

(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 2019/090797 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/CN2017/111166

(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:
201711094034.1 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)。 杜岳峰 (**DU, Yuefeng**); 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。

(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))。

(54) **Title:** SELF-HEALING METHOD FOR BROKEN SILICON CARBIDE MONOCRYSTALLINE NANOWIRE

(54) 发明名称: 一种碳化硅单晶纳米线拉断后的自愈合方法

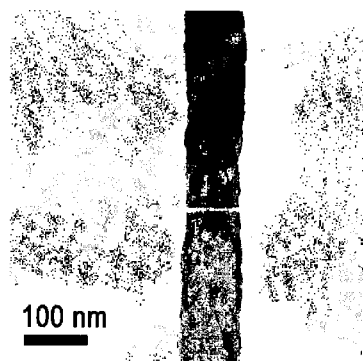


图 2

(57) **Abstract:** A self-healing method for a broken silicon carbide monocrystalline nanowire, comprising: moving and transferring a nanowire by using weasel hair of a weasel hair brush; placing the nanowire on an in-situ mechanical micro-testing device of a transmission electron microscope to implement an in-situ nano-mechanical tension test in the transmission electron microscope; loading the nanowire, the displacement being 0-200 nm, and the breaking strength of the monocrystalline nanowire being 12-15 GPa. After the nanowire is broken, unloading is performed so that the broken end faces are in light contact, an electron beam is turned off, and the nanowire is self-healed in a vacuum cavity of the transmission electron microscope. In-situ characterization of the transmission electron microscope reveals that partial recrystallization occurs at the breakage after self-healing, and a breaking strength test is then performed after self-healing. A breaking position after healing is the same as the position before healing; the breaking strength of the self-healed monocrystalline nanowire is 1-2.5 GPa, and the recovery rate of breaking strength is 10-20%. A method for self-healing a broken silicon carbide monocrystalline nanowire without external intervention is provided.

(57) 摘要：一种碳化硅单晶纳米线拉断后的自愈合方法，用狼毫毛笔的狼毫移动和转移纳米线，将纳米线放置到透射电镜原位力学的微测试装置上，在透射电镜中实现原位纳米力学拉伸测试，对纳米线进行加载，位移为0-200nm，单晶纳米线的断裂强度为12-15GPa。纳米线拉断后，卸载使得断裂的端面轻轻接触，关闭电子束，在透射电镜真空腔中进行纳米线的自愈合，透射电镜原位表征发现自愈合后的断口处发生部分重结晶，自愈合后再次进行断裂强度测试，愈合后拉断的位置与愈合前的位置相同，自愈合后单晶纳米线的断裂强度为1-2.5GPa，断裂强度恢复率为10-20%。提供一种拉断后的碳化硅单晶纳米线无需外部介入实现自愈合的方法。

一种碳化硅单晶纳米线拉断后的自愈合方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种碳化硅单晶纳米线拉断后的自愈合方法，具体涉及半导体器件和装备的长寿命、可靠性和稳定性，特别涉及碳化硅半导体器件和装备的长寿命及可靠性。

背景技术

[0002] 碳化硅具有独特的物理、机械和电子学性能，例如高导热系数、高击穿电压和高的带隙宽度，因此碳化硅成为高能 and 高温电子、光电和机电器件的最广泛的应用材料。碳化硅也是下一代电子器件最有前途的材料。碳化硅广泛应用于高温、高能、高电压、高电流和高频等苛刻环境和极端条件，这些极端条件使得碳化硅材料发生断裂的可能性大大增高，一旦碳化硅断裂，将导致器件的失效，对于应用于高速、高温等环境中的碳化硅器件和装备，如航空、航天、核能、高速发动机等领域，将产生灾难性的后果。因此，碳化硅断裂后无需外部介入的自愈合方法是高性能碳化硅器件和装备长寿命和高可靠性的重要保证，受到了广泛关注。

[0003] 但是，目前国际上无需外部介入的固体自愈合方法尚未见报道。自愈合方法研究得最多的是聚合物及其复合材料。最常见的自愈合方法是采用微胶囊技术，事先在聚合物及其复合材料中注入这种自愈合剂，当局部开裂后，微胶囊就释放自愈合剂，将断裂的地方愈合。这种方法的缺点是微胶囊的自愈合剂一般只能释放一次，而且是根据毛细作用达到微裂纹处，不是所有的地方都能到达。这种方法制造的自愈合聚合物及其复合材料非常昂贵，而且其制造工艺也不成熟。此外，这种自愈合方法是侵入式愈合方法，会降低材料的性能，而且也只适用于某些特定的聚合物及其复合材料，并不适合于半导体及碳化硅器件。碳化硅主要应用于高温和高能等极端条件下，这种聚合物愈合剂难以满足这种苛刻环境的使役要求。

技术问题

[0004] 本发明采用一种碳化硅单晶纳米线拉断后的自愈合方法，无需外部介入实现了单晶纳米线的自愈合。

问题的解决方案

技术解决方案

[0005] 本发明的技术方案：

[0006] 一种碳化硅单晶纳米线拉断后的自愈合方法，用狼毫毛笔的一根狼毫移动和转移纳米线，将纳米线放置到透射电镜原位力学的微测试装置上，在透射电镜中实现原位纳米力学拉伸测试，对纳米线进行加载，加载速率为0.5-15 nm/s，位移为0-200 nm，单晶纳米线的断裂强度为12-15 GPa。纳米线拉断后，卸载使得断裂的端面轻轻接触，关闭电子束，在透射电镜真空腔中等待15-30 min进行纳米线的自愈合，透射电镜原位表征发现自愈合后的断口处发生了部分重结晶，自愈合后再次进行断裂强度测试，愈合后拉断的位置与愈合前的位置相同，自愈合后单晶纳米线的断裂强度为1-2.5 GPa，断裂强度恢复率为10-20%。本发明提供一种拉断后的碳化硅单晶纳米线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60-90 nm。碳化硅单晶是应用最广的碳化硅材料。综合考虑微机电系统和纳机电系统的双重应用，以及微观和宏观的应用，选择单晶纳米线的范围为60-90 nm。

[0008] 狼毫毛笔的一端用导电银胶固定在光学显微镜的移动平台上，利用移动平台使得毛笔实现毫米和微米级移动，用狼毫毛笔的另一端的一根狼毫移动和转移纳米线，将纳米线放置到透射电镜原位力学的微测试装置上。狼毫具有一定的韧性和强度，因此选择狼毫毛笔的狼毫作为操作工具。将狼毫毛笔固定在光学显微镜的移动平台上，利用移动平台的粗调和微调旋钮，实现狼毫的三维宏观毫米和微观微米级移动，从而能够准确操作碳化硅单晶纳米线。利用狼毫与纳米线之间的静电引力移动和转移碳化硅单晶纳米线，纳米线的操作是在另一台光学显微镜的移动平台上，将纳米线放在物镜下，对焦清晰，目镜成像，进行操作。

[0009] 纳米线的两端用导电银胶固定在微测试装置上。用狼毫将纳米线在光学显微镜中放置到微测试装置上，用导电银胶固定并固化。这种方法可以有效避免传统

的聚焦离子束和电子束操作和沉积固定纳米线带来的污染和对纳米线的损伤。

[0010] 将微测试装置安装到透射电镜原位纳米力学测试系统上，在透射电镜中实现原位纳米力学拉伸测试。透射电镜原位拉伸测试能够获得加载卸载曲线，并且能够录制高分辨透射电镜原位拉伸视频，获得与力学性能曲线相对应的高分辨透射电镜显微照片。

[0011] 对纳米线进行加载，用位移控制模式，加载速率为0.5-15 nm/s，位移为0-200 nm。位移控制模式，是根据碳化硅为硬脆材料，受力容易断裂，给出合适的位移，即可测试纳米线的断裂强度。加载速率为0.5-15 nm/s，可以获得碳化硅纳米线的力学曲线和对应的透射电镜原子尺度高分辨显微照片，位移为0-200 nm是根据对应的纳米线的长度给出的位移，可以拉断纳米线，从而获得碳化硅单晶纳米线的断裂强度。

[0012] 单晶纳米线的断裂强度为12-15 GPa。纳米线的断裂强度是根据拉断纳米线的最大力和断口的面积获得的透射电镜原位力学测试结果。

[0013] 纳米线拉断后，卸载使得断裂的端面轻轻接触，端面的载荷为0，关闭电子束，在透射电镜真空腔中等待15-30 min进行纳米线的自愈合。碳化硅单晶纳米线的自愈合无需外部介入，只要断裂的端面轻轻接触，经过15-30 min，就可以自己愈合，这种方法对于高性能装备的高性能零件的长寿命和高可靠性起到至关重要的作用，甚至能避免灾难性的断裂和器件及装备失效，为设计制造高性能碳化硅器件和装备提供了一种独特的思路和方法。

[0014] 自愈合后，再次进行断裂强度测试，对纳米线进行加载，用位移控制模式，加载速率为0.5-15 nm/s，位移为0-100 nm。自愈合后，用透射电镜原位力学拉伸测试方法，测试愈合后的碳化硅单晶纳米线的断裂强度，这对评估碳化硅单晶器件和装备的寿命和可靠性非常重要。加载速率为0.5-15 nm/s，是为了获得原子尺度的高分辨透射电镜显微照片，位移为0-100 nm可以将愈合的碳化硅单晶纳米线拉断，获得断裂强度。

[0015] 透射电镜原位表征发现自愈合后的断口处发生了部分重结晶，愈合后拉断的位置与愈合前的位置相同。从动态加载卸载视频中提取的愈合断口处的原子级的高分辨透射电镜显微照片显示，愈合的断口处发现了部分重结晶，这是自愈合

的基本原理。由于发生了部分的重结晶，导致自愈合的断口的断裂强度低于单晶的断裂强度，因此自愈合后的拉断位置与愈合前的断口位置相同。

[0016] 自愈合后单晶纳米线的断裂强度为1-2.5 GPa，断裂强度恢复率为10-20%。透射电镜原位纳米力学拉伸测试结果显示，自愈合后的碳化硅单晶纳米线的断裂强度为1-2.5 GPa，而单晶纳米线的断裂强度为12-15 GPa，因此自愈合后的断裂强度恢复率为10-20%。

发明的有益效果

有益效果

[0017] 本发明的效果和益处是对于拉断的碳化硅单晶纳米线，无需任何外部介入，实现了拉断后的纳米线自愈合，并且在愈合的断口处发现了重结晶。

对附图的简要说明

附图说明

[0018] 图1是碳化硅单晶纳米线的透射电镜原位拉伸测试的加载卸载曲线。

[0019] 图2是自愈合后的碳化硅单晶纳米线自愈合断口处的透射电镜显微照片。

[0020] 图3是自愈合后的碳化硅单晶纳米线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] 一种碳化硅单晶纳米线拉断后的自愈合方法，无需外部介入实现了单晶纳米线的自愈合，其特征在于：

[0023] （1）碳化硅单晶纳米线，直径为60-90 nm；

[0024] （2）狼毫毛笔的一端用导电银胶固定在光学显微镜的移动平台上，利用移动平台使得毛笔实现毫米和微米级移动，用狼毫毛笔的另一端的一根狼毫移动和转移纳米线，将纳米线放置到透射电镜原位力学的微测试装置上；

[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原位纳米力学测试系统上，在透射电镜中实现原位纳米力学拉伸测试；

- [0027] (5) 对纳米线进行加载, 用位移控制模式, 加载速率为0.5-15 nm/s, 位移为0-200 nm;
- [0028] (6) 单晶纳米线的断裂强度为12-15 GPa;
- [0029] (7) 纳米线拉断后, 卸载使得断裂的端面轻轻接触, 端面的载荷为0, 关闭电子束, 在透射电镜真空腔中等待15-30 min进行纳米线的自愈合;
- [0030] (8) 自愈合后, 再次进行断裂强度测试, 对纳米线进行加载, 用位移控制模式, 加载速率为0.5-15 nm/s, 位移为0-100 nm;
- [0031] (9) 透射电镜原位表征发现自愈合后的断口处发生了部分重结晶, 愈合后拉断的位置与愈合前的位置相同;
- [0032] (10) 自愈合后单晶纳米线的断裂强度为1-2.5 GPa, 断裂强度恢复率为10-20%。

实施例

- [0033] 选择3C-SiC单晶纳米线, 直径为80-90 nm作为自愈合的材料。将单晶纳米线在丙酮溶液中超声30-50 s。透射电镜样品制备用的200目的带有塑料薄膜的铜网, 铜网的直径为3 mm, 用打火机点燃铜网上的塑料薄膜, 去除薄膜。然后用镊子夹住去除薄膜的铜网在丙酮溶液中超声清洗15-25 s, 去除铜网上的痕迹和污染。超声清洗铜网完成后, 用镊子夹住铜网在超声分散的碳化硅丙酮溶液中捞取碳化硅纳米线, 放在一台光学显微镜的移动平台上, 待丙酮蒸发后, 纳米线出现在铜网的表面, 在光学显微镜中寻找纳米线, 并对焦清晰。将狼毫毛笔的尾端固定在另一台光学显微镜上。把曲别针弄直, 在蜡烛上烧红, 在狼毫毛笔的塑料笔帽中下部扎出一个孔, 将一根狼毫从孔中穿出, 并用塑料笔帽把别的狼毫盖住。利用光学显微镜的移动平台实现单根狼毫的三维毫米和微米级移动, 在另一台光学显微镜下, 利用狼毫和纳米线的静电引力, 移动和转移纳米线, 放到透射电镜原位力学测试微装置上。用狼毫的尖端蘸取一小滴导电银胶, 滴在纳米线的两端, 待导电银胶固化, 纳米线就固定在微测试装置上。
- [0034] 将微测试装置装入PI 95 TEM PicoIndenter透射电镜原位纳米力学测试系统上, 将测试系统插入FEI Tecnai F20场发射透射电镜中, 操作电压为200 kV。采用透射电镜原位拉伸测试方法, 对纳米线进行断裂强度测试, 采用位移控制模式,

加载速率为4 nm/s，位移为0-180 nm，加载卸载曲线如图1所示。经过测试，碳化硅单晶纳米线的断裂强度为13.4 GPa。卸载，将拉断的碳化硅单晶纳米线的端面轻轻接触，载荷为0。关闭电子束，等待时间为20 min，进行碳化硅单晶纳米线的自愈合。20 min后，打开电子束拍摄自愈合后的断口透射电镜显微照片，如图2所示，发现自愈合后的断口处发生了部分重结晶。然后进行愈合后的碳化硅纳米线的透射电镜原位断裂强度测试，加载方式为位移控制模式，加载速率为4 nm/s，位移为0-60 nm，自愈合后的碳化硅纳米线的断裂强度测试的加载卸载曲线如图3所示。测试结果显示，自愈合的碳化硅单晶纳米线的断裂强度为1.7 GPa，断裂强度恢复率为12.7%。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种碳化硅单晶纳米线拉断后的自愈合方法，无需外部介入，实现单晶纳米线的自愈合，其特征在于：
- (1) 碳化硅单晶纳米线，直径为60-90 nm；
 - (2) 狼毫毛笔的一端用导电银胶固定在光学显微镜的移动平台上，利用移动平台使得狼毫毛笔实现毫米和微米级移动，通过狼毫毛笔另一端的一根狼毫移动和转移纳米线，将纳米线放置到透射电镜原位力学的微测试装置上；
 - (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原位纳米力学测试系统上，在透射电镜中实现原位纳米力学拉伸测试；
 - (5) 对纳米线进行加载，用位移控制模式，加载速率为0.5-15 nm/s，位移为0-200 nm；
 - (6) 单晶纳米线的断裂强度为12-15 GPa；
 - (7) 纳米线拉断后，卸载使得断裂的端面轻轻接触，端面的载荷为0，关闭电子束，在透射电镜真空腔中等待15-30 min进行纳米线的自愈合；
 - (8) 自愈合后，再次进行断裂强度测试，对纳米线进行加载，用位移控制模式，加载速率为0.5-15 nm/s，位移为0-100 nm；
 - (9) 透射电镜原位表征发现自愈合后的断口处发生部分重结晶，愈合后拉断的位置与愈合前的位置相同；
- 自愈合后单晶纳米线的断裂强度为1-2.5 GPa，断裂强度恢复率为10-20%。

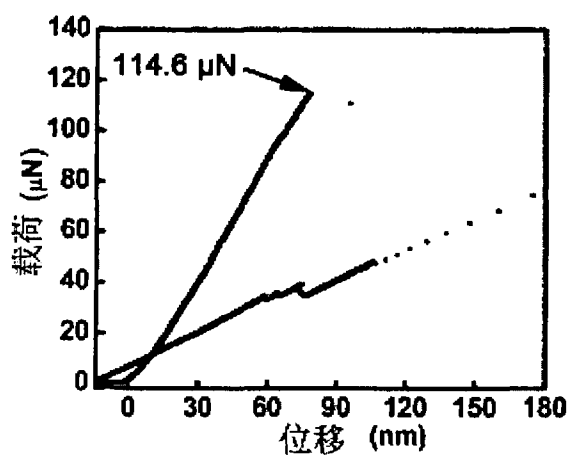


图 1

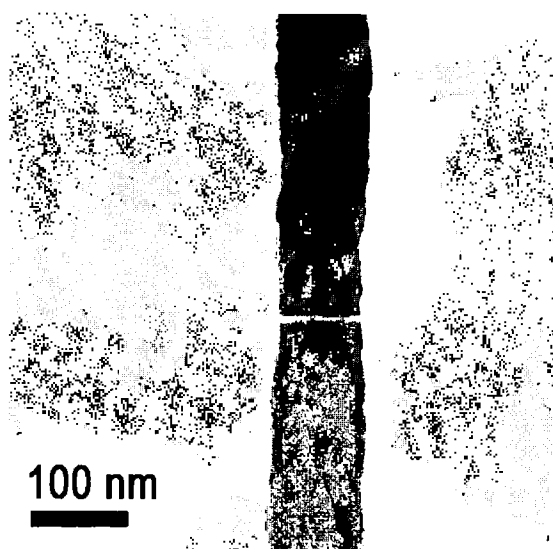


图 2

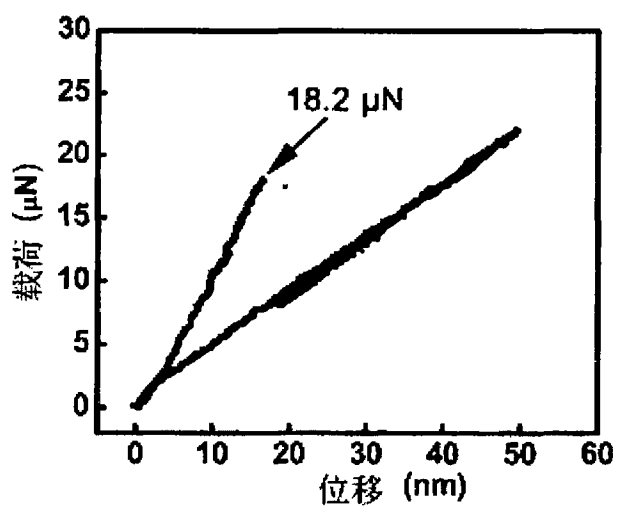


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/111166

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, TWABS, DWPI, SIPOABS, CNTXT, JPABS, CJFD, WANFANG, CHAOXING, google, DUXIU, STN, ISI Web of Knowledge, Elsevier Science Direct; 大连理工大学, 张振宇, 碳化硅, SiC, 纳米线, 毛笔, 单晶, 自愈合, 愈合, 光学显微镜, 电子束, 断裂, nanowire?, TEM, SEM, electron beam, growth

C. 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. 31 January 2009 (31.01.2009), 28(1), ISSN: 1674-3962, p. 17, the left column, the second paragraph from the bottom to the right column, the third paragraph from the bottom, and p. 22, the right column, the first paragraph. (ZHANG, Yuefei et al. Study on Atom-Scale Nanomechanics and Structure under In-Situ/Application Field. Materials China.)	1
A	CN 107219243 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 29 September 2017 (29.09.2017), entire document	1
A	CN 201488957 U (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 26 May 2010 (26.05.2010), entire document	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 25 July 2018	Date of mailing of the international search report 08 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 MA, Na Telephone No. (86-10) 53962684

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/111166

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101113946 A (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 30 January 2008 (30.01.2008), entire document	1
A	WO 2011053346 A1 (NORTHWESTERN UNIVERSITY) 05 May 2011 (05.05.2011), entire document	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/111166

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 107219243 A	29 September 2017	None	
CN 201488957 U	26 May 2010	None	
CN 101113946 A	30 January 2008	None	
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/CN2017/111166

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, TWABS, DWPI, SIPOABS, CNTXT, 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, SiC, 纳米线, 毛笔, 单晶, 自愈, 愈合, 光学显微镜, 电子束, 断裂, nanowire?, TEM, SEM, electron beam, growth																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>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 31日 (2009 - 01 - 31), ISSN: 1674-3962, 第17页左栏倒数第2段-右栏倒数第3段, 第22页右栏第1段</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107219243 A (大连理工大学) 2017年 9月 29日 (2017 - 09 - 29) 全文</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 201488957 U (北京工业大学) 2010年 5月 26日 (2010 - 05 - 26) 全文</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101113946 A (北京工业大学) 2008年 1月 30日 (2008 - 01 - 30) 全文</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2011053346 A1 (NORTHWESTERN UNIVERSITY) 2011年 5月 5日 (2011 - 05 - 05) 全文</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	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 31日 (2009 - 01 - 31), ISSN: 1674-3962, 第17页左栏倒数第2段-右栏倒数第3段, 第22页右栏第1段	1	A	CN 107219243 A (大连理工大学) 2017年 9月 29日 (2017 - 09 - 29) 全文	1	A	CN 201488957 U (北京工业大学) 2010年 5月 26日 (2010 - 05 - 26) 全文	1	A	CN 101113946 A (北京工业大学) 2008年 1月 30日 (2008 - 01 - 30) 全文	1	A	WO 2011053346 A1 (NORTHWESTERN UNIVERSITY) 2011年 5月 5日 (2011 - 05 - 05) 全文	1
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
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 31日 (2009 - 01 - 31), ISSN: 1674-3962, 第17页左栏倒数第2段-右栏倒数第3段, 第22页右栏第1段	1																		
A	CN 107219243 A (大连理工大学) 2017年 9月 29日 (2017 - 09 - 29) 全文	1																		
A	CN 201488957 U (北京工业大学) 2010年 5月 26日 (2010 - 05 - 26) 全文	1																		
A	CN 101113946 A (北京工业大学) 2008年 1月 30日 (2008 - 01 - 30) 全文	1																		
A	WO 2011053346 A1 (NORTHWESTERN UNIVERSITY) 2011年 5月 5日 (2011 - 05 - 05) 全文	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 25日		国际检索报告邮寄日期 2018年 8月 8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 马娜 电话号码 86-(10)-53962684																		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/111166

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	201488957	U	2010年 5月 26日	无			
CN	101113946	A	2008年 1月 30日	无			
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