[Highlight]

doi: 10.3866/PKU.WHXB201903011

www.whxb.pku.edu.cn

化学气相沉积宏量制备高品质石墨烯薄膜

杨金龙

中国科学技术大学, 合肥微尺度物质科学国家实验室, 合肥 230026

Towards Large-Scale and High-Quality Graphene Films

YANG Jinlong

Hefei National Laboratory of Physical Sciences at the Microscale, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, P. R. China.

Email: jlyang@ustc.edu.cn.

Published online: March 7, 2019.

石墨烯自发现以来,因其非常优异的电学、热学、光学和力学等性能,在高端电子、能源存储、复合材料等领域有着广阔的应用前景¹。为了解决石墨烯的宏量制备和应用问题,自2009年以来,化学气相沉积(Chemical Vapor Deposition, CVD)方法逐渐成为制备高品质石墨烯薄膜的最有效手段之一²。CVD方法制备的石墨烯因其具有质量高、层数可控、可放大性好等特点,近几年被广泛地关注,并取得了迅速发展。然而,理想与现实之间却存在着巨大的差距。在CVD制备过程中会产生大量的缺陷、晶界³和褶皱⁴,严重影响石墨烯的优异

性质。与此同时,石墨烯转移的过程中引入大量的表面污染与破损,也严重限制了CVD石墨烯薄膜的进一步的应用⁵。石墨烯CVD的宏量制备,对石墨烯的CVD设备和工艺提出了更高的要求,实现石墨烯均一度和质量的控制变得尤为困难。因此,如何实现高品质CVD石墨烯薄膜的宏量制备,维持其优良的电子结构和物理性质,实现石墨烯层数、畴区尺寸⁶、堆垛方式⁷、缺陷浓度⁸、掺杂浓度、平整度和洁净度的精确控制成为石墨烯CVD制备的重中之重。

最近,针对以上问题,北京大学刘忠范教授课

题组和彭海琳教授课题组应邀在国际化学领域权威综述刊物*Chemical Reviews*上发表题为《化学气相沉积制备石墨烯—理想与现实》的综述文章⁹,详细地综述了自CVD方法制备石墨烯提出以来,在高品质石墨烯制备方面的研究进展,并对高品质石墨烯的制备进行了展望。作者从碳同素异形体的成键和制备问题出发,系统地归纳和探讨了CVD法制备石墨烯基本条件和涉及的热力学与动力学问题,并在此基础上详细地讨论了石墨烯CVD过程中涉及的气相输运、前驱体表面吸附和裂解、活性碳物种的表面迁移、石墨烯的成核与生长、石墨烯畴区拼接等基元步骤。并在此基础上,讨论了高品质石墨烯制备涉及的晶界缺陷、低生长速度、褶皱和污染物等问题和目前的解决方案。与此同时,作者也对石墨烯工业放量制备存在的设备和质量控制等问题进行了详细的阐述,并提出可行的解决方案。最后作者对高品质石墨烯的未来进行了展望,提出了高品质石墨烯的制备应立足于对CVD基本过程的理解、有效的石墨烯品质评估手段和宏量制备设备的改进等前瞻性意见。

文中报道的一系列创新性研究成果,指明了高品质石墨烯薄膜的高端应用方向,对促进石墨烯产业的良性可持续发展有重要意义。此项工作得到了国家自然科学基金委、科技部国家重点研究计划、北京市科委项目的经费支持。

References

- (1) Novoselov, K. S.; Falko, V. I.; Colombo, L.; Gellert, P. R.; Schwab, M. G.; Kim, K. *Nature* **2012**, *490*, 192. doi: 10.1038/nature11458
- (2) Li, X. S.; Cai, W. W.; An, J. H.; Kim, S. Y.; Nah, J. H.; Yang, D. X.; Piner, R.; Velamakanni, A.; Jung, I.; Tutuc, E.; *et al.* *Science* **2009**, *324*, 1312. doi: 10.1126/science.1171245
- (3) Huang, P. Y.; Ruiz-Vargas, C. S.; van der Zande, A. M.; Whitney, W. S.; Levendoff, M. P.; Kevek, J. W.; Garg, S.; Alden, J. S.; Hustedt, C. J.; Zhu, Y.; *et al.* *Nature* **2011**, *469*, 389. doi: 10.1038/nature09718
- (4) Deng, B.; Pang, Z. Q.; Chen, S. L.; Li, X.; Meng, C. X.; Li, J. Y.; Liu, M. X.; Wu, J. X.; Qi, Y.; Dang, W. H.; *et al.* *ACS Nano* **2017**, *11*, 12337. doi: 10.1021/acsnano.7b06196
- (5) Lin, Y. C.; Lu, C. C.; Yeh, C. H.; Jin, C. H.; Suenaga, K.; Chiu, P. W. *Nano Lett.* **2012**, *12*, 414. doi: 10.1021/nl203733r
- (6) Yan, K.; Peng, H. L.; Zhou, Y.; Li, H.; Liu, Z. F. *Nano Lett.* **2011**, *11*, 1106. doi: 10.1021/nl104000b
- (7) Lin, L. Li, J. Y.; Ren, H. Y.; Koh, A. L.; Kang, N.; Peng, H. L.; Xu, H. Q.; Liu, Z. F. *ACS Nano* **2016**, *10*, 2922. doi: 10.1021/acsnano.6b00041
- (8) Yan, K.; Wu, D.; Peng, H. L.; Jin, L.; Fu, Q.; Bao, X. H.; Liu, Z. F. *Nat. Commun.* **2012**, *3*, 1280. doi: 10.1038/ncomms2286
- (9) Lin, L.; Deng, B.; Sun, J. Y.; Peng, H. L.; Liu, Z. F. *Chem. Rev.* **2018**, *118*, 9281. doi: 10.1021/acs.chemrev.8b00325