

石墨烯：一个持续十年的传奇故事

石墨烯是碳材料家族的又一个传奇，已经演绎出长达十年的研究热潮，目前仍无降温的迹象。十年是个可资纪念的时间节点，这也是组织本期特刊的直接诱因。

其实 2004 年并非石墨烯的发现元年，发现者也并非 Andre Geim, Geim 本人在 2010 年 1 月号的 APS News 上撰文明确指出了这一点^[1]。早在 1962 年, H.P. Boehm 等人在电镜上就观察到了数层甚至单层石墨(氧化物)的存在^[2]，而少层石墨片的外延生长研究至少可以追溯到 1975 年，来自 A.J. van Bommel 等人的报导^[3]。用透明胶带从块体石墨剥离薄层石墨片的尝试也并非始于 Geim 和 Novoselov，德克萨斯大学奥斯汀分校的 Rod Ruoff 等人 1999 年就有过相关报导^[4]。实际上，这也是用高序热解石墨(HOPG)作为 STM 实验样品衬底时获得新鲜石墨表面的通用做法，笔者当年在国外做学位论文实验时就经常用到。不可否认的是，2004 年 10 月 22 日发表在 Science 期刊上有关少层乃至单层石墨片的独特电学性质的文章才真正引发了石墨烯淘金热^[5]，也为 Geim 和 Novoselov 带来了诺贝尔物理学奖殊荣，仅仅六年以后的事情。正如碳纳米管和富勒烯一样，石墨烯热的背后也隐藏着许多故事，其中 Philip Kim 和 Walt de Heer 等人的贡献不可忽视。哥伦比亚大学的 Philip Kim 课题组最早报道了石墨烯的量子霍尔效应和 Berry 相的观测结果^[6]；佐治亚理工学院的 Walt de Heer 教授在 Geim 等人的工作发表之前，就独立地在碳化硅单晶上实现了石墨烯的外延生长，并报道了超薄石墨薄膜的二维电子气特性^[7]，这也是此人颇有微词的一个原因。Geim 在 2010 年 12 月 8 日所做的诺贝尔奖获奖演讲中，讲述了通往石墨烯之路的曲折故事和心路旅程，值得一读。

作为最具代表性的二维原子晶体材料，石墨烯有着巨大的比表面积($2630 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$)、极高的杨氏模量(1.06 TPa)和断裂应力($\sim 130 \text{ GPa}$)、超高电导率($\sim 10^6 \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$)和热导率($5000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)。石墨烯中的载流子迁移率远高于传统的硅材料，室温下载流子的本征迁移率高达 $200,000 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ，而典型的硅场效应晶体管的电子迁移率仅约 $1000 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 。加上良好的柔韧性和透光性、极高的化学稳定性以及批量可制备性，石墨烯是过去十年里当之无愧的明星材料，在高性能复合材料、柔性显示与柔性电子器件、电

化学储能、光通讯、超高频电子器件、光电检测与传感器件等诸多领域有着广阔的应用前景。欧盟于 2013 年启动为期十年的石墨烯旗舰计划，在确保石墨烯淘金热策源地的先发优势的同时，致力于率先实现从石墨烯科学到石墨烯产业的飞跃。韩国是石墨烯领域的黑马，以三星公司为核心，形成了由企业和大学组成的庞大的石墨烯协同创新网络，并制定了详细的产业化路线图。此外，剑桥大学、曼切斯特大学、新加坡国立大学等许多科研机构纷纷成立了石墨烯研究中心。我国也有一支人数众多的石墨烯研究队伍，发表论文总数已超过美国，跃居世界第一位。在产业化研发方面也有可圈可点的表现，近三年来地方政府和企业投入已逾四亿元，年产能达到数百吨，在锂离子电池、手机触摸屏等领域已进入量产阶段。毋庸置疑，石墨烯研究已经逐渐走出象牙塔，进入产业化阶段，在未来二十年间，石墨烯制品必将走进人们的生活。

本特刊收录了十三篇石墨烯相关论文，涵盖了化学气相沉积(CVD)生长石墨烯的实验和理论工作以及氧化石墨烯的微波还原方法、石墨烯的可控掺杂和化学修饰、石墨烯的拉曼光谱表征技术、以及石墨烯在锂离子电池、电化学传感、microRNA 分析和 DNA 测序等领域的应用探索等，基本上反映了当前石墨烯研究的热点方向。倘若能够对了解和推动我国的石墨烯研究有所助益，也就实现了本特刊的初衷。

本期特刊是所有参与者和审稿人辛勤劳动的结晶，也离不开编辑部工作人员的努力，在此一并表示诚挚的感谢。



刘忠范

北京大学化学与分子工程学院
2014 年 3 月 7 日

References

- [1] Geim, A. *APS News* **2010**, 19(1), 4.
- [2] Boehm, H. P.; Clauss, A.; Hofmann, U.; Fischer, G. O. *Z. Naturforschung* **1962**, 17B, 150.
- [3] van Bommel, A. J.; Crombeen, J. E.; van Tooren, A. *Surf. Sci.* **1975**, 48, 463.
- [4] Lu, X. K.; Yu, M. F.; Huang, H.; Ruoff, R. S. *Nanotechnology* **1999**, 10, 269.
- [5] Novoselov, K. S.; Geim, A. K.; Morozov, S. V.; Jiang, D.; Zhang, Y.; Dubonos, S. V.; Grigorieva, I. V.; Firstov, A. A. *Science* **2004**, 306, 666.
- [6] Zhang, Y.; Tan, Y. W.; Stormer, H. L.; Kim, P. *Nature* **2005**, 438, 201.
- [7] Berger, C.; Song, Z.; Li, T.; Li, X.; Ogbazghi, A. Y.; Feng, R.; Dai, Z.; Marchenkov, A. N.; Conrad, E. H.; First, P. N.; de Heer, W. A. *J. Phys. Chem. B* **2004**, 108, 19912.