

全丝印后栅 CNT-FED 仿真及器件研究

杨雄, 胡利勤, 吴朝兴, 陈勇, 林志龙, 郭太良

(福州大学 物理与信息工程学院, 福建 福州 350002, E-mail: yangxiong921@163.com)

摘要: 模拟并制作了一种基于丝网印刷技术的后栅结构碳纳米管场发射显示器。采用有限元分析软件 ANSYS 对器件进行了电场模拟, 优化了阴极宽度、阴极厚度、阴极间隙、介质层厚度等结构参数。取最优参数制作了像素为 30×30 , 发光面积为 $54 \text{ mm} \times 54 \text{ mm}$ 的单色显示屏。在阳压为 $1\,500 \text{ V}$ 、栅压为 300 V 时, 器件发射电流密度达到 $5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 。该器件制作成本低, 稳定性和均匀性良好, 可矩阵寻址实现字符显示。

关键词: 丝网印刷; 后栅; ANSYS; 场发射显示器; 仿真

中图分类号: TN873⁺.95 **文献标识码:** A

Simulation and Study of Under-Gate CNT-FED Via Screen Printing

YANG Xiong, HU Li-qin, WU Chao-xing, CHEN Yong, LIN Zhi-long, GUO Tai-liang

(School of Physics and Information Engineering, Fuzhou University,
Fuzhou 350002, China, E-mail: yangxiong921@163.com)

Abstract: A screen printed under-gate triode structure device with carbon nanotube field emitters is studied and produced. The electric-field of the cathode is simulated by using the software of ANSYS and produced with the best parameters. The pixels of the device are 30×30 and the display area is $54 \text{ mm} \times 54 \text{ mm}$. The currents density achieved $5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ when the anode voltage was $1\,500 \text{ V}$ and gate voltages was 300 V . The device has low production cost, a good stability and uniformity, and can be matrix-addressable to display words and pictures.

Key words: screen printed; under-gate; ANSYS; field emission display; simulation

1 引言

场发射显示器(FED)是显示技术与真空微电子技术相结合的产物,被认为是最有可能真正与等离子体(PDP)和液晶显示器件(LCD)相竞争的平板显示器^[1]。场发射显示器按有无栅极可分为二极管结构和三极管结构。二极管结构制作工艺简单但需要较高的驱动电压,很难采用现成的集成电路,使得驱动成本很高。三极管结构由于增加了栅电极,可以采用较低驱动电压。按栅极位置的不同,

三极管结构 FED 可分为前栅型和后栅型。前栅结构的优势在于栅极调控作用明显,能够制作出高亮度显示器件,但其工艺制作公差对阴极发射特性影响较大,特别是对介质层厚度、栅极开口尺寸和栅极对准精度等参数非常敏感,在厚膜工艺条件下,前栅结构很难实现大面积均匀显示。针对前栅结构所存在的问题, Samsung 公司提出了后栅三极管结构。后栅结构中,栅极埋在阴极之下,利用栅极与阴极边缘的强电场,使阴极边缘的场发射源产生场致电子发射。此结构工艺制作公差对

收稿日期: 2009-09-08; 修订日期: 2009-10-27

基金项目: 国家“863”计划平板显示重大专项(No. 2008AA03A313)

作者简介: 杨雄(1984-),男,湖南岳阳人,硕士研究生,主要研究纳米材料及场发射器件。

阴极发射特性影响较小,可全部采用丝网印刷工艺实现,制作成本低,易实现大面积均匀显示^[2,3]。

截止目前,国内外许多单位对后栅 FED 进行了一些研究,但在结构参数优化方面的研究还不够深入。本文采用有限元分析软件 ANSYS 对后栅型场发射显示器进行了电场模拟,分析了不同阴极宽度、阴极厚度、阴极间隙、介质层厚度等结构参数对阴极发射特性的影响。根据模拟结果选取最佳参数,采用丝网印刷工艺制作了后栅型碳纳米管场发射显示器(CNT-FED)并测试了该器件的场发射性能。

2 器件仿真及制作

2.1 仿真模型

ANSYS 软件是美国 ANSYS 公司研制的大型通用有限元分析软件,能够进行包括结构、热、声、流体、电磁场等学科的研究。本文利用 ANSYS 的电磁场分析功能对后栅型场发射显示器的结构进行模拟仿真,后栅型场发射显示器的结构如图 1 所示。根据实际结构的平面对称性创建了有限元二维模型,如图 2 所示,其中 H 为阴阳极间距, W_c 为阴极宽度, W_d 为阴极间隙, T_d 为介质层厚度, T_c 为阴极厚度。

为了使问题简化,做以下假设:

- (1)各电极形状为长方体,电阻率为零;
- (2)忽略空间电荷对电场分布的影响;
- (3)介质层电阻为无穷大,无孔洞;
- (4)阴极表面无 CNT 等场发射材料。

由于阴极附近电场变化剧烈,为重点研究区域,所以在有限元网络划分时,阴极附近区域网络划分较密。远离阴极的区域,电位变化平缓,网格划分较疏。利用 ANSYS 软件模拟出不同条件下阴极表面电场的分布情况,得出模拟数据,最后将数据导入 Origin 软件画出电场分布图。

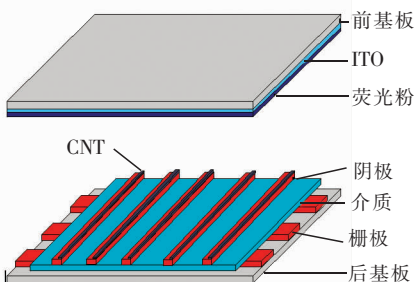


图 1 后栅型场发射显示器结构图

Fig. 1 Schematics of under-gate FED

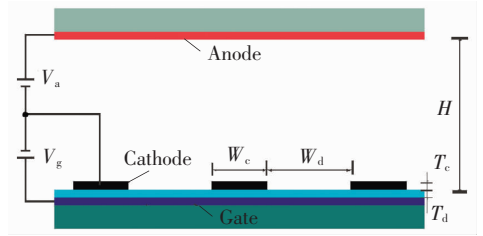


图 2 后栅型场发射显示器的静电场模型

Fig. 2 Electrostatic model of under-gate FED

2.2 工作特性仿真

在场发射显示器中,阴极的场发射特性与其结构尺寸和电参数密切相关,根据实验经验将阴阳极间距 H 定为 $1\ 000\ \mu\text{m}$,阳极电压 V_a 定为 $1\ 500\ \text{V}$,栅极电压 V_g 定为 $300\ \text{V}$,设计了 A、B、C、D 4 组单项仿真实验。如表 1 所示,每组实验只改变一个参数,在其他参数不变的情况下,分别研究了阴极宽度、阴极厚度、阴极间隙、介质层厚度等结构参数对阴极表面电场分布的影响,不同参数下的电场分布图如图 3 所示。

表 1 ANSYS 实验模拟参数

Table 1 ANSYS simulated parameters

编号	W_c (mm)	T_c (mm)	W_d (μm)	T_d (μm)
A	1/ 1.5/ 2	15	750	25
B	100	10/15/20	750	25
C	100	10	0.06~1.2	25
D	100	10	800	20~70

由仿真实验结果分析可知:

(1)后栅型 FED 是边缘型场发射器件,阴极表面的电场强度由电极中间向边缘方向增加,阴极边缘电场最强。在实际应用中,电极最边上的点由于电场太强,可能造成瞬间电流过大,发热导致材料脱落或烧毁,器件老炼一段时间后,最边上的点可能成为无效发射点,故在研究各项参数对阴极表面电场分布的影响时,不考虑最边缘的点,这样得到的结果更接近实际情况。

(2)由图 3(a)可知,在设定参数范围内,随着阴极宽度的减小,阴极表面电场整体逐渐提高。结合当前丝印最小线宽为 $100\ \mu\text{m}$,故将阴极宽度定为 $100\ \mu\text{m}$ 。

(3)由图 3(b)可知,阴极厚度对阴极发射特性影响均较小,将阴极厚度定为 $10\ \mu\text{m}$,约一次印

刷的厚度。

(4)由图 3(c)可知,在设定参数范围内随着阴极间隙增大,阴极表面电场整体逐渐提高。为研究方便,将阴极间隙参数定为 $800\ \mu\text{m}$,每根电极引线分叉引出两根阴极,每个像素面积为 $1.8\ \text{mm}\times 1.8$

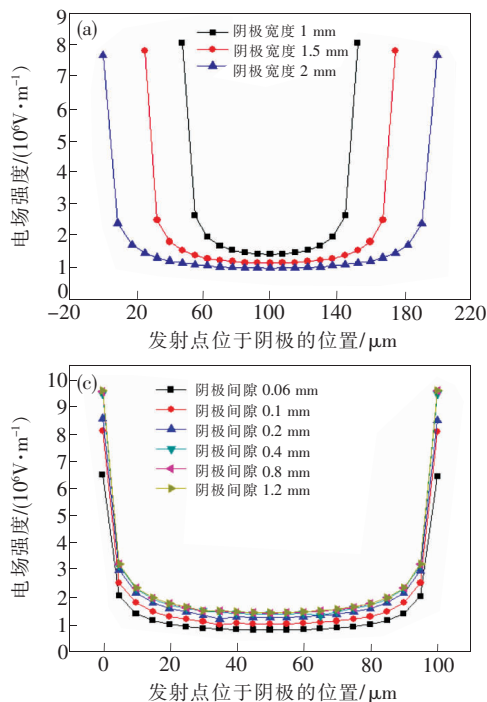


图 3 器件参数对阴极表面电场分布的影响。(a)阴极宽度对电场分布的影响;(b)阴极厚度对电场分布的影响;(c)阴极间隙对电场分布的影响;(d)介质厚度对电场分布的影响。

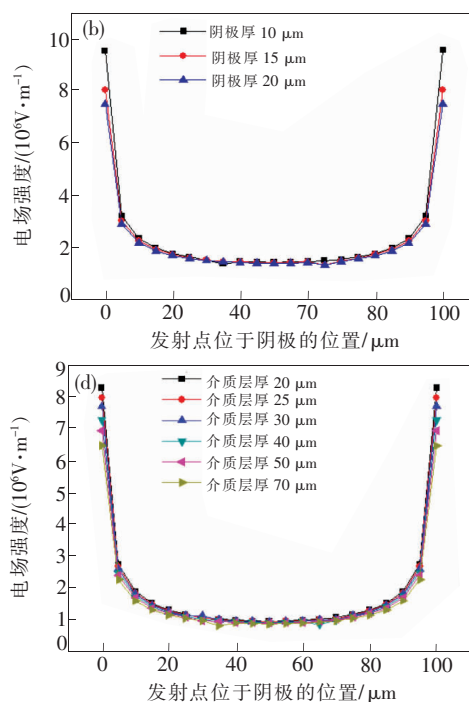
Fig. 3 Influence of device parameters on the emission. (a) Influence of cathode width on the emission; (b) Influence of cathode thickness on the emission; (c) Influence of cathode space on the emission; (d) Influence of dielectric layer thickness on the emission.

2.3 器件制作

根据上文 ANSYS 的模拟结果,取阴极宽度为 $100\ \mu\text{m}$,阴极厚度为 $10\ \mu\text{m}$,阴极间隙为 $800\ \mu\text{m}$,介质层厚度为 $25\ \mu\text{m}$,阴阳极间距为 $1\ 000\ \mu\text{m}$ 。根据显示屏结构参数,制作了像素为 30×30 ,发光面积为 $54\ \text{mm}\times 54\ \text{mm}$ 的单色显示屏(图 4)。器件由前后基板组成,前基板包括整面 ITO 玻璃和荧光粉,后基板包括栅极、介质层、阴极、CNT 材料等。在器件制作过程中,CNT 材料的转移及其后处理尤为关键。本文首先采用酸化及球磨工艺对单壁 CNT 进行表面改性及分散前处理^[4],然后将处理过的 CNT 与一定比例的松油醇和乙基纤维素配成 CNT 浆料,通过丝网印刷转移到阴极表面。CNT 浆料经高温烧结后,采用胶带法对其进行后处理,使 CNT 有更好的发

射性能^[5]。前后基板对准封接后,对显示屏抽真空,在真空度约为 $2\times 10^{-5}\ \text{Pa}$ 的条件下封离排气口,蒸散消气剂^[6]。

(5)由图 3(d)可知,介质层厚度对阴极发射特性影响较小,考虑到介质层的实际耐压特性,将介质层厚度定为 $25\ \mu\text{m}$,约为印刷 3 层的厚度。



射性能^[5]。前后基板对准封接后,对显示屏抽真空,在真空度约为 $2\times 10^{-5}\ \text{Pa}$ 的条件下封离排气口,蒸散消气剂^[6]。

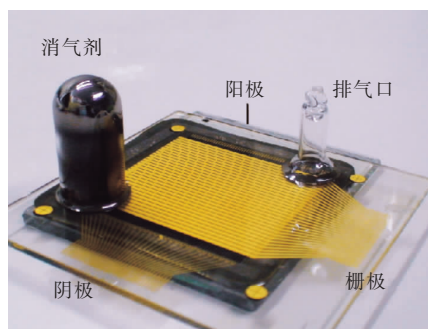


图 4 印刷型后栅 FED 实物图

Fig. 4 Photo of $10\ \text{cm}\times 10\ \text{cm}$ under-gate CNT-FED

3 器件性能测试

图 5 为制作完后的显示屏场发射测试曲线图,在保持阳极电压 1 500 V 不变的情况下,随着栅极电压的增加,发射电流逐渐增加。栅压为 0 时没有发光亮点,随着栅极电压的升高,发射点密度逐渐增加,发光亮度也明显提高,说明器件栅极调控作用明显。当栅极施加脉宽为 620 μs 、频率为 50 Hz、幅度为 300 V 的扫描电压时,发射电流达到 5 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$,能实现整屏均匀显示。图 6 为器件在阳压 1 500 V、栅压 300 V 条件下经 18 h 测试对应的发光效果图,说明该器件稳定性良好。

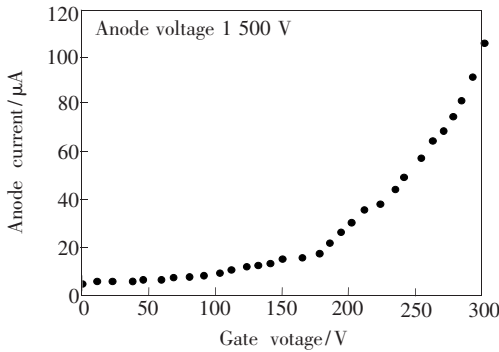


图 5 丝网印刷后栅型 CNT-FED 场发射测试曲线

Fig. 5 I - V characteristics of under-gate triode devices (Anode voltage was fixed at 1.5 kV)

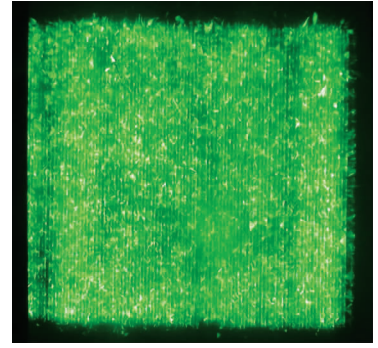


图 6 场发射测试发光图($V_a=1\ 500\ \text{V}$, $V_g=300\ \text{V}$, $T=18\ \text{h}$)

Fig. 6 Emission images for under-gate triode devices with $V_a=1\ 500\ \text{V}$, $V_g=300\ \text{V}$, $T=18\ \text{h}$.

4 结 论

采用 ANSYS 软件对丝印制备的后栅 CNT-FED 进行了电场模拟,分析了各结构参数对电场分布的影响,取最优参数制作了像素为 30×30 、发光面积为 $54\ \text{mm}\times 54\ \text{mm}$ 的单色显示屏。阳极施加固定电压 1 500 V,栅极施加脉宽为 620 μs 、频率为 50 Hz、幅度为 300 V 的扫描电压时,器件有较好的显示效果,发射电流达到 5 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$,能实现整屏均匀显示,器件稳定性良好。

参 考 文 献:

- [1] 林志贤,徐胜,郭太良.大屏幕低逸出功印刷型 VGA 级 FED 显示系统的研制 [J]. 液晶与显示, 2008, 23(1): 58-62.
- [2] Fennimore A M, Cheng L T, Roach D H. A stable under-gate triode CNT field emitter fabricated via screen printing [J]. *Diamond and Related Materials*, 2008, 17(12): 2005-2009.
- [3] Choia Y S, Kanga J H, Parkb Y J, et al. An under-gate triode structure field emission display with carbon nanotube emitters [J]. *Diamond and Related Materials*, 2001, 10(9-10): 1705-1708.
- [4] 陈秀云,叶芸,郭太良.高亮度碳纳米管背光源的制备及特性研究 [J]. 福州大学学报(自然科学版), 2009, 37(3): 372-375.
- [5] Vink T J, Gillies M, Kriege J C, et al. Enhanced field emission from printed carbon nanotubes by mechanical surface modification [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, 83(17): 3552-3554.
- [6] 樊志琴,蔡根旺,王世建.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.