

文章编号: 1004-0609(2004)S1-0404-05

新型可印刷 FED 场致发射显示器的研制^①

郭太良¹, 林志贤¹, 吴新坤¹, 林建光¹, 黄振武¹, 林燕飞¹, 郭明勇¹,
林金堂¹, 赵博选¹, 林君坦¹, 周小红¹, 胡利勤¹, 何国金¹, 廖志君¹, 张 芳², 朱 佳²

(1. 福州大学 现代物理技术研究所, 福州 350002;

2. 国家科技部 高技术研究发展中心, 北京 100044)

摘 要: 介绍了国内外平板显示器, 特别是场致发射显示器(FED)的市场预测和主要研究单位以及 FED 显示器的基本制作工艺, 包括阴极激活和真空镀膜技术, 论述了阴极激活技术及其对提高 FED 阴极发射能力的作用。采用丝网印刷、真空镀膜和阴极激活技术与低逸出功材料结合增强发射场强的方法研制出能显示视频图像的 20 英寸(50.8 cm)单色 FED 显示器样机, 其亮度已达 300 cd/m², 对比度已达 400。并讨论了 FED 显示器今后可能的发展方向。

关键词: 场致发射显示器; 阴极激活; 电子发射; 真空镀膜; 丝网印刷

Development of novel printable field emission display prototype

GUO Tai-liang¹, LIN Zhi-xian¹, WU Xin-kun¹, LIN Jian-guang¹, HUANG Zhen-wu¹,
LIN Jin-tang¹, LIN Yan-fei¹, GUO Ming-yong¹, ZHAO Bo-xuan¹, LIN Jun-tan¹,
ZHOU Xiao-hong¹, HU Li-qin¹, HE Guo-jin¹, LIAO Zhi-jun¹, ZHANG Fang², ZHU Jia²

(1. Institute of modern physical technology, Fuzhou University Fuzhou 350002, China;

2. High-Tech R&D Center, National Department of Science and Technology, Beijing 100044, China)

Abstract: The market forecast and researching institutions of the flat panel display especially the Field Emission Display (FED) were introduced. The basic fabrication processes of FED were introduced, including cathode activation technology and thin film sputtering technology. The effects of the cathode activation technology on the enhancement of electron number emitted from the cathode surface were discussed in details. The FED panel was fabricated by using thin film sputtering, screen printing and cathode activation technologies. The cathode of FED prototype was activated with low work function materials. The activation process is lower than the work function of the cathode surface effectively and therefore the electron number increased dramatically emitted from the cathode surface. The prototype thus fabricated could display video images and moving pictures. Its screen brightness and contrast ratio are 300 cd/m² and 400 respectively. The possible development of FED on its cathode materials and structure, and the overall fabrication technology were also discussed.

Key words: field emission display; cathode activation; electron emission; vacuum coating; screen printing

综合国外多家显示器件市场调查分析机构的统计和预测可知, 1993 年全球平板显示器件市场为 71.5 亿美元(占显示器件总市场的 34.5%), 1997 年约为 140 亿美元, 1998 年约为 160 亿美元, 2000 年约为 250 亿美元。2002 年全球电子显示器市场约为 576 亿美元, 预计 2006 年全球显示器市场将达

到 1018 亿美元, 其中平板显示器件将占整个显示器市场的 60%。由此可见, 平板显示产业已成为世界各国特别是亚洲主要国家投资发展的主要行业之一。

场致发射显示器(Field emission display, FED)是新一代真空平板显示器件, 它由阴极板、荧光屏

① 基金项目: 国家“八六三”计划资助项目(2002AA303310)

作者简介: 郭太良(1963-), 男, 研究员, 硕士。

通讯作者: 郭太良, 福州大学现代物理技术研究所; 电话: 13805007806

和驱动电路等组成。当在阴极板上的阴极和栅极之间加上驱动电压时, 产生强电场, 此时阴极发射电子并轰击阳极荧光屏上的荧光粉而发光^[1-5]。通过扫描阴极和栅极可以使得阳极荧光屏按一定的规律自上而下逐行发光, 由此显示出丰富多彩的图像。这种显示器件具有彩色、自然逼真、响应速度快、视角宽、分辨率高、功耗低等突出优点, 可以广泛地应用于家用电视机和电脑显示器。预计到 2010 年, FED 的市场规模有望达到 50 亿美元。

由于 FED 具有突出的潜在优点和巨大的市场前景, 自 20 世纪 80 年代初至 90 年代末, 美国、日本、德国、法国、英国、俄罗斯、韩国以及台湾等国家或地区均投入大量的人力、财力、物力用于研究开发 FED 场致发射显示器, 发起了第一次 FED 研发热潮。美国因为在 LCD 和 PDP 的开发生产方面大大落后于日本、韩国和台湾, 因此美国的显示器件战略目标瞄准 FED, 并投入巨额资金用于开发 FED, 且已将 FED 显示器应用于国防、医疗卫生、防灾减灾等领域。目前, 世界上有一定生产规模的 FED 显示器生产厂商就仅有美国 Pixtech 公司和日本 Futaba 公司。20 世纪 90 年代末, 由于受网络股灾和其他相关因素的影响, Nasdaq 股票一落千丈, FED 的研究开发工作也受到很大的负面影响。2000 年以后, 经过一段时间的调整和反思后, 由于受到平板显示器件行业, 特别是对数字化壁挂式高清晰度电视机市场需求的激增和 FED 一些关键技术突破, 世界各地投入研发 FED 的资金突然猛增。国外各大显示器件公司又开始掀起第二次 FED 研发热潮, 第二次 FED 研发具有两大特点: 1) 研发中心已从欧美移至日韩, 主要研发单位有日本的伊势、佳能、东芝、双叶、日立、旭硝子、NHK、Futaba、NEC, 韩国的 Samsung、Orion, 英国的 PFE 和美国的 Pixtech、Motorola 等, 对比 LCD、PDP 等显示器件的研发生产历程, 预示着 FED 将可能进入产业化; 2) 各大厂商在完成小尺寸 FED 样机制作的基础上的大多直接开发大尺寸(30 英寸以上) FED, 而不是像第一次 FED 研发那样从 1-2 英寸开始逐年缓慢扩大尺寸, 这也预示着 FED 也可能进入产业化^[6-8]。

我国在 FED 研发方面有代表性的研究单位主要有中山大学、西安交通大学、清华大学、长春光机所、东南大学、华东师范大学、郑州大学和福州大学等。福州大学自 1989 年开始, 在 Spindt 阴极、Si 和 GaAs 的 p-n 结冷阴极、低逸出功 FED 冷阴极和具有自主知识产权的印刷型低逸出功 FED 阴极

方面开展研究。近年来, 在国家“八六三”计划“十五”重大专项、国家自然科学基金、福建省科技厅等政府投资和福建宏利工程有限公司、厦门火炬投资开发有限公司等企业资助下, 已研制出可显示视频图象的单色 20 英寸 FED 显示器样机。

1 主要工艺流程

福州大学的 FED 显示器的研制工艺流程与阴极射线管(CRT)很相似, 如图 1 所示。主要为化学清洁处理、丝网印刷、真空镀膜、高温焙烧、低玻封接、真空排气、阴极激活、消气剂活化、真空封离和器件老化等, 其中丝网印刷、真空镀膜和阴极激活是福州大学 FED 研发的最重要技术^[9]。

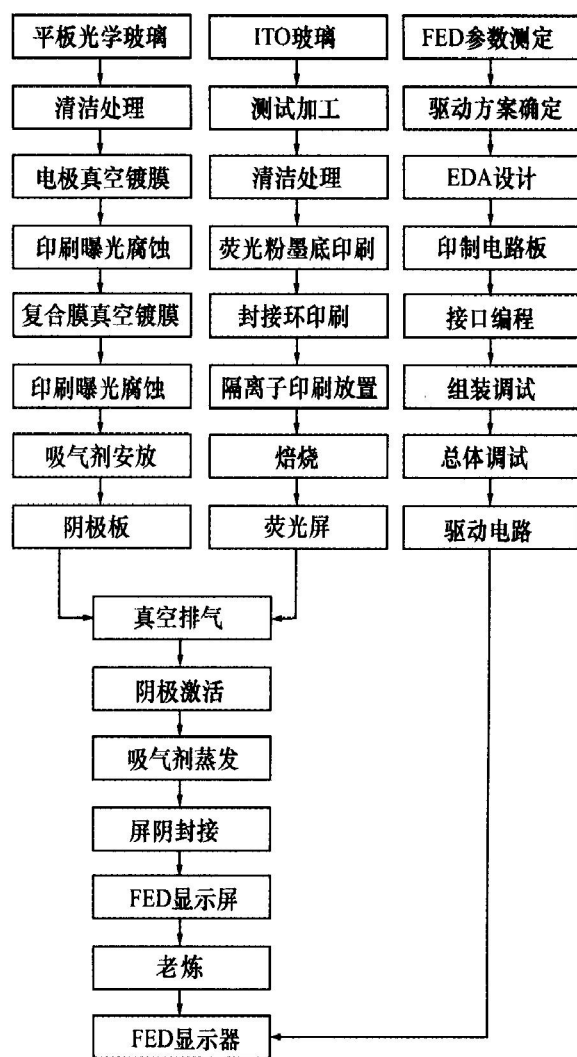


图 1 FED 显示器的工艺流程简图

2 显示屏研制

福州大学 FED 显示屏制作中的关键技术为阴极激活技术和真空镀膜技术。

众所周知, FED 阴极的发射电流密度与阴极逸出功和外加电场的关系可以用福勒-诺德海姆场致发射公式来表示:

$$J = (aE^2/\varphi) \exp(-b\varphi^{3/2}/E)$$

式中 j 为场致发射电流密度; a , b 为常数; φ 为阴极表面逸出功; E 为阴极表面电场强度。由此可见, 只要提高阴极表面附近的电场强度或降低阴极表面的逸出功, 阴极的发射电流就能以指数关系急剧提高, 且降低阴极表面逸出功的作用比提高电场强度的作用还显著。

福州大学 FED 技术的基本思路是在提高阴极表面附近的电场强度的同时, 降低了阴极表面的逸出功, 使得在阴极表面电场强度不太高而阴极表面逸出功又不太低的情况下, 阴极就可能有很强的电子发射能力。此时, 真空中的残余气体分子不易电离, 可以减少他们对阴极的轰击。阴极激活技术是福州大学 FED 器件制备的关键技术。阴极激活指采用低逸出功材料来激活 FED 阴极基底材料, 使阴极的真空能级显著下降, 阴极的逸出功就显著降

低。在较低的电场作用下, 阴极体内的大量导电电子就可逸出阴极表面向真空发射, 如图 2 所示。由于采用低逸出功的材料来激活 FED 阴极, 使得 FED 阴极的逸出功可以降低得很低, 而实测 FED 阴极的逸出功典型值为约 2 eV (最低逸出功值为 1 eV 以下), 实验测试的 FED 阴极的发射电流典型值约为每像素 1 mA, 最小阴极发射面积为 $0.4 \times 0.4 \text{ mm}^2$ 。因此, FED 阴极的发射电流密度典型值约为 0.625 A/cm^2 。目前, 我们所研制的阴极的基本性能参数总结如下:

阴极尺寸:	20 英寸 (63.5 cm)
阴极工作电压:	小于 300 V
阴极工作电流:	1 mA/pixel
阴极发射单元数量:	320 × 240

FED 显示屏的真空镀膜是在 JPGD-1200 磁控溅射系统上进行的。该设备采用射频磁控溅射和中频磁控溅射镀制介质膜, 采用直流磁控溅射镀制导电膜, 主机由进样室、真空锁和镀膜室共 3 个部分组成。由机械泵、罗茨泵和分子泵 (3 台 HTFB1200

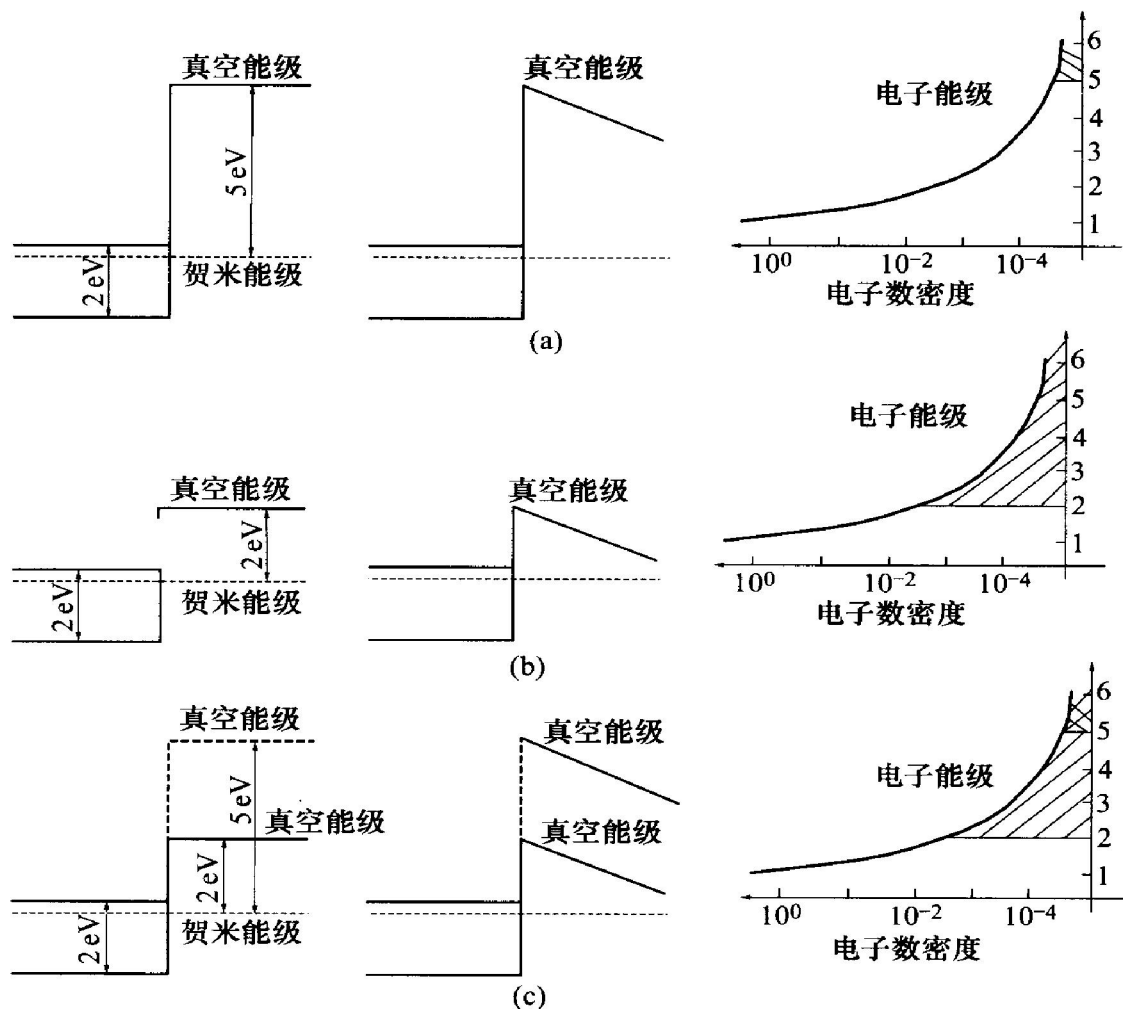


图 2 阴极激活与可发射电子密度的关系

型涡轮分子泵) 组成复合真空抽气系统, 加热系统是大面积均匀红外辐射间接加热器。玻璃上镀制的膜层含导电电极、阴极基底、介质绝缘层等, 工作气体为 Ar 和 O₂ 等。溅射镀膜机组和中频反应溅射的迟滞回线分别如图 3, 4 所示。



图 3 溅射镀膜机组

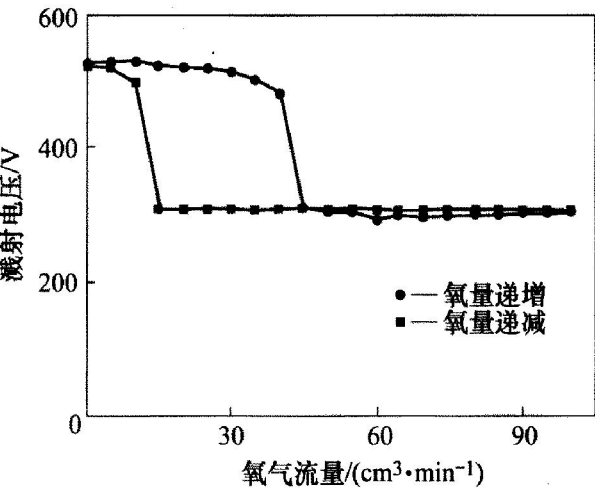


图 4 中频溅射介质膜的迟滞回线

3 显示效果和创新之处

采用丝网印刷、真空镀膜和阴极激活技术, 我们已经研制出能成功显示视频图像的 20 英寸(63.5 cm)的单色 FED 显示器简单样机, 其外观形状如图 5 所示。该样机 FED 样机的主要性能指标如下:

- 显示器尺寸: 20 英寸(63.5 cm)
 - 颜色: 单色
 - 电路灰度等级: 256 级
 - 对比度: 400
 - 显示容量: 320 × 240
 - 亮度: 300 cd/m²
 - 显示内容: 视频图像
- 目前, 我们研制的 FED 单色样机可显示单色

视频图像(红绿蓝三基色), 如图 6 所示。



图 5 FED 简单样机的外观照片



图 6 FED 显示效果照片

4 福州大学 FED 的特色与创新之处

- 1) 阴极材料: 采用大面积印刷型阴极材料, 配以在低于低玻封接温度时能够分解挥发添加剂制成的阴极浆料。
- 2) 阴极激活技术: 采用低逸出功材料来激活 FED 阴极基底材料, 降低阴极的逸出功, 提高阴极的电子发射能力。实际上, 在临界场强附近, 阴极逸出功降低 1 eV, 其电子发射能力将提高近 10⁶ 倍。
- 3) 真空低玻封接: 真空低玻封接技术集 FED

显示屏的屏阴封接、真空除气、阴极激活、消气剂除气和蒸散以及真空封离等工艺于同一过程, 同时也不需对电极进行保护。因此, 真空封接大大简化了 FED 屏的封接工艺过程, 提高了工作效率。且显示屏不需排气管, 提高了器件在制造、运输和使用过程中的安全性。

5 今后研究思路

FED 显示器今后的主攻方向有以下几个方面^[10~13]:

1) 高性能 FED 包括碳纳米管 FED 和印刷型 FED 专用材料及其制作技术, 主要是阴极材料和阴极制备技术;

2) 中大屏幕彩色 FED 显示器;

3) 低成本 FED 驱动技术。

下一阶段, 我们的研制目标是 25 英寸(63.5 cm)彩色 FED 显示器, 其中阴极材料为低逸出功材料, 荧光粉为 CRT 三基色荧光粉的改进型。

6 结论

采用丝网印刷、真空镀膜和阴极激活技术可以制作能显示视频图象的 20 英寸单色 FED 显示器。在 FED 阴极材料制备方面, 我们将阴极材料调制成浆料, 并通过丝网印刷技术而涂敷在玻璃基板上。这种阴极材料的特点是可以大面积形成在玻璃基板上。在 FED 阴极激活技术方面, 在真空状态下利用低逸出功材料对阴极进行激活。通过调整激活材料配方和激活工艺条件, 可以获得逸出功较低、电子发射的均匀性和稳定性较好的 FED 阴极, 且每个阴极发射单元的稳定发射电流已经可达 5 mA 以上。

目前, 我们制作的 FED 样机的亮度已达 300 cd/m², 电路灰度等级已达 256 级, 对比度可达 400, 显示容量为 320×240, 显示颜色为单色(红绿蓝三基色均有样屏), 有效显示对角线尺寸为 20 英寸(63.5 cm), 显示内容为 50Hz 视频图象。

参考文献

- [1] Talin A A, Dean K A, Jaskie J E. Field emission display: a critical review [J]. Solid State Electronics, 2001, 45: 963 - 976.
- [2] Carey J D. Engineering the next generation of large area displays: prospects and pitfalls [J]. Phil Trans Roy Soc A, 2003, 361: 2891.
- [3] Ghayeb J, Daniels R. Status review of field emission displays [A]. Proceedings of the Conference, Orlando, FL Cockpit displays VIII displays for defense applications [C]. Bellingham, WA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2001. 319 - 330.
- [4] Seats P, Gnade B. Is there a future for flat-panel cathode-ray tubes [J]. Information Display, 2001, 17(7): 22 - 27.
- [5] Burden A P. Materials for field emission displays [J]. International Materials Reviews, 2001, 46(5): 213 - 231.
- [6] Robertson J, Milne W I, Teo K B K, et al. Field emission applications of carbon nanotubes [A]. Proceedings of Structural and Electronic Properties of Molecular Nanostructures; X IV International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials [C]. Austria: American Institute of Physics, 2002. 537 - 542.
- [7] Saito Y. Carbon nanotube field emitter [J]. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2003, 3(1-2): 39 - 50.
- [8] Groning P, Ruffieux P, Schlapbach L, et al. Carbon nanotubes for cold electron sources [J]. Advanced Engineering Materials, 2003, 5(8): 541 - 550.
- [9] Guo T, Huang Z, Wu X, et al. Novel 20-inch color field emission display prototype [A]. SID' 00 Digest [C]. 2000. 416 - 419.
- [10] Suzuki M, Kusunoki T, Sagawa M, et al. Field emission display based on nonformed MIM-cathode array [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2002, 49(6): 1 005 - 1 011.
- [11] Burden A P, Bishop H E, Brierley M, et al. Incorporating consumer-priced field-emitting inks into arrays of triode devices [J]. Solid State Electron, 2001, 45(6): 987 - 996.
- [12] Lim M S, Park C M, Han M K, et al. In-situ vacuum-sealed lateral FEAs with low turn-on voltage and high transconductance [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2001, 48(1): 161 - 165.
- [13] Tsai J T H, Teo K B K, Milne W I. Approach for a self-assembled thin film edge field emitter [J]. J Vac Sci Technol B, 2002, 20(1): 1 - 4.

(编辑 李艳红)