

文章编号: 1001-5078 (2006) 10-0971-03

# FED 显示驱动电路结构及其场发射特性分析

邓记才<sup>1,2</sup>, 张兵临<sup>1</sup>, 方莉俐<sup>1</sup>

(1. 郑州大学材料物理教育部重点实验室, 2. 郑州大学信息工程学院, 河南 郑州 450052)

**摘要:**从场发射的基本原理出发,分析了影响场发射电流的内外因素。阴极表面强电场是产生发射电流的必要条件,但像素的不均匀性和场发射特性的非线性导致无法产生精确的发射电流,由此带来了亮度调节的可控性差;阴极驱动电路作为发射电流回路的一部分,其电路结构直接影响发射电流的控制特性,分析表明电流驱动模式能对阳极束电流进行精确控制,是实现 FED 亮度控制的理想驱动方式。

**关键词:**场发射显示;矩阵寻址;驱动电路;电流模式

**中图分类号:** TN873 **文献标识码:** A

## Analysis of Driving Circuit Structure and Field Emission Characteristics for FED

DENG Ji-cai<sup>1,2</sup>, ZHANG Bing-lin<sup>1</sup>, FANG Li-li<sup>1</sup>

(1. Material Physics Lab of Education Ministry of China, Zhengzhou University;

2. Information Engineering School, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:**Based on the principle of field emission, the internal and external factors which affected field emission current were discussed in the paper. The high electric field on cathode surface was the necessary condition to generate emission current, but the imprecision of emission current, which caused by non-uniformity of pixels and non-linearity of field emission properties, led to the difficulty in controlling of luminance. The structure of cathode driving circuit affected control properties of emission current, because it was a part of emission current loop. The analysis showed that current driving mode could control anode current exactly.

**Key words:** field emission display (FED); matrix addressing; driving circuit; current mode

### 1 引言

场致发射显示器 (FED) 是采用冷阴极技术的新型平板显示器,它相对 LCD、PDP 显示器具有亮度高、响应快、功耗小、色彩逼真等优点。多年来场发射显示的研究重点一直放在阴极场发射材料的开发上,目前阴极场发射材料已经历了金属尖锥阵列型和金刚石薄膜型,目前的研究热点正集中在碳纳米管 (CNT) 薄膜场发射材料上<sup>[1-2]</sup>。由于 CNT 开启电压低、发射特性稳定和易于制作, FED 显示技术

的实用化步伐正在加快。除了场发射材料的研究外,高性能的驱动电路研制也是 FED 发展的关键技术之一,而亮度控制则是驱动的主要任务,为此本文从 FED 的调制特性分析入手,结合其发射电流等效通路,分析了阴极驱动电路的驱动特性及电路结构对实现亮度线性调节的影响。

基金项目:教育部科学技术重点研究项目 (205091)。

作者简介:邓记才 (1964 - ),男,副教授,博士生,研究方向为电路设计与场致发射显示技术等。E-mail: iejdeng@zzu.edu.cn

收稿日期: 2006-04-24

### 2 场致发射特性与 FED 亮度显示原理

场致电子发射是一种通过施加外部电场来压抑物体表面势垒,使势垒高度降低,宽度变窄,从而出现使物体大量电子越过表面势垒而逸出的现象。传统金属场发射可由 Fowler-Nordheim 方程来描述,现在 FED 显示技术研究逐渐转移到以碳纳米管薄膜作为新型场发射材料上,实验表明该方程也适用于碳纳米管材料,可用于碳纳米管的场发射特性分析。表示电场强度  $E$  和电流密度  $J$  的 Fowler-Nordheim 公式<sup>[3]</sup>如下:

$$J = \frac{1.54 \times 10^{-6} E^2}{\tilde{t}(y)} \times \exp \left[ -6.83 \times 10^7 \frac{y^{3/2}}{E} \right] \text{ (A/cm}^2\text{)}$$

式中,  $\tilde{t}(y)$  近似为 1;  $y$  为 Nordheim 函数;  $\phi$  为发射材料的逸出功;  $y = 3.76 \times 10^{-4} E^{1/2} / \phi$ 。通常计算中简化为  $\tilde{t}(y) = 1.0$ ,  $y = 0.95 - y^2$ 。

在 FED 平板显示中,我们特别关注的是发射电流与工作电压的关系,已知发射电流  $i$  与  $J$  成正比,电场强度由阳极(或栅极)与阴极间电压  $V$  决定,于是由上式可导出  $i - V$  关系如下:

$$i = aV^2 \exp(-b/V)$$

式中,  $a = 1.54 \times 10^{-6} / (\tilde{t}(y))$ ;

$$b = -6.83 \times 10^7 y^{3/2} (y)$$

上式即是表示场发射的伏安特性,在三极型 FED 中,  $V$  等于栅阴电压  $V_{gc}$ ,即  $V_{gc}$  控制着发射电流的大小,根据上式可以作出表示电压电流关系的  $i - V$  曲线,即伏安曲线,通过实验测得的典型  $i - V$  曲线如图 1 所示。因发射电流的大小决定着亮度的高低,因此通过调节栅阴电压  $V_{gc}$  的大小,即可实现对亮度的控制,这条曲线也称为 FED 调制特性曲线。

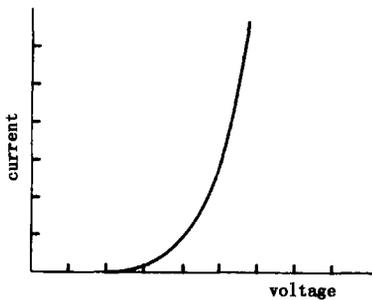


图 1 FED 器件伏安特性曲线

Fig 1  $i - V$  pbt of FED

调制特性反映了  $V_{gc}$  对亮度的控制关系,由此可以设计对 FED 实现亮度控制的驱动电路,由于调制特性存在严重的非线性效应,且 FED 平板显示器

的显示方式是采用矩阵寻址,其每个像素单元相对独立工作,而各像素单元的调制特性存在一定的离散性,这样当施以电压驱动时,就会产生两个问题:一是相同幅度电压会产生不同强度的电子发射,因而不能产生均匀的亮度;二是不能通过固定的非线性校正来改善其线性。这就使得亮度调制很难通过改变电压来实现,因此在 FED 显示中必须找到控制发射电流的方法才能实现亮度的控制,这就需要研究 FED 的驱动特性,这也是进行 FED 驱动电路设计的基本思路。

### 3 FED 驱动特性分析

#### 3.1 阳极电流通路分析

为实现 FED 显示,所有像素依行列矩阵排列,栅极连接至扫描电极,阴极连接至信号电极,通过选通行列电极,即可完成对相应像素的寻址驱动显示。三极型 FED 的驱动电路与行列电极的连接如图 2 所示。为分析对发射电流的控制原理,可进一步作出阳极电流回路图。对电压驱动模式,图 2 中的阴极驱动输出电路是开关电路,这时其电流形成回路如图 3(a)所示,阴极直接接地,阳极电流近似为阴极发射电流,即栅阴电压  $V_{gc}$  决定阳极电流大小,它们之间的关系由图 1 曲线决定,是一种非线性关系,因此电压驱动不能保证发射电流完全相同,也就无法实现显示亮度的均匀性要求。

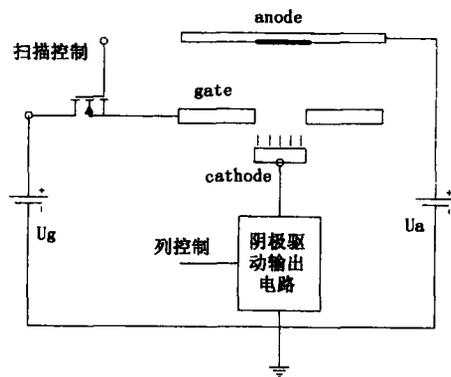


图 2 驱动电路连接图

Fig 2 connected diagram of driving circuit

对电流驱动模式,图 2 中的阴极驱动输出电路为电流源电路,这时其等效电流回路如图 3(b)所示,阴极通过电流源接地,即电流源控制着送给阴极电流的大小。在这种情况下阳极电流并不完全由伏安特性决定,而是受两个因素影响:一是在栅压作用下阴极发射电流的能力;二是驱动阴极的电流大小。只要保证阴极的发射电流大于电流源电流,则实际

的阳极电流就等于电流源电流  $i_c$ , 即阴极驱动电流精确控制着阳极电流的大小, 因此电流驱动可以由外电路控制阳极电流的大小, 而不受阴极不一致性和伏安非线性的影响, 故电流驱动可以实现对阳极电流的控制, 因此它是保证亮度均匀性和进行线性调节的基本方法。

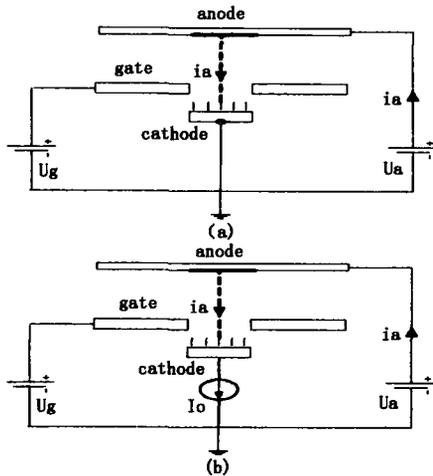


图 3 (a)电压驱动电流通路; (b)电流驱动回路

Fig 3 (a) current path of voltage driving

(b) current path of current driving

### 3.2 基于电流模式的阴极驱动电路

亮度的线性控制是图像显示的基本要求, FED 的亮度的大小与阳极电流成正比, 但从图 1 知 FED 的调制特性是非线性的, 因此不能通过改变电压来控制亮度的线性变化; 由上述恒流源驱动等效电路分析知, 电流驱动能够有效消除像素间调制特性的差异, 从而实现亮度显示的均匀性, 在此基础上若配以脉宽调节就能够对亮度进行线性控制。综合相关文献<sup>[4-6]</sup>, 具有脉宽控制 (PWM) 功能的电流源驱动电路如图 4 所示, 由于各像素的实际发射电流在电流源控制下趋于相同, 而脉宽控制信号来自显示信号调制转换电路, 它在视频信号调制下以恒定脉宽增量  $t_n$  均匀增加, 即与第  $n$  级灰度对应的 PWM 脉宽为:

$$t_n = n \times t_m$$

PWM 脉冲信号有效地控制着阴极电子发射时间的长短, 从而进行对灰度级的调节, 较好地实现了亮度显示的线性变化。

电流调制的特点是稳定性和一致性好, 但从伏安特性分析可知, 为保证进行可靠而有效电流控制, 必须供给栅极足够高的电压以满足电流控制所需要的电流, 这是电流调制的前提条件。

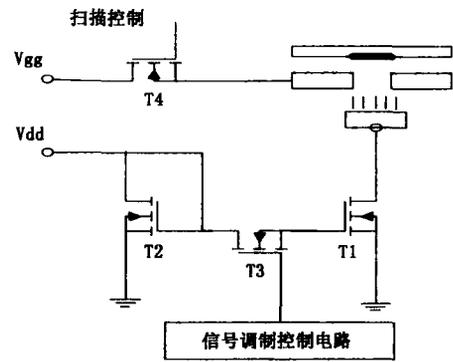


图 4 阴极电流驱动电路

Fig 4 cathode driving circuit based on current mode

## 4 总结

结合阴极材料的场发射特性, 通过对阳极电流回路分析得知, 电压驱动无法获得对阳极电流的精确控制, 而电流驱动具有对阳极电流的控制能力。在电流驱动电路中, 只要施加合理的栅极电压就可以保证所有像素阳极电流都等于恒流源电流  $i_c$ , 从而保证了亮度显示的均匀性, 因此电流驱动克服了各像素不一致的缺点, 实现了通过电路去控制阳极电流的目的。此外场发射还存在发射电流波动和随时间延长发射能力下降的缺点, 这些都可以通过电流驱动来弥补和克服。电流驱动模式恰到好处地综合利用了场发射的内外因条件, 保证了亮度显示的均匀性, 在最大程度上克服了发射电流的波动性, 是进行 FED 驱动的理想方式。

## 参考文献:

- [1] Lee N S, Chung D S, Han I T, et al Application of carbon nanotubes to field emission displays [J]. Diamond Relat Mater, 2001, 10 (2): 265 - 270
- [2] Choi Y S, Kang J H, Kim H Y, et al A simple structure and fabrication of carbon-nanotube field emission display [J]. Applied Surface Science, 2004, 221 (1): 370 - 374
- [3] 应根裕, 胡文波, 邱勇, 等. 平板显示技术 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2002
- [4] Shin Hong-jae, Kwack Kae-dal Anovel driving system for high performance true color fed [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2001, 47 (4): 802 - 808
- [5] Lee J D, Nam J H, Kim I H, et al Design of nmos driving circuits integrated with field emitter arrays [A]. MMC [C]. 1998, 63 - 64
- [6] Song H Y, Jeong D K, Lee J D. Current mode column driver for FED [A]. MMC [C]. 1997, 701 - 705