

阴极射线发光测试系统的应用*

孙铁铮* 李援朝 高山

(中国科学院长春物理研究所 长春 130021)

摘要 介绍了一种阴极射线发光测试系统的结构、各部分工作原理、灯丝的制作质量对形成的均匀光斑的重要性及影响电子束的各种因素。报道了主要检测项目和实测结果。

关键词 阴极射线 发光性能 电子枪 束电流 磁透镜 光斑 二次电子

分类号 O657.33

1 前言

涂敷在显示显像管上的发光材料(阴极射线荧光粉)在涂敷前必须经过检测,以获得其发光性能参数。在研制新型发光材料的过程中专用检测设备也是不可缺少的。70年代后期中国科学院长春物理研究所研制成功了我国第一台YFC-1型阴极射线发光测试仪器。80年代末,长春物理所采用更先进的微电子技术、计算机技术对YFC-1型进行改进而成为换代新产品CR-3型发光材料检测系统。

2 系统的构成和工作原理

显示显象用荧光粉等荧光材料,由于其晶格间有微量杂质和发光中心的存在,当经受电子轰击时发光中心吸收了能量使价电子从基态跃迁到激发态,再回到基态时能量则会以光的形式释放,使材料发出荧光。基于此,阴极射线发光系统(简称CR系统)的组成是由能给出电子束的真空电子腔为主体,辅以相应的电气控制、光学检测探头等仪器相配而成。

分析CR系统的构造可参照图1。

电子枪内上部是发射电子的三极电子枪^[1],由直热式灯丝阴极、栅极、阳极组成。中部是电子透镜系统,由光阑、聚焦线圈及磁路组成,下部是样品室,最底部相当于电镜内荧光屏的位置是可以旋转的样品盘。侧端密封玻璃窗供观察样品发光情况。样品接收电子束轰击后通过样品回到地电位的电子为一次电子。从样品反射出来的二次电子及背散射电子在样品盘上方约 2π 立体角范围内被接收罩接收也回到地电位。

3 CR系统的特点和技术指标

CR系统中各工作电极及信号其最后效果在于能得到一个激发良好的光斑,包括被聚焦

* 中国科学院计划财务局大型仪器功能开发基金资助项目

** 通讯联系人

收稿日期:1995-11-15;收到修改稿日期:1997-09-25。

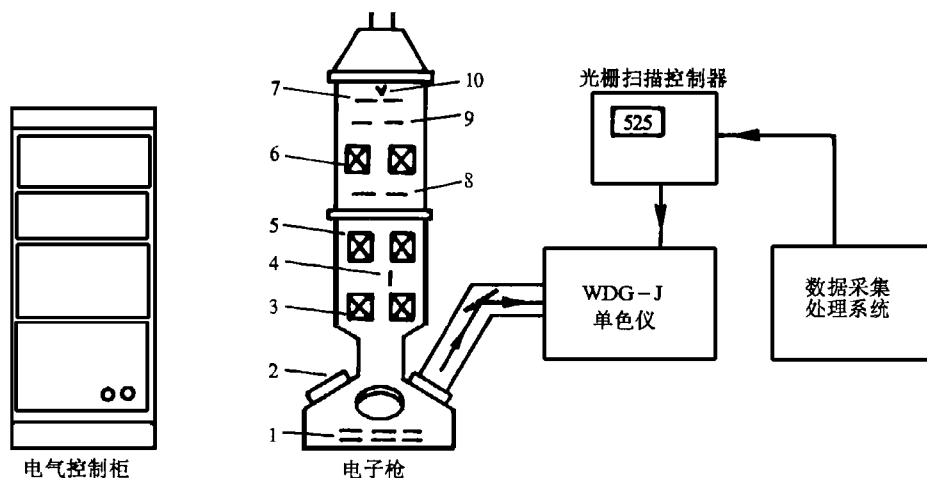


图1 系统结构示意图

1. 样品盘 2. 观察窗口 3. 扫描线圈 4. 偏移电极板 5. 电子透镜
6. 电子透镜 7. 栅极 8. 电子光阑 9. 阳极 10. 灯丝、阴极

Fig. 1 Constructional Scheme of CR-3 System

1. sample disk 2. view window 3. scanning coil 4. deflection pole 5. electrolens
6. electrolens 7. grid 8. aperture 9. anode 10. filament/cathode

成点的状态, 并有如下质量要求。

第一, 激发功率要均匀, 在半径 r 不大于 10mm 的园斑面积内, 电子束对样品的激发强度应该一致。此时, 如果样品是制备均匀的, 则发光亮度必然也是均匀的, 视觉上会看到园斑内没有亮暗的差异。

第二, 亮斑与不受激发的园外部分之间要有一个明显的亮暗界限。亮斑的形状应该是较理想的园形, 不可以是椭圆、重影、边缘参差不齐。光斑的亮度和形状要十分稳定。

第三, 在几何尺寸的调节过程中, 光斑始终处于样品盘的中部, 其偏心 δ 小于 2mm 。为满足这些要求, 有以下两点必须做好。

3.1 制作质量良好的灯丝

样品发光的情况是灯丝发射在荧光样品上放大的象, 样品光斑上亮的部分是灯丝发射较强的部分, 样品光斑上暗的部分是灯丝上发射较弱的部分。为了使灯丝成象均匀, 发射也必须是均匀的。这要求灯丝要选用直径均匀、表面平整度好、材质好的钨丝制作, 在焊接引线之前弯制成 V 型时要求使两端对称, 做到物理中心与几何中心相一致。不产生予应力, 通电加热成型后能保证最小变型, 使灯丝尖端微区结构变化最小, 当电子飞出发射表面时由于逸出功相近而机会均等, 从而形成均匀的发射。

3.2 光阑的作用

样品光斑的园形边界是放大的物镜光阑孔的影子。经常清洗光阑孔, 可以使光斑边界变得平滑, 从而得到一个清晰的园形。

4 技术指标

CR 系统在电性能方面有一个重要的指标就是样品束电流的稳定性。束电流的高稳定度对光斑稳定十分必要,同时也是检测结果正确的先决条件。在光谱曲线检测和记录时,只要 1% 的波动就会使曲线出现明显的起伏或波动,给色度计算带来不可容忍的误差,亮度测量也是如此。束电流稳定度必须限制在 10^{-3} 数量级范围内方可保证各项测试的精度要求。

CR-3 系统各电源稳定指标如下。

4.1 阴极高压电源

该电源是将低压方波升压后再倍压滤波而成的数 kV 或数 10kV 的直流负高压,可输出 $50\mu\text{A}$ 电流供负载稳定工作。由于电路中采用了负反馈技术,高压稳定度优于 0.05%。

4.2 灯丝电源

能给出 4~6W 的稳定直流电功率。保证灯丝阴极有足够的电子发射,工作时灯丝电流稳定度优于 0.05%。

4.3 栅极电源

可输出 -10 ~ -300V 的负电压施加在栅极与阴极之间,用来控制阴极发射电子的数量,同时对电子束起聚焦作用。当栅极电位对阴极变负到某一电压时,阴极发射电子被完全截止,此时的电压值即为该阴极高压下的截止电压。在更换新灯丝之后,这个数值是判断灯丝深度装配是否合理的重要依据。

4.4 聚焦电源

CR 系统中有两个磁透镜系统(即聚焦结构)。由两个直流稳定电源提供电流,该电路采用了独特的恒流源电路,能保证在大电流条件下的高稳定度。指标优于 0.05%。

4.5 扫描线圈电源

X 方向为三角波,形成水平扫描,Y 方向为锯齿波,形成帧扫描,频率与电视制式相近,X 方向为 15kHz, Y 方向为 60Hz,有频率微调功能以及扫描幅度调节。

4.6 偏离电极电源

可给出频率可调的对称方波,输出幅度度 200V,频率范围 1Hz ~ 1MHz,分 8 个档位,可测量 s 到 μs 级的余辉时间常数。

5 检测项目与实测结果

CR 系统是一个激发源。根据需要可以在观测窗口安装和配置不同的光学检测探头等仪器,形成一套功能广泛的检测系统。

5.1 相对亮度^[2]的测定

每次测量,包括标样在内可一次放入 12~16 个被测样品。将探头对准观察窗口即可直接读取亮度值或用微机采集数据。亮度测试仪器有很多种,如美国产 1980B 型亮度计,中国测试技术研究院(成都)研制的专门用于荧光粉亮度测量用的 YC-1 型小型亮度计等。

5.2 相对光谱功率分布^[2]的测定

使用单色仪扫描光栅分光办法或光电管阵列制成的多道分析系统均可获得材料的发射光谱图(见图 2)。波长范围是 380~780nm,属于可见光范围。图 2 是本实验用 UV-200 双

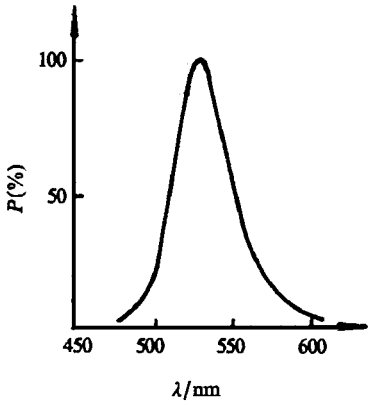


图 2 Y₁ 荧光粉相对光谱功率分布图

P. 效率 λ. 波长

Fig. 2 Relative spectral power distribution of phosphor Y₁

P. effectiveness λ. wavelength

光束扫描光栅单色仪及微机数据自动采集处理系统所测得的 Y₁ 牌号荧光粉的相对光谱功率分布图。从图中可查到峰值波长为 525nm。

5.3 色度坐标的获取

得到相对光谱功率分布曲线之后,则由计算机按下列公式所编程序进行计算得出材料发光色的色坐标值 X、Y。发光色的三刺激值 X、Y、Z 分别由三个积分获得^[3]。

$$X = K \sum_{450}^{780} \Phi(\lambda) \quad x(\lambda) \quad \Delta\lambda$$

$$Y = K \sum_{450}^{780} \Phi(\lambda) \quad y(\lambda) \quad \Delta\lambda$$

$$Z = K \sum_{450}^{780} \Phi(\lambda) \quad z(\lambda) \quad \Delta\lambda$$

$$K = \frac{100}{\sum S(\lambda) \quad y(\lambda) \quad \Delta\lambda}$$

式中: X、Y、Z: 材料发光色三刺激值;

K: 归一化系数;

S(λ): 相对光谱功率;

Φ(λ): 色刺激函数,因荧光粉是自发的色源,所以 Φ(λ) = S(λ);

x(λ)、y(λ)、z(λ): 光谱三刺激值^[3];

Δλ: 波长间隔,按计算精度要求选取,本实验室取 0.5nm。

色度坐标(x、y、z)由三刺激值导出^[3]:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

因为 x + y + z = 1, 所以只用 x、y 表示色度坐标。

此外还可带单片机的色度计直接读取样品的色度坐标值 x、y, 这样更为简捷方便。但严格说来由于它采用了近似计算方法,与光谱法的色度计算结果常常不十分吻合。

据图 2 的 Y₁ 荧光粉谱图计算出的色度坐标值 x = 0.218, y = 0.712, 发光色为绿色。

5. 4 余辉时间的测定(图 3)

用电缆将方波电压信号引至偏转电极板上, 适当选择方波脉冲频率, 则样品光斑会按

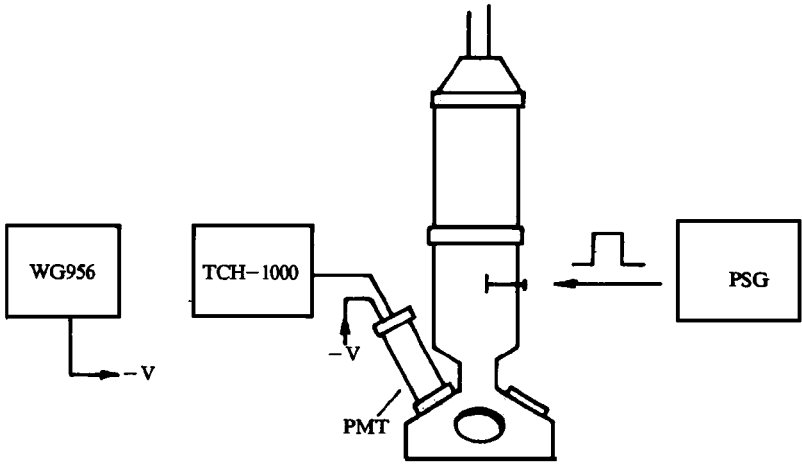


图 3 余辉时间测定示意图

PMT: 光电倍增管 WG956: 倍增管电源 TCH- 1000: 波形存储器 PSG: 方波信号
Fig. 3 Detection Scheme for time of persistence
PMT: photomultiplier

其频率呈现闪烁。在观测窗口用光电倍增管监测其亮度变化, 并利用波形存储技术, 记录相对亮度变化规律, 获得发光衰减曲线, 按定义: 亮度下降至 10% 所需的时间间隔称为余辉时间 t_0 。

图 4 是实测所成都 773 厂生产的示波显示用 Y_1 荧光粉的余辉衰减曲线。根据坐标格数可知该样品的作辉时间 t 约为 28ms。

5. 5 荧光粉发光寿命的检测

北京化工厂用 CR 系统对荧光粉施加大束流进行轰击(例如 $10\mu A$) 经过一段时间后测其亮度衰减情况, 从而推断出荧光粉的使用寿命。

5. 6 扫描分辨率的检测

用扫描方式激发样品, 微调垂直扫描幅度, 用压缩光栅可观察判断 1mm 宽度的扫描线数, 即为扫描分辨率。

6 结束语

本文所介绍的 CR- 3 系统研制成功后, 在此基础上建立了中国科学院阴极射线发光材料质量检测中心, 1994 年 7 月 10 日

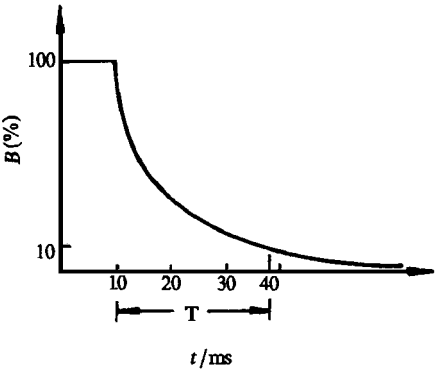


图 4 Y_1 荧光粉余辉曲线

B. 亮度 T. 余辉时间

Fig. 4 Rersistence characteristic
B. brightness T. time of persistence

由国家技术监督局颁发证书,依法履行质量监督职责。之后又将新型 CR 系统投产数台,将其应用于国内两家引进日本彩电荧光粉生产线上,作为关键检测设备,在科研和生产中发挥了良好的作用。

参 考 文 献

- [1] 黄兰友,刘绪平.电子显微镜与电子光学.北京:科学出版社,1991:217~212.
- [2] 中华人民共和国国家标准 GB4072-83 阴极射线致荧光粉测试方法,北京:国家标准局,1983:1~2.
- [3] 荆其诚,焦书兰,喻柏林,胡维生.色度学.北京:科学出版社,78,91~93.

Principle and Application of CR-3 Measuring System for Cathodoluminescence

Sun Tiezheng Li Yuanchao Gao Shan

(Changchun Institute of Physics, the Chinese Academy of Sciences Changchun 130021)

Abstract Construction and working principle of all parts of CR-3 measuring system for Cathodoluminescence made by Changchun Institute of Physics are introduced. Quality of filament is of great importance to forming a well-distributed glow spot. Various factors which affect the electron beam current are analysed. Some main measuring items for phosphors are introduced.

Key words cathode-ray property of luminescence electron gun electron-beam current magnetic lens emission spot secondary electron

Classifying number O657.31