

## 掺氮对类金刚石薄膜场发射的影响<sup>1</sup>

马会中 张 兰 姚 宁\* 李运均\* 毕兆琪\*  
王小平\*\* 张兵临\* 胡欢陵\*\*\*

(郑州工业大学数理系 郑州 450002)

\*(郑州大学物理工程学院 郑州 450052)

\*\* (郑州航空管理学院 郑州 450005)

\*\*\* (中国科学院安徽光学精密机械研究所 合肥 230031)

**摘 要** 利用脉冲激光沉积技术制备出了掺氮和未掺氮的类金刚石薄膜。采用 X 射线衍射仪、喇曼光谱仪、扫描电镜观察了掺氮和未掺氮类金刚石薄膜的微结构和表面形貌。场发射实验表明, 掺氮降低了类金刚石薄膜的阈值电场, 提高了发射电流密度。

**关键词** 脉冲激光沉积, 类金刚石薄膜, 场发射

**中图分类号** O462.4

### 1 引言

随着平板显示技术的不断发展, 寻找薄膜材料作为好的冷阴极的工作已成为人们关注的焦点。用金刚石和类金刚石 (DLC) 薄膜作为冷阴极材料的场发射性能研究工作已有不少报道<sup>[1-5]</sup>, 并已显示出了它们在平板显示器上广泛的应用前景。但均匀性、稳定性及发射电流密度不高, 已成为影响这些薄膜作为阴极用于平板显示器件的关键。这使得人们去努力探索解决这些问题的途径。我们利用脉冲激光沉积法制备了掺氮和未掺氮的类金刚石薄膜。通过场发射实验观察到, 掺氮的类金刚石薄膜有较好的场发射特性, 并对它的场发射机理进行了初步的探讨。

### 2 实验

我们采用脉冲激光沉积法, 利用 KrF 准分子激光器作为辐射光源, 镀钼陶瓷为衬底, 在室温下制备了类金刚石薄膜, 沉积室内真空度为  $5 \times 10^{-4}$  Pa。采用同样的方法, 在沉积过程中通入高纯氮气, 使沉积室内的气压达到 5 Pa, 从而制备了掺氮的类金刚石薄膜。为了提高掺杂效率, 在沉积过程中, 在衬底与碳靶之间加上了 800 V/cm 的电场。

利用 X 射线衍射仪、喇曼光谱仪和扫描电镜观察了掺氮和未掺氮类金刚石薄膜的微结构和表面形貌。

把掺氮和未掺氮类金刚石薄膜分别作为阴极, 镀透明导电薄膜 (ITO) 的玻璃作为阳极, 采用二极管结构, 测试了这两种薄膜的场发射特性。

### 3 实验结果与讨论

X 射线衍射没有显示出有任何碳峰结构。图 1 给出了样品的喇曼光谱。喇曼光谱则显示出在  $1340\text{cm}^{-1}$  与  $1580\text{cm}^{-1}$  处各有一宽带结构, 分别对应 D 线和 G 线, 其喇曼光谱线型与 F. Y. Chuang 等人报道的类金刚石薄膜的喇曼光谱线型相同<sup>[2]</sup>, 从而可确定该薄膜为类金刚石薄膜。

图 2 给出了不同放大倍数的掺氮和未掺氮类金刚石薄膜的电镜照片。从图中可看出未掺氮类金刚石薄膜是由  $0.7\mu\text{m}$  至  $6\mu\text{m}$  大小不一的不规则球形组成, 这些不规则球形的边界较平滑。掺氮类金刚石薄膜是由  $4\mu\text{m}$  至  $24\mu\text{m}$  大小的更为不规则的形状组成。

<sup>1</sup> 1999-07-26 收到, 1999-08-13 定稿  
863 计划新材料领域资助项目

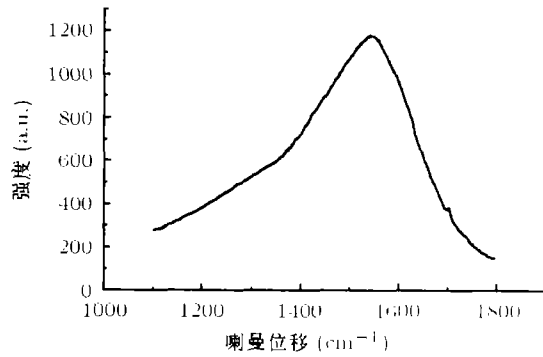
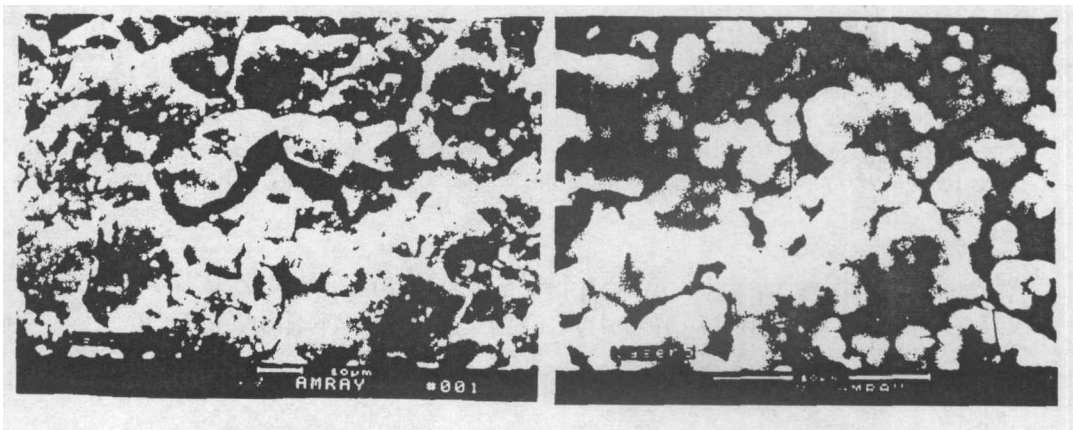


图 1 类金刚石薄膜的喇曼光谱



(a) ×500, 25kV

(b) ×1000, 25kV

图 2 掺氮 (a) 和未掺氮 (b) 的类金刚石薄膜扫描电镜照片

我们用掺氮和未掺氮的类金刚石薄膜分别作阴极, 镀 ITO 的玻璃作阳极采用二极管结构进行了场发射实验。图 3 给出了这两种薄膜的电流-电压特性曲线。掺氮的类金刚石薄膜的阈值电场为  $2\text{V}/\mu\text{m}$ , 未掺氮的类金刚石薄膜的阈值电场为  $4\text{V}/\mu\text{m}$ 。在同样的电场  $14\text{V}/\mu\text{m}$  下, 这两种薄膜的电流密度分别为  $J_{\text{DLC}} = 10\mu\text{A}/\text{cm}^2$  和  $J_{\text{N-DLC}} = 12.5\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 。很显然, 掺氮使得类金刚石薄膜的场发射阈值电场降低, 而电流密度却提高了。但是掺氮使得类金刚石薄膜

场发射性能提高的机理仍不甚清楚。可以认为是由于掺氮, 使得类金刚石薄膜的带隙间产生了新的杂质带, 从而提高了费米能级, 导致表面逸出功下降, 逸出功的下降, 使得电子很容易发射到真空中去, 以利于场发射。同时由于掺氮使得类金刚石薄膜的电导率提高了, 因而电子就能够从基底钼上穿过类金刚石薄膜而到达薄膜表面, 从而使场发射的电子来源得到大量的补充。但还不清楚是由于掺氮提高了费米能级, 还是由于掺氮减小了带隙从而引起了电导率的提高。

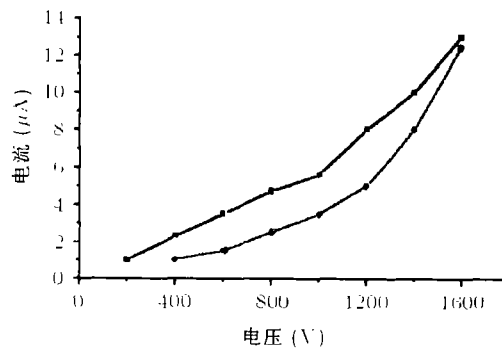


图 3 掺氮 (■) 和未掺氮 (●) 的类金刚石薄膜场发射电流-电压曲线

从电镜照片上可以观察到, 掺氮后的类金刚石薄膜上的不规则球形状的边界变得有棱边了, 这些棱边的出现可能会产生场增强效应。

#### 4 结 论

通过掺氮和未掺氮类金刚石薄膜的场发射实验的比较表明, 掺氮能提高类金刚石薄膜的场发射性能: 即降低阈值场、提高发射电流密度。其原因在于氮杂质带的形成, 不仅提高了薄膜电导率, 而且可能导致费米能级的提高, 从而使逸出功减小。

#### 参 考 文 献

- [1] Z. Feng, I. G. Brown, J. W. Auger, Electron emission from chemical vapor deposited diamond and amorphous carbon films observed with a simple field emission device, *J. Mater. Res.*, 1995, 10(7), 1585-1588.
- [2] F. Y. Chuang, C. Y. Sun, *et al.*, Local electron field emission characteristics of pulsed laser deposited diamondlike carbon films, *Appl. Phys. Lett.*, 1996, 69(23), 3504-3506.
- [3] Young Kyu Hong, Ju-Jin Kim, *et al.*, Field electron emission of diamond-like-carbon films deposited by a laser ablation method, *Technical Digest of IVCM'97, Korea*, 1997, 532-536.
- [4] G. A. J. Amaratunga, S. R. P. Silva, Nitrogen containing hydrogenated amorphous carbon for thin-film field emission cathodes, *Appl. Phys. Lett.*, 68(18), 1996, 2529-2531.
- [5] J. Chen, A. X. Wei, *et al.*, Study of field electron emission phenomena associated with n-doped amorphous diamond films, *Journal of Vacuum Science and Technology*, B16(2), 1998, 697-699.

### THE EFFECT OF NITROGEN ADDITION ON FIELD EMISSION OF DIAMOND-LIKE CARBON FILMS

Ma Huizhong   Zhang Lan   Yao Ning\*   Bi Zhaoqi\*   Wang Xiaoping\*\*

Li Yunjun\*   Zhang Binglin\*   Hu Huanling\*\*\*

*\*(Dept. of Mathematics and Physics, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)*

*\*(Dept. of Physics, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)*

*\*\* (Zhengzhou Institute of Aeronautical Industrial Management, Zhengzhou 450005, China)*

*\*\*\* (Anhui Optics and Fine Mechanics Inst., Chinese Academy of Sci., Hefei 230031, China)*

**Abstract** The Diamond-Like Carbon (DLC) film and Nitrogen-doped DLC(N-DLC) film are deposited on molybdenum coated ceramic substrate by using the pulsed laser deposition technique. The microstructure and morphology of the films are examined using X-ray diffraction, Raman spectroscopy and scanning electron microscopy. Field emission measurements are carried out by using the diode structure. The field emission measurements indicate that nitrogen doping can lower the turn-on field and increase the current density.

**Key words** Pulsed laser deposition, Diamond-like carbon film, Electron field emission

马会中: 男, 1967年生, 讲师, 博士生, 目前从事脉冲激光沉积技术、金刚石及类金刚石薄膜的场发射研究工作。  
张 兰: 女, 1972年生, 讲师, 硕士生, 主要从事计算机技术在材料科学中的应用研究与教学工作。  
姚 宁: 男, 1961年生, 副教授, 主要从事薄膜材料与薄膜物理方面的教学与研究工作。  
张兵临: 男, 1937年生, 教授, 博士生导师, 主要从事薄膜材料与薄膜物理、激光物理与激光技术等方面的教学与研究工作。