

石墨烯的制备方法及其表征研究

李惠茗,张鹏云,李春新

(甘肃省化工研究院,甘肃 兰州 730020)

摘要:石墨烯是一种新型二维碳纳米材料,具有许多独特的理化性质。本文重点综述了目前石墨烯制备的主要方法,分析了各种制备方法的特点,对石墨烯表征手段进行了概述,并展望了其发展前景。

关键词:石墨烯;制备;表征

中图分类号: O613.71

文献标识码: A

文章编号: 1671-5322(2010)03-0032-07

每隔几年,总会有一些具有特殊性质的材料被发现并引起科学界的轰动,比较典型的例子是高温超导体及碳纳米管的发现。而于2004年发现的石墨烯^[1],由于具有许多特殊的性质,一经发现即毫无疑问地成为目前材料科学界的研究热点。它的出现彻底颠覆了70年前由Landau和Peierls提出的绝对二维晶体是热力学不稳定的且不可能存在的传统理论。

石墨烯是由碳原子按正六边形紧密排列成蜂窝状晶格的单层二维平面结构。因为可以由石墨烯卷成零维的富勒烯及一维的碳纳米管以及堆积成三维的石墨,所以它被称之为“碳材料之母”。石墨烯结构非常稳定,各碳原子之间的连接非常柔韧,当施加外部机械力时,碳原子面就弯曲变形,从而使碳原子不必重新排列来适应外力而保持结构稳定。这种稳定的晶格结构使碳原子具有优秀的导热性 $[3\ 000\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$ 。石墨烯最大的特性是其电子的运动速度达到了光速的 $1/300$,远远超过了电子在一般导体中的运动速度,是目前已知材料中电子传导速率最快的,其室温下的电子迁移率可达 $15\ 000\ \text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ^[2]。石墨烯还表现出了完美的量子隧道效应、零质量的狄拉克费米子行为及异常的半整数量子霍尔效应^[3]。石墨烯还是人类已知强度最高的物质,比钻石还坚硬,强度是世界上最好的钢铁的100多倍。另外,科学家们发现单层的石墨烯具有非常

大的比表面积,可高达 $2\ 600\ \text{m}^2/\text{g}$ ^[4]。

1 石墨烯的制备方法

1.1 微机械剥离法

2004年,石墨烯的发现者Geim等^[4]用一种极为简单的方法——微机械剥离法成功地制备并观测到单层石墨烯。他们首先用光刻胶将高定向热解石墨转移到玻璃衬底上,然后用透明胶带进行反复粘贴将高定向热解石墨剥离,随后将粘有石墨烯片的玻璃衬底放入丙酮溶液中超声振荡。再将单晶硅片放入丙酮溶剂中,单层石墨烯片会由于范德华力或毛细管作用吸附在单晶硅片上,从而成功地制备了二维的石墨单层。最近,Knieke等^[5]利用湿法研磨法在室温下研磨普通石墨粉,成功的对石墨的片层结构进行了剥离,制备了单层和多层的石墨烯片。为了防止剥离出来的石墨烯片的团聚,研磨过程中加入阴离子表面活性剂十二烷基硫酸钠以稳定石墨烯片。该法工艺简单,成本低廉,但费时费力,重复性差,难以大规模制备。

1.2 化学还原石墨烯氧化物法

氧化石墨一般是通过最常用的Hummers法进行制备^[6]。该法以石墨粉为原料,经过强氧化剂浓硫酸和高锰酸钾的氧化,石墨的层间被插入了羟基、环氧及羧基等含氧基团,拉大了石墨的层间距,从而得到了石墨氧化物。然后通过超声作

收稿日期:2010-06-14

基金项目:甘肃省精细化学品合成工艺和工程技术创新平台研究资助项目(094TTPA001)

作者简介:李惠茗(1975-),女,河北石家庄市人,工程师,主要研究方向为精细化工。

用,将石墨氧化物剥离得到单层的石墨烯氧化物(GO)。对GO进行还原,可以将GO平面结构上的含氧基团去除,可使大 π 键共轭体系得到恢复,即可制得高导电性的石墨烯。但该方法简单,成本低,可以大量的制备石墨烯。

Li^[7]及Liu等^[8]以水合肼为还原剂分别成功制得了氨水及聚电解质聚二甲基二烯丙基氯化铵稳定的石墨烯水分散液。在这些方法中所用到的还原剂水合肼有很强的毒性,而且有可能会污染制得的石墨烯。因此,一些绿色的、无污染的制备石墨烯的方法被报道。Zhang等^[9]、Zhu等^[10]及Liu等^[11]分别以抗坏血酸,还原性糖,牛血清白蛋白为还原剂,在相对温和的条件下成功的制备了石墨烯水分散液。其中,抗坏血酸、还原性糖及牛血清白蛋白不仅起还原剂的作用,而且其还原产物可以起分散剂的作用以稳定石墨烯片。该方法简单,对环境友好,有很大的发展前景。

1.3 碳纳米管轴向切割法

石墨烯纳米带存在锯齿状和椅式两种构象,锯齿状构象是金属性的,而椅式构象有可能是金属性的也有可能是半导体性,其带隙与宽度成反比^[12]。在宽度小于10 nm的石墨烯纳米带上,电子被迫纵向移动,表现出半导体性,这与它的构象无关。因此有望用于如场效应晶体管等电子器件。碳纳米管从结构上可以看作是由单层的石墨烯纳米带卷曲而成。不同管径碳纳米管对应于不同宽度的石墨烯带。因此,将碳纳米管沿轴向剪开而制备石墨烯的方法引起了广泛的关注,并取得了重大进展。

Kosynkin等^[13]用强氧化性的高锰酸钾和硫酸的混合物,沿轴向打开纳米管,得到宽度约为100~500 nm的单层或多层GO带。该氧化过程可能是通过一个“插层”过程实现的。然后他们通过化学还原或氢化脱氧将GO带还原为金属性的高导电性的石墨烯纳米带。这些丝带虽不是半导体,但较容易大规模制造(如图1a)。Jiao等^[15]首先将碳纳米管部分包埋到聚甲基丙烯酸甲酯聚合物膜中,然后以氩等离子体刻蚀碳纳米管,再去除聚合物后即可得到宽度为10~20 nm的较窄的半导体性的石墨烯带(如图1b)。Cano-Marquez等^[16]将碳纳米管分散到液氨中,用金属锂进行处理(如图1c),随后再经过酸处理可轴向切开碳纳米管得到石墨烯带。在该过程中,锂原子在液氨作用下插入碳纳米管层间,对管壁产生巨大的压

力直至破裂。此外,拉大的层间距会使水分子进入,与锂发生强烈的放热反应,也会导致碳纳米管的打开。Janowska等^[17]首先在碳纳米管上沉积上铁、钴或镍纳米颗粒,然后在氩气与氢气混合气中进行高温催化氢化。在化学作用的驱动下,金属纳米颗粒会沿碳纳米管的表面移动从而将其切开(如图1d)。此外,他们还发现小粒径的金属纳米颗粒对碳纳米管的切割是随机进行的,而粒径大于40 nm的金属纳米颗粒则是沿着碳纳米管的轴向对其进行切割的。

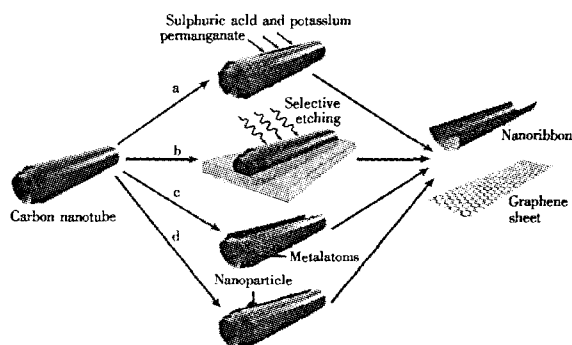


图1 碳纳米管的轴向切割^[14]

Fig. 1 Longitudinal Unzipping of Carbon Nanotubes

1.4 电化学还原法

电化学方法是一种绿色快速的制备方法。它可以通过调节外部电能来改变电极表面材料的费米能级以改变材料的电子状态,从而可以可控的对材料进行修饰和还原^[18]。

Guo等^[19]研究了GO的电化学行为,发现在第一圈循环伏安扫描中,GO在-1.2 V表现出强的阴极峰(如图2a),该还原电流对应于GO表面上的含氧基团的还原。随着扫描圈数增加,该还原峰电流急剧降低直至消失,表明含氧基团完全被还原且不可逆。然后通过恒电位法,在石墨电极上于较高的负电位下还原GO,制备了厚度约为1.1 nm的石墨烯片。另外,Wang等^[20]通过层层组装的方法将GO组装到玻碳电极表面,通过循环伏安法进行还原,制备了石墨烯修饰的电极并应用于电化学传感。

1.5 化学气相沉积法

该法是近几十年发展起来的制备无机材料的新技术,是目前应用最广泛的一种大规模制备半导体薄膜材料的方法。而且,该方法已成功的应用于工业化大规模制备多壁碳纳米管^[21],生产工

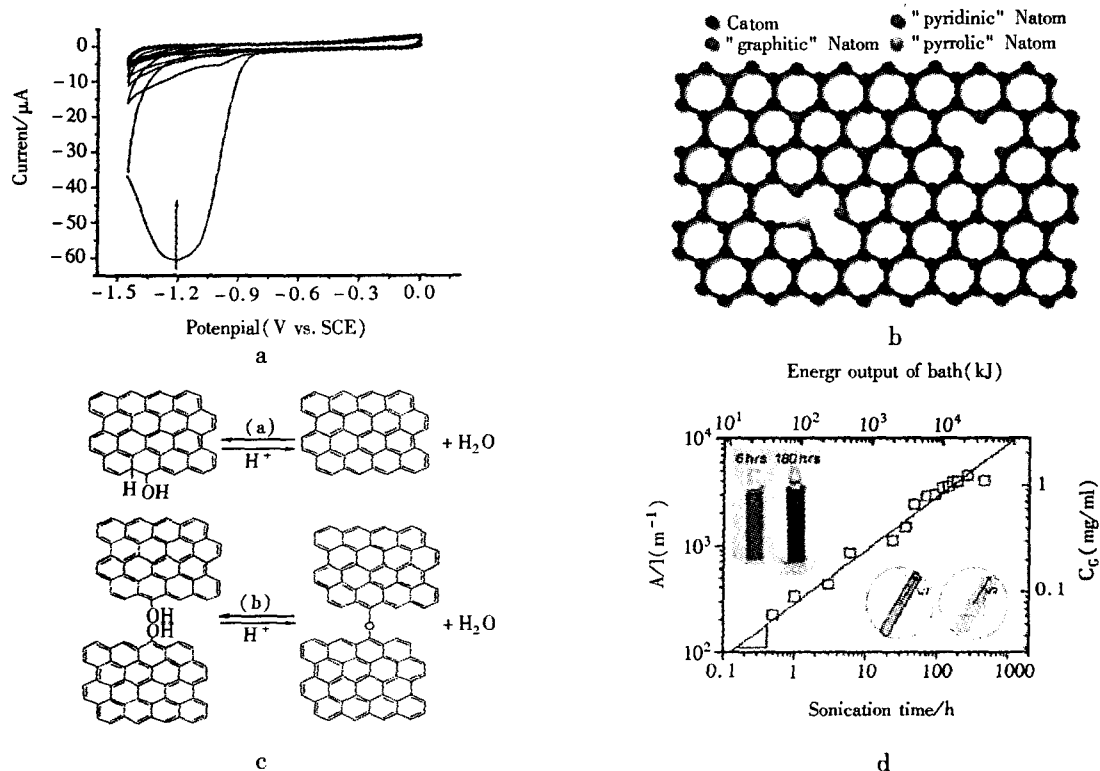


图 2 石墨烯制备

Fig. 2 Preparation of graphene

艺十分完善。

Kim 等^[22]首先在 SiO₂/Si 基底上沉积一层 100 – 500 nm 厚的金属镍薄层,然后在 1 000 ℃ 及高真空中,以甲烷、氢气及氩气混合气为反应气,在较短的时间内制备了石墨烯。Wei 等^[23]采用甲烷和氨气为反应气,一步法直接合成了氮掺杂的石墨烯。在该氮掺杂的石墨烯中氮原子采取“石墨化”、“吡咯化”及“吡啶化”这三种掺杂方式(如图 2b)。该法是大规模制备大尺寸、高质量石墨烯的最有希望的方法之一。但目前还不是很完善,还有待于进一步的研究。

1.6 微波法

微波化学是刚兴起的新型交叉学科,已经渗透到众多化学领域。微波加热可以在被加热物体的不同深度同时产生热,实现分子水平上的加热。这种“体加热作用”速度快且均匀,可使产率显著提高。微波场可以直接作用于化学体系,从而促进或改变各类化学反应,也可以被用来诱导产生等离子,进而在各种化学反应中加以利用。

Chen 等^[24]将 GO 分散到 N,N-二甲基乙酰胺与水的混合溶剂中。然后将混合反应液置于微

波炉中进行微波热还原。该混合溶剂在反应中不仅起溶剂的作用,而且可控制系统温度不超过其沸点 165 ℃。得到的石墨烯的传导性是 GO 的 104 倍。Sridhar 等^[25]将石墨与 NH₄S₂O₈ 及 H₂O₂ 在超声下混合,然后进行微波反应,成功制备了石墨烯。他们指出该过程包括两步反应。首先, NH₄S₂O₈ 在微波下发生了分解产生了氧自由基,在氧自由基的诱导下,石墨纳米片被切开。然后 H₂O₂ 分解并插入石墨纳米片层间从而导致石墨烯的剥离。

1.7 溶剂热法

溶剂热法已广泛用于纳米材料的合成中。它可以在密闭反应器中产生高压并可减少挥发性产品的污染,因此非常适合于亚稳态相的制备。

Nethravathi 等^[26]通过溶剂热方法在较低的温度下实现了对石墨烯氧化物的还原。他们尝试了水、乙醇、正丁醇及乙烯醇等不同的溶剂对溶剂热反应的影响。Zhou 等^[27]发现在碱性条件下通过简单的水热合成法,可以得到稳定的石墨烯水分散液。他们认为该还原反应类似于乙醇的氢离子催化的脱氢反应。在这里,水为羟基提供了质

子化必须的氢离子,从而导致了在石墨烯氧化物片表面或边缘的分子内脱氢和分子外脱氢反应的发生(如图2c)。

1.8 电弧放电法

电弧放电法作为一种有效的方法被广泛的用于制备各种形态的碳纳米材料,比如在氦气中制备碳纳米管以及碳纳米角^[28]。

Subrahmanyam等^[29]以氢气与氦气的混合气作为媒介实现了石墨烯的制备。他们指出在电弧放电过程中氢气起到了一个关键作用,氢气的存在有助于终止碳原子上的悬挂键,从而防止石墨烯片卷曲或闭合以产生碳纳米管。但该方法成本较高且有较高的危险性。因此,Wang等^[30]提出了一种在空气中进行电弧放电的制备方法。他们发现高压有利于石墨烯的形成,而低压有利于碳纳米管和碳纳米球的生长。

1.9 外延生长法

该法是在单晶衬底上生长一层与衬底晶向相同的单晶层的方法。采用最多的是气相外延工艺。近年来,该方法被成功的用于制备高定向的石墨烯。

Sutter^[31]在超高真空下将钨单晶加热到1150℃使碳原子渗入钨单晶。然后再缓慢降温至825℃,在此过程中碳原子在钨中的溶解度会降低6倍,从而使大量的碳原子浮到金属钨的表面产生镜片状的单晶石墨烯片。Emtsev^[32]将4H-SiC衬底置于超高真空下,在1500-2000℃的温度及氩气氛下进行热处理,从而使硅原子升华,碳原子在衬底表面聚集形成石墨烯。

1.10 液相剥离石墨法

液相剥离法开始于50年前,用于研究石墨的化学剥离^[33]。近几年已成功用于碳纳米管在溶剂中的剥离分散^[34]。近来,通过超声在溶剂的作用下将石墨剥离为石墨烯的液相剥离方法已经引起了广泛的关注。这种方法简单、直接,而且得到的石墨烯于其他方法相比几乎不存在缺陷和没有被氧化。该方法得到的石墨烯的浓度和产量强烈的依赖于所选择溶剂的性质,该溶剂的表面能应该与石墨烯的表面能相匹配,从而能够提供足够的溶剂-石墨烯相互作用以平衡剥离石墨的片层结构所消耗的能量。

Hernandez等^[35]使用N-甲基吡咯烷酮、N,N-二甲基乙酰胺、 γ -丁内酯及1,3-二甲基-2-咪唑啉酮等有机溶剂为剥离溶剂实现了对石墨的

剥离。Lotya等^[36]则采用十二烷基苯磺酸钠表面活性剂的水溶液作为剥离溶液实现了石墨烯的制备,产率约为3%。但用这些方法制得的石墨烯的浓度都非常低,限制了进一步应用。Wang等^[37]发现以离子液体如1-丁基-3-甲基-咪唑双三氟甲烷磺酰亚胺([Bmim][Tf₂N])及1-丁基-1-甲基-吡咯烷基双三氟甲烷磺酰亚胺([C4mpy][Tf₂N])为剥离溶剂可得到浓度达0.95 mg/mL的石墨烯分散液。此外,Khan等^[38]发现以N-甲基吡咯烷酮为溶剂,延长超声时间,石墨烯分散液的浓度逐步增加(如图2d)最终可达1.0-1.2 mg/mL。

2 石墨烯的表征

目前表征石墨烯的手段主要有:高分辨透射电子显微镜(HRTEM)、X射线衍射(XRD)、紫外光谱(UV)、原子力显微镜(AFM)及拉曼光谱(RAMAN)等。

在HRTEM下(如图3a)^[36],可清晰的看到石墨烯呈轻纱状半透明片状结构分布,从图中可大致的估算出石墨烯片的层数和大小。HRTEM的使用为石墨烯的表征提供了一个简单快速的表征手段。XRD可用来表征石墨烯的合成过程,对每一步反应进行监控。在XRD上(如图3b)^[39],当石墨被浓硫酸和高锰酸钾氧化为石墨氧化物后,26.4°的石墨特征峰完全消失,而在10.0°附近又出现一个新的衍射峰,该峰表明石墨被完全氧化,石墨层间距由于插层效应而被拉大。当用水合肼还原GO后,石墨氧化物的10.0°的特征峰消失了,在23.0°附近出现了一个比较宽的谱带。这表明GO已被完全还原。在UV上(如图3c)^[27,40],GO表现出了两个特征吸收峰,231 nm处的强吸收峰对应于C=C键的 $\pi-\pi^*$ 跃迁,而300 nm附近的弱吸收峰对应于C=O键的 $n-\pi^*$ 跃迁。随着GO被还原为石墨烯,231 nm处的 $\pi-\pi^*$ 跃迁峰逐渐红移到270 nm,表明石墨烯的电子共轭结构的逐步恢复。原子力显微镜是表征石墨烯片层结构的最有力、最直接有效的工具。它可以清晰的反映出石墨烯片的大小、厚度等信息(如图3d)^[10]。拉曼光谱是表征碳材料的一个强有力的非破坏性的工具(如图3e)。尤其是在区分有序和无序的碳晶体结构上更有用。碳材料在拉曼光谱上的典型的特点是1582 cm⁻¹的G带与1350 cm⁻¹处的D带。G带与SP²杂化的

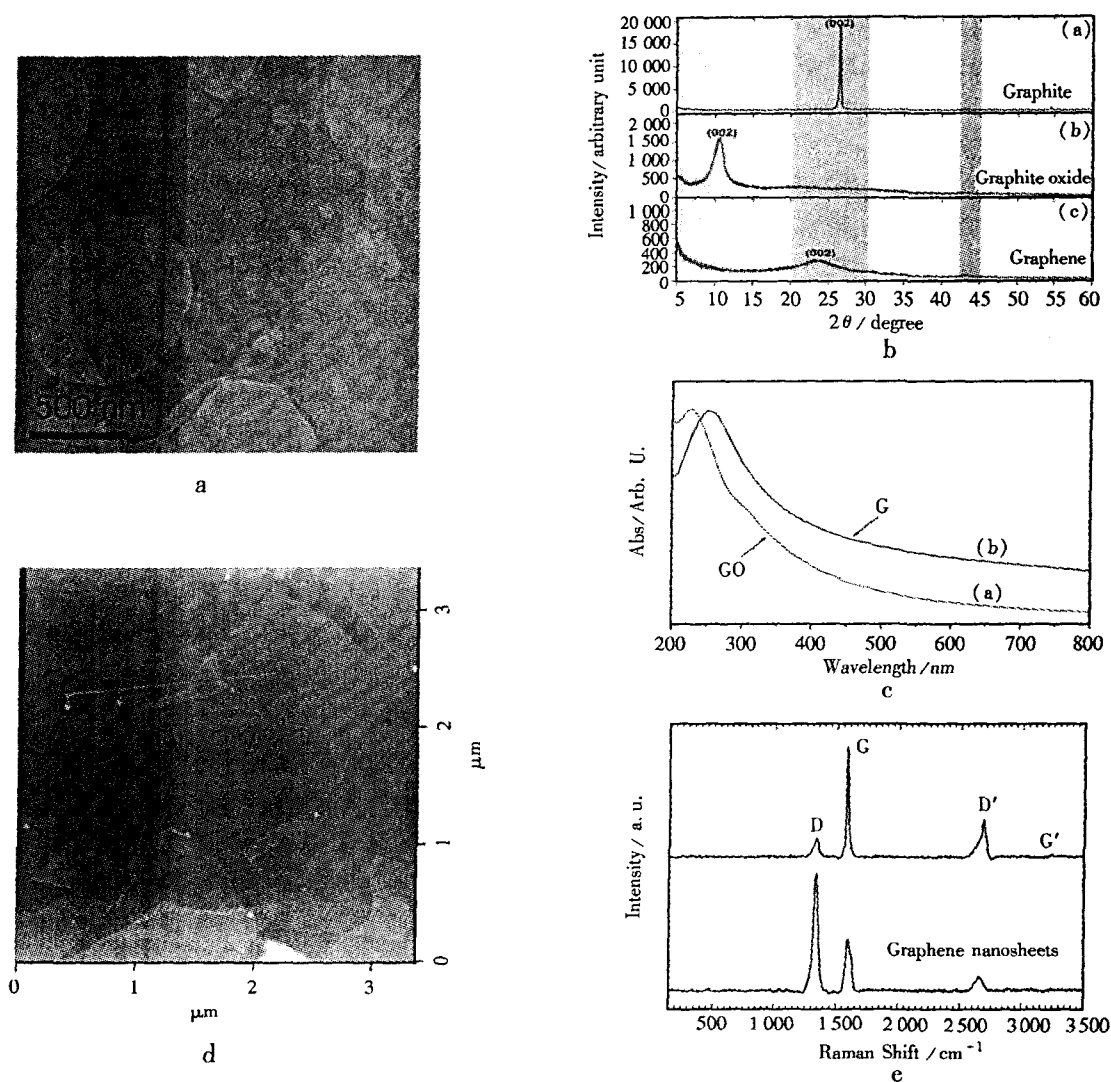


图 3 石墨烯的表征

Fig. 3 Characterization of graphene

碳原子的 E_{2g} 拉曼活性模相关,而 D 带则归属于 A_{1g} 对称 k 点声子的呼吸模。石墨烯的 G 带峰相对于石墨有所加宽并移动到了 $1\,595\text{ cm}^{-1}$ 处。另外,在 $2\,700\text{ cm}^{-1}$ 附近还有一个 2D 带,通过该带的位置及形状可以确定石墨烯是单层、双层还是多层^[41]。

3 结论与展望

石墨烯这一目前世界上最薄的物质,其迁移速率为传统半导体硅材料的数十至上百倍。这一优势使得石墨烯很有可能取代硅成为下一代超高

频率晶体管的基础材料而广泛应用于高性能集成电路和新型纳米电子器件中。随着科学家对石墨烯的深入研究以及制备方法的改进,石墨烯在电子学、化学、物理学及生物学等领域得到了广泛的关注和发展。然而,目前的各种制备手段还不是十分的完善,还无法用于大规模的工业化生产以满足各个领域对大尺寸、高质量的石墨烯的需求。因此,今后石墨烯的研究重点是不断完善现有的制备方法并发展新的制备工艺,从而大量、低成本制备出高质量的石墨烯材料。

参考文献:

- [1] Novoselov K S, Geim A K, Morozov S V, et al. Electric field effect in atomically thin carbon films[J]. Science, 2004, 306: 666 – 669.
- [2] Zhang Y B, Tan Y W, Stormer H L, et al. Experimental observation of the quantum Hall effect and Berry's phase in graphene[J]. Nature, 2005, 438: 201 – 204.
- [3] Katsnelson M I, Novoselov K S, Geim A K. Chiral tunnelling and the Klein paradox in graphene[J]. Nature Phys, 2006, 2(9): 620 – 625.
- [4] Chae H K, Siberio – Perez D Y, Kim J, et al. A route to high surface area, porosity and inclusion of large molecules in crystals[J]. Nature, 2004, 427: 523 – 527.
- [5] Knieke C, Berger A, Voigt M, et al. Scalable production of graphene sheets by mechanical delamination[J]. DOI:10.1016/j.carbon.2010.05.003.
- [6] Hummers W S, Offeman R E. Synthesis of graphene – based nanosheets via chemical reduction of exfoliated graphite oxide[J]. J Am Chem Soc, 1958, 6: 1 339.
- [7] Li D, Muller M B, Gilje S, et al. Processable aqueous dispersions of graphene nanosheets[J]. Nat. Nanotechnol. 2008, 3: 101 – 105.
- [8] Liu K P, Zhang J J, Yang G H, et al. Direct electrochemistry and electrocatalysis of hemoglobin based on poly(diallyldimethylammonium chloride) functionalized graphene sheets/room temperature ionic liquid composite film[J]. Electrochem. Commun, 2010, 12(3): 402 – 405.
- [9] Zhang J L, Yang H J, Shen G X, et al. Reduction of graphene oxide via L – ascorbic acid[J]. Chem Commun, 2010, 46: 1 112 – 1 114.
- [10] Zhu C Z, Guo S J, Fang Y X, et al. Reducing Sugar New Functional Molecules for the Green Synthesis of Graphene Nanosheets[J]. ACS nano, 2010, 10: 2 387 – 2 391.
- [11] Liu J B, Fu S H, Yuan B, et al. Toward a Universal Adhesive Nanosheet for the Assembly of Multiple Nanoparticles Based on a Protein – Induced reduction – Decoration of Graphene Oxide[J]. J Am Chem Soc, 2010, 10: 938 – 942.
- [12] Geim A K, Novoselov K S. The rise of graphene[J]. Nat Mater, 2007, 6: 183 – 191.
- [13] Kosynkin D V, Higginbotham A L, Sinitskii A, et al. Longitudinal unzipping of carbon nanotubes to form graphene nanoribbons[J]. Nature, 2009, 458: 872 – 877.
- [14] Terrones M. Narrow graphene nanoribbons from carbon nanotubes[J]. Nature, 2009, 458: 877 – 880.
- [15] Jiao L Y, Zhang L, Wang X R, et al. Narrow graphene nanoribbons from carbon nanotubes[J]. Nature, 2009, 458: 877 – 880.
- [16] Cano – Marquez A J, Rodriguez – Mac as F J, Campos – Delgado H, et al. Ex – MWNTs – Graphene Sheets and Ribbons Produced by Lithium Intercalation and Exfoliation of Carbon Nanotubes[J]. Nano Lett, 2009, 9(4): 1 527 – 1 533.
- [17] Janowska I, Ersen O, Jacob T, et al. Catalytic unzipping of carbon nanotubes to few – layer graphene sheets under microwave irradiation[J]. Appl Catal A Gen, 2009, 371: 22 – 30.
- [18] Balasubramanian K, Friedrich M, Jiang C Y, et al. Electrical transport and confocal Raman studies of electrochemically modified individual carbon nanotubes[J]. Adv Mater, 2003, 15: 1 515 – 1 518.
- [19] Guo H L, Wang X F, Qian Q Y, et al. A Green Approach to the Synthesis of Graphene Nanosheets[J]. ACS nano, 2009, 3(9): 2 653 – 2 659.
- [20] Wang Z J, Zhou X Z, Zhang J, et al. Direct Electrochemical Reduction of Single – Layer Graphene Oxide and Subsequent Functionalization with Glucose Oxidase[J]. J Phys Chem C, 2009, 113: 14 071 – 14 075.
- [21] Kamalakaran, R, Terrones, M, Seeger, T, et al. Synthesis of thick and crystalline nanotube arrays by spray pyrolysis[J]. Appl Phys Lett, 2000, 77: 3 385 – 3 387.
- [22] Kim K S, Zhao Y, Jang H, et al. Large – scale pattern growth of graphene films for stretchable transparent electrodes[J]. Nature, 2009, 457: 706 – 710.
- [23] Wei D C, Liu Y Q, Wang Y, et al. Synthesis of N – Doped Graphene by Chemical Vapor Deposition and Its Electrical Properties[J]. Nano Lett., 2009, 9(5): 1 752 – 1 758.
- [24] Chen W F, Yan L F, Bangal P R. Preparation of graphene by the rapid and mild thermal reduction of graphene oxide in-

- duced by microwaves[J]. Carbon, 2010,48:1 146 – 1 152.
- [25] Sridhar V, Jeon J H, Oh I K. Synthesis of graphene nano – sheets using eco – friendly chemicals and microwave radiation [J]. Carbon, DOI: 10. 1016/j. carbon,2010. 04. 034.
- [26] Nethravathi C, Rajamathi M. Chemically modified graphene sheets produced by the solvothermal reduction of colloidal dispersions of graphite oxide[J]. Carbon, 2008,46:1 994 – 1 998.
- [27] Zhou Y, Bao Q L, Tang L A L, et al. Hydrothermal Dehydration for the Green Reduction of Exfoliated Graphene Oxide to Graphene and Demonstration of Tunable Optical Limiting Properties[J]. Chem Mater,2009,21:2 950 – 2 956.
- [28] Kratschmer W, Lamb L D, Fostiropoulos K, et al. Solid C – 60 – a new form of carbon[J]. Nature,1990,347:354 – 358.
- [29] Subrahmanyam K S, Panchakarla L S, Govindaraj A, et al. Simple method of preparing graphene flakes by an arc – discharge method[J]. J Phys Chem C,2009,113:4 257 – 4 259.
- [30] Wang Z Y, Li N, Shi Z J, et al. Low – cost and large – scale synthesis of graphene nanosheets by arc discharge in air [J]. Nanotechnology,2010,21:175602.
- [31] Sutter P W, Flege J I, Sutter E A. Epitaxial graphene on ruthenium[J]. Nat Mater,2008,7:406 – 411.
- [32] Emtsev K V, Bostwick A, Horn K, et al. Towards wafer – size graphene layers by atmospheric pressure graphitization of silicon carbide[J]. Nat Mater,2009,8:203 – 207.
- [33] Dresselhaus M S, Dresselhaus G. Intercalation compounds of graphite[J]. Adv Phys,1981,30:139 – 326.
- [34] Furtado C A, Kim U J, Gutierrez H R, et al. Debundling and dissolution of single – walled carbon nanotubes in amide solvents[J]. J Am Chem Soc,2004,126:6 095 – 6 105.
- [35] Hernandez Y, Nicolosi V, Lotya M, et al. High – yield production of graphene by liquid – phase exfoliation of graphite [J]. Mat Nanotechnol,2008,3:563 – 568.
- [36] Lotya M, Hernandez Y, King P J, et al. Liquid phase production of graphene by exfoliation of graphite in surfactant – water solutions[J]. J Am Chem Soc,2009,131:3 611 – 3 620.
- [37] Wang X Q, Fulvio P F, Baker G A, et al. Direct exfoliation of natural graphite into micrometre size few layers graphene sheets using ionic liquids[J]. Chem Commun, DOI:10. 1039/c0cc00799d.
- [38] Khan U, Neill A, Lotya M, et al. High – concentration solvent exfoliation of grapheme[J]. Small,2010,6:864 – 871.
- [39] Murugan A V, Muraliganth T, Manthiram A. Rapid, facile microwave – solvothermal synthesis of graphene nanosheets and their polyaniline nanocomposites for energy storage[J]. Chem Mater,2009,21:5 004 – 5 006.
- [40] Chen J L, Yan X P. A dehydration and stabilizer – free approach to production of stable water dispersions of graphene nanosheets[J]. J Mater Chem,2010,20:4 328 – 4 332.
- [41] Wang G X, Yang J, Park J, et al. Facile synthesis and characterization of graphene nanosheets[J]. J Phys Chem C, 2008,112:8 192 – 8 195.

Preparation and Characterization of a graphene

LI Hui-ming, ZHANG Peng-yun, LI Chun-xin

(Gansu Research Institute of Chemical Industry, Gansu Lanzhou 730020, China)

Abstract: Graphene is a new two – dimensional carbon nanomaterial with some peculiar physical and chemical properties. In this paper, the major methods for preparation and characterization of graphene were summarized. The future reseach direction is also pointed out.

Keywords: graphene; preparation; characterization

(责任编辑:范大和;校对:沈建新)