

丝网印刷碳纳米管显示器驱动电路的研制

潘金艳, 朱长纯, 刘永相, 高云龙
(西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安)

摘要: 为解决采用丝网印刷技术制作的碳纳米管显示器件(CNT-FED)驱动电压高、亮度均匀性差的问题,设计并实现了电压控制的寻址与显示分离型的驱动电路.采用分离高压控制器件实现了行、列驱动电压波形,并利用反向高压控制暗像素点,不仅能满足丝网印刷 CNT-FED 700~1 000 V的高压驱动要求,并且有效抑制了漏电流导致的串亮现象.在各行电路上设计了限流电阻,对场发射电流起到反馈作用,有效改善了亮度均匀性.该驱动电路成本低,且从电路角度提升了丝网印刷 CNT-FED的亮度和发光均匀性.测试结果表明:由新电路驱动的 CNT-FED可实现动画显示,峰值亮度可达到 1 400 cd/m².

关键词: 碳纳米管显示器;丝网印刷;驱动电路;寻址与显示分离

中图分类号: TN873 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)10-1197-05

Study on Driving Circuit for Complete Silk Screen-Printed Carbon Nano-Tube Field Emission Display

Pan Jinyan, Zhu Changchun, Liu Yongxiang, Gao Yunlong
(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: To avoid the high driving voltage and illuminant non-uniformity of carbon nano-tube field emission display (CNT-FED) fabricated by silk screen-printed technology, a voltage controlled address display-period separation driving circuit is designed and implemented. Line and column driving wave are realized by adopting a separate high voltage controller and a reverse high voltage is applied to control turn-off pixels. The circuit not only satisfies the high driving voltage from 700 V to 1 000 V for silk screen-printed CNT-FED, and also the crosstalk caused by leakage current is restrained. Current-limit resistance is presented on every line which serves as the feedback for field emission current, and the illuminant uniformity of CNT-FED is improved effectively. The driving circuit has low cost, and luminance and uniformity of silk screen-printed CNT-FED is advanced from the point of circuits view. Tests results show that CNT-FED with the driving circuit can displays dynamic image and the peak luminance comes to 1 400 cd/m².

Keywords: carbon nano-tube field emission display; screen-printed technology; driving circuit; address display-period separation

碳纳米管显示器(CNT-FED)是采用真空微电子技术、利用碳纳米管尖端发射原理制作的新型平板显示器^[1-2],不仅具有重量轻、体积小等平板显示器共有的优点,还具有视角大、对比度高、清晰度高、工作电压低、功耗低等优点,因而被预测为最有潜力

产业化的新型平板显示器之一.

丝网印刷技术是目前备受关注的 CNT-FED 制作技术之一^[3],它与直接生长技术相比具有明显的价格优势,同时具有易于制作大面积显示屏的特点,但目前采用丝网印刷技术制作的 CNT-FED 还存

在以下问题:①为保证装后的显示屏具有足够高的真空度,采用丝网印刷技术制作的显示屏阴、阳间距较大,因此所要求的驱动电压比较高;②由于印刷线条精度低,像素点阵列中行与行之间的平行度差,造成像素点间亮度均匀度差.本文根据全丝网印刷制作 CNT-FED 的结构特点,设计了直流电压控制型驱动电路,采用基于寻址与显示分离(ADS)的驱动方法实现灰度显示,采用光藕、高压场效应管等器件设计行、列高压驱动电路,并增加了限流电阻的设计,可对像素点起到电流反馈、保护作用.本文所设计的 CNT-FED 驱动电路可满足高电压驱动的要求,提高亮度均匀性,实现了低成本驱动.

1 碳纳米管显示器的特点

采用全丝网印刷技术制作的两级结构 CNT-FED,由互相垂直的阴极条和阳极条构成像素点阵列,每个像素内有大量的微尖发射体,微尖发射电流的统计平均产生了很好的冗余度和均匀性.设计中阳极条由导电银浆衬底和荧光粉套印成行,阴极条由导电银浆衬底和碳纳米管套印成列,并分别在阳极条行和阴极条列之间布以绝缘支柱,然后以低玻粉胶合封装,抽真空并蒸散消气剂. CNT-FED 与外部电路之间用柔性印刷电路板连接.

在显示屏的制作过程中,采用后处理技术有效改善了发光均匀性^[4-5],采用阴极共烧结技术有效提高了场发射稳定性^[6].测试结果表明, CNT-FED 的亮度已达 10^4 cd/m²,显示分辨率为 160×120 像素,有效显示尺寸为 13.97 cm(5.5 英寸),在 1 400 cd/m² 亮度下的功耗为 3 mW/m².

2 驱动电路

2.1 驱动方法

采用全丝网印刷技术制作的两级结构 CNT-FED 具有两个显著特点:一是驱动电压比较高,需要场强达到 $2 \text{ V}/\mu\text{m}$ 甚至更高;二是驱动电流小,微弱的电流就可以点亮一个像素点,对于 $0.4 \text{ mm} \times 0.4 \text{ mm}$ 的发射面积, $0.34 \mu\text{A}$ 的漏电流即可将其点亮.因而,本文设计的 CNT-FED 驱动电路为电压控制型.

在一定频率下,人眼感受光照是视觉惰性效果和对光强时间积分效果的综合,在比较了常见的 ADS、ALIS 等驱动方法^[7-8]后,本文采用 ADS 子场分离的驱动方法,通过调节每一子场脉冲宽度来进

行灰度显示,每一子场时间内又包括寻址期、维持期,分子场显示原理如图 1 所示.图 1 中一帧图像数据分为 8 个子场 SF1, SF2, ..., SF8, 脉冲宽度比为 $1:2:\dots:128$. 控制像素点在各子场中的开关,即可实现既定的亮度显示,方法简单.

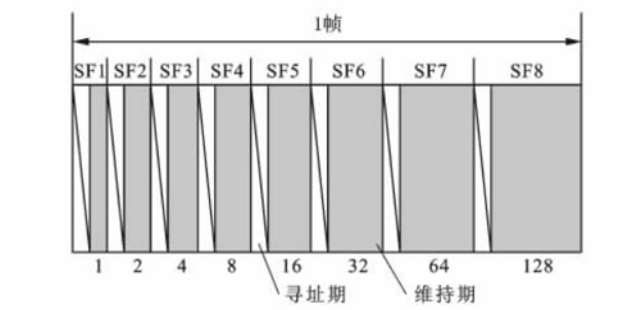


图1 256级灰度显示原理

2.2 驱动电路的整体结构

CNT-FED 驱动电路包括接口电路、显示控制电路、行驱动电路和列驱动电路 4 个部分,驱动电路原理如图 2 所示.

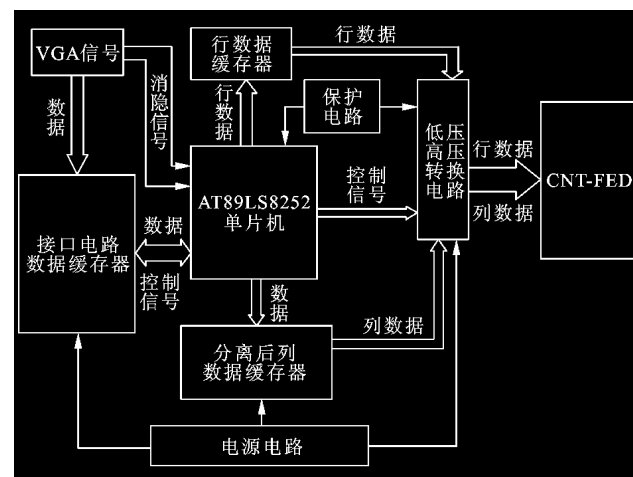


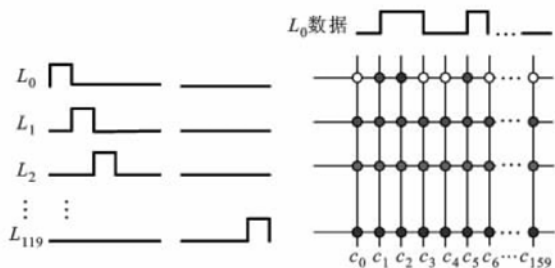
图2 CNT-FED 驱动电路结构框图

接口电路将来自其他媒体的模拟信号转化为数字信号,本文采用 THS8083A 专业视频信号数字化电路输出行、场同步信号、时钟信号和 R、G、B 各 8 位数据信号.

显示控制部分实现电路的开机故障自检、图像数据的抽取和传送、时钟的分频以及整个电路的时钟协调.本文采用 ATMEL 公司的 AT89LS8252 单片机作主控芯片,采用 AT28C256 可擦写的 5 V Flash 闪速存储器做图像数据缓存, AT89LS8252 在 24 MHz 时钟驱动下,控制电路各部分工作时序,按照地址信号,在 FLASH 中查询当前子场中当前行上的 160 个数据点,将 160 个数据重新组合成 32

b×5的形式,结合消隐信号、显示信号将最终输出的信号对应输出到列驱动电路上.该部分电路还同时产生行信号脉冲序列,作为CNT-FED的寻址电极信号,如果设定帧频率为50 Hz,子场数为5,对于最低灰度子场,一行数据刷新频率为 $50 \times (2^5 - 1) \times 120 = 186 \text{ kHz}$.

行驱动电路结合消影信号和反向控制等信号打开或者关闭某显示行,即将低压的寻址信号转换为高压信号.每个子场中所有行信号是等宽电平扫描,一个子场中的行扫描波形如图3a所示,需要显示的行被置为高电平,不需要显示的行则全部置为低电平.第1行显示时,列数据显示原理如图3b所示.行驱动电路采用自举电路实现,如图4所示.输入信号 V_{in} 经过 T_1 、 T_2 光电耦合器隔离,并转换为高压信号,2个光耦的输出同时通、断,高压场效应管 M_1 、 M_2 的栅极接收光耦输出,2个场效应管互补通断.电容 C_1 和快速恢复二极管 D_1 构成自举电路驱动高压场效应管.由于采用自举电路结构,使得行驱动电路结构简单且速度快,易于实现多级灰度显示.另外,由于行信号开关频率一定,行驱动电路采用图腾

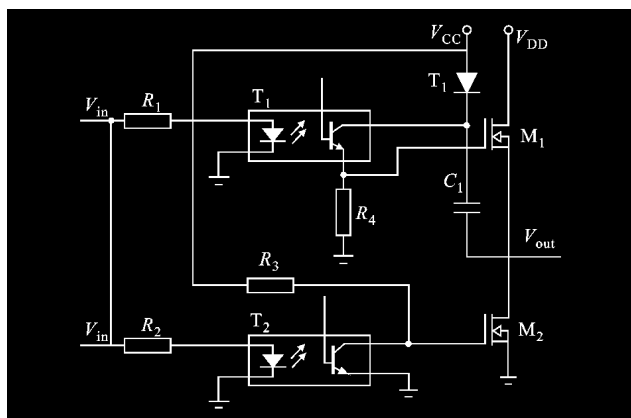


$L_0 \sim L_{119}$ 为行数; $c_0 \sim c_{159}$ 为列数

(a)行扫描

(b)列数据

图3 行扫描驱动波形及列数据显示原理图



V_{in} 为输入信号; V_{out} 为输出信号; V_{CC} 为数字电源; V_{DD} 为模拟电源; R_1 、 R_2 为光耦输入端电阻; R_3 、 R_4 为源、漏极电阻; M_1 、 M_2 为高压场效应管; T_1 、 T_2 为光电耦合器

图4 行驱动电路原理图

柱电路结构,有效保证了上下沿宽度一致.

列驱动电路(如图5所示)是电平扫描电路,将低压的数据信号转换为高压信号.高电平对不点亮的像素点有效,起到关闭二极管像素点的作用,此电路的高电压一般不高于500 V,比用于行寻址的电压低.列电路仍采用图腾柱结构,一路用串联光耦 T_1 、 T_2 代替高压场效应管,另一路用光电耦合器 T_3 进行高低压信号分离,高压场效应管 M_1 的栅极接收光耦输出,与串联光耦输出互补通断.

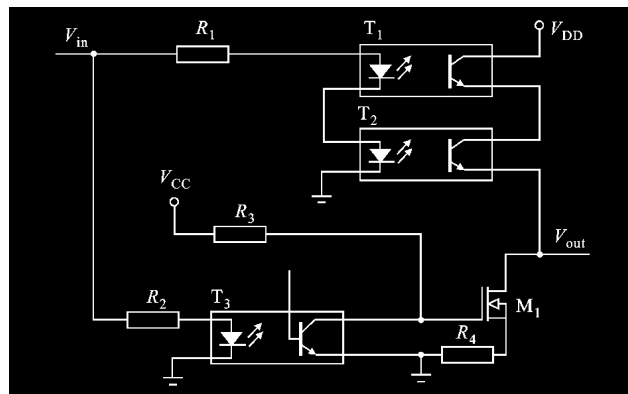


图5 列驱动电路原理图

此外,在驱动电路中还设计了两级保护电路,采用可熔断保险丝作过流保护,采用瞬态抑制二极管(TVS)器件与CNT-FED并行连接进行过电压保护.

3 驱动电路分析

为了有效提高显示亮度,采用光耦、高压场效应管等分立器件设计了高压驱动电路.为满足场光射高达 $10^{-6} \sim 10^{-8} \text{ Pa}$ 的真空度条件,采用丝网印刷技术制作的CNT-FED封装后的阴、阳极间距比较大,达到 $100 \sim 200 \mu\text{m}$,因而要求像素点正常点亮时所需场强较大,而目前所见集成度较高的高压驱动接口集成电路都有一定电压限制,一般小于等于300 V,为此本文采用分立元件设计行高压驱动电路,使得阳极高压可达到 $700 \sim 1\,000 \text{ V}$.另外,由于在烧结过程中印刷浆料发生流变行为导致行与行、列与列电极之间平行度比较差,大的间距下电子散射容易造成相邻行、列上像素点被点亮的串亮现象,本文在列电路上也采用高的驱动电压,在像素点不被点亮时,采用反向电压将像素点上的压降限定在开启电压之下,不仅保证了全屏像素点有效开启,而且抑制了行、列像素点之间的串亮现象,实现了准确的高亮度显示.

为了提高亮度均匀性,驱动电路设计了限流电

阻. 由于套印的阴极发射表面不够平整, 不同像素点的阴、阳极间距有几微米差异, 导致同样外电压驱动时, 不同像素点间有较小的亮度差异, 为此在行驱动电路高压输出与屏之间设计了限流电路, 不仅能保护像素点, 同时也能对电流起到负反馈作用. 当像素点的发射电流增大时, 限流电阻上的压降增大, 使通路电流减小; 当发射电流减小时, 限流电阻上的压降减小, 结果使通路电流增大. 因此, 增加限流电阻对显示亮度均匀性有一定的调节作用.

为了抑制串亮现象, 采用高压对阴极进行水隐. 由于显示屏也具有微电流即可点亮的特点, 电流不足 $1\ \mu\text{A}$, 因此我们在设计中, 对于不需要点亮的像素点进行电压反向设置, 即对不亮的像素点所对应的阴极列施加高电压, 将阴、阳极间电压限制在 $100\ \text{V}$, 有效地防止了相邻行、列间的串亮, 可确保图像的正确显示.

驱动电路采用脉冲移位序列产生行信号. 在接收每一个场同步信号时, 控制芯片向移位寄存器里

打入一个高电平“1”, 即该数据存在行移位寄存器的第一位, 用来驱动第一行, 同时配以计数器计数列时钟来设定行时钟, 在下一个行时钟到来时, 移位寄存器中数据“1”向下移一位, 在下一个引脚输出驱动相应行, 对于 120 行的 CNT-FED, 当移位脉冲来了 119 个之后, 这个高电平就移到经过串联后的第 120 个输出引脚, 完成了子场的扫描, 对应于 5 位显示, 5 个子场过后完成了一个完整帧显示. 逻辑时序如图 6 所示, 列数据为 32 位并行输出, 因而一个行时钟对应于 32 个列时钟.

另外, 在 CNT-FED 的电源设计中采用开关电源, 外接可调电阻, 实现了电压从 $250\ \text{V}$ 到 $600\ \text{V}$ 之间的可调输出, 对驱动不同参数显示屏具有一定兼容性, 扩展了电路的适应性. 为提高实验安全性, 还设计了两级保护系统. 整体电路设计完备, 自顶向下的模块化设计、成熟的电路技术和电子器件的应用都有效地提高了电路系统的可靠性和稳定性, 且利于降低成本. 驱动显示效果图如图 7 所示.

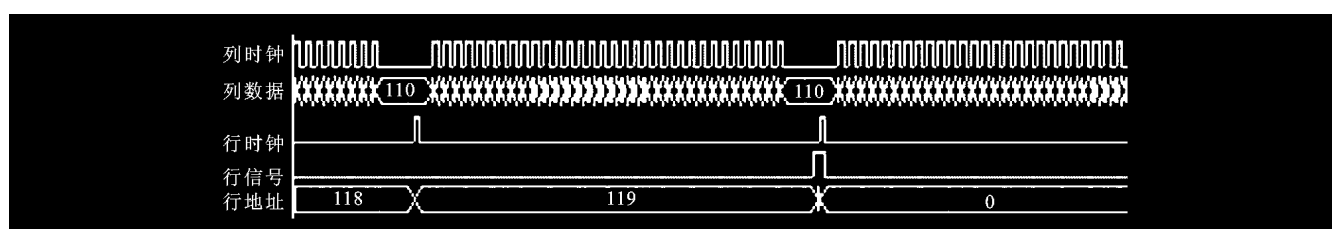


图 6 行、列驱动电路时序图



图 7 全印刷 CNT-FED 的显示效果图

4 结 论

根据 CNT-FED 器件的特点研制出配套驱动电路, 是 CNT-FED 走向市场的关键环节之一. 采用丝网印刷技术制作的 CNT-FED 器件具有成本低、易于制作大面积显示器的优势, 同时也有驱动电压高、

制作精度低的不足. 采用分立器件设计行、列驱动电路的高压驱动部分, 不仅降低了驱动电路成本, 而且有效提高了显示亮度; 采用限流电阻使全屏显示的均匀性得到了改善, 从电路角度提高了显示器件的性能.

下一步的研究工作将针对低压型 CNT-FED 的驱动问题, 设计集成度更高的驱动电路.

参考文献:

- [1] Iijima S. Helical microtubes of graphite carbon [J]. *Nature*, 1991, 354(6348): 56-58.
- [2] Spindt C A, Holland C E, Rosengreen A, et al. Field-emitter arrays for vacuum microelectronics [J]. *IEEE Trans on ED*, 1991, 38 (10): 2355-2363.
- [3] Koiwa I, Kanehara T, Mita J. Application of screen-printed rare earth oxide protective film to alternating-current plasma display panels [J]. *Electronics and Communications in Japan: Part II*, Electronics, 1996, 79 (8): 31-41.

- [4] 曾凡光,朱长纯,刘兴辉,等.用机械破碎方法提高印刷碳纳米管薄膜的场发射性能[J].西安交通大学学报,2005,39(8):863-866.
Zeng Fanguang, Zhu Changchun, Liu Xinghui, et al. Enhancing field emission properties of printed carbon nanotube films by mechanical crushing treatment[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2005, 39(8): 863-866.
- [5] 刘卫华,朱长纯,王琪琨,等.碳纳米管场发射显示器的关键技术的研究[J].电子学报,2002,30(5): 694-696.
Liu Weihua, Zhu Changchun, Wang Qikun, et al. Research on key techniques of carbon nanotube field emission display[J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 30(5): 694-696.
- [6] 曾凡光,朱长纯,刘兴辉,等.基于印刷碳纳米管薄膜阴极的场发射显示器发光稳定性的提高[J].中国科学: E辑,信息科学,2006, 36(5): 507-514.
Zeng Fanguang, Zhu Changchun, Liu Xinghui, et al. Improvement of luminescent stability from carbon nanotube field emission display based on printed CNT film[J]. Science in China: Series E, Information Sciences, 2006, 36(5): 507-514.
- [7] 许蓓蕾.流彩色等离子体显示器驱动方法和技术研究[D].西安:中国科学院西安光学精密机械研究所,2004.
- [8] 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: 204.
- [9] 薛增泉,吴全德.电子发射与电子能谱[M].北京:北京大学出版社,1993.

(编辑 刘杨)