

# 四角状氧化锌纳米材料的场致发射平板显示器<sup>\*</sup>

林志贤 郭太良<sup>†</sup> 胡利勤 姚 亮 王晶晶 杨春建 张永爱 郑可炉

(福州大学电子科学与应用物理系, 福建 350002)

(2005 年 8 月 2 日收到, 2006 年 1 月 15 日收到修改稿)

利用真空封装工艺, 制备了四角状氧化锌纳米材料的平板显示器, 研究了其阴极的场致发射的特性, 实现了显示器全屏点亮. 通过显示器稳定性的讨论, 发现四角状氧化锌纳米材料在低真空也能有较好的场发射特性. 实验结果表明了氧化锌纳米材料是一种很好的场致发射阴极材料.

关键词: 纳米材料, 场致发射, 平板显示器

PACC: 7970, 0670H

## 1. 引 言

平板显示器件主要有液晶显示器件(LCD)、等离子体显示器件(PDP)、发光二极管显示器件(LED)、电致发光(也称场致发光)显示器件(EL)、有机电致发光显示器件(LED)、场发射显示器件(FED)等. 和阴极射线管(CRT)相比, 它们具有体积小、重量轻、功耗低等优点. 场致发射显示器是显示原理最接近阴极射线管(CRT)的一种平板显示器, 靠真空中电子轰击荧光粉发光, 因而结合了 CRT 和平板显示器的优点. 在亮度、颜色再现、响应速度、视角、功耗、工作电压等方面都有优良的性能, 具有广阔的应用前景. 目前许多国外大公司和研究机构, 如 Canon, Toshiba, Samsung, Motorola, Pixtech 等都将场致发射平板显示器作为研究和开发的重点. 最早的场致发射平板显示器的阴极是利用微电子工艺制备的微尖锥阵列来实现的<sup>[2-3]</sup>. 微尖锥阵列的场致发射阴极的制备成本高, 而且较难实现大面积的均匀性和一致性, 因此难以在大面积平板显示上推广应用. 近来, 碳纳米管在场致发射阴极制备方面的应用研究受到了重视<sup>[4-7]</sup>, 如 Samsung 采用印刷的方法制备出了碳纳米管的场致发射平板显示器. 在阴极制备过程中, 碳纳米管因受到了等离子体的轰击而有一定程度的损伤, 导致了阴极场致发射的不稳定性. 由

于场致发射时碳纳米管尖端的温度较高, 其尖端会被残留的氧所氧化, 进一步导致场致发射的不稳定性. 为克服这两个因素对场致发射平板显示器的不利影响, 中科院物理所王太宏研究组利用氧化锌纳米材料来替代碳纳米管作为阴极材料, 进行了场致发射性质的研究. 该研究组的实验结果表明, 四角状 ZnO 纳米材料具有大的场致发射电流密度及高的场致发射稳定性, 是一种很好的平板显示器的阴极材料<sup>[8]</sup>. 本文进一步将这种四角状 ZnO 纳米材料作为阴极材料, 采用平板显示器的封装制备工艺制备出了可静态显示的场致发射平板显示器.

## 2. 实 验

采用 ZnO 纳米材料作为阴极场发射材料并利用低玻封接的方法制备了二极管式静态场致发射平板显示器. 它由阴极、阳极、隔离柱(spacer)构成, 阳极主要由玻璃板、ITO 电极、荧光粉组成; 阴极主要由玻璃板、电极、阴极材料组成. 在阴极上采用光刻、沉积以及印刷等方法形成一定的电极图形, 用静电喷涂的方法将 ZnO 纳米结构涂覆在电极上. 为便于观察, 阳极采用 ITO 导电玻璃制备并在其上涂上荧光粉. 在阴极阳极之间加上一定的电场, 电子从阴极发射出来, 轰击到荧光粉上, 发出一定颜色的光, 光的颜色取决于荧光粉材料.

<sup>\*</sup> 国家 863 计划平板显示重大专项基金(批准号: 2005AA303G10)、福建省科技重大专项基金(批准号: 2004HZ01-2)和福建省自然科学基金重点项目(批准号: A0420001)资助的课题.

<sup>†</sup> 通讯联系人, E-mail: tlguomw@fzu.edu.cn

## 2.1. 阳极板的制作工艺

通过曝光的方法在清洁的玻璃基板上制作出银浆电极,然后在银浆电极上印刷上低压荧光粉.银浆电极宽为 0.9 mm,间隔 0.3 mm.详细制作工艺流程见图 1.

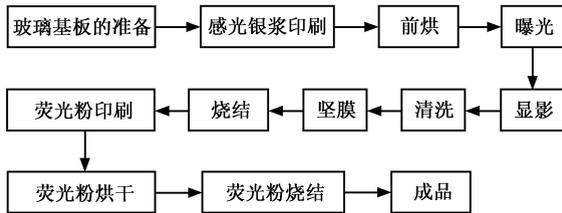


图 1 阳极板的制作工艺流程

## 2.2. 荧光屏的制作工艺

荧光粉采用丝网印刷,把荧光粉浆料转印到带电极的玻璃基板上.丝网采用尼龙丝网,目数为 300 目.

## 2.3. 阴极板的制作工艺

阴极板的制作工艺如图 1,先通过光刻制作出透明电极,再在透明电极上用丝网印刷套印上银浆电极,最后烘干和烧结.

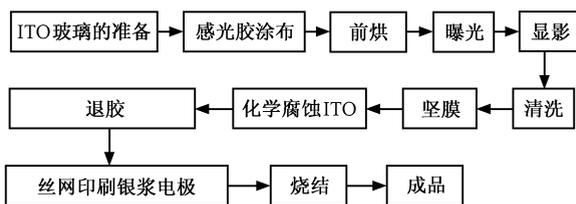


图 2 阴极板的制作工艺流程

## 2.4. 封装与测量

本实验中,四角状 ZnO 纳米材料采用热蒸发的方法合成.四角状 ZnO 纳米材料是一种稳定的结构,而且合成出的材料的纯度高.采用高压静电喷涂的方法将四角状 ZnO 纳米结构均匀涂在阴极上并利用低玻封接的方法将显示器封装后进行测量.在阴极和阳极屏之间加上电压,将一分压器与显示器并联,直接测得阴极与阳极之间的电压,将电流表(Agilent 34401A)串联入电路中,记录电流值.

## 3. 场致发射原理与结果讨论

金属场致发射的定量方程是 1928 年由 Fowler 和 Nordheim 根据量子力学隧道效应原理首先推导出来的,在推导方程时,他们做了如下假定:

- 1) 金属表面是理想表面,忽略原子尺度的起伏;
- 2) 金属内电子分布符合费米-狄拉克统计;
- 3) 逸出功分布均匀;
- 4) 表面势垒由镜像力产生.

最后他们得到在  $T = 0\text{K}$  时金属场致发射的电流密度公式为

$$J(0) = \frac{A}{\phi} F^2 \exp\left(-\frac{B\phi^{3/2}}{F}\right), \quad (1)$$

其中  $J$  是场致发射电流密度,单位是  $\text{A}/\text{cm}^2$ ;  $F$  是发射体电场强度,单位是  $\text{V}/\text{cm}$ ;  $\phi$  是功函数,单位是  $\text{eV}$ ;  $A = 1.54 \times 10^{-6} \text{eV} \cdot \text{A} \cdot \text{V}^{-2}$ ,  $B = 6.83 \times 10^9 \text{V} \cdot \text{eV}^{-3/2} \cdot \text{m}^{-1}$ .

对上式进行整理,得到

$$\ln \frac{J}{F^2} = \ln \frac{A}{\phi} - B \frac{\phi^{3/2}}{F}, \quad (2)$$

或

$$\ln \frac{I}{F^2} = \ln \frac{aA}{\phi} - B \frac{\phi^{3/2}}{F}, \quad (3)$$

其中  $I$  是场致发射电流,  $a$  是场致发射的面积.因此  $\ln(I/F^2)(1/F)$  或  $\ln(J/F^2)(1/F)$  是线性关系.

考虑到发射体的形状,引入场增强因子  $\beta$ ,

$$F = \beta E = \beta V/d, \quad (4)$$

其中  $V$  为阴极阳极之间所加电压,单位是  $\text{V}$ ,  $d$  为阴极阳极之间间距,单位是  $\text{m}$ ,  $E = V/d$  即为阴极阳极之间的电场强度.则直线  $\ln(I/V^2)(1/V)$  或  $\ln(J/V^2)(1/V)$  的斜率  $s$  为

$$s = B\phi^{3/2} d/\beta. \quad (5)$$

以上的方程是在  $T = 0\text{K}$  下推导的.在  $T \neq 0\text{K}$  时,费米能级之上也填充有电子,在温度较低时,这部分电子对场发射的整体电流贡献不大,即使温度稍高,但在强电场作用下,这部分电子对电流的相对贡献仍然不大.所以温度对场致发射的性质影响不大,在发射体温度不超过  $1000\text{K}$  时,上式的精度是足够的.对于半导体来说,其电子分布在导带之上,而场发射要考虑到更多的因素,如电子亲和势和带隙等等.对于高掺杂半导体场致发射来说,其掺杂浓度很高,在理论计算中可以近似采用金属的场发射理

论.对于目前研究较多的一维纳米材料的场致发射,大都采用了上面的  $F-N$  方程进行讨论.

下面利用  $F-N$  方程来讨论四角状  $ZnO$  纳米材料的场致发射特性.图 3(a)是阴极阳极间距为  $200\ \mu m$  时的场致发射电流-电压特性曲线,按照  $F-N$  方程作图,得到图 3(b)所示的曲线.图中出现了两个线性区,中间有一过渡区.当阴极阳极间电场较高时,

场致发射的  $F-N$  方程近似为一条直线,可用  $F-N$  理论解释.假设  $ZnO$  的功函数为  $5.4eV$  左右,根据公式(5)计算得到场增强因子  $\beta$  为 2580.

但是在低电场区, $F-N$  方程不再适用.在低电场区的理论比较复杂,目前虽然有很多实验也观察到了与我们类似的现象<sup>[9-11]</sup>,但是到目前为止还没有很好的理论解释,有待进一步研究.

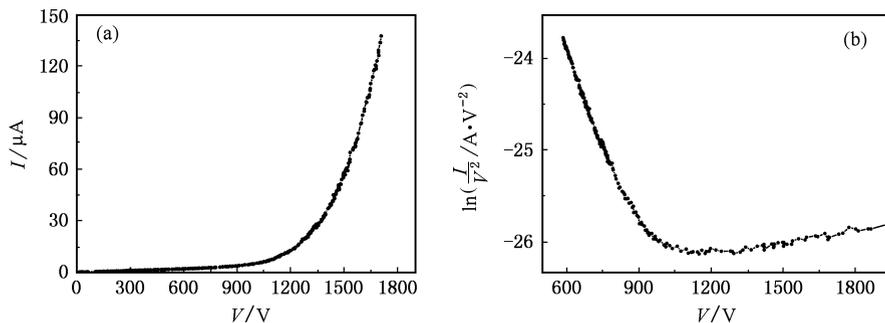


图 3 场致发射平板显示器的特性曲线 (a) $I-V$  曲线 (b)将(a)中的曲线按照  $F-N$  方程作图得到的曲线

采用厚度为  $200\ \mu m$  的隔离柱对显示屏进行了封装,所选的阴极板和阳极板的显示面积为  $80mm \times 80mm$ ,在所加偏压为  $1600\ V$  时实现了全屏点亮,如图 4 所示.图 5 给出了该显示器在偏压为  $1500\ V$  时的电流稳定曲线,其中插图为该显示器的  $I-V$  曲线.电流随时间的涨落大于  $4\%$ ,不过,电流随时间没有减少的趋势.可见,该显示器的寿命较长.其长的显示寿命与氧化锌纳米材料的结构和化学的稳定特性相关.其大的电流涨落与下面因素有关:1)  $ZnO$  纳米结构与基底之间的接触;2)  $ZnO$  纳米材料的纯度及工艺过程中的污染;3)  $ZnO$  纳米材料表面的吸附

物;4)低真空;5)阳极表面的荧光粉.根据已报导的场发射的研究结果<sup>[10,12-16]</sup>,我们认为条件(2)(3),(4)是导致电流涨落的主要原因.通过进一步优化工艺过程,特别是真空度,将提高显示器的稳定性.通过测试估算,显示屏中的真空度低于  $10^{-2}\ Pa$ .在如此低的真空下, $ZnO$  纳米材料仍然有较好的场发射性能.这说明  $ZnO$  纳米材料是一种很好的场发射阴极材料.

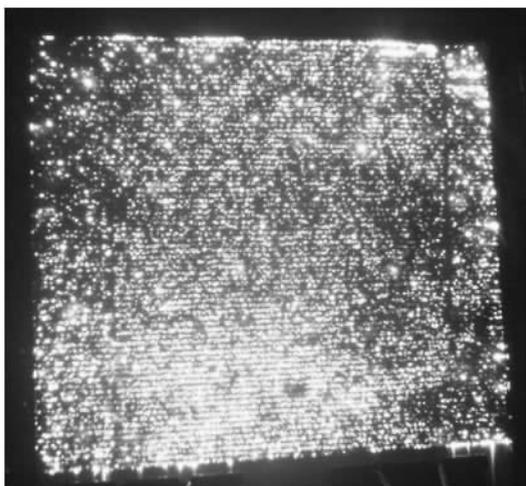


图 4 场致发射平板显示器的全屏点亮的实验显示

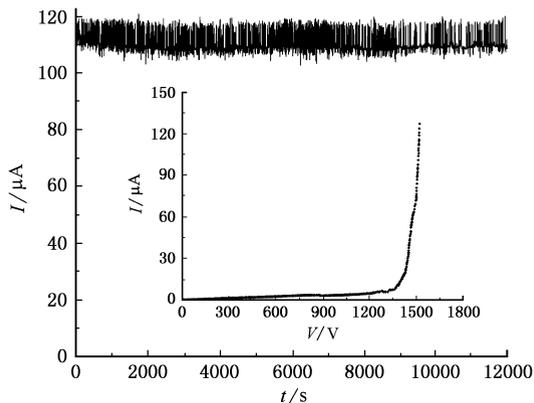


图 5 显示器在偏压为  $1400\ V$  时的电流稳定曲线

### 4. 结 论

利用四角状氧化锌纳米材料制备了场致发射平板显示器的阴极,研究了平板显示器的场致发射性

能,并实现了全屏点亮.我们的实验结果表明:四角状 ZnO 纳米材料是一种制备场致发射平板显示器阴极的理想材料.

- [ 1 ] Itoh S , Tanaka M , Tonegawa T 2004 *J. Vac. Sci. Technol. B* **22** 1362
- [ 2 ] Spindt C A 1968 *J. Appl. Phys.* **39** 3504
- [ 3 ] Spindt C A , Brodie I , Humphrey L , Westberg E R 1976 *J. Appl. Phys.* **47** 5248
- [ 4 ] Heer W A , Chatelain A , Ugarte D 1995 *Science* **270** 1179
- [ 5 ] Choi Y S , Cho Y S , Kang J H , Kim Y J , Kim I H , Park S H , Lee H W , Hwang S Y , Lee S J , Lee C G , Oh T S , Choi J S , Kang S K , Kim J M 2003 *Appl. Phys. Lett.* **82** 3565
- [ 6 ] Yu S , Yi W , Lee J , Jeong T , Jin S , Heo J , Kang J H , Choi Y S , Lee C S , Yoo J , Kim J M 2002 *Appl. Phys. Lett.* **80** 4036
- [ 7 ] Wang Q H , Yan M , Chang R P H 2001 *Appl. Phys. Lett.* **78** 1294
- [ 8 ] Li Q H , Wan Q , Chen Y J , Wang T H , Jia H B , Yu D P 2004 *Appl. Phys. Lett.* **85** 636
- [ 9 ] Park K H , Han H J , Choi S , Lee K M , Lee S , Koh K H 2003 *J. Vac. Sci. Technol. B* **21** 562
- [ 10 ] Wong W K , Meng F Y , Li Q , Au F C K , Bello I , Lee S T 2002 *Appl. Phys. Lett.* **80** 877
- [ 11 ] Oh C W , Lee C G , Park B G , Lee J D , Lee J H 1998 *J. Vac. Sci. Technol. B* **16** 807
- [ 12 ] Li S Q , Liang Y X , Wang C , Fu X Q , Wang T H 2006 *Appl. Phys. Lett.* **88** 163111
- [ 13 ] Li S Q , Liang Y X , Wang T H 2006 *Appl. Phys. Lett.* **88** 053107
- [ 14 ] Li S Q , Liang Y X , Wang T H 2005 *Appl. Phys. Lett.* **87** 143104
- [ 15 ] Chen Y J , Li Q H , Liang Y X , Wang T H , Zhao Q , Yu D P 2004 *Appl. Phys. Lett.* **85** 5682
- [ 16 ] Wan Q , Yu K , Wang T H , Lin C L 2003 *Appl. Phys. Lett.* **83** 2253

## Tetrapod-like ZnO nanostructures serving as cold cathodes for flat panel displays<sup>\*</sup>

Lin Zhi-Xian Guo Tai-Liang<sup>†</sup> Hu Li-Qin Yao Liang Wang Jing-Jing

Yang Chun-Jian Zhang Yong-Ai Zheng Ke-Lu

( Department of Electronics Science and Applied Physics , Fuzhou University , Fuzhou 350002 , China )

( Received 2 August 2005 ; revised manuscript received 15 January 2006 )

### Abstract

We have studied the field emission properties of tetrapod-like ZnO nanostructures and the fabrication of flat panel displays. Stable field emission and full-screen lighting have been realized. It is shown by our experimental results that ZnO nanomaterials are good field-emission cathode materials.

**Keywords :** nanostructures , field emission , flat panel displays

**PACC :** 7970 , 0670H

<sup>\*</sup> Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China ( 863 Program ) ( Key Project. Grant No. 2005AA303G10 ) , Key Science and Technology Project of Fujian Province ( Grant No. 2004HZ01-2 ) , Natural Science Foundation of Fujian Province ( Major Project. Grant No. A0420001 ) .

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail : tlguomw@fzu.edu.cn