

文章编号:1007-2780(2013)03-0305-05

三极小型场发射显示器的半圆组阴栅结构优化制作

李玉魁¹,王凤歌¹,刘兴辉²,曾凡光³

(1. 中原工学院 电子信息学院,河南 郑州 450007,E-mail:lyksound@163.com;
2. 辽宁大学 物理学院,辽宁 沈阳 110036; 3. 郑州航空工业管理学院 数理系,河南 郑州 450015)

摘 要: 对钠钙平板玻璃进行切割形成后封装面板。结合高效的丝网印刷技术,在后封装面板上制作了半圆组阴栅结构。烧结的银浆层用于形成导电电极组中的双长条电极,而固化的绝缘浆料则用于构成绝缘层。碳纳米管直接制备在长条电极的表面,呈现双半圆形状,用于进行电子发射。栅极则是固定在碳纳米管阴极的上方,栅极和阴极之间依靠栅极基底而相互隔离。测试结果表明,应用半圆组阴栅结构,能够进一步降低阴极-栅极之间的电容效应,提高碳纳米管的电子发射能力,并增强三极场发射显示器的驱动灵活性。以碳纳米管作为阴极材料,进行了三极结构小型场发射显示器的研制。该三极显示器具有良好的场致发射特性,高的发光亮度以及优良的发光图像均匀度,其开启场强约为 2.12 V/ μm ,且制作成本低廉。

关 键 词: 制作;阴极;场发射;封装面板

中图分类号: TB383 文献标识码: A DOI: 10.3788/YJYXS20132803.0305

Optimization Fabrication for Semicircle-Group Cathode-Grid Structure with Triode Small-Sized Field Emission Display

LI Yu-kui¹, WANG Feng-ge¹, LIU Xing-hui², ZENG Fan-guang³

(1. School of Electronic Information, Zhongyuan Institute of Technology,
Zhengzhou 450007, China, E-mail: lyksound@163.com;
2. School of Physics, Liaoning University, Shenyang 110036, China;
3. Department of Mathematics and Physics, Zhengzhou Institute of
Aeronautical Industry Management, Zhengzhou 450015, China)

Abstract: Rear packaging face-plate was fabricated with the cut soda lime flat panel glass. With high effective screen-printing technique, the semicircle-group cathode-grid structure was developed on the rear packaging face-plate surface. The sintered silver slurry layer was used to form the double long-bar electrodes of the conducting electrode group in the semicircle-group cathode-grid structure, and the insulation layer was fabricated using the solidified insulation slurry. On the long-bar electrodes surface, the carbon nanotube cathodes with double semicircle shape were prepared, which was used to emit lots of electrons. The grid was fixed on carbon nanotube cathode of the rear packaging face-plate, and the grid substrate was adopted to separate the grid and the cathode. From the measure results, with the fabricated semicircle-group cathode-grid structure, the capacity effect between the cathode and the grid would be further reduced, the electron emission ability of carbon nanotube cathode could be improved, and the operation flexibility of whole field emission display prototype was also enhanced. Using carbon nanotube as cathode material, the triode structure small-sized

field emission display prototype was fabricated, which possessed good field emission characteristics, high luminescence brightness and better luminescence image uniformity. The turn-on electric-field of fabricated triode field emission display prototype was approximate 2.12 V/ μm , and the total fabrication cost was low.

Key words: fabrication; cathode; field emission; packaging face-plate

1 引 言

碳纳米管是一种纳米数量级直径的管状材料,具有独特的几何外形和高的机械强度,能够以“场发射”的形式提供大量电子,是一种十分理想的阴极材料^[1-4]。场发射显示器(Field emission display, FED)是一种真空平板器件,利用阴极提供的电子束对荧光粉进行轰击而发出可见光,可以说是真空电子技术与场发射技术相结合的信息产品^[5-8]。在三极结构的 FED 中,碳纳米管用于长时间提供稳定的阴极电流,而栅极则是用于控制碳纳米管阴极是否进行电子发射。由于栅-阴之间的距离很小,因此 FED 栅极工作电压得到极大降低,这也成为了对采用(X-Y)矩阵寻址模式工作的 FED 进行驱动显示图像的基础^[9-12]。本文研发了一种半圆组阴栅结构,用于降低电容效应并增强碳纳米管的电子发射能力以及 FED 的驱动灵活性;在此基础上进行了三极结构小型 FED 的研制,并给出了详细的制作工艺。

2 实 验

2.1 半圆组阴栅结构及其制作

选用厚度为 3 mm 的钠钙平板玻璃作为三极 FED 的后封装面板,形状为矩形,其长度为 170 mm,宽度为 60 mm,半圆组阴栅结构就制作在后封装面板上。在图 1 给出了半圆组阴栅结构的示意图。

结合丝网印刷工艺将银浆制备在后封装面板

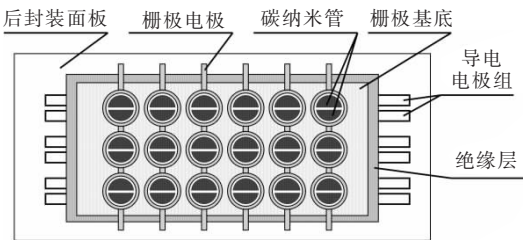


图 1 半圆组阴栅结构的示意图(未画栅极覆盖层)
Fig. 1 Schematic diagram of semicircle-group cathode-grid structure (grid covering layer was not given)

表面,依次经过烘烤、烧结工艺后形成导电电极组;其中,烘烤温度为 225 ℃,而最高烧结温度为 575 ℃。导电电极组位于后封装面板的上表面,每个导电电极组都是由两条长条电极构成,但两条长条电极是互不连通的,二者之间的间距设置为 200 μm 。绝缘层是由黑色的绝缘浆料经烧结后形成的,位于导电电极组的上方。在绝缘层中预留有圆形孔,圆形孔中要同时对称暴露出底部导电电极组中的两条长条电极。最后,将碳纳米管制备在圆形孔中暴露的导电电极组的表面。从俯视角度看,每个圆形孔中的碳纳米管阴极都是由两个半圆形子阴极构成的,每个碳纳米管子阴极都由位于其下方的相应长条电极进行传递电压,但这两个碳纳米管子阴极在电学方面是相互不连接的。栅极电极制作在栅极基底上面,阴极电极引线和栅极电极引线都是从后封装面板的周边分别引出来的。为适应 X-Y 矩阵寻址的需要,栅极电极的走向和导电电极组的走向是相互垂直的。碳纳米管所发射的电子就是在栅极电压作用下直接穿越栅极电极上预留孔而飞向阳极的。最后制作的栅极覆盖层要将栅极电极、栅极基底以及绝缘层等全部覆盖。

在图 2 中给出了碳纳米管的 SEM 照片。从照片中可见,经过后处理工艺,碳纳米管表面无杂质。碳纳米管的直径大于 30 nm,相互交错黏附

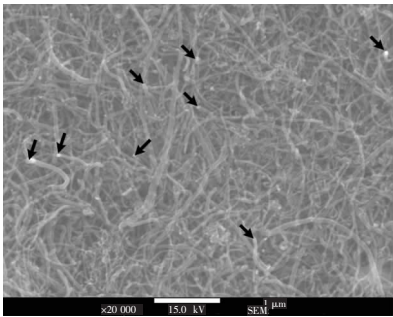


图 2 碳纳米管阴极的表面形貌 SEM 照片
Fig. 2 SEM photo for surface morphology of carbon nanotube cathode

在长条电极表面,且大量碳纳米管末端已经露出(见图中箭头)。在半圆组阴栅结构中,碳纳米管的主要功能就是以场发射形式提供电子,而大量碳纳米管末端的出现,无疑对提高发射电流是有利的。

2.2 显示器总结构及封装

在图 3 中给出了三极 FED 的总结构示意图。对同样材质的钠钙平板玻璃进行切割,形成前封装面板,三极 FED 的阳极部分就制作在前封装面板的表面。对前封装面板内侧的导电膜层进行刻蚀,作为阳极电极;然后再将绿色荧光粉制备在阳极电极的上面,形成阳极发光层。将前封装面板、后封装面板和玻璃框组装到一起,构成一个空腔;空腔的边缘缝隙处用低熔点玻璃粉进行烧结密封。阳极与阴极之间的距离设定为 2.8 mm。之后,经过常规的排气、封离、烤消、管脚安装等工艺后,形成了三极结构的小型 FED。烤消后 FED 空腔内部的真空度大约为 0.55×10^{-5} Pa。

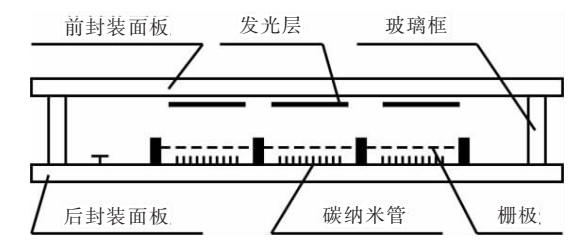


图 3 三极 FED 的结构示意图

Fig. 3 Structure schematic diagram of triode FED

3 图像显示

在三极 FED 中,制备在后封装面板上的碳纳米管在高电场强度作用下会发射大量电子;发射的电子被加速后对制作在前封装面板上的阳极发光层进行轰击并发出可见光;可见光再经前封装面板透射到 FED 外部而形成图像。在图 4 中给出了该 FED 样机的典型发光图像。从该发光图像中可以看出:(1)整体显示器的发光亮度很高;(2)不仅整体发光图像具有很好的图像均匀性,各个像素点的发光并没有出现显著的差别,而且对于单一的像素点而言也有着更好的发光均一性,并没有出现“一侧偏亮而另一侧偏暗”的不良现象。虽然从表面上看,碳纳米管子阴极的形状为半圆形(或者为两个半圆形),而阳极像素点的形状为方形,但由于碳纳米管发射电子的散射效应

和电子束发散效应,再加之阳极高电势的作用,前封装面板上的单一像素点还是获得了较佳的显示效果。



图 4 三极 FED 的典型发光图像

Fig. 4 Typical luminescence image of triode FED

4 结果与讨论

4.1 发射特性测试

在三极 FED 正常工作时,需要同时施加两个电压,即阳极电压和栅极电压。将半圆组阴栅结构中的一长条形电极作为栅极电压和阳极电压的公共端,设定为零电位;在栅极电极上施加正栅极电压,在阳极电极上施加正高阳极电压。在图 5 中给出了该显示器典型像素点的发光亮度曲线;其最大发光亮度为 $2\,899.3\text{ cd/m}^2$,该亮度是在电场强度(栅极电极与半圆组阴栅结构的长条电极之间,下同)为 $2.95\text{ V}/\mu\text{m}$ 的条件下所测得的,阳极电压固定为 1.75 kV 。

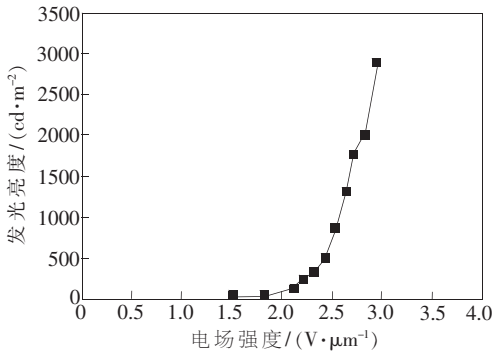


图 5 三极 FED 的发光亮度曲线

Fig. 5 Luminescence brightness curve of triode FED

图 6 给出了三极 FED 的特性测试曲线。从曲线中可以看出,在阳极电压被固定为 1.66 kV 的情况下,一旦电场强度(栅-阴之间)超过 $2.12\text{ V}/\mu\text{m}$,则就会有明显的发射电流出现;且随着电场强度的进一步增加,其发射电流也会急剧增加。取一个典型的实际测量观测点,当电场强

度从 $2.22\text{ V}/\mu\text{m}$ 变化到 $2.83\text{ V}/\mu\text{m}$ 时,其场发射电流的增幅为 $469.9\text{ }\mu\text{A}$ (阳极电压保持为 1.66 kV 固定不变)。从而表明:该三极 FED 具有良好的场致发射特性。

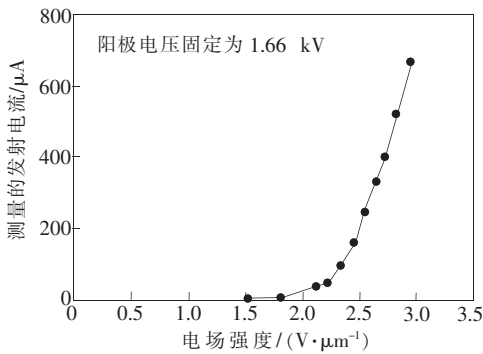


图 6 三极 FED 的电场强度-发射电流曲线
Fig. 6 Electric-field vs. emission current curve of triode FED

4.2 结构改进

在半圆组阴栅结构制作的过程中,我们并没有采用特殊的制作工艺以及特别的制备材料,因此整体 FED 的制作成本是低廉的。相对于普通阴极而言,所制作的半圆组阴栅结构在如下方面进行了改进:

(1)减小了阴极电极的宽度,这有助于削弱栅极-阴极之间的电容效应。在半圆组阴栅结构中,每个导电电极组都是由两个长条电极构成;而在 FED 工作的时候,仅需要其中一个长条电极工作,也就是给半圆形碳纳米管层传导电势。这样,无形中就相当于缩减了每个长条电极的宽度。当栅极电极和长条电极进行相互交叉寻址的时候,鉴于长条电极宽度的减小,这对进一步降低二者之间的电容效应,无疑是有利的。

(2)缩减了栅极电极的无效制作面积,这同样也有助于降低栅极-阴极之间的电容效应。在半圆组阴栅结构中的每条栅极电极,都是由圆环形状电极和矩形电极交替相互连接构成的,圆环形状电极位于栅极孔的周围,其主要作用是在碳纳米管表面形成强大的电场强度;而矩形电极则是

用于相邻圆环形状电极之间的电势传递,且矩形电极的宽度要明显小于圆环形状电极的直径。这种结构的形成,无疑极大缩减了栅极电极的无效制作面积。而鉴于栅极电极无效制作面积的减小,同样对进一步降低栅极-阴极之间的电容效应是有帮助的。

(3)在进一步提高碳纳米管发射电子能力的同时也增加了整体 FED 的驱动灵活性。在半圆组阴栅结构中,两个长条电极上的半圆形碳纳米管层是否进行电子发射,这要受到同一栅极电极的强有力控制。无论施加到同一导电电极组中的哪一个长条电极,都会使三极 FED 进行正常工作,给其驱动方面带来了极大的操作灵活性。

当然,在半圆组阴栅结构的制作过程中,由于要求同一栅极电极孔内的两个半圆形碳纳米管层不得相互导电,从而对碳纳米管的印刷技术提出了更高的要求,这可以通过进一步提高丝网印刷的精度等措施来解决。

5 结 论

(1)结合丝网印刷技术,在后封装面板上制作了半圆组阴栅结构。一个导电电极组由两个长条电极组成,用于分别给两个半圆形碳纳米管层进行传导电势。尽管两个半圆形碳纳米管层之间是互不连通的,但它们是否进行电子发射,却受到同一栅极电极的电压控制。在半圆组阴栅结构,既缩减了阴极电极的宽度,同时又减小了栅极电极的无效制作面积,这对削弱栅极-阴极之间的电容效应是非常有益的,在进一步提高碳纳米管发射电子能力的同时也增加了整体 FED 的驱动灵活性。

(2)以钠钙玻璃为材料,同时对半圆组阴栅结构加以利用,进行了三极 FED 的研制。整体 FED 的发光亮度很高,且具有很好的图像均匀性。三极 FED 的开启场强约为 $2.12\text{ V}/\mu\text{m}$,并具有良好的场致发射特性。这也证实了这种半圆组阴栅结构具有很强的操作可行性和实际应用性。

参 考 文 献:

[1] Wang Fang-Hsing, Lin Tzu-Ching, Tzeng Shien-Der, *et al.* Field emission properties of carbon nanotube cathodes produced using composite plating [J]. *Applied Surface Science*, 2010, 256(24): 7600-7605.

[2] Giubileo F, Di Bartolomeo A, Sarno M, *et al.* Field emission properties of as-grown multiwalled carbon nanotube films [J]. *Carbon*, 2012, 50(1): 163-169.

[3] 吕文辉,张帅. 图形化硅纳米线阵列场发射阴极的制备及其场发射性能 [J]. *液晶与显示*, 2011, 26(4): 486-489.

[4] Darbari S, Abdi Y, Mohajerzadeh S, *et al.* High electron emission from branched tree-like carbon nanotubes suitable for field emission applications [J]. *Carbon*, 2010, 48(9): 2493-2500.

[5] Na Young Bae, Woo Mi Bae, An Na Ha, *et al.* Low-voltage driven carbon nanotube field emission lamp [J]. *Current Applied Physics*, 2011, 11(4): S86-S89.

[6] 李玉魁,刘云朋. 三极 FED 件的发光优化制作 [J]. *液晶与显示*, 2010, 25(5): 709-712.

[7] Cho Woo-Sung, Lee Yang Doo, Choi Jinnil, *et al.* Effects on the field emission properties by variation in surface morphology of patterned photosensitive carbon nanotube paste using organic solvent [J]. *Applied Surface Science*, 2011, 257(6): 2250-2253.

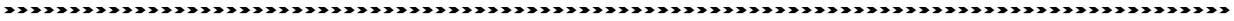
[8] 乔中莲,杨东升,刘飞. 液晶电视用低功耗 LED 背光模组设计 [J]. *液晶与显示*, 2011, 26(4): 455-459.

[9] 刘卫华,朱长纯. 丝网印刷三极 CNT FEA 的研制 [J]. *液晶与显示*, 2008, 23(2): 178-183.

[10] Ryota Yuge, Kiyohiko Toyama, Toshinari Ichihashi, *et al.* Characterization and field emission properties of multi-walled carbon nanotubes with fine crystallinity prepared by CO₂ laser ablation [J]. *Applied Surface Science*, 2012, 258(18): 6958-6962.

[11] Jang Hoon-Sik, Jeon Sang koo, Nahm Seung Hoon. Field emission properties from the tip and side of multi-walled carbon nanotube yarns [J]. *Carbon*, 2010, 48(14): 4019-4023.

[12] 刘智超,李英爱,王静,等. 碳纳米球薄膜的场发射特性 [J]. *液晶与显示*, 2012, 27(3): 297-301.



《液晶与显示》关于作者署名的通告

针对目前论文署名比较随便,论文作者要求增减合著者或改变排名顺序的情况时有发生,本刊编辑部特提请文章作者注意:论文署名是一件十分严肃的事情。在论文上署名的作者应为参与论文撰写或对论文所涉及的研究工作有贡献的人,所有署名作者均应对文章内容负责。凡合著的文章,投稿前应仔细斟酌,考虑周全,并征得所有合作者的同意,同时应写明联系人。署名及排序在投稿后确实需要改变时,应由联系人向编辑部出示有关合著者同意并签名(盖章)的函件。否则,编辑部有权拒绝其要求。

《液晶与显示》编辑部