

# Synthesis of Nano-Carbon Sheets by Arc in Water

Chun-cai Kong, Shao-dong Sun, Zhi-mao Yang

School of Science, Xi'an Jiaotong University, MOE Key laboratory for Non-equilibrium Synthesis and Modulation of Condensed Matter,  
Xi'an 710049, China  
Email: zmyang@mail.xjtu.edu.cn

**Abstract:** Carbon nanosheets were prepared by arc discharge in water system under various temperature of deionized water, discharging current, discharge time and density of absolute ethyl alcohol respectively. Scanning electronic microscope (SEM) and transmission electronic microscope (TEM) were employed to analysis the structure characterization of carbon nanosheets.

**Keywords:** carbon nanosheets; arc in water; graphene

## 水下电弧法制备纳米碳片

孔春才, 孙少东, 杨志懋

西安交通大学 理学院, 物质非平衡合成与调控教育部重点实验室, 中国 西安 710049  
Email: zmyang@mail.xjtu.edu.cn

**摘要:** 采用自行设计搭建的水下电弧放电平台, 通过改变去离子水温度的大小、电流的高低、放电时间的长短和无水乙醇浓度的高低, 制备出了不同条件下的纳米碳片。利用扫描电子显微镜和透射电子显微镜对纳米碳片的表面形貌和结构进行表征分析, 并对水下电弧放电制备纳米碳片的形成机理进行初步的探讨。

**关键词:** 纳米碳片; 水下电弧; 单原子层二维碳片

## 1 引言

纳米碳片尤其是单原子层二维碳片近几年来受到了科学界广泛的关注, 单原子层二维碳片是能够在环境中独立稳定存在的严格意义上的二维晶体<sup>[1][2]</sup>, 其独特的物理特性和电子特性: 双极性超导电场的电场效应<sup>[3][4]</sup>、完美的量子隧穿效应<sup>[5][6]</sup>、安德森局域化的弱化现象<sup>[7]</sup>、从不消失的电导率<sup>[8]</sup>以及半整数霍尔效应<sup>[3]</sup>, 决定其在半导体、储能、电子传输、复合材料等领域有广泛的应用前景。因此如何高效的制备出纳米碳片对于研究其性能和应用具有十分重要的意义。本文应用水下电弧法制备纳米碳片, 通过改变电流、放电时间和添加剂浓度等制备出不同条件下的纳米碳片, 利用扫描电子显微镜 (SEM) 和透射电子显微镜 (TEM) 对纳米碳片表征, 目的在于探索纳米碳片的制备工艺, 探索制备条件的影响, 对纳米碳片的形成机理进行初步的探讨, 为纳米碳片的发展和应用提供资料。

资助信息: 国家自然科学基金重点项目 (5057050 和 50834003)

## 2 实验

### 2.1 实验平台

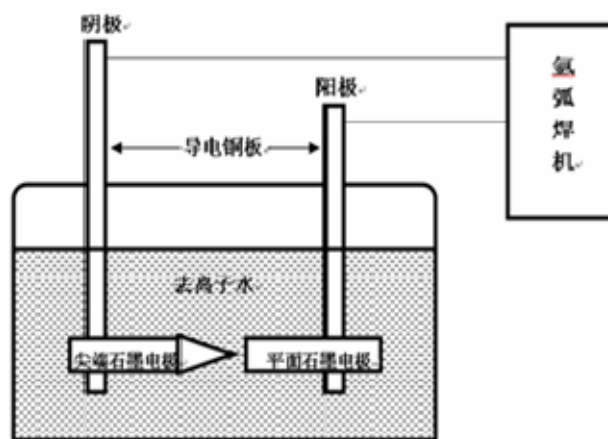


Fig 1 Schematic illustration of experiment  
图 1 实验装置示意图

本实验所用电源设备为氩弧焊机, 实验平台结构如图 1 所示。试验中用玻璃容器盛放去离子水或乙醇溶液,

可以清晰的观察和记录实验过程，阴极和阳极均为导电铜板，采用高速摄影机（Phantom V9.0）拍摄放电过程中电弧的形态变化和特征

## 2.2 样品的性能及表征

纳米碳片形貌的分析用日本电子公司的JSM-7000F 场发射扫描电镜，其结构分析用日本电子公司JEM-2100 透射电子显微镜，样品分散在乙醇介质中，在铜网上进行测定分析。

## 3 结果与讨论

### 3.1 高速摄影观察实验过程

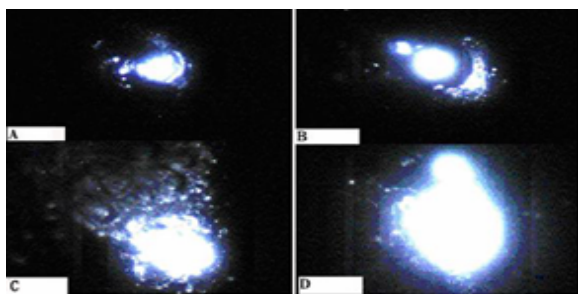


Figure 2 The arc movement recorded by the high-speed video camera

图 2.高速摄影下的电弧变化

图2为高速摄影拍摄下的电弧放电过程中电弧形态的变化过程：放电刚开始的时候从阴极尖端到阳极面的电弧为圆锥状，电弧较弱，如（A）所示；在（B）中我们可以看到阳极表面电弧的燃烧，有少量气泡产生；（C）图中发现有大量的气泡产生，且电弧有所分散；（D）图显示出电弧向上延伸。电弧放电的过程中，会产生很高的温度，这样的温度下首先水会气化，认为水蒸气是气泡的组成成分之一；另外石墨电极会跟水发生反应： $C+H_2O=CO+H_2$

### 3.2 纳米碳片的形貌和结构表征

图3为不同石墨电极表面生成物的SEM照片，从a图中我们可以看到沉积在阴极表面的为碳纳米管，并没有纳米碳片的生成。b图是在同一放电条件下阳极表面的SEM照片，可以看到有纳米碳片生成。我们可以得知纳米碳片生成在石墨阳极表面。

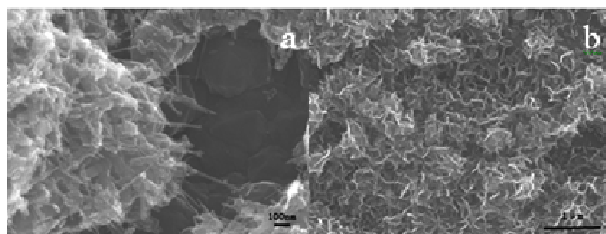


Figure 3 SEM images of the products on graphite (a) carbon nanotube on cathode: current 60A , time 0.5s;(b) carbon nanosheets on anode: current 60A , time 0.5s;

图3 石墨电极表面产物的SEM照片：a 阴极表面的碳纳米管 60A, 0.5s; b 阳极表面的纳米碳片 60A, 0.5s

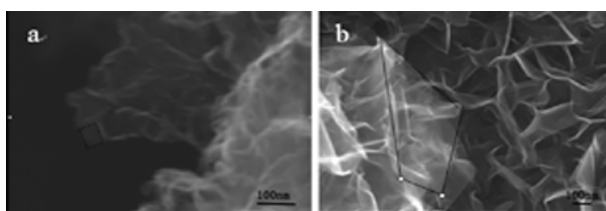


Figure 4 SEM images of carbon nanosheets: (a) current 60A, time 0.1s, deionized water(b) current 60A, time 0.5s, pure ethanol

图4 纳米碳片的SEM照片：(a) 60A, 0.1s, 去离子水; (b) 60A, 0.5s, 100% C2H5OH

图4所示为在去离子水和100%无水乙醇中制备的纳米碳片SEM照片，比较a,b两幅图我们可以看出无水乙醇的加入使得碳片的厚度有所增加，片层的大小跟没有加入无水乙醇前实验相比也有不同程度的增大。图4（b）中黑框标定的位置与图4（a）中用黑框标定的位置相比较而言，碳片面积增大，不过碳片的厚度增加了许多。

在TEM表征下会发现总是几层纳米碳片平行的排列在一起，边缘处突起，突起处与本身的纳米碳片呈现出接近垂直的方位关系。图5所展示的是六张多层纳米碳片并行排列的TEM照片，位于右上角的是每张图中的局部放大的照片。观察大图可以明显的看到纳米碳片的边缘，相应地在放大区域可以辨认此处的纳米碳片的层数，并算出每层的平均厚度，表1给出了每张图中具体的层数和厚度大小。

### 3.3 纳米碳片形成机理的探讨

在水下电弧放电实验中，位于被水强烈压缩电弧中心对应的阳极部位首当其冲得到了大部分能量，由于受到电子直接轰击因此这部分阳极材料大多会气化并电离进

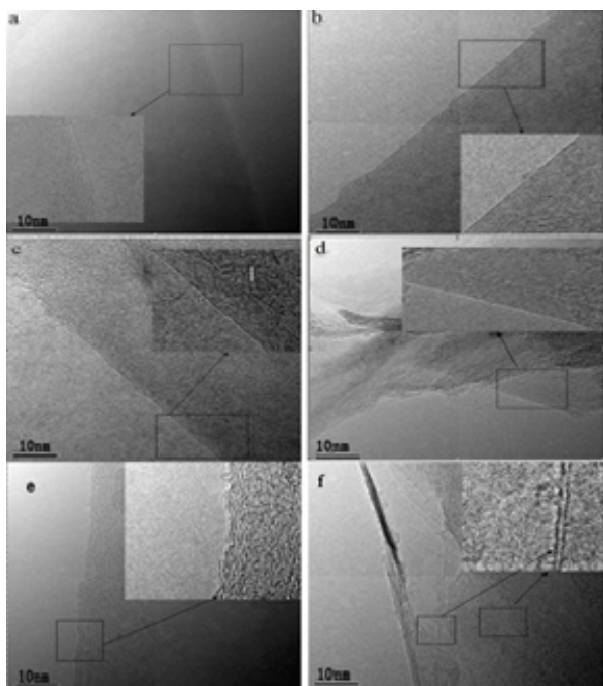


Figure 5 TEM images of carbon nanosheets  
图 5 纳米碳片的 TEM 照片

Table 1 The layer and thickness of carbon nanosheets

表 1 纳米碳片的层数与厚度

图号	层数 (atom)	单层厚度(0.1nm)
a	7	3.0
b	10	3.2
c	10	3.1
d	9	3.0
e	4	3.0
f	2	3.3

入电弧。同时,电子的连续轰击使得阳极温度上升,靠近电弧的阳极材料随即汽化。远离弧心阳极受电子直接轰击的几率相对很小,远离弧心处阳极在电弧中主要发生

反应,可能是结构中较弱的化学键优先断裂,所得结构碎片直接气化进入电弧。在电场和温度场的影响下,气化的碳原子在阳极表面发生沉积,与未达到饱和的碳原子结合,在电场的诱导作用下,沿着电场的方向,碳原子就会不断地与已经生长的碳层上面不饱和的碳原子结合,使得碳片长大。当碳原子键饱和或者碳原子得不到足够的结合能碳层就会停止生长。

## 4 结论

以高纯光谱石墨做电极,采用水下电弧放电的方法,在阳极石墨表面生成纳米碳片。通过改变实验中放电电流、放电时间和放电介质,发现电流和放电时间对纳米碳片的形成影响不大,乙醇溶液中制备出来的纳米面积更大更薄。制备出的纳米碳片为波浪状形貌,层数都在 10 个原子层以下,平均单层厚度在 0.3nm 左右。

## 5 致谢

感谢国家自然科学基金重点项目(5057050 和 50834003)的资助

## References (参考文献)

- [1] Novoselov K S. et al. Electric field effect in atomically thin carbon films [J]. *Science*, 2004, 306:666-669.
- [2] Morozov S V. et al. Two-dimensional electron and hole gases at the surface of graphite [J]. *Phys. Rev. B*, 2005, 72 :201401
- [3] Yuanbo Zhang, Yanwen Tan. et al. Experimental observation of the quantum Hall effect and Berry's phase in graphene [J]. *Nature*, 2005, 438:201-204.
- [4] Hubert B, Heersche P, et al. .Bipolar supercurrent in graphene [J].*Nature*, 2007, 446:56-59.
- [5] Pereira J.M, Mlinar V, et al. Confined states and direction-dependent transmission in graphene quantum wells [J].*Phys. Rev. B* ,2006, 74 :045424
- [6] Cheianov V V, Falko V I. Selective transmission of Dirac electrons and ballistic magnetoresistance of n-p junctions in graphene [J].*Phys. Rev. B* , 2006,74 :041403
- [7] Novoselov K S. Two-dimensional atomic crystals [J]. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 2005, 102:10451-10453.
- [8] Novoselov K S. et al. Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene [J]. *Nature* 2005, 438:197-200.