

文章编号:1007-2780(2010)03-0342-04

新型栅极结构的单色三极场发射器件

韩建勋, 李玉魁

(中原工学院 电子信息学院, 河南 郑州 450007, E-mail: lawsound@163.com)

摘 要: 应用云母板作为栅极基底, 结合常规的丝网印刷工艺, 制作了改进的栅极结构。采用钙钠平板玻璃作为封装面板, 利用碳纳米管作为冷阴极材料, 研制了三极结构的单色场致发射显示器件。栅极基底的优良绝缘性能确保了其不易被强电场强度所击穿; 改进的栅极层则能够进一步缩短栅极-阴极之间的有效距离, 有利于降低栅极的工作电压。该显示器件具有高的显示亮度, 良好的栅控能力以及场致发射特性。

关 键 词: 场发射显示器; 三极结构; 丝网印刷

中图分类号: TN873.95

文献标识码: A

Mono-Color Triode FED Device Based on Novel Grid Structure

HAN Jian-xun, LI Yu-kui

(School of Electronic Information, Zhongyuan Institute of Technology,
Zhengzhou 450007, China, E-mail: lawsound@163.com)

Abstract: With the conventional screen-printing process, the improved grid structure was fabricated using the mica plate as substrate materials. The carbon nanotubes were used as cold cathode materials and the soda-lime flat glass was adopted as packaging panel, so the mono-color triode FED device was developed. The electric-field intensity breakdown phenomenon for the grid substrate materials was avoided because of the good insulating performance. The effective distance between grid and cathode was decreased for the improved grid layer and the grid operating-voltage was also reduced. The display device possessed high displaying brightness, better grid control-ability and field emission characteristics.

Key words: FED; triode structure; screen-printing

1 引 言

作为具有广阔应用前景的下一代平面终端显示器件, 场致发射显示器(FED)已经引起了众多研究人员的高度关注^[1-3]。FED 是一种为适应更高显示性能要求而出现的新型平板式器件, 它保留了阴极射线管显示器的高图像质量优势, 在亮度、灰度、响应时间、对比度以及全彩色等方面都具有很高的性能指标^[4,5]。由于其阴极-阳极之间的距离仅为几个毫米, 因此 FED 还具有超薄特

性, 拥有重量轻、显示面积大、工作温区广等多方面的优势^[6]。FED 器件的内部为真空状态, 其发光原理与阴极射线管显示器的发光原理类似, 都是采用高速电子轰击荧光粉而发出可见光。自从新型材料碳纳米管被发现并应用于场致发射阴极以来^[7-12], FED 的研究得到了迅猛的发展。虽然现在这些器件样品都还存在着诸如显示亮度不均匀、不能完全有效控制各个像素等缺陷, 但随着时间的推移, 相信这些实际工艺问题能够在进一步的研究中得以解决^[13], FED 最终会成为市场

收稿日期: 2009-09-11; 修订日期: 2009-11-05

基金项目: 河南省高等学校青年骨干教师计划项目资助; 河南省教育厅自然科学研究计划项目(No. 2009B510019)

作者简介: 韩建勋(1964—), 男, 河南孟县人, 实验师, 主要从事电子技术及应用等方面的研究。

化产品。

本文研制了一种三极结构的单色场致发射显示器件,改进的栅极层能够进一步缩短栅极-阴极之间的有效距离,有利于降低栅极的工作电压。该显示器件显示亮度高,具有良好的栅控能力以及场致发射特性。

2 器件制作和封接

2.1 显示器件总体结构

整体显示器件全部采用平板玻璃进行高真空透明封装,即:采用钙钠平板玻璃分别作为阳极和阴极封装面板,其厚度均为 2 mm,形状为矩形;采用切割的钙钠玻璃条围成透明玻璃框,玻璃框的高度为 3 mm;将阴极封装面板、阳极封装面板和玻璃框构成一个空腔,然后再将栅极结构等其余显示部件装配到这个空腔当中。器件的总体结构如图 1 所示。用低熔点玻璃粉对空腔边缘进行密封处理,密封后的排气管是内外腔体气体相通的惟一通道。经过常规的玻璃粉烧结、高真空排气、排气管烧断、消气剂蒸发以及管脚加装等工艺后,形成了三极结构的 FED 器件。烤消前器件内部真空度测量为 0.45×10^{-3} Pa,根据器件制作经验,烤消后器件内部真空度估计会至少在 10^{-6} Pa 的数量级。

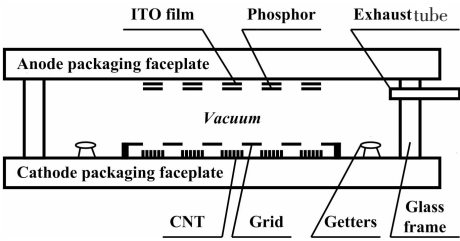


图 1 三极 FED 的总体结构图

Fig. 1 Whole structure of triode FED device

2.2 栅极及制作工艺^[14,15]

在栅极结构的制作过程中大量广泛应用了已经十分成熟的丝网印刷工艺。栅极结构主要包括基底、绝缘层、导电层和覆盖层,如图 2 所示。选用具有良好绝缘性能的优质天然薄层云母作为栅极基底,首先在栅极基底上制备出绝缘层,并根据图案的控制要求,在基底形成电子孔阵列,单个电子孔的形状为圆形,直径为 $400\text{ }\mu\text{m}$,绝缘层的厚度可以根据印刷浆料次数进行有效控制。然后,

在绝缘层的上面印刷导电银浆,经常规烘烤、烧结工艺后形成导电层,要求导电层的前端要延伸到电子孔中,覆盖于绝缘层的表面,但不得触及基底部分。最后,在导电层的上面再次印刷绝缘浆料,烧结后形成覆盖层。导电层构成控制电极,通过施加的电压来控制碳纳米管阴极的电子发射。导电层是由许多并行排列的条状银浆条组成,并且其走向和阴极电极层的走向是相互垂直的,每一条银浆条都通过引线连接到器件外部,以便于施加外部电压。

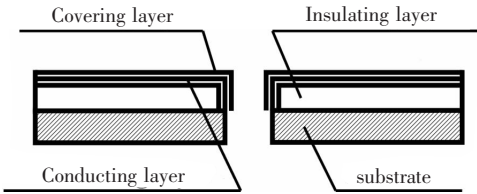


图 2 所制作的栅极结构示意图

Fig. 2 Schematic of the fabricated gate structure

为避免断条现象的出现,对银浆层进行了两次重复印刷,其总厚度约为 $60\text{ }\mu\text{m}$,而相邻银浆条之间的距离为 $400\text{ }\mu\text{m}$ 。其中,银浆条的形状可以利用掩模版的图案进行控制,银浆层的厚度可以通过印刷次数来进行调节。银浆层的烧结工艺与绝缘层、覆盖层的烧结工艺相同,在烧结炉中的最高烧结温度均为 $(590 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$,恒温时间为 10 min,烧结工艺的目的是使印刷的浆料完全固化。

3 器件图像和分析

图 3 给出了整体器件发光时的静态字符点阵图像,非常清晰地显示了“5H5”字母和数字。该图像是在阳极工作电压为 1.5 kV 的条件下获得的,在白昼室内清晰可见,器件的发光是显著而稳定的。

图 4 给出了器件绿色荧光粉的发光亮度曲线,



图 3 显示器件的静态发光图像

Fig. 3 Static lighting image of the display device

从图中可以看出所研发的三极结构 FED 器件具有很高的显示亮度。从整体像素点发光情况来看,某些像素点在开启时总是先于其他像素点发光,在降低栅极控制电压时也总是先于其他像素点熄灭,而在高电压发光时与其他像素点发光亮度相当,这可能和该处碳纳米管阴极的状态有关。持有这种异常状态的像素点数量不多,估计是由于碳纳米管阴极的不均匀性造成的,可以通过后期器件的老炼工艺加以改进。

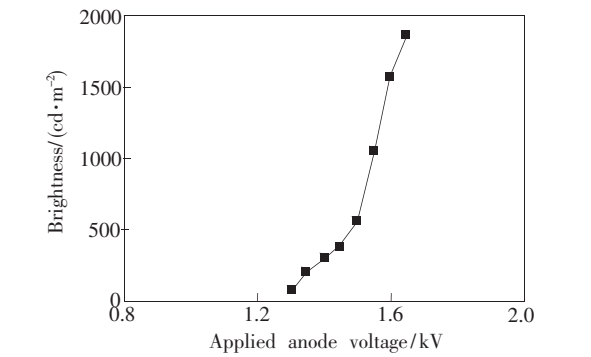


图 4 器件的发光亮度曲线

Fig. 4 Device lightening brightness curve

4 器件测试和讨论

4.1 栅极作用

阴极、栅极和阳极分别是显示器件的 3 个电极。在施加外部电压时,将阴极接地并作为栅极电压和阳极电压的公共端。栅极起调制电极的作用,用于控制阴极是否进行电子发射。由于栅极电压要在阴极表面附近形成很强的电场强度,因而栅极和阴极之间的距离越近,其所需要的工作电压就越低,就更加符合低压控制电路的要求。栅极结构对阴极进行场致电子发射的控制能力直接关系到整体器件的制作是否成功,在整体器件制作过程中是至关重要的一个环节。

4.2 器件测试和结果分析

在器件测试过程中,可以通过观察像素点发光的明暗来判断栅极的有效控制作用。设定阳极工作电压(1.55 kV)固定不变,在电场强度低于 2.05 V/ μm 时,所有像素点均不发光;随着栅极电压的逐渐增加,电场强度也越来越大,电场强度介于 2.05~2.25 V/ μm 时,器件的部分像素点开始点亮发光;在电场强度达到 2.3 V/ μm 时,所有可观测的像素点都已发光;此后,随着栅极电压的

逐渐增强,像素点的发光亮度也越来越高,说明栅极电压对于碳纳米管阴极的电子发射有着良好的调制作用。图 5 给出了器件的典型测试曲线,从测试曲线的走向可以看出,整体器件具有性能很好的场致发射特性。

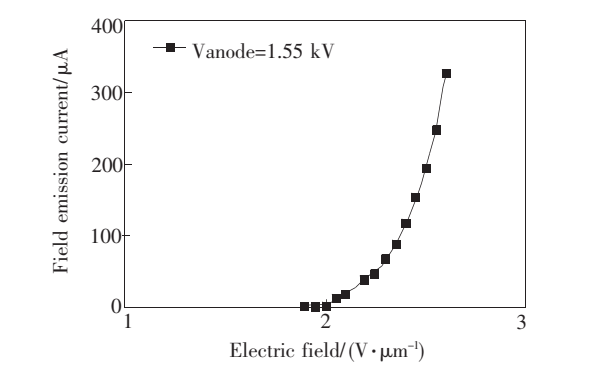


图 5 所研发的 FED 器件的发射特性

Fig. 5 Field emission characteristics of the developed FED device

4.3 结构制作和改进

目前,在进一步降低栅极工作电压方面最为有效的方法就是减小栅极和阴极之间的距离,但需要满足的前提条件就是:必须确保栅极和阴极之间的良好绝缘性能,否则极易引起二者之间电学击穿现象的出现。在常规的栅极结构中,栅极电极层是平面型的。本文对栅极结构进行了以下几方面的改进:

(1)首次应用了具有良好绝缘性能的优质天然薄层云母作为栅极基底,栅极基底的优良绝缘性能确保了其不易被栅极-阴极之间的强电场强度所击穿,通过控制栅极基底的厚度可以在一定程度上控制栅极-阴极之间的有效距离。为了确保器件制作的成功率,防止栅极基底被击穿现象的发生,在栅极基底的上部进行了绝缘层的制作,进一步增加了栅极基底的绝缘性能。

(2)为了避免由于绝缘层的增加而带来栅极-阴极有效距离增大的副作用,采用了将导电层的前端延伸到电子孔中的做法。这样,既能够利用导电层将外加的工作电压作用于碳纳米管阴极,以便于产生足够的电场强度,同时还未实际增加栅极-阴极之间的有效距离,有利于降低栅极的工作电压。由于未对栅极基底做减薄处理等其他操作,尽最大可能保留了栅极基底的原有性能,有利避免了容易产生形变等其他寄生问题的出现。覆

盖层的作用则是为了防止细微银颗粒进行的寄生电子发射,增强整体器件的良好显示性能。

从所研发器件的场发射特性曲线中可以看出,使用改进型栅极结构的 FED 器件的开启场强约为 $2.05\text{ V}/\mu\text{m}$,而常规器件的开启场强一般都在 $2.5\text{ V}/\mu\text{m}$ 以上,改进效果是非常显著的。为了确保器件制作的成功率,实验中未将栅极-阴极之间的距离制作得更近,更小间距的器件将在以后的实验中加以研究和验证。

参 考 文 献:

[1] Guo P S, Chen T, Chen Y W, *et al.* Fabrication of field emission display prototype utilizing printed carbon nano-tubes/nanofibers emitters [J]. *Solid-State Electronics*, 2008, 52(6):877-881.

[2] Kim S C, Cho E N, Han S W, *et al.* Microscopic origin of current degradation of fully-sealed carbon nanotube field emission display [J]. *Solid State Communications*, 2009, 149(17-18):670-672.

[3] Zeng F G, Zhu C C, Liu W H, *et al.* The fabrication and operation of fully printed carbon nanotube field emission displays [J]. *Microelectronics Journal*, 2006, 37(6):495-499.

[4] Cheng C W, Chen C M, Lee Y C. Laser surface treatment of screen-printed carbon nanotube emitters for enhanced field emission [J]. *Applied Surface Science*, 2009, 255(11):5770-5774.

[5] 李玉魁,郭艳清,朱长纯. 三极结构场致发射显示器的器件制作研究 [J]. *液晶与显示*, 2006, 21(3):232-235.

[6] Lee S H, Lin C H, Chiou J M, *et al.* Effects of post treatment on the field emission properties of CNTs grown by ECR-CVD [J]. *Diamond and Related Materials*, 2006, 15(4-8):854-858.

[7] 樊志琴,蔡根旺,王世建,等. 碳纳米管膜场发射三极管的制备及特性研究 [J]. *液晶与显示*, 2008, 23(1):30-34.

[8] 秦靛,邓少芝,许宁生,等. DLC 薄膜处理的碳纳米管冷阴极场发射特性 [J]. *液晶与显示*, 2008, 23(2):163-168.

[9] 张强,陈泽祥,朱炳金,等. 碳纳米管场致发射中的空间电荷效应 [J]. *发光学报*, 2008, 29(3):567-573.

[10] 钟寿仙,李广山,李振红,等. 平栅极结构碳纳米管场发射性能实验 [J]. *发光学报*, 2009, 30(1):119-122.

[11] 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.

[12] 史永胜,何伟,朱长纯. 碳纳米管复合阴极的稳定性研究 [J]. *液晶与显示*, 2008, 23(4):484-488.

[13] 朱长纯,皇甫鲁江,淮永进,等. 碳纳米管阴极场发射平板显示器的真空封装 [J]. *西安交通大学学报*, 2000, 34(6):102-104.

[14] 靳孝峰,张琦,李玉魁,等. 点阵阴极寻址型三极场发射器件的制作 [J]. *液晶与显示*, 2009, 24(4):518-521.

[15] 靳孝峰,赵锋,李玉魁,等. 高真空场发射三极显示器的制作 [J]. *液晶与显示*, 2009, 24(5):661-665.

5 结 论

三极结构 FED 器件是一种新型的平板式终端显示器,功耗低、发射均匀性好,有着良好的应用前景。栅极结构是场发射显示器件中的关键部件之一,实验中通过对栅极结构的改进,有效地缩减了栅极-阴极之间的距离,达到了进一步降低器件工作电压的目的。采用新型栅极结构的显示器件具有良好的栅控能力以及很高的显示亮度。