[Highlight]

doi: 10.3866/PKU.WHXB201612071

www.whxb.pku.edu.cn

三维石墨烯粉体的仿生模板 CVD 制备：通向高效溶液加工

刘鸣华

(国家纳米科学中心, 北京 100190)

高质量石墨烯的大批量、低成本生产对加快推动二维晶体材料的工业化进程至关重要。传统的化学剥离法已经可以实现年产量在吨级以上的石墨烯粉体的低成本制备。然而, 该法生产的石墨烯往往存在结晶度低、表面残余富氧官能团和金属杂质等问题, 片层之间存在的强 $\pi-\pi$ 相互作用, 也会给高浓度石墨烯分散液的制备带来困难, 这些难题都将导致石墨烯在透明、导电和疏水等方面的优异属性严重降级, 限制石墨烯粉体的规模化应用。另一方面, 化学气相沉积法已经成为大面积、高品质石墨烯薄膜工业化生产的主

流技术, 石墨烯薄膜结晶质量已基本可以与微机械剥离法制备的石墨烯相媲美, 表现出优良的导电性和透光性, 但其成本较高, 应用范围也存在一定的局限性。因此, 如何兼顾上述两种方法的优势, 发展一种高质量石墨烯粉体的低成本、宏量制备方法, 成为学术界和工业界的重大挑战。

最近, 北京大学刘忠范-张艳锋课题组¹研究人员, 提出了一种利用化学气相沉积技术在自然界储量丰富、工业常用的硅藻土表面自限制直接生长石墨烯的方法。硅藻土的主要成分为二氧化硅, 具有轻质、多孔等特点, 可有效催化石墨烯

图1 仿生分级多孔石墨烯粉体生长过程示意图(a); 粉体实物形貌(b)和石墨烯分散液(c); 石墨烯电子显微形貌(d)和拉曼光谱分析比较(e); 棒涂法制备石墨烯透明导电薄膜(f)及面电阻测试(g); 喷墨打印(h)和卷对卷热转印(i)工艺制备的石墨烯薄膜¹

的表面生长,且易于通过后续湿化学腐蚀工艺去除。经化学纯化的石墨烯粉体保留了硅藻土单个颗粒的微观三维分级多孔结构,具有结晶度高、生长层数可控、结构可设计性强和杂质少等优点。尤为重要的是,这种石墨烯的仿生三维曲面结构能够有效克服石墨烯层间强 $\pi-\pi$ 相互作用和范德华相互作用力,阻止石墨烯片层堆垛,从而达到了石墨烯在液相中快速自分散的效果,这与低成本石墨烯薄膜的溶液加工工艺完美兼容。研究表明,经去除硅藻土模板后,该石墨烯粉体的比表面积高达 $1137.2\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$,在聚甲基吡咯烷酮(NMP)溶剂中表现出极好的分散性和稳定性,相比以往耗时的化学剥离过程中的分散工艺要高效很多。利用棒涂制膜技术将乙基纤维素(EC)稳定的高浓度石墨烯分散液涂覆在云母基底表面,干燥后所得石墨烯薄膜表现出优异的透光率、导电性和

耐弯折性,其电导率相比同等条件下制备的还原氧化石墨烯和液相剥离石墨烯薄膜要高1-2个数量级。同时,由于良好的溶液可加工性,该石墨烯粉体也能够与工业上常见的喷墨印刷和卷对卷热转印等工艺兼容,可望在石墨烯透明电极、油墨、导热散热膜和功能复合材料等领域广泛应用。该研究成果为开发新型拓扑结构低维碳材料提供了思路,也为二维晶体材料的宏量制备及其能源与环境应用研究开辟了新途径,具有重要的科学意义和工业推广价值。相关研究论文已在*Nature Communications*¹杂志在线发表。

Reference

- (1) Chen, K.; Li, C.; Shi, L.; Gao, T.; Song, X.; Bachmatiuk, A.; Zou, Z.; Deng, B.; Ji, Q.; Ma, D.; Peng, H.; Du, Z.; Rummeli, M. H.; Zhang, Y.; Liu, Z. *Nat. Commun.* **2016**, 7, 13440. doi: 10.1038/ncomms13440