

ICS 01.040.07

A22

TB

石 墨 烯 产 业 联 盟 标 准

T/CGIA 001-2018

石墨烯材料术语和代号

Graphene materials terminology and designation

2018-06-27 发布

2018-06-27 实施

中国石墨烯产业技术创新战略联盟 发布
中关村华清石墨烯产业技术创新联盟

目 次

| | |
|--|-----|
| 前言 | II |
| 引言 | III |
| 1 范围 | 1 |
| 2 基本术语 | 1 |
| 3 石墨烯材料相关术语 | 2 |
| 4 石墨烯材料常见制备方法 | 3 |
| 5 石墨烯材料常见检测与表征方法 | 4 |
| 6 石墨烯材料的产品代号 | 6 |
| 附录 A 不同种类的石墨烯材料的中文命名方法 | 8 |
| 附录 B 本标准与 T/CGIA-2017 存在的主要差异 | 9 |
| 附录 C 本标准与 ISO/TS 80004.13-2017 存在的主要差异 | 13 |
| 附录 D 本标准的主要参编单位简介 | 17 |
| 参考文献 | 21 |
| 索引 | 22 |

前 言

本标准按 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由中国石墨烯产业技术创新战略联盟和中关村华清石墨烯产业技术创新联盟联合提出并归口。

本标准起草单位：中关村华清石墨烯产业技术创新联盟、中国科学院宁波材料技术与工程研究所、中国科学院山西煤炭化学研究所、山东欧铂新材料有限公司、多氟多化工股份有限公司、北京市理化测试分析中心、广西柳工机械股份有限公司、北京烯标国际科技发展有限公司、中国计量科学研究院、宁波石墨烯创新中心有限公司、北京大学、中国科学院金属研究所、东南大学、国家石墨烯产品质量监督检验中心（江苏）、中国科学院半导体研究所、烯旺新材料科技股份有限公司、宁波墨西科技有限公司、济南圣泉集团股份有限公司、深圳华烯新材料有限公司、重庆墨希科技有限公司、厦门凯纳石墨烯技术股份有限公司、北京石墨烯研究院、华侨大学、中科院合肥技术创新工程院、合肥开尔纳米能源科技股份有限公司、山东利特纳米技术有限公司、德阳烯碳科技有限公司、上海市石墨烯产业技术功能型平台、上海超碳石墨烯产业技术有限公司、中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所、合肥国轩高科动力能源有限公司、天奈（镇江）材料科技有限公司、中国科学院重庆绿色智能技术研究院、宝泰隆新材料股份有限公司、常州第六元素材料科技股份有限公司、宁波中车新能源科技有限公司、上海利物盛企业集团有限公司、新奥石墨烯技术有限公司、中国航发北京航空材料研究院、宜昌汇富硅材料有限公司、晋江成昌鞋业有限公司、北京科技大学、哈尔滨工业大学、复旦大学、湖南医家智烯新材料科技股份有限公司、青岛华高墨烯科技股份有限公司。

本标准主要起草人：戴石锋、刘兆平、陈成猛、董国材、刘忠范、成会明、任文才、孙立涛、任玲玲、赵永彬、薛旭金、刘伟丽、林博、孙小伟、谭平恒、袁国辉、侯士峰、陈国华、刘立伟、卢红斌、张明东、孟岩、王奇、马庆、杨续来、张芬红、李金来、张秀梅、周旭峰、王勤生、周云、史浩飞、郑涛、毛鸥、洪江彬、张志明、杨程、高华、魏大鹏、彭文、王跃林、胡兴华、郑应福、施秀华、吴春蕾、方崇卿、李晓俊、贾希来、郑岩、唐润理、李思幸、张超。

本标准自实施之日起，代替 T/CGIA 001-2017。

引 言

石墨烯材料是一种具有优异的光、电、热、力等性能的新型二维纳米材料，在新能源、电子、交通运输、航空航天、海工装备、国防科技等领域极具应用潜力，成为近年来国内外科研界和产业界高度关注的重点之一。世界主要大国将石墨烯材料及其应用技术提升到国家战略层面加以重点开发，以期在由石墨烯引发的新一轮产业革命中占据主动和先机。我国政府高度重视石墨烯材料的开发与应用，在《中国制造 2025》《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》和《国家创新驱动发展战略纲要》等国家重大重要规划文件中都对石墨烯发展进行了规划和布局。发展石墨烯材料，对助推我国传统产业改造提升、支撑战略新兴产业发展壮大、带动材料产业升级换代等都有着重要的现实意义。

“石墨烯(graphene)”概念早在 20 世纪 40 年代末提出，1987 年首次在文献中使用了“graphene”一词，其表示石墨中的单层碳原子平面结构^[1,2]。但近年来，随着石墨烯的研究和开发的深入，尤其在 2010 年“石墨烯”发现者获得诺贝尔物理奖后，“石墨烯”的概念及其内涵已经扩大化，学术界和产业界对石墨烯存有不同的理解。因此，制定统一、公认的“石墨烯”术语及其相关术语体系的国家标准显得尤为急迫和重要，这不仅有助于正确认识和理解“石墨烯”及其相关材料，促进产业和学术的技术交流，更有利于促进产业的健康发展。

本标准界定的术语主要包括四方面内容：

- a) 二维材料领域的基本概念；
- b) 石墨烯材料的相关术语；
- c) 石墨烯材料的常见制备方法；
- d) 石墨烯材料的表征方法。

这四方面内容构成一个有机整体，为认识石墨烯及石墨烯材料提供了系统描述。本标准还提出了石墨烯材料“产品代号”表示方法，通过“代号”中核心信息的自我公开声明，促进石墨烯产业的有序健康发展。

本标准在界定术语时遵循了三个原则：

- a) 建立以“石墨烯”为核心的术语体系，保证术语的一致性和逻辑上的完整性；
- b) 术语及其定义的界定以学术、产业共同接受为目标，不能偏颇；
- c) 力争国内和国际对术语的理解保持一致，但不拘泥于某种观点。

石墨烯材料术语和代号

1 范围

本标准规定了石墨烯材料及其制备、检测与表征方法等方面的术语和定义，以及石墨烯材料的产品代号。

本标准适用于石墨烯材料的科研、生产、流通、应用、检验等领域，是技术用语的依据。

2 基本术语

2.1

石墨烯 **graphene**

每一个碳原子以 sp^2 杂化与三个相邻碳原子键合形成的蜂窝状结构的碳原子单层。

注 1：它是许多碳材料的构建单元。

注 2：修改采用 ISO/TS 80004.3-2010 中的 2.11。

2.2

层 **layer**

<二维材料>凝聚态材料表面或内部可独立存在的且在厚度方向上尺寸受限的平面结构。

注：它可包含多种元素。

2.3

堆垛方向 **stacking direction**

<二维材料>与层（2.2）所在平面垂直的方向。

2.4

横向 **lateral direction**

<二维材料>层（2.2）所在平面的方向。

2.5

二维材料 **two-dimensional material, 2D material**

由单层（2.2）单独构成或多层（2.2）紧密堆垛而成，厚度处于纳米尺度或更小，横向（2.4）尺寸明显大于厚度的材料。

注 1：二维材料有别于其体材料的临界层数是由材料本身及考察的性质决定。

注 2：层内原子间的相互作用力应远大于层间原子之间的相互作用力。

注 3：厚度指堆垛方向（2.3）上的尺度。

注 4：明显大于是指 3 倍以上。

2.6

层数 **number of layers**

<二维材料>二维材料（2.5）在堆垛方向（2.3）上所含层（2.2）的数量。

3 石墨烯材料相关术语

常见的石墨烯材料相关术语包括但不限于下列术语。

3.1

单层石墨烯 single-layer graphene, 1LG

由 1 层石墨烯 (2.1) 单独构成的二维材料 (2.5)。

注：它可独立存在或附着在某基体上。

3.2

双层石墨烯 bilayer graphene, 2LG

由 2 层石墨烯 (2.1) 堆垛构成的二维材料 (2.5)。

注 1：堆垛方式包括 AB 堆垛、AA 堆垛、AA' 堆垛等。

注 2：它可独立存在或附着在某基体上。

3.3

多层石墨烯 multi-layer graphene, MLG

由 3 层或至 10 层石墨烯 (2.1) 堆垛构成的二维材料 (2.5)。

注 1：堆垛方式包括 ABC 堆垛、ABA 堆垛等。

注 2：它可独立存在或附着在某基体上。

3.4

改性石墨烯 modified graphene, MG

在表面或内部通过化学法或物理法引入其他原子、分子或官能团的单层、双层或多层石墨烯 (3.1、3.2、3.3)。

注：常见改性方式包括氧化、氢化、氟化、磺化或异质掺杂等。

3.5

氧化石墨烯 graphene oxide, GO

石墨经过充分氧化、剥离等过程得到的改性石墨烯 (3.4)。

注 1：其碳氧比 (C/O) 与氧化程度有关，通常约为 2。

注 2：它通常具有较高的单层率。

3.6

还原氧化石墨烯 reduced graphene oxide, rGO

氧化石墨烯经过还原处理得到的改性石墨烯 (3.4)。

注：若经彻底还原，理论上可重新成为具有完美石墨烯结构的二维材料，但实际中很难实现。

3.7

石墨烯材料 graphene materials, GM

由石墨烯单独或紧密堆垛而成、层数不超过 10 层的二维材料及其衍生物。

注 1：石墨烯材料 (3.7) 包括单层石墨烯 (3.1)、双层石墨烯 (3.2)、多层石墨烯 (3.3)。

注 2：常见改性方式包括氧化、氢化、氟化、磺化或异质掺杂等。

注 3：石墨烯材料的存在形态有：薄膜、粉体、浆料和三维构造体。

注 4：层数超过 10 层的一般称之为石墨。

3.8

石墨烯薄膜 graphene film

在特定基底表面上生长形成的连续石墨烯材料 (3.7)。

注 1：薄膜的微观组织结构可为单晶或多晶。

注 2：在某些局部可能是不连续的，即为缺陷。

3.9

石墨烯片 **graphene nanosheet, GNS**

离散状的石墨烯材料。

注：片径有纳米级和微米级之分。

3.10

石墨烯纳米带 **graphene nanoribbon, GNR**

较长横向（2.4）尺寸远大于较短横向（2.4）尺寸的石墨烯材料（3.7）。

注：远大于指大于 10 倍。

3.11

石墨烯量子点 **graphene quantum dots, GQDs**

横向（2.4）尺寸处于纳米尺度且具有量子限域效应的石墨烯材料（3.7）。

3.12

石墨烯粉体 **graphene powder**

石墨烯片（3.9）的无序聚集体。

3.13

石墨烯浆料 **graphene dispersion**

石墨烯片（3.9）分散在某液相中形成的混合物。

注 1：常见液相可能是水、乙醇、丙酮、N-甲基吡咯烷酮（NMP）或二甲基亚砜等，或是它们的混合物。

注 2：如浆料中分散有其他固体不溶物，如碳纳米管等，其含量应显著小于石墨烯片含量。否则，不应称为石墨烯浆料。

4 石墨烯材料常见制备方法

常见制备方法包括但不限于下列方法。

4.1

机械剥离法 **mechanical exfoliation, ME**

通过施加物理机械力将石墨晶体解理制备石墨烯材料（3.7）的方法。

4.2

化学气相沉积法 **chemical vapor deposition, chemical vapour deposition, CVD**

在一定温度下含碳元素气体在衬底表面或气相中分解并沉积生成石墨烯材料（3.7）的方法。

注 1：常用金属衬底包括铜、镍等；常用非金属衬底包括二氧化硅等。

注 2：可以通过等离子体或微波等方式促进碳源分解。

4.3

氧化还原法 **oxidation and reduction, OR**

石墨经氧化、剥离、还原等工艺环节制备成石墨烯材料（3.7）的方法。

4.4

热裂解法 pyrolysis, Py

在一定温度下将含有碳元素的化合物（如碳化硅 SiC、生物质或聚合物等）通过热裂解的方式生成石墨烯材料（3.2.7）的方法。

注：该方法可借助或不借助催化剂。

4.5

插层剥离法 intercalation exfoliation, IE

将其他原子或分子插入石墨层间，进而将石墨解理制备石墨烯材料（3.7）的方法。

注：常用插层原子或分子包括溴（Br₂）、氯化铁（FeCl₃）、有机分子等。

4.6

液相剥离法 liquid exfoliation, LE

在添加或未添加表面活性剂的溶剂中通过超声、高压液流等方式将石墨解理制备石墨烯材料（3.7）的方法。

注1：常用溶剂包括水、N-甲基吡咯烷酮（NMP）、二甲基甲酰胺（DMF）等。

注2：原料也可为膨胀石墨等。

4.7

电弧放电法 arc-discharge, AD

利用阴阳电极间的电弧放电，石墨阳极在强电流下升华，在一定气氛下凝结生成石墨烯材料（3.7）的方法。

4.8

化学合成法 chemical synthesis, CS

高分子有机物经化学反应制备石墨烯材料（3.7）的方法。

5 石墨烯材料常见检测与表征方法

5.1

扫描探针显微术 scanning probe microscopy, SPM

利用测量扫描探针与样品表面相互作用所产生的信号，在纳米级或原子级的水平上研究物质表面的原子和分子的几何结构及相关的物理、化学性质的分析技术。

[GB/T 19619—2004，定义 3.6.1]

注1：常用于石墨烯材料的扫描探针显微术包括扫描隧道显微术（scanning tunneling microscopy, STM）、原子力显微术（atomic force microscopy, AFM）、扫描近场光学显微术（scanning near-field optical microscopy, SNOM）等。

注2：该方法应用于测定石墨烯材料的微观形貌和结构、厚度、层数等。

5.2

扫描电子显微术 scanning electron microscopy, SEM

利用扫描入射电子束与样品表面相互作用所产生的各种信号（如二次电子、X 射线谱等），采用不同的信号检测器来观察样品表面形貌的分析技术。

[GB/T 19619—2004，定义 3.6.2]

注：该方法应用于测定石墨烯材料的微观形貌和结构等。

5.3

透射电子显微术 transmission electron microscopy, TEM

以透射电子为成像信号，通过电子光学系统的放大成像观察样品的微观组织和形貌的分析技术。

[GB/T 19619—2004，定义 3.6.3]

注：该方法应用于测定石墨烯材料的微观形貌等。

5.4

X 射线衍射法 X-ray diffractometry, XRD

根据物质的 X-射线衍射图谱特征，对其物相和结构等进行测定的分析方法。

[GB/T 19619—2004，定义 3.6.5]

注：该方法常用于分析石墨烯材料的晶体结构，如层间距、结晶性等。

5.5

X 射线光电子能谱分析法 X-ray photoelectron spectroscopy, XPS

利用 X 射线作为激发源，样品的原子或分子的内层电子或价电子受激发射出来，再根据这些受激电子的能谱对样品表面的组成、结构、化学状态等，进行定性、半定量或定量分析的方法。

注：该方法常用于石墨烯材料的表面元素及其价态的定性和定量分析等。

5.6

拉曼光谱法 Raman spectrometry, RS

以单色光照射试样，有一小部分入射光与样品分子碰撞后产生非弹性散射，由于此谱线的产生往往涉及分子的振动能级的变化。

[GB/T 14666—2003，定义 4.2.11]

注：该方法常用于表征石墨烯材料的层数、缺陷、堆垛方式和电子能带结构等。

5.7

光学对比度法 optical contrast, OC

基于石墨烯材料与衬底的反射光强度的相对对比度来判断石墨烯材料层数的方法。

5.8

红外吸收光谱法 infrared absorption spectrometry, IR

研究红外辐射与试样分子振动和（或）转动能级相互作用，利用红外吸收谱带的波长位置和吸收强度来测定样品组成、分子结构等的分析方法。

[GB/T 14666—2003，定义 4.2.10]

注：该方法常用于分析石墨烯材料的组成、官能团、层数等。

5.9

紫外可见近红外分光光度测定法 UV-visible-infrared spectrophotometry

测量样品在紫外可见近红外波段的分光光度的方法。

5.10

BET 法 BET method

根据压力和吸附量的关系，用 BET 方程计算出粉末表面气体单分子层的吸附量，进而求比表面积的方法。

[GB/T 19619—2004，定义 3.6.12]

注：该方法常用于分析石墨烯材料的比表面积。

5.11

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

通过围绕在携带氩气管道周围的射频负载线圈所诱导的交替磁场，将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, 4.22]

5.12

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独立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, 4.21]

5.13

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 或 XPS 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：用人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, 4.14]

5.14

电子衍射法 electron diffractometry, ED

电子衍射法(Electron diffractometry, ED)根据物质的电子衍射图谱特征，对其物相和结构等进行测定的分析方法。

注：该方法常用于分析石墨烯材料的微观晶体结构，如层间距、结晶性等。

5.15

元素分析法 elemental analysis, EA

通过高温使样品氧化燃烧或裂解，并在载气的推动下，进入分离检测单元，分别定量测定 C、H、S、N 和 O 等元素的方法。

5.16

X 射线荧光光谱分析法 X-ray fluorescence, XRF

利用 X-射线作为激发源，根据受激电子的能谱对样品表面的组成、结构、化学状态等进行定性或定量分析。

注：X 射线荧光光谱分析法主要应用于对石墨烯材料中元素的定性和定量分析。

6 石墨烯材料的产品代号

6.1 一般原则

6.1.1 石墨烯材料产品代号由种类代号、平均层数代号、制备方法代号依次排列，并且各代号之间以“-”连接所构成，示例见图 1。

6.1.2 种类代号、平均层数代号、制备方法代号如表 1 所示。

6.1.3 在实际生产和贸易中，可按需在制备方法代号之后增加产品相关信息，如纯度、碳氧含量

比、用途等，相关代号由企业自行确定。



图1 石墨烯材料产品代号示意图

表1 石墨烯材料产品代号

| 代号类别 | 名称 | 代号 |
|---|------------|-------------------------|
| 种类代号 | 氧化石墨烯 | GO |
| | 还原氧化石墨烯 | rGO |
| | 改性石墨烯 | MG |
| | 石墨烯材料 | GM ^a |
| 平均层数代号 | <i>n</i> 层 | <i>n</i> L ^b |
| | 1 层 | 1L |
| | 2 层 | 2L |
| | 多层 | ML |
| 制备方法代号 | 机械剥离法 | ME |
| | 化学气相沉积法 | CVD |
| | 氧化还原法 | OR |
| | 热裂解法 | Py |
| | 插层剥离法 | IE |
| | 液相剥离法 | LE |
| | 电弧放电法 | AD |
| | 其他制备方法 | OTH ^c |
| <p>^a 通用代号，在不具体明示种类时可用 GM 表示。</p> <p>^b <i>n</i> 为石墨烯材料的平均层数。若平均层数计算值为非整数，应向上取整。宜告知测量层数所采用的方法。</p> <p>^c 未列举的其他制备方法的代号。</p> | | |

6.2 示例

示例 1：以机械剥离法制备的单层石墨烯，其产品代号为 GM-1L-ME。

示例 2：以氧化还原法制备的多层还原氧化石墨烯（平均层数为 5 层），其产品代号为 rGO-5L-OR。

示例 3：以化学气相沉积法制备的石墨烯材料（平均层数为 2 层），其产品代号为 GM-2L-CVD。

附录 A

(资料性附录)

不同种类的石墨烯材料的中文命名方法

A.1 一般原则

A.1.1 不同种类的石墨烯材料的名称由“[层数]”“[制备/改性/功能化方式]”“石墨烯”“[形态及尺寸]”四个部分依次构成。

A.1.2 “[层数]”部分指“单层”“双层”“多层”等层数修饰语。

A.1.3 “[制备/改性/功能化方式]”部分指“化学气相沉积”“机械剥离”“氧化”“氢化”“氟化”等制备/改性/功能化修饰语。

A.1.4 “[形态及尺寸]”部分指“薄膜”、“片”、“粉体”、三维构造体或“浆料”等形态及尺寸修饰语。

A.2 示例

石墨烯材料的中文命名方法示例如图 A.1 所示，图中实心圆所代表的石墨烯材料的名称为“双层化学气相沉积石墨烯薄膜”。

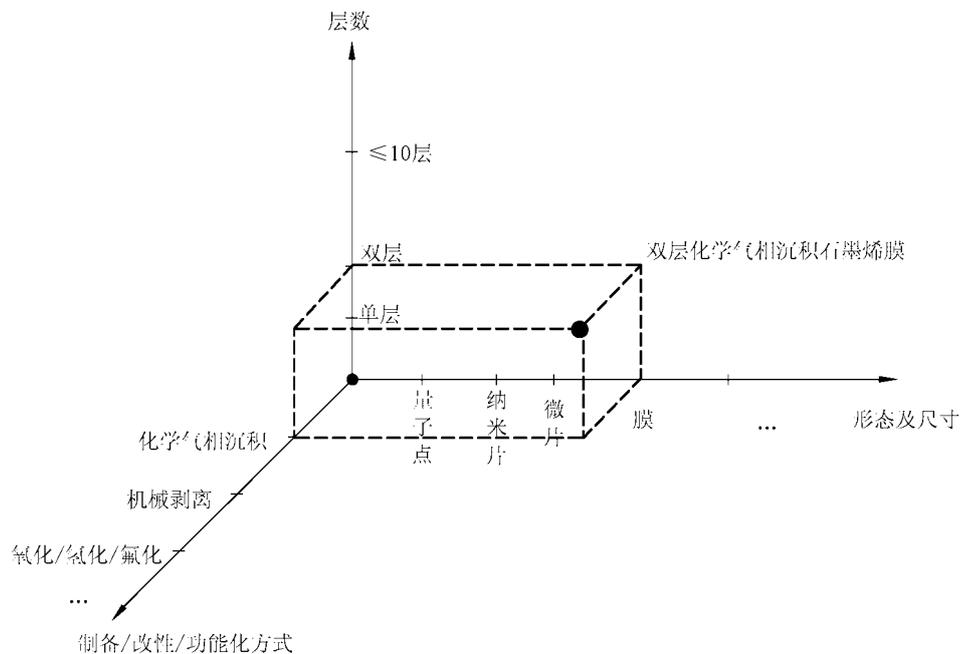


图 A.1 石墨烯材料中文命名方法示意图

附 录 B
(资料性附录)

本版标准与 T/CGIA 001-2017 存在的主要差异

B.1 本版标准与 T/CGIA 001-2017 存在的主要差异见表 B.1。

表 B.1 T/CGIA 001-2018 的主要变化

| 序号 | 条款 | T/CGIA 001-2017 | T/CGIA 001-2018 | 说 明 |
|----|----------|--|--|--|
| 1 | 题目 | 石墨烯材料的术语、定义及代号 | 石墨烯材料术语和代号 | 编辑性修改。 根据 GB/T 20001.1-2001 和 GB/T 10112-1999 中术语标准的名称构成原则，重新确定了本标准的名称。 |
| | 2.1 石墨烯 | | 增加注 2，标明该定义的来源。 | 编辑性修改。 本定义采用了 ISO 在 2010 年发布的定义，是石墨烯的起源定义。ISO/TS 80004-13:2017 中石墨烯的定义，其内涵已经有了扩充。 |
| | 2.2 层 | <二维材料>各近邻原子或离子之间以化学键相结合所构成的，且在某一维度方向上的尺寸受限的平面结构物质单元。 | <二维材料>凝聚态材料表面或内部可独立存在的且在厚度方向上尺寸受限的平面结构。 | 技术性修改。 参考引用了 ISO/TS 80004-13:2017 的相关定义。 |
| | 2.5 二维材料 | 由单层单独构成或多层紧密堆垛而成，堆垛方向尺寸处于纳米或更小尺度，横向尺寸明显大于堆垛方向尺寸的材料。 注 1：层内原子间的相互作用力应远大于层间原子之间的相互作用力。 注 2：明显大于是指大于 3 倍。 | 由单层单独构成或多层紧密堆垛而成，厚度处于纳米尺度或更小，横向尺寸明显大于厚度的材料。 注 1：二维材料有别于其体材料的临界层数是由材料本身及考察的性质决定。 注 2：层内原子间的相互作用力应远大于层间原子之间的相互作用力。 注 3：厚度指堆垛方向上的尺度。 | 编辑性修改。 参 考 了 ISO/TS 80004-13:2017 的相关定义，增加了“注 1”，有利于更准确理解定义。 |

| 序号 | 条款 | T/CGIA 001-2017 | T/CGIA 001-2018 | 说明 |
|----|-------------|--|---|---|
| | | | 注 4: 明显大于是指 3 倍以上。 | |
| | 3.4 改性石墨烯 | 通过化学法或物理法在单层、双层或多层石墨烯中引入其他原子或官能团的二维材料。 注: 常见改性方式包括氧化、氢化、氟化或异质掺杂等。 | 在表面或内部通过化学法或物理法引入其他原子、分子或官能团的单层、双层或多层石墨烯。 注: 常见改性方式包括氧化、氢化、氟化、磺化或异质掺杂等。 | 技术性修改。 定义更精准。 |
| | 3.5 氧化石墨烯 | 在单层、双层或多层石墨烯的表面和边界键合含氧官能团的二维材料。 注: 它的碳氧原子比一般小于 3.0。 | 石墨经过充分氧化、剥离等过程得到的改性石墨烯。 注 1: 其碳氧比 (C/O) 与氧化程度有关, 通常约为 2。 注 2: 它通常具有较高的单层率。 | 技术性修改。 参考了 ISO/TS 80004-13:2017 的相关定义, 但与 ISO 定义仍有技术性差异。 |
| | 3.6 还原氧化石墨烯 | 通过化学法或物理法部分去除氧化石墨烯中含氧官能团的二维材料。 | 氧化石墨烯经过还原处理得到的改性石墨烯。 注: 若经彻底还原, 理论上可重新成为具有完美石墨烯结构的二维材料, 但实际中很难实现。 | 技术性修改。 采纳了反馈意见。 |
| | 3.7 石墨烯材料 | 由石墨烯单独或堆垛而成、层数不超过 10 层的碳纳米材料。 注 1: 石墨烯材料包括单层石墨烯、双层石墨烯、多层石墨烯。 注 2: 石墨烯材料包括通过修饰、改性或功能化等方式实现某些特定功能, 如改性石墨烯、氧化石墨烯、还原氧化石墨烯等。 注 3: 层数超过 10 层的为石墨。 | 由石墨烯单独或紧密堆垛而成、层数不超过 10 层的二维材料及其衍生物。 注 1: 石墨烯材料包括单层石墨烯、双层石墨烯、多层石墨烯。 注 2: 常见改性方式包括氧化、氢化、氟化、磺化或异质掺杂等。 注 3: 石墨烯材料的存在形态有: 薄膜、粉体、浆料和 三维构造体 。 注 4: 层数超过 10 层的一般称之为石墨。 | 技术性修改。 综合了实施后各方的反馈意见。 |
| | 石墨烯薄膜 | 3.13 石墨烯膜 graphene film 石墨烯晶畴在基底表面上连续铺展形成的石墨烯材料。 | 3.8 石墨烯 薄膜 graphene film 在特定基底表面上生长形成的连续石墨烯材料。 注 1: 薄膜是单晶或多晶组成。 | 技术性修改。 1. 鉴于石墨烯材料形成的“膜”有生长膜和涂覆膜之分, 因此, 标准将生 |

| 序号 | 条款 | T/CGIA 001-2017 | T/CGIA 001-2018 | 说明 |
|----|-------------|--|---|--|
| | | | 注 2: 在某些微观局部可能是不连续的, 即为缺陷。 | 长膜命名为“石墨烯薄膜”, 这也更符合产业习惯。 2. 将石墨烯薄膜术语移至石墨烯片和石墨烯粉体等术语之前。 |
| | 石墨烯片 | 3.9 石墨烯纳米片 graphene nanosheet, GNS 至少有一个横向尺寸小于或等于 100 纳米的石墨烯材料。 3.11 石墨烯微片 graphene microsheet, GMS 至少有一个横向尺寸大于 100nm 的石墨烯材料。 | 3.9 石墨烯片 graphene nanosheet, GNS 离散状的石墨烯材料。 注: 片径有纳米级和微米级之分。 | 技术性修改。 原 3.9 和 3.11 的定义有交叉。此外, 石墨烯纳米片中“纳米”是对横向尺寸的限定, 与纳米技术领域“纳米片”限定的维度(厚度)不一致, 容易造成误解和困惑。 |
| | 3.12 石墨烯粉体 | 由石墨烯纳米片或(和)石墨烯微片无序堆积且可以流动的聚集体。 | 石墨烯片的无序聚集体。 | 技术性修改。 用更精简的语言描述。 |
| | 石墨烯浆料 | 无定义 | 3.13 石墨烯浆料 graphene dispersion 石墨烯片分散在某液相中形成的混合物。 注 1: 常见液相可能是水、乙醇、丙酮、N-甲基吡咯烷酮(NMP)或二甲基亚砷等, 或是它们的混合物。 注 2: 如浆料中分散有其他固体不溶物, 如碳纳米管等, 其含量应显著小于石墨烯片含量。否则, 不应称为石墨烯浆料。 | 新增加术语。 该术语在产业界广泛使用, 有必要增补。 |
| | 化学合成法 | 无定义 | 4.8 化学合成法 chemical synthesis, CS 高分子有机物经化学反应制备石墨烯材料(3.7)的方法。 | 新增加术语。 该制备工艺在国内已有企业实现了产业化。 |
| | 电感耦合等离子体质谱法 | 无定义 | 5.11 电感耦合等离子体质谱法 | 根据反馈意见增补。 |
| | 能量色散 X | 无定义 | 5.12 能量色散 X 射线光谱法 | 根据反馈意见增补。 |

T/CGIA 001-2018

| 序号 | 条款 | T/CGIA 001-2017 | T/CGIA 001-2018 | 说明 |
|----|-------------|----------------------|---|---------------------|
| | 射线光谱法 | | | |
| | 电子能量损失能谱法 | 无定义 | 5.13 电子能量损失能谱法 | 根据反馈意见增补。 |
| | 电子衍射法 | 无定义 | 5.14 电子衍射法 | 根据反馈意见增补。 |
| | 元素分析法 | 无定义 | 5.15 元素分析法 | 根据反馈意见增补。 |
| | X 射线荧光光谱分析法 | 无定义 | 5.16 X 射线荧光光谱分析法 | 根据反馈意见增补。 |
| | 表 1 的脚注 b | 若平均层数计算值为非整数，应修约为整数。 | 若平均层数计算值为非整数，应 向上取整 。 | 编辑性修改。更容易理解和执行。 |
| | 附录 B | 无 | 附录 B（资料性附录）本本标准与 T/CGIA 001-2017 存在的主要差异 | 有利于本标准中新变化内容的正确理解。 |
| | 附录 C | 无 | 附录 C（资料性附录）本本标准与 ISO/TS 80004.13-2017 存在的重大差异 | 有利于了解本标准与现有国际标准的差异。 |
| | 附录 D | 无 | 附录 D（资料性附录）本标准主要参编单位简介 | 有利于宣传为本标准作出重要贡献的单位。 |

附 录 C
(资料性附录)

本标准与 ISO/TS 80004.13-2017 存在的主要差异

C.1 本标准与 ISO/TS 80004.13-2017 的主要差异见表 C.1。

表 C.1 本标准与 ISO/TS 80004.13-2017 的主要差异

| 内容 | ISO/TS-80004.13-2017 ^a | T/CGIA 001-2018 | 说 明 |
|-----------|---|---|---|
| 标准总体框架和内容 | <p>本标准主要对下列术语进行了定义：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 二维材料的基本术语； 2. 石墨烯相关术语； 3. 其他二维材料相关术语； 4. 二维材料制备方法相关术语； 5. 纳米带制备方法相关术语； 6. 二维材料表征方法相关术语； 7. 二维材料特征相关术语。 | <p>本标准的主要内容如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 二维材料的基本术语； 2. 石墨烯材料相关术语； 3. 常见制备方法相关术语； 4. 常见相关表征方法相关术语； 5. 石墨烯材料的产品代号。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 对于石墨烯材料制备方法，T/CGIA 001-2018 只列出了已实现工业化的工艺方法，对只在文献中出现的方法没有列入；国际表征列出了各种制备方法，尤其是纳米带的制备方法，大部分是科研阶段的方法。 2. T/CGIA 001-2018 没有列出“特征”相关的术语，主要考虑到相关定义的科学性和准确性没有充分把握，以及产业对此没有紧迫性。 3. T/CGIA 001-2018 提出了一种“产品代号”，理由详见下面。 |
| 石墨烯 | <p>石墨烯 graphene 石墨烯层 graphene layer 单层石墨烯 single-layer graphene, monolayer graphene</p> <p>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。</p> <p>注 1：它是许多碳纳米物体重要构建单元。</p> <p>注 2：由于石墨烯仅有一层（3.1.1.5），因此亦常被称为单层石墨烯。石墨烯简记为 1LG，以便区别于简记为 2LG 的双层石墨烯（3.1.2.6）和简记为 FLG 的少层石墨烯（3.1.2.10）。</p> <p>注 3：石墨烯有边界，并且在碳-碳键遭到破坏的地方有缺</p> | <p>石墨烯 graphene</p> <p>每一个碳原子以 sp^2 杂化与三个相邻碳原子键合形成的蜂窝状结构的碳原子单层。</p> <p>注 1：它是许多碳材料的构建单元。</p> <p>注 2：修改采用 ISO/TS 80004.3-2010 中的 2.11。</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. T/CGIA 001-2018 给出的定义，突出了碳原子与相邻碳原子在成键时 sp^2 杂化方式，与“烯”相呼应。 2. ISO/TS 80004-2017 在 2010 版定义的基础上增加了两个“注”，将石墨烯的内涵进一步延伸，从“构建单元”单一内涵扩大到“作为单层的碳二维材料，即单层石墨烯”。这相当于“石墨烯”一词有两义，既作构建单元，又做一种材料来定义。从“石墨烯、石墨烯层、单层石墨烯”是等同术语，可以看出石墨烯具有多重含义。T/CGIA001 坚持了术语的“单名单义性”原则，用起源定义来定位“石墨烯”。 |

| 内容 | ISO/TS-80004.13-2017 ^a | T/CGIA 001-2018 | 说 明 |
|-------|--|--|---|
| | 陷和晶界。 [SOURCE: ISO/TS 80004 3:2010, 2.11, modified – Notes 2 and 3 have been added.] | | 3. T/CGIA001 将“石墨烯”的内涵回归到原始“构建单元”，有利于建立以“石墨烯”为构建单元的“石墨烯材料”术语体系。 |
| 多层石墨烯 | 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堆垛构成的二维材料。 | 3.3 多层石墨烯 multi-layer graphene, MLG 由 3 层或至 10 层石墨烯堆垛构成的二维材料（2.5）。 注 1：堆垛方式包括 ABC 堆垛、ABA 堆垛等。 注 2：它可独立存在或附着在某基体上。 | 对于“3-10 层石墨烯的二维材料”，称之为“少层石墨烯”或“多层石墨烯”，这在文献中较为常见，学术界普遍认为是同一意思。但在 T/CGIA001 标准中，选用了“多层石墨烯”而非“少层石墨烯”，基于以下考虑： 在中文语境中，如果只有“单层、双层、少层”，有不收敛之感，因为有“少层”就相应的有“多层”存在。如果标准给出的术语只有“少层石墨烯”，那显然会给少数不诚信企业以可乘之机，他们生产的是十多层的石墨片，并称之为“多层石墨烯”，他们认为这是合情合理的，只是标准中没有定义而已。 为避免出现此漏洞，本标准直接将层数分为“单层、双层和多层”三类，明了收敛。 |
| 氧化石墨烯 | 3.1.2.13 氧化石墨烯 graphene oxide, GO 对石墨（3.1.2.2）进行插层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。 | 3.5 氧化石墨烯 graphene oxide, GO 石墨经过充分氧化、剥离等过程得到的改性石墨烯。 注 1：其碳氧比（C/O）与氧化程度有关，通常约为 2。 注 2：它通常具有较高的单层率。 | 在 T/CGIA001 标准中，氧化石墨烯的层数不一定是单层，但用“注”的方式说明该类石墨烯材料具有较高的单层率。ISO 定义，从其注 1 则看出，氧化石墨烯只是限定为单层的，多层的不能称之为氧化石墨烯。 |
| 石墨烯材料 | 无此术语。 | 石墨烯材料 graphene materials, GM 由石墨烯单独或紧密堆垛而成、层数不超过 10 层的二维材料及 | T/CGIA001 对石墨烯相关系列术语建立了一个相对完整的逻辑关系和体系，见标准附录 A。石墨烯材料，是特指范围内的材料的 |

| 内容 | ISO/TS-80004.13-2017 ^a | T/CGIA 001-2018 | 说 明 |
|-------|-----------------------------------|--|---|
| | | <p>其衍生物。</p> <p>注 1: 石墨烯材料 (3.7) 包括单层石墨烯 (3.1)、双层石墨烯 (3.2)、多层石墨烯 (3.3)。</p> <p>注 2: 常见改性方式包括氧化、氢化、氟化、磺化或异质掺杂等。</p> <p>注 3: 石墨烯材料的存在形态有: 石墨烯膜、石墨烯粉体、石墨烯浆料和三维构造体。</p> <p>注 4: 层数超过 10 层的一般称之为石墨。</p> | <p>统称, 建立此术语, 有利于交流, 有利于统筹相关术语。而 ISO 则没有建立石墨烯相关的完整术语体系, 显得较为零散。</p> <p>在 ISO/TC229 内, 正在制定的石墨烯相关标准, 正面临这样一个窘境, 不知标准化的对象如何确定。如果确定为石墨烯, 根据 ISO 自身给出的定义, 范围太窄。ISO/IEC 正考虑引入“石墨烯相关材料(graphene-related materials)”或“石墨烯基材料(graphene-based materials)”术语, 但仍存在很大分歧。</p> |
| 无此术语。 | | <p>3.8 石墨烯薄膜 graphene film</p> <p>在特定基底表面上生长形成的连续石墨烯材料。</p> <p>注 1: 薄膜是单晶或多晶组成。</p> <p>注 2: 在某些局部可能是不连续的, 即为缺陷。</p> | 学术界和产业界广泛使用, 是一个非常重要的术语, 建立有利于交流和贸易。 |
| 无此术语。 | | <p>3.9 石墨烯片 graphene nanosheet, GNS</p> <p>离散状的石墨烯材料。</p> <p>注: 片径有纳米级和微米级之分。</p> | 学术界和产业界广泛使用, 是一个非常重要的术语, 建立有利于交流和贸易。 |
| 无此术语。 | | <p>3.12 石墨烯粉体 graphene powder</p> <p>石墨烯片 (3.9) 的无序聚集体。</p> | 学术界和产业界广泛使用, 是一个非常重要的术语, 建立有利于交流和贸易。 |
| 无此术语。 | | <p>3.13 石墨烯浆料 graphene dispersion</p> <p>石墨烯片 (3.9) 分散在某液相中形成的混合物。</p> <p>注 1: 常见液相可能是水、乙醇、丙酮、N-甲基吡咯烷酮 (NMP) 或二甲基亚砜等, 或是它们的混合物。</p> <p>注 2: 如浆料中分散有其他固体不溶物, 如碳纳米管等, 其含量</p> | 学术界和产业界广泛使用, 是一个非常重要的术语, 建立有利于交流和贸易。 |

| 内容 | ISO/TS-80004.13-2017 ^a | T/CGIA 001-2018 | 说 明 |
|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---|
| | | 应显著小于石墨烯片含量。否则，不应称为石墨烯浆料。 | |
| 产品代 号 | 无此内容。 | 6. 石墨烯材料的产品代号 | 产品代号虽小,但在当前产业发展特殊时期,是石墨烯材料制备企业与用户企业之间传递信任的纽带,是尊重下游用户企业知情权和选择权的重要保障,是提振下游用户和社会公众对石墨烯产业信心的关键举措。 |
| ^a 国际标准的译文是参考了等同采用的国家标准报批稿。 | | | |

附 录 D
(资料性附录)
本标准主要参编单位简介

| | |
|--|---|
| <p>中关村华清石墨烯产业技术创新联盟</p> <p>与中国石墨烯产业技术创新战略联盟标准委员会共同在全国范围内开展石墨烯团体标准化工作,依法在全国团体标准信息平台备案。是国内石墨烯领域最具影响力的专业标准化机构;为深化石墨烯企业核心竞争力提供标准化解决方案。standard@c-gia.org.</p> | <p>中国科学院宁波材料技术与工程研究所</p> <p>2004 成立,由中国科学院、浙江省、宁波市三方共建,集科技创新、成果转化、科技服务、人才培养、企业孵化于一体的新型创新研究机构。在石墨烯材料技术创新和产业化方面取得了系列重要成果,涌现出以薛群基院士、刘兆平研究员等带领的一批杰出创新创业团队。中国石墨烯产业创新联盟标准研制与检测基地之一。</p> |
| <p>中国科学院山西煤炭化学研究所</p> <p>成立于 1954 年,主要从事能源环境、先进材料和绿色化工领域的应用基础及高技术研究。2007 年启动石墨烯材料研究,在石墨烯和电容炭中试及超级电容器应用示范方面取得重大进展,是中国石墨烯产业创新联盟标准研制与检测基地之一。</p> | <p>山东欧铂新材料有限公司</p> <p>成立于 2014 年 9 月,隶属山东海科化工集团控股。主要产品有石墨烯粉体/分散液、石墨烯导电剂、超级活性炭、软碳等,在石化重防腐涂料、锂电池、超级电容器等应用性能提升有优异表现。是中国石墨烯产业创新联盟标准研制与检测基地之一。http://obo.haikegroup.com/</p> |
| <p>多氟多化工股份有限公司</p> <p>主营高性能无机氟化物、电子化学品、锂离子电池材料和新能源汽车,形成了从新能源材料到新能源汽车全产业链。研发和生产了石墨烯和氟化石墨烯产品,能便捷地将研发产品应用到下游产品。是中国石墨烯产业创新联盟标准研制与检测基地之一。www.dfdchem.com。</p> | <p>北京市理化测试分析中心</p> <p>隶属北京市科学技术研究院,是综合性分析科学研究机构。员工 220 余人,仪器价值达 2.41 亿元,通过了 CNAS 实验室认可和 CMA 资质认证。提供石墨烯材料及产品理化性能检测服务。是中国石墨烯产业创新联盟标准研制与检测基地之一。http://www.beijinglab.com.cn。</p> |
| <p>广西柳工机械股份有限公司</p> <p>1958 年成立,是专业研发生产工程和建设机械产品的国家重点高新技术企业。柳工开展了石墨烯材料在润滑剂领域的应用开发并取得实质性突破。正以科研、标准、产业化同步机制为牵引,打造“石墨烯改性润滑剂标准研制与示范应用基地”,为客户持续创造高价值产品。</p> | <p>中国计量科学研究院</p> <p>1955 年成立,社会公益型科研单位,隶属国家市场监督管理总局,是国家最高计量科学研究中心和国家级法定计量技术机构。任玲玲研究员正在开展“石墨烯等碳基材料 NQI 技术研究、集成及应用”国家重大研发项目,研究成果将会为石墨烯产业创新发展提供保障。</p> |
| <p>宁波石墨烯创新中心有限公司</p> <p>2017 年成立,是由中科院宁波材料所牵头并联合国内石墨烯行业的骨干石墨烯材料制备企业、产业链上下游企业、投资基金、产业资本以及中国石墨烯产业技术创新战略联盟等十余家单位共同出资 1 亿元设立的浙江省石墨烯制造业创新中心的运营主体。</p> | <p>中国科学院金属研究所</p> <p>是材料科学与工程领域国内一流并具有重要国际影响的研究机构。任文才、成会明团队自 2007 年起开展石墨烯材料研究,主要致力于石墨烯材料的制备与光电、储能、复合材料等应用及产业化。wcren@imr.ac.cn。</p> |

| | |
|---|---|
| <p>东南大学</p> <p>“985 工程”和“211 工程”重点建设大学，进入一流大学建设高校 A 类名单。孙立涛教授主持 FEI 纳皮米中心开展了石墨烯等二维材料的原子级分辨动态表征、原子精度结构加工及石墨烯材料在环保和柔性器件中的应用。http://www.seu-npc.com/E-mail: slt@seu.edu.cn</p> | <p>国家石墨烯产品质量监督检验中心（江苏）</p> <p>由国家质量技术监督检验检疫总局批准建设的首个国家级石墨烯质检中心，总投资 1.3 亿元，通过了资质认定（CMA）和实验室认可（CNAS），可提供石墨烯材料、金属、非金属、纳米材料等检测服务！网址：www.ngsic.org。</p> |
| <p>中国科学院半导体研究所</p> <p>谭平恒研究员团队长期开展石墨、碳纳米管和石墨烯等碳材料以及各种新型低维半导体光电材料的光学性质研究，在拉曼光谱学尤其是在层状材料的超低波数拉曼光谱研究方面取得了多项成果，发表于 Chem. Soc. Rev., Nat. Mater., Nat. Commun.和 Phys. Rev. Lett.等学术刊物。http://raman.semi.cas.cn/, phtan@semi.ac.cn</p> | <p>烯旺新材料科技股份有限公司</p> <p>全球首家实现石墨烯产业化应用的高新技术企业，独创了世界领先的石墨烯发热膜专利技术，并创建了全球石墨烯发热应用领先品牌——烯时代，引领了国际石墨烯的产业化应用和发展。www.szxwang.cn , sales@szxiwang.cn</p> |
| <p>宁波墨西科技有限公司</p> <p>2012 年成立，注册资本 2.4 亿元，专注于石墨烯材料的生产、销售和应用技术研发，通过引进中科院宁波材料的石墨烯产业化技术，建成了年产 500 吨石墨烯材料生产线，旨在成为全球领先的石墨烯材料供应商和应用技术解决方案提供者。</p> | <p>济南圣泉集团股份有限公司</p> <p>建于 1979 年，专注植物秸秆综合利用研发。全球生物质石墨烯和生物质石墨烯内暖纤维开创者；呋喃和酚醛树脂产销全球领先；拥有全球主要的 L-阿拉伯糖和木糖生产基地；轻芯钢、光刻胶用酚醛树脂、木质素染料分散剂等产品打破国外垄断。www.shengquan.com。</p> |
| <p>深圳华烯新材料有限公司</p> <p>以研发、生产高品质石墨烯为主营业务，拥有完善的检测仪器和研发装置条件。可按客户需要定制研发、生产特殊性能参数指标石墨烯材料，质量精准可控。现正主持制定 4 项石墨烯材料检测方法国际标准。 www.sinophene.com, sinophene@sinophene.com</p> | <p>重庆墨希科技有限公司</p> <p>2013 年 3 月成立，是上海南江集团与中国科学院重庆绿色智能技术研究院共同出资成立的国家级高新技术企业。具有国内最大的石墨烯薄膜材料规模化制备能力，是石墨烯薄膜材料规模化制备成套装备及系统解决方案供应商。http://www.cqmx.com/</p> |
| <p>厦门凯纳石墨烯技术股份有限公司</p> <p>国内第一家石墨烯企业，拥有物理法生产石墨烯粉体及其应用核心技术，专注开发锂电池导电剂、碳塑合金、石墨烯散热器等系列产品，全部拥有自主知识产权，现已经获得了 26 项国家发明专利授权、2 项实用新型专利授权。www.knano.com.cn, sales@knano.com.cn</p> | <p>华侨大学</p> <p>地处福建厦门。陈国华教授团队长期开展石墨烯机械剥离法规模化制备技术并已实现产业化。石墨烯研究成果在偏光片、塑料改性、鞋材改性等领域已实现应用，并显现出良好的市场前景。hdcgh@foxmail.com。 http://www.polymer.cn/ss/chenguohua/index.html;</p> |
| <p>中科院合肥技术创新工程院</p> <p>是中科院与合肥市共建的产学研转移转化平台，2017 年创新工程院成立石墨烯中心。王奇博士任中心主任兼技术首席，其拥有等离子体技术制备石墨烯及其复合材料核心技术。中心拥有国内一流的材料制备和测试平台，研究人员百余名。graphenehf@126.com。</p> | <p>合肥开尔纳米能源科技股份有限公司</p> <p>2009 年成立，位于合肥高新技术产业开发区。具有十多年纳米粉体生产及研发经验，主要从事石墨烯材料、纳米硅粉、特种陶瓷纳米材料及应用技术的研发、生产、销售和技术转让。公司自主研发的石墨烯材料可应用于锂离子电池、铝合金电缆和抗菌纤维中，并有优良表现。</p> |

| | |
|---|--|
| <p>山东利特纳米技术有限公司</p> <p>2011 年成立，主营石墨烯等碳纳米材料产业化制备和应用。有山东金利特、青岛瑞利特、济宁利特防腐三个子公司和一碳纳米材料研究中心，年产 20 吨石墨烯粉体、200 吨能源材料、3 万吨高分子复合材料和 5 万吨功能涂料；拥有核心专利技术，专利数达 100 余项。</p> | <p>德阳烯碳科技有限公司</p> <p>是国内最早掌握石墨烯规模化制备技术的高新技术企业之一。公司以中科院金属研究所为技术支撑，主要从事石墨烯及其下游衍生品的研发、生产和销售。目前已建成年产 30 吨高导电型石墨烯粉体生产线。 http://www.carbonene.cn/</p> |
| <p>上海市石墨烯产业技术功能型平台</p> <p>以应用需求为牵引，着力构建应用技术创新、中试及产业化核心服务能力；通过“基地+基金+人才”模式，集聚配置创新资源，促进科技成果转化，解决共性技术问题，培育打造石墨烯产业集群，实现“平台促科技，平台带产业”。 www.shanghaiagraphene.com</p> | <p>中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所</p> <p>是国内碳纳米材料的重点研究单位，拥有着石墨烯生产与应用的核心技术，在国内首创液相分离法生产石墨烯粉体和浆料制备技术，并孵化出苏州格瑞丰等多家石墨烯生产和应用企业。 www.sinano.ac.cn</p> |
| <p>天奈（镇江）材料科技有限公司</p> <p>致力于碳纳米管与石墨烯材料的研发、生产及应用性开发和销售，商业化应用领域主要为锂电池导电浆料等应用；拥有纳米碳管制备的核心专利技术，以及碳纳米管和石墨烯材料批量生产的工程化技术。 http://www.cnanotechnology.com/</p> | <p>中国科学院重庆绿色智能技术研究院</p> <p>中国科学院直属科研机构，2011 年 3 月成立。以重庆经济社会发展重大科技需求为牵引，在先进制造、电子信息、环境工程三个领域进行科技布局。2013 年在石墨烯材料规模化制备取得突破，在电子信息、光电器件等领域开展了系统的石墨烯应用研究。 www.cigit.cas.cn</p> |
| <p>宝泰隆新材料股份有限公司</p> <p>是集煤基清洁能源生产，石墨深加工、石墨烯材料及应用、针状焦、锂电原材料等开发于一体的上市企业（股票代码 601011），拥有多项石墨烯发明专利，已量产 150 吨石墨烯粉体生产线，正与北京石墨烯研究院合作开展石墨烯材料下游应用领域研发。 www.btlgf.com</p> | <p>常州第六元素材料科技股份有限公司</p> <p>成立于 2011 年，全球率先建成百吨级石墨烯粉体材料生产线，及开发出石墨烯基重防腐涂料、导热膜、EPS 等产品，是国内首家主营石墨烯材料的上市企业。已获批 68 项中国发明专利，1 项美国专利。 http://www.thesixthelement.com.cn/</p> |
| <p>上海利物盛企业集团有限公司</p> <p>张江高新区宝山城市工业园的骨干龙头企业，上海石墨烯产业园创始人之一。在石墨烯材料制备及应用方面拥有 9 大核心技术，建有年产 30 吨石墨烯制备生产线，运营管理上海石墨烯应用科技孵化园，在上海、海安等地建有石墨烯研发、生产基地。</p> | <p>新奥石墨烯技术有限公司</p> <p>依托新奥集团能源研究院和煤基低碳能源国家重点实验室多年技术积累，构建“技术-材料-应用”石墨烯产业链。百吨级石墨烯粉体材料示范装置已投产。拥有“千人计划”和“万人计划”专家及近百名博硕士组成的技术团队、分析检测中心和产业化示范平台。</p> |
| <p>中国航发北京航空材料研究院</p> <p>成立于 1956 年。是国内唯一面向航空，从事航空先进材料应用基础研究、材料研制与应用技术研究和工程化研究的综合性科研机构。多年致力于石墨烯材料制备及应用研究，已有多项科研成果在军工尖端装备、能源、电力传输、复合材料等领域获得了应用。 www.biam.ac.cn</p> | <p>宜昌汇富硅材料有限公司</p> <p>地处湖北宜昌，专注于气相二氧化硅研发和生产，是国内技术先进、规模最大的气相二氧化硅产品供应商。开发了多型号气相二氧化硅，应用于硅橡胶、工业胶粘剂、特种橡胶、油墨涂料等领域。产品销售网络覆盖全国，远销海外十多个国家。正开拓与石墨烯材料的复合技术及下游应用开发。 http://www.hifull.com/nav/1.html</p> |

| | |
|---|---|
| <p>晋江成昌鞋业有限公司</p> <p>始建于 1997 年，系一家集研发、生产、销售、服务为一体的高新技术企业。专业生产 EVA 一次射出鞋底、EVA 二次成型鞋底、橡胶大底等多种鞋底种类以及 EVA 材料，致力于开发各种功能性鞋用材料。已开发出石墨烯改性 EVA 系列产品。</p> | <p>复旦大学</p> <p>卢红斌教授团队在石墨烯材料制备和应用研究已取得突破，如高产率水相剥离、超大片氧化石墨烯、室温制备石墨烯气凝胶及结构规整高比表面积三维结构体；可应用于聚合物中石墨烯自发剥离与复合、高灵敏度宽范围力学传感器、高导热石墨烯散热膜量产技术等。</p> |
| <p>北京科技大学</p> <p>依托于北京科技大学材料学院，贾希来副教授长期开展碳纳米管、石墨烯材料等碳纳米材料制备相关基础研究，以及在电化学储能材料、改性塑料和导电化纤等领域的应用技术开发。jiaxl@ustb.edu.cn</p> | <p>哈尔滨工业大学</p> <p>是一所以理工为主，理、工、管多学科协调发展的国家重点大学。哈工大在与石墨烯材料制备及应用有关的方面进行了较多的研究，特别是在应用及产业化方面取得了多项成果。</p> |
| <p>湖南医家智烯新材料科技股份有限公司</p> <p>2016 年 5 月成立，注册资金 1000 万元，位于长沙市高新技术开发区芯城科技园。是石墨烯导电复合膜、石墨烯发热膜的源头厂家供应商，并可以提供多种应用场合整套发热方案的高科技企业。</p> | |

参 考 文 献

- [1] Geim et. al., The rise of graphene, Nature Materials vol.6, 183-191, 2007。
- [2] The international editorial team for Carbon, All in the graphene family - A recommended nomenclature for two-dimensional carbon materials, Carbon 65(2013)1-6, 2013。

索 引

汉语拼音索引

| | |
|--------------------|------|
| B | |
| BET 法 | 5.10 |
| C | |
| 插层剥离法 | 4.5 |
| 层 | 2.2 |
| 层数 | 2.6 |
| D | |
| 单层石墨烯 | 3.1 |
| 电感耦合等离子体质谱法 | 5.11 |
| 电弧放电法 | 4.7 |
| 电子能量损失能谱法 | 5.13 |
| 电子衍射法 | 5.14 |
| 堆垛方向 | 2.3 |
| 多层石墨烯 | 3.3 |
| E | |
| 二维材料 | 2.5 |
| G | |
| 改性石墨烯 | 3.4 |
| 光学对比度法 | 5.7 |
| H | |
| 横向 | 2.4 |
| 红外吸收光谱法 | 5.8 |
| 还原氧化石墨烯 | 3.6 |
| 化学分析法 | 4.8 |
| 化学气相沉积法 | 4.2 |
| J | |
| 机械剥离法 | 4.1 |
| L | |
| 拉曼光谱法 | 5.6 |
| N | |
| 能量色散 X 射线光谱法 | 5.12 |
| R | |

| | |
|----------------|------|
| 热裂解法 | 4.4 |
| S | |
| 扫描电子显微术 | 5.2 |
| 扫描探针显微术 | 5.1 |
| 石墨烯 | 2.1 |
| 石墨烯材料 | 3.7 |
| 石墨烯粉体 | 3.12 |
| 石墨烯浆料 | 3.13 |
| 石墨烯量子点 | 3.13 |
| 石墨烯薄膜 | 3.8 |
| 石墨烯纳米带 | 3.10 |
| 石墨烯片 | 3.9 |
| 双层石墨烯 | 3.2 |
| T | |
| 透射电子显微术 | 5.3 |
| X | |
| X 射线光电子能谱分析法 | 5.5 |
| X 射线衍射法 | 5.4 |
| X 射线荧光光谱分析法 | 5.16 |
| Y | |
| 氧化还原法 | 4.3 |
| 氧化石墨烯 | 3.4 |
| 液相剥离法 | 4.6 |
| 元素分析法 | 5.15 |
| Z | |
| 紫外可见近红外分光光度测定法 | 5.9 |

英文对应词索引

| | |
|----------------------------|------|
| A | |
| arc-discharge | 4.7 |
| B | |
| BET absorption method | 5.10 |
| bilayer graphene | 3.2 |
| C | |
| chemical synthesis | 4.8 |
| chemical vapor deposition | 4.2 |
| chemical vapour deposition | 4.2 |

| | |
|--|------|
| E | |
| electron diffractometry | 5.14 |
| electron energy loss spectroscopy | 5.13 |
| elemental analysis | 5.15 |
| energy-dispersive X-ray spectroscopy | 5.12 |
| I | |
| inductively coupled plasma mass spectrometry | 5.11 |
| L | |
| layer | 2.2 |
| lateral direction | 2.4 |
| liquid exfoliation | 4.6 |
| M | |
| mechanical exfoliation | 4.1 |
| modified graphene | 3.4 |
| multi-layer graphene | 3.3 |
| N | |
| number of layers | 2.6 |
| G | |
| graphene | 2.1 |
| graphene film | 3.8 |
| graphene materials | 3.7 |
| graphene micro-scale-width sheet | 3.11 |
| graphene nanoribbon | 3.12 |
| graphene nanosheet | 3.9 |
| graphene nano-scale-width sheet | 3.10 |
| graphene oxide | 3.5 |
| graphene powder | 3.14 |
| graphene quantum dots | 3.13 |
| P | |
| pyrolysis | 4.4 |
| R | |
| Raman spectrometry | 5.6 |
| reduced graphene oxide | 3.6 |
| S | |
| scanning electron microscopy | 5.2 |
| scanning probe microscopy | 5.1 |
| stacking direction | 2.3 |
| single-layer graphene | 3.1 |
| T | |

| | |
|--|-------------|
| transmission electron microscopy | 5.3 |
| two-dimensional material | 2.5 |
| U | |
| UV-visible-infrared spectrophotometry | 5.9 |
| X | |
| X-ray diffractometry | 5.4 |
| X-ray fluorescence | 5.16 |
| X-ray photoelectron spectroscopy | 5.5 |
