

GaAs 光电阴极稳定性的光谱响应测试与分析*

杜晓晴 宗志园 常本康

(南京理工大学 电子工程与光电技术学院, 南京 210094)

摘要 利用光谱响应测试仪对激活后的反射式 GaAs(Cs,O) 光电阴极进行了稳定性测试, 获得了阴极随时间变化的光谱响应曲线, 并表征了阴极在衰减过程中的性能参数变化. 结果表明: 积分灵敏度和峰值响应随着时间不断下降, 截止波长向短波推移, 表面逸出几率的下降是阴极衰减的直接原因. 不同波长下光谱响应的衰减速率并不相同, 波长越长, 衰减速率越大, 因此激活台内阴极在灵敏度衰减的同时长波响应能力也在不断下降.

关键词 GaAs 光电阴极; 光谱响应; 稳定性; 逸出几率; 扩散长度

中图分类号 TN214 **文献标识码** A

0 引言

GaAs(Cs,O) 负电子亲和势 (NEA) 光电阴极以其优越的性能在军事和航空航天等众多领域获得了广泛的应用^[1-3]. 为了使这项技术达到实用化, 仪器所用阴极需要连续工作 1000 h 而不需更换^[4]. GaAs(Cs,O) 光电阴极工作性能不稳定是阻碍三代阴极实用化的一大因素. 因此, 如何提高 GaAs(Cs,O) 光电阴极的稳定性, 延长阴极寿命成为引人关注的问题.

对 GaAs(Cs,O) 阴极稳定性研究大多数是通过测试其单色或白色光电流随时间的衰减而进行的, 这种测试只能粗略表征阴极性能, 不能反映出各个波长的衰减特性, 特别是对响应阈值波长的变化情

况^[5-7]. 本文利用自行研制的光谱响应测试仪^[8]对激活台内的光电阴极进行了稳定性光谱响应测试, 记录了随时间变化的光谱响应曲线.

1 实验

实验采用国内的反射式 GaAs 基片, P⁺ 型 GaAs (100), 掺杂元素为 Zn, 掺杂浓度 $\sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. 利用传统的“yo-yo”法^[8], 即多轮 Cs, O 交替激活, 在超高真空激活系统中进行了 GaAs NEA 光电阴极的激活.

实验中, 稳定性测试是在阴极激活位置原位进行的, 测试仪器为自行研制的动态光谱响应测试仪, 其原理方框图见图 1. 光谱响应测试仪采用直流稳压电源供电的 12V/120W 的卤钨灯作为光源, 辐射

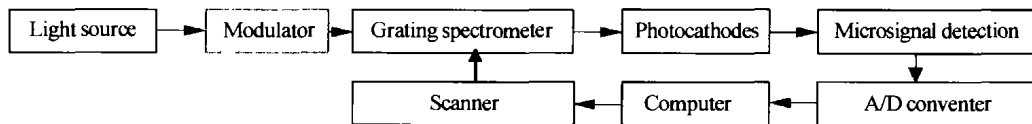


图 1 光谱响应测试原理方框图
Fig. 1 Principle diagram of spectral response measurement

波长范围 400 ~ 1000 nm. 经过调制器和光栅单色仪出来的单色光经过光纤传递, 由石英棒衰减后入射到阴极面上. 阴极产生的光电信号经过微弱信号检测和 A/D 转换被计算机采集. 通过扫描器带动单色仪, 不同波长的单色光入射到光电阴极, 从而获得光谱响应曲线. 为减少杂散光及其测试误差, 每次测试前通过一个灵敏度已知的二极管对测试仪的倍率进行了校正. 光谱响应测试在每一个小时后进行.

2 测试结果与分析

测试结果如图 2, 其中曲线 1 是激活结束时反射式 GaAs 光电阴极的光谱响应曲线, 曲线 2 和曲线 3 分别为激活结束 60 min 后和 120 min 后的测试

结果.

比较三条曲线, 在激活结束后的 60 min 内, 阴极的光电发射有了较大幅度的下降, 尤其是长波响应下降明显, 但 120 min 后, 阴极的短波响应也开始出现显著下降. 为了对三条光谱响应曲线变化有进一步显示, 计算了每条曲线的光谱响应特性参数和积分灵敏度, 见表 1. 可以看到, 在阴极衰减过程中, 起始波长和峰值位置没有发生变化, 但截

表 1 激活台内阴极随时间的性能参数变化

曲线	光谱响应特性				积分灵敏度/ ($\mu\text{A} \cdot \text{lm}^{-1}$)
	起始波长/nm	截止波长/nm	峰值响应/ ($\text{mA} \cdot \text{W}^{-1}$)	峰值位置/nm	
1	450	980	139	450	887
2	450	975	138	450	550
3	450	940	74	450	401

* 国防“十五”重点预研项目

Tel: 025-84315870 Email: recherry@163.net

收稿日期: 2003-07-21

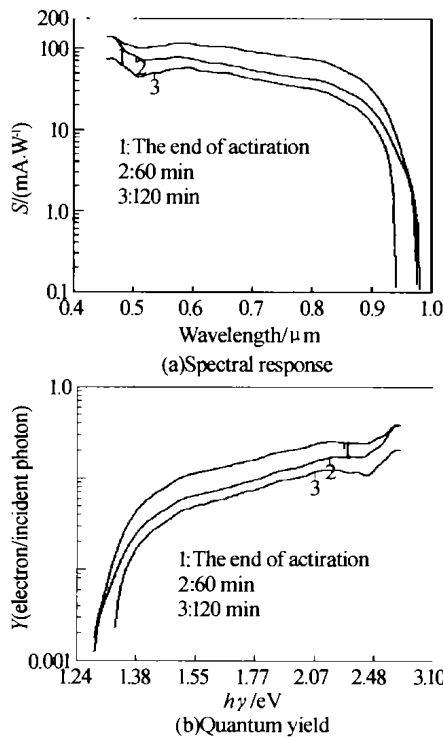


图2 阴极光谱响应和量子产额随时间的变化
Fig.2 Variation of spectral response and quantum yield curves of photocathode vs. time

止波长逐渐向短波方向移动,峰值响应和积分灵敏度在 120 min 后(对应第 3 条曲线)迅速降低.

为了进一步揭示造成阴极衰减的原因,利用反射式 NEA 光电阴极的量子产额的理论公式,对图 2 所示的实验曲线进行了最佳二乘法曲线拟合^[8],计算了阴极参量电子扩散长度及表面逸出几率. 反射式 NEA 光电阴极的量子产额如式(1)

$$Y_r = \frac{P(1-R)}{1+1/\alpha L_D} \quad (1)$$

式中 P 为阴极的表面逸出几率, R 为阴极表面的反射率, L_D 为阴极材料的电子扩散长度, α 为阴极材料的光谱吸收系数. 曲线拟合结果见表 2.

表2 曲线拟合结果

曲线	性能参数评估	
	扩散长度/ μm	表面逸出几率
1	0.23	0.6
2	0.22	0.42
3	0.21	0.33

从表2看到,实验所用阴极的扩散长度在 $\sim 0.23 \mu\text{m}$; 而表面逸出几率随时间在不断降低. GaAs 表面的能带弯曲和 GaAs - Cs, O 层决定了表面逸出几率, GaAs 表面能带弯曲主要由 GaAs 掺杂浓度决定,因此不会随时间变化. GaAs - Cs, O 层很可能是不稳定的,它引起了表面逸出几率的衰减.

进一步分析图 2 结果,可以看到阴极各个波长下的光谱响应随时间的衰减速率并不是线性的,靠近截止波长处的光谱响应衰减较快. 图 3 给出了从

起始波长到截止波长之间的光谱响应随时间的衰减曲线.

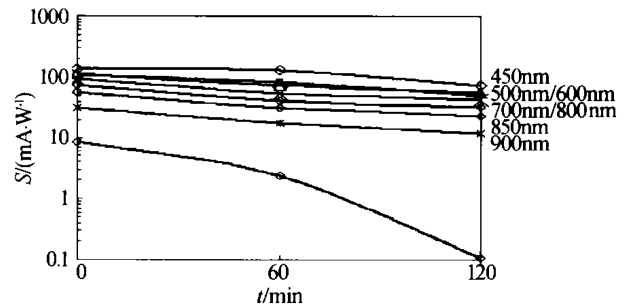


图3 不同波长下阴极的光谱响应随时间的衰减曲线
Fig.3 Decay curve of spectral response of photocathode with time at different wavelength

可以看到,阴极在各个波长下的光谱响应衰减具有一定的指数形式,随着波长向长波延伸,即入射光子能量逐渐减小,光谱响应的衰减速率也逐渐增大,900 nm 处光谱响应的衰减已经非常明显,而 940 nm 处的光谱响应在 120 min 后完全截止. 因此阴极各个响应波长的衰减速率并不一致,长波响应更容易受到影响.

3 结论

本文利用自行研制的光谱响应测试仪,对激活结束后的反射式 GaAs(Cs, O) 光电阴极进行了稳定性测试,记录了阴极光谱响应曲线随时间的变化情况,表征了阴极在衰减过程中多个性能参数的变化情况. 观测到在阴极衰减过程中,积分灵敏度和峰值响应都在不断下降,同时截止波长向短波推移. 通过性能参数分析可以认为表面逸出几率的下降是阴极衰减的直接原因. 实验同时比较了不同波长下的光谱响应随时间的衰减,结果显示光谱响应随时间的衰减呈指数形式,波长越长,衰减速率越大. 因此激活台内阴极在灵敏度衰减的同时长波响应能力也在不断下降.

参考文献

- 1 孙长印,张书明,马秀玲,等. GaAs 光电阴极片原子级表面清洁方法的研究及评价. 光子学报,1996,25(10):889~892
Sun C Y, Zhang S M, Ma X L, et al. Acta Photonica Sinica, 1996, 25(10):889~892
- 2 米侃,朱李安,赛小峰,等. 透射式 GaAs 光电阴极的 X 射线衍射研究. 光子学报,1998,27(1):85~88
Mi K, Zhu L A, Sai X F, et al. Acta Photonica Sinica, 1998, 27(1):85~88
- 3 米侃,张景文,赛小峰,等. 负电子亲和势 GaAs 光电阴极稳定性的研究. 光子学报,1998,27(2):106~109
Mi K, Zhang J W, Sai X F, et al. Acta Photonica Sinica, 1998, 27(2):106~109
- 4 Sen P, Pickard D S, Schneider J E, et al. Lifetime and

- reliability results for a negative electron affinity photocathode in a demountable vacuum system. *The Journal of Vacuum Science and Technology*, 1998, **B16**(6):3380 ~ 3384
- 5 Guo Tailiang, Gao Huairong. Photoemission stability of negative electron affinity GaAs photocathodes. *SPIE*, 1993, **1982**: 127 ~ 137
- 6 Guo Tailiang. The adsorption of Cs and O₂ on a clean GaAs (110) surface under light illumination. *Journal of Vacuum Science Technology*, 1989, **7**(3):1563 ~ 1567
- 7 闫金良,朱长纯,向世明. 透射式 GaAs(Cs,O) 光电阴极稳定性的研究. *红外与毫米波学报*, 2001, **20**(2):157 ~ 160
- Yan J L, Zhu C C, Xiang S M. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2001, **20**(2):157 ~ 160
- 8 常本康,房红兵,刘元震. 光电材料动态自动光谱测试仪的研究与应用. *真空科学与技术学报*, 1996, **16**(5):364 ~ 366
- Chang B K, Fang H B, Liu Y Z. *Vacuum Science and Technology*, 1996, **16**(5):364 ~ 366

Spectral Response Measurement and Analysis of Stability for GaAs Photocathode

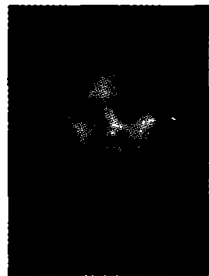
Du Xiaoqing, Zong Zhiyuan, Chang Benkang

Institute of Electronic Engineering and Optoelectronics Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094

Received date:2003-07-21

Abstract Spectral response measurement of stability for reflection-mode GaAs(Cs,O) photocathode has been carried by use of self-developing spectral response measurement instrument. Variations of spectral response curves of GaAs photocathode with time were obtained, and performance parameters of decayed photocathode were calculated. The results showed that integral sensitivity and peak response decreased with time, and threshold wavelength moved towards short wave, and decrease of surface escape probability directly is the direct cause of photocathode decay. The decrease rates of spectral response at different wavelength are different, spectral response at long wave behaves big decrease rate. It can be concluded that during sensitivity decrease long-wave spectral response ability also decrease.

Keywords GaAs photocathode; Spectral response; Stability; Escape probability; Diffusion length



Du Xiaoqing was born in 1978. She received her BS degree from Nanjing University of Science and Technology (NUST) in 2000. Since then she has been studying for her Ph. D. degree at NUST. Her research interests include physical electronics and photoelectronics.