



中华人民共和国国家标准

GB/T 30544.13—2018/ISO/TS 80004-13:2017

纳米科技 术语 第 13 部分：石墨烯及相关二维材料

Nanotechnologies—Vocabulary—
Part 13: Graphene and related two-dimensional (2D) materials

(ISO/TS 80004-13:2017, IDT)

2018-12-28 发布

2019-11-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
中国国家标准化管理委员会

前 言

GB/T 30544《纳米科技 术语》分为以下部分：

- 第1部分：核心术语；
- 第2部分：纳米物体：纳米粒子、纳米纤维和纳米片；
- 第3部分：碳纳米物体；
- 第4部分：纳米结构材料；
- 第5部分：纳米/生物界面；
- 第6部分：纳米物体表征；
- 第8部分：纳米制造过程；
- 第13部分：石墨烯及相关二维材料。

本部分为 GB/T 30544 的第13部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用翻译法等同采用 ISO/TS 80004-13:2017《纳米科技 术语 第13部分：石墨烯及相关二维材料》。

本部分由中国科学院提出。

本部分由全国纳米技术标准化技术委员会纳米材料分技术委员会(SAC/TC 279/SC 1)归口。

本部分起草单位：泰州巨纳新能源有限公司、东南大学、江南石墨烯研究院、冶金工业信息标准研究院、中国科学院半导体研究所、国家纳米科学中心、江苏省特种设备安全监督检验研究院[国家石墨烯产品质量监督检验中心(江苏)]、中国计量科学研究院、北京石墨烯研究院、中国科学院金属研究所、泰州石墨烯研究检测平台有限公司、西安电子科技大学、哈尔滨工业大学、上海交通大学、中国科学院山西煤炭化学研究所、深圳烯材科技有限公司、中国科学院宁波材料技术与工程研究所、深圳市贝特瑞新能源材料股份有限公司、济南圣泉集团股份有限公司、哈尔滨万鑫石墨谷科技有限公司、深圳华烯新材料有限公司、青岛华高石墨烯科技股份有限公司、合肥开尔纳米能源科技股份有限公司、山东欧铂新材料有限公司、合肥国轩高科动力能源有限公司、广州吉必盛科技实业有限公司。

本部分主要起草人：梁铮、倪振华、丁荣、谭平恒、葛广路、刘忠范、任玲玲、任文才、栾燕、董国材、孙小伟、郭辉、袁国辉、张帆、陈成猛、裴嵩峰、刘兆平、王东、黄友元、郑应福、张明东、郭洪云、张芬红、赵永彬、杨续来、吴春蕾。

引 言

由于石墨烯具有许多优异性能(如导电性和导热性等),过去的十年间在学术和商业上都引起了人们极大的兴趣。最近,其他具有石墨烯相似结构的材料也表现出良好的性能,例如,单层和少层六方氮化硼(hBN)、二硫化钼(MoS_2)、二硒化钨(WSe_2)、硅烯(silicene)、锗烯(germanene)以及这些材料混合物的层状组装体。这些材料的厚度限制在纳米级或更小,由一层至几层组成。由于这些材料有一个维度处于纳米级或更小,而另外两个维度通常大于纳米尺度,因此被称为二维(2D)材料。层状材料是由二维层组成的,其中这些二维层通过弱堆垛或弱结合形成了三维结构。图1显示了二维材料以及石墨烯中不同的堆垛构造的例子。应该指出的是,现实中的二维材料不必具有平坦的形貌,可以存在翘曲结构,并可进一步形成具有不同形貌的聚集体和团聚体。二维材料是纳米材料的重要组成部分。

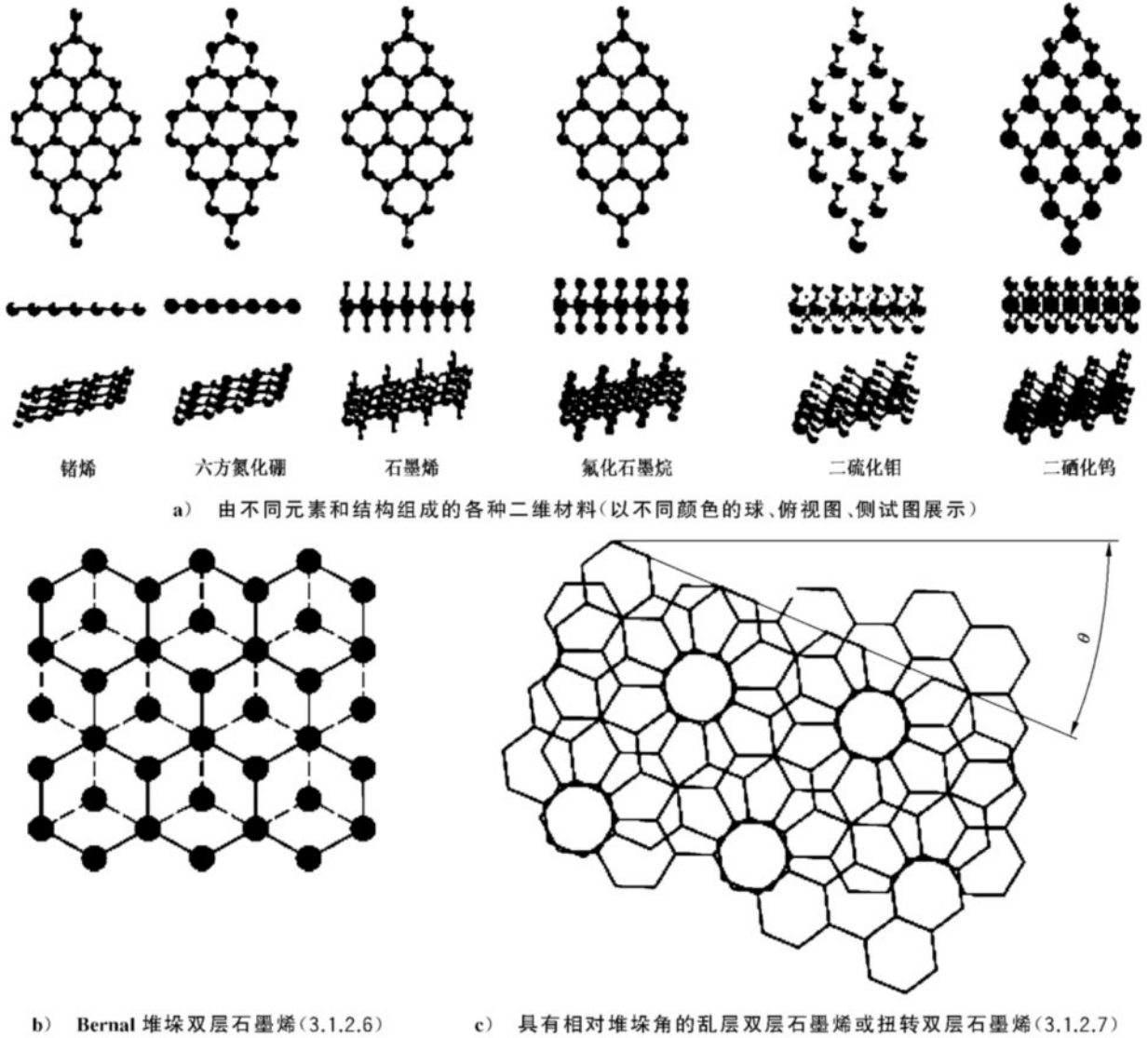


图 1 二维材料以及石墨烯层不同的堆垛构造



d) Bernal 堆垛(AB 堆垛) (3.4.1.10) 三层石墨烯 (3.1.2.9)
和 rhombohedral 堆垛(ABC 堆垛) (3.4.1.11) 三层石墨烯 (3.1.2.9)

图 1 (续)

在国际层面上规范石墨烯、由石墨烯衍生和相关的二维材料术语非常重要,和它们有关的出版物、专利和组织的数量正在迅速增加,而且它们也正在商业化并销往世界各地,因此,这些二维材料需要一致的术语。

本部分属于纳米科技领域不同方面的系列术语标准之一。本部分基于 GB/T 30544.3、ISO/TS 80004-6和 ISO/TS 80004-11 编制并尽可能使用已有定义。

纳米科技 术语

第 13 部分：石墨烯及相关二维材料

1 范围

GB/T 30544 的本部分界定了石墨烯及相关二维材料的术语和定义,包括制备方法、特性及其表征。

本部分旨在促进与石墨烯及相关二维材料相关的产业界、政府组织、社会人士及相关各方在研究、产业化过程中的相互交流。

2 规范性引用文件

本部分无规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

ISO 和 IEC 标准化过程中所涉术语数据库可访问下述网址:

——IEC 电子百科:<http://www.electropedia.org/>

——ISO 在线浏览平台:<http://www.iso.org/obp>

3.1 材料相关术语

3.1.1 二维材料相关通用术语

3.1.1.1

二维材料 two-dimensional material; 2D material

由一层(3.1.1.5)或几层(3.1.1.5)构成,其中每一层内的原子与所在层内的邻近原子紧密成键结合,有一个维度(即其厚度)处于纳米或更小尺度,其余两个维度通常处于更大尺度的材料。

注 1: 区分二维材料及体材料的临界层数与被测材料及其性质相关。对于**石墨烯层**(3.1.2.1)的数量,从电学测试而言,当其厚度小于或等于 10 层时是二维材料,当其厚度大于 10 层时已与体材料,亦即**石墨**(3.1.2.2),无明显区别。

注 2: 层间结合明显不同并弱于层内结合。

注 3: 每层可包含多种元素。

注 4: 二维材料可以是**纳米片**(3.1.1.2)。

3.1.1.2

纳米片 nanoplate

一个维度外部尺寸在纳米尺度,其他两个维度外部尺度明显大于最小尺寸的纳米物体。

注 1: 较大的外部尺寸不必在纳米尺度。

[ISO/TS 80004-2:2015,定义 4.6]¹⁾

1) 可参见 GB/T 32269—2015(ISO/TS 27687:2008, IDT),定义 4.2。

3.1.1.3

纳米薄片 **nanofilm; nanosheet**

具有更大横向尺寸的纳米片(3.1.1.2)。

注1: nanofilm 与 nanosheet 在特定的产业领域中同义。

注2: 与纳米片相比,纳米薄片在长度和宽度上有更大的延伸。

[ISO/TS 80004-11:2017,定义 3.2.1.1]

3.1.1.4

纳米带 **nanoribbon; nanotape**

两个更大维度之间具有显著差异的纳米片(3.1.1.2)。

[ISO/TS 80004-2:2015,定义 4.10]

3.1.1.5

层 **layer**

处于一个凝聚相的内部或表面,受限于某一维度的不连续的材料。

[ISO/TS 80004-11:2017,定义 3.1.2]

3.1.1.6

量子点 **quantum dot**

在全部三个空间方向上都表现出量子限域效应的纳米颗粒或区域。

[ISO/TS 80004-12:2016,定义 4.1]

3.1.1.7

聚集体 **aggregate**

强束缚或融合在一起的颗粒构成的新颗粒,其外表面积可能显著小于其单个颗粒表面积的总和。

注1: 支撑聚集体的力都是强作用力,如共价键或源于烧结或复杂的物理缠结。

注2: 聚集体也被称为次级颗粒,而源颗粒则被称为初级颗粒。

[ISO/TS 80004-2:2015,定义 3.5]²⁾

3.1.2 石墨烯相关术语

3.1.2.1

石墨烯 **graphene**

石墨烯层 **graphene layer**

单层石墨烯 **single-layer graphene; monolayer graphene**

由一个碳原子与周围三个近邻碳原子结合形成蜂窝状结构的碳原子单层。

注1: 它是许多碳纳米物体的重要构建单元。

注2: 由于石墨烯仅有一层(3.1.1.5),因此通常被称为单层石墨烯。石墨烯缩写为 1LG,以便区别于缩写为 2LG 的双层石墨烯(3.1.2.6)和缩写为 FLG 的少层石墨烯(3.1.2.10)。

注3: 石墨烯有边界,并且在碳-碳键遭到破坏的地方有缺陷和晶界。

[GB/T 30544.3—2015/ISO/TS 80004-3:2010,定义 2.11]

3.1.2.2

石墨 **graphite**

碳元素的同素异构体,是由相互平行堆叠在一起的石墨烯层(3.1.2.1)组成的长程有序的三维结晶结构。

注1: 采用 IUPAC 化学术语目录中的定义。

2) 可参见 GB/T 32269—2015(ISO/TS 27687:2008, IDT),定义 3.3。

注 2: 根据不同排列,分为六方形和菱形结构。

[GB/T 30544.3—2015/ISO/TS 80004-3:2010,定义 2.12]

3.1.2.3

石墨烷 graphane

由碳、氢原子以 $(CH)_n$ 作为重复单元组成的二维薄片所构成的单层材料。

注 1: 石墨烷是石墨烯的完全氢化形态,其碳原子间成 sp^3 共价键。

3.1.2.4

氟化石墨烷 perfluorographane

由碳、氟原子一一成键并以 $(CF)_n$ 作为重复单元组成的二维薄片所构成的单层材料。

注 1: 氟化石墨烷中碳原子间成 sp^3 共价键。

注 2: 氟化石墨烷有时候亦称为氟化石墨烯(fluorographene)。

3.1.2.5

外延石墨烯 epitaxial graphene

(石墨烯)在碳化硅基底上生长形成的石墨烯层(3.1.2.1)。

注 1: 石墨烯可以在其他基底上外延生长,例如,镍(111),但是这些石墨烯不称为外延石墨烯。

注 2: 这个特定的定义仅适用于石墨烯领域。通常地,“外延”指薄膜在单晶基底上的外延生长。

3.1.2.6

双层石墨烯 bilayer graphene; 2LG

由两个完整的石墨烯层(3.1.2.1)堆垛构成的二维材料(3.1.1.1)。

注 1: 若已知堆垛方式,则可分别指明,例如“Bernal 堆垛双层石墨烯”。

3.1.2.7

扭转双层石墨烯 twisted bilayer graphene; turbostratic bilayer graphene; tBLG; t2LG

由两个完整的石墨烯层(3.1.2.1)按一个相对堆垛角(3.4.1.12)扭转堆垛(亦称为公度旋转)而成的二维材料(3.1.1.1)。其中所述的扭转堆垛与 Bernal 堆垛(3.4.1.10)或 rhombohedral 堆垛(3.4.1.11)不同。

3.1.2.8

扭转少层石墨烯 twisted few-layer graphene; $t(n+m)$ LG

由 n 个 Bernal 堆垛石墨烯层以一相对堆垛角(3.4.1.12)置于 m 个 Bernal 堆垛石墨烯层之上所构成的二维材料(3.1.1.1)。

3.1.2.9

三层石墨烯 trilayer graphene; 3LG

由三个完整的石墨烯层(3.1.2.1)堆垛构成的二维材料(3.1.1.1)。

注 1: 如果已知堆垛方式,则可分别指明,例如,扭转三层石墨烯。

3.1.2.10

少层石墨烯 few-layer graphene; FLG

由三到十个完整的石墨烯层(3.1.2.1)堆垛构成的二维材料(3.1.1.1)。

3.1.2.11

石墨烯纳米片 graphene nanoplate; graphene nanoplatelet; GNP

由石墨烯层(3.1.2.1)构成的纳米片(3.1.1.2)。

注 1: GNPs 的常见厚度为 1 nm 至 3 nm,横向尺寸范围约为 100 nm 至 100 μm 。

3.1.2.12

氧化石墨 graphite oxide

对基平面(basal planes)进行强氧化改性后得到的化学改性石墨(3.1.2.2)。

注 1: 氧化石墨的结构和性质取决于氧化程度和合成方法。

3.1.2.13

氧化石墨烯 **graphene oxide; GO**

对石墨(3.1.2.2)进行氧化及剥离后所得到的化学改性石墨烯(3.1.2.1),其基平面已被强氧化改性。

注 1: 氧化石墨烯是具有高氧含量(3.4.2.7)的单层材料,通常由碳氧原子比(与合成方法有关,一般约为 2.0)表征。

3.1.2.14

还原氧化石墨烯 **reduced graphene oxide; rGO**

氧含量(3.4.2.7)被降低后的氧化石墨烯(3.1.2.13)。

注 1: 可通过化学、热学、微波、光化、光热、微生物/细菌等方法,或者剥离还原氧化石墨方法得到还原氧化石墨烯。

注 2: 如果氧化石墨烯被完全还原,那么得到的就是石墨烯。然而,实际上仍会残留部分含氧功能基团,并且 sp^3 化学键也无法完全还原为 sp^2 化学键。不同的还原介质将导致还原氧化石墨烯具有不同的碳氧原子比及不同的化学组分。

注 3: 还原氧化石墨烯可有不同形态,例如片状或蠕虫状结构。

3.1.3 其他二维材料相关术语

3.1.3.1

二维异质结构 **2D heterostructure**

由来自不同二维材料的两个或多个完整的层(3.1.1.5)所堆垛而成的二维材料(3.1.1.1)。

注 1: 它们可以在面内或面外堆垛。

3.1.3.2

二维垂直异质结构 **2D vertical heterostructure**

由来自不同二维材料的两个或多个完整的层(3.1.1.5)沿面外方向堆垛而成的二维材料(3.1.1.1)。

3.1.3.3

二维面内异质结构 **2D in-plane heterostructure**

由来自不同二维材料的两个或多个完整的层(3.1.1.5)在面内方向相互结合而成的二维材料(3.1.1.1)。

3.2 二维材料制备方法相关术语

3.2.1 石墨烯及相关二维材料制备

3.2.1.1

化学气相沉积 **chemical vapour deposition; CVD**

通常先加热,利用气态前驱体或混合前驱体的化学反应实现固体材料在衬底上的沉积。

[ISO/TS 80004-8:2013,定义 7.2.3]

3.2.1.2

卷对卷生产 **roll-to-roll production; R2R production**

〈二维材料〉在被处理成卷膜的连续衬底上实现二维材料(3.1.1.1)的 CVD 生长,并将二维材料转移至分立衬底上。

3.2.1.3

机械剥离 **mechanical exfoliation**

〈二维材料〉通过机械方法,从材料体中分离出独立/分立的二维材料层(3.1.1.5)。

注 1: 有很多不同实现方法。一个方法是通过剥离,亦称为胶带剥离法、机械剥离法、微机械剥离法;另一个方法是通过干燥介质球研磨。

3.2.1.4

液相剥离 **liquid-phase exfoliation**

〈二维材料〉在溶剂中通过流体剪切力从体层状材料中剥离出二维材料(3.1.1.1)。

注 1: 溶剂可为水性、有机或离子液体。

注 2: 表面活性剂可用于水性分散液中, 以实现或促进剥离, 并提高分散液的稳定性。

注 3: 剪切力可通过各种方法产生, 包括超声空化或高剪切混合。

3.2.1.5

碳化硅生长 growth on silicon carbide

〈石墨烯〉通过可控高温加热碳化硅衬底, 使其中的硅原子升华并(在衬底上)留下石墨烯, 从而制备出石墨烯层(3.1.2.1)。

注 1: 石墨烯可能生长在碳化硅衬底的碳侧或硅侧, 其石墨烯层的数目和堆垛方式有所不同。

注 2: 此方法产物常称为外延石墨烯(3.1.2.5)。

3.2.1.6

石墨烯沉淀 graphene precipitation

〈石墨烯〉把金属衬底内的碳原子通过加热和分离析出至表面, 在金属表面制备出石墨烯层(3.1.2.1)。

注 1: 金属体中的碳杂质或掺杂可能是偶然或特意引入的。

3.2.1.7

化学合成 chemical synthesis

〈石墨烯〉通过表面媒介反应和升温使有机小分子连成碳环, 实现自底向上制备石墨烯的方法。

3.2.1.8

乙醇前驱体生长 alcohol precursor growth

〈石墨烯〉将乙醇前驱体引入高温环境中, 分解乙醇并生成石墨烯的方法。

3.2.1.9

分子束外延 molecular beam epitaxy; MBE

原子或分子束沉积在真空中的单晶衬底上, 生长出晶向与衬底一致的单晶的过程。

注 1: 原子/分子束是蒸汽通过一个小孔从蒸发区到高真空区所形成的。

注 2: 可以利用应力在这种方法中生长出具有纳米尺度特征的结构, 例如, 在砷化镓衬底上长出的砷化镓量子点。

[ISO/TS 80004-8:2013, 定义 7.2.13]

3.2.1.10

阳极结合 anodic bonding

〈石墨烯〉利用静电场把薄片形态的石墨前驱体结合在玻璃上, 然后分离制备出石墨烯层(3.1.2.1)。

3.2.1.11

激光刻蚀 laser ablation

利用脉冲激光的能量对目标物表面材料进行刻蚀的方法。

注 1: 这是在表面制作纳米尺度、微米尺度特征的方法。

[ISO/TS 80004-8:2013, 改写定义 7.3.15]

3.2.1.12

光照剥离 photoexfoliation

用激光束照射分离出二维材料(3.1.1.1)完整的/部分的一层(3.1.1.5)的方法。

注 1: 对于石墨烯层(3.1.2.1)的情形, 此法和激光刻蚀(3.2.1.11)不同, 不引起碳原子的蒸发或升华。

3.2.1.13

化学插层剥离 exfoliation via chemical intercalation

〈二维材料〉通过在更厚的层状材料的层间插入化学物质和单元, 然后浸入到液体中, 利用机械能或热能来制备单层或少层二维材料(3.1.1.1)的方法。

3.2.1.14

电化学剥离 electrochemical exfoliation

〈石墨烯〉利用离子导电溶剂(电解液)和直流电源,使石墨前驱体(电极)发生结构改变和剥离,从而制备出石墨烯(3.1.2.1)的层(3.1.1.5)的方法。

注 1: 此法提供了使用环境友好化学品来制备石墨烯的潜在可能性,无需强氧化剂/还原剂,而且制作效率更快、具有常温常压下实现批量制备的潜力。

3.2.1.15

石墨氧化 graphite oxidation

在溶液中利用强氧化剂来氧化石墨(3.1.2.2),制备出氧化石墨(3.1.2.12)的方法。

注 1: 有很多不同的方法来制备氧化石墨或氧化石墨烯(3.1.2.13),包括 Hummers、Brodie、Staudenmaier、Marcano-Tour 方法[Hummers 法(3.2.1.16)的修订版本]。

3.2.1.16

Hummers 法 Hummers' method

在含有石墨的硝酸钠和硫酸溶液中加入高锰酸钾,制备出氧化石墨烯(3.1.2.13)的方法。

注 1: 此法见参考文献[11]。

3.2.1.17

氧化石墨热剥离 thermal exfoliation of graphite oxide

在石墨(3.1.2.2)的石墨烯层(3.1.2.1)之间引入含氧官能团,加热、分解所引入的化学物质和单元,产生气体,剥离出还原氧化石墨烯的层,从而制备出还原氧化石墨烯(3.1.2.14)的方法。

注 1: 氧化石墨(3.1.2.12)的热剥离和还原是同时发生的。

3.2.1.18

气相合成 gas phase synthesis

〈石墨烯〉通过在高温气氛中引入碳前驱体,在衬底上制备石墨烯片的方法。

3.2.1.19

原子层沉积 atomic layer deposition; ALD

通过材料循环沉积,利用自终止表面反应实现原子级别的厚度控制,从而制备出统一保形薄膜的过程。

注 1: 此过程通常涉及至少两个顺序反应来完成一个循环,该循环可重复几次以制备到所需的厚度。

[ISO/TS 80004-8:2013, 定义 7.2.2]

3.2.2 纳米带制备

3.2.2.1

打开碳纳米管 carbon nanotube unzipping

延着长轴打开碳纳米管制备石墨烯纳米带(3.1.1.4)的方法。

3.2.2.2

碳化硅模板生长法 templated growth on SiC

利用长窄掩模和碳化硅生长(3.2.1.5)制备石墨烯纳米带(3.1.1.4)的方法。

3.2.2.3

CVD 模板生长法 templated CVD growth

利用长窄掩模和 CVD(3.2.1.1)制备石墨烯纳米带(3.1.1.4)的方法。

3.2.2.4

自下而上前驱体生长 bottom-up precursor growth

利用分子前驱体和后继脱氢环化的表面辅助耦合,制备出石墨烯纳米带(3.1.1.4)的方法。

3.2.2.5

电子束光刻图案化 electron beam lithographic patterning

通过自上而下路径,利用电子束从一个石墨烯层(3.1.2.1)中刻蚀出石墨烯纳米带(3.1.1.4)的方法。

3.2.2.6

离子束光刻图案化 ion beam lithographic patterning

通过自上而下路径,利用可控离子束从石墨烯层(3.1.2.1)中刻蚀出石墨烯纳米带(3.1.1.4)的方法。

3.3 二维材料表征方法相关术语

3.3.1 结构表征方法

3.3.1.1

扫描探针显微术 scanning-probe microscopy; SPM

利用探针扫描被测表面,测量检测器件伴随响应的表面成像法。

注1:本通用术语包含许多方法,包括原子力显微术 AFM(3.3.1.2),扫描近场光学显微术 SNOM,扫描离子电导显微术 SICM,扫描隧道显微术 STM(3.3.1.3)。

注2:分辨率可从 STM 的单个原子分辨到扫描热显微术 scanning thermal microscopy (SThM)约 $1\ \mu\text{m}$ 的分辨能力。

[ISO 18115-2:2013,定义 3.30]

3.3.1.2

原子力显微术 atomic force microscopy; AFM

利用探针机械扫描待测表面轮廓,安装在悬臂上的尖锐针尖受表面力影响会引起(悬臂)偏转,通过测量该偏转实现表面成像的方法。

注1:AFM 对绝缘和导电表面均能提供定量化的高度像。

注2:一些 AFM 仪器在保持针尖位置固定的同时在 x 、 y 和 z 方向上移动样品,而另一些仪器则保持样品位置固定而通过移动针尖成像。

注3:AFM 能够在真空、液体、可控气氛或空气中进行检测。且如果样品适宜、成像模式适当,可达到原子级分辨率。

注4:AFM 能够测量多种类型的力,如法向力或横向力、摩擦力或剪切力。当测量后者时,本方法被称为横向力、摩擦力或剪切力显微术。本通用术语涵盖了所有这些类型的力学显微术。

注5:AFM 可用来测量用于成像的像素阵列中单点的表面法向力。

注6:对于半径小于 $100\ \text{nm}$ 的典型 AFM 探针,根据样品材料的不同,法向力应小于约 $0.1\ \mu\text{N}$,否则将发生不可逆的材料表面形变和探针的过度磨损。

[ISO 18115-2:2013,定义 3.2]

3.3.1.3

扫描隧道显微术 scanning tunnelling microscopy; STM

用隧穿电流成像的 SPM(3.3.1.1),即用一个尖锐的、施加了偏压的导电探针扫描导电表面,用隧道电流和探针-表面距离的数据生成图像。

注1:STM 能够在真空、液体或空气中操作。若样品适宜、探针尖锐可以实现原子级别分辨率,对于理想的样品还可以提供表面原子周围的局域成键信息。

注2:图像可以在恒隧道电流模式时由高度数据生成,或者在恒高模式时由隧道电流数据生成,或者在限定了针尖和样品之间相对电压时的其他模式中生成。

注3:STM 能够用来绘制表面(或者在理想情况下单个原子周围)的态密度。根据针尖偏压的不同,即使对于相同的表面形貌,样品的表面图像也会明显不同。

[ISO 18115-2:2013,定义 3.34]

3.3.1.4

扫描电子显微术 scanning electron microscopy; SEM

电子束扫描样品表面,通过检测和分析所获得的物理信息(例如二次电子、背散射电子、吸收电子和X射线辐射)来确定样品的结构、组成和形貌的方法。

[ISO/TS 80004-6:2013³⁾,定义 3.5.5]

3.3.1.5

透射电子显微术 transmission electron microscopy; TEM

利用穿过样品并与其相互作用的电子束生成样品的放大图像或衍射花样的方法。

[ISO/TS 80004-6:2013,定义 3.5.6]

3.3.1.6

拉曼光谱法 Raman spectroscopy

研究样品受单色辐射照射后所发出辐射的光谱方法,其中样品辐射由旋转激发、振动激发或声子激发所导致的辐射能量损失或增益来表征。

[ISO 18115-2:2013,整合并改写定义 5.128 和定义 5.129]

3.3.1.7

光致发光光谱法 photoluminescence spectroscopy; PL spectroscopy

研究吸收光子和二次辐射光子的光谱方法。

[ISO 80004-6:2013,定义 4.4]

3.3.1.8

X射线衍射法 X-ray diffraction; XRD

通过分析X射线束轰击样品产生的衍射花样获得样品晶体结构信息的方法。

注:该方法可用来评估相干散射区的尺寸。

[ISO 80004-6:2013,定义 5.2.1]

3.3.1.9

低能电子显微术 low energy electron microscopy; LEEM

由非扫描电子束产生的低能弹性背散射电子对表面成像和/或产生衍射花样的表面测试方法。

注1:这种方法通常用于清洁光滑表面的成像和分析。

注2:低能电子的能量范围通常是1 eV~100 eV。

[ISO 80004-6:2013,定义 3.5.8]

3.3.1.10

低能电子衍射法 low energy electron diffraction; LEED

利用低能电子准直光束轰击,观测衍射电子以确定单晶材料表面结构的方法。

注1:可通过测量电子衍射图案斑点间距以确定原子间距。

3.3.2 化学表征方法

3.3.2.1

俄歇电子能谱法 Auger electron spectroscopy; AES

用电子能谱仪测量自表面发射的俄歇电子能量分布的方法。

注1:常使用能量范围为2 keV~30 keV的电子束激发俄歇电子。俄歇电子也可用X射线、离子和其他束源激发,但无附加说明时,词语俄歇电子能谱通常指电子束激发。用X射线源时,俄歇电子能量是以费米能级为参考;但当用电子束时,其能量参考既可是费米能级,也可以是真空能级。谱图常以直接或微分形式表示。

3) 可参见 GB/T 30544.6—2016(ISO/TS 80004-6:2013,MOD)。

[ISO/TS 80004-6:2013, 定义 4.16]

3.3.2.2

X 射线光电子能谱法 X-ray photoelectron spectroscopy; XPS

用电子能谱仪测量 X 射线光子辐照样品表面所激发的光电子和俄歇电子能量分布的方法。

注：通常用的 X 射线源是非单色化的 Al K α X 射线和 Mg K α 射线，其能量分别为 1 486.6 eV 和 1 253.6 eV。现代仪器也使用单色化的 Al K α X 射线。有些仪器使用其他阳极 X 射线源或者同步辐射。

[ISO/TS 80004-6:2013, 定义 4.18]

3.3.2.3

电子能量损失能谱法 electron energy loss spectroscopy; EELS

用电子能谱仪测量从单能激发源与样品进行非弹性相互作用后所发射的电子能谱，常出现源于特定非弹性损失过程的谱峰。

注 1：用大约和 AES(3.3.2.1)或 XPS(3.3.2.2)峰相同能量的入射电子束所得到的谱，在靠近入射能量附近出现与其有关的能量损失谱。

注 2：用入射电子束测得的电子能量损失谱是束能、束入射角、发射角和样品电子性质的函数。

[ISO/TS 80004-6:2013, 定义 4.14]

3.3.2.4

能量色散 X 射线光谱法 energy-dispersive X-ray spectroscopy; EDS; EDX

利用并行探测器测量单个光子能量并用于建立 X 射线能量分布直方图的 X 射线光谱法。

[ISO/TS 80004-6:2013, 定义 4.21]

3.3.2.5

热重法 thermal gravimetry; TG

当样品处于可控温度过程中时，测量样品质量随温度改变的函数的方法。

[ISO/TS 80004-6:2013, 定义 5.1.2, 将术语“thermogravimetry”改写为“thermal gravimetry”]

3.3.2.6

电感耦合等离子体质谱法 inductively coupled plasma mass spectrometry; ICP-MS

利用环绕在氩气输运管道上的射频负载线圈所诱导的交变磁场在流动氩气中产生高温放电，利用质谱仪分析此放电过程的方法。

[ISO/TS 80004-6:2013, 定义 4.22]

3.3.3 电学表征方法

3.3.3.1

四探针法 four-terminal sensing; four point probe method

使用分离的载流和电压传感电极对测量薄膜方块电阻、阻抗或导电性的方法。

注 1：此法快速、可复位并有局域性。

3.3.3.2

石墨烯霍尔栏装置 graphene Hall bar setup

〈石墨烯〉布置合适的触点用于霍尔效应测量的石墨烯层(3.1.2.1)。

3.3.3.3

开尔文探针力显微术 Kelvin-probe force microscopy; KPFM

利用导电探针测量探针与表面相对电势随空间及时间改变的动态模式 AFM 的方法。

注 1：相对电势的改变反映表面功函数的改变。

[ISO 18115-2:2013, 定义 3.12]

3.3.3.4

紫外光电子光谱法 ultraviolet photoelectron spectroscopy; UPS

利用电子能谱仪测量由紫外光子激发表面所发射出的光电子能量分布的方法。

注 1: 通常地, 紫外线光源包括各种不同放电类型, 可产生不同气体的共振线(例如, He I 和 He II 发射谱线分别在 21.2 eV 和 40.8 eV)。如需不同能量, 则使用同步辐射光源。

[ISO 18115-1:2013, 定义 4.22]

3.3.3.5

角分辨光电子能谱法 angle resolved photoemission spectroscopy; ARPES

利用表面光电子的角度分布研究表面的电子特性的 UPS(3.3.3.4)方法。

3.3.3.6

光电子发射光谱法 photoelectron emission microscopy; PEEM

以高空间分辨率(50 nm)和能谱分辨率(100 meV)对光电效应信号的能量空间分布进行成像的方法。

注 1: 与 ARPES 相似, 但是此法空间分辨率高(约 50 nm), 能谱分辨约为 100 meV。

注 2: 此法可能使用实验室紫外光源和 X 射线源。如需不同能量, 则使用同步辐射光源。

3.3.3.7

非接触微波法 non-contact microwave method

利用谐振腔测量表面电导或等效薄膜电阻(包括检测在谐振腔中插入样品之前和之后谐振频率漂移以及品质因子变化), 以及它们与样品表面积的数量相关性的方法。

注 1: 此法快速且非接触。

3.4 二维材料特征相关术语

3.4.1 特征以及二维材料结构和维度特性相关术语

3.4.1.1

缺陷 defect

〈二维材料〉二维材料(3.1.1.1)理想晶格点阵中原子排列规则性的局部偏离。

3.4.1.2

点缺陷 point defect

〈二维材料〉仅在二维材料(3.1.1.1)一个晶格点上或围绕该晶格点发生的缺陷(3.4.1.1)。

注 1: 点缺陷一般包括少量原子缺失、错位所产生的空位、位错, 或异质原子所产生间隙、替位。

3.4.1.3

空位缺陷 vacancy defect

〈二维材料〉二维材料层(3.1.1.5)内缺失一个或多个原子造成的缺陷(3.4.1.1)。

3.4.1.4

替位缺陷 substitution defect

〈二维材料〉二维材料(3.1.1.1)晶格中一个原子被不同原子取代所造成的缺陷(3.4.1.1)。

3.4.1.5

线缺陷 line defect

〈二维材料〉沿一维方向延展, 造成二维材料(3.1.1.1)行位错的缺陷(3.4.1.1)。

3.4.1.6

面缺陷 planar defect

〈二维材料〉二维材料(3.1.1.1)在层(3.1.1.5)的堆垛序列上出现的缺陷(3.4.1.1)。

3.4.1.7

sp³ 键合吸附原子缺陷 **sp³ bonded adatom defect**

〈石墨烯〉由石墨烯层(3.1.2.1)外存在的额外原子所导致的石墨烯层碳原子发生 sp³ 杂化而造成的缺陷(3.4.1.1)。

3.4.1.8

晶界 **grain boundary**

〈二维材料〉二维材料(3.1.1.1)的两个或多个(晶向发生改变的)晶畴的面内界面。

3.4.1.9

位错缺陷 **dislocation defect**

〈二维材料〉某些原子的位置相对于二维材料(3.1.1.1)的重复晶格中的原子发生了偏移所产生的缺陷。

3.4.1.10

Bernal 堆垛 **Bernal stacking****AB 堆垛** **AB stacking**

〈二维材料〉一个二维材料层(3.1.1.5)在另一个层的顶部堆叠,其中相邻层仅有半数原子位于面外轴线的相同位置,同时每个第三层的原子位于面外轴线的相同位置。

注 1: 第二层相对于第一层水平移动了半个晶格常数。

3.4.1.11

rhombohedral 堆垛 **rhombohedral stacking****ABC 堆垛** **ABC stacking**

〈二维材料〉包含三个重复层的二维材料层(3.1.1.5)的堆叠,其中第二层相对于第一层水平移动了半个晶格常数,第三层在相同水平方向上继续移动半个晶格常数,因此每个第四层在垂直轴向上位于相同的位置。

注 1: 此三层系统可能重复。一个层在垂直轴向上堆叠在另一个层之上,相邻层仅有半数原子位于面外方向的相同位置。

3.4.1.12

堆垛角 **stacking angle**

〈二维材料〉二维材料(3.1.1.1)的两个层中,其中一个层垂直地堆垛在另一个层的顶部,这两个层在水平面上的取向间的夹角。

3.4.1.13

扭转堆垛 **turbostratic stacking**

〈二维材料〉二维材料(3.1.1.1)的层(3.1.1.5)堆垛方式,其无法用 Bernal 堆垛(3.4.1.10)或 rhombohedral 堆垛(3.4.1.11)描述,但两层之间存在一相对堆垛角(3.4.1.12),由于堆垛的层展现了一个相对的、随机的转角或层间公度旋转,所以该堆垛角不会导致不与基面平行的原子面的产生。

注 1: 对应地,在 XRD(3.3.1.8)衍射图案中,具有三个 Miller 指数的衍射峰仅有 001 峰(002, 004 等),其他衍射峰仅具有两个 Miller 指数(典型地,10 和 11)。

3.4.1.14

晶畴尺寸 **domain size**

〈二维材料〉二维材料(3.1.1.1)一层(3.1.1.5)内单一连贯结晶区域的横向尺寸。

注 1: 此术语与晶粒尺寸(grain size),微晶尺寸(crystallite size)同义。

注 2: 若晶畴近似于圆形,则其大小通常用等效圆直径来衡量;若不是,则通过测量沿着及垂直于最长侧的 x, y 数值来衡量。

注 3: 若使用等效圆直径,则此术语与微晶直径(L_c)相似。微晶直径是通过 X 射线衍射法(3.3.1.8)或拉曼光谱法(3.3.1.6)所测得的结晶区域横向尺寸。

3.4.1.15

横向尺寸 lateral size; flake size

〈二维材料〉二维材料(3.1.1.1)薄片的横向大小。

注1: 若薄片近似于圆形,则其大小常用等效圆直径衡量;若不是,则通过测量沿着及垂直于最长侧的 x, y 数值来衡量。

3.4.1.16

缓冲层 buffer layer

在衬底和二维材料(3.1.1.1)之间,显示出所需特性的材料层(3.1.1.5)。

注1: 缓冲层常拥有与衬底和所需二维材料(3.1.1.1)不同的特性,用于调节两者之间晶体结构的差异。

3.4.1.17

Stone-Wales 缺陷 Stone-Wales defect

〈二维材料〉与两个以 π 键结合的碳原子之间的连接性变化有关的晶体缺陷。该缺陷导致两个碳原子相对于键中点旋转 90° ,从而四个近邻六元碳环变成两个五元碳环和两个七元碳环。

3.4.2 二维材料化学特性相关的特征及术语

3.4.2.1

表面污染 surface contamination

通常不需要的,存在于样品表面的,既不具备样品的特征也不是任何过程的研究对象,或者由于样品暴露在特定的环境中所产生的,与原始表面或待研究过程不相关的材料。

注1: 常见的表面污染是碳氢化合物和水。与它们和环境所起的局域反应可导致大范围的氧化与其他物质的生成。
[ISO 18115-1:2013,定义 4.459]

3.4.2.2

转移残余物 transfer residue

〈二维材料〉将二维材料(3.1.1.1)从一个衬底转移到另一个衬底后残留的表面污染(3.4.2.1)。

注1: 一个表面残余物的例子是,将在金属催化剂上用 CVD(3.2.1.1)生长出来的石墨烯转移到不同的衬底上所使用的聚合物。

3.4.2.3

掺杂 doping

为改变宿主材料特性,将一定量的不同材料添加到宿主材料之中。

[IEC 6234112,第2版(2014-04),定义 2.2.10]

3.4.2.4

化学掺杂 chemical doping

〈二维材料〉通过暴露在与二维材料组分不同的化学物质中,实现的二维材料的掺杂(3.4.2.3)。

注1: 化学掺杂导致晶格中的原子被取代,或表面物理吸附无机分子或有机分子。

注2: 化学掺杂通常用于调节(二维材料)的电子特性和化学活性。

3.4.2.5

电化学掺杂 electrochemical doping

〈二维材料〉通过暴露在电化学环境中,实现的二维材料(3.1.1.1)的掺杂(3.4.2.3)。

3.4.2.6

衬底诱导掺杂 substrate induced doping

〈二维材料〉由于衬底的存在导致二维材料(3.1.1.1)的掺杂(3.4.2.3)。

3.4.2.7

氧含量 oxygen content

〈二维材料〉二维材料(3.1.1.1)中的氧元素总量。

3.4.3 二维材料光学和电学特性相关的特征及术语

3.4.3.1

衬底干涉效应 **substrate interference effects**

〈二维材料〉通过观测具有特定厚度氧化层的硅衬底上干涉颜色的变化,来确定单层及少层二维材料(3.1.1.1)厚度的效应。

3.4.3.2

反常量子霍尔效应 **anomalous quantum Hall effect**

对与材料磁化强度相关的量子化霍尔电阻的贡献。

注 1: 它常远大于普通的量子霍尔效应。

3.4.3.3

分数量子霍尔效应 **fractional quantum Hall effect**

霍尔电导量子化,并为 e^2/h 的分数倍的物理现象。

注 1: e^2/h 的值为电导量子 G_0 的一半。

4 缩略语

1L	monolayer/single-layer	单层
1LG	monolayer/single-layer graphene	单层石墨烯
2D	two-dimensional	二维
2L	bilayer	双层
2LG	bilayer graphene	双层石墨烯
3L	trilayer	三层
3LG	trilayer graphene	三层石墨烯
CVD	chemical vapour deposition	化学气相沉积
FL	few-layer	少层
FLG	few-layer graphene	少层石墨烯
GNP	graphene nanoplatelet	石墨烯纳米片
GO	graphene oxide	氧化石墨烯
hBN	hexagonal boron nitride	六方氮化硼
rGO	reduced graphene oxide	还原氧化石墨烯

参 考 文 献

- [1] ISO 18115-1:2013 Surface chemical analysis—Vocabulary—Part 1: General terms and terms used in spectroscopy
- [2] ISO 18115-2:2013 Surface chemical analysis—Vocabulary—Part 2: Terms used in scanning-probe microscopy
- [3] ISO/TS 80004-2:2015 Nanotechnologies—Vocabulary—Part 2: Nano-objects(代替ISO/TS 27687:2008)
- [4] ISO/TS 80004-3:2010 Nanotechnologies—Vocabulary—Part 3: Carbon nano-objects
- [5] ISO/TS 80004-6:2013 Nanotechnologies—Vocabulary—Part 6: Nano-object characterization
- [6] ISO/TS 80004-8:2013 Nanotechnologies—Vocabulary—Part 8: Nanomanufacturing processes
- [7] ISO/TS 80004-11:2017 Nanotechnologies—Vocabulary—Part 11: Nanolayer, nanocoating, nanofilm, and related terms
- [8] ISO/TS 80004-12:2016 Nanotechnologies—Vocabulary—Part 12: Quantum phenomena in nanotechnology
- [9] IEC 62341-1-2:2014 Organic light emitting diode (OLED) displays. Terminology and letter symbols
- [10] B. Partoens, F.M. Peeters From graphene to graphite: Electronic structure around the K point. Phys. Rev. B. 2006, 74 p. 075404
- [11] W.S. Hummers, R.E. Offeman Preparation of Graphitic Oxide. Journal of the American Chemical Society. 1958, 80 (6):1339
- [12] GB/T 32269—2015 纳米科技 纳米物体的术语和定义 纳米颗粒、纳米纤维和纳米片 (ISO/TS 27687:2008,IDT)

索引

汉语拼音索引

- B**
- 表面污染 3.4.2.1
- C**
- 层 3.1.1.5
- 掺杂 3.4.2.3
- 衬底干涉效应 3.4.3.1
- 衬底诱导掺杂 3.4.2.6
- D**
- 打开碳纳米管 3.2.2.1
- 单层石墨烯 3.1.2.1
- 低能电子显微术 3.3.1.9
- 低能电子衍射法 3.3.1.10
- 点缺陷 3.4.1.2
- 电感耦合等离子体质谱法 3.3.2.6
- 电化学剥离 3.2.1.14
- 电化学掺杂 3.4.2.5
- 电子能量损失能谱法 3.3.2.3
- 电子束光刻图案化 3.2.2.5
- 堆垛角 3.4.1.12
- E**
- 俄歇电子能谱法 3.3.2.1
- 二维材料 3.1.1.1
- 二维垂直异质结构 3.1.3.2
- 二维面内异质结构 3.1.3.3
- 二维异质结构 3.1.3.1
- F**
- 反常量子霍尔效应 3.4.3.2
- 非接触微波法 3.3.3.7
- 分数量子霍尔效应 3.4.3.3
- 分子束外延 3.2.1.9
- 氟化石墨烷 3.1.2.4
- G**
- 光电子发射光谱法 3.3.3.6
- 光照剥离 3.2.1.12
- 光致发光光谱法 3.3.1.7
- H**
- 横向尺寸 3.4.1.15
- 化学插层剥离 3.2.1.13
- 化学掺杂 3.4.2.4
- 化学合成 3.2.1.7
- 化学气相沉积 3.2.1.1
- 还原氧化石墨烯 3.1.2.14
- 缓冲层 3.4.1.16
- J**
- 机械剥离 3.2.1.3
- 激光刻蚀 3.2.1.11
- 角分辨光电子能谱法 3.3.3.5
- 晶畴尺寸 3.4.1.14
- 晶界 3.4.1.8
- 聚集体 3.1.1.7
- 卷对卷生产 3.2.1.2
- K**
- 开尔文探针力显微术 3.3.3.3
- 空位缺陷 3.4.1.3
- L**
- 拉曼光谱法 3.3.1.6
- 离子束光刻图案化 3.2.2.6
- 量子点 3.1.1.6
- M**
- 面缺陷 3.4.1.6
- N**
- 纳米薄片 3.1.1.3

纳米带	3.1.1.4
纳米片	3.1.1.2
能量色散 X 射线光谱法	3.3.2.4
扭转堆垛	3.4.1.13
扭转少层石墨烯	3.1.2.8
扭转双层石墨烯	3.1.2.7

Q

气相合成	3.2.1.18
缺陷	3.4.1.1

R

热重法	3.3.2.5
-----------	---------

S

三层石墨烯	3.1.2.9
扫描电子显微术	3.3.1.4
扫描隧道显微术	3.3.1.3
扫描探针显微术	3.3.1.1
少层石墨烯	3.1.2.10
石墨	3.1.2.2
石墨烷	3.1.2.3
石墨烯	3.1.2.1
石墨烯层	3.1.2.1
石墨烯沉淀	3.2.1.6
石墨烯霍尔栏装置	3.3.3.2
石墨烯纳米片	3.1.2.11
石墨氧化	3.2.1.15
双层石墨烯	3.1.2.6
四探针法	3.3.3.1

T

碳化硅模板生长法	3.2.2.2
碳化硅生长	3.2.1.5

英文对应词索引

替位缺陷	3.4.1.4
透射电子显微术	3.3.1.5

W

外延石墨烯	3.1.2.5
位错缺陷	3.4.1.9

X

线缺陷	3.4.1.5
-----------	---------

Y

阳极结合	3.2.1.10
氧含量	3.4.2.7
氧化石墨	3.1.2.12
氧化石墨热剥离	3.2.1.17
氧化石墨烯	3.1.2.13
液相剥离	3.2.1.4
乙醇前驱体生长	3.2.1.8
原子层沉积	3.2.1.19
原子力显微术	3.3.1.2

Z

转移残余物	3.4.2.2
紫外光电子光谱法	3.3.3.4
自下而上前驱体生长	3.2.2.4
Bernal 堆垛	3.4.1.10
CVD 模板生长法	3.2.2.3
Hummers 法	3.2.1.16
rhombohedral 堆垛	3.4.1.11
sp ³ 键合吸附原子缺陷	3.4.1.7
Stone-Wales 缺陷	3.4.1.17
X 射线光电子光谱法	3.3.2.2
X 射线衍射法	3.3.1.8

A

AB stacking	3.4.1.10
ABC stacking	3.4.1.11
AES	3.3.2.1
AFM	3.3.1.2

aggregate	3.1.1.7
alcohol precursor growth	3.2.1.8
ALD	3.2.1.19
angle resolved photoemission spectroscopy	3.3.3.5
anodic bonding	3.2.1.10
anomalous quantum Hall effect	3.4.3.2
ARPES	3.3.3.5
atomic force microscopy	3.3.1.2
atomic layer deposition	3.2.1.19
Auger electron spectroscopy	3.3.2.1

B

Bernal stacking	3.4.1.10
bilayer graphene	...3.1.2.6
bottom-up precursor growth	3.2.2.4
buffer layer	3.4.1.16

C

carbon nanotube unzipping	3.2.2.1
chemical doping	3.4.2.4
chemical synthesis	3.2.1.7
chemical vapour deposition	3.2.1.1
CVD	3.2.1.1

D

defect	3.4.1.1
dislocation defect	3.4.1.9
domain size	3.4.1.14
doping	3.4.2.3

E

EDS	3.3.2.4
EDX	3.3.2.4
EELS	3.3.2.3
electrochemical doping	3.4.2.5
electrochemical exfoliation	3.2.1.14
electron beam lithographic patterning	3.2.2.5
electron energy loss spectroscopy	3.3.2.3
energy-dispersive X-ray spectroscopy	3.3.2.4
epitaxial graphene	3.1.2.5
exfoliation via chemical intercalation	3.2.1.13

F

few-layer graphene	3.1.2.10
--------------------------	----------

flake size	3.4.1.15
FLG	3.1.2.10
four point probe method	3.3.3.1
four-terminal sensing	3.3.3.1
fractional quantum Hall effect	3.4.3.3

G

gas phase synthesis	3.2.1.18
GNP	3.1.2.11
Go	3.1.2.13
grain boundary	3.4.1.8
graphane	3.1.2.3
graphene	3.1.2.1
graphene Hall bar setup	3.3.3.2
graphene layer	3.1.2.1
graphene nanoplate	3.1.2.11
graphene nanoplatelet	3.1.2.11
graphene oxide	3.1.2.13
graphene precipitation	3.2.1.6
graphite	3.1.2.2
graphite oxidation	3.2.1.15
graphite oxide	3.1.2.12
growth on silicon carbide	3.2.1.5

H

Hummers' method	3.2.1.16
-----------------------	----------

I

ICP-MS	3.3.2.6
inductively coupled plasma mass spectrometry	3.3.2.6
ion beam lithographic patterning	3.2.2.6

K

Kelvin-probe force microscopy	3.3.3.3
KPFM	3.3.3.3

L

laser ablation	3.2.1.11
lateral size	3.4.1.15
layer	3.1.1.5
LEED	3.3.1.10
LEEM	3.3.1.9
line defect	3.4.1.5

liquid-phase exfoliation	3.2.1.4
low energy electron diffraction	3.3.1.10
low energy electron microscopy	3.3.1.9

M

MBE	3.2.1.9
mechanical exfoliation	3.2.1.3
molecular beam epitaxy	3.2.1.9
monolayer graphene	3.1.2.1

N

nanofilm	3.1.1.3
nanoplate	3.1.1.2
nanoribbon	3.1.1.4
nanosheet	3.1.1.3
nanotape	3.1.1.4
non-contact microwave method	3.3.3.7

O

oxygen content	3.4.2.7
----------------------	---------

P

PEEM	3.3.3.6
perfluorographane	3.1.2.4
photoelectron emission microscopy	3.3.3.6
photoexfoliation	3.2.1.12
photoluminescence spectroscopy	3.3.1.7
PL spectroscopy	3.3.1.7
planar defect	3.4.1.6
point defect	3.4.1.2

Q

quantum dot	3.1.1.6
-------------------	---------

R

Raman spectroscopy	3.3.1.6
reduced graphene oxide	3.1.2.14
rGO	3.1.2.14
rhombohedral stacking	3.4.1.11
roll-to-roll production	3.2.1.2
R2R production	3.2.1.2

S

scanning electron microscopy	3.3.1.4
------------------------------------	---------

scanning-probe microscopy	3.3.1.1
scanning tunnelling microscopy	3.3.1.3
SEM	3.3.1.4
single-layer graphene	3.1.2.1
SPM	3.3.1.1
sp ³ bonded adatom defect	3.4.1.7
stacking angle	3.4.1.12
STM	3.3.1.3
Stone-Wales defect	3.4.1.17
substitution defect	3.4.1.4
substrate induced doping	3.4.2.6
substrate interference effects	3.4.3.1
surface contamination	3.4.2.1

T

tBLG	3.1.2.7
templated CVD growth	3.2.2.3
templated growth on SiC	3.2.2.2
TEM	3.3.1.5
TG	3.3.2.5
thermal exfoliation of graphite oxide	3.2.1.17
thermal gravimetry	3.3.2.5
t(<i>n</i> + <i>m</i>)LG	3.1.2.8
transfer residue	3.4.2.2
transmission electron microscopy	3.3.1.5
trilayer graphene	3.1.2.9
turbostratic stacking	3.4.1.13
twisted bilayer graphene, turbostratic bilayer graphene	3.1.2.7
twisted few-layer graphene	3.1.2.8
two-dimensional material	3.1.1.1
t2LG	3.1.2.7

U

ultraviolet photoelectron spectroscopy	3.3.3.4
UPS	3.3.3.4

V

vacancy defect	3.4.1.3
----------------------	---------

X

XPS	3.3.2.2
XRD	3.3.1.8
X-ray diffraction	3.3.1.8

X-ray photoelectron spectroscopy	3.3.2.2
2D heterostructure	3.1.3.1
2D in-plane heterostructure	3.1.3.3
2D material	3.1.1.1
2D vertical heterostructure	3.1.3.2
3LG	3.1.2.9

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
纳 米 科 技 术 语

第 13 部分:石墨烯及相关二维材料

GB/T 30544.13—2018/ISO/TS 80004-13:2017

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址:www.spc.org.cn

服务热线:400-168-0010

2018 年 12 月第一版

*

书号:155066·1-61890

版权专有 侵权必究



GB/T 30544.13-2018