

## Cs 量与 Cs<sub>2</sub>Te 光阴极紫外-可见光抑制比关系研究

刘 晖<sup>1,2</sup>, 张连东<sup>1,2</sup>, 冯 刘<sup>1,2</sup>, 程宏昌<sup>1,2</sup>, 高 翔<sup>1,2</sup>, 苗 壮<sup>1,2</sup>

(1. 微光夜视技术重点实验室, 陕西 西安 710065; 2. 北方夜视科技集团股份有限公司, 云南 昆明 650223)

**摘 要:** 紫外-可见光抑制比是决定全天时紫外探测成像系统信噪比的一个重要参数。为了研究激活时 Cs 量对 Cs<sub>2</sub>Te 紫外光阴极紫外-可见光抑制比( $S_{260\text{ nm}}/S_{320\text{ nm}}$ )的影响, 利用三组不同 Cs 量的多次激活实验, 通过分别对比紫外-可见光抑制比结果和 200~400 nm 的光谱响应曲线, 得到不同 Cs 量激活的 Cs<sub>2</sub>Te 光阴极其紫外-可见光抑制比在 4.0~7.6 之间变化。随着 Cs 量的增大, 紫外光阴极的积分灵敏度相应增长, 主要体现在 260~320 nm, 但峰值 256 nm 处的辐射灵敏度增长不明显。重点分析了激活时 Cs 量对大于 320 nm 波长范围光谱响应的影响。

**关键词:** 紫外-可见光抑制比; Cs<sub>2</sub>Te; 紫外光阴极; 日盲

**中图分类号:** TN23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2014)03-0940-04

## Study of Cs content on UV-visible rejection ratio of Cs<sub>2</sub>Te photocathode

Liu Hui<sup>1,2</sup>, Zhang Liandong<sup>1,2</sup>, Feng Liu<sup>1,2</sup>, Cheng Hongchang<sup>1,2</sup>, Gao Xiang<sup>1,2</sup>, Miao Zhuang<sup>1,2</sup>

(1. Science and Technology on Low-Light-Level Night Vision Laboratory, Xi'an 710065, China;  
2. North Night Vision Technology Group Co., Ltd, Kunming 650223, China)

**Abstract:** UV-visible rejection ratio is an important parameter for determining SNR of all-day ultraviolet detector system. In order to study the effect of Cs sensitization on UV-visible rejection ratio  $S_{260\text{ nm}}/S_{320\text{ nm}}$  of Cs<sub>2</sub>Te ultraviolet photocathode during the activation, many activation experiments by using three different groups of Cs content were carried out. Respective comparing the results of UV-visible rejection ratio and the spectral response curves of 200-400 nm, the rejection ratio values of Cs<sub>2</sub>Te photocathodes activated with different Cs content varied from 4.0 to 7.6. As Cs content grew, the integral sensitivity of photocathodes increased correspondingly between 260 nm and 320 nm, while the growth of the radiation sensitivity at the peak of 256 nm was not remarkable. So this paper focused on the influence of Cs content on the spectral response whose wavelength was more than 320 nm.

**Key words:** UV-visible rejection ratio; Cs<sub>2</sub>Te; ultraviolet photocathode; solar blind

收稿日期: 2013-07-05; 修订日期: 2013-08-03

基金项目: 微光夜视技术重点实验室基金(J20110102)

作者简介: 刘晖(1980-), 男, 工程师, 主要从事 III-V 族半导体光阴极研究。Email: liuhui\_angel@163.com

## 0 引言

Cs<sub>2</sub>Te 紫外光阴极具有良好的日盲特性,用其制作的紫外探测器在预警、制导、通信、天文、大气监测、电晕探测、防火、生物医学等领域都有广泛应用。随着紫外光阴极的研究和发展<sup>[1-5]</sup>,除阴极灵敏度指标外,紫外-可见光抑制比成为紫外像增强器的重要指标之一,直接影响紫外成像系统的观察效果,是决定全天时紫外探测成像系统信噪比的重要参数,获得高紫外-可见光抑制比是 Cs<sub>2</sub>Te 紫外像管的基本要求。理论分析,激活时 Cs 量大小是 Cs<sub>2</sub>Te 光阴极阈波长向长波方向移动的主要原因。针对能否通过控制激活时 Cs 量的多少改善紫外阴极的紫外-可见光抑制比问题,进行不同 Cs 量的多次激活实验,分析实验结果,并对提高紫外阴极的紫外-可见光抑制比提出看法。

## 1 实验

实验分为光阴极激活与光谱响应测试两部分。激活在压强低于  $1 \times 10^{-8}$  mbar (1 mbar=100 Pa) 的高真空腔中进行,激活过程中随时监控光电流变化。分别进行 3 项激活实验,通过停止给 Cs 的时机不同控制 Cs 量。具体为第 1 项实验,激活时 Cs 在光电流曲线上升阶段停止给 Cs;第 2 项实验,激活时 Cs 在光电流曲线上升至峰值处停止给 Cs;第 3 项实验,激活时 Cs 在光电流曲线上升至峰值后下降至峰值 90% 处停止给 Cs。压封成管后,利用光谱响应测试仪对像管进行光谱响应测试。

## 2 结果与讨论

### 2.1 Cs<sub>2</sub>Te 光阴极紫外-可见光抑制比影响因素

Cs<sub>2</sub>Te 紫外光阴极激活制作是在真空度低于  $1.0 \times 10^{-8}$  mbar,通过光电流监控法,先在石英玻璃基底上沉积一层 Te 膜,然后再进行 Cs 敏化,直到紫外光电流达到其最大值为止。

Cs<sub>2</sub>Te 光阴极是以 Cs<sub>2</sub>Te 为主要结构的半导体光电发射材料,其能带结构如图 1 所示。

其中禁带宽度  $E_g$  约为 3.2 eV,电子亲和势  $E_a$  约为 0.3 eV,光电发射的阈值能量  $E_t = E_g + E_a = 3.5$  eV。导带中  $2E_g$  以上区域分别为电子散射区和二次发射

区。当光照射在 Cs<sub>2</sub>Te 光阴极表面,光子能量满足  $E_t < h\nu < 2E_g$  时,光子就在 Cs<sub>2</sub>Te 光阴极体内激发出电子,并从价带跃迁入导带,在电场的作用下受激电子向 Cs<sub>2</sub>Te 光阴极表面运动。如果电子到达表面时的能量大于  $E_t$ ,则将克服电子亲和势的束缚向真空中发射电子,完成光电发射过程<sup>[6]</sup>。

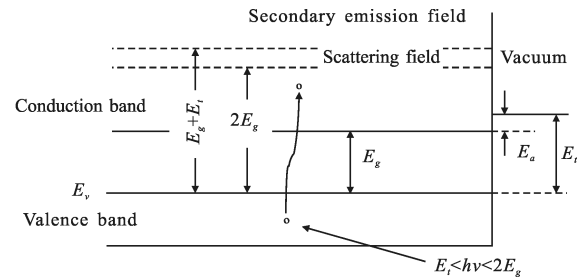


图 1 Cs<sub>2</sub>Te 光阴极能带结构示意图

Fig. 1 Cs<sub>2</sub>Te photocathode energy band structure diagram

首先,拟定 Cs<sub>2</sub>Te 光阴极紫外-可见光抑制比为  $S_{230\text{ nm}}/S_{320\text{ nm}}$ ,那么要获得高紫外-可见光抑制比的 Cs<sub>2</sub>Te 光阴极,就应该在提高 Cs<sub>2</sub>Te 光阴极辐射灵敏度的基础上,有效地降低 320 nm 处的辐射灵敏度。

目前选用的光阴极材料为 JGS1 型石英玻璃,其应用光谱波段范围 185~2 500 nm<sup>[7]</sup>。在 Cs<sub>2</sub>Te 光电阴极制作过程中,阴极表面理想状态是形成 Cs<sub>2</sub>Te 半导体薄膜,但实际情况由于 Cs 的沉积和反应,表面应该还有 CsTe、Cs 原子等,它们的量都由工艺的不同而不同,这些原子、分子的存在是阈波长向长波方向移动的主要原因。

表面富余 Cs 原子有减小阴极表面势垒的作用。这层碱金属膜本身会产生光电发射。在一定的范围内,Cs 膜增厚,阈波长向长波方向移动。

由此可见,Cs<sub>2</sub>Te 光阴极紫外-可见光抑制比影响因素主要是 Cs 与 Te 的比例和 Cs<sub>2</sub>Te 膜层的结构。Cs<sub>2</sub>Te 光阴极激活过程中 Cs 含量越多,光阴极长波阈值越向长波方向移动,并且长波处响应也高。因此,在激活过程中严格控制 Cs:Te 比例是激活技术的关键。要增加禁带宽度,必须使 Cs:Te < 2:1,才能够实现长波阈值达到 320 nm 和高紫外-可见光抑制比的目标。

### 2.2 不同 Cs 量激活实验及结果分析

结合理论分析,在现有激活工艺基础上,保证 Te 膜的制作工艺不变,对激活 Cs 量进行不同控制

实验。分别进行以下 3 项实验,每项实验分别进行 3 组样品激活实验:

第 1 项实验,激活时 Cs 在光电流曲线上上升阶段停止给 Cs;

第 2 项实验,激活时 Cs 在光电流曲线上升至峰值处停止给 Cs;

第 3 项实验,激活时 Cs 在光电流曲线上升至峰值后下降至峰值 90%处停止给 Cs。

由表 1~表 3 的  $S_{230\text{ nm}}/S_{320\text{ nm}}$  数据可知,通过不同 Cs 量的 3 项激活实验,没有得到预期的实验结果, $\text{Cs}_2\text{Te}$  光阴极紫外-可见光抑制比  $S_{230\text{ nm}}/S_{320\text{ nm}}$  在 4.0~7.6 之间变化。激活时随着 Cs 量的增大, $S_{230\text{ nm}}/S_{320\text{ nm}}$  没有出现规则变化,虽然  $S_{230\text{ nm}}$  和  $S_{320\text{ nm}}$  都有增长,但紫外光阴极的阈波长没有明显向长波方向移动。

表 1 第 1 项实验及测试数据

Tab.1 Experiment 1 and test data

	Sample 1	Sample 2	Sample 3
$P/\text{mbar}$	$6.3 \times 10^{-9}$	$7.3 \times 10^{-9}$	$5.9 \times 10^{-9}$
$I/\mu\text{A}$	10.6	9.7	10.9
$S_{256\text{ nm}}/\text{mA} \cdot \text{W}^{-1}$	16.9	15.6	17.1
$S_{230\text{ nm}}/S_{320\text{ nm}}$	4.5	4.9	7.6

表 2 第 2 项实验及测试数据

Tab.2 Experiment 2 and test data

	Sample 1	Sample 2	Sample 3
$P/\text{mbar}$	$6.4 \times 10^{-9}$	$8.9 \times 10^{-9}$	$7.2 \times 10^{-9}$
$I/\mu\text{A}$	12.9	13.4	13.7
$S_{256\text{ nm}}/\text{mA} \cdot \text{W}^{-1}$	18.6	20.2	19.1
$S_{230\text{ nm}}/S_{320\text{ nm}}$	5.4	4.3	4.0

表 3 第 3 项实验及测试数据

Tab.3 Experiment 3 and test data

	Sample 1	Sample 2	Sample 3
$P/\text{mbar}$	$7.5 \times 10^{-9}$	$6.4 \times 10^{-9}$	$7.5 \times 10^{-9}$
$I/\mu\text{A}$	11.9	12.1	12.4
$S_{256\text{ nm}}/\text{mA} \cdot \text{W}^{-1}$	19.3	19.6	20.6
$S_{230\text{ nm}}/S_{320\text{ nm}}$	6.9	6.8	4.9

由图 2~图 4 光谱响应曲线可知,随着激活时 Cs 量的增大,阈波长虽然没有明显向长波方向移动,但是半高宽度明显变大,积分灵敏度有相应增长,主要体现在 260~320 nm,而 256 nm 峰值处的辐射灵敏度  $S_{256\text{ nm}}$  没有增长。 $\text{Cs}_2\text{Te}$  光阴极激活时 Cs 量的不同对灵敏度影响较大,但是对大于 320 nm 波段的光谱响应影响较小。Cs 量的不同主要从 280 nm 处的辐射灵敏度角度来影响  $\text{Cs}_2\text{Te}$  光阴极紫外-可见光抑制比  $S_{230\text{ nm}}/S_{320\text{ nm}}$ 。在保证紫外光阴极高灵敏度的基础上,要获得高紫外-可见光抑制比的  $\text{Cs}_2\text{Te}$  光阴极,应重点从降低 320 nm 处的光谱响应着手。

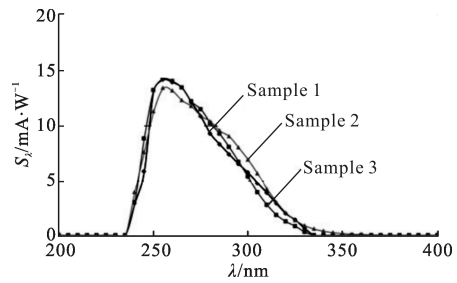


图 2 第 1 项实验光谱响应曲线

Fig.2 Spectral response curves of experiment 1

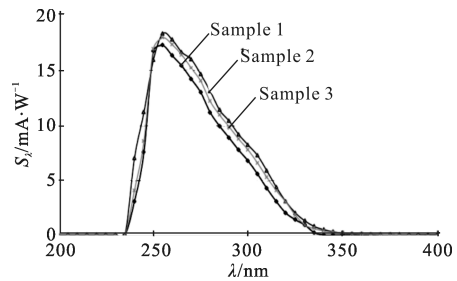


图 3 第 2 项实验光谱响应曲线

Fig.3 Spectral response curves of experiment 2

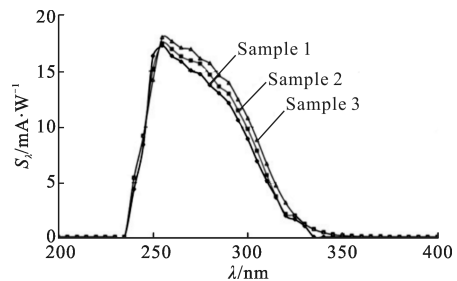


图 4 光谱响应曲线

Fig.4 Spectral response curves of experiment 3

通过对比实验结果,和理论分析有些偏差。分析原因主要是实验中,石英玻璃表层沉积的 Te 量固定,后期 Cs 敏化对光电流影响较大,但是光电流的

波长阈值变化不大。过量的 Cs 自身产生光电发射很小,相对于 Cs<sub>2</sub>Te 光阴极可以忽略。石英玻璃表面沉积的 Te 膜与 Cs 反应,形成 CsTe 与 Cs<sub>2</sub>Te 膜层,构建 Cs<sub>2</sub>Te 半导体阴极。Cs 敏化过程没有再补充 Te,造成后续的原子层几乎都为 Cs 原子层。由于没有化学键的作用,Cs 以原子态附着在 Cs<sub>2</sub>Te 表面。Cs 在 Cs<sub>2</sub>Te 表面的沉积具有双重作用,一方面 Cs 释放出 1 个电子给 Cs<sub>2</sub>Te,引起 Cs<sub>2</sub>Te 表面能带向下弯曲,有利于光电子的逸出;另一方面,Cs 原子层的增厚,会对来自 Cs<sub>2</sub>Te 中的光电子造成散射、吸附等阻碍作用,造成光电流下降。随着 Cs 原子的堆积,膜层越来越厚,激活监控的光电流明显下降,反映出阴极的灵敏度也随之明显下降。因此,Cs 的沉积有一个最佳值,需要继续深入探讨。Cs<sub>2</sub>Te 原子层形成后,富余的 Cs 并没能有效减小电子亲和势,降低势垒,所以阈波长没有向长波方向移动。

### 3 结 论

通过实验发现,Cs<sub>2</sub>Te 紫外光阴极在制备过程中,决定灵敏度的关键因素在于 Te 膜的形成。后期 Cs 敏化形成稳定的 Cs<sub>2</sub>Te 半导体膜层,Cs 量充裕的情况下,对 256 nm 峰值处的辐射灵敏度  $S_{256\text{nm}}$  影响不大,仅少量增加 260~320 nm 范围的灵敏度。激活 Cs 量对于 Cs<sub>2</sub>Te 光阴极紫外-可见光抑制比为  $S_{280\text{nm}}/S_{320\text{nm}}$  仅能影响到 280 nm 处的辐射灵敏度  $S_{280\text{nm}}$ 。富余 Cs 并没有降低势垒,阈波长没有向长波方向移动。要想有效抑制长波响应,增大紫外-可见光抑制比,还需要激活过程中 Te 原子的介入,这些需要进一步验证。

### 参考文献:

- [1] Zhu Jie, Ma Peng, Bai Yun, et al. Design of image processing system for UV solar blind focal plane detector[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 4(4): 690-695. (in Chinese)  
朱杰,麻芑,白云,等.紫外日盲焦平面探测器成像处理系统研制[J].红外与激光工程,2011,4(4):690-695.
- [2] Lin Yancheng, Xiao Gonghai, Yuan Liyin, et al. Design of UV camera based on solar-blinded AlGaIn [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(7): 1879-1884. (in Chinese)  
林言成,肖功海,袁立银,等.基于日盲型 AlGaIn 的紫外相机设计[J].红外与激光工程,2012,41(7):1879-1884.
- [3] Chen Lianghui. Development of III-V semiconductor FPA photodetectors of full optical spectrum [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(1): 1-8. (in Chinese)  
陈良惠. III-V 族半导体全(多)光谱焦平面探测器新进展[J].红外与激光工程,2008,37(1):1-8.
- [4] Yan Tingjing, Chong Ming, Zhao Degang, et al. Fabrication of 246 nm back-illuminated AlGaIn solar-blind ultraviolet p-i-n photodetector[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(1): 32-35. (in Chinese)  
颜廷静,种明,赵德刚,等.246 nm p-i-n 型背照 AlGaIn 太阳盲紫外探测器的研制[J].红外与激光工程,2011,40(1):32-35.
- [5] Xing Suxia, Zhang Junju, Chang Benkang, et al. Recent development and status of uncooled IR thermal imaging technology [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2004, 33(5): 441-444. (in Chinese)  
邢素霞,张俊举,常本康,等.非制冷红外热成像技术的发展与现状[J].红外与激光工程,2004,33(5):441-444.
- [6] Huang Min, Zhao Wenjin, Dai Liying. Te treatment studies for semitransparent Cs<sub>2</sub>Te photocathodes [J]. *Optoelectronic Technology*, 1994, 14(3): 211-214. (in Chinese)  
黄敏,赵文锦,戴丽英.透射式 Cs<sub>2</sub>Te 光电阴极的 Te 处理研究[J].光电子技术,1994,14(3):211-214.
- [7] Cheng Hongchang, Shi Feng, Feng Liu, et al. Method for eliminating thickness non-uniformity of transmission Cs<sub>2</sub>Te photocathode [J]. *Journal of Applied Optics*, 2008, 29(4): 557-561. (in Chinese)  
程宏昌,石峰,冯刘,等.透射式铯铊光阴极厚度不均匀现象消除方法的研究[J].应用光学,2008,29(4):557-561.
- [8] Michelato P, Pagani C, Sertore D, et al. Characterization of Cs<sub>2</sub>Te photoemissive film: formation, spectral responses and pollution [J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 1997, 393: 464-468.
- [9] Zhong Shengdong, Zhang Xueheng, Yan Jiqing, et al. Study on processing art of Te-Cs ultraviolet cathode [J]. *Optical Technique*, 2000, 26(4): 318-320. (in Chinese)  
钟生东,张学恒,闫吉庆,等.铯铊紫外光电阴极的工艺研究[J].光学技术,2000,26(4):318-320.