

文章编号: 0253-2239(2010)02-0518-07

平行栅结构氧化锌场致发射显示器的研制

林志贤 郭太良 张 婷

(福州大学物理与信息工程学院, 福建 福州 350002)

摘要 用陈化处理过的锌粉为原料,采用高温气相氧化法制备四针状氧化锌材料。应用厚膜、光刻工艺和丝网印刷法制作氧化锌场发射阴极阵列。将阴极板与阳极荧光板制成了 5 英寸(12.7 cm)单色平行栅结构场致发射显示器(FED)并对其进行了场发射性能测试。分析讨论了影响发射性能的栅极电压、阳极电压以及阴极厚度等参数。该 FED 在约 4000 V 阳极电压和 300 V 栅极电压的驱动下能实现全屏发光。实验结果表明,氧化锌平行栅结构 FED 具有良好的栅极调控作用,场致发射性能良好,具有良好的应用前景。

关键词 光电子学;场致发射;四针状氧化锌;平行栅结构;发射性能

中图分类号 TN305.8 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20103002.0518

Development of the Parallel-Gate Structure of ZnO Field Emission Display

Lin Zhixian Guo Tailiang Zhang Ting

(College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract With aging treated zinc powder as raw materials, the tetrapod-like ZnO material was prepared by high-temperature vapour phase oxidation method. The ZnO field emission cathode arrays were prepared by the application of thick-film, lithography and screen printing technologies. The cathode plate and anode plate were made of a 5 inch (12.7 cm) monochrome parallel-gate structure field emission display (FED) panel and its field emission performance was tested. The parameters such as the gate voltage, anode voltage as well as cathode thickness which affect the emission performance were analyzed and discussed. The FED can achieve full-screen light emission by driving at about 4000 V anode voltage and 300 V gate voltage. The experimental results show that the structure of ZnO parallel-gate structure FED has a good regulation, a good field emission performance and good application prospects.

Key words optoelectronics; field emission; tetrapod-like ZnO; parallel-gate structure; emission performance

1 引 言

场致发射显示器(FED)是平板显示器中较为新型的一种,是继液晶显示器(LCD)、等离子体显示器(PDP)、电致发光显示器(ELD)等之后的另一种最具有前途的新一代平板显示器^[1,2]。氧化锌(ZnO)作为一种宽带隙(3.37 eV)、高激子结合能(60 meV)的II-VI族半导体材料,在光电子材料和器件的应用研究方面受到了广泛关注,ZnO纳米结构的制备方法及其形态的研究也得到了很大的扩展和补充。四针

状纳米氧化锌(T-ZnO)最早是由 Fuller 于 1944 年在涂料用 ZnO 的研究中发现的,但人们于 20 世纪 80 年代中期才开始对 T-ZnO 进行系统研究。近年来,众多研究单位对 T-ZnO 晶须的场发射性能做了较深入的研究,认为 T-ZnO 是继碳纳米管(CNT)之后一种最有前景的场致发射阴极材料之一^[3~7]。

按照结构对场致发射显示器进行分类,可简单的分为二极管 FED 和三极管 FED。二极管 FED 制作工艺较简单,但是开启电压高,均匀性差。由于驱

收稿日期: 2009-03-17; 收到修改稿日期: 2009-04-12

基金项目: 国家 863 计划(2008AA03A313)、福建省科技重大专项(2004HZ01-2)和福建省科技三项经费(2006F5061)资助课题。

作者简介: 林志贤(1975—),男,博士,副教授,硕士生导师,主要从事 FED 显示器及信息显示技术等方面的研究。

E-mail: lzx2005000@163.com

动电路耐压限制, 二极管型 FED 的阳极电压不易提高, 因此亮度较低, 灰度再现性差, 所以在实际应用中具有很大的局限性。三极管型 FED 由于具有色纯好、亮度高和驱动电压低等优点, 所以更多的被实际应用所采用。三极管结构中, 按照栅极位置的不同, 可分为前栅型 FED、远栅型 FED、平行栅型 FED 和后栅型 FED 等^[8~13]。

在前栅型 FED 的结构中, 上玻璃基板为整面的钢锡氧化物(ITO)电极及三基色荧光粉层。下玻璃基板由下往上依次是阴极、介质层、栅极和阴极材料。制作过程中, 在栅极和阴极垂直交叉位置形成微小的栅孔, 发射源分布在栅孔中, 并与阴极保持良好的接触。与二极管结构相比, 前栅结构由于栅极与阴极之间距离小, 因此所需调制电压较低, 阳极上无需进行高压调制。但前栅结构由于需要制作微小栅孔, 并在栅孔中精确定位场致发射源, 制作工艺非常复杂, 不易实现大面积显示。另外阴极发射对介质层厚度、阳极电压和栅极开口等参数非常敏感, 所以器件的发射均匀性难以保证。

前栅结构由于工艺复杂, 所以实现大面积显示器件的制作非常困难。针对前栅结构的一些技术难点, Samsung 公司最先提出了后栅型 FED, 其结构与前栅结构不同的是将栅极埋在阴极之下, 且阴极材料的转移可以在整个阴极板制作的最后一道工序完成, 所以材料可以保持较好的形貌, 不易被污染。后栅型 FED 的发射原理是利用栅极与阴极边缘的强电场, 使阴极边缘的发射材料产生电子发射。该结构的不足之处是阴极直接暴露在阳极电场之下, 阳极电压不宜太高, 否则会造成二极管式发射。另一方面由于电子发射主要集中在阴极边缘与栅极交叉处, 因此阴极边缘电流密度较大, 造成电极局部发热等, 不利于提高阴极寿命。同时这种结构电子散射严重, 束斑较大, 因此亮度低。为了防止相邻单元的串扰必须缩小阴极与阳极之间的距离, 限制了阳极电压的提高, 不利于提高荧光粉发光效率。

平行栅型 FED 中阴极与栅极平行分布在同一平面上, 发射材料分布在阴极上。假如说前栅型与后栅型结构为垂直阴栅结构的话, 可以说平行栅型 FED 的阴栅结构为平面阴栅结构。前栅型与后栅型场致发射显示器对绝缘层的性能要求非常高, 绝缘层的绝缘性能及厚度会对器件的栅控能力产生直接的影响。并且大面积的绝缘层对设备及工艺要求很高, 绝缘性很难保证, 故器件成本高, 不易实现大面积显示。而平行栅型 FED 的阴极与栅极位于同

一个平面上, 阴极与栅极由真空间隙隔开, 采用普通的曝光工艺和刻蚀工艺一次性就可以在基板上完成阴极与栅极的制作。另外, 平行栅结构中绝缘层只要求分布在阴栅行列扫描的交叉点处, 器件的栅控性能及发射性能不受绝缘层的影响, 大大降低了工艺的复杂性及难度。由于制作工艺简单, 成本远小于前栅和后栅结构, 故平行栅结构是 FED 最易实现大面积显示的一种三极管结构。

2 ZnO 的制备

T-ZnO 晶须的制备方法主要有以下 4 种: 1) 将表面含有一层氧化膜的锌粉先在惰性气氛中加热气化, 然后再与含氧气体接触制备 T-ZnO 晶须; 2) 将表面含有一层氧化膜的锌粉在含氧的气氛中直接加热气化获得 T-ZnO 晶须; 3) 将表面含有一层氧化膜的锌粉与沸石混合后, 在含氧的气氛中加热气化制备 T-ZnO 晶须; 4) 将锌粉与碳粉混合后, 在大气中加热制备 T-ZnO 晶须^[14, 15]。

采用第 2 种方法, 即以陈化处理过的锌粉为原料, 采用高温气相氧化法在管式炉中制备 T-ZnO。T-ZnO 晶须一般是在控制好氧气比例的气氛条件下制备的, 在实验中, 将其制备装置进行了简化, 直接在大气氛围下高温加热制备 T-ZnO 晶须, 结果表明, 所制备的 T-ZnO 晶须纯度高、形态均匀, 适合作为场致发射的阴极材料。在大气氛围中高温加热生长 T-ZnO, 不仅简化了工艺, 而且由于无需使用高纯度气体而降低了成本, 提高了生产效率, 适合批量生产 T-ZnO。

2.1 实验装置

高温气相氧化法的实验装置包括以下几个主要组成部分:

1) 反应室: 制备 ZnO 的场所, 是直径为 60 mm、长度为 1500 mm 的石英管, 有效加热长度为 1200 mm。

2) 管式炉: 石英管加热设备, 管式炉主要由温控系统、热电偶、电阻加热丝和隔热腔体组成。

3) 反应载体: Al_2O_3 陶瓷舟。

2.2 制备步骤

T-ZnO 的制备主要分为以下 4 个步骤:

1) 在锌粉表面生成氧化膜。取 15 g 锌粉(纯度 99.9%)放入研钵中研磨 30 min, 之后放入烧杯, 加入体积分数为 6% 的 H_2O_2 溶液匀速搅拌 10~20 min, 然后超声若干分钟, 保证锌粉和 H_2O_2 充分接触反应, 使锌粉表面形成一层 ZnO 薄膜。超声停

止后将溶液静置 12 h, 过滤后放入洁净烘箱中, 在 100~120 °C 下干燥, 得到反应所用锌粉。

2) 加热反应室。通过自动温控系统, 使管式炉从室温升至 940 °C 左右。在温度到达 940 °C 时, 恒温 10 min 左右, 保证仪表显示温度与反应室实际温度吻合。

3) 生长 T-ZnO。取一定量的锌粉, 放入 Al_2O_3 陶瓷舟中, 迅速置入石英管的中心位置。仔细观察陶瓷舟, 数秒后可以看到一团明亮的黄绿色火焰蒸腾起来, 此为锌粉受热气化与氧气的反应过程。数分钟后, 明亮的火焰消失, ZnO 的生长也就结束。

4) 收集产物。反应结束后, 取出陶瓷舟, 待温度冷却至室温后收集 T-ZnO。ZnO 呈白色蓬松状, 具有一定的交联性。

反复重复步骤 1)~步骤 4) 过程, 可批量制备 T-ZnO 晶须。

通过环境扫描电子显微镜 (ESEM) (型号: XL30 ESEM-TMP) 对管式电阻炉制备出的 T-ZnO 进行扫描, 形貌如图 1 所示。从整体形貌图可以看出, T-ZnO 个体尺寸大小均匀, 杂质含量少。进一步观测单体的放大图可以发现, T-ZnO 晶须单根晶须长度约为 5 μm , 靠近针尖约 1 μm 的部分较根部直径明显减小, 其针尖为纳米级别。这种形貌的 T-ZnO 应用在场致发射显示器中将具有很高的场增强因子, 有利于扩大局部电场强度。图 2 为 ZnO 粉末的 X 射线衍射 (XRD) 图谱 (型号: 德国 AXS-D8)。图中主要包含 9 个衍射峰, 位于 31.84°, 34.48°, 36.32°, 47.60°, 56.66°, 62.92°, 66.44°, 68°, 69.16°, 分别对应 (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201) 晶面。ZnO 的三强衍射峰 (100), (002), (101) 均出现, 说明 T-ZnO 并没有择优生长。ZnO 的特征衍射峰强度大且明

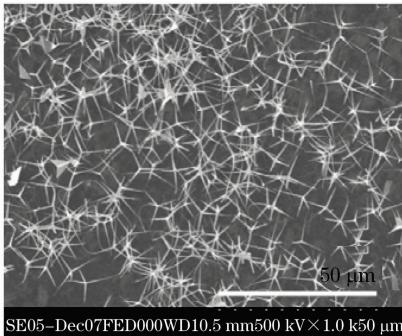


图 1 管式炉制备的 T-ZnO 形貌

Fig. 1 Morphology of the T-ZnO manufactured by pipe stove

显宽化, 说明所制备的 ZnO 粉末具有较好的结晶性和较小的粒径。而且图中没有观察到其它杂质的明显的衍射峰, 说明生长的 T-ZnO 是单一的纤锌矿结构^[16,17]。

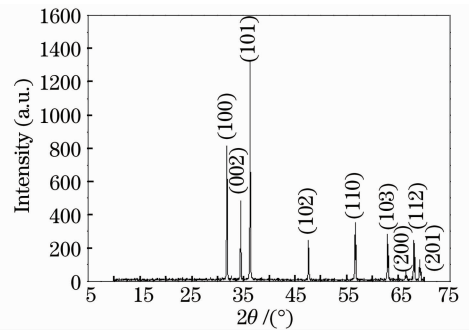


图 2 T-ZnO 粉末的 XRD 衍射谱

Fig. 2 XRD pattern of the T-ZnO powder

3 T-ZnO 平行栅型 FED 面板制备工艺

T-ZnO 平行栅型 FED 主要由阴极面板和阳极面板构成。阳极面板与其它普通的二极管或三极管 FED 面板的制备工艺相似。平行栅型 FED 阴极面板直接决定整个器件的性能好坏, 是整个器件制备工艺中最关键的一步。

3.1 阴极板底电极制备工艺

阴极板是整个 FED 的核心部分, 直接决定着整个器件性能的好坏。阴极板的制作工艺大致与阳极面板的制作工艺相似, 不同之处在于阴极板需要制作精细的厚膜电极, 所以对工艺要求较高。另外如何将阴极材料均匀分布在阴极板上, 也是阴极板的制作难点之一。

目前阴极板底, 普遍采用两种电极: 薄膜电极和厚膜电极。薄膜电极一般先采用磁控溅射或电子束蒸发等手段制备薄膜, 然后采用光刻工艺刻蚀出电极图形。由于涉及物理成膜和光刻刻蚀工艺, 所以制备过程复杂、成本高。厚膜电极一般采用丝网印刷法直接在基板上印刷导电性厚膜浆料得到所需要的电极图形, 工艺简单, 成本低廉。

实验选用厚膜电极制作方法来制作阴极板底电极。另外所用 T-ZnO 个体尺寸较大, 为几微米至十几微米, 分布在基底上时, 更能与厚膜电极相融, 附着力较薄膜电极好。DuPont 公司长期致力于感光性厚膜浆料的研制, 其生产的感光性银浆质地细腻平滑, 得到的电极边缘平整, 精度高, 烧结完后具有优良的导电性能。本实验选用美国 DuPont 公司生

产的感光性银浆结合曝光工艺制备阴极板底电极。

图 3 为光刻法制备银浆电极的工艺流程图。整个工艺流程分为 4 步完成。

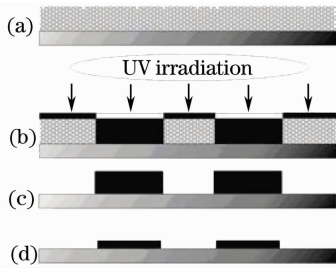


图 3 光刻法制备银浆电极流程

Fig. 3 Flow chart of the preparation of silver paste electrode by lithography

1) 感光银浆的印刷。在经过清洁处理的玻璃基板上丝网满版印刷感光银浆,并在 $80\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下预烘干。网版目数采用 200 目,预烘干后湿膜厚度为 $17\text{ }\mu\text{m}$ 左右。

2) 曝光。预烘干的感光银浆膜层自然冷却至室温后进行曝光。将制备好图形的掩模板遮盖在感光银浆膜层上,感光银浆的光敏剂呈负性,所以受光照的部分光固化,不受光照的部分保持不变。

3) 显影。用质量分数 1% 的 Na_2CO_3 溶液显影。去除未进行光固化的感光银浆,留下所需图形。

4) 高温烧结。在 $540\sim 560\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度下烧结 30 min。烧结后银浆较湿膜图形有小量的收缩,烧结后厚度为 $10\text{ }\mu\text{m}$ 左右。

制备银浆电极时,在紫外光源固定的情况下,曝光时间是影响电极质量的主要因素之一。采用光强为 $22\text{ mW}/\text{cm}^2$,测试观察一系列不同曝光时间下显影后未烧结的银浆电极平整度。当曝光时间为 50 s 时,电极平直致密,边缘整齐无毛刺,电极尺寸与设计尺寸误差小,所以 50 s 为最佳曝光时间,曝光时间太久或者不够,都会导致电极质量变差。

3.2 丝网印刷法转移 T-ZnO

T-ZnO 材料的转移有多种方法,包括喷涂法、丝网印刷法和电泳法等。喷涂法转移的材料在基底的分布均匀性较差,且材料不能精确定位。电泳法转移的阴极材料与基底的附着力较差,影响发射性能。而丝网印刷法具有操作简单、不受图形及基片大小限制、适合各种浆料等优点,是目前普遍采用的一种阴极材料转移方法。因此选用丝网印刷法进行阴极材料的转移。

在进行材料转移之前,需要对 T-ZnO 样品进行过滤及清洗处理,以去除 ZnO 中混有的杂质及较大

的 ZnO 颗粒。ZnO 印刷浆料所用有机载体为乙基纤维素和松油醇的混合溶液,其中乙基纤维素的质量分数为 4%。ZnO 与有机载体的比例为 5 g:100 mL,选择 280 目的网版。印刷前将配制好的 T-ZnO 浆料在 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右水浴加热 2 h,同时进行机械搅拌,使 T-ZnO 能够较均匀的分散在有机载体中。观察印刷烧结完后 ZnO 在阴极板分布形貌,发现 T-ZnO 较均匀分布在基片上。经过烧结后,有机浆料基本上已去除干净,满足场发射性能测试的要求。

3.3 阳极板制备工艺

平行栅型 FED 采用透射式发光,与其它平板显示器件的阳极面板类似,采用透明 ITO 导电电极上丝网印刷一层荧光粉构成。阳极板的详细制作工艺流程图如图 4 所示。

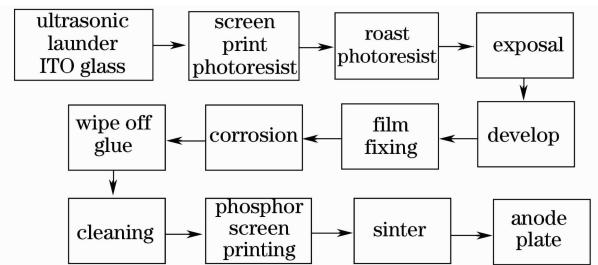


图 4 阳极板制备工艺流程图

Fig. 4 Flow chart of anode plate technology

用丙酮去除 ITO 透明导电玻璃(方块电阻值为 $5\text{ }\Omega$,大小为 $12\text{ cm}\times 8\text{ cm}$)表面的油脂,之后用特定的玻璃清洗液超声清洗 30 min,用自来水冲洗干净玻璃表面残留的清洗液,再用纯水超声清洗 30 min,以彻底清除玻璃表面附着的杂质颗粒。阳极板电极较宽,采用普通的光刻工艺得到线宽为 $200\text{ }\mu\text{m}$,线距为 $100\text{ }\mu\text{m}$ 的光刻胶掩膜图,固膜之后采用稀盐酸溶液加锌粉刻蚀 ITO 膜。刻蚀完后,用强碱液去除电极表面的光刻胶并清洗干净。最后丝网印刷一层荧光粉,采用 350 目的网版。印刷完荧光粉之后在鼓风烘箱高温烧结去除有机粘结剂。冷却后便得制备好的阳极屏,须在洁净干燥烘箱保存以免受污染。

3.4 器件组装与测试系统

将制备好的阴极板与阳极板对向放置,同时在阴极板空白处放置一定高度的隔离子作为支撑物使阴极板与阳极板保持一定的距离。再用特制的夹子将阴极板与阳极板夹紧,以防止支撑物移动。将组装好的面板放置在场发射测试仪的真空腔体中,引出阳极、栅极和阴极与测试电路相连接,待腔体抽到一定的真空度后加电压进行测试。在测试电路中,

分别在栅极与阳极串联高精度万用表测试栅极电流与阳极电流,栅极与阳极的电压可以直接从数字显示的直流高压电源上读出。整个测试系统如图 5 所示,R1 和 R2 为保护电阻,防止测试过程中阳极与阴极、栅极与阴极发生短路瞬间电流过大,造成电源烧毁。

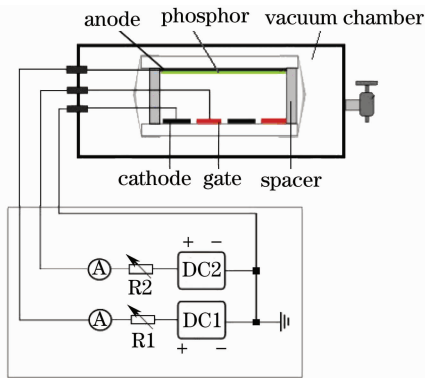


图 5 平行栅型 FED 测试系统

Fig. 5 Test system of parallel-gate type FED

4 结果与讨论

4.1 栅极调控特性

平行栅结构 FED 中,电子发射主要由栅极电场激发,而阳极电场起到吸收电子的作用,所以可以从器件的电流电压特性来判断栅极是否对电子发射起到调控作用。在测试时,为提高阳极电压,并避免材料在阳极电场下产生二极式发射,将阴阳间距设定得大一些,为 $2200 \mu\text{m}$ 。对于阳极电压的确定,首先是在栅压为 0 时,单独加阳压直到屏上出现几个亮点,此时阳极施加在阴极的场强足以使一些发射较强的点发射电子产生亮点,而大部分发射点还没有达到开启场强。再将阳压缓慢降低直到亮点消失为止,此时阳极电压的场强略低于大部分发射点的开启场强,这时的电压值判断为较合适的阳极电压。图 6 给出了

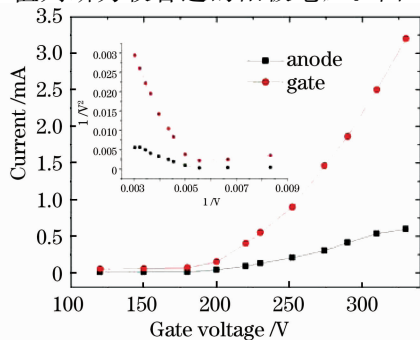


图 6 阳极电流和栅极电流与栅极电压的关系曲线

Fig. 6 Curve of anode current and gate current with gate voltage

真空度 $1.2 \times 10^{-4} \text{ Pa}$,阳极偏压 4000 V 时,阳极电流和栅极电流随栅极电压的变化曲线,其中插图为对应的 Fowler-Nordheim(F-N)曲线,测试的发光面积约为 $3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ 。

从图 6 可以看出,栅极电压在 110~175 V 这段区域,栅极电流与阳极电流都很小,为几至几十微安,此时大部分阴极材料还未发射电子。当栅极电压大于 175 V 时,栅极电流快速增加,阳极电流的增加相对栅极电流的增加幅度较小。此时栅极电压施加在阴极的场强在 $4 \text{ V}/\mu\text{m}$ 以上,远大于 T-ZnO 的开启场强 $1.6 \text{ V}/\mu\text{m}$,T-ZnO 在强的电场下发射大量的电子。电子大部分被栅极吸收形成栅流,另外有一小部分被阳极吸收,形成阳流。由图中可以看出,阳极电流变化趋势基本和栅极一致。当栅极电压大于 300 V 时,阳极电流增加不明显,栅极电流呈线性增加。此时判断材料的场发射电流已达到饱和,栅极电流的增加已不是场致发射所贡献,是栅压加在限流电阻上产生的电流与阴极场致发射饱和电流之和。从测试结果可以判断出,栅极的有效调控电压范围为 175~300 V。

从插图的 F-N 曲线可以看出,F-N 曲线出现了两个线性区,中间有一段过度区域。当阴栅电压较高时,F-N 曲线近似为一条直线,可用 F-N 理论来解释。而栅极电压较低时,F-N 方程不再适用。在低电场区的理论比较复杂,到目前为止还没有很好的理论可以解释,有待进一步研究。

4.2 阳极电压对发射性能的影响

为了能够在较宽的范围内研究阳极电压对发射性能的影响,实验中将阴极与阳极之间的距离设为 $3000 \mu\text{m}$ 。图 7 给出了真空度为 $1.0 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 时,不同的阳极电压下,阳极电流随栅极电压的变化曲线,插图为对应的 F-N 曲线。从图中可以看出,随

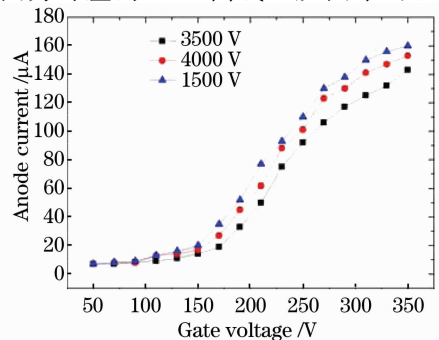


图 7 阳极电压对发射特性的影响

Fig. 7 Influence of anode voltage on emission characteristics

着阳极电压的提高,在相同的栅极电压下,阳极电流逐渐变大。这主要是由于随着阳极电压的提高,阳极施加在阴极的电场增强,在相同的栅压下阴极发射的电子被阳极吸取的百分比变大,从而使阳极电流增大。从整体来看,栅极的电压调控范围基本没有变化,这主要是由于阴极与阳极之间的间距较大,阳极电压的改变幅度对阴极电场的影响比起栅极电压对阴极电场的影响是次要的。只要不超过材料的阈值电压,对阴极电子发射起控制作用的还是栅极电压。所以对于同一个阴极片,在器件测试时,可以适当调节阴极与阳极之间的间距,在不影响栅极调控作用的情况下,通过提高阳极电压来提高荧光粉的发光效率。

4.3 ZnO 厚度对发射性能的影响

实验中,T-ZnO 的膜层厚度对发射性能影响较大。为了研究 T-ZnO 厚度对发射性能的影响,用相同的网版通过一次或多次印刷,得到不同厚度的 T-ZnO 发射层,在相同的条件下测试对比其场发射性能。图 8 给出了测试面积为 $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ 不同厚度的 ZnO $I-V$ 特性曲线,测试条件为:阴间间距 $1100\ \mu\text{m}$,阳极偏压 $3000\ \text{V}$,真空度 $8.7 \times 10^{-5}\ \text{Pa}$ 。

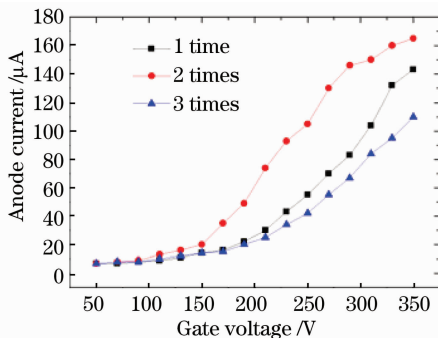


图 8 ZnO 膜层厚度对发射性能的影响

Fig. 8 Influence of thickness of ZnO film on emission characteristics

从图 8 中可以看出,印刷两次发射效果最好,在较低的栅压下得到了较大的发射电流,栅极调控电压明显低于印刷 1 次和印刷 3 次的栅极调控电压。这主要是由于印刷次数不同,ZnO 在基片的分布形貌不同所致。由 F-N 方程可知,阴极发射总电流由阴极表面的发射电流密度和总面积决定,在相同的面积下,发射电流密度越大则总电流越大。印刷 1 次时,T-ZnO 在基底的分布点密度较小,去除一些损坏的 ZnO 或附着力不好的 ZnO,有效发射点密度更小,从而发射电流密度较小。印刷 3 次时,虽然 T-ZnO 在基底的总分布密度变大了,但是膜层太

厚,T-ZnO 有可能相互重叠分布,分布在表面的 ZnO 与底电极不能良好的接触,不能成为有效发射点。另外材料分布密度太大时,互相之间具有屏蔽作用,导致发射电流减小。所以印刷 3 次虽然增加了 T-ZnO 的分布密度,但并不能有效增加发射点,从而不能增大发射电流密度。所以印刷 2 次,材料在基底的分布密度即不会太小,也不会太大导致互相之间的屏蔽。实验中印刷 2 次得到的 T-ZnO 厚度约 $15\ \mu\text{m}$ 。

4.4 显示效果

图 9 为在 $4000\ \text{V}$ 阳极电压和 $300\ \text{V}$ 栅压下 5 英寸 ($12.7\ \text{cm}$) T-ZnO 平行栅型 FED 发光效果图。从图中可以看出,虽然显示屏实现了发光显示,但是发光均匀性还有待进一步的提高。究其主要原因可能是栅极与阴极电极间隙的平整度、ZnO 阴极材料膜层厚度均匀性、阳极板与阴极板间隙的一致性等因素共同造成的。

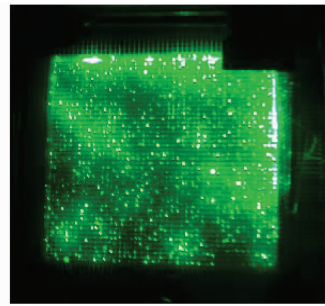


图 9 5 英寸平行栅型 ZnO-FED 发光照片

Fig. 9 Light-emission photo of the 5 inch parallel-gate type ZnO-FED

5 结 论

用陈化处理过的锌粉为原料,采用高温气相氧化法制备 ZnO 材料。应用厚膜工艺、光刻工艺和丝网印刷法制作出 ZnO 场发射阴极阵列。将阴极板与阳极荧光板制成了 5 英寸 ($12.7\ \text{cm}$) 单色平行栅结构 FED 显示屏并对其进行了场发射性能测试。分析讨论了影响发射性能的栅极电压、阳极电压以及阴极厚度等参数。该 FED 在约 $4000\ \text{V}$ 阳极电压和 $300\ \text{V}$ 栅极电压的驱动下能实现全屏发光。实验结果表明,ZnO 平行栅结构 FED 具有良好的栅极调控作用,场致发射性能良好,具有良好的应用前景。

参 考 文 献

- 1 Li Juntao, Lei Wei, Zhang Xiaobing *et al.*. Field emission characteristic of screenprinted carbon nanotube cathode [J].

- Applied Surface Science*, 2003, **220**(7): 96~104
- 2 Hong Jaeshin, Kae Dalkwack. A novel driving system for high performance true color FED[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2001, **47**(4): 802~808
- 3 Chen Liang, Song Wulin, Xie Changsheng *et al.*. A novel combustion method to prepare tetrapod nano-ZnO[J]. *Materials Letters*, 2007, **61**: 4603~4605
- 4 Liu Yaodong, Zhao Lei. Preparation of ZnO thin films by pulsed laser deposition[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(4): 534~537
刘耀东, 赵磊. 脉冲激光沉积法制备氧化锌薄膜[J]. *中国激光*, 2007, **34**(4): 534~537
- 5 Huang Taohua, Zhou Shengming, Teng Hao *et al.*. Structural and optical characteristics of ZnO films on LiGaO₂ substrate[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(7): 1420~1424
黄涛华, 周圣明, 滕浩等. LiGaO₂ 衬底上 ZnO 外延膜的结构与光学特性[J]. *光学学报*, 2008, **28**(7): 1420~1424
- 6 Chen Chuanxiang, Qi Hongxia. Influence of annealing on ZnO films and ZnO/p-Si heterojunctions [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(7): 1411~1414
陈传祥, 齐红霞. 退火对 ZnO 薄膜晶体结构和 ZnO/p-Si 异质结光电性质的影响[J]. *光学学报*, 2008, **28**(7): 1411~1414
- 7 Zhao Fenggang, Wang Guonian, Hu Lili. Effect of CuO, CuCl on properties of P₂O₅-ZnO-Na₂O glasses[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(8): 1146~1150
赵凤刚, 汪国年, 胡丽丽. CuO, CuCl 对 P₂O₅-ZnO-Na₂O 玻璃性质的影响[J]. *中国激光*, 2007, **34**(8): 1146~1150
- 8 Kyung Ho Park, Sungil Bae, Soonil Lee. Triode field emitters with parallel carbon-nanoparticle cathodes [J]. *Current Appl. Phys.*, 2006, **6**(6): 1048~1053
- 9 Y. J. Jung, G. H. Son, J. H. Park. Fabrication and properties of under-gated triode with CNT emitter for flat lamp [J]. *Diamond and Related Materials*, 2005, **14** (11 ~ 12): 2109~2112
- 10 Lin Zhixian, Guo Tailiang. Study of the triode structure tetrapod-like nano-material ZnO field emission display [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(2): 500~505
林志贤, 郭太良. 三极结构四针状纳米 ZnO 场致发射显示器的研究[J]. *光学学报*, 2009, **29**(2): 500~505
- 11 J. E. Jung, Y. W. Jin, J. H. Choi *et al.*. Fabrication of triode-type field emission displays with high-density carbon-nanotube emitter arrays [J]. *Physica B: Condensed Matter*, 2002, **323**(1-4): 71~77
- 12 Wang Qilong, Lei Wei, Zhang Xiaobing *et al.*. A novel gate structure in large diagonal size printable CNT-FED[J]. *Applied Surface Science*, 2005, **239**(3-4): 458~463
- 13 Hyung Soo Uh, Sang Sik Park. Carbon nanotubes growing on rapid thermal annealed Ni and their application to a triode-type field emission device[J]. *Thin. Solid. Films*, 2006, **504**(1-2): 50~54
- 14 Zheng Kaibo, Shen Haoting, Li Jinglei *et al.*. The fabrication and properties of field emission display based on ZnO tetrapod-like nanostructure[J]. *Vacuum*, 2009, **83**: 261~264
- 15 Chen Jing, Lei Wei, Chai Weiqiang *et al.*. High field emission enhancement of ZnO-nanorods via hydrothermal synthesis [J]. *Solid-State Electronics*, 2008, **52**: 294~298
- 16 Yu W. D, Li X. M, Gao X. D *et al.*. Effect of zinc sources on the morphology of ZnO nanostructures and their photoluminescence properties [J]. *Appl. Phys. A: Mater. Sci. Process*, 2004, (3): 453~456
- 17 Hu Liqin, Wang Jinjin, Ma Lian *et al.*. Preparation and characterization of tetrapod-like nanoscale ZnO and its applications in field emission display [J]. *Chinese J. Liquid Crystals and Displays*, 2008, **23**(6): 361~364
胡利勤, 王晶晶, 马立安等. 四脚状纳米氧化锌的制备、表征及其在场致发射显示器中的应用[J]. *液晶与显示*, 2008, **23**(6): 361~364