2009年2月

文章编号: 1000-7032(2009)01-0119-04

# 平栅极结构碳纳米管场发射性能实验

钟寿仙1,李广山2,李振红2,任兆玉2\*,田进寿3

(1. 中国石油大学 数理系,北京 102249; 2. 西北大学 光子学与光子技术研究所,陕西 西安 710069;
 3. 中国科学院西安光学精密机械研究所 瞬态光学与光子学国家重点实验室,陕西 西安 710119)

**摘要:**研究了碳纳米管(CNT)场发射显示器(FED)三电极结构的平栅极结构,得到了进一步降低场致发射的开启电压和缩小动态调制电压范围的方法,同时也为相关的场发射安全操作提供了借鉴。实验表明:二极结构场发射调制电压范围较大,调制电压达上千伏,而在三电极的平栅极结构中通过调节阳极电压不仅可控制显示亮度,还对栅极调制电路有保护作用。适当升高阳极电压、适当缩短阴极和阳极之间的距离以及阴栅极经老化后可减小栅极调制电压,同时还能有效的降低场致发射的动态调制电压的范围。这对新一代的显示器研制提供帮助。

**关 键 词:**碳纳米管;场发射;调制电压;平栅极结构 中图分类号:TN105.1 **PACC**:7970;7360T **文献标识码**:A

## 1引言

CNT 场发射显示器以其重量轻、功耗小、体 积小、亮度高等优点受到人们的广泛关注。CNT-FED 结构有三电极结构和二电极结构,虽然二电 极结构制作工艺简单,但阳极需要高压才能对电 子提供足够能量轰击荧光粉实现高亮度,而且阳 极电压又充当调制电压,而驱动电路又需要低压 调制,因此存在发光亮度和调制电压之间的不可 调和的矛盾<sup>[1]</sup>。目前世界上众多研究机构把三 极结构的场致发射器件作为自己的研究重点[2], 由于三极管结构需要的电压低,动态调制电压的 范围小,在进行矩阵寻址时,就可以与常规的驱动 电路联系在一起,而不必定制专用的驱动电路,大 大降低了器件的可控性和总体制作成本。根据栅 极所处的位置三电结构<sup>[3]</sup>通常有平栅极、背栅 极<sup>[4,5]</sup>、正栅极<sup>[6]</sup>三种结构。而相对于后两种结 构,平栅极结构制作简单,成本低,极适合大面积 制作和未来工业化生产。但作为新型显示技术, 距离市场化还有很大的差距,主要是一些技术瓶 颈仍不能得到有效的解决,如何进一步降低场发 射的开启电压和动态调制电压的范围就是一个典 型的问题。故此我们对平栅极进行了研究,对调制电压与发射电流关系的影响因素进行了探索, 从中寻求进一步降低场发射开启电压和动态调制 电压范围的方法。论文仅对场发射显示器阴极点 阵中的一个显示单元作了研究。该研究为大面积 场发射阴极制作提供有效的方法。

### 2 实 验

经分散处理后的多壁碳纳米管(MWCNT)与 有机溶剂、有机载体(如用于成膜的硝化棉和用 于控制粘度的乙酸丁脂)混合搅拌3~5h后作为 阴极浆料,用丝网印刷的方法<sup>[7,8]</sup>在玻璃衬底上 印刷成膜,待晾干后机械刀刻形成阴、栅两极,然 后放在 Ar 气氛下的管式炉中进行烧结。经扫描 电镜观察阴极膜表面,如图1(a)所示膜表面 CNT 分布密集、取向杂乱,内部 CNT 交织成网而外侧 CNT 部分直立,可用作二电极场发射研究。阴栅 极间的沟槽扫描电镜图如图1(b)所示,其边沿笔 直,且没有有机物搭连于沟槽两边,用万用表检测 阴、栅极间已形成电绝缘(阴极和栅极之间的电 阻在 50 MΩ以上<sup>[9]</sup>)。从图1(c)可以看到其边 缘存在许多伸向另一侧的碳纳米管,大多在1μm

收稿日期: 2008-09-25;修订日期: 2008-11-28

基金项目: 陕西省教育厅专项基金资助项目(07JK-418)

**作者简介**: 钟寿仙(1956 – ), 女, 四川人, 副教授, 主要从事纳米材料的制备与应用的研究。 E-mail; zsx\_zh@ 126. com, Tel; (010)89731281

<sup>\*:</sup> 通讯联系人; E-mail: rzy@ nwu. edu. cn, Tel: (029)88302661

左右,虽不是完全垂直于槽壁,但也可作为有效的 三极场发射点。阴极与阳极的距离为2 mm,真空 度维持在8×10<sup>-4</sup> Pa 左右,场发射性能测试电路 如图2所示。 不均匀表明有些区域的场发射很强,而其它区域 的场发射受到抑制。分析认为这是由于阴极表面 的凹凸不平引起的阳极电场的起伏的缘故。

图 3 CNT 场发射 I-V 特性图

Fig. 3 CNT field emission characteristics of a diode-type

- 图 1 阴极 CNT 的 SEM 照片(a) CNT 阴极表面; (b) 机
  械刀刻的沟槽; (c) 沟槽一側沿处的 CNT
- Fig. 1 SEM image of CNT:(a)the surface of CNT cathode; (b) A trench ploughed by knife; (c) CNT on the edge of trench.

#### 图 2 CNT 平栅极结构场发射测试电路

Fig. 2 Field emission measurement circuit of CNT with flat grid structure

### 3 结果与讨论

#### 3.1 CNT 的二电极场发射测试

图 3 是丝网印刷制备的 CNT 阴极二电极场 发射特性图,真空度为 8 × 10<sup>-4</sup> Pa 左右,阴-阳极 间距为 1 mm,场发射面积为 2 cm<sup>2</sup>,开启电场为 1.6 V/μm。由图可知其发射电流的阳极调制电 压范围较大,调制电压达上千伏,必须靠高压驱动 电路去弥补,将导致很高的成本。当阳极电压为 2 300 V 时其发光照片如图 4(a)所示,发光亮度 图4 场发射照片(a)二电极;(b)三电极

Fig.4 Field emission pictures, (a) diode structure; (b) triode structure.

#### 3.2 CNT 的三电极场发射测试

在原二极场发射基础上进行三电极场发射测试,当阳极电压3000V,栅极电压220V,从图4(b)看出发光亮度均匀,且有较完整的线型,表明沿沟槽一侧的场强分布较为均匀,有效发射点多且密集,相比之下克服了原二极发射不均的缺陷。然而栅极调制电压明显偏大,本文通过对影响栅压(V<sub>g</sub>)-阳极电流(I<sub>a</sub>)曲线的因素,研究减小开启电压大小及调制电压范围的方法。

#### 3.3 开启电压大小及调制电压范围的影响因素

3.3.1 阳极电压变化对 $V_{g}$ - $I_{a}$ 的影响

如图5 所示, 阴-阳极间距2 mm, 阴-栅极间距 30 μm, 当阳极电压由 1 480 ~ 2 500 V 变化过程 中, 随着阳压的升高栅极的开启电压有所降低, 可 满足对调制电压的要求; 但当阳极电压升至 3 240 V 时, 随着栅压的增加阳极电流较大但没有变化, 此时栅压失去对阳极电流的调制作用, 转为二极 场发射为主, 说明对三极场发射依靠阳极电压提 高亮度有一个限值。同时当栅压加大到 38 V 时 荧光屏上出现光圈,预示三极发射电子增多且电 子能量很大,若再增大栅压会对屏造成损坏。实 验发现阳极电压降到 580 V,栅压增大时出现栅 极电源风扇启动,表明此时阴-栅极击穿,电流过 大引起电源起热。尽管有相当大的阳极电流但荧 光屏没有亮点,分析认为是阳极电压过低,到达荧 光屏上的电子能量不足以激发荧光粉发光。故 此,合适的阳极电压不仅可提供荧光屏亮度,还对 栅极调制电路有保护作用。 3.3.3 老化前后对 V\_-I\_ 的影响

图7反映经老化后的栅极调制电压降低,栅极电压对阳极电流的调制范围显著减小,在进行矩阵寻址时,就可以与常规的驱动电路联系在一起,而不必定制专用的驱动电路,可进一步降低器件的总体制作成本,且经老化后图中V<sub>g</sub>-I<sub>a</sub>曲线变化平缓,此有利于调制电压满足对调制信号变化要求。同时阳极的工作电流下降,这就避免了电流过高毁烧荧光屏的危险。

图 5 阳极电压变化对  $V_g$ - $I_a$  的影响 Fig. 5 The effect of anode voltage on  $V_g$ - $I_a$ 

3.3.2 阴阳极间距对 $V_g$ - $I_a$ 的影响

如图 6 所示,阳极电压为 2 000 V,阴-阳极间 距增大栅极开启电压升高。间距为 2.0 mm 时栅 压增至 64 V 出现光圈,认为是三极场发射电子陡 然增多激发荧光粉发光所致,而间距达到 3.5 mm 时栅极调制电压变化范围扩大,从而可适当缩短 阴极和阳极之间的距离以有效地降低场致发射的 开启电压和动态调制电压的范围。

图 6 阴阳极间距对  $V_a$ - $I_a$  的影响( $V_a$  = 2 000 V)

Fig. 6 The effect of space between anode and cathode on  $V_s$ - $I_a$ 

图 7 老化前后对 V<sub>g</sub>-I<sub>a</sub> 的影响

Fig. 7 Before and after aged versus the relation of  $V_{g}$ - $I_{a}$ 

### 4 结 论

相对于涂敷法而言[10],丝网印刷的方法因碳 管密度可控更具有优势,通过此法制作出 CNT 二 电极和三电极,实验研究表明二极结构虽简单,但 发射电流的调制电压范围大,而这些缺陷必须靠 高压驱动电路去弥补,导致很高的成本,同时这也 使 CNT 场发射显示器的低驱动电压这一优势丧 失,而平栅极作为三电极结构的一种,结构简单, 经实验观察分析阳极电压不仅可控制显示亮度, 还对栅极调制电路有保护作用,适当升高阳极电 压、适当缩短阴极和阳极之间的距离以及阴栅极 经老化后可减小栅极调制电压,同时还能有效的 降低场致发射的动态调制电压的范围。我们主要 对场发射显示器点阵的一个显示单元的发射特性 进行研究,对于大面积的点阵,我们采取激光打标 或者光刻的方法在 CNT 薄膜上形成阴、栅两极。 对这一个显示单元的研究,为大面积制备场发射 阴极点阵的提供了有效的方法,这必会对新一代 的显示器研制提供帮助。

#### 参考文献:

[1] Zhu Changchun, Liu Xinghui. Advances of carbon nanotubes field emission display [J]. Chin. J. Lumin. (发光学报),

2005, 26(5):557-563 (in Chinese).

- [2] Chung Deuk-Seok, Park S H, Lee H W, et al. Carbon nanotube electron emitters with a gated structure using backside exposure processes [J]. Appl. Phys. Lett., 2002, 80(21):4045-4047.
- [3] Lee N S, Chung D S, Han I T, et al. Application of carbon nanotubes to field emission displays [J]. Diamond and Related Materials, 2001, 10(2):265-270.
- [4] Lee N S, Kang J H, Choi W B, et al. Field emission display with under-gate triode structure [C]. Proc. International Vacuum Microelectronics Conference, 2000,193-195.
- [5] Choi Y S, Kang J H, Parket Y J, et al. An under-gate triode structure field emission display with carbon nanotube emitters
  [J]. Diamond and Related Materials, 2001, 10(9-10):1705-1708.
- [6] Jung J E, Jin Y W, Choi J H, et al. Fabrication of triode-type field emission displays with high-density carbon-nanotube emitter arrays, [J]. Phys. B, 2002, 323(1-4):71-77.
- [7] Sung K K, Jong H C, Jae H P, et al. Relationship between field emission property and composition of carbon nanotube paste for large area cold cathode [J]. J. Vac. Sci. Technol. B, 2004, 22(3):1345-1348.
- [8] Choi J H, Zoulkarneev A R, Jin Y W, et al. Carbon nanotube field emitter arrays having an electron beam focusing structure [J]. Appl. Phys. Lett., 2004, 84(6):1022-1024.
- [9] Tian Jinshou, Li Ji, Xu Beilei, *et al.* Structural analysis on a field emission display panel based on carbon nanotubes [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2003, **32**(11):1343-1348 (in Chinese).
- [10] Feng Tao, Li Qiong, Liu Xianghuai, *et al.* Spreading technique and performance of field emission cathode made of powder carbon nanotubes [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2005, **23**(4):406-408 (in Chinese).

# **Experiment Research on Carbon Nanotube Field Emission Performance with Flat Grid Structure**

ZHONG Shou-xian<sup>1</sup>, LI Guang-shan<sup>2</sup>, LI Zhen-hong<sup>2</sup>, REN Zhao-yu<sup>2</sup>, TIAN Jin-shou<sup>3</sup>

(1. China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Institute of Photonics and Photon-technology, Northwest University, Xi'an 710069, China;

3. State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics of Xi'an Institute of Optics And Precision Mechanics of CAS, Xi'an 710119, China)

Abstract: The field emission display have been recognized as the one of the most promising electron field emitters since the first field emission experiment reported in 1995. CNTs as emitters in the field emission display devices have been demonstrated during the last decade years. Now, the field emission display methods of carbon nanotube include triode structure and diode structure. The diode structure display consists of the anode and the cathode. It needs high drive voltage and wide modulating voltage scope which cost a lot. So, a triode structure was designed by studying the flat grid structure. In addition to the anode and the cathode, the triode structure display contains grid electrode which offers a guarantee to the safe field emission operation. Furthermore, the turned on voltage of the field emission is depressed and the scope of modulating voltage is minished compared to the diode structure. Experiment indicated that the vision brightness can be controlled and grid modulating circuit can be protected by adjusting anode voltage, the grid voltage and modulating voltage scope of field emission can be minished further after the grid is aged and it can also be minished by increasing anode voltage and shortening the distance between cathode and anode. The results will provide helpful information for further research of field emission display.

Key words: carbon nanotube; field emission; modulating voltage; flat grid structure

Received date: 2008-09-25