

doi: 10.3788/gzxb20144306.0625003

K₂Te(Cs) 日盲紫外光电阴极研究

李晓峰^{1,2}, 赵学峰¹, 陈其钧¹, 王志宏¹

(1 北方夜视技术股份有限公司, 昆明 650223)

(2 微光夜视技术重点实验室, 西安 710065)

摘要:研究了 K₂Te(Cs) 日盲紫外阴极的制作工艺并制作了 K₂Te(Cs) 日盲紫外阴极. 测量了 K₂Te(Cs) 日盲紫外阴极样品的光谱响应、光谱反射率和 250 nm 波长激发条件下的荧光谱, 测量结果表明: 与 Cs₂Te 日盲紫外阴极相比, 在现有工艺条件下, K₂Te(Cs) 日盲紫外阴极的灵敏度高于 Cs₂Te 日盲紫外阴极, 光谱响应的峰值波长更短, 位于 250 nm, 而长波截止波长位于 336 nm; 633 nm 的光谱灵敏度为 10⁻⁴ mA/W 数量级, 较 Cs₂Te 日盲紫外阴极低一个数量级. 光谱反射率测量结果表明: K₂Te(Cs) 日盲紫外阴极的光谱反射率在 200~437 nm 的波长范围内, 均高于 Cs₂Te 日盲紫外阴极, 而在 437~600 nm 的波长范围内, 反射率却与 Cs₂Te 日盲紫外阴极基本相同; 折射率及消光系数也低于 Cs₂Te 日盲紫外阴极. 荧光谱测试结果表明: 在同样条件下, 250~350 nm 波长范围内, 由于 K₂Te(Cs) 紫外阴极的荧光强于 Cs₂Te 紫外阴极, 因此跃迁电子数量更多, 阴极灵敏度更高, 比较适用于日盲紫外探测成像器件的制造.

关键词: K₂Te(Cs) 阴极; Cs₂Te 阴极; 紫外阴极; 反射率; 光谱响应; 荧光谱

中图分类号: O462.3

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2014)06-0625003-6

Study on K₂Te(Cs) Solar Blind Ultraviolet Cathode

LI Xiao-feng^{1,2}, ZHAO Xue-feng¹, CHEN Qi-jun¹, WANG Zhi-hong¹

(1 North Night Vision Technology Co., Ltd, Kunming 650114, China)

(2 The Key Laboratory on Night Vision Technology, Xi'an 710065, China)

Abstract: The making process of K₂Te(Cs) solar blind ultraviolet cathode was described and samples of K₂Te(Cs) solar blind ultraviolet cathode were made. The spectral response, spectral reflectance and fluorescence spectra under the excitation condition of 250 nm wavelength about K₂Te(Cs) and Cs₂Te solar blind ultraviolet cathodes were measured. The measuring results showed that under the existing technological condition, the spectral response of K₂Te(Cs) solar blind ultraviolet cathode is higher, the peak wavelength of spectral response is shorter than that of Cs₂Te solar blind ultraviolet cathode. However, their long wavelength thresholds of both cathodes were basically same. The peak wavelength of spectral response of K₂Te(Cs) cathode is about 250 nm, long wavelength threshold is about 336 nm. In addition, K₂Te(Cs) solar blind ultraviolet cathode has better solar blind property; the spectral sensitivity at 633 nm is ranked at the order of magnitude of 10⁻⁴ mA/W, one order of magnitudes lower than that of Cs₂Te solar blind ultraviolet cathode. As for the spectral reflectance, the measuring results showed that the spectral reflectance of K₂Te(Cs) solar blind ultraviolet cathode is higher than that of Cs₂Te solar blind ultraviolet cathode within the scope of 200~437 nm wavelength, however is basically same as that of Cs₂Te solar blind ultraviolet cathode within the scope of 437~600 nm wavelength, the refractive index and extinction coefficient of K₂Te(Cs) solar blind ultraviolet cathode are less than that of Cs₂Te solar blind ultraviolet cathode. The measuring results on fluorescence spectra indicated that under the same condition and within the scope of 250~350 nm wavelength, the fluorescence of K₂Te(Cs) ultraviolet cathode is stronger than that of Cs₂Te ultraviolet cathode, the more strongly the fluorescence, the more transition electrons and the higher spectral response of cathode. The properties of K₂Te(Cs)

基金项目: 微光夜视技术重点实验室基金(No. J2011016)资助

第一作者: 李晓峰(1963-), 男, 高级工程师, 博士, 主要研究方向为真空光电器件. Email: lxf@nvt.com.cn

收稿日期: 2013-08-05; 录用日期: 2013-10-15

<http://www.photon.ac.cn>

solar blind ultraviolet cathode are better than that of Cs_2Te solar blind ultraviolet cathode, and thus can be applied to image device for solar blind ultraviolet detection as well.

Key words: $\text{K}_2\text{Te}(\text{Cs})$ cathode; Cs_2Te cathode; Ultraviolet cathode; Reflection; Spectral response; Fluorescence spectrum

OCIS Codes: 250.1500; 260.7190; 260.2510

0 引言

导弹逼近告警系统 (Missile Approach Warning Systems, MAWs) 作为一种有效的反导手段已在军用或民用飞机上得到广泛应用. 便携式防空导弹系统 (Man Portable Air Defense System, MANPADS) 包括一代和二代, 如 SA-7, SA-14, Redeye, Stinger 等, 由于价格便宜, 使用简单, 因此装备拥有量较大. 另据报道, 不受控制或扩散出来的便携式防空导弹系统也有上千套, 而且多数流落在非政府组织或恐怖组织手中. 这就对飞机, 特别是民用飞机的安全造成了极大的威胁. 导弹逼近告警系统的原理是系统自动搜索或探测导弹的发射, 然后计算导弹的飞行速度、距离和到达飞机的时间, 经判断如果确认导弹对自己构成威胁, 那么飞机将自动释放红外干扰照明弹, 诱导导弹偏离所跟踪的目标, 达到反导的目的. 机载导弹逼近告警系统主要采用紫外导弹逼近告警系统. 紫外导弹来袭告警系统的核心器件为日盲紫外探测器, 而日盲紫外探测器的关键部件又为日盲紫外光电阴极 (简称日盲紫外阴极或紫外阴极)^[1-3]. 尽管近年来出现了很多新型的半导体紫外探测材料, 如 MgZnO 、 AlGaIn 和 SiC 等^[4-8], 但因所制作的器件距实用化还有一定的距离, 因此目前紫外探测常用的阴极材料仍为 CsI 、 KBr 、 Rb_2Te 、 Cs_2Te 等, 如美国哈勃望远镜中的近紫外探测器用的是 Cs_2Te 阴极^[9], 美国中层太空实验 (Midcourse Space Experiment, MSX) 携带的紫外、可见光和光谱成像器 (Ultraviolet and Visible Imagers and Spectrographic Imagers, UVISI) 中的紫外探测器光电阴极为 Rb_2Te 阴极和 CsI 阴极^[10]. 到目前为止, 国内多个研究机构对 Cs_2Te 日盲紫外阴极进行过深入研究, 取得了多项研究成果^[11-13], 研制出了多种日盲紫外探测器, 但其紫外阴极的灵敏度与国外先进水平相比还有一定的差距^[14-15]. 要提高日盲紫外阴极的灵敏度, 除需要进一步改进 Cs_2Te 日盲紫外阴极的制作工艺之外, 还需要对光电阴极的材料进行改进. 一般来讲, 在元素周期表中, I 族的碱金属元素与 VI 族的 Te 元素合成的二元化合物 (如 Cs-Te 、 Rb-Te 等) 均具有紫外光电发射特性, 均可以用作为紫外光电阴极. 在半导体化合物中, 三元材料通常比二元材料好, 因此如果 I 族的两种元素与 VI 族的 Te 元素合成为三元的化合物, 如 Rb-Cs-Te 、 K-Cs-Te 等, 那么光电发射的性能会更好. 实践证明 K-Te-Cs 三元材料日盲紫外光电阴极的阴极灵敏度的确

高于现有的 Cs_2Te 和 Rb_2Te 等二元材料的紫外阴极, 因此也是一种性能良好的日盲紫外光电阴极, 可用于日盲紫外探测器. 本文介绍了 $\text{K}_2\text{Te}(\text{Cs})$ 日盲紫外阴极的制作工艺, 分析了 $\text{K}_2\text{Te}(\text{Cs})$ 日盲紫外阴极的光谱响应、光谱反射率以及荧光谱等方面的特性, 同时与 Cs_2Te 日盲紫外阴极进行了比较.

1 样品制作

$\text{K}_2\text{Te}(\text{Cs})$ 日盲紫外光电阴极, 简称 $\text{K}_2\text{Te}(\text{Cs})$ 紫外阴极, 它是在 K_2Te 日盲紫外阴极的基础上, 对其表面进行 Cs 激活制作成的. 实践证明由于 Cs 激活可以降低其表面电子亲和势, 因此阴极灵敏度可以得到提高. 其基本的制作过程是先制作好 K_2Te 基底, 之后再进行 Cs 激活. 因为 K_2Te 和 Cs_2Te 紫外阴极的材料性能相当, 因此 $\text{K}_2\text{Te}(\text{Cs})$ 阴极的电阻也很高, 为了使紫外光电阴极在发射电子时电子能得到及时补偿, 需要在阴极的石英窗上制作一层金属导电基底^[16-18]. 阴极的导电基底应满足以下条件: 1) 面电阻足够小, 一般导电基底的面电阻小于 $10^7 \Omega/\text{cm}^2$ 就能满足要求; 2) 对响应波段光辐射透过率高; 3) 与紫外光阴极相容. $\text{K}_2\text{Te}(\text{Cs})$ 阴极导电基底的制作与 Cs_2Te 阴极导电基底的制作工艺相同. 选用 Ni-Cr 合金作为阴极基底的导电材料, 采用电子束加热的方式蒸发. 要阴极衬底表面的面电阻小, Ni-Cr 膜层的厚度就要厚, 这样石英窗的透过率就会低, 从而会影响阴极的灵敏度. 所以在阴极石英窗表面上镀制导电基底时, 膜层的厚度要根据实际应用时阴极的电流发射密度来决定. 对于微弱信号的探测而言, 10 nm 或以上的膜层厚度即可, 图 1 是典型的蒸镀导电膜层之后的石英窗光谱透过率.

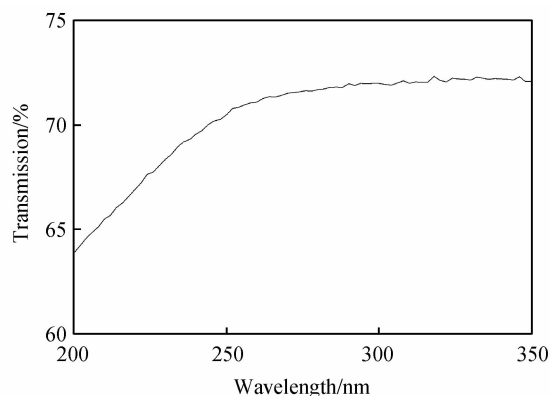


图 1 石英窗透过率

Fig. 1 Transmissivity of quartz window

$\text{K}_2\text{Te}(\text{Cs})$ 紫外阴极的基本制作工艺为: 首先把镀

有 Ni-Cr 导电膜的石英窗、管壳以及 Te、K 和 Cs 蒸发源等装入紫外阴极的制作真空系统. 其中 Te 源采用 Te-In 合金, K 源采用由 K₂CrO₄ 和 ZrAl 混合粉末, Cs 源采用 Cs₂CrO₄ 和 ZrAl 混合粉末. 对紫外阴极制作真空系统进行温度为 300℃, 保温时间为 12 h 的烘烤除气. 当烘烤过程完成之后, 让系统缓慢降温. 当温度降到 170℃ 时, 打开低压汞灯、紫外阴极光电流监控装置, 并利用记录仪记录光电流的变化. 分别打开 Te 蒸发源和 K 蒸发源的蒸发电流, 同时蒸发 Te 原子和 K 原子, 使其反应生成 K₂Te 膜层, 当 Te 原子和 K 原子开始发生化学反应生成 K₂Te 阴极膜层时, 紫外阴极的光电流会上升, 并且随着 K₂Te 紫外阴极膜层的加厚, 光电流随之增加. 当光电流达到最大值之后, 停止 Te 原子和 K 原子的蒸发, 关掉 Te 蒸发源和 K 蒸发源的蒸发电流. 之后降低温度到 160℃, 打开 Cs 蒸发源电流, 蒸发 Cs 原子. 当 K₂Te 阴极膜层表面吸附 Cs 原子层之后, 由于表面逸出功的降低, 阴极灵敏度会进一步上升, 当阴极灵敏度达到最大之后, 关掉 Cs 原子蒸发源, 将真空系统温度降低并将阴极封接在真空管壳中, 这样日盲紫外 K₂Te(Cs) 阴极样品就制作完成了.

2 光谱响应特性分析

K₂Te(Cs) 紫外阴极与 Cs₂Te 紫外阴极相比较, 在现有工艺条件下, 阴极灵敏度比 Cs₂Te 阴极高, 平均高两倍, 峰值灵敏度可达到 60 mA/W 以上. 图 2 是典型 K₂Te(Cs) 紫外阴极和 Cs₂Te 紫外阴极的光谱响应曲线. Cs₂Te 紫外阴极采用先蒸发 Te, 再蒸发 Cs 的工艺制作. 测量仪器为南京理工大学研制的自动光谱响应测试仪. 该测试仪采用氙灯作为光源, 利用光栅进行分光, 对不同波长的阴极灵敏度进行测量, 并通过计算机进行采样和计算, 从而得到光谱响应曲线. 从图 2 中的光谱响应曲线可以看出, K₂Te(Cs) 紫外阴极与 Cs₂Te 紫外阴极相比, 光谱响应的峰值波长更短, 位于 250 nm 处, 而 Cs₂Te 紫外阴极光谱响应的峰值波长却为

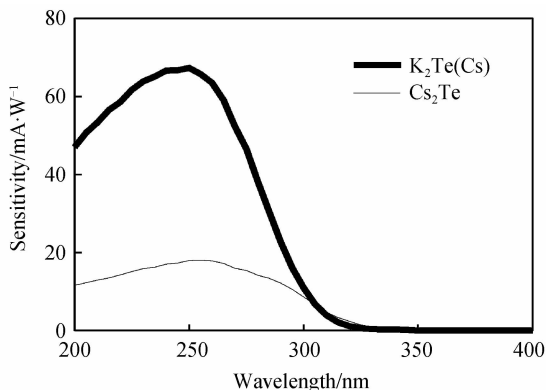


图 2 阴极的光谱响应
Fig. 2 Spectral response of cathode

255 nm. 如果将阴极灵敏度降低到峰值灵敏度 0.5% 处对应波长定义为长波截止波长, 那么 K₂Te(Cs) 紫外阴极的长波截止波长为 336 nm, 而 Cs₂Te 紫外阴极的长波截止波长为 335 nm. 这说明两种阴极的逸出功基本相同.

对于日盲紫外阴极而言, 除了要求在紫外波段的阴极灵敏度高之外, 还要求在可见光波段的阴极灵敏度低. 紫外阴极在可见光波段的灵敏度越低, 表明紫外阴极的日盲特性越好. 表 1 是 K₂Te(Cs) 紫外阴极和 Cs₂Te 紫外阴极对 633 nm 和 808 nm 波长的阴极灵敏度. 可以看出, 对 633 nm 的波长而言, K₂Te(Cs) 紫外阴极的灵敏度较 Cs₂Te 紫外阴极的灵敏度低 1 个数量级, 而对 808 nm 的波长而言, K₂Te(Cs) 紫外阴极的灵敏度较 Cs₂Te 紫外阴极的灵敏度高两个数量级. 说明在现有的工艺条件下, K₂Te(Cs) 紫外阴极的短波日盲特性要好于 Cs₂Te 紫外阴极, 但长波日盲特性却差于 Cs₂Te 紫外阴极.

表 1 不同波长的阴极灵敏度

Table 1 Cathode sensitivity of different wavelength

Sample	Cathode	Sensitivity/(mA·W ⁻¹)	
		633 nm	808 nm
055	K ₂ Te(Cs)	3.1×10 ⁻⁴	1.3×10 ⁻⁷
037	K ₂ Te(Cs)	4.3×10 ⁻⁴	1.7×10 ⁻⁷
240	Cs ₂ Te	2.9×10 ⁻³	5.6×10 ⁻⁹
242	Cs ₂ Te	2.1×10 ⁻³	4.2×10 ⁻⁹

3 光谱反射率分析

Cs 原子和 K 原子为碱金属, 其外层电子数均为 1, 在元素周期表中属于第 I 族元素. K 属于第 4 周期, 而 Cs 属于第 6 周期. 两者相比较, Cs 原子的半径更大, 电负性更弱, 更易失去外层电子. 根据这两种元素在元素周期表中的排列, 可以估计出 K₂Te(Cs) 和 Cs₂Te 的性质也基本相同, 所以可以与 Cs₂Te 紫外阴极作为比较来分析 K₂Te(Cs) 紫外阴极的材料性能. 无论是 K₂Te(Cs) 紫外阴极还是 Cs₂Te 紫外阴极, 均必须保存在真空状态下, 一旦暴露大气, 将很快损坏, 因此对其成分或结构的分析都十分困难. K₂Te(Cs) 紫外阴极是一层薄膜, 如图 3. 由于阴极和石英窗的折射率不相同, 因此当入射光向阴极入射时, 入射光在石英玻璃与空气的界面、石英窗与阴极膜层的界面、阴极膜层与真空的界面上均会发生菲涅尔反射. 由于阴极膜层较薄, 可以与入射波长相比拟, 因此当发生在石英窗与阴极膜层界面上的反射光①与发生在阴极膜层与真空界面上的反射光②的光程差满足一定的条件时, 就会发生干涉. 通过测量 K₂Te(Cs) 紫外阴极膜层的光谱反射率即可测量出膜层的折射率、厚度等.

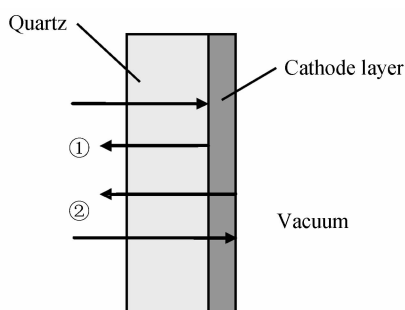


图3 阴极膜层示意图
Fig. 3 Sketch map of cathode layer

根据薄膜干涉原理,当反射光①和反射光②的光程差相差 $\lambda/4$ 的偶数倍时,将发生干涉加强,而当反射光①和反射光②的光程差相差 $\lambda/4$ 的奇数倍时,将发生干涉减弱,干涉方程为

$$nd = N \frac{1}{4} \lambda \quad (1)$$

式(1)中, n 为阴极膜层的折射率, d 为阴极膜层的厚度, N 为自然数, λ 为入射光的波长. 一般来讲,金属化合物阴极的折射率均较大,而且色散系数也大.

图4是采用岛津 UV-2550 分光光度计测得的 $K_2Te(Cs)$ 紫外阴极和 Cs_2Te 紫外阴极的光谱反射率曲线,通过比较两种阴极的光谱反射率曲线可以比较 $K_2Te(Cs)$ 紫外阴极和 Cs_2Te 紫外阴极的折射率差别,测量时,仪器设置为反射模式,狭缝宽带为 2 nm,采样间隔为 1 nm,阴极测量面积为 $\Phi 12$ mm.

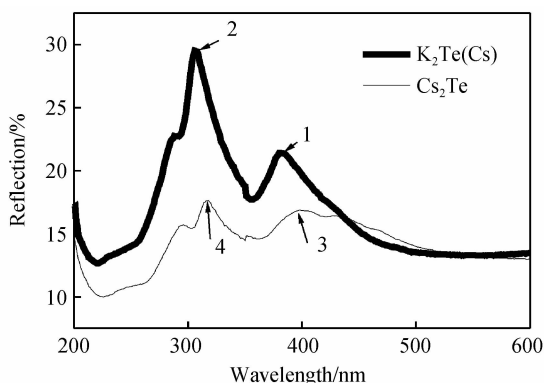


图4 阴极膜层的光谱反射率
Fig. 4 Spectral reflectance of cathode layer

图4中线条较细的一条曲线为 Cs_2Te 紫外阴极光谱反射率曲线,线条较粗的一条曲线为 $K_2Te(Cs)$ 紫外阴极的光谱反射率曲线. 从 $K_2Te(Cs)$ 紫外阴极的光谱反射率曲线看出, $K_2Te(Cs)$ 紫外阴极的光谱反射率曲线与 Cs_2Te 紫外阴极的光谱反射率曲线相比,形状相似. $K_2Te(Cs)$ 紫外阴极从长波到短波存在两个反射干涉加强峰,分别是1号峰和2号峰. Cs_2Te 紫外阴极从长波到短波也存在两个反射干涉加强峰,分别是3号峰和4号峰. $K_2Te(Cs)$ 紫外阴极的1号峰与 Cs_2Te 紫外阴极的3号峰相对应,为同一级次的干涉加强峰. 1

号峰的波长为 383 nm, 3号峰对应的波长为 397 nm, 两者相差 14 nm. $K_2Te(Cs)$ 紫外阴极的2号峰与 Cs_2Te 紫外阴极的4号峰相对应, 2号峰对应的波长为 309 nm, 而4号峰对应的波长为 318 nm, 两者相差 9 nm. 由此可见波长越短, $K_2Te(Cs)$ 紫外阴极和 Cs_2Te 紫外阴极同级干涉峰的波长差别越小, 波长越长, 差别越大.

图4中的两条光谱反射率曲线相似, 因此两条曲线上的对应1号峰和3号峰的同级干涉加强峰应满足方程

$$n_1 d = N \frac{1}{4} \lambda_1 \quad (2)$$

$$n_3 d = N \frac{1}{4} \lambda_3 \quad (3)$$

式中, n_1 为 $K_2Te(Cs)$ 紫外阴极对应1号干涉峰波长 λ_1 的折射率, d 为阴极膜层的厚度, N 为干涉峰的级次. 而 n_3 为 Cs_2Te 紫外阴极对应3号干涉峰波长 λ_3 的折射率, d 为阴极膜层的厚度, N 为干涉峰的级次. 由于图中的 $K_2Te(Cs)$ 紫外阴极和 Cs_2Te 紫外阴极的表面 Cs 层均很薄, 而蒸发 Te 源的时间和电流是一样的, 因此可以认为制作两种阴极时所蒸发的 Te 原子的数量是相同的. Te 原子的数量相同, 其所能结合的 K 原子或 Cs 原子数量也是相同的, 所以可近似认为两种阴极的膜层厚度一样. 由于 $K_2Te(Cs)$ 紫外阴极和 Cs_2Te 紫外阴极的膜层厚度 d 相同, 干涉的级次 N 相同, 所以两式相除得

$$\frac{n_1}{n_3} = \frac{\lambda_1}{\lambda_3} \quad (4)$$

将 λ_1 和 λ_3 的值代入式(1), 可以求得 $n_1 = 0.965n_3$. 同理可以求得 $n_2 = 0.972n_4$. 这说明 $K_2Te(Cs)$ 紫外阴极的折射率较 Cs_2Te 紫外阴极的折射率低. 由于 n_2 和 n_4 对应短波的折射率, n_1 和 n_3 对应长波的折射率, 因此其短波的折射率差别小于长波折射率的差别, 即波长越长, 折射率差别越大, 波长越短, 折射率差别越小.

根据费涅尔反射原理可知, 膜层的折射率越高, 反射率越高. $K_2Te(Cs)$ 阴极的折射率小于 Cs_2Te 阴极的折射率, 因此 $K_2Te(Cs)$ 阴极的反射率按理应该低于 Cs_2Te 阴极的反射率, 然而在 200~437 nm 的波长范围内, 实测 $K_2Te(Cs)$ 阴极的光谱反射率却高于 Cs_2Te 阴极的光谱反射率, 与费涅尔反射原理不一致. 原因是当测量阴极的光谱反射率时, 测量的是玻璃表面、阴极膜层与玻璃界面、阴极膜层与真空界面上光谱反射的一个总和, 见图3. 因此其光谱反射率不仅与阴极膜层的折射率有关, 还与膜层的消光系数, 即还与膜层的光吸收有关. 因为对于阴极膜层与真空界面所反射的光线而言, 要经过阴极膜层的吸收. 消光系数越大, 反射率越小, 因为 $K_2Te(Cs)$ 阴极的光谱反射率高于 Cs_2Te

阴极,而折射率又小于 Cs₂Te 阴极,由此可以推断出 K₂Te(Cs)阴极的消光系数小,而 Cs₂Te 阴极的消光系数大,即 Cs₂Te 阴极光谱反射率的原因是其光吸收较大。

K₂Te(Cs)阴极的光谱反射率在 200~437 nm 的波长范围内由于消光系数小,因此高于 Cs₂Te 阴极。然而 437~600 nm 的波长范围内,两种阴极的光谱反射率差别并不大,原因是两种阴极的膜层厚度均较薄,对光的吸收而言,当膜层厚度一定时,波长越长,吸收率越低,因此对于长波,消光系数对光谱反射率的影响就低于对短波的影响。所以在 437~600 nm 的长波范围内,两种阴极的光谱反射率差别小于 200~437 nm 波长范围内的差别,两种阴极的光谱反射率基本相同。

4 荧光特性分析

对光电发射过程而言,首先是阴极膜层吸收光子,之后是激发电子跃迁,最后是电子克服逸出功逸出阴极。因此光吸收好和电子跃迁几率高是阴极获得较高灵敏度的必要条件。光电发射与发光的区别在于光电发射时,跃迁电子要克服逸出功逸出阴极表面。而发光时,跃迁电子是从激发态回到基态,不需逸出阴极表面,因此通过测量光电阴极的发光谱就可以判断光电阴极电子跃迁的数量大小和能级的高低^[19]。利用荧光分光光度计测量了 Cs₂Te 紫外阴极样品和 K₂Te(Cs)紫外阴极样品的荧光谱,测量仪器为天津港东科技生产的 F-320 荧光分光光度计。测量时,激发光波长为 200 nm,扫描速度为 240 nm/min,激发狭缝为 10 nm,发射狭缝为 10 nm,光电倍增管高压为 400 V。荧光谱的测量范围为 250~350 nm。图 5 为在同样条件下所测得的 Cs₂Te 紫外阴极样品和 K₂Te(Cs)紫外阴极样品的荧光谱。从图中看出,在 250~350 nm 的波长范围内,K₂Te(Cs)紫外阴极的荧光谱均高于 Cs₂Te 紫外阴极的荧光谱。说明在 200 nm 波长的人射光激发条件下,K₂Te(Cs)紫外阴极的电子跃迁数量高于 Cs₂Te 紫外阴极的电子跃迁数量。由于两种阴极的逸出功基本

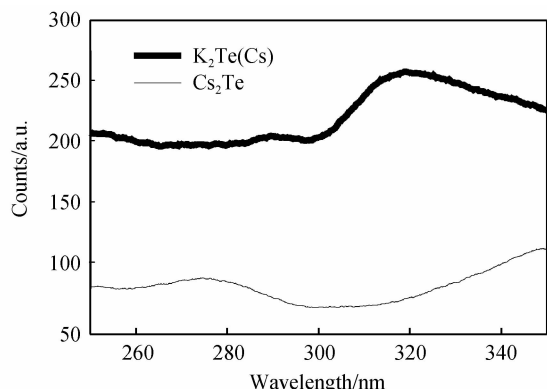


图 5 阴极膜层的荧光谱

Fig. 5 Fluorescence spectral of cathode layer

相同,因此电子跃迁的数量多是造成 K₂Te(Cs)紫外阴极阴极灵敏度高于 Cs₂Te 紫外阴极的主要原因。

另外根据光谱反射率的分析结果可知,K₂Te(Cs)阴极的光吸收率低于 Cs₂Te 阴极。而荧光的测量结果表明 K₂Te(Cs)阴极的荧光却强于 Cs₂Te 阴极。K₂Te(Cs)阴极的光吸收小,荧光反而强,说明对每一个光子所产生的跃迁电子数而言,K₂Te(Cs)阴极光子利用效率比 Cs₂Te 阴极高。

5 结论

K₂Te(Cs)紫外阴极的阴极灵敏度在现有工艺条件下高于 Cs₂Te 紫外阴极,其光谱响应的峰值波长为 250 nm 处。在 633 nm 处的光谱灵敏度为 10⁻⁵ mA · W⁻¹ 的数量级,短波日盲特性在现有工艺条件下差于 Cs₂Te 紫外阴极。对同样厚度的 K₂Te(Cs)紫外阴极和 Cs₂Te 紫外阴极来讲,在 200~600 nm 的波长范围内,K₂Te(Cs)紫外阴极的折射率低于 Cs₂Te 紫外阴极,同时消光系数也低于 Cs₂Te 紫外阴极。在 200 nm 波长激发条件下,250~350 nm 的波长范围内,K₂Te(Cs)紫外阴极的荧光谱高于 Cs₂Te 紫外阴极的荧光谱,这表明在同样入射光照射条件下,荧光谱越强,电子的跃迁数量越多,阴极灵敏度也越高。K₂Te(Cs)紫外阴极是一种性能良好的日盲紫外光电阴极,其制作工艺与 Cs₂Te 紫外阴极的制作工艺类似,因此也是日盲紫外探测成像器件光电阴极的选择之一。

参考文献

- [1] SHU Xian-jun, WANG Wu-jie, ZHAO Lan, *et al.* GaN-based visible-blind UV detector and its research progress[J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 2004, **21**(4): 406-410.
苏现军,王武杰,赵岚,等. GaN 基可见盲紫外探测器及其研究进展[J]. *量子电子学报*, 2004, **21**(4): 406-410.
- [2] LI Chang-dong, HAN Hui-ling. Development of solar-blind ultraviolet detectors based on wide bandgap semiconductors[J]. *OME Information*, 2009, **26**(4): 24-26.
李长栋,韩慧伶. 宽禁带半导体日盲紫外探测器研究进展[J]. *光机电信息*, 2009, **26**(4): 24-26.
- [3] LU Han-sheng, BAI Ting-zhu, ZHONG Sheng-dong, *et al.* Current status and analysis of ultraviolet alarm technology[J]. *Optical Technique*, 2000, **26**(4): 316-318.
芦汉生,白廷柱,钟生东,等. 紫外告警技术的现状与分析[J]. *光学技术*, 2000, **26**(4): 316-318.
- [4] XIE Feng, LU Hai, CHEN Dun-jun, *et al.* Ultra-low dark current algaln-based solar-blind metal-semiconductor-metal photodetectors for high-temperature applications[J]. *IEEE Sensors Journal*, 2012, **12**(6): 2086-2090.
- [5] LIU F J, HU Z F, ZHU L, *et al.* Solar-blind photoresistors based on Mg_{0.48}Zn_{0.52}O thin films grown on (-Al₂O₃) substrates by radio-frequency plasma-assisted molecular beam epitaxy[J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2012, **59**(7): 1970-1973.
- [6] LEE Ming-lun, YE Yu-hsiang, TU Shang-Ju. Solar-blind p-i-n photodetectors formed on SiO₂ patterned n-GaN templates[J]. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 2012, **48**(10): 1305-1309.

- [7] LIU F J, HU Z F, ZHU L, *et al.* Large-area solar-blind AlGa_N-based MSM photodetectors with ultra-low dark current [J]. *Electronics Letters*, 2011, **47**(6): 930-931.
- [8] ZHENG Qing-hong, HUANG Feng, HUANG Jin, *et al.* High-responsivity Mg_{0.48} Zn_{0.52} O solar-blind photodetector based on thin film[J]. *IEEE, Electron Device Letters*, 2012, **33**(7): 1033-1035.
- [9] GREEN J C, MORSE J A, ANDREWS J, *et al.* Performance of the cosmic origins spectrograph for the hubble space telescope [A]. *Ultraviolet Optical Space Astronomy Beyond HST*[C]. *ASP Conference Series*, 1999, **64**: 176.
- [10] CARBARY J F, DARLINGTON E H, HARRIS T J, *et al.* Ultraviolet and visible imaging and spectrographic imaging instrument[J]. *Applied Optics*, 1994, **33**(19): 4201.
- [11] WEI Yong-lin, ZHAO Bao-sheng, SAI Xiao-feng, *et al.* Development of cesium telluride UV cathode with high quantum efficiency and solar-blind characteristics[J]. *Chinese Journal of Vacuum Science and Technology*, 2012, **32**(7): 555-558.
韦永林, 赵宝生, 赛小峰, 等. 高量子效率碲化铯紫外日盲阴极研究[J]. *真空科学与技术*, 2012, **32**(7): 555-558.
- [12] TANG Guang-hua, DAI Li-ying, ZHONG Wei-jun, *et al.* Development of ultraviolet photocathode research [J]. *Vacuum Electronics*, 2011, **6**: 5-10.
唐光华, 戴丽英, 钟伟俊, 等. 紫外光电阴极研究进展[J]. *真空电子技术*, 2011, **6**: 5-10.
- [13] ZHONG Dong-sheng, ZHANG Xue-heng, YAN Ji-qing, *et al.* Process study on Cs-Te ultraviolet photocathode [J]. *Optical Technique*, 2000, **26**(4): 318-321.
钟生东, 张学恒, 闫吉庆, 等. 碲化铯紫外光电阴极的工艺研究[J]. *光学技术*, 2000, **26**(4): 318-321.
- [14] LI Hui-rui. A Study of vacuum ultraviolet microchannel plate photomultiplier tube[J]. *Chinese Journal of Vacuum Science and Technology*, 1999, **19**(5): 66-70.
李慧蕊. 真空紫外微通道板光电倍增管的研制[J]. *真空科学与技术*, 1999, **19**(5): 66-70.
- [15] LI Hui-rui, ZHAO Wen-jin, SHEN Tu-jun, *et al.* A study of vacuum ultraviolet microchannel plate photomultiplier tube [J]. *Chinese Journal of Vacuum Science and Technology*, 2004, **24**(1): 27-32.
李慧蕊, 赵文锦, 申屠军, 等. 多阳极微通道阵列(MAMA)探测器及其应用[J]. *真空科学与技术学报*, 2004, **24**(1): 27-32.
- [16] DAI Li-ying, LI Hui-rui, HUANG Min, *et al.* Development of ultraviolet multi anode (128 × 128) micro-channel array photomultiplier tube[J]. *Chinese Journal of Vacuum Science and Technology*, 2000, **20**(1): 42-46.
戴丽英, 李慧蕊, 黄敏, 等. 紫外多阳极(128 × 128)微通道阵列光电倍增管的研制[J]. *真空科学与技术*, 2000, **20**(1): 42-46.
- [17] YANG Jie. The application and development of uv detection technology[J]. 2011, **31**(4): 274-278.
杨杰. 紫外探测器技术的应用与进展, *光电子技术*, 2011, **31**(4): 274-278.
- [18] LI Jia, Pang Qi-chang, PENG Wen-da, *et al.* New type conductive substrate of gating image intensifier [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2001, **29**(9): 861-863.
李佳, 庞其昌, 彭文达, 等. 选通式像增强器的新型导电基底[J]. *光子学报*, 2001, **29**(9): 861-863.
- [19] ZHAO Fei-fei, ZHAO Bao-sheng, WEI Yong-lin, *et al.* Growth and properties of conductive substrates of ultraviolet photocathode with high resistance [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(4): 1211-1216.
赵菲菲, 赵宝升, 韦永林, 等. 高阻紫外光阴极导电基底制备及性能[J]. *光学学报*, 2010, **30**(4): 1211-1216.
- [20] BRAEM A, JORAM C, PIUZ F, *et al.* Technology of photocathode production [J]. *Nuclear Instruments and Methods*, 2003, **A502**(1): 205.
- [21] LI Xiao-feng, YANG Wen-bo, WANG Jun. Photoemission mechanism of multi-alkali photocathode by photoluminescence [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(12): 1435-1440.
李晓峰, 杨文波, 王俊. 用光致荧光研究多碱阴极光电发射机理[J]. *光子学报*, 2012, **41**(12): 1435-1440.