要设计。本实施例中,两个所述纳米纤维致动器100间隔设置在一钨针尖的端部。

[0084] 两个所述纳米纤维致动器100的两个所述第一侧相邻设置,或者两个所述纳米纤

维致动器100的两个所述第二侧相邻设置。当两个所述纳米纤维致动器100的两个所述第一侧相邻设置时,两个所述纳米纤维致动器100之间的距离会随着温度的升高先变大然后变小。当两个所述纳米纤维致动器100的两个所述第二侧相邻设置时,两个所述纳米纤维致动器100之间的距离会随着温度的升高先变小然后变大。两个所述纳米纤维致动器100之间的距离变小时可实现夹持及转移目标物的功能。本实施例中,两个所述纳米纤维致动器100的两个所述第一侧相邻设置。

[0085] 图14为采用激光照射本实施例的纳米操纵器30,纳米操纵器30的形态变化过程图。在图14中,两个所述纳米纤维致动器100的两个所述第一侧相邻设置。如图14所示,图14A为所述纳米操纵器30的初始形态,图14B为开始采用激光照射所述纳米操纵器30时所述纳米操纵器30的形态。图14C为继续采用激光照射所述纳米操纵器30时所述纳米操纵器30的形态。图14D为停止激光照射所述纳米操纵器30后所述纳米操纵器30的形态。由图14B可见,刚采用激光照射所述纳米操纵器30时,所述纳米纤维致动器100的温度还没有达到所述二氧化钒层14的相变温度,此时,所述纳米纤维致动器100朝向所述第二侧弯曲。因此,两个所述纳米纤维致动器100之间的距离变大。由图14C可见,继续采用激光照射所述纳米操纵器30时,所述纳米纤维致动器100的温度继续升高,所述纳米纤维致动器100的温度达到并超过所述二氧化钒层14的相变温度,此时,所述纳米纤维致动器100朝向所述第一侧弯曲。因此,两个所述纳米纤维致动器100之间的距离变小并相互接触。由图14D可见,停止激光照射所述纳米操纵器30后,随着温度的下降,所述纳米操纵器30恢复到初始形态。

[0086] 本实施例提供的所述纳米操纵器30包括两个所述纳米纤维致动器100,所述纳米纤维致动器100中所述二氧化钒层14与所述复合结构体12非同轴设置,且所述二氧化钒层14与所述复合结构体12之间的热失配使所述纳米纤维致动器100具有大幅度的双向致动功能,所述纳米纤维致动器100在两个方向均具有较大的位移,形变较大,利于所述纳米操纵器30夹持及转移目标物。由于所述纳米纤维致动器100的直径为纳米级,利于夹持纳米级颗粒,同时所述纳米纤维致动器100的响应速度快,利于提高夹持速度。

[0087] 请参见图15,本发明第四实施例提供一种采用上述纳米纤维致动器100的一种激光遥控开关系统。所述激光遥控开关系统包括一激光源和一控制电路40。所述控制电路40包括一电源42、一电子装置43、一第一电极44、一第二电极46、以及一光敏元件48。所述电源42、所述电子装置43、所述第一电极44、所述光敏元件48以及所述第二电极46依次电连接形成一回路。所述光敏元件48包括两个所述纳米纤维致动器100。所述纳米纤维致动器100,其包括所述复合结构体12及所述二氧化钒层14。所述复合结构体12包括一碳纳米管线121及一氧化铝层123,所述氧化铝层123包覆在所述碳纳米管线121的表面并与所述碳纳米管线121同轴设置,所述二氧化钒层14包覆在所述复合结构体12的表面,且所述二氧化钒层14与所述复合结构体12非同轴设置。所述激光源用于照射所述光敏元件48,所述光敏元件48中的所述纳米致动器10随着温度的变化弯曲致动,使所述回路断开或闭合,即实现所述控制电路40的断开和导通。

[0088] 两个所述纳米致动器10可以分别设置在所述第一电极44及所述第二电极46上。两个所述纳米致动器10可以通过粘贴或者焊接的方式设置在所述第一电极44及所述第二电极46上。具体地,采用导电材料将两个所述纳米致动器10分别固定在所述第一电极44及所述第二电极46上。两个所述纳米致动器10分别设置在所述第一电极44及所述第二电极46的

端部。两个所述纳米致动器10的之间的距离及设置在所述第一电极44及所述第二电极46端部上的位置可以根据实际需要进行设计,只要能实现两个所述纳米致动器10在弯曲时能够接触即可。具体地,所述第一电极44具有相对的第一端部和第二端部,所述第二电极46具有相对的第三端部和第四端部。所述第二端部和第四端部相邻且间隔设置,两个所述纳米致动器10分别设置在所述第二端部和第四端部上。优选地,所述第二端部和第四端部平行且间隔设置。本实施例中,所述第一电极44及所述第二电极46平行且间隔设置,两个所述纳米致动器10通过银浆分别固定在所述第一电极44的第二端部及所述第二电极46的第四端部,且两个所述纳米致动器10也平行间隔设置。以所述纳米纤维致动器100的轴心为基准,定义所述二氧化钒层14厚度大的一侧为第一侧,定义所述二氧化钒层14厚度小的一侧为第二侧。两个所述纳米纤维致动器100的两个所述第一侧相邻设置,或者两个所述纳米纤维致动器100的两个所述第二侧相邻设置。本实施例中,两个所述纳米纤维致动器100的两个所述第一侧相邻设置。

[0089] 所述激光遥控开关系统由所述激光源发出的激光照射所述光敏元件48实现控制电路40的导通,使电流流经所述电子装置43使所述电子装置43工作。所述激光源为一激光发射装置。激光可以是各种颜色的激光,也可以是被调制的激光束,也可以是无调制的激光束,只要能达到一定强度使所述光敏元件48中的所述纳米纤维致动器100弯曲致动进而使所述控制电路导通即可。具体地,本实施例中,采用激光照射所述光敏元件48,当所述纳米纤维致动器100的温度还没有达到所述二氧化钒层14的相变温度,所述纳米纤维致动器100朝向所述第二侧弯曲。此时,两个所述纳米纤维致动器100之间的距离变大。继续采用激光照射所述光敏元件48,所述纳米纤维致动器100的温度继续升高,当所述纳米纤维致动器100的温度达到并超过所述二氧化钒层14的相变温度,所述纳米纤维致动器100朝向所述第一侧弯曲。此时,两个所述纳米纤维致动器100之间的距离慢慢变小最终相互接触使所述控制电路40导通,使电流流过所述电子装置43并启动所述电子装置43。

[0090] 所述电子装置43为所述激光遥控开关系统遥控的目标物。所述电子装置43可以为家用电器,例如灯具、空调、电视等,但不限于上述种类。

[0091] 本实施例的激光遥控开关系统中,所述光敏元件48包括两个所述纳米纤维致动器100,所述纳米纤维致动器100中所述二氧化钒层14与所述复合结构体12非同轴设置,且所述二氧化钒层14与所述复合结构体12之间的热失配使所述纳米纤维致动器100具有大幅度的双向致动功能。采用激光照射所述光敏元件48使两个所述纳米纤维致动器100弯曲接触可直接实现所述控制电路40闭合,实现遥控所述电子装置43的目的。激光源发射的激光束直接作为控制信号,所述光敏元件48接收的信号不需要解调、放大电路,使控制电路变得简单,成本较低,可靠性大大提高,抗干扰性强。而且,所述纳米纤维致动器100的直径为纳米级,具有较快的响应速率,从而提高了激光遥控开关系统40的灵敏度。

[0092] 以上已经给出了本发明的多个实施方式,可以理解的是,在不偏离本公开内容精神以及范围的情况下,可以做出各种变化、替换、以及改变,这些实施方式也在本发明的保护范围内。

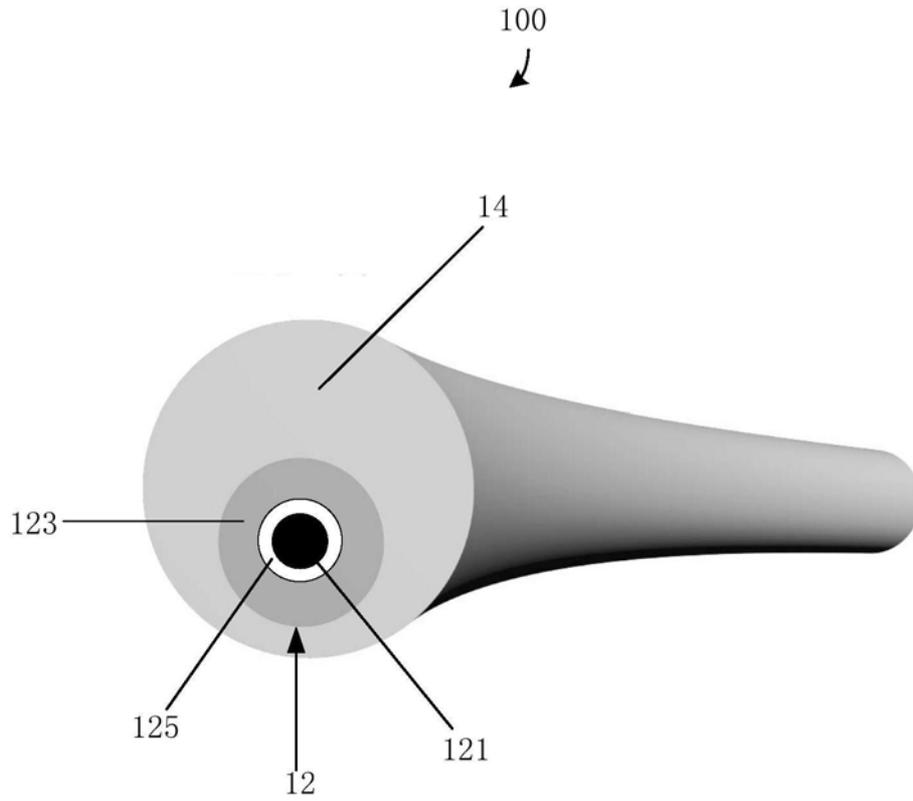


图1

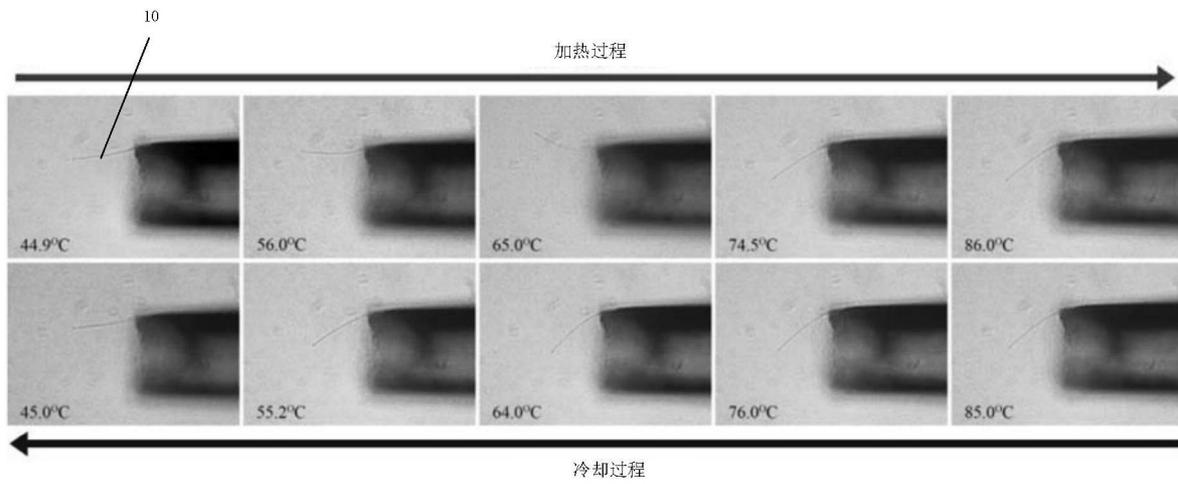


图2

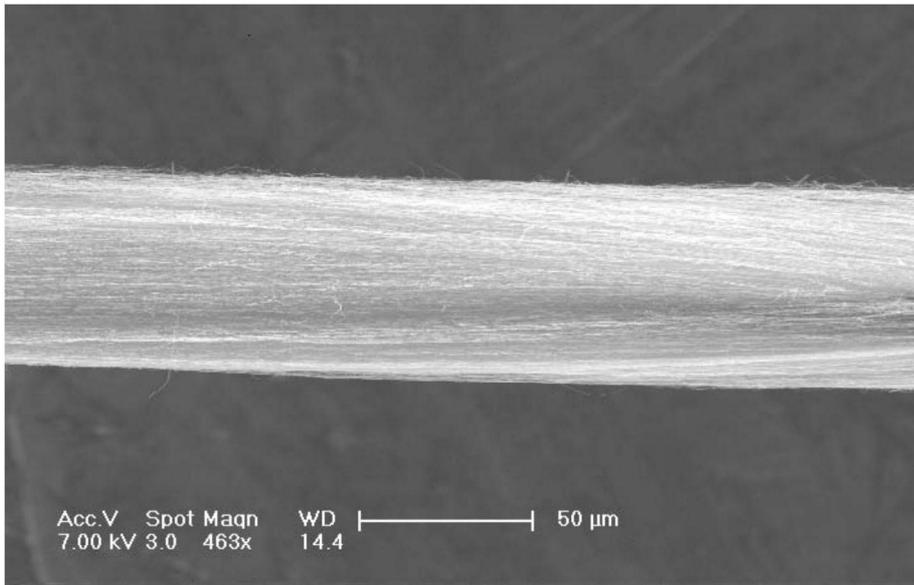


图3

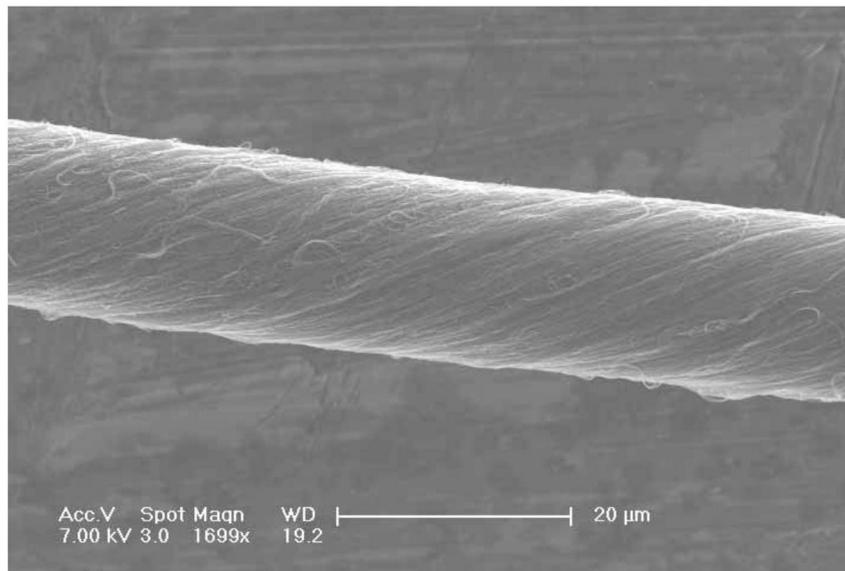


图4

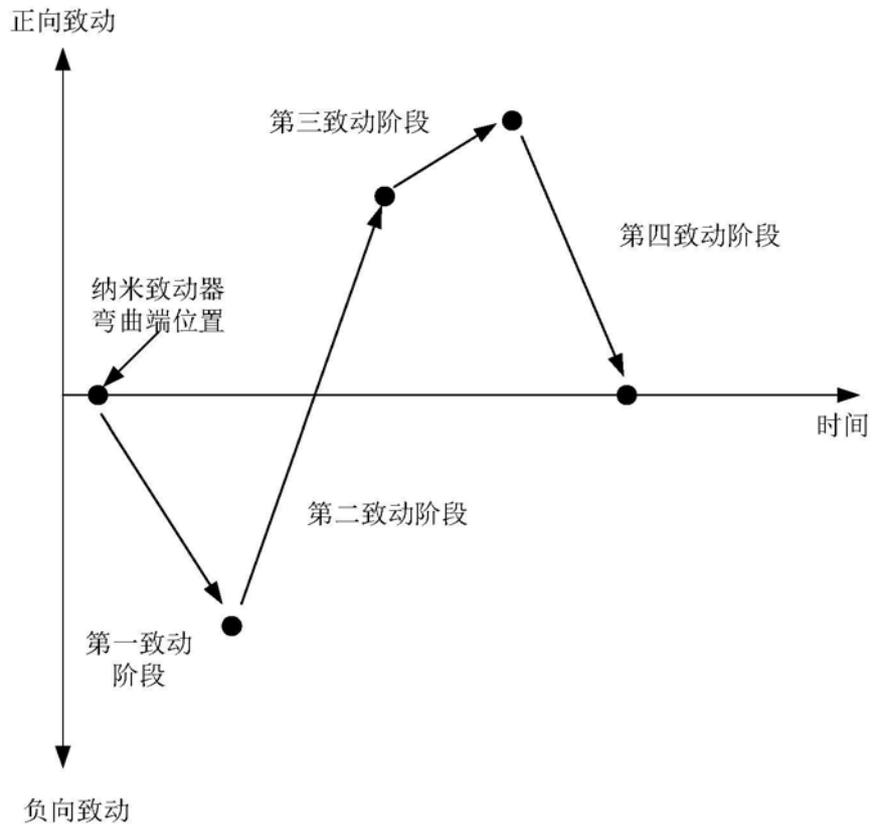


图5

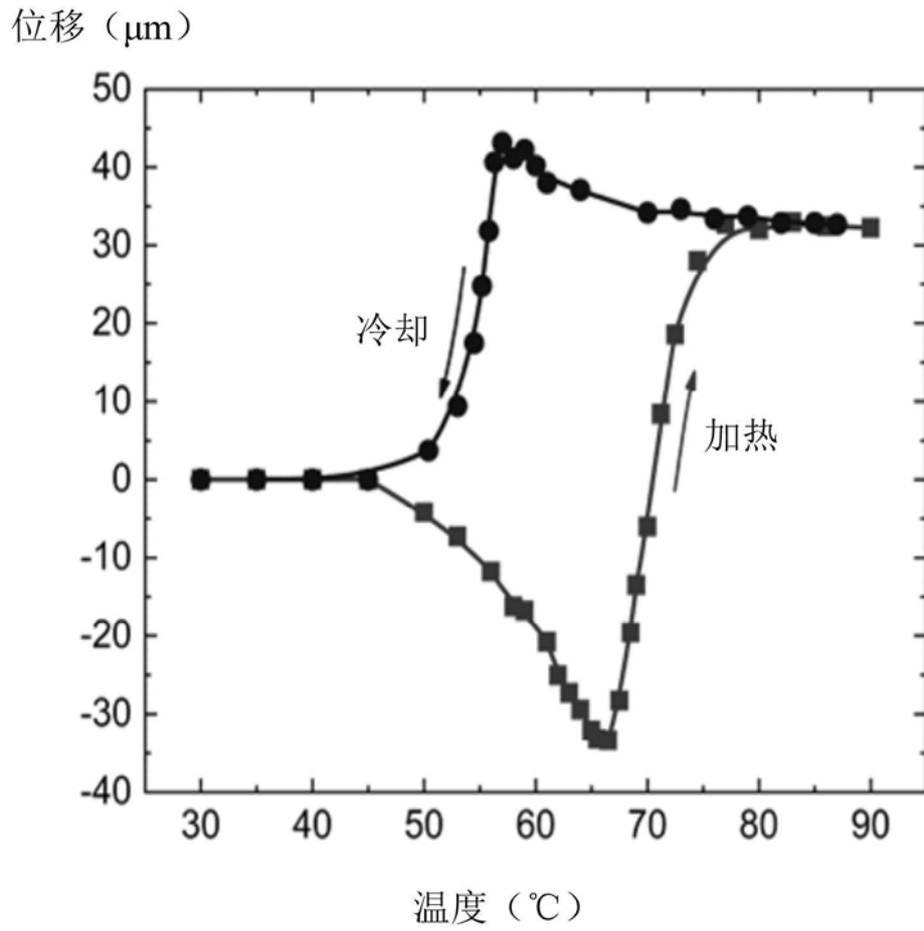


图6

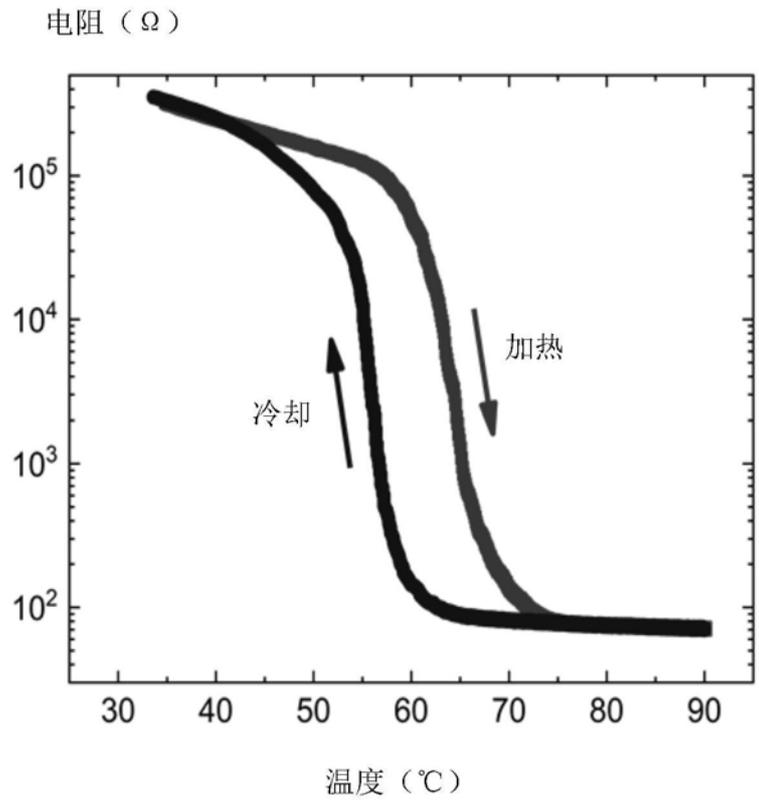


图7

电阻 (Ω)

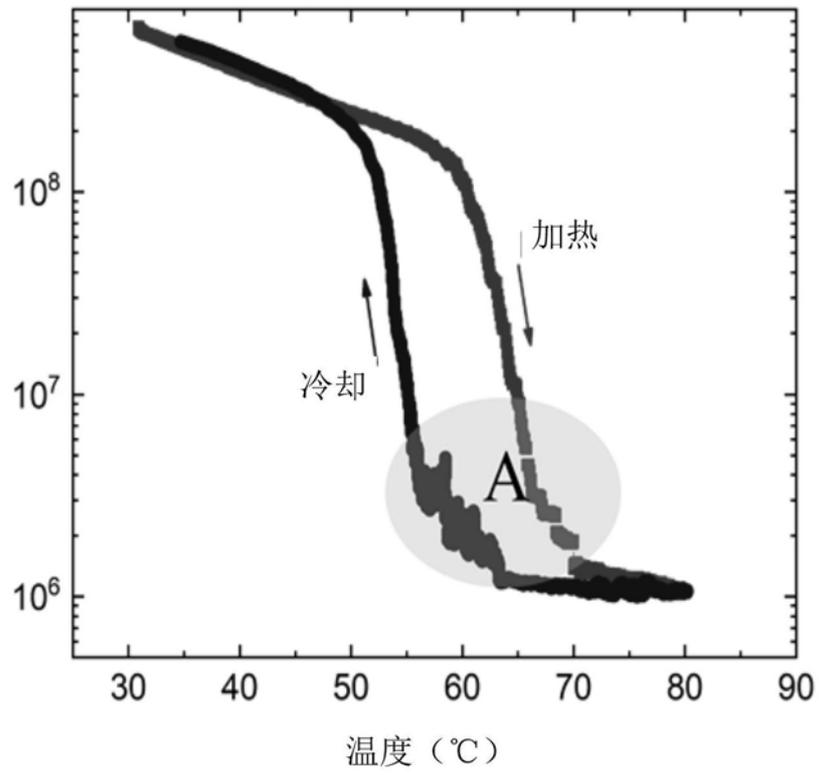


图8

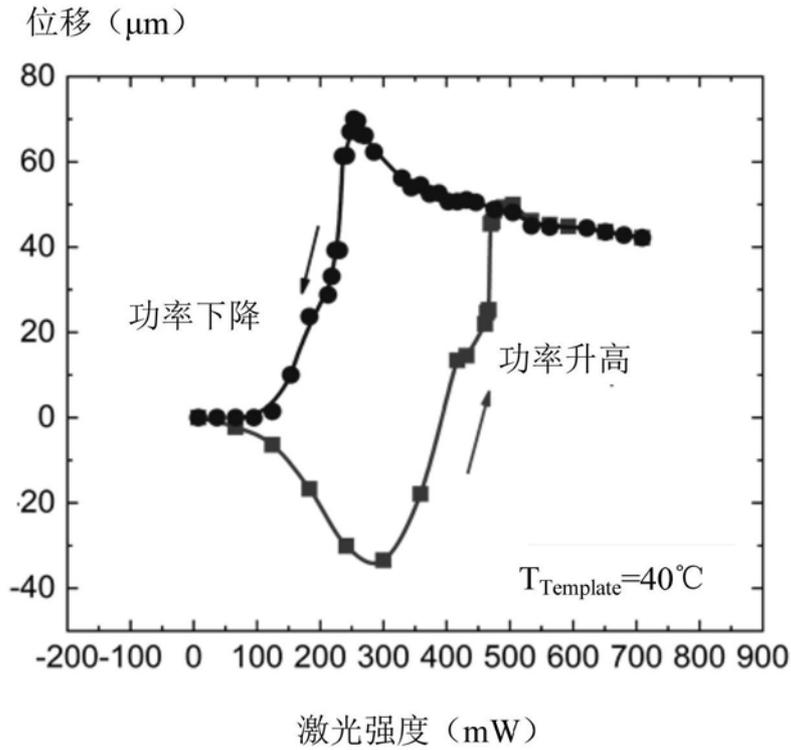


图9

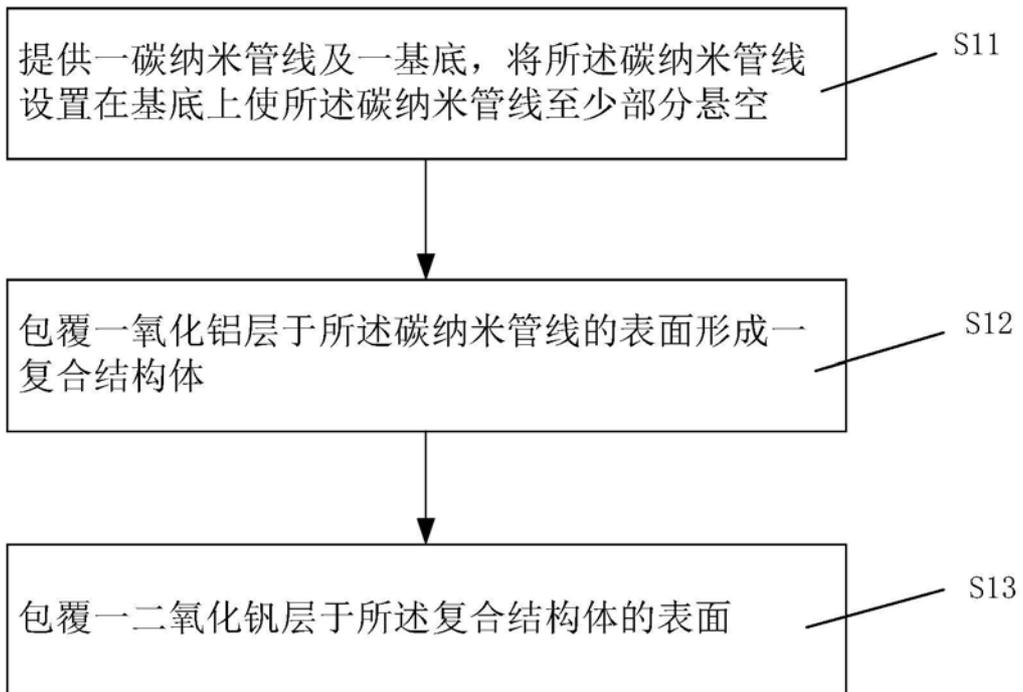


图10

20

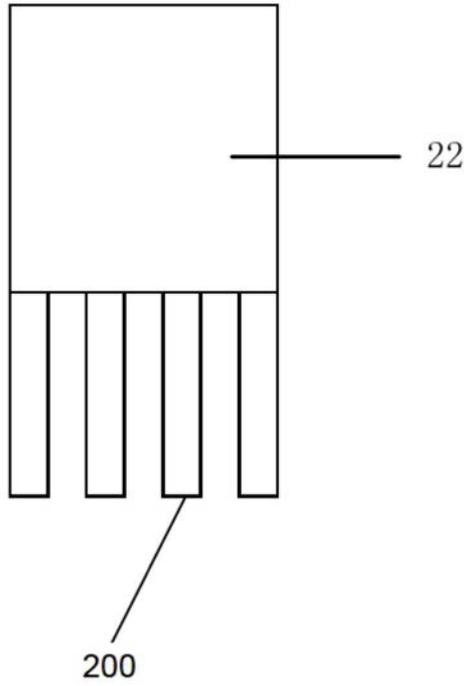


图11

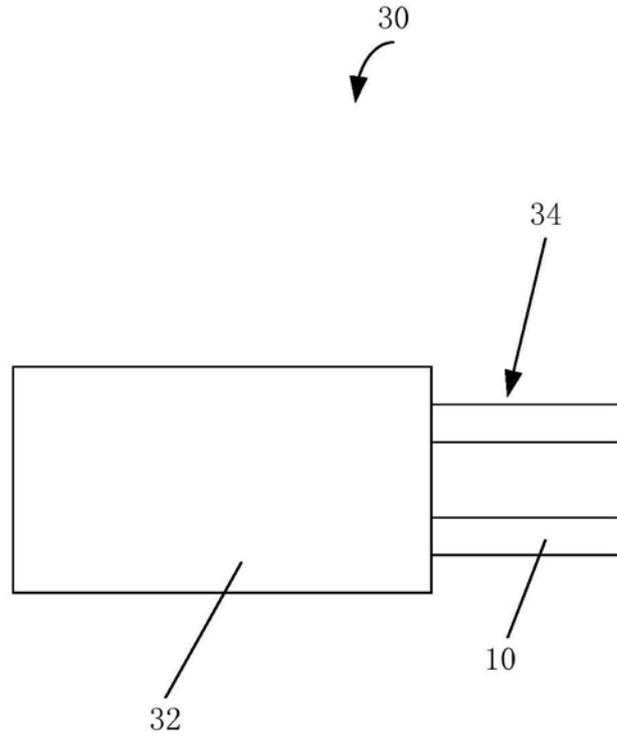


图12

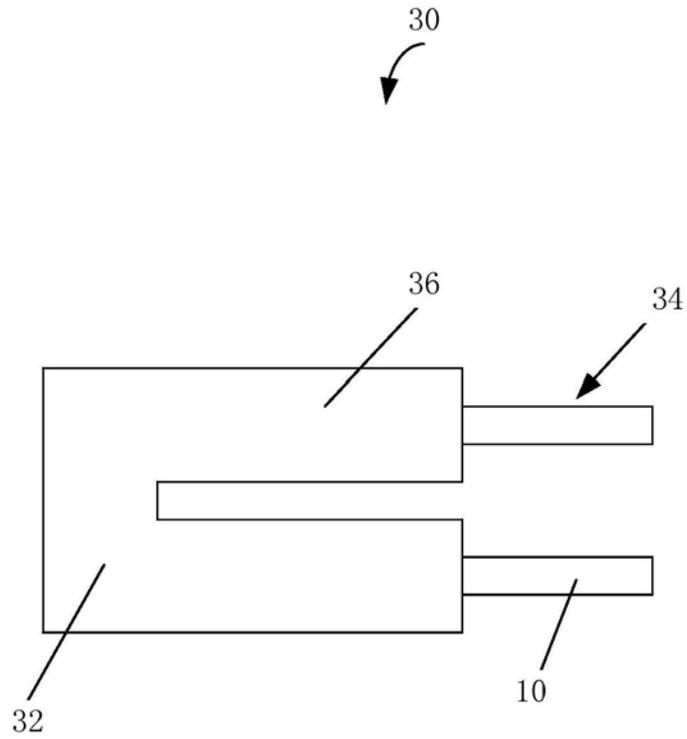


图13

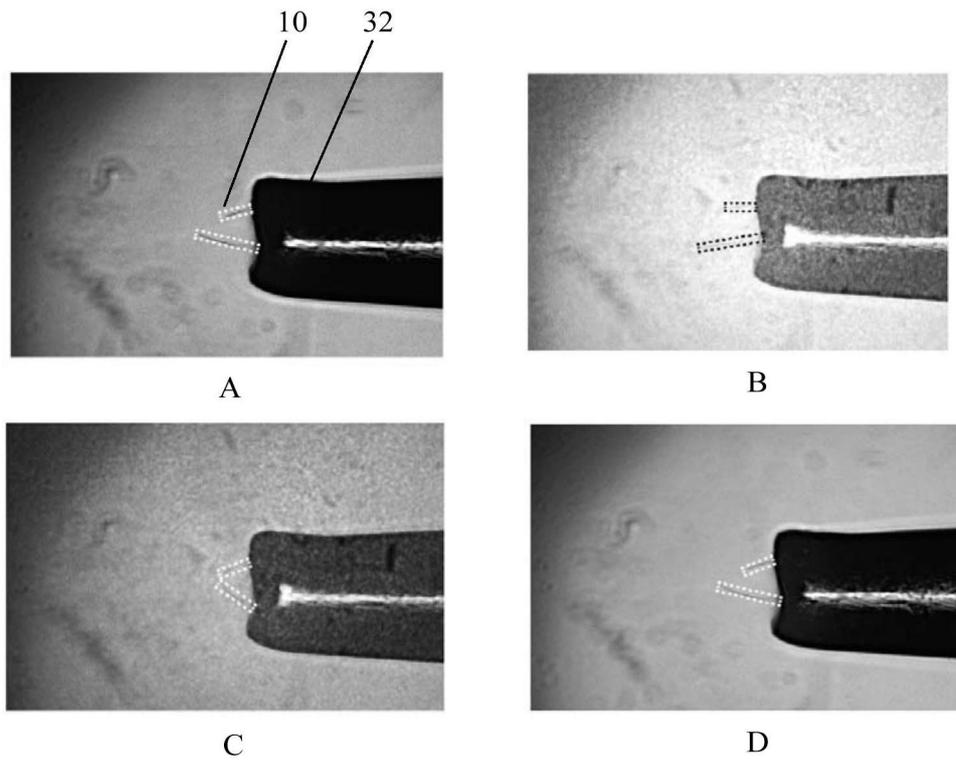


图14

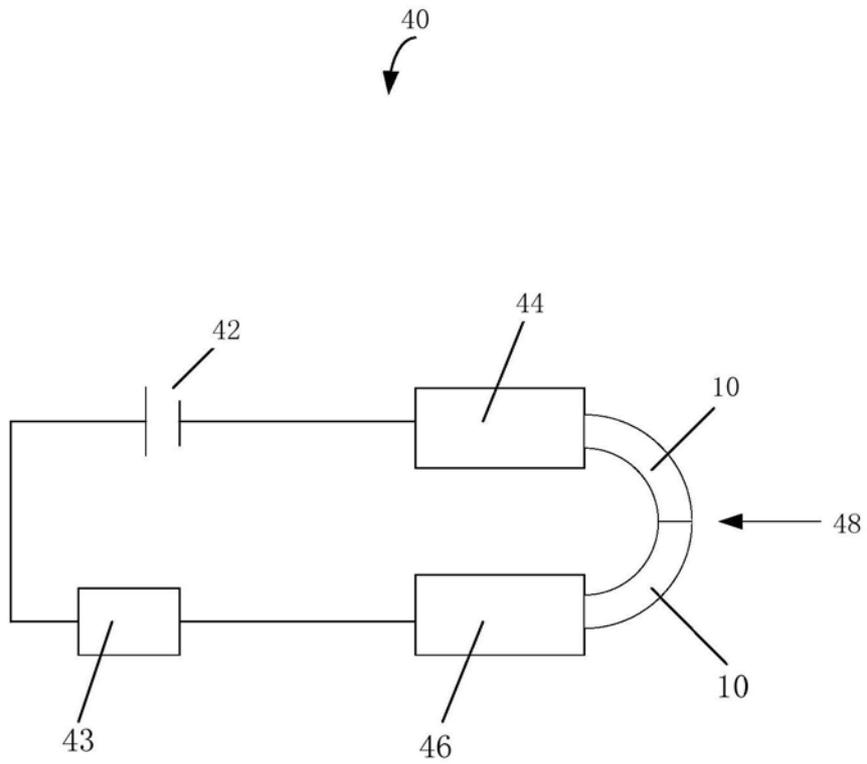


图15