

7.6cm YAG 投影管技术研究

王 军^{1,2}, 成建波², 林祖伦²

(1. 西安交通大学电子物理与器件重点实验室, 陕西西安 710049; 2. 电子科技大学显示科学与技术重点实验室, 四川成都 610054)

摘 要: 介绍了一种成功将 YAG (钇铝石榴石) 晶片用于投影 CRT 荧光屏基底的技术. 这种新型投影管具有体积小、亮度高、分辨率好、寿命长的特点, 已用于 122cm、183cm 家用背投机及商用电视墙显示.

关键词: YAG 投影管; 亮度; 分辨率; 电真空玻璃; 电子枪; 荧光屏

中图分类号: TN141.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 02-0255-03

Technology Study of 7.6cm YAG Projection Tube

WANG Jun¹, CHENG Jian bo², LIN Zu lun²

(1. Physical Electronics and devices Key Lab, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi 710049, China;

2. Display Science and Technology Key Lab., University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China)

Abstract: The technology of YAG (yttrium aluminum garnet) used as the projection tube phosphor screen substrate successfully was introduced. The new type projection CRT has the advantages of compactness, high luminance, high resolution and long life, and has been already used in the 122cm and 183cm consumer real projector, and business video wall display.

Key words: YAG projection tube; luminance; resolution; electrovacuo glass; electron gun; phosphor screen

1 引言

据美国 Standford Resource 公司的有关显示市场的报告^[1], 全球投影显示产品 1999 年的销售额为 78 亿美元, 2005 年预计将增加至 124 亿美元, 销售量也将从 210 万台(其中一半以上为 CRT 背投影机)增至 490 万台. 同时从 1998 年到 1999 年, 对角线不超过 124cm 的投影机销量降低了 2%, 对角线为 124~150cm 的则呈上升趋势, 其中对角线为 140cm 和 150cm 的销量降增长了 5%^[2]. 投影机分辨率则紧跟笔记本电脑的步伐, 1999 年最高已达 SXGA^[3]. 全球投影显示正朝着大尺寸、高画质、长寿命方向发展.

最近一种新型的投影 CRT 由电子科大学研发成功, 该管的主要特点在于结构紧凑(对角线仅为 7.6cm)、高亮度、高分辨率、长寿命, 适用于 122cm 以上投影机及电视墙的 HDTV 显示.

我们知道, 普通投影 CRT 是以玻璃为基底. 由于荧光粉层与玻璃基底(室温下, 玻璃热传导系数 $\lambda = 0.01\text{W}/\text{cm}\cdot\text{K}$) 的热传导及散热问题, 限制了上屏束流的电流密度 j , 由公式 (1) 可知^[4], 屏的发光亮度 B 的提高受到影响; 同时, 热量高度集中所导致的荧光粉的“猝灭”现象, 也是目前 CRT 投影机寿命难以突破一万小时的根本原因.

$$B = Aj (u_A - u_0)^n \quad (1)$$

式中 n 和 A 是表示荧光粉性能的常数, U_A 为加速电压, U_0 称为死电位, U_A 必须大于 U_0 屏才会发光.

我们研制的新型 7.6cm YAG 投影 CRT^[9,10], 使用了 YAG (yttrium aluminum garnet, 钇铝石榴石) 单晶材料, 并在世界上率先实现与玻璃的无应力封接, 成功代替了荧光屏的玻璃基底. 这有许多优点:

① YAG 晶片机械强度高, 可以做得很薄(0.2cm). 如公式 (2) 所示^[4], 晕光环半径正比于基底厚度, 因此类似在厚玻璃基底(0.7cm) 上的晕光现象大为减少, 光学成像十分清楚.

$$R = 2d / (n_1^2 - 1)^{1/2} \quad (2)$$

式中 R 为第一晕光环半径, d 为屏厚度, n_1 为屏折射率, 其中 YAG 的折射率为 1.8, 玻璃的折射率为 1.4.

② YAG 晶片绝缘性能好, 导热系数高(室温下, YAG 晶片 $\lambda = 0.12\text{W}/\text{cm}\cdot\text{K}$). 在液冷情况下, 即使上屏电子束能量很高, 也不会发生类似玻璃基底上的荧光粉“灼伤”问题. 这样, 就可将对角线比普通投影管(18~30cm) 小至少 1/2 的荧光屏上实现高亮度输出, 并大大延长了荧光粉的使用寿命.

2 YAG 荧光屏

经过对制屏工艺的改进, 采用了离心沉屏法^[5], 将投影管连同沉淀液置于以 420r/min 速度旋转的离心机容器中, 借助离心力沉屏. 制得的粉层厚度不足 20 μm , 单位体积内的粉量可达 2.0g/cm³. 高密度屏导热性好, 利于荧光粉寿命的延长. 同时, 如表 1 所示, 较普通制屏法制得的屏具有更高的分辨率.

表 1 高密度与普通屏的比较 (Va = 30kv, Ik = 0.5mA)

		亮度 (10 ³ cd/m ²)	上屏束斑 (μm)	对比度
高密度屏	R	25	66	100:1
	G	60	65	
	B	3.5	80	
普通屏	R	25	75	
	G	60	71	
	B	3.5	96	

要发挥 YAG 片的优点, 制成高亮度、高分辨率显示用真空器件需同时制作出以下主要配套器件: ①可与 YAG 片直接对接的玻璃; ②大电流下具有良好聚焦特性的电子枪; ③高效的散热系统。

3 新型电真空玻璃

YAG 单晶片的热膨胀系数为 75 × 10⁻⁷/°C, 比普通彩管用玻璃的热膨胀系数 (约 97 × 10⁻⁷/°C) 低许多, 无法直接匹配封装。为此, 我们专门研发了一种新型电真空玻璃^[6, 11], 不仅具有良好的吸收 X- 射线的功能, 且可实现与 YAG 单晶片的无应力封装。

4 电子枪

为在对角线 7.6cm 荧光屏上实现 5.4 × 4.1cm² 的高亮度、高分辨率显示, 电子枪就必须保证大束流下上屏束斑小。为此我们采用了电磁复合聚焦电子枪^[7]。

①将第一阳极电压由一般的 600V 提高至 1500V。由公式 (3)^[4]、(4)^[4], 可减小交叉束斑的大小 r_c, 增大交叉点处电流密度 J_{rc}, 且使 J_{rc} 随 r_c 的增大而下降得更快, 有利于在荧光屏上得到轮廓清晰的点。

$$J_{rc} = J_{max} \exp \left[- \frac{eV_c \sin^2 \alpha}{KT r_k^2 r_c^2} \right] \quad (3)$$

$$J_{max} = J_0 \frac{eV_c}{KT} \sin \alpha \quad (4)$$

式中 J_{max} 为 J_{rc} 的最大值, J₀ 为阴极发射电流密度, α 为电子束发散角, T 为阴极表面温度, V_c 为交叉点电位。

②利用扩展场原理, 对电磁聚焦透镜的磁场进行了优化处理。

该电子枪在 0.5mA 及 1mA 下上屏束斑直径 D 如表 2 所示, 在 5.4 × 4.1cm² 的扫描面上, 绿管、红管的分辨率均大于 1400 电视线, 蓝管的大于 1100 电视线。

5 自循环液冷系统

由 YAG 基片、冷却液、黑化铝质散热器和密封圈组成^[8]。当电子束轰击荧光屏时, 其中 80% 左右的能量转换为热能, 经 YAG 基片传至冷却液, 利用液体的对流将热量传至散热器内壁, 再经散热器的黑色外表面向空气热辐射。这种不停地产生能量, 又不停地传递和热辐射热量的过程, 形成自循环散热过程。它保证了投影 CRT 屏温度始终处于较低的工作状态

表 2 上屏束斑大小 D 与上屏束流 Ik 的关系

D (μm)	Ik (mA)	
	0.5	1
R	66	82
G	65	80
B	80	110

(见图 1)。在电流密度为 1W/cm² 的电束的连续轰击下, YAG 屏的内外温差仅为 1.8°C, 相同情况下玻璃荧光屏的内外温差已超过 100°C。

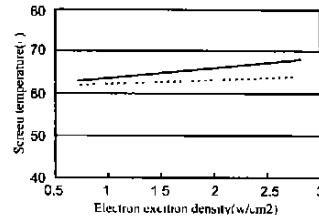


图 1 YAG 屏内、外表面的温度与电子激发功率 (—内表面温度 ...外表面温度)

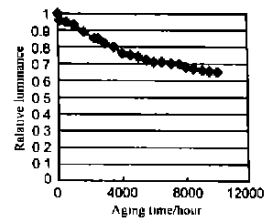


图 2 正常工作状态下工作时间与亮度的关系

6 寿命

目前, 该管在正常工作状态累积工作时间已超过 10000 小时, 如图 2 所示, 亮度衰减后仍大于最初值的 60%。

7 YAG 投影 CRT

由于相关技术难题的攻克, 制作出的投影 CRT 发挥出了 YAG 基底较玻璃基底的优越性, 其整管主要技术指标见表 3。

表 3 YAG 管主要技术指标

冷却系统	自循环液冷系统
玻壳	7.6cm, 50° 偏转角, 外径 2.91cm, 平面 YAG 荧光屏
有效屏尺寸 (cm)	5.44 × 4.08 (4:3)
总长 (cm)	21.5
电子枪	电磁复合聚焦电子枪
荧光粉	R Y ₂ O ₃ : Eu
	G 0.95P53+ 0.05P51
	B ZnS: Ag, Al

8 应用

该管已成功应用于 122cm 背投机和 183cm 前投、背投影机中, 得到了 HDTV 电视要求的高品质画面显示。其中 122cm 背投机的性能指标见表 4。

表 4 122cm 背投机的性能指标

投影屏尺寸	97 × 73cm ²
平均亮度 (cd/m ²)	340
水平分辨率 (TVL)	1000
投影屏: 柱面透镜间隙 (mm)	0.62
散射角	α _H = ±4° α _V = ±10°
透镜: f number	1.1
有效光栅尺寸 (mm)	6.9
投影距离 (mm)	1000

9 结论

传统投影 CRT 的玻璃基底由 YAG 晶片代替后, 其体积、亮度、分辨率及寿命均得到提高。在耐压 30kV, 束流 1mA 时, 对角线 7.6mm 绿管屏亮度高达 1.6 × 10⁵cd/m², 束径仅为

0.065mm, 正常工作寿命在 1 万小时以上. 适用于对角线 122cm 以上高亮度、高分辨率投影机及大型电视墙显示.

参考文献:

- [1] Stanford Resources Inc. Television systems [R]. First edition. 1998.
- [2] U S Precision Lens Inc. Projection television past and future (Global consumer market 2000 report) [R]. 2000.
- [3] R L Melcher. Projection television [A]. Eurodisplay Workshop, 2000: 81.
- [4] 肖士璋, 冉启钧. 电子光学应用 [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1995: 10- 65.
- [5] 成建波, 陈文彬, 等. 投影管用荧光粉的问题及进展 [J]. 真空科学与技术学报. 2000, 20: 92.
- [6] J Cheng, K Qi, et al. Kind of electrovacuo glass in a YAG display tube [C]. SPIE, 1998, 3560: 227.
- [7] 王军, 陈泽祥, 成建波, 等. 高亮度高分辨率电子枪 [J]. 强激光与粒子束, 1999, 11: 743.
- [8] Ran Qijun, Wang Jun, Li Gang, et al. A self circulating cooling system used in 3 in YAG Projection CRT [C]. IDW. 1999.
- [9] 成建波, 林祖伦, 等. 一种阴极射线管极其制造方法 [P]. ZL9511132.
- [10] 成建波, 林祖伦, 等. 高亮度高分辨率单晶彩色显示管 [P]. 96117603.2.
- [11] 成建波, 祁康成, 等. 一种电真空玻璃 [P]. 98111937.9.

作者简介:



王 军 女. 1968 年生于重庆. 电子科技大学光电信息学院副院长. 副教授, 教学质量校级优秀主讲教师, 中国电子学会、国际 SID 会员, 物理电子学博士生. 参加国家、省部级科研项目十余项, 主持省级科研项目一项. 执笔发表中、英文文章十篇, 译文两篇. 近期研究方向为电子光学 CAD 和新型显示技术. 目前同时为西安交通大学电子物理与器件重点实验室访问学者.

成建波 男. 1936 年出生. 电子科技大学教授, 博导, 享受国务院政府特殊津贴专家, 全国先进工作者, 中国真空学会理事, 四川省真空电子学会副主任. 学科专业方向: 物理电子与显示技术. 先后主持和完成了国家、省部级科研项目 20 多项, 共获国家级和省部级科技成果奖 14 个, 其中国家发明二等奖 1 项、国家科技进步三等奖 1 项; 发表论文 30 多篇, 获中国发明专利 3 项. 近期研究方向: (1) 有机电致发光平板显示; (2) 投影电视及相关技术; (3) 液晶显示; (4) 微激光器技术.