

文章编号:1007-2780(2009)05-0661-05

高真空场发射三极显示器的制作

靳孝峰¹, 赵 锋¹, 李玉魁^{2*}, 武 超²

(1. 焦作大学 机电学院, 河南 焦作 454100;
2. 中原工学院 电子信息学院, 河南 郑州 450007)

摘 要: 三极结构的场致发射显示器是一种新型的真空平板显示装置, 高真空的实现与维持是确保显示器件正常工作的必要条件。通过采用低熔点玻璃粉烧结工艺和玻璃定位片装置, 实现了场致发射显示器的高真空平板封装。从器件封装结构、器件烧结、器件排气和器件烤消等方面进行了工艺改进。综合采用这套技术, 已经研发出三极结构的、具有高真空度的碳纳米管阴极场致发射显示器样品。

关 键 词: 显示器件; 场致发射; 封装; 三极; 真空
中图分类号: TN873⁺.5 **文献标识码:** B

1 引 言

场致发射显示器是一种新型的平板显示装置, 它在保留了阴极射线管显示器高图像质量的基础上, 实现了完全平板化、薄型化和轻型化的转变, 具有分辨率高、对比度大、响应速度快、功耗低、温区广等特性, 拥有广阔的市场前景^[1-3]。碳纳米管阴极的场致发射显示器就是充分结合了碳纳米管的场致发射原理, 利用其发射的大量电子对阳极的荧光粉进行轰击而发出可见光, 发出的可见光经阳极玻璃面板透射到器件外部而形成图像。场致发射显示器具有高度的器件工作可靠性与抗击恶劣环境的适应性^[4], 也拥有相当好的色彩再生能力, 可广泛应用于诸如壁挂电视、大型户外广告等各种领域。

既然场致发射显示器是一种自主发光型平板真空器件, 那么高真空的实现与维持就是确保器件正常工作的不可或缺的必要条件。从这个角度而言, 高真空的持续时间也就决定了场致发射显示器的使用寿命, 因而场致发射显示器需要进行大面积薄型结构的高真空透明封装^[5]。目前的场致发射显示器, 一方面器件本身还存在一些关键技术难题尚未得到较好的解决^[6], 另一方面不同的场致发射显示器还需要开发专用的封装技术与

新的制作工艺, 封装材料的性能也需进一步提高^[7]。本文通过采用低熔点玻璃粉烧结工艺和玻璃定位片装置, 实现了场致发射显示器的高真空平板封装。从器件封装结构、器件烧结、器件排气和器件烤消等方面进行了工艺改进。综合采用这套技术, 已经研发出三极结构的、具有高真空度的碳纳米管阴极场致发射显示器样品。

2 显示器件及制作的基本结构

通过采用低熔点玻璃粉烧结工艺, 实现了三极结构的碳纳米管阴极场致发射显示器的高真空平板制作。器件制作过程主要为: 将阳极-栅极-阴极结构以及附属元件都置入由阳极面板、阴极面板和密封边框所形成的空腔当中, 用低熔点玻璃粉对空腔密封后进行烧结固化, 经排气后空腔内部形成真空。

图 1 给出了研发的三极结构显示器件的纵向剖面图。阳极面板和阴极面板均采用钠钙平板玻璃; 密封边框也是用钠钙玻璃切割形成的, 玻璃厚度为 2 mm, 高度为 3 mm, 也就是说, 阴极面板和阳极面板之间的相互隔开距离为 3 mm。器件大体上可划分为显示区域和从属区域两部分。

显示区域位于器件的中央。在显示区域内, 对阳极面板内部的锡铟氧化物膜层进行刻蚀, 分

图 1 研发的三极结构显示器的纵向剖面图

Fig. 1 Longitudinal section of developed triode-structure display device

别形成阳极引线 and 阳极导电膜,将荧光粉制备在阳极导电膜上形成像素点发光层。其中阳极像素点为 $500\ \mu\text{m} \times 500\ \mu\text{m}$ 的正方形,并和阳极引线相连通,阳极引线的最小宽度为 $300\ \mu\text{m}$ 。为避免阳极电流过大对膜层产生毁灭性冲击,对阳极引线进行了加厚(即在膜层上面再次印刷导电银浆并烧结固化,其厚度约为 $60\ \mu\text{m}$)和加宽(引脚处银浆引线的宽度为 $2.54\ \text{mm}$)处理。对阴极面板内侧的 ITO 导电膜层进行刻蚀,分别形成阴极引线和阴极导电膜。将银浆印刷后烧结形成栅极层,栅极层和阴极导电膜之间用绝缘层相互隔离。最后将碳纳米管制备在阴极导电膜上形成发射电子的阴极。

从属区环绕在显示区的周围。在从属区域内,栅极引线、阴极引线上面都印刷有绝缘浆料层,以避免杂质的影响。设置有消气剂元件,消气剂环与阳极面板的距离设定为 $1\ \text{mm}$ 。显示区域和从属区域之间用玻璃定位片相互分开,其尺寸为 $500\ \mu\text{m} \times 3\ \text{mm}$ (厚 $\times$ 高),高度与阳极面板和阴极面板之间的隔离距离相同。玻璃定位片的上端与阳极面板紧密接触,其下端和阴极面板相互连接;在玻璃定位片的下半部分存在 U 型缺口,其尺寸为 $1.5\ \text{mm} \times 3\ \text{mm}$ (高 $\times$ 长)。

3 器件制作工艺及改进

在进行器件烧结工艺之前,需要对器件内部进行清洁处理,一方面防止杂质对碳纳米管和荧光粉层造成不良影响,另一方面也为了防止其它杂质大量放气,影响器件内部的真空度。

3.1 保护气体和烧结

在低熔点玻璃粉的烧结过程中,碳纳米管在高烧结温度作用下极易和大气中的氧分子发生化学反应,而使得碳纳米管阴极彻底失效。为

了避免这一现象的发生,就需要在器件的封接过程中采取保护措施,即向空腔内通入一定流量的保护气体。在外界的氧气气氛中,更有利于低熔点玻璃粉浆料和面板充分浸润,烧结后其密封效果更好;同时由于空腔内保护气体的阻隔,使得碳纳米管和氧分子相互隔离,有效地避免了碳纳米管阴极的损伤,使碳纳米管阴极的电子发射不受影响。实验中采用二氧化碳作为保护气体。整体烧结过程分为升温、恒温 and 降温 3 个阶段,其最高温度为 $(475 \pm 5)\ ^\circ\text{C}$,恒温时间为 $10\ \text{min}$,全程时间为 $60\ \text{min}$ 。

3.2 排气工艺的改进

排气工艺是场致发射显示器件内部形成真空腔的重要环节,在排气阶段高真空系统所能够达到的数值也就是场致发射显示器件封离之后内部真空度的基础值。对于三极结构的场致发射显示器件而言,一方面,碳纳米管是一种优异的场致发射阴极材料,但同时它 also 具有很强的储气能力,且随着电子的初期场致发射而放出大量气体;另一方面,当电子束对荧光粉进行高速轰击时,荧光粉层也会释放出气体。实验证明,这两方面是场致发射显示器件工作初期的重要放气源。

为了尽可能地提高器件内部真空度的初始值,以获得良好的器件显示性能,延长显示器件的使用寿命,在器件的排气阶段做了如下改进:

(1)增大显示器件排气管的孔径和个数,以便于进一步增强器件的排气速度和排气能力。在所研发的场致发射显示器中,阳极面板和阴极面板的间距为 $3\ \text{mm}$,因此将排气管的外孔径设定为 $2.8\ \text{mm}$,同时在器件的左右两侧设置 2 个排气管,两个排气管相对排列,都位于靠近阴极面板一侧。

(2)将场致发射显示器件的老炼过程转移到排气阶段进行,这样显示器件工作初期(主要是碳纳米管阴极和阳极荧光粉层)释放的大量气体将被转移到排气系统中,而不会导致封离后显示器件内部真空度的大幅度下降。老炼过程可分为如下几个阶段:

(a)施加反向电压。在栅极和阴极之间施加最高达 $400\ \text{V}$ 的反向电压,以测试二者之间隔离材料的绝缘性能。

(b)施加正向高压。在阳极电压一定的情况下($1\ 700\ \text{V}$),逐渐提高栅极的工作电压(最高电

压可达 1 000 V),以改善碳纳米管阴极的场致发射能力。

(c)让显示器件长时间正常工作。在场致发射器件开始长时间工作的初期,排气系统的真空度会有所下降,这主要是由于碳纳米管发射电子和电子轰击荧光粉层而导致器件释放气体的原因造成的。随着碳纳米管和荧光粉放气能力的减弱,多余的气体被逐渐排走,其真空度会有所回升,这样可以使得显示器件极大减少出气量,器件使用寿命得以延长。实验中所研发的显示器件的点亮工作时间均不少于 8 h。

(3)对器件进行加热升温除气。通过外部烘烤箱罩对整体显示器件进行逐渐加热升温处理,其最高加热温度为 300 ℃,恒温时间为 30 min。当器件温度降低到室温后,撤除所施加的栅极电压和阳极电压,将器件封离高真空排气系统。

3.3 消气剂蒸散

当将场致发射显示器件从排气系统封离之后,消气剂的使用就成为了器件内部真空度维持的重要保障。无论是封装玻璃面板的缓慢漏气,还是器件内部元件的些许出气,都需要依赖于消气剂进行吸气。在对消气剂的使用上,其一需要消气剂的吸气能力要强;其二需要消气剂有足够大的吸气容量;其三需要有足够数量的有效消气剂进行正常工作。为确保器件内部良好的高真空保持性能,在器件制作过程中做了如下改进:

(1)从属区的设置。从属区位于显示区域的周边位置,不仅为安装消气剂元件提供了足够大的空间,同时也为消气剂的选择和工作提供了灵活方式。只要是符合尺寸要求的各种类型消气剂都可以安装到从属区当中,而且其消气剂的蒸散面既可以选择在阳极面板上,也可以选择在阴极面板上,并提供了足够的玻璃面来进行消气剂的蒸散。更为重要的是,从属区的设置仅仅是阳极面板和阴极面板面积的延伸和扩展,并没有额外增加器件的制作工艺,也没有增加器件制作工艺的复杂度。

(2)玻璃定位片的隔离。利用玻璃定位片将显示区域和从属区域进行相互隔离,玻璃定位片的一端存在 U 型缺口,用于连通显示区域空间和从属区空间,而另外一端不存在缺口,并和玻璃面板紧密接触,用于防止消气剂蒸散镜面对显示区域产生影响,也用于防止些许零乱的脱落消气剂

颗粒对碳纳米管和荧光粉有不良影响。值得提到的是,玻璃定位片对阳极面板和阴极面板也起到了一定的支撑效果,与支撑板的作用相同。

4 器件测试和分析

经过以上制作结构和制作工艺的多方面改进,使得所研发的三极结构场致发射显示器件的真空性能得到了较大的提高。

4.1 真空度

从排气系统封离前,器件内部初始真空度优于 0.25×10^{-4} Pa;在对消气剂进行蒸散之后,器件真空腔内的真空度会更高,根据经验,至少应该在 10^{-6} Pa 的数量级水平。这也从另一方面证实器件的设计结构是合理的,器件的制作工艺是切实可行的。

4.2 场致发射特性

显示器件封离后内部真空的保持性能也是评价器件质量的一个重要方面。在对部分显示器件样品连续放置 500 h 后开始连续点亮 8 h,然后对器件的场致发射情况进行了测试,在图 2 中给出了其测试曲线。从曲线中可以看出,在阳极电压固定的情形下,当栅极电压超过 300 V 后即开始有较为显著的场发射电流出现,此后场发射电流随着栅极电压的上升而急剧增加,其最大场致发射电流达到 352.8 μ A,具有较为典型的场致发射特性。这也证实,经过长时间放置之后显示器件的场致发射特性仍然是优良的,样品器件的密封性能良好。这说明:其一,经过烧结的低熔点玻璃粉对整体器件进行了良好的密封,没有大幅度微漏气现象;其二,器件从属区内的消气剂的工作状态正常,并发挥了其应有的强有力吸气功能;其

图 2 三极场致发射显示器件的测试曲线
Fig. 2 Testing curve of triode field emission display device

三,排气工艺的改进效果明显,在器件开始工作初期,器件中荧光粉、碳纳米管以及器件元件的出气量很大,但经过对排气工艺改进之后,大量的出气都被转移到高真空排气系统,从而使得显示器件内部的真空度得以长时间保持。

4.3 发光图像

图 3 和图 4 分别给出了经过 500 h 放置后器件的发光图像照片,成功地显示了“8”数字和“OF”字型。从图像中可以看出,器件具有良好的图形显示性能,并且该矩阵寻址功能得到了很好的实现。经过长时间的放置之后,器件的发光图像仍然很好,整体器件的发光亮度在室内白天清晰可见。器件场致发射电流随时间变化的波动很小,或者说几乎不变,可以认为器件的工作寿命在

图 4 经 500 h 放置后器件的发光图像,显示 OF 字型
Fig. 4 Lightening photo of display device with 500 h resting period, display “OF” font.

正常状态下得到延长,器件后期制作工艺改进的效果是较为显著的。

5 结 论

利用碳纳米管作为阴极材料的三极结构场致发射显示器是一种新型的真空电子器件,无论是器件的制作结构,还是器件的制作工艺,都具有一定的复杂性和难度。本文通过采用低熔点玻璃粉烧结工艺和玻璃定位片装置,实现了三极结构显示器件样品的高真空平板封装,从制作结构及制作工艺方面进行了探讨和改进,研发出了具有高真空度、良好场致发射特性和图形显示功能的三极场致发射显示器件样品。

图 3 经 500 h 放置后器件的发光图像,显示数字“8”.
Fig. 3 Lightening photo of display device with 500 h resting period, display number “8”.

参 考 文 献:

- [1] Kamada K, Lkuno T, Takahashi S, *et al.* Surface morphology and field emission characteristics of carbon nanofiber films grown by chemical vapor deposition on alloy catalyst [J]. *Appl. Surface Science*, 2003, 212-213: 383-387.
- [2] Huh Y, Lee J Y, Lee J H, *et al.* Selective growth and field emission of vertically well-aligned carbon nanotubes on hole-patterned silicon substrates [J]. *Chem, Phys. Lett.*, 2003, 375 (3-4): 388-392.
- [3] Choi G S, Son K H, Kim D J. Fabrication of high performance carbon nanotube field emitters [J]. *Microelectronic Engineering*, 2003, 66(1-4): 206-212.
- [4] Sheshin E P. Properties of carbon materials, especially fibers, for field emitter applications [J]. *Appl. Surface Science*, 2003, 215(1-4): 191-200.
- [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] Chen Jun, Zhou X, Deng S Z, *et al.* The application of carbon nanotubes in high-efficiency low power consumption field-emission luminescent tube [J]. *Ultramicroscopy*, 2003, 95: 153-156.
- [7] Yang Y, Hu Z, Wu Q, *et al.* Template-confined growth and structural characterization of amorphous carbon nanotubes [J]. *Chem. Phys. Lett.*, 2003, 373 (5-6): 580-585.

联系人:付国柱