

文章编号:1007-2780(2010)04-0585-03

基于 CNT-Ni 丝状阴极的场发射荧光灯

苏艺菁,游玉香,胡利勤,汤巧治,张 杰,张永爱,郭太良*

(福州大学 物理与信息工程学院 光电显示技术研究所,福建 福州 350002, E-mail:syj200811@yahoo.com.cn)

摘 要: 采用电泳法在金属镍(Ni)丝表面沉积碳纳米管(CNT)材料,制备成 CNT-Ni 丝状阴极,并在圆柱形玻璃灯管中对其进行二极管结构的场发射性能测试。结果表明,CNT 材料呈网状结构均匀平铺于 Ni 丝表面,CNT-Ni 丝状阴极具有良好的场发射性能,开启场强为 0.82 V/ μm ;当阳压为 3 400 V 时,电流为 2.3 mA,发光亮度达到 7 500 cd/m^2 ;阳压为 4 000 V 时,丝状阴极场发射电流连续测试 10 h 变化不大。

关 键 词: 碳纳米管; 丝状阴极; 场发射荧光灯

中图分类号: TN873+.95 **文献标识码:** A

Field Emission Fluorescence Lamp Based on CNT-Ni Linear Cathode

SU Yi-jing, YOU Yu-xiang, HU Li-qin, TANG Qiao-zhi,
ZHANG Jie, ZHANG Yong-ai, GUO Tai-liang*

(Optoelectronic Information Technology, College of Physics and Information Engineering,
Fuzhou University, Fuzhou 350002, China, E-mail:syj200811@yahoo.com.cn)

Abstract: CNT-Ni linear cathode is fabricated by electrophoretic deposition method, and its field emission properties are measured in the cylinder glass tube. There is a homogeneous layer of CNT reticulation on the surface of linear cathode. The field emission measurement shows that the linear cathode possesses good properties, such as low turn-on electric field of 0.82 V/ μm , the current of 2.3 mA at the voltage 3 400 V, high luminance brightness of 7 500 cd/m^2 , and at the voltage 4 000 V, the emission current of CNT-Ni linear cathode without significant degradation after 10 h.

Key words: carbon nanotubes; linear cathode; field emission fluorescence lamp

1 引 言

碳纳米管(Carbon Nanotubes, CNT)具有曲率半径小、长径比大、电导率高、发射电压低、发射密度大、机械强度高和化学稳定性好等优点,是理想的一维场发射纳米材料^[1-3]。Mirko 等^[4]于 2004 年发表了以 CNT 为冷阴极的场发射荧光灯,与其他光源相比,场发射真空荧光管具有高亮

度、宽视角、工作温度范围宽、响应时间短、结构简单、环保和低成本等优点。

近年来,国内外对于丝状阴极应用于场发射方面进行了研究。目前,国内外学者采用化学气相沉积法(Chemical Vapor Deposition, CVD)^[4-6]、多次涂敷法^[7]、热敷法^[8]等方法在金属丝上制备了丝状阴极并研究其场发射性能,而采用电泳法在金属丝上沉积 CNT 材料相关方面的报道还很

收稿日期: 2010-01-14; 修订日期: 2010-04-20

基金项目: “863”重大专项资助项目(No. 2008AA03A313); 福建省自然科学基金资助项目(No. 2009J05145); 福建省教育厅科技资助项目(No. JA08005)

作者简介: 苏艺菁(1985—), 女, 福建龙海人, 硕士研究生, 主要从事微纳米材料与器件研究。

* 通讯联系人, E-mail: gtl_fzu@yahoo.com.cn

少。电泳法是一种方便的纳米材料转移方式,该方法对基底形状没有严格要求,且设备简单,操作方便,工艺易于控制,适用于丝状阴极的制备^[9]。本文采用电泳法在金属镍(Ni)丝表面沉积 CNT 纳米材料,制备出 CNT-Ni 丝状场发射阴极,具有开启场强低、发光亮度高等良好的场发射性能。

2 实 验

2.1 样品制备

电泳法制备 CNT-Ni 丝状场发射阴极时,电泳参数、电泳液的特性及 Ni 丝表面的洁净度对其场发射性能有极大的影响^[10]。

将一定长度的纯 Ni 丝(直径为 0.3 mm)先后在丙酮溶液和清洗剂溶液中进行超声振荡清洗,再用去离子水冲洗,并烘干。将经过酸化处理的 CNT 粉末与异丙醇按一定比例混合后进行超声分散处理,再向超声后的溶液中加入一定量的硝酸镁作为电解质,并超声至分散均匀,得到稳定的 CNT 电泳液。电泳的阳极基板采用与阴极相同的金属 Ni 丝,采用如图 1 所示电泳装置,在一定间距的阴阳基板间加直流电压,在电场作用下将 CNT 纳米材料沉积到 Ni 丝表面。用异丙醇冲洗电泳后浮在 Ni 丝表面的 CNT,再将 Ni 丝置于马弗炉中进行 300 ℃保温 25 min 烧结,以去除 Ni 丝表面的有机溶剂,提高 CNT 材料与金属 Ni 丝表面的接触性能,形成 CNT-Ni 丝状场发射冷阴极。

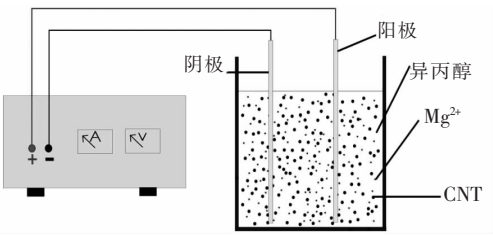


图 1 丝状阴极电泳装置示意图
Fig. 1 Electrophoretic deposition schematic diagram of linear cathode

2.2 样品表征及测试

采用日立的 HITACHI S-3000N 扫描电子显微镜(Scanning Electron Microscope, SEM)对 CNT-Ni 丝状阴极的表面形貌进行观察。采用场发射测试系统对丝状阴极的场发射性能进行二极管式测试,测试系统真空度 2.0×10^{-4} Pa,阳极为内壁制备有 ITO 薄膜及银浆汇流电极并涂覆有绿色荧光粉的圆柱形玻璃灯管,管内径 24 mm,

CNT-Ni 丝状阴极的有效测试长度 140 mm。发光亮度采用亮度计进行测试。

3 结果与讨论

3.1 形貌表征

图 2 是 CNT-Ni 丝状场发射阴极表面的 SEM 形貌图。从图上可以看到 Ni 丝表面有一层比较均匀的物质,通过图 2 中的插图可以看到 CNT 材料呈网状结构平铺于阴极表面。

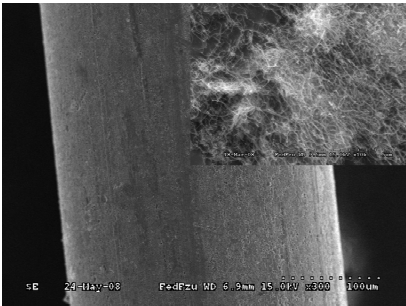


图 2 CNT-Ni 丝状阴极表面的 SEM 形貌图
Fig. 2 SEM images of CNT-Ni linear cathode

3.2 场发射性能测试

图 3 为 CNT-Ni 丝状冷阴极在圆柱形玻璃灯管中的二极管式场发射性能 I - V 曲线,图中插图为其相应的 F-N 曲线。图中表明 CNT-Ni 丝状冷阴极具有良好的场发射性能。根据圆柱形玻璃管内场强公式可推得其开启场强(场发射电流密度达到 $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 时所需要的电场强度)为 $0.82 \text{ V}/\mu\text{m}$,当阳压为 3 400 V 时,电流为 2.3 mA,亮度达到 $7 500 \text{ cd}/\text{m}^2$,荧光灯发光图如图 4 所示。

采用圆柱形金属 Ni 丝作为电泳的阳极基板,在金属 Ni 丝表面电泳沉积 CNT 材料,获得均匀

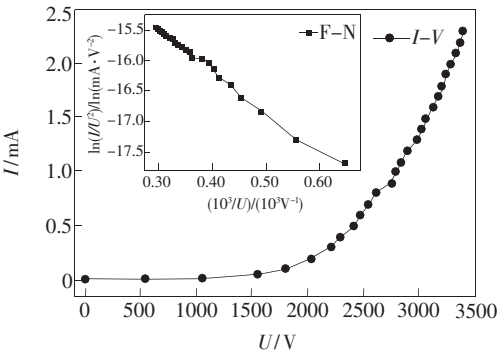


图 3 CNT-Ni 丝状阴极场发射性能曲线图
Fig. 3 Field emission current dependent on the applied voltage of CNT-Ni linear cathode, with the inset showing the corresponding Fowler-Nordheim plots.



图 4 阳压为 3 400 V 时,真空场发射荧光灯发光图.
Fig. 4 Luminescence image of field emission fluorescence lamp with the voltage of 3 400 V

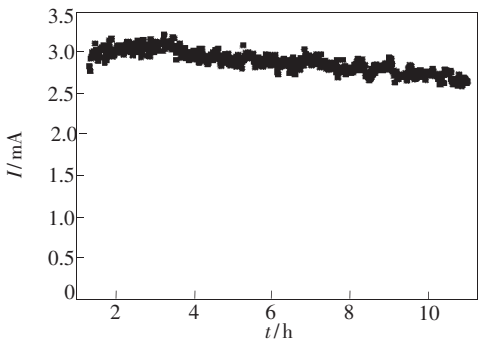


图 5 阳压为 4 000 V 时,场发射电流稳定性测试曲线.
Fig. 5 Stability of emission current of CNT-Ni linear cathode operated at constant voltage of 4 000 V

分布的碳纳米管薄膜层,这些经过酸化处理的碳纳米管表面具有更多的缺陷,拥有更多的场发射点,且这些碳纳米管在 Ni 丝表面交织成网状结构,提高了电子发射点的密度。因此,这种由 CNT-Ni 丝状冷阴极构成的圆柱形场发射荧光灯,具有低开启场强、高亮度等优点,表现出良好的场发射性能。

从图 5 荧光灯的场发射电流稳定性测试曲线可以看到,阳压为 4 000 V 时连续测试 10 h,丝状阴极发射电流维持在 2.8 mA 左右,但略有一定的下降趋势。通过分析可能是由于阴极表面材料在测试过程中会脱离基底,致使 CNT 材料与 Ni 丝的界面接触性能变差。

4 结 论

采用电泳法将 CNT 材料转移到金属 Ni 丝上,制备出 CNT-Ni 丝状冷阴极,并将其在圆柱形玻璃灯管中进行二极管结构测试。测试结果表明,丝状阴极具有良好的场发射性能,开启场强低至 0.82 V/ μm ;阳压为 3 400 V 时,电流为 2.3 mA,亮度达到 7 500 cd/m^2 ;阳压为 4 000 V 时,丝状阴极场发射电流连续测试 10 h 维持在 2.8 mA 左右,表现出一定的下降趋势。电泳法制备 CNT-Ni 丝状阴极具有工艺简单、成本低、高亮度及场发射性能好等优点,在照明光源中具有良好的应用前景。

参 考 文 献:

[1] 吕文辉, 宋航, 金亿鑫, 等. 电泳沉积图形化碳纳米管场发射阴极及其场发射特性研究 [J]. 真空科学与技术学报, 2007, 27(3):213-217.

[2] Qin Y X, Hu M. Field emission properties of electrophoretic deposition carbon nanotubes film [J]. *Appl. Surface Science*, 2009, 255(17):7618-7622.

[3] Liu Y X, Liu J H, Zhu C C. Flame synthesis of carbon nanotubes for panel field emission lamp [J]. *Appl. Surface Science*, 2009, 255(18):7985-7989.

[4] Croci M, Arfaoui I, Stöckli T, *et al.* A fully sealed luminescent tube based on carbon nanotube field emission [J]. *Microelectronics Journal*, 2004, 35(4):329-336.

[5] Noury O, Stöckli T, Croci M, *et al.* Growth of carbon nanotubes on cylindrical wires by thermal chemical vapor deposition [J]. *Chem. Phys. Lett.*, 2001, 346(5-6):349-355.

[6] Sarangi D, Hierold C, Karimi A. Carbon nanotubes over metallic wires and its possible applications [J]. *Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures*, 2005, 13:243-254.

[7] Wei Y, Xiao L, Zhu F, *et al.* Cold linear cathodes with carbon nanotube emitters and their application in luminescent tubes [J]. *Nanotechnology*, 2007, 18(32):325702-325706.

[8] 许亚红, 胡利勤, 叶芸, 等. 热敷法制备丝状阴极及其在场发射中的应用 [J]. 光电子·激光, 2009, 20(4): 451-453.

[9] 王莉莉, 冯涛, 林丽锋, 等. 电泳工艺制备阵列场发射阴极及其性能的研究 [J]. 液晶与显示, 2008, 23(2):195-199.

[10] 梅山孩, 冯涛, 孙卓, 等. 电泳电压对碳纳米管沉积薄膜及阴极场发射特性影响 [J]. 液晶与显示, 2008, 23(4): 473-478.