

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2019 年 5 月 16 日 (16.05.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/090798 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01N 3/08 (2006.01) *C01B 32/956* (2017.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/111167
- (22) 国际申请日: 2017 年 11 月 15 日 (15.11.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201711094048.3 2017 年 11 月 9 日 (09.11.2017) CN
- (71) 申请人: 大连理工大学 (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国辽宁省大连凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。
- (72) 发明人: 张振宇 (ZHANG, Zhenyu); 中国辽宁省大连凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 崔俊峰 (CUI, Junfeng); 中国辽宁

省大连凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 陈雷雷 (CHEN, Leilei); 中国辽宁省大连凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 郭东明 (GUO, Dongming); 中国辽宁省大连凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(54) Title: METHOD FOR SELF-HEALING OF SILICON CARBIDE AMORPHOUS NANOWIRE AFTER BREAKING

(54) 发明名称: 一种碳化硅非晶纳米线拉断后的自愈合方法

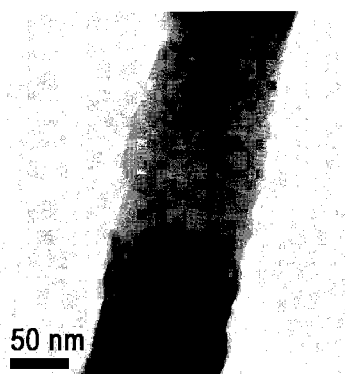


图 2

(57) Abstract: A method for self-healing of a silicon carbide amorphous nanowire after breaking. A single-crystal nanowire is moved and transferred by a goat hair of a goat hair writing brush under an optical microscope. On an in-situ nanoscale mechanical testing system of a transmission electron microscope, a local part of the single-crystal nanowire is irradiated by an electron beam for an amorphization transformation. The length of non-crystal in the transformed single-crystal is 60-100 nm. The breaking strength of the amorphous nanowire in the transformed single-crystal is tested in the transmission electron microscope, and the breaking strength of the amorphous nanowire is 9-11 GPa. After the amorphous nanowire is broken, unloading is performed, so that the end faces at the fracture are in soft contact, and the nanowire is self-healed after waiting for 16-25 min in a vacuum cavity of the transmission electron microscope. After in-situ characterization by the transmission electron microscope, atoms are diffused at the healed fracture, and recrystallization occurs in the non-crystal. A method for self-healing of silicon carbide amorphous nanowire after breaking without external interference is provided.

(57) 摘要: 一种碳化硅非晶纳米线拉断后的自愈合方法, 羊毫毛笔的一根羊毫在光学显微镜下移动和转移单晶纳米线, 在透射电镜的原位纳米力学测试系统上, 用电子束照射单晶纳米线的局部进行非晶化转变, 转变后的单晶中的非晶长度为 60-100nm。在透射电镜中对转变后的单晶中的非晶纳米线进行断裂强度测试, 非晶纳米线的断裂强度为 9-11GPa。非晶纳米线拉断后, 卸载使得断裂的端面轻轻接触, 在透射电镜真空腔中等待 16-25min 进行纳米线的自愈合。透射电镜原位表征发现愈合的断口处发生了原子扩散, 在非晶中发现了重结晶, 提供一种碳化硅非晶纳米线拉断后无需外部介入实现自愈合的方法。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

一种碳化硅非晶纳米线拉断后的自愈合方法

技术领域

[0001] 一种碳化硅非晶纳米线拉断后的自愈合方法，涉及半导体器件和装备的长寿命、可靠性和稳定性，特别涉及碳化硅单晶和非晶器件以及装备的长寿命和高可靠性。

背景技术

[0002] 碳化硅具有高导热系数、高击穿电压和高带隙宽度，广泛应用于高温和高能领域。在高温和高能领域，碳化硅具有独特的性能和优势，已经占据主导地位，成为典型的第三代半导体材料。碳化硅单晶受到加工应力、纳米划擦、电子束和飞秒激光照射会发生非晶化转变，因此碳化硅非晶断裂后的自愈合方法是碳化硅单晶、非晶器件和装备长寿命和高可靠性的重要保障，是国际先进制造、力学、物理、材料等领域的交叉学科研究的热点和难点问题，受到了广泛关注。

[0003] 目前的自愈合方法主要集中于聚合物及其复合材料，一般采用的是微注入方法。当聚合物及其复合材料局部断裂时，里面的微胶囊会释放愈合剂，将断裂部位进行愈合，阻止裂纹的进一步扩展，保证材料的高可靠性。但是这种方法愈合剂一般只能释放一次，而且制造成本贵、制造工艺缺乏，并且会影响材料的性能，主要局限于聚合物及其复合材料。据报道，碳化硅的断裂可以用氧化硅在900-1300°C下进行修复，类似于焊接方法。半导体、陶瓷和金属的自愈合主要采用高温、焊接、涂层、电化学、电子束照射、压缩等方法，这些方法都采用外部介入的方法实现断裂材料的自愈合。目前国际上，固体断裂后无需外部介入的自愈合尚未见报道。碳化硅由于工作在高温和高能等苛刻环境和极端条件下，发生材料断裂的概率大大提升，而很多场合是无法借助外部介入的方式实现碳化硅非晶的自愈合的，如航空、航天和核能等领域，一旦受到外部冲击，碳化硅单晶和晶体发生了非晶转变，并发生了断裂，如果不能在没有外部介入的条件下自愈合，将发生灾难性的后果。

技术问题

- [0004] 一种碳化硅非晶纳米线拉断后的自愈合方法，无需外部介入实现了非晶纳米线的自愈合。

问题的解决方案

技术解决方案

- [0005] 本发明的技术方案：

- [0006] 一种碳化硅非晶纳米线拉断后的自愈合方法，羊毫毛笔的一根羊毫在光学显微镜下移动和转移单晶纳米线，在透射电镜的原位纳米力学测试系统上，用电子束照射单晶纳米线的局部进行非晶化转变，转变后的单晶中的非晶长度为60-100 nm。在透射电镜中对转变后的单晶中的非晶纳米线进行断裂强度测试，非晶纳米线的断裂强度为9-11 GPa。非晶纳米线拉断后，卸载使得断裂的端面轻轻接触，在透射电镜真空腔中等待16-25 min进行纳米线的自愈合。透射电镜原位表征发现愈合的断口处发生了原子扩散，在非晶中发现了重结晶，自愈合后的非晶纳米线的断裂强度为6-8 GPa，断裂强度恢复率为50-70%。本发明提供一种碳化硅非晶纳米线拉断后无需外部介入实现自愈合的方法。

- [0007] 碳化硅单晶纳米线，直径为92-120 nm。100 nm左右的直径是连接纳米和亚微米的桥梁，为了兼顾碳化硅在纳米和微观领域的应用，选择碳化硅材料的直径为92-120 nm。

- [0008] 羊毫毛笔的尾端固定在一台光学显微镜的移动平台上，另一端用一根羊毫在另一台光学显微镜下移动和转移放在其移动平台上面的单晶纳米线，将其放到透射电镜原位力学测试系统的微测试装置上。羊毫具有良好的柔韧性，而且是直径逐渐变细的，对于移动和转移纳米线是非常有好处的。羊毫毛笔的一端固定在光学显微镜的移动平台上，利用光学显微镜的粗调和微调旋钮，实现单根羊毫的宏观和微观移动，利用羊毫和纳米线之间的静电引力在另一台光学显微镜下，实现对纳米线的移动和转移操作，并将其放到透射电镜原位纳米力学测试系统的微测试装置上。

- [0009] 纳米线的两端用导电银胶固定在微测试装置上。导电银胶能够实现导电的功能，对于透射电镜成像非常有好处。用羊毫毛笔的单根羊毫蘸取一小滴导电银胶

，分别滴在纳米线的两端，在空气中固化后，就可以安装到透射电镜原位力学测试系统上。

[0010] 将微测试装置安装到透射电镜的原位纳米力学测试系统上，在透射电镜中用电子束照射单晶纳米线的局部进行非晶化转变，电子束照射的密度为 $45-55 \text{ A/cm}^2$ ，照射时间为 $55-70 \text{ min}$ ，转变后单晶中的非晶长度为 $60-100 \text{ nm}$ 。碳化硅单晶在电子束照射下可以实现非晶化转变，从而实现在单晶纳米线中含有局部的非晶。非晶断裂的自愈合性能对碳化硅单晶和非晶器件和装备的长寿命和高可靠性有极其重要的影响。电子束密度为 $45-55 \text{ A/cm}^2$ ，照射时间为 $55-70 \text{ min}$ ，是中等强度的照射，使得碳化硅非晶的长度为 $60-100 \text{ nm}$ ，从而在碳化硅单晶中含有局部的非晶，符合碳化硅单晶器件发生非晶化转变的特征。

[0011] 在透射电镜中对转变后的单晶中的非晶纳米线进行断裂强度测试，用位移控制模式，加载速率为 $1-10 \text{ nm/s}$ ，位移为 $0-220 \text{ nm}$ 。由于单晶的断裂强度比非晶高，因此断裂一般是发生在非晶处。位移控制模式是由于碳化硅是硬脆材料塑性变形相对小，所以位移控制容易拉断。加载速率为 $1-10 \text{ nm/s}$ ，是为了得到拉伸测试视频的高分辨透射电镜显微照片，位移为 $0-220 \text{ nm}$ 能够将非晶拉断，获得非晶的断裂强度，并为非晶的自愈合做准备。

[0012] 非晶纳米线的断裂强度为 $9-11 \text{ GPa}$ 。断裂强度是根据非晶拉断的最大力除以断裂的面积得到的透射电镜原位力学拉伸测试结果。

[0013] 非晶纳米线拉断后，卸载使得断裂的端面轻轻接触，端面载荷为0，关闭电子束，在透射电镜真空腔中等待 $16-25 \text{ min}$ 进行纳米线的自愈合。让拉断的非晶端面轻轻接触，载荷通过原位力学系统测试确认为0，关闭电子束，在没有任何外部介入的条件下，让拉断的非晶纳米线实现自愈合，愈合时间为 $16-25 \text{ min}$ ，只要等待，别的什么都不用做，是完全的无需外部介入的自愈合。

[0014] 自愈合后，在透射电镜中对纳米线进行二次断裂强度测试，用位移控制模式，加载速率为 $1-10 \text{ nm/s}$ ，位移为 $0-220 \text{ nm}$ 。非晶纳米线自愈合后，进行断裂强度测试，对于碳化硅单晶以及非晶器件和装备的长寿命和高可靠性有着至关重要的影响。加载速率为 $1-10 \text{ nm/s}$ 为了得到拉伸断裂视频的高分辨透射电镜显微照片，位移为 $1-220 \text{ nm}$ ，可以拉断愈合后的非晶纳米线，从而得到愈合后的非晶纳米

线的断裂强度。

[0015] 透射电镜原位表征发现愈合的断口处发生了原子扩散，在非晶中发现了重结晶，使得愈合后的断口的强度高于非晶，自愈合后再次拉断的断口位置与愈合前的断口不在同一个地方。通过提取加载卸载视频中的高分辨透射电镜显微照片，发现愈合的断口处发生了原子扩散，并且在非晶中发生了重结晶。碳化硅单晶的断裂强度要高于非晶，愈合的断口含有单晶和非晶的混合相，因此其强度也高于非晶，导致自愈合后的断口不同于愈合前的断口位置。

[0016] 自愈合后的非晶纳米线的断裂强度为6-8 GPa，断裂强度恢复率为50-70%。非晶纳米线的断裂强度为9-11 GPa，自愈合后的断裂强度为6-8 GPa，因此断裂强度恢复率为50-70%。说明自愈合后的强度可以超过原非晶的一半以上，这对于碳化硅单晶和非晶器件和装备的长寿命及高可靠性极其重要。为高性能碳化硅器件和装备的设计制造提供了一种新思路和新方法。

发明的有益效果

有益效果

[0017] 本发明的效果和益处是对单晶碳化硅进行电子束照射，实现了局部非晶化转变，非晶纳米线拉断后无需外部介入，实现了非晶化纳米线的自愈合。

对附图的简要说明

附图说明

[0018] 图1是碳化硅非晶纳米线透射电镜原位拉伸加载卸载曲线。

[0019] 图2是拉断后的碳化硅非晶自愈合后的透射电镜显微照片。

[0020] 图3是自愈合后的碳化硅非晶透射电镜原位拉伸加载卸载曲线。

发明实施例

本发明的实施方式

[0021] 以下结合附图和技术方案，进一步说明本发明的具体实施方式。

[0022] 一种碳化硅非晶纳米线拉断后的自愈合方法，无需外部介入实现了非晶纳米线的自愈合，其特征在于：

[0023] (1) 碳化硅单晶纳米线，直径为92-120 nm；

- [0024] (2) 羊毫毛笔的尾端固定在一台光学显微镜的移动平台上, 另一端用一根羊毫在另一台光学显微镜下移动和转移放在其移动平台上面的单晶纳米线, 将其放到透射电镜原位力学测试系统的微测试装置上;
- [0025] (3) 纳米线的两端用导电银胶固定在微测试装置上;
- [0026] (4) 将微测试装置安装到透射电镜的原位纳米力学测试系统上, 在透射电镜中用电子束照射单晶纳米线的局部进行非晶化转变, 电子束照射的密度为 $45\text{--}55\text{ A/cm}^2$, 照射时间为 $55\text{--}70\text{ min}$, 转变后单晶中的非晶长度为 $60\text{--}100\text{ nm}$;
- [0027] (5) 在透射电镜中对转变后的单晶中的非晶纳米线进行断裂强度测试, 用位移控制模式, 加载速率为 $1\text{--}10\text{ nm/s}$, 位移为 $0\text{--}220\text{ nm}$;
- [0028] (6) 非晶纳米线的断裂强度为 $9\text{--}11\text{ GPa}$;
- [0029] (7) 非晶纳米线拉断后, 卸载使得断裂的端面轻轻接触, 端面载荷为 0 , 关闭电子束, 在透射电镜真空腔中等待 $16\text{--}25\text{ min}$ 进行纳米线的自愈合;
- [0030] (8) 自愈合后, 在透射电镜中对纳米线进行二次断裂强度测试, 用位移控制模式, 加载速率为 $1\text{--}10\text{ nm/s}$, 位移为 $0\text{--}220\text{ nm}$;
- [0031] (9) 透射电镜原位表征发现愈合的断口处发生了原子扩散, 在非晶中发现了重结晶, 使得愈合后的断口的强度高于非晶, 自愈合后再次拉断的断口位置与愈合前的断口不在同一个地方;
- [0032] (10) 自愈合后的非晶纳米线的断裂强度为 $6\text{--}8\text{ GPa}$, 断裂强度恢复率为 $50\text{--}70\%$ 。

实施例

- [0033] 碳化硅单晶, 直径 $95\text{--}110\text{ nm}$ 作为非晶转化的纳米线。羊毫毛笔的尾端用502胶粘接于光学显微镜的光学平台上。另一端用细铜丝将羊毫扎紧, 留出一根羊毫, 在羊毫的中部用细铜丝固定, 羊毫的前部留出, 类似悬臂梁的结构。碳化硅单晶纳米线放在丙酮溶液中超声分散, 时间为 $50\text{--}55\text{ s}$ 。用200目的带有塑料薄膜的透射电镜样品制备的直径为 3 mm 的铜网, 作为放置纳米线的工具。用蜡烛将铜网上的塑料薄膜烧光, 然后用镊子夹住铜网在丙酮溶液中进行超声清洗, 时间为 $15\text{--}25\text{ s}$ 。清洗完成后, 用镊子夹住清洗的铜网在分散有纳米线的丙酮溶液中捞取纳米线, 然后把铜网放置在另一台光学显微镜的移动平台上, 调焦清晰

，看到纳米线。类似悬臂梁的单根羊毫借助于其尾端固定的光学显微镜平台，在光学显微镜粗调和微调组合下，实现宏观和微观的移动，用羊毫插入纳米线的下部，利用静电引力，将纳米线挑起，离开铜网，利用羊毫和纳米线之间的静电引力实现纳米线的移动和转移。用透射电镜的原位力学测试系统的微装置替换铜网，把纳米线放到微测试装置的拉伸位置。用羊毫蘸取一小滴导电银胶，分别放在纳米线的两端，在空气中固化。然后把带有纳米线的微装置放到PI 95 TEM PicoIndenter透射电镜原位纳米力学测试系统中，将系统插入到FEI Tecnai F20场发射透射电镜中，用电子能量密度为 50.06 A/cm^2 的电子束照射碳化硅单晶纳米线的局部，照射时间为60 min，使得照射的碳化硅单晶纳米线发生非晶化转变，非晶化部分的长度为60-90 nm。对碳化硅非晶纳米线进行断裂强度测试，采用位移控制模式，加载速率为5 nm/s，位移为0-200 nm，加载卸载曲线如图1所示。测试后，非晶纳米线的断裂强度为10 GPa。卸载后，使得断裂的非晶端面轻轻接触，载荷为0，关闭电子束，在透射电镜的真空腔中等待20 min进行非晶纳米线的自愈合。20 min后，打开电子束，原位拍摄非晶纳米线自愈合后的断口高分辨透射电镜显微照片，如图2所示。通过原子尺度的透射电镜显微照片证实，愈合的非晶纳米线断口处发生了原子扩散，在非晶中形成了重结晶，愈合的断口由非晶和晶体相组成。用位移控制模式，对自愈合的非晶纳米线进行断裂强度测试，加载速率为5 nm/s，位移为0-200 nm，自愈合非晶纳米线的断裂强度测试的加载卸载曲线如图3所示。由于碳化硅单晶的断裂强度高于非晶，因此断裂是在非晶处，自愈合的断口由晶体和非晶组成，强度高于非晶，因此自愈合后的非晶断口和愈合前不在同一个地方。自愈合后的非晶断裂强度为6.7 GPa，非晶的断裂强度恢复率为67%。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种碳化硅非晶纳米线拉断后的自愈合方法，无需外部介入实现了非晶纳米线的自愈合，其特征在于：
- (1) 碳化硅单晶纳米线，直径为92-120 nm；
 - (2) 羊毫毛笔的尾端固定在一台光学显微镜的移动平台上，另一端用一根羊毫在另一台光学显微镜下移动和转移放在其移动平台上的单晶纳米线，将其放到透射电镜原位力学测试系统的微测试装置上；
 - (3) 纳米线的两端用导电银胶固定在微测试装置上；
 - (4) 将微测试装置安装到透射电镜的原位纳米力学测试系统上，在透射电镜中用电子束照射单晶纳米线的局部进行非晶化转变，电子束照射的密度为45-55 A/cm²，照射时间为55-70 min，转变后单晶中的非晶长度为60-100 nm；
 - (5) 在透射电镜中对转变后的单晶中的非晶纳米线进行断裂强度测试，用位移控制模式，加载速率为1-10 nm/s，位移为0-220 nm；
 - (6) 非晶纳米线的断裂强度为9-11 GPa；
 - (7) 非晶纳米线拉断后，卸载使得断裂的端面轻轻接触，端面载荷为0，关闭电子束，在透射电镜真空腔中等待16-25 min进行纳米线的自愈合；
 - (8) 自愈合后，在透射电镜中对纳米线进行二次断裂强度测试，用位移控制模式，加载速率为1-10 nm/s，位移为0-220 nm；
 - (9) 透射电镜原位表征发现愈合的断口处发生原子扩散，在非晶中发现重结晶，使得愈合后的断口的强度高于非晶，自愈合后再次拉断的断口位置与愈合前的断口不在同一个地方；
 - (10) 自愈合后的非晶纳米线的断裂强度为6-8 GPa，断裂强度恢复率为50-70%。

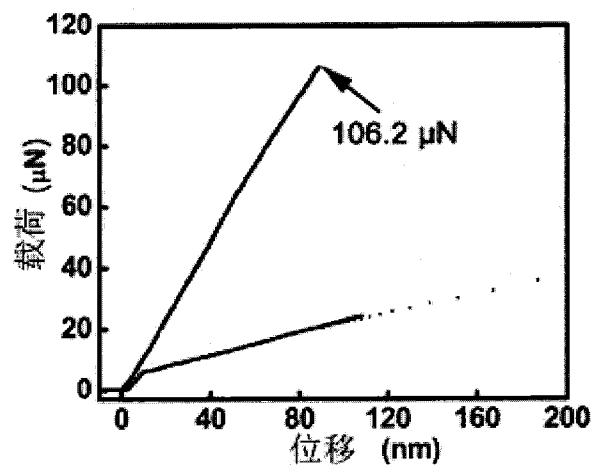


图 1

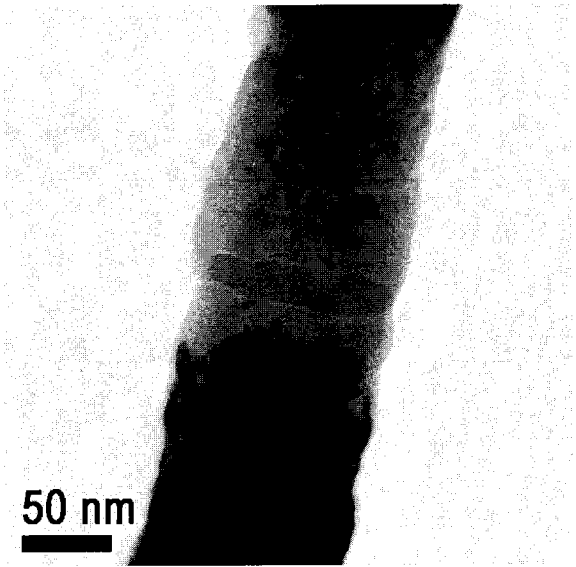


图 2

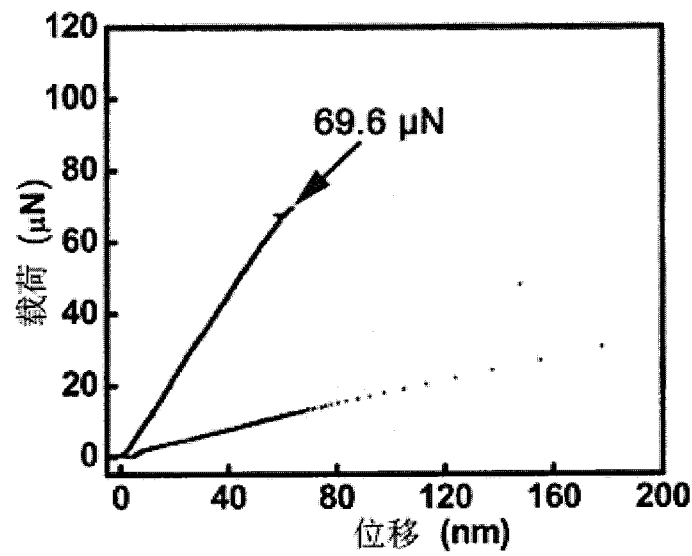


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/111167

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 3/08 (2006.01) i; C01B 32/956 (2017.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N, C01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, MOABS, TWABS, DWPI, SIPOABS, CNTXT, CPEA, JPABS, CJFD, WANFANG, SUPERSTAR, GOOGLE, DUXIU, STN, ISI Web of Knowledge, Elsevier Science Direct, 大连理工大学, 张振宇, 碳化硅, 纳米线, 电子束, 愈合, 生长, 断裂, 电镜, SiC, nanowire?, TEM, SEM, electron beam, growth, rebond+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 107219243 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 29 September 2017 (29.09.2017), description, paragraphs [0024]-[0037]	1
A	CN 101113946 A (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 30 January 2008 (30.01.2008), description, page 6, the last paragraph but one to page 7, the past paragraph	1
A	CN 101109687 A (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 23 January 2008 (23.01.2008), description, page 6, the last paragraph but one to page 7, the past paragraph	1
A	WO 2011053346 A1 (NORTHWESTERN UNIVERSITY) 05 May 2011 (05.05.2011), claims 1-14	1

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 23 July 2018	Date of mailing of the international search report 09 August 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer NIU, Peili Telephone No. (86-10) 53962685

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/111167

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	张跃飞等. 原位/外场作用下原子尺度的纳米力学与结构演变研究. 中国材料进展. 30 January 2009 (30.01.2009), 28(1), ISSN: 1674-3962, pp. 15-25. (ZHANG, Yuefei et al. Study on Atom-Scale Nanomechanics and Structure under In-Situ/Application Field. Materials China.)	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/111167

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 107219243 A	29 September 2017	None	
CN 101113946 A	30 January 2008	CN 101113946 B	04 August 2010
CN 101109687 A	23 January 2008	CN 101109687 B	02 June 2010
WO 2011053346 A1	05 May 2011	US 2012297897 A1	29 November 2012
		US 9279753 B2	08 March 2016

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/111167

A. 主题的分类

G01N 3/08(2006.01)i; C01B 32/956(2017.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G01N, C01B

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNABS, MOABS, TWABS, DWPI, SIPOABS, CNTXT, CPEA, JPABS, 中国期刊网全文数据库, 万方, 超星, google, 读秀, STN, ISI Web of Knowledge, Elsevier Science Direct, 大连理工大学, 张振宇, 碳化硅, 纳米线, 电子束, 愈合, 生长, 断裂, 电镜, SiC, nanowire?, TEM, SEM, electron beam, growth, rebond+

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 107219243 A (大连理工大学) 2017年 9月 29日 (2017 - 09 - 29) 说明书第0024-0037段	1
A	CN 101113946 A (北京工业大学) 2008年 1月 30日 (2008 - 01 - 30) 说明书第6页倒数第2段-第7页倒数第1段	1
A	CN 101109687 A (北京工业大学) 2008年 1月 23日 (2008 - 01 - 23) 说明书第6页倒数第2段-第7页倒数第1段	1
A	WO 2011053346 A1 (NORTHWESTERN UNIVERSITY) 2011年 5月 5日 (2011 - 05 - 05) 权利要求1-14	1
A	张跃飞等. "原位/外场作用下原子尺度的纳米力学与结构演变研究" 中国材料进展, 第28卷, 第1期, 2009年 1月 30日 (2009 - 01 - 30), ISSN: 1674-3962, 第15-25页	1

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2018年 7月 23日

国际检索报告邮寄日期

2018年 8月 9日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

牛培利

电话号码 86-(10)-53962685

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/111167

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	107219243	A	2017年 9月 29日	无			
CN	101113946	A	2008年 1月 30日	CN	101113946	B	2010年 8月 4日
CN	101109687	A	2008年 1月 23日	CN	101109687	B	2010年 6月 2日
WO	2011053346	A1	2011年 5月 5日	US	2012297897	A1	2012年 11月 29日
				US	9279753	B2	2016年 3月 8日