

## 一种新型红外扫描变像管

刘宏波,赵宝升,朱克正,张小秋,桂建保,邹远鑫

(中国科学院西安光学精密机械研究所,陕西西安 710068)

**摘要:**介绍了一种采用组合红外阴极和静电聚焦电子光学系统的新型红外扫描变像管。组合红外阴极是利用电子俘获材料的快速红外上转换特性,并将其制成红外上转换屏与可见光阴极耦合构成的。这种新型红外扫描变像管的波长响应范围可延伸至800~1600 nm,转换效率的峰值波长为1165 nm,时间分辨率优于15 ps。

**关键词:**扫描变像管; 上转换屏; 组合红外阴极; 电子光学系统

**中图分类号:** TN143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2004)03-0221-03

## Novel infrared-sensitive streak image tube

LIU Hong-bo, ZHAO Bao-sheng, ZHU Ke-zheng, ZHANG Xiao-qi,  
GUI Jian-bao, ZOU Yuan-xin

(Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068, China)

**Abstract:** A novel infrared-sensitive streak image tube with a combined infrared photocathode and electrostatics focused electronic optical system is described. Using the characteristics of electron trapping material (ETM) for the rapid infrared up-conversion, a kind of combined infrared photocathode is made by coupling ETM-based infrared up-conversion screen with visible photocathode. The novel infrared-sensitive streak image tube is able to extend spectral sensitivity to 800~1600 nm. The peak value of the converting efficiency is located at 1165 nm. Time resolution is superior to 15 ps.

**Key words:** Streak image tube; Up-conversion screen; Combined infrared photocathode; Electron optical system

### 0 引言

随着现代科学技术的飞速发展,激光核聚变、光生物学、光化学、皮秒-飞秒激光超短脉冲、光纤通讯

等对高速摄影提出了新的要求,扫描变像管相机作为皮秒、飞秒时间域中唯一的线性诊断工具得到极大的发展,而扩展扫描变像管相机的波长响应范围一直是重点研究方向之一,主要体现在研制对红外、X射线乃至核辐射灵敏而且具有快速响应的光电阴极方面。

收稿日期:2003-11-05; 修订日期:2003-12-04

作者简介:刘宏波(1978-),男,辽宁北宁人,硕士生,目前主要从事扫描变像管的研究。

为了研究红外过程,人们在红外阴极方面做了大量研究工作,但到目前为止只有 Ag-O-Cs(S-1) 阴极<sup>[1]</sup> 及 III-V 族半导体负电子亲和势 (NEA) 光电阴极<sup>[2]</sup> 应用在近红外范围,而且普遍存在制作成本高、量子效率低、稳定性差、使用寿命短等缺点。

电子俘获材料<sup>[3,4]</sup> (ETM, Electron Trapping Material) 作为一种红外上转换材料,具有线性范围大、量子效率高、红外响应快、响应范围宽(800~1600 nm)、使用方便(室温下工作)、热稳定性好、造价低等优点。ETM 制作的红外上转换屏作为一种极为方便的波长转换器件,可用于快速红外过程研究。另外,可见光阴极 S-20<sup>[5]</sup> 具有制作成本低、量子效率高、稳定性好、使用寿命长等优点。所以采用 ETM 制作的红外上转换屏与对可见光敏感的多碱光电阴极耦合构成组合式红外阴极,利用 ETM 屏的快速红外—可见特性,将近红外光转换为可见光,然后用可见光光电阴极进行探测。这种新型组合式红外阴极制成扫描变像管,采用轴对称静电聚焦电子光学系统,通过对时间分辨率、空间分辨率等参数进行测量表明,这种组合阴极具有红外响应范围宽、时间分辨率高等显著特性。该扫描变像管时间分辨率在皮秒范围内。

## 1 结 构

### 1.1 阴极设计

先利用 ETM 屏将需探测的近红外光转换为可见光,再用对可见光敏感的光电阴极进行探测。为了减少光弥散,提高耦合效率和空间分辨率,这种新型组合红外阴极选用充满 ETM 的微通道板作为上转换屏,并用光纤面板将 ETM 屏与可见光阴极耦合构成组合阴极,如图 1 所示。ETM 屏选用 CaS:Eu,Sm 上转换材料制作,如图 2 所示。这种上转换材料波长响应范围是 800~1600 nm,转换效率的峰值波长为 1165 nm。这种 ETM 的红外上转换发射光谱峰值为 672 nm,由于 S-20 阴极不仅具备暗电流小、量子效率高、面电阻小、时间响应快等特点,而且在 400~700 nm 波段内具有较高的光谱灵敏度,对这种 ETM 屏的兼

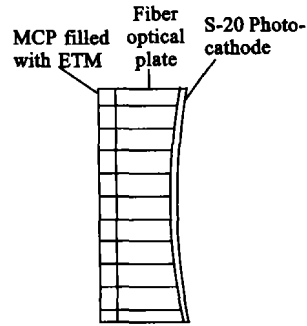


图 1 组合红外阴极

Fig. 1 Configuration of the combined infrared photocathode

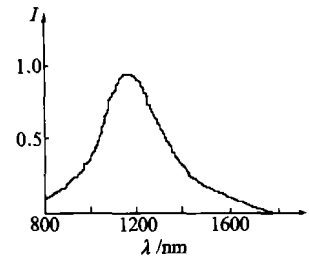


图 2 CaS:Eu,Sm 的上转换效率

Fig. 2 Up-converting efficiency of CaS:Eu,Sm

容性好而且易制作,故选用 S-20 阴极作为组合红外阴极中的可见光阴极。与采用直接探测原理的红外阴极相比,该组合阴极具有制备工艺简单、使用寿命长、测量范围宽等诸多优点。

### 1.2 电子光学系统

这种红外扫描变像管采用轴对称静电聚焦电子光学系统,如图 3 所示。其主要结构由光电阴极、加速栅网、聚焦电极、阳极、一对平板偏转器和荧光屏等部分

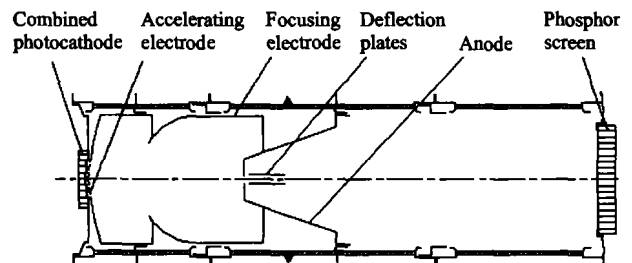


图 3 红外扫描变像管结构图

Fig. 3 Configuration of the infrared streak image tube

组成。采用了球面阴极和球面栅网结构,所以消除了扫描图像的弯曲现象,使时间畸变小于 0.4 ps。另外加速栅网由 50 条/mm 铜镍网制成,和阴极间场强达到 1500 V/mm 以上,减小了阴—栅之间的电子渡越时间弥散,有利于提高整管的时间分辨率。

### 1.3 主要参数

采用轴对称静电聚焦电子光学系统与组合红外阴极耦合制作成的这种新型红外条纹变像管,其主要参数如下:

(1) 光电阴极为组合红外阴极,波长响应范围 800~1600 nm;

- (2) 荧光屏采用 P20 粉,有效直径为 48 mm;  
 (3) 工作电压——光电阴极为 -12 kV,加速栅网为 -10.5 kV,聚焦极为 -11.4 kV,阳极为 0 V;  
 (4) 放大率为 2 : 1;  
 (5) 偏转板电压为 0 ~ ±1000 V;  
 (6) 偏转灵敏度为 42 mm/kV;  
 (7) 波长响应范围为 800 ~ 1600 nm。

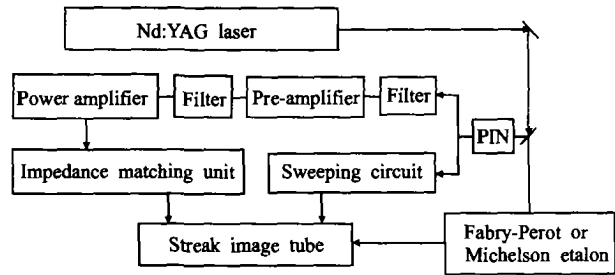


图4 实验示意图

Fig. 4 Sketch of experimental setup

## 2 时间分辨率标定

时间分辨率是衡量扫描变像管性能的一项重要指标,其计算公式为:

$$\Delta t_e = [(\Delta t_{\text{tech}})^2 + (\Delta t_c)^2 + (\Delta t_L)^2 + (\Delta t_D)^2 + (\Delta t_{\text{pD}})^2]^{1/2}$$

式中  $\Delta t_{\text{tech}}$  为技术时间分辨率,  $\Delta t_{\text{tech}} = 1/v\delta$ ,  $v$  为扫描速度,  $\delta$  为空间分辨率;  $\Delta t_c$ 、 $\Delta t_L$ 、 $\Delta t_D$  和  $\Delta t_{\text{pD}}$  分别为光电阴极、聚焦电子透镜、偏转板和偏转后区域中的电子渡越时间弥散。

由影响时间分辨率的因素可以看出,对于这种新型红外扫描变像管,由于红外上转换屏有十几皮秒的时间分辨率,其他影响因素相对于阴极的电子渡越时间弥散就显得非常小了。所以,这种新型红外条纹变像管的时间分辨率主要依赖于红外组合阴极的时间响应。

为了标定这种红外扫描变像管的时间分辨率,采用如图4所示的测量装置,主要由 Nd:YAG 激光器、高频扫描电路、扫描变像管等组成。

Nd:YAG 激光器输出的红外皮秒脉冲序列经过分束器后,一路由迈克尔逊干涉仪型标准具形成固定时间间隔双脉冲序列,再经狭缝、中继透镜组入射到变像管阴极;另一路先经光电二极管做光电转换,并将信号滤波、整形,送预放大器,再经滤波、整形,而功率放大器扫描时输出功率为 5 W。最后,由阻抗匹配单元

完成功率信号到扫描电压信号的转换。实验中要保证驻波比在 1.2 以下,同步光、电信号使扫描图像稳定在屏中央。实验结果表明这种新型红外条纹变像管的时间分辨率优于 15 ps。

## 3 结论

利用 ETM 的快速红外上转换特性制成的组合红外阴极,并将它应用于红外条纹变像管中,实验证明这种变像管具有皮秒级时间分辨率,此时间分辨率主要取决于组合红外阴极的时间分辨率。进一步发展这种红外条纹变像管,主要是开展对 ETM 的时间响应和波长响应的研究。

## 参考文献:

- [1] 徐大纶. 变像管高速摄影[M]. 北京:科学出版社,1990. 44-50.
- [2] 马建一,顾肇业,申屠浩. 负电子亲和势 III-V 族化合物半导体光电阴极及其发展[J]. 半导体情报,1996,33(6):17-22.
- [3] 范文慧,王永昌,侯洵,等. 电子俘获材料的皮秒红外脉冲激励发光[J]. 中国激光,1999,26(2):181-185.
- [4] Xun Hou, Li Du, Wenhui Fan, et al. A ps infrared streak camera with an up-converting material[A]. SPIE[C]. 1999. 3516. 160-166.
- [5] 常本康,房红兵,富容国,等. 多碱光电阴极光谱响应在线测试结果与分析[J]. 真空科学与技术,1998,18(2):111-115.

经天津市期刊质量评估、评优委员会评定,《红外与激光工程》被评为 2003 年度天津市一级期刊。