

# 反应溅射 CN 薄膜的场发射特性\*

林洪峰 谢二庆<sup>†</sup> 张 军 颜小琴 陈支勇

(兰州大学物理科学与技术学院, 兰州 730000)

**摘要:** 利用反应射频溅射方法在硅单晶衬底上沉积碳氮(CN)薄膜. 原子力显微镜(AFM)研究结果表明, CN 薄膜表面覆盖有纳米 CN 锥状物, 所制备的 CN 薄膜具有良好的场发射特性, 最大发射电流密度达到 $\sim 10\text{mA}/\text{cm}^2$ , 并且未出现电流饱和现象. 薄膜表面的 CN 纳米锥有利于薄膜的场发射, 重复测量结果表明, CN 薄膜的发射特性得到改善和提高.

**关键词:** 反应溅射; CN 薄膜; 场发射

**PACC:** 5270G; 7900; 7970

**中图分类号:** O484

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4177(2006)S0-0211-03

## 1 引言

大量的研究表明, 碳基材料(包括非晶碳、金刚石、类金刚石以及碳纳米管等)通常具有较低的阈值电场和较高的场发射电流密度的特性, 在未来场发射平板显示器件领域具有很大的应用潜力<sup>[1-4]</sup>. 近几年来, 在非晶碳、金刚石等碳基材料中掺入一定量的氮元素, 可有效提高其场发射电流, 引起人们广泛研究<sup>[5,6]</sup>. 已有报道表明, 生长过程中的氮分压和退火温度对薄膜的场发射性能有很大影响, 适宜的氮分压和退火温度参数最有利于薄膜场发射性能的提高<sup>[7,8]</sup>. 基于此, 本工作利用射频溅射法在一定的氮分压和衬底温度条件下沉积制备 N 掺杂碳(CN)薄膜, 并研究了 CN 薄膜的场发射特性.

## 2 实验

采用 JS-450 型射频溅射仪制备 CN 薄膜, 阴极靶是高纯石墨. 衬底采用 n 型单晶硅片, 衬底温度采用铂铑热电偶测量, 本工作选择的衬底温度为 $400^\circ\text{C}$ . 实验中采用高纯氩气(Ar: 99.999%)作为溅射气体, 高纯氮气( $\text{N}_2$ : 99.999%)作为反应气体(掺杂气体). 射频电源的频率为 13.56MHz, 输出功率为 320W. 衬底与靶之间的距离为 40mm. 实验本底真空压强达 $10^{-6}$  Torr, 溅射工作气压为 $9 \times 10^{-3}$  Torr. 溅射沉积 C 薄膜时, Ar 流量为 18sccm, 沉积 CN 薄膜时, Ar 和  $\text{N}_2$  流量均为 18sccm(流量比为 1:1), 溅射时间为 1h.

用 AFM(SPM-9500J)对样品表面形貌进行了表征. 采用平板二极式结构研究了 CN 薄膜的场发射特性. 场发射测量在 $10^{-6}$  Torr 的真空条件下进行.

## 3 结果与讨论

为研究氮掺杂对薄膜样品场发射性能的影响, 在相同工艺条件下(Ar 气氛)制备了未掺 N 的碳薄膜样品, 并同时测量了未掺 N 和掺 N 样品的场发射特性曲线, 如图 1 所示. 可以看出, CN 薄膜样品的发射性能明显优于未掺 N 的碳薄膜样品. CN 薄膜的场发射电流达到 $\sim 7.5\text{mA}/\text{cm}^2$ , 而 C 薄膜相应的发射电流仅 $\sim 1\text{mA}/\text{cm}^2$ . 实验发现, CN 样品在场发射的过程中伴有电流震荡现象, 这种现象有点类似于碳纳米管的场发射过程.

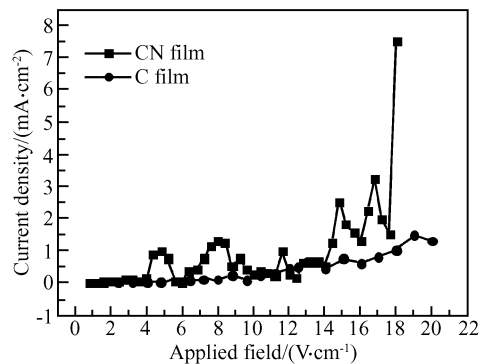


图 1 C 薄膜和 CN 样品的场发射 I-V 曲线

Fig. 1 I-V plots of C and CN films

\* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 60176002)

<sup>†</sup> 通信作者. Email: xieeq@lzu.edu.cn

2005-10-27 收到

为进一步研究 CN 薄膜的场发射特性,实验重复测量了样品的场发射电流.图 2 给出的是对 CN 样品进行三次循环测量的结果.分析表明,第二次测量得到的发射电流优于第一次的结果,第三次的结果则优于第二次的结果.随着测量次数的增加,在相同外加场强的作用下样品的发射电流也相应增加,这种增加的趋势在较高外场( $>15\text{V}/\mu\text{m}$ )的区域更突出.值得注意的是,三次测量的结果均存在明显的发射电流震荡现象,在低发射电流区段尤为明显.此外,在实验的测量范围内没有出现电流饱和现象.研究表明,在场发射的测量过程中,由于薄膜表面吸附气体分子的存在会引起发射电流的震荡波动,但是重复测量以及较大的电流发射之后,吸附气体的影响将会减弱<sup>[9]</sup>.经过三次循环测量,CN 样品的发射电流震荡波动现象还是明显存在,尤其是在发射电流较小的区域( $<3\text{mA}/\text{cm}^2$ ),这可能与薄膜的表面结构有关.图 3 给出了 CN 薄膜场发射相应的  $F-N$  曲线, $\lg(I/V^2)$  和  $1/V$  不是简单的线性关系,与传统金属材料的场发射  $FN$  理论有偏离.可以看出,在三次测量高场区域(发射电流较大区域) $F-N$  曲线存在较好的线性关系.

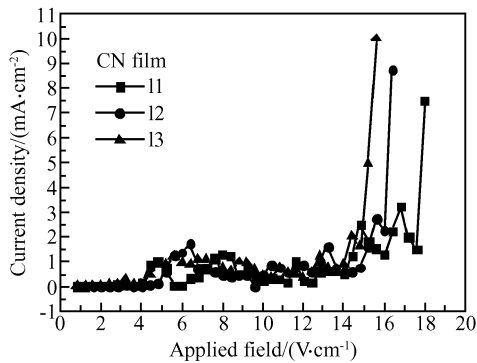


图 2 CN 样品的场发射  $I-V$  曲线  
Fig. 2  $I-V$  plots of CN films

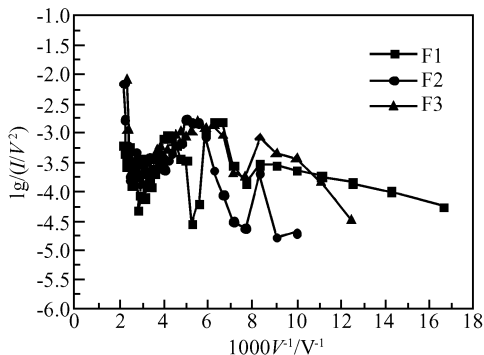


图 3 CN 样品的场发射  $F-N$  曲线  
Fig. 3  $F-N$  plots of CN films

图 4 为 CN 样品的表面形貌 AFM 照片.可见,薄膜表面分布有排列规则的锥状突起物,这些锥状突起物的存在给 CN 薄膜的场发射提供了有利的几何增强因子,使其表现出良好的场发射性能.分析表明,CN 薄膜表面的这些锥状物的高度并不完全一致,有的达 $\sim 70\text{nm}$ ,有的 $\sim 20\text{nm}$ .这种高度的不均匀会引起局部区域场强的分布不同.对于较高尺寸的锥状物,由于纵横比较大,在外加电场的作用下,其尖端容易产生较高的局部场强,从而电子容易从这些尖端部位发射出来.而对于尺寸相对较低的锥状物,其尖端处的局域场强也相对较低,要获得较多数量电子的发射就需要相对较强的外场作用.前面分析的发射电流震荡现象与薄膜表面的这种结构有密切的联系.随着外加电场的增强,表面参与电子发射的部位也逐渐增多.然而,随着发射电流的增大,局部场强较大的尖端部位由于热效应的增强可能破坏其尖端部位,导致电子不易发射,这样就产生了电流的震荡现象.同时,尺寸较低的锥状部位随着外场的增强越来越多的参与发射电子,使总的发射电流趋于增大,当外电场施加到某一值的时候,薄膜表面锥状结构均参与发射,此时的电子发射达到最佳情况,相应的发射电流也达到最大值.

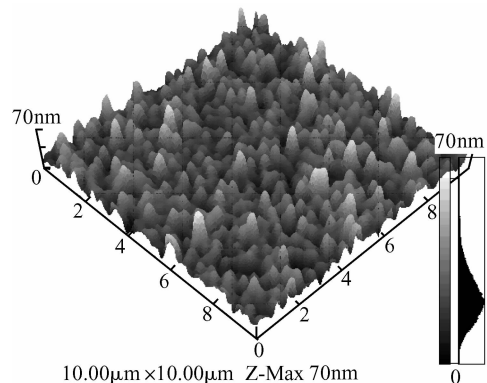


图 4 CN 样品的 AFM 照片  
Fig. 4 AFM image of CN film

## 4 结论

利用反应射频溅射方法在硅单晶衬底上沉积了 CN 薄膜.分析结果表明,由于 N 的掺入,CN 薄膜表现出良好的场发射性能,场发射性能明显优于未掺杂碳薄膜;另一方面,CN 薄膜表面存在的纳米锥状突起物也有效地提高了 CN 薄膜的场发射性能.

## 参考文献

- [1] Milne W I, Tsai J T H, Teo K B K. Novel field emission structure based on tetrahedrally bonded amorphous carbon. *Diam Relat Mater*, 2003, 12: 195

- [ 2 ] Zhang W J, Meng X M, Chan C Y, et al. Oriented single-crystal diamond cones and their arrays. *Appl Phys Lett*, 2003, 82:2622
- [ 3 ] Inoue T, Ogletree D F, Salmeron M. Field emission study of diamond-like carbon films with scanned-probe field-emission force microscopy. *Appl Phys Lett*, 2000, 76:2961
- [ 4 ] Matsumoto K, Kinoshita S, Gotoh Y, et al. Ultralow biased field emitter using single-wall carbon nanotube directly grown onto silicon tip by thermal chemical vapor deposition. *Appl Phys Lett*, 2001, 78:539
- [ 5 ] Amaratunga G A J, Silva S R P. Nitrogen containing hydrogenated amorphous carbon for thin-film field emission cathodes. *Appl Phys Lett*, 1996, 68:2529
- [ 6 ] Sowers A T, Ward B L, English S L, et al. Field emission properties of nitrogen-doped diamond films. *J Appl Phys*, 1999, 86:3973
- [ 7 ] Fogarassy E, Szorenyi T, Antoni F, et al. Influence of the nitrogen content on the field emission properties of a-CN<sub>x</sub> films prepared by pulsed laser deposition. *Appl Surf Sci*, 2002, 197/198:316
- [ 8 ] Yu G Q, Lee S H, Leea J J. Effects of thermal annealing on amorphous carbon nitride films by r. f. PECVD. *Diam Relat Mater*, 2002, 11:1633
- [ 9 ] Semet V, Binh V T, Vincent P, et al. Field electron emission from individual carbon nanotubes of a vertically aligned array. *Appl Phys Lett*, 2002, 81:343

## Field Emission from Reaction Sputtering CN Films \*

Lin Hongfeng, Xie Erqing<sup>†</sup>, Zhang Jun, Yan Xiaoqin, and Chen Zhiyong

(School of Physical Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Carbon nitride (CN) films are deposited with reaction sputtering method. Nano-cone arrays are formed and distributed large areas on the surface of CN films with this method. CN films show excellent field emission behavior with a current density  $\sim 10\text{mA}/\text{cm}^2$  at  $15.5\text{V}/\mu\text{m}$  due to their unique geometrical configurations. The field emission properties of the CN films can also be meliorated through circular survey experiments, which may lead to CN films be a great potential cold cathode materials for future field emission display.

**Key words:** reaction sputtering; CN films; field emission

**PACC:** 5270G; 7900; 7970

**Article ID:** 0253-4177(2006)S0-0211-03

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China(No.60176002)

<sup>†</sup> Corresponding author. Email: xieeq@lzu.edu.cn

Received 27 October 2005