(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
2015 年 9 月 24 日 (24.09.2015)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2015/139348 A1

(51) 国际专利分类号:
G11B 5/127 (2006.01) *C01B 31/06* (2006.01)
C01B 31/04 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2014/075551

(22) 国际申请日: 2014 年 4 月 17 日 (17.04.2014)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201410100304.5 2014 年 3 月 18 日 (18.03.2014) CN

(71) 申请人: 清华大学 (TSINGHUA UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国北京市海淀区 100084-82 信箱, Beijing 100084 (CN)。

(72) 发明人: 郑泉水 (ZHENG, Quanshui); 中国北京市海淀区 100084-82 信箱, Beijing 100084 (CN)。 张首沫 (ZHANG, Shoumo); 中国北京市海淀区区 100084-82 信箱, Beijing 100084 (CN)。

(74) 代理人: 北京博雅睿泉专利代理事务所（特殊普通合伙） (BEYOND TALENT PATENT AGENT FIRM); 中国北京市朝阳区朝阳门外大街 10 号昆泰大厦 1202 单元, Beijing 100020 (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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,

[见续页]

(54) Title: MAGNETIC HEAD OF READ/WRITE CONTACT HARD DISK DRIVE, HARD DISK DRIVE DEVICE AND TRANSFER METHOD

(54) 发明名称 : 读写接触式硬盘的磁头、硬盘设备及转移方法

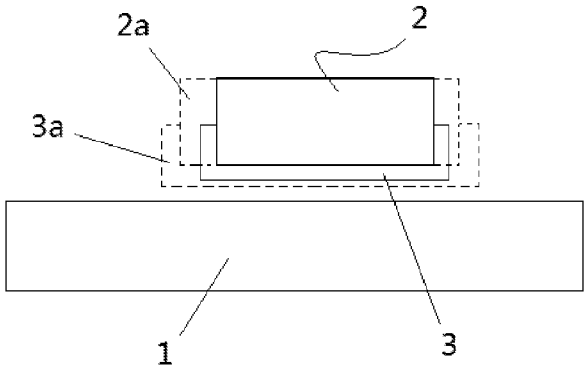


图 1 / Fig. 1

(57) Abstract: Provided is contact technology of the magnetic head sliding block of a read/write contact hard disk drive (HDD) and a disk body. The contact surface of the magnetic head sliding block contacting the disk body is provided with at least one layer of two-dimensional atomic crystals having a planar structure and extending to the side surface of the magnetic head sliding block; the disk body has atom-scale smoothness, and the contact surface contacting the magnetic head sliding block is at least one layer of two-dimensional atomic crystals or diamond-like carbon (DLC) nanometer film. When reading data, the magnetic head sliding block and the disk body always maintain atomic contact. The two-layer structure of the directly contacted two-dimensional atomic crystals between the magnetic head sliding block and the disk body of the present invention has non-coplanarity, and is in a super-lubricated state, that is, the friction between the magnetic head sliding block and the disk body is nearly zero. The magnetic head sliding block is in atomic contact with the disk body, thus greatly reducing the distance between the magnetic head sliding block and the disk body; in addition, a DLC protective layer in a traditional magnetic head sliding block can be completely eliminated, thus further reducing the distance between the magnetic head sliding block and the disk body, and realizing higher storage density, faster storage and reading speed and a smaller HDD device.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2015/139348 A1

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, 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))。

本发明提供了一种读写接触式硬盘的磁头滑块与盘体的接触技术。磁头滑块上与盘体接触的接触面设有至少一层二维原子晶体，其结构为平面，并延伸至磁头滑块的侧面；盘体原子级平整，与磁头滑块接触的接触面为至少一层二维原子晶体或类金刚石纳米膜（DLC）。在读取数据时，所述磁头滑块和盘体之间始终保持原子接触。本发明的磁头滑块与盘体之间直接接触的二维原子晶体两层结构具有非共度性，并呈现超润滑状态，即两者之间的摩擦力几乎为零。磁头滑块与盘体的原子接触，大大降低磁头滑块与盘体之间的距离，且可完全取消传统磁头滑块中的 DLC 保护层，进一步降低了磁头滑块与盘体之间的距离，实现更高存储密度、更快存储和读取速度、以及更小型化的硬盘设备。

说 明 书

读写接触式硬盘的磁头、硬盘设备及转移方法

技术领域

本发明涉及存储设备领域，更准确地说，涉及一种读写时，能与盘体始终保持原子接触的磁头结构、盘体以及一种硬盘设备；本发明还涉及一种向磁头滑块上转移二维原子晶体层的方法。

背景技术

传统机械硬盘（hard disk drive，简称 HDD）在工作时一般采用磁头在盘体上飞行的模式，其与盘片保持一定的距离，且磁头沿盘片径向移动；静止（非工作）时磁头相对于盘片呈接触式启停状态。

磁存储技术是一种近场技术，读写磁信息时磁场强度随着磁头与磁介质之间距离的增大呈现指数衰减。目前，磁存储单元的尺寸越来越小，磁头读写器与磁介质之间的距离也越来越小，以保证快速读写磁盘上的磁信息的准确度。但这种距离的减小受到磁头飞行高度、磁头滑块表面的类金刚石膜厚度以及磁介质上方的类金刚石保护膜厚度和润滑层厚度等的限制

磁盘中磁头滑块作为磁头组件的核心部件之一，具有两方面的作用，一是它的表面具有某种图形能与盘面形成气浮轴承，以稳定地飞在盘面上方且能随着盘面的高低变化实现俯仰、翻转及摆动等；另一方面，它承载着读写磁头及相关数据的转换电路。因此，合理的磁头滑块结构及形貌对磁存储技术的发展至关重要。随着硬盘存储容量与日俱增，盘片存储介质的颗粒日益减小，为了保证数据存取的可靠性，磁头的飞行高度也不断减小，因而要求磁头滑块的体积及重量越来越小。

除了传统的飞行模式硬盘之外，中国专利 ZL201010115892.1（发明名称；一种硬盘设备）公开了一种接触式读写的硬盘设备，其中利用具有低摩擦的原子级平整表面的材料覆盖磁头和盘体以及利用该原子级平整表面间范德华力支撑来降低磁头与盘体间距离。该专利利用磁头下表面材料与盘体上表面材料

之间的范德华柔性支撑作用代替传统的飞行模式，将磁头与盘体的间距从传统飞行模式的 2-5nm 范围降低至 1nm 以下。同时，利用磁头下表面和盘体表面包裹的单层原子层材料形成低摩擦、“接触式”运动。但是，所述“低摩擦”并没有清晰定义，通常理解为仍然具有很小的摩擦；在覆盖在磁头和盘体的原子级平整表面的材料是同一种材料时，例如石墨烯，由于存在共度现象，磁头在接触式读取过程中会产生磁头和盘体表面材料的磨损，从而导致磁盘损坏。

发明内容

为了解决现有技术中的问题，本发明提供了一种读写超润滑“原子接触”式硬盘的磁头，在读写时，能与盘体始终保持“原子接触”且二者处于“超润滑”状态。“原子接触”定义为两层原子级平整的表面相互平行，两层界面之间没有或几乎没有其他杂质，并且界面之间原子不形成化学键，界面之间依靠范德华相互作用的接触形式。“超润滑”状态指的是界面之间相对运动时摩擦力几乎为零的状态。

为了实现上述的目的，本发明的技术方案是：一种读写接触式硬盘的磁头，包括磁头滑块，所述磁头滑块上用于和盘体配合的接触面为平面，所述磁头滑块的接触面上设有至少一层由原子级平整的二维原子晶体材料构成的覆层，在读取数据时，所述磁头滑块和盘体之间始终保持原子接触，原子接触的平衡距离在该原子接触中范德华力的作用势的最低点。

为了进一步减小滑块与盘体的摩擦力，所述覆层由磁头滑块的底面延伸至其侧面。

根据本发明的一个方案，二维原子晶体材料为石墨烯、氮化硼、BCN、氟化石墨烯、石墨烯氧化物、MoS_2、 WS_2、 $MoSe_2$、WSe_2、$MoSe_2$、WSe_2、$MoTe_2$、WTe_2、 ZrS_2、$ZrSe_2$、$NbSe_2$、 NbS_2、TaS_2、TiS_2、$NiSe_2$、GaSe、GaTe、InSe、 Bi_2Se_3、云母、BSCCO、MoO_3、 WO_3、TiO_2、MnO_2、V_2O_5、TaO_3、RuO_2、$LaNb_2O_7$、 $(Ca, Sr)_2Nb_3O_{10}$、$Bi_4Ti_3O_{12}$、Ca_2Ta_2 TiO_{10}、$Ni(OH)_2$、$Eu(OH)_2$、层状铜氧化物中的一种。

根据本发明的一个优选实施例，所述磁头滑块覆层的二维原子晶体材料为石墨烯。

优选的是，所述磁头滑块的尺寸在 0.1um-1000um 之间。

优选的是，所述磁头滑块的尺寸在 10um-1000um 之间。

本发明还提了一种硬盘设备，包括本申请的上述的磁头，还包括盘体，所述盘体包括磁介质层以及位于磁介质层上的具有原子级平整表面的至少一层由一种二维原子晶体材料或类金刚石纳米膜构成的保护层。

优选的是，所述盘体保护层为具有原子级平整的类金刚石膜。

优选的是，所述盘体保护层的二维原子晶体材料为石墨烯、氮化硼、BCN、氟化石墨烯、石墨烯氧化物、MoS_2、 WS_2、 $MoSe_2$、WSe_2、$MoSe_2$、WSe_2、$MoTe_2$、WTe_2、 ZrS_2、$ZrSe_2$、$NbSe_2$、 NbS_2、TaS_2、TiS_2、 $NiSe_2$、GaSe、GaTe、InSe、 Bi_2Se_3、云母、BSCCO、MoO_3、 WO_3、TiO_2、MnO_2、V_2O_5、TaO_3、RuO_2、$LaNb_2O_7$、 $(Ca，Sr)_2Nb_3O_{10}$、$Bi_4Ti_3O_{12}$、$Ca_2Ta_2TiO_{10}$、$Ni(OH)_2$、$Eu(OH)_2$、层状铜氧化物中的一种。

可以看到，在本申请中，磁头和盘体相互接触的接触面（即覆层和保护层）的可选材料范围都包括二维原子晶体材料，所以，当两者选取的材料相同时，可能会产生共度现象，因此，本申请的一种方案可以是磁头滑块覆层的材料与盘体保护层的材料不同。在磁头滑块覆层的材料与盘体保护层的材料相同的情况下：

优选的是，所述磁头滑块中设有能让二维原子晶体材料的晶胞尺寸发生改变的执行机构。

优选的是，所述执行机构为发热装置、压电装置或振动装置。

优选的是，所述执行机构为让磁头滑块持续横向振动的压电陶瓷。

优选的是，还包括控制装置，所述控制装置包括检测装置；在读写器工作之前，控制装置启动执行机构；且在读写过程中，如果检测装置检测到磁头滑块覆层的二维原子晶体材料与盘体保护层的二维原子晶体材料为公度排列时，启动执行机构。

本发明还提供了一种向磁头滑块上转移二维原子晶体材料的方法，包括以下步骤：

a、提供生长在基底上的二维原子晶体材料层；

b、将转移基体涂在二维原子晶体材料层上，并与二维原子晶体材料层

之间形成粘结层；

c、将二维原子晶体材料层粘结到磁头滑块上，形成滑块覆层；

d、洗掉转移基体，并去除粘结层，得到具有二维原子晶体材料层的磁头滑块。

优选的是，在步骤 c 之前，将磁头滑块的待粘结面抛光成原子级平整的平面。

优选的是，步骤 c 中，将基底去除后，还包括让二维原子晶体材料层的晶胞尺寸发生改变的步骤，然后将晶胞尺寸发生改变后的二维原子晶体材料层粘结到磁头滑块上。

优选的是，在步骤 d 后，还包括让二维原子晶体材料层的晶胞尺寸发生改变的步骤。

优选的是，通过磁头滑块的形变来改变二维原子晶体材料层晶胞的尺寸。

优选的是，所述磁头滑块中设有可让磁头滑块持续横向振动的压电陶瓷。

本发明还提供了一种制备磁头滑块的方法，包括以下步骤：

a、在原子级平整的金属基底上外延生长二维原子晶体材料，该金属基底与二维原子晶体材料晶格常数不同。

b、 将生长在基底上二维原子晶体材料与基底作为一个整体，制备成磁头滑块尺寸。

c、将磁头滑块安置在磁头上。

优选的是，在步骤 a 之前，将金属基底制备成磁头滑块尺寸。

优选的是，在步骤 a 之后，将生长二维原子晶体材料的金属基底切割成磁头滑块尺寸。

本发明中磁头滑块的设计不同于传统硬盘磁头滑块复杂的表面图形化设计。其下表面为平面，在磁头滑块的下表面上设有具有原子级平整表面的二维原子晶体材料层，可使磁头滑块与盘体之间在原子接触的状态下呈现超润滑状态，即，两者之间的摩擦力几乎为零。这就实现了读写时磁头滑块与盘体的超润滑原子接触，而这与传统中的空气悬浮式读写技术有着显著区别。磁头滑块与盘体原子接触后，可大大降低磁头滑块与盘体之间的距离，同时，鉴于二维原子晶体材料层的特性，其可完全取代传统磁头滑块中的 DLC 保护层，减少

保护层的厚度，进一步降低了磁头滑块与盘体之间的距离，从另一个角度来说，提高了磁盘的存储密度。同时，本发明磁头滑块没有复杂的图形化表面，结构简单。工作时磁头与盘体间处于超润滑状态增强了其与磁盘工作的稳定性，可实现硬盘设备的小型化。

附图说明

图 1 示出了本发明硬盘设备中磁头滑块和盘体的结构示意图。

图 2 示出了本发明中转移二维原子晶体材料层的流程示意图。

图 3 示出了磁头滑块和盘体的一种实施方式的结构示意图。

图 4 示出了磁头滑块和盘体的另一种实施方式的结构示意图。

图 5a、5b、5c 分别示出了原子级平整表面层之间三种不同的堆垛方式。

具体实施方式

下面结合附图对本发明的技术方案作详尽的说明。

本发明提出了一种新的磁头结构，该技术将磁头滑块下表面复杂的设计改变为平滑设计，将磁头滑块的底面与盘体顶面保持平行。可利用已知的抛光技术对磁头滑块的底面进行抛光，以获得原子级的平整表面，再利用二维原子晶体材料（例如石墨烯）转移技术或生长技术使磁头滑块底面覆有一层或多层二维原子晶体材料（例如石墨烯）。该覆层可由磁头滑块的下表面延伸至其侧面，以防止磁头滑块的侧面划伤盘体。同时，覆层延伸至其侧面是为了避免覆层边缘的悬键与盘体表面的悬键结合成键而导致的较大摩擦。

当磁头滑块与盘体原子接触时，二者之间处于超润滑状态，即摩擦力几乎为零，无磨损或只有微小的磨损存在。也就是说，在硬盘工作的时候，磁头滑块的底面与盘体的顶面可以始终保持原子接触，而不会损坏盘体和磁头，这就实现了读写时磁头滑块与盘体的接触。从而大幅度降低传统的飞行距离，同时磁头滑块上设有的二维原子晶体材料（例如石墨烯）可代替传统的类金刚石保护膜，从而减少了保护膜的厚度。

图 1 示出了本发明硬盘设备中磁头滑块和盘体的结构示意图。磁头滑块 2 与盘体 1 配合的接触面为一平面。这种设计将复杂的磁头滑块图形简化成为一

个平面。此处接触为“原子接触”。“原子接触”定义为两层原子级平整的表面相互平行，两层界面之间没有其他杂质并且界面之间的原子不形成化学键，界面之间只存在分子间作用（范德华作用）的接触形式。

两个原子级平整的表面在互相接触的过程中，随着距离的减小，范德华作用力主要从吸引状态转化成排斥状态，在其中某一个距离，会呈现吸引和排斥的平衡状态，平衡状态时范德华力的作用势最低，这属于本领域的公知常识。

此处的“接触面”应该理解为磁头滑块 2 与盘体 1 原子接触的表面。所述磁头滑块 2 的接触面上设有至少一层由原子级平整的二维原子晶体材料构成的覆层 3，该覆层 3 可以是单晶石墨烯，也可以是其他二维原子晶体。以上所说的二维原子晶体材料是指具有层状结构的二维材料，材料的厚度方向只含有一个或几个原子。在读取数据时，所述磁头滑块 2 和盘体 1 始终保持原子接触。二维原子晶体材料（例如石墨烯）的原子级平整表面指的是材料的一个晶向面中，没有原子级台阶。所述二维原子晶体材料可以为石墨烯、氮化硼、BCN、氟化石墨烯、石墨烯氧化物、MoS_2、 WS_2、 $MoSe_2$、WSe_2、$MoSe_2$、WSe_2、$MoTe_2$、WTe_2、 ZrS_2、$ZrSe_2$、$NbSe_2$、 NbS_2、TaS_2、TiS_2、 $NiSe_2$、GaSe、GaTe、InSe、 Bi_2Se_3、云母、BSCCO、MoO_3、 WO_3、TiO_2、MnO_2、V_2O_5、TaO_3、RuO_2、$LaNb_2O_7$、 $(Ca，Sr)_2Nb_3O_{10}$、$Bi_4Ti_3O_{12}$、$Ca_2Ta_2TiO_{10}$、$Ni(OH)_2$、$Eu(OH)_2$、层状铜氧化物中的一种。

本发明磁头覆层的优选实施例是采用石墨烯（Graphene）。石墨烯是一种由碳原子构成的单层片状结构的材料。是一种由碳原子以 sp2 杂化轨道组成六角型呈蜂巢晶格的平面薄膜，是一种只有一个碳原子厚度的二维材料。石墨烯目前是世上最薄却也是最坚硬的纳米材料。将上述结构的磁头滑块应用到硬盘中后，其与盘体的表面材料原子接触时会呈现超润滑状态，即二者之间的摩擦力几乎为零，呈现无磨损或微小磨损。这就使得，在硬盘工作的时候，可让磁头滑块的底面与盘体的表面可以始终保持原子接触，而不会损坏盘体和磁头，即实现了读写时磁头滑块与盘体的接触。

在读取数据时，为了防止磁头滑块的侧面划伤盘体从而对超润滑状态产生影响，所述石墨烯层或其他二维原子晶体材料层由磁头滑块 2 的底面延伸至其侧面，即在磁头滑块 2 的侧面设有石墨烯层或其他二维原子晶体材料层。同时，

石墨烯层或其他二维原子晶体材料延伸至其侧面也是为了避免石墨烯或其它二维原子晶体材料边缘的悬键与盘体表面的悬键结合成键而导致的较大摩擦。

磁头滑块 2 的特征尺寸设计在 0.1um-1000um（长、宽）之间。此时覆层 3 也需要根据磁头滑块的尺寸进行调整。如上面提到的尺寸 0.1um-1000um。由于磁头滑块 2 与盘体 1 在工作时是始终原子接触的，因此磁头滑块 2 会与盘体 1 产生正压力。为了避免磁头滑块 2 与盘体 1 之间产生较大的压强而磨损盘体的表面，设计磁头滑块 2 的尺寸为 10um-1000um，此时称为大尺寸磁头滑块，石墨烯层或其它二维原子晶体材料层也需要做成与磁头滑块相应的尺寸。

上述的覆层可以通过化学气相沉积（CVD）的方式来进行。以制备石墨烯为例，化学气相沉积法制备石墨烯多采用有机气体（如甲烷、乙烯等）、液体（如乙醇）或固态（如樟脑，蔗糖等）。用于制备石墨烯的化学气相沉积装置的主体部分为电阻炉，以石英管为反应室，以乙醇（作为例子）为碳源，以金属箔（例如铜箔）为基底。反应溶液在精密流量泵的带动下通过毛细管输入反应室中。碳源在高温反应区中分解出反原子并在金属基底上沉积并逐渐形成连续的石墨烯薄膜。本发明中需要将生长成的大尺度石墨烯转移到磁头滑块上，实现在磁头滑块表面的原子级平整表面。

图 2 以石墨烯为例，介绍了一种将二维原子晶体材料转移到磁头滑块上的技术。步骤 a、将单晶石墨烯生长在基体上；b、用一块转印基体压在石墨烯的表面，转印基体一般为 PMMA、PDMS 等聚合物，转印基体与石墨烯之间形成的粘结层具有较强的粘附力；c、再将生长基体用溶液（如三氯化铁溶液等）去除；之后 d、将粘附有单晶石墨烯的转印基体粘连到磁头滑块（目标基体）。将转印基体覆盖磁头滑块底面并延伸至其侧面。进行粘合后，再用有机溶液（如丙酮等）将在石墨烯表面的粘结层、转印基体去除。在滑块底面及部分侧面上形成具有原子级平整表面的单晶石墨烯层。

针对之前提到的尺寸在 10um-1000um 之间的大尺寸磁头滑块，需要生长、转移大尺寸的二维原子晶体材料，以生长大尺寸单晶石墨烯为例。下面提供一种大尺寸单晶石墨烯的生长方法：大尺寸单晶石墨烯（～5mm）的合成是以铜作为催化剂，在低压的环境下进行化学气相沉积（CVD）。其中通入的混合气体为氩气、氢气以及稀释的甲烷（500p.p.m 甲烷平衡于氩气环境下），甲烷

是生长石墨烯的碳源。首先将 25um 厚的铜片用盐酸与水溶液（HCL/H_2O 比例为 1:10）进行清洗后再用异丙醇进行三次冲洗，然后在氮气下干燥。干燥后的铜片放置在 CVD 的高温管式炉中，反应的石英管直径为 1 英尺。整个管式炉抽气 30 分钟，抽至 10mTorr 真空环境。之后再在石英管中重新冲入 300sccm 的纯氮气或氮气与氢气的混合气体，加热石英管 25min 至温度达到 1070℃（前 20 分钟升温，后 5 分钟稳定）。接下来将稀释的甲烷气体与氢气通入石英管中，在 1070℃温度下进行石墨烯生长，其中氢气与甲烷的摩尔比例为 1320-8800，气压的取值范围为 1-1000mbr。最后通过将石英管淬火至室温来结束生长（冷却的速率为~200℃/min）。

下面为一种大尺寸单晶石墨烯转移的方法：采用湿法腐蚀铜基底的方法将生长的大尺度单晶石墨稀转移到大尺寸磁头滑块上。在生长过程中，铜片的两个表面都会生长石墨稀，在一侧的石墨稀表面上旋涂上一层 PMMA，在 120℃下烘烤 2 分钟。样品的另一面暴露在 O_2 Plasma 持续 60 分钟去除生长在该面的石墨稀。之后，利用铜腐蚀剂将铜片腐蚀，得到一个自由悬浮在铜腐蚀剂表面的 PMMA/graphene 薄膜。将 PMMA/graphene 薄膜用 HCL 与去离子水的混合液（1:10）清洗，再用去离子水进行多次清洗后转移到大尺寸磁头滑块并将磁头滑块的底面和侧表面包住。经过空气干燥后，将 PMMA 用丙酮溶解，再将基底用异丙醇进行冲洗，最后就可以将石墨稀从铜基底转移到大尺寸磁头滑块上了。

硬盘中的盘体 1 是磁记录的媒介。盘体 1 的基体是表面超级平整（均方根粗糙度为 0.2nm）的玻璃盘片或铝盘片，在其两侧表面均具有多个镀层，硬盘的数据存储在厚度约为 30 nm 的磁性层内，传统的磁盘盘体在磁性层上设有厚度约 1-3nm 的类金刚石涂层（DLC 层）来保护相对较软的磁性层免受磨损和腐蚀，在 DLC 层上为厚度为 1-2nm 的润滑层来提高其抗磨性。

本发明中的磁头滑块，在与盘体的原子接触面上设有一层或者几层石墨烯层或其他二维原子晶体材料层。在硬盘工作时，磁头滑块的接触面与盘体的表面保持原子接触。重力和振动会造成原子接触距离发生改变，但本设计不会导致原子接触区的损伤或脱离接触。

作为盘体 1 的保护层，一种方式是保留传统的类金刚石碳膜 10，但是去

掉原有类金刚石表面的润滑层，参考图 3。本发明的磁头滑块 2 与盘体 1 上面具有原子级平整表面的类金刚石膜 10 原子接触时，处于超润滑状态，即，二者之间的摩擦力几乎为零，呈现无磨损或微小磨损。该保护层另一种方式是具有原子级平整表面的二维原子晶体材料。本发明的磁头滑块 2 与盘体 1 上面的二维原子晶体材料不同时，处于超润滑状态，即，二者之间的摩擦力几乎为零，呈现无磨损或微小磨损。但是，当本发明的磁头滑块 2 与盘体 1 上面的二维原子晶体材料相同时，在两个接触面相互转动时，可能会出现公度现象，从而破坏超润滑状态。

其中，以磁头滑块 2 与盘体 1 上面的材料同时为石墨烯层为例。在磁介质层上直接沉积或转移具有原子级平整表面的石墨烯层 11，参考图 4，在读取数据时，磁头滑块 2 与盘体 1 的表面原子接触，当盘体 1 的上表面与磁头滑块 2 的下表面材料都为石墨烯时， 盘体 1 的上表面与磁头滑块 2 的下表面在非公度接触时处在超润滑状态，也就是上下表面在接触运动过程中的摩擦力几乎为零，实现无磨损或微小磨损。

多层石墨烯层内的六方晶格结构是固定的，然而层与层之间的堆垛方式可以有很多种。其中能量最低的方式是 AB 堆垛，如图 5a 所示。图中，黑点和圆环表示的原子分别各自构成一层石墨片，在这种 AB 堆垛的方式下，上下有一半的原子位置重合，其余一半原子落在另一层原子的正六边形晶格的中心。除 AB 堆垛外，如图 5b 所示，AA 堆垛也是一个局部结合能极小的方式，此时上下原子位置完全对齐。AA 堆垛方式可由 AB 堆垛方式平移得到。如果将上下两层原子作相对旋转，如图 5c，则上下两层的晶格取向将失配，除非转到 60 度的整数倍时，此时上下原子层间的相互作用此消彼长，上下层平移时层间结合势能的上下波动会被抑制，呈现出较平缓的势能面。这种情况称为非公度（incommensurate）的排列，而 AB、AA 堆垛则是公度（commensurate）的界面。故，对于单晶石墨而言，层间堆垛特性对于其层间的摩擦力会有影响，即超润滑状态消失。如前所述，在非公度状态下，层间发生相对滑移时的势能起伏较小，因此导致摩擦力相比于公度状态也较小。在非公度接触时，层间发生滑移时处于结构超润滑状态，即之间的摩擦力几乎为零，无磨损或存在微小磨损。

针对本发明的技术方案，优选的方式是使两层石墨烯之间呈非公度排列，使二者之间处于超润滑状态，即，摩擦力达到最小，几乎为零，同时呈现无磨损或微小磨损。

当磁头滑块覆层与磁盘表面材料为相同二维原子晶体材料时，在两者运动的过程中会产生公度状态。为了避免这种由于公度带来的较大摩擦，需要对转移在磁头滑块上的二维原子晶体材料进行处理。以磁头滑块覆层是石墨烯为例，在磁头滑块中设置一个能让磁头滑块发生形变或者旋转的执行机构，具体如下：

1）在磁头滑块内部安装加热装置（发热元件），能够使磁头滑块发生形变，同时吸附在磁头滑块上的石墨烯也会跟随滑块形成微小的拉伸，从而改变石墨烯晶胞的尺寸。这样磁头滑块上的石墨烯由于拉伸就会与盘体的上表面一直保持晶格失配的状态，即非公度超润滑状态，因此可有效避免公度接触。图1给出了变化的示意图，磁头滑块2在发热元件的作用下发生形变，从而使石墨烯发生微小的拉伸，形成了最终的磁头滑块2a和石墨烯层3a。

2）在磁头滑块的内部安装有形变机械装置（如压电装置等），能够使磁头滑块发生形变，同时吸附在磁头滑块的石墨烯层随着磁头滑块形成微小的拉伸，从而改变石墨烯晶胞的尺寸。这样磁头底面上的石墨烯则会与盘体的上表面一直保持晶格失配的状态，即非共度超润滑状态。因此有效的避免了公度接触。例如在磁头滑块中增加压电陶瓷，可在运动过程中始终使磁头下表面进行横向伸缩运动，形成横向振动，从而避免了磁头下表面与磁盘上表面在运动过程中的公度状态。同时该压电装置也可以实现磁头滑块的横向振动，从而时刻改变磁头石墨烯层的晶格尺寸从而避免公度带来的较大摩擦。

上述进行拉伸的步骤，可以是在转移石墨烯层的时候进行，例如可以在去除生长基底之后，利用现有技术中已知的方法来改变石墨烯层的晶胞尺寸，然后将晶胞尺寸发生改变后的石墨烯层粘结到磁头滑块上。也可以在得到吸附有石墨烯层的磁头滑块后再改变石墨烯层晶胞的尺寸。

上述进行拉伸的步骤也可以在读取数据的时候执行。此时包括一个控制装置，所述控制装置包括检测装置（例如检测二者之间的剪切强度）；在读写器的读写过程中，如果检测装置检测到磁头滑块石墨烯层与盘体石墨烯层之间为

公度排列时，则启动执行机构来改变磁头滑块上石墨烯层的晶胞尺寸，直至二者之间为非公度排列，以实现在读写过程中的实时监测调整。当然也可以是在读写器工作之前，控制装置启动执行机构，使磁头滑块与盘体之间为非公度排列。

为了避免公度现象，本发明还提供一种制备磁头滑块的方法，包括以下步骤：

a、在原子级平整的金属生长基底上外延生长二维原子晶体材料，该金属基底与二维原子晶体材料的晶格常数不同；

b、 将生长在生长基底上二维原子晶体材料与基底作为一个整体，制备成磁头滑块。

根据本发明的制备磁头滑块的方法，在步骤 a 之前，可以将金属基底制备成磁头滑块的尺寸。

根据本发明的制备磁头滑块的方法，在步骤 a 之后，将生长二维原子晶体材料的金属基底切割成磁头滑块的尺寸。

以上述方法制备出的磁头滑块，由于磁头最外表面的二维原子晶体材料与其生长的基底晶体晶格常数不同，因此会在生长过程中形成一定的晶格失配。这样生长出来的二维晶体已经与盘体上相应的二维晶体存在晶格失配，从而避免公度现象的发生。

通过上述的技术方案，本发明具有以下优点：

1、简化了传统磁头滑块复杂的设计方案，实现平面磁头滑块设计简单化。

2、根据非公度结构超润滑原理，实现磁头与磁盘在超润滑，无磨损或微小磨损状态下的原子接触读写，大大降低磁头读写器和磁介质层的间距，相应地提高了磁盘的存储密度，能够实现对硬盘的接触式读写。

3、处于超润滑状态的接触硬盘可以轻易实现极高转速，提高硬盘数据读写速度。

4、可以很好的解决传统硬盘在、防震、防冲击等方面的缺陷，大大提高硬盘的稳定性。

5、由于设计的简单性，硬盘工作的稳定性与存储量的大幅提高，在保证现有的存储容量的前提下，可以大幅度较少硬盘的体积。

本发明已通过优选的实施方式进行了详尽的说明。然而，通过对前文的研读，对各实施方式的变化和增加也是本领域的一般技术人员所显而易见的。申请人的意图是所有这些变化和增加都落在了本发明权利要求所保护的范围中。

相似的编号通篇指代相似的元件。为清晰起见，在附图中可能有将某些线、层、元件、部件或特征放大的情况。

本文中使用的术语仅为对具体的实施例加以说明，其并非意在对本发明进行限制。除非另有定义，本文中使用的所有术语（包括技术术语和科学术语）均与本发明所属领域的一般技术人员的理解相同。

权 利 要 求 书

1．一种读写接触式硬盘的磁头，包括磁头滑块，其特征在于：所述磁头滑块上用于与盘体配合的接触面为平面，所述磁头滑块的接触面上设有至少一层由原子级平整的二维原子晶体材料构成的覆层。

2．根据权利要求 1 所述的磁头，其特征在于：所述磁头滑块的覆层延伸至磁头滑块的侧面。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的磁头，其特征在于：所述二维原子晶体材料为石墨烯、氮化硼、BCN、氟化石墨烯、石墨烯氧化物、MoS_2、WS_2、$MoSe_2$、WSe_2、$MoSe_2$、WSe_2、$MoTe_2$、WTe_2、ZrS_2、$ZrSe_2$、$NbSe_2$、NbS_2、TaS_2、TiS_2、$NiSe_2$、GaSe、GaTe、InSe、Bi_2Se_3、云母、BSCCO、MoO_3、WO_3、TiO_2、MnO_2、V_2O_5、TaO_3、RuO_2、$LaNb_2O_7$、$(Ca，Sr)_2Nb_3O_{10}$、$Bi_4Ti_3O_{12}$、$Ca_2Ta_2TiO_{10}$、$Ni(OH)_2$、$Eu(OH)_2$、层状铜氧化物中的一种。

4. 根据权利要求 3 所述的磁头，其特征在于：所述二维原子晶体材料为石墨烯。

5．根据权利要求 3 所述的磁头，其特征在于：所述磁头滑块的尺寸在 0.1um-1000um 之间。

6．根据权利要求 5 所述的磁头，其特征在于：所述磁头滑块的尺寸在 10um-1000um 之间。

7．一种硬盘设备，包括如权利要求 1-6 任一项所述的磁头，其特征在于：还包括盘体，所述盘体包括磁介质层以及位于磁介质层上的具有原子级平整表面的至少一层由二维原子晶体材料或类金刚石纳米膜构成的保护层。

8．根据权利要求 7 所述的硬盘设备，其特征在于：所述盘体的保护层为具有原子级平整的类金刚石纳米膜。

9．根据权利要求 7 所述的硬盘设备，其特征在于：所述保护层的二维原子晶体材料为石墨烯、氮化硼、BCN、氟化石墨烯、石墨烯氧化物、MoS_2、WS_2、$MoSe_2$、WSe_2、$MoTe_2$、WTe_2、ZrS_2、$ZrSe_2$、$NbSe_2$、NbS_2、TaS_2、TiS_2、$NiSe_2$、GaSe、GaTe、InSe、Bi_2Se_3、云母、BSCCO、MoO_3、WO_3、TiO_2、MnO_2、V_2O_5、TaO_3、RuO_2、$LaNb_2O_7$、$(Ca，Sr)_2Nb_3O_{10}$、$Bi_4Ti_3O_{12}$、$Ca_2Ta_2TiO_{10}$、

$Ni(OH)_2$、$Eu(OH)_2$、层状铜氧化物中的一种。

10. 根据权利要求 7 所述的硬盘设备，其特征在于：在读取数据时，所述磁头滑块和盘体之间始终保持范德华相互作用下的原子接触，原子接触的平衡距离在该原子接触中范德华力的作用势的最低点。

11. 根据权利要求 9 所述的硬盘设备，其特征在于：所述磁头滑块覆层的材料与盘体保护层的材料不同。

12. 根据权利要求 9 所述的硬盘设备，其特征在于：所述磁头滑块覆层的材料与盘体保护层的材料相同。

13. 根据权利要求 12 所述的硬盘设备，其特征在于：所述磁头滑块中设有能让二维原子晶体材料的晶胞尺寸发生改变的执行机构。

14. 根据权利要求 13 所述的硬盘设备，其特征在于：所述执行机构为发热装置、压电装置或振动装置。

15. 根据权利要求 14 所述的硬盘设备，其特征在于：所述执行机构为让磁头滑块持续横向振动的压电陶瓷。

16. 根据权利要求 14 所述的硬盘设备，其特征在于：还包括控制装置，所述控制装置包括检测装置；在读写器工作之前，控制装置启动执行机构；且在读写过程中，如果检测装置检测到磁头滑块二维原子晶体材料与盘体二维原子晶体材料为公度排列时，启动执行机构。

17. 一种向磁头滑块上转移二维原子晶体材料的方法，包括以下步骤：

a、提供在生长基底上的二维原子晶体材料层；

b、将转印基体涂在二维原子晶体材料层上，并与二维原子晶体材料层之间形成粘结层；

c、去除生长基体；

d、将二维原子晶体材料层粘结到磁头滑块上，去除转移基体，并去除粘结层，形成滑块覆层，得到具有二维原子晶体材料覆层的磁头滑块。

18. 根据权利要求 17 所述的方法，其特征在于：在步骤 d 之前，将磁头滑块的待粘结面抛光成原子级平整的平面。

19. 根据权利要求 17 所述的方法，其特征在于：步骤 c 中，将生长基底去除后，还包括让二维原子晶体材料层的晶胞尺寸发生改变的步骤，然后将晶

胞尺寸发生改变后的二维原子晶体材料层粘结到磁头滑块上。

20．根据权利要求 17 所述的方法，其特征在于：在步骤 d 后，还包括让二维原子晶体材料层的晶胞尺寸发生改变的步骤。

21．根据权利要求 20 所述的方法，其特征在于：通过磁头滑块的形变来改变二维原子晶体材料层晶胞的尺寸。

22．根据权利要求 21 所述的方法，其特征在于：所述磁头滑块中设有可让磁头滑块持续横向振动的压电陶瓷。

23．一种制备磁头滑块的方法，包括以下步骤：

a、在原子级平整的金属基底上外延生长二维原子晶体材料，该金属基底与二维原子晶体材料的晶格常数不同；

b、 将生长在基底上的二维原子晶体材料与基底作为一个整体，制备成磁头滑块。

24. 根据权利要求 23 所述的方法，其特征在于：在步骤 a 之前，将金属基底切割成磁头滑块的尺寸。

25. 根据权利要求 23 所述的方法，其特征在于：在步骤 a 之后，将生长二维原子晶体材料的金属基底切割成磁头滑块的尺寸。

说 明 书 附 图

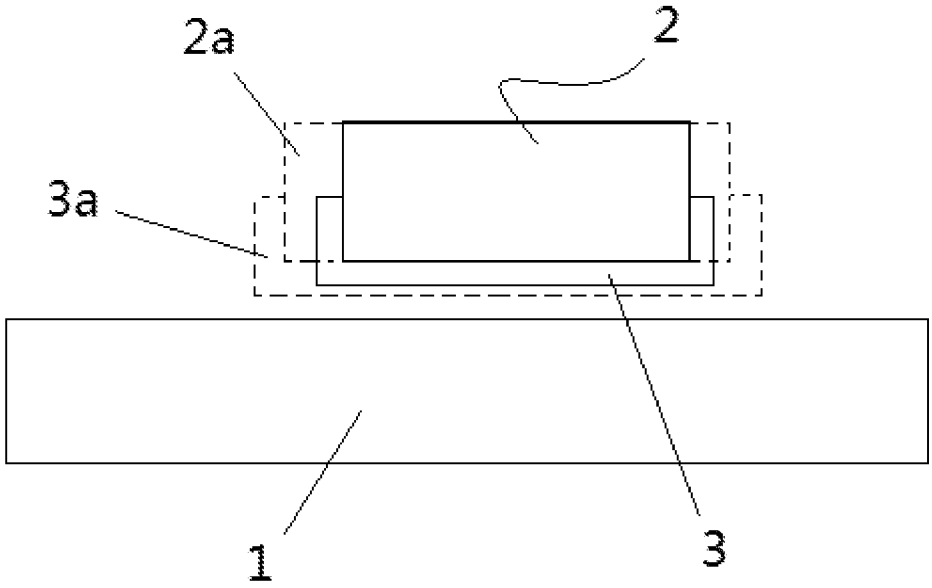

2a
2
3a
1
3

图 1

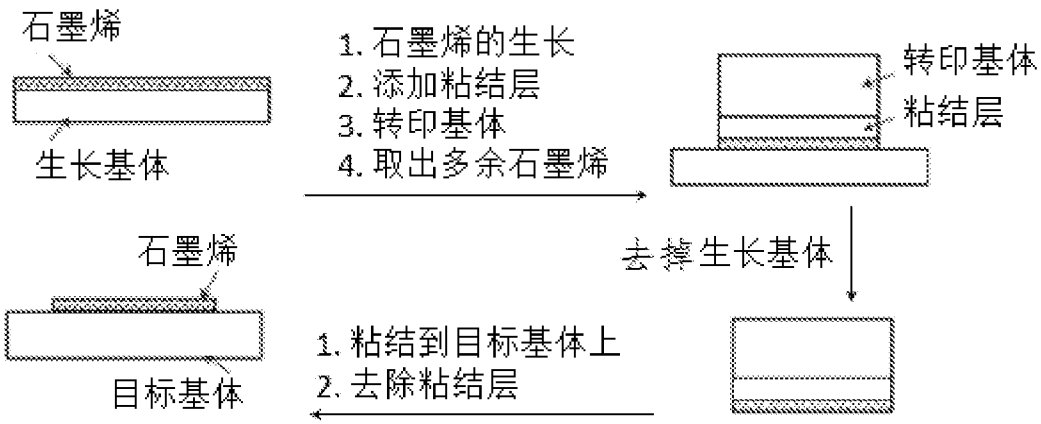

石墨烯
生长基体
1. 石墨烯的生长
2. 添加粘结层
3. 转印基体
4. 取出多余石墨烯
转印基体
粘结层
去掉生长基体
石墨烯
目标基体
1. 粘结到目标基体上
2. 去除粘结层

图 2

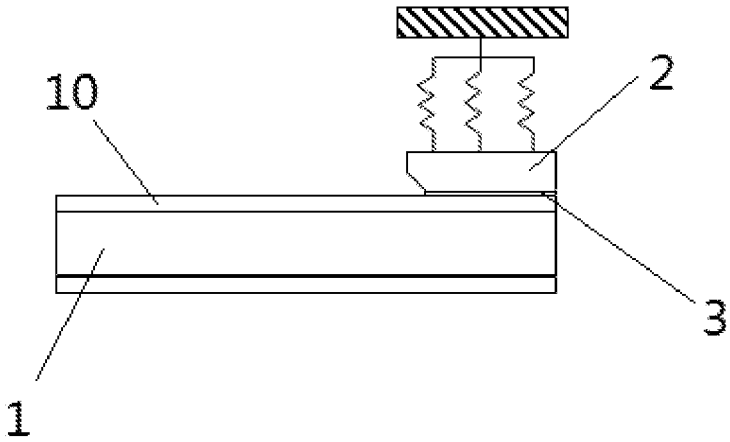


图 3

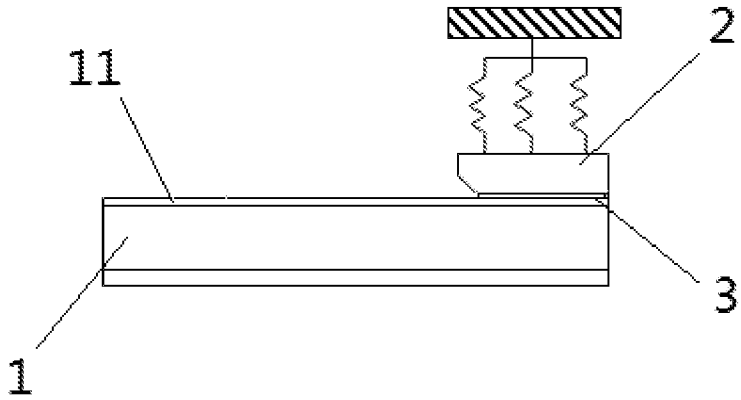


图 4

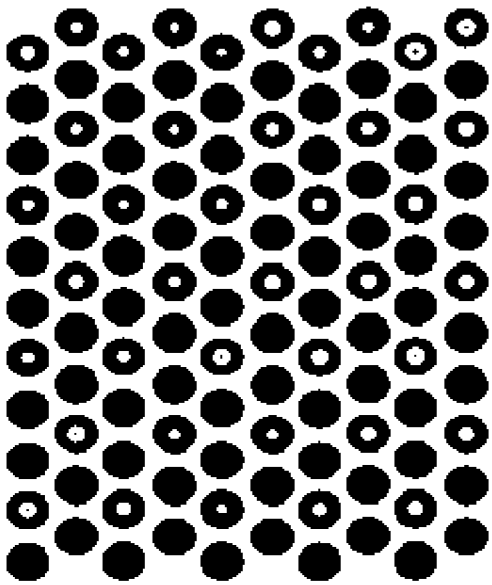


图 5a

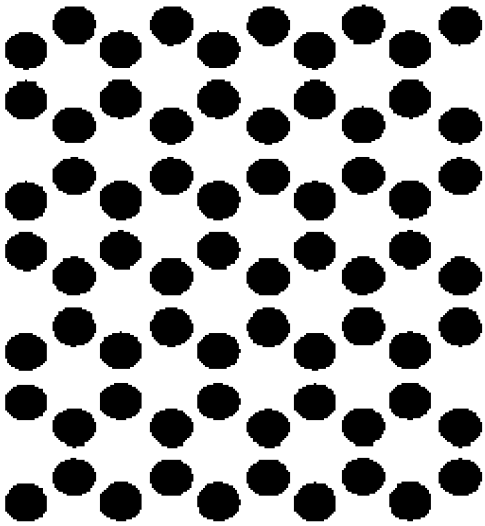


图 5b

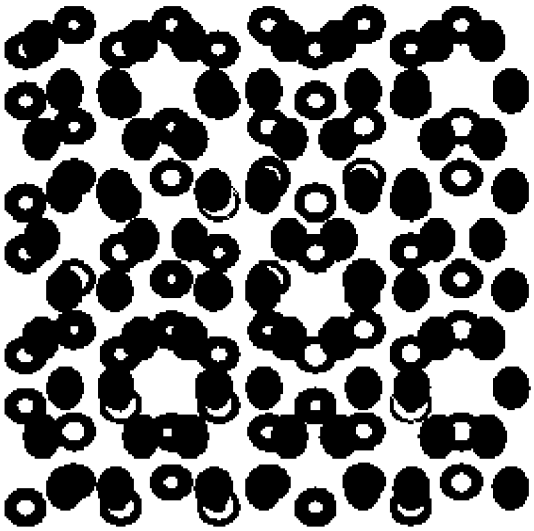


图 5c

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2014/075551

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G11B 5/127 (2006.01) i; C01B 31/04 (2006.01) i; C01B 31/06 (2006.01) 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)

G11B; 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)

CPRSABS, CNTXT, CNABS, CPEA, DWPI, TWTXT, SIPOABS, AUABS: CVD, magnetic head, slider, metal, substrate, graphene, transfer+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 101794581 A (TSINGHUA UNIVERSITY), 04 August 2010 (04.08.2010), description, paragraphs [0032]-[0049], and figures 1-6	1-7, 9-16
Y	CN 101794581 A (TSINGHUA UNIVERSITY), 04 August 2010 (04.08.2010), description, paragraphs [0032]-[0049], and figures 1-6	7-8
Y	CN 103514895 A (RITEDIA CO., LTD.), 15 January 2014 (15.01.2014), description, paragraphs [0078] and [0090]-[0091]	7-8
X	CN 102134067 A (PEKING UNIVERSITY), 27 July 2011 (27.07.2011), description, paragraphs [0002] and [0035]-[0052], and abstract	17-22
X	CN 103072978 A (HANGZHOU GELANFENG NANO TECHNOLOGY CO., LTD.), 01 May 2013 (01.05.2013), description, paragraphs [0003] and [0019]-[0023]	23-25
A	CN 103365004 A (SHENZHEN CHINA STAR OPTOELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD.), 23 October 2013 (23.10.2013), the whole document	17-22

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
23 September 2014 (23.09.2014)	**30 September 2014 (30.09.2014)**
Name and mailing address of the ISA/CN: 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 **LI, Long** Telephone No.: (86-10) **62411331**

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2014/075551

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 101794581 A	04 August 2010	CN 101794581 B	27 March 2013
CN 103514895 A	15 January 2014	TW 201401276 A	01 January 2014
CN 102134067 A	27 July 2011	CN 102134067 B	06 February 2013
CN 103072978 A	01 May 2013	None	
CN 103365004 A	23 October 2013	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2014/075551

A. 主题的分类

G11B 5/127(2006.01)i；C01B 31/04(2006.01)i；C01B 31/06(2006.01)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)

G11B; 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））

CPRSABS;CNTXT;CNABS;CPEA;DWPI;TWTXT;SIPOABS;AUABS: 磁头，滑块，金属，基底，石墨烯，转印，CVD,magnetic head, slider, metal, substrate, graphene, transfer+

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
X	CN 101794581 A (清华大学) 2010年 8月 04日 (2010-08-04) 说明书[0032]-[0049]段，图1-6	1-7，9-16
Y	CN 101794581 A (清华大学) 2010年 8月 04日 (2010-08-04) 说明书[0032]-[0049]段，图1-6	7-8
Y	CN 103514895 A (铼钴科技股份有限公司) 2014年 1月 15日 (2014-01-15) 说明书[0078]、[0090]-[0091]段	7-8
X	CN 102134067 A (北京大学) 2011年 7月 27日 (2011-07-27) 说明书[0002]、0035）-[0052]段，说明书摘要	17-22
X	CN 103072978 A (杭州格蓝丰纳米科技有限公司) 2013年 5月 01日 (2013-05-01) 说明书[0003]、[0019]-[0023]段）	23-25
A	CN 103365004 A (深圳市华星光电技术有限公司) 2013年 10月 23日 (2013-10-23) 全文	17-22

☐ 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	国际检索报告邮寄日期
2014年 9月 23日	2014年 9月 30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) 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 中国 传真号 (86-10)62019451	受权官员 李龙 电话号码 (86-10)62411331

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2014/075551

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	101794581	A	2010年 8月 04日	CN	101794581	B	2013年 3月 27日
CN	103514895	A	2014年 1月 15日	TW	201401276	A	2014年 1月 01日
CN	102134067	A	2011年 7月 27日	CN	102134067	B	2013年 2月 06日
CN	103072978	A	2013年 5月 01日		无		
CN	103365004	A	2013年 10月 23日		无		