

文章编号: 0258-7025(2003)Supplement-0021-02

# 类石墨薄膜的脉冲激光沉积及场致电子发射特性研究

马会中<sup>1</sup>, 张兰<sup>1</sup>, 姚宁<sup>2</sup>, 张兵临<sup>2</sup>

(郑州大学<sup>1</sup>工学院; <sup>2</sup>物理工程学院, 河南 郑州 450052)

**摘要** 以聚酰亚胺薄膜为靶子,用高电导硅作为衬底,KrF准分子激光器作为辐射光源,利用脉冲激光沉积技术制备出了类石墨薄膜,并以该薄膜为阴极对其进行了场致电子发射特性测试。当阴阳极之间产生放电即发生电形成过程之后,该薄膜的阈值电场从最初的16.9 V/ $\mu\text{m}$ 降到10.8 V/ $\mu\text{m}$ 。当电场为20 V/ $\mu\text{m}$ 时,薄膜场发射的电流密度达到了0.4 mA/ $\text{cm}^2$ ,发射点密度达到 $10^6/\text{cm}^2$ 。利用XPS,Raman光谱及扫描电子显微镜对该薄膜的微结构进行了测试分析。

**关键词** 薄膜物理学; 类石墨薄膜; 脉冲激光沉积; 场致电子发射

中图分类号 O484.1

文献标识码 A

## Research for Deposition and Field Electron Emission from Graphite-Like Film

MA Hui-zhong<sup>1</sup>, Zhang Lan<sup>1</sup>, Yao Ning<sup>2</sup>, Zhang Bing-lin<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Technology of Zhengzhou University, Zhengzhou Henan 450002, China)  
(<sup>2</sup>Physics Institute of Zhengzhou University, Zhengzhou Henan 450002, China)

**Abstract** The graphite-like films were prepared on silicon substrate by using the pulsed KrF laser ablation of a polyimide target, and the field electron emission from the film was observed. After arc forming between the graphite-like film cathode and the indium-tin-oxide (ITO) glass anode, the turn-on field of the graphite-like film decreases from 16.9 to 10.8 V/ $\mu\text{m}$ . The current density is 0.4 mA/ $\text{cm}^2$ , and the emission sites density is in order of  $10^6/\text{cm}^2$  at the applied field of 20 V/ $\mu\text{m}$ . The morphology and the structure of the graphite-like film were measured by using Raman spectroscopy and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). It indicates that there exist graphite-like clusters in the deposition film, which we named as the graphite-like film. The surface structures of the film before and after the field emission measurements were investigated by scanning electron microscopy (SEM).

**Key words** thin-film physics; polyimide; pulsed laser deposition; field electron emission

## 1 引言

随着半导体工艺在真空电子学的应用,场致电子发射平板显示技术得到了迅速发展。而场致电子发射平板显示技术的关键是冷阴极制备。目前国内外已发现金刚石<sup>[1]</sup>、类金刚石<sup>[2]</sup>、碳纳米管<sup>[3]</sup>、石墨<sup>[4]</sup>等多种碳基薄膜都是好的冷阴极发射材料。以碳基薄膜为冷阴极的平板显示器件的研究工作也取得了很大进展。

以聚酰亚胺薄膜为靶子,SiC研磨过的高电导

硅作为衬底,在室温下制备了类石墨薄膜。以该薄膜为阴极进行场发射实验时,观察到两极之间的放电现象。放电之后,类石墨薄膜的阈值电场有较大的降低,发射电流密度有较大的提高。实验结果显示该薄膜有可能成为一种新型冷阴极场发射材料,而在平板显示技术领域得到实际应用。

## 2 实验结果和讨论

实验中,以聚酰亚胺薄膜为靶子,用SiC研磨

基金项目: 河南省自然科学基金(004042000)资助课题。

作者简介: 马会中(1967.11-),男,河南开封人,郑州大学工程力学系副教授,博士,主要从事光电子技术与材料科学的研究。E-mail: mahuizheng@sina.com

过的高电导硅为衬底, KrF 准分子激光器作为辐射光源, 利用脉冲激光沉积技术制备了类石墨薄膜。

在玻璃基片上镀 ITO 薄膜作为阳极, 类石墨薄膜作为阴极构成二极管结构来对类石墨薄膜的场发射特性进行测试。

类石墨薄膜的场发射特性测试在高真空室内进行。阴极、阳极均为光滑的平板电极, 薄膜的表面场强可由  $E=V/d$  得出,  $V$  为加在阴极与阳极之间的电压,  $d$  为阴极与阳极之间的距离。将类石墨薄膜与镀 ITO 的玻璃组成的二极管结构放入真空室内, 抽真空至  $5 \times 10^{-5}$  Pa。缓慢增加电压, 当电场为  $16.9 \text{ V}/\mu\text{m}$  时, 电流表上可测得电流值为  $0.1 \mu\text{A}$ 。同时, 在阴极与阳极之间观察到了放电现象, 称之为电形成过程 (arc forming)。伴随着电形成过程, 类石墨薄膜的阈值电场降到了  $10.8 \text{ V}/\mu\text{m}$ 。在电形成过程中可能发生以下两种现象: 1) 进一步加剧石墨化; 2) 形成一些新的微凸起, 形状如火山口, 从而对场发射起到局域场增强作用, 通过扫描电镜观察到了这种微结构。薄膜放电之前和放电之后的电流-电场曲线如图 1 所示。图 1 中右边的曲线 (向上箭头所标的方向) 是最初加电场时的曲线, 此时的阈值电场较高, 发射电流较低, 两极间伴随有电形成过程。中间曲线 (向下箭头所标的方向) 显示出, 在两极之间出现电形成过程之后, 阈值电场降低了, 而发射电流的值提高了。随即再测试类石墨薄膜的电流-电场强度特性, 其  $I-E$  曲线为图 1 中最左边的曲线。该曲线与中间的曲线近似, 此时的电子场发射已经比较稳定, 具有较好的重复性。相对应的  $F-N$  曲线如图 2 所示, 三条线基本上为直线, 说明发射电子来自于

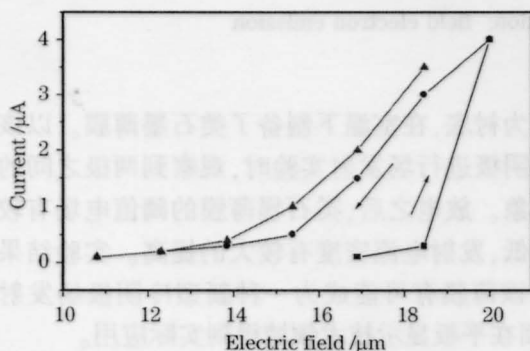


图 1 电形成过程前(■)后(●)及随后(▲)的类石墨薄膜的电流-电场曲线

Fig.1 The current versus electric field plot of the graphite-like film (■) before and (●) after arc discharges, and (▲) subsequent change

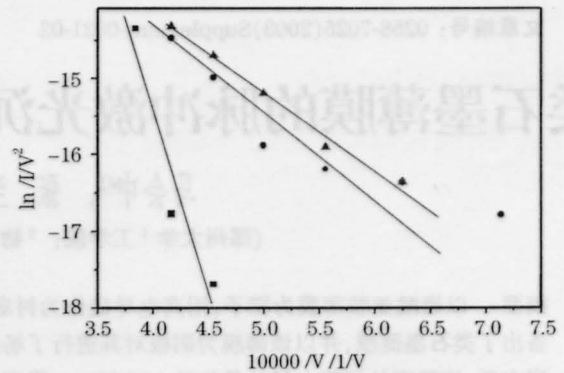


图 2 电形成过程前(■)后(●)及随后(▲)的类石墨薄膜的  $F-N$  曲线

Fig.2 Fowler-Nordheim plot of the graphite-like film (■) before and (●) after arc discharges, and (▲) subsequent change

真正的场发射过程。当电场为  $20 \text{ V}/\mu\text{m}$  时, 电流密度为  $0.4 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 。

利用 CCD 镜头观察并测量了阴极发射点的变化情况。当电场达到  $20 \text{ V}/\mu\text{m}$  时, 发射点密度可以达到  $10^6 / \text{cm}^2$ 。

利用 XPS, Raman 光谱及扫描电子显微镜对该薄膜的微结构进行了测试分析。分析结果表明, 该薄膜为非晶态结构, 并含有较多的碳  $\text{sp}^2$  相, 称之为类石墨薄膜。场发射电子有可能来自于这些  $\text{sp}^2$  相结构。场致电子发射研究结果表明, 出现电形成过程之后, 类石墨薄膜的场发射性能有了较大的提高, 这可能是由于薄膜中存在较多的  $\text{sp}^2$  相结构, 以及局域场增强的结果。该薄膜有可能作为冷阴极电子材料而得到应用。

## 参考文献

- 1 W. Zhu, G. P. Kochanski, S. Jin *et al.*. Electron field emission from ion-implanted diamond[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1995, 67(8): 1157~1159
- 2 Huizhong Ma, Lan Zhang, Ning Yao *et al.*. The effect of nitrogen addition on field emission of diamond-like carbon films[J]. *Diamond and Related Materials*, 2000, 9: 1608~1611
- 3 Oliver M. Küttel, Oliver Groening, Christoph Emmenegger *et al.*. Electron field emission from phase pure nanotube films grown in a methanol hydrogen plasma[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2000, 73(15):2113~2115
- 4 A. N. Obratsov, I. Yu. Pavlovsky, A. P. Volkov. Low-voltage electron emission from CVD graphite films [C]. *Technical Digest of IVMC'98*, 1998: 220~221