

GaAs 光阴极激活稳定性研究

刘 晖^{1,2}, 冯 刘^{1,2}, 张连东^{1,2}, 程宏昌^{1,2}, 高 翔^{1,2}, 张晓辉^{1,2}

(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: 为了提高 Cs-O 激活后 GaAs 光阴极的稳定性, 延长像管的使用寿命, 从 Cs-O 激活方面着手进行研究, 寻找解决途径。改变 GaAs 光阴极激活中的 Cs 过量, 并在线监测真空环境下光电流的变化情况, 寻找激活对 GaAs 光阴极稳定性的影响因素。分别进行 3 组 5 种比例的激活实验, 在光电流下降至 Cs 峰值 90%、70%、50%、30% 和 10% 时给 O 进行交替激活。激活结束后, 在低于 1×10^{-8} Pa 的真空环境下在线监控 30 min 内的光电流, 发现过 Cs90%、70%、50% 激活的光阴极稳定性好, 过 Cs30% 次之, 过 Cs10% 相对最差。结果表明: GaAs 光阴极 Cs-O 激活时, Cs 量越多, 表面势垒的建构越完整, 光阴极的稳定性就越好, 对改善 GaAs 光阴极稳定性, 延长使用寿命具有重要意义。

关键词: GaAs 光阴极; 激活; 稳定性; 表面势垒

中图分类号: TN223 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2014)04-1222-04

Stability of GaAs photocathode activation

Liu Hui^{1,2}, Feng Liu^{1,2}, Zhang Liandong^{1,2}, Cheng Hongchang^{1,2}, Gao Xiang^{1,2}, Zhang Xiaohui^{1,2}

(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: In order to improve the stability of GaAs photocathodes after Cs-O activation and prolong the lifetime of image tubes, Cs-O activation was studied to find appropriate solutions. Combined changing the excess amount of Cs in activation with online monitoring of photocurrent in UHV, the factors influencing the stability of GaAs photocathode were investigated. Three groups of experiments were carried out, and same five kinds of Cs excess proportion were included in each group. After the photocurrent decreased to 90%, 70%, 50%, 30% and 10% of the Cs peak value, oxygen was introduced for alternate activation. It was found that the stability of photocathodes with Cs excess of 90%, 70% and 50% was better and the stability of 30% or 10% was worse by online monitoring of photocurrent during 30 min in UHV of less than 1×10^{-8} Pa. The results indicate that with more Cs amount in Cs-O activation the construction of surface barrier is more integrated and the stability of photocathode is better. These results are important for improving the stability of GaAs photocathodes and prolonging the lifetime of image tubes.

Key words: GaAs photocathode; activation; stability; surface barrier

收稿日期: 2013-08-10; 修订日期: 2013-09-25

基金项目: 微光夜视技术重点实验室基金(J20110103)

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工作。Email: liuhui_angel@163.com

0 引言

以负电子亲和势 GaAs 光阴极为核心的三代微光像增强器,与第二代微光像增强器相比,具有阴极灵敏度高、光电响应长波阈值长、视场分辨率高、观察效果好等优点,在远距离侦查、高能物理、夜航和卫星定位等方面获得了广泛的应用^[1-4]。在制备三代微光管的光阴极过程中,Cs-O 激活是形成所需负电子亲和势表面态的最后一道工序。传统的方法有 Cs、O 交替沉积、持续给 Cs 交替给 O 等方法,激活工艺及其稳定性已进行过大量相关研究^[5-8]。文中在持续给 Cs 交替给 O 的激活方法基础上,通过控制激活过程 Cs 沉积量,分别比对 3 组共 15 个光阴极激活后 30 min 内光电流的变化值,分析激活工艺对其稳定性的影响,并进行表面结构分析。

1 实验

实验在压强低于 1×10^{-8} Pa 的极高真空腔中进行,激活前对 GaAs 光阴极进行高温加热处理,清除光阴极表面的污染,获取原子级洁净表面。实验分为光阴极激活与光电流在线监测两部分。在持续给 Cs 交替给 O 的 GaAs 光阴极激活方法基础上,通过改变沉积的 Cs:O 比例,对比 3 组光阴极激活后在真空中 30 min 内光电流的变化值,分析激活对 GaAs 光阴极稳定性的影响。

激活过程监控示意图见图 1。

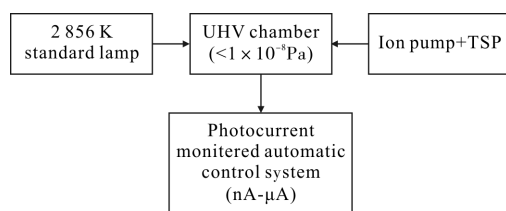


图 1 激活过程监控示意图

Fig.1 Scheme of GaAs photocathode activation processing

负电子亲和势 GaAs 光阴极的 Cs、O 激活必须满足如下几点原则:

(1) GaAs 光阴极激活前必须进行表面净化工作,去除表面的 C、O 污染,使 GaAs 光阴极拥有原子级洁净表面;

(2) GaAs 光阴极激活采用持续给 Cs 交替给 O 的激活方法。通过监控光电流的变化来调整 O 电流通断

时间,使每次交替周期的光电流变化曲线保持一致;

(3) 激活时真空度优于 1.0×10^{-8} Pa,这个真空度下表面形成单原子层的时间为 3 h 左右,GaAs 光阴极降温 and 激活总时间应小于 3 h。

根据以上原则,制定激活方案,通过改变 Cs:O 比例(具体为激活时光电流下降峰值 $x\%$ 比例时再给 O,光电流升至峰值时关 O,重复交替进行),让表面吸附不同比例的 Cs、O,对比实验结果,分析激活对 GaAs 光阴极稳定性的影响。

共进行 3 组实验,每组实验的光阴极均采用同一片 GaAs 外延片,激活前热处理工艺相同,激活时激活位置、光源、Cs 源、O 源电流不变。分别进行 5 种不同比例的激活实验,即在光电流下降峰值的 90%、70%、50%、30% 和 10% 开始给 O 进行 GaAs 光阴极激活实验。当光电流不再增长时,以峰值处关闭 Cs 结束。然后继续在线监测光电流值,连续采集结束后 30 min 的光电流数据,对比实验结果。

实验中 Cs-O 激活采用持续给 Cs 交替给 O 的制作方法,利用 YHS 21A 型光电流监控仪在线监测。激活的光电流监控曲线趋势图见图 2。

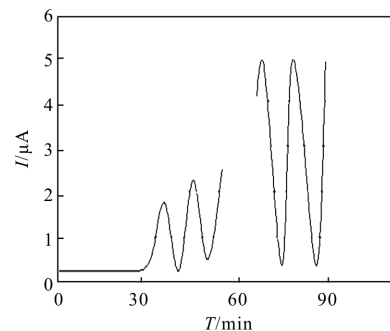


图 2 激活光电流曲线趋势图

Fig.2 Photocurrent trendline of GaAs photocathode activation processing

不同比例激活实验区别在于激活时光电流下降峰值 $x\%$ 比例时再给 O,光电流曲线下落的幅度不同。总体上还是一条波峰波谷交替出现的波浪线,直至峰值不再增加。

2 结果与讨论

依据 3 组实验光阴极激活结束后 30 min 内的光电流变化值数据,分别绘制 3 组光电流变化曲线,见图 3~图 5。

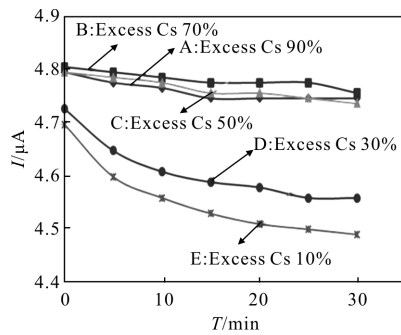


图 3 第 1 组激活结束后 30 min 内的光电流变化曲线
Fig.3 Photocurrent trendline after Cs-O activation 30 min
(First group)

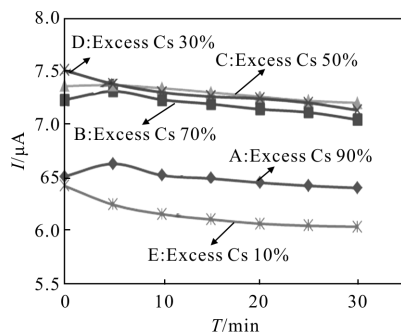


图 4 第 2 组激活结束后 30 min 内的光电流变化曲线
Fig.4 Photocurrent trendline after Cs-O activation 30 min
(Second group)

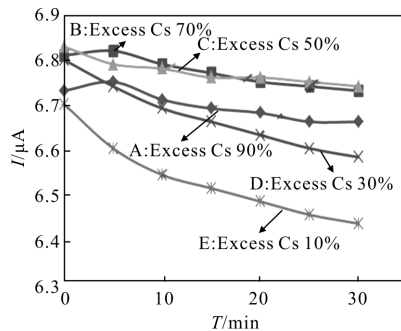


图 5 第 3 组激活结束后 30 min 内的光电流变化曲线
Fig.5 Photocurrent trendline after Cs-O activation 30 min
(Third group)

3 组实验 5 种比例激活的光阴极 30 min 时光电流与激活刚结束时光电流的变化值见表 1。

从以上的数据和曲线可以看出, 每组实验中不同 Cs:O 比例激活的阴极灵敏度相近。每组实验 GaAs 光阴极采用同一片 GaAs 外延片, 前期准备工作相同, 结果说明激活时 Cs:O 比例的变化对 GaAs 激活灵敏度结果影响不大, 但也有一定规律变化。每

表 1 3 组实验的光电流变化值

Tab.1 Photocurrent decrement ratio of three groups

| Group | Excess Cs 90% | Excess Cs 70% | Excess Cs 50% | Excess Cs 30% | Excess Cs 10% |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | -1.04% | -1.04% | -1.25% | -3.59% | -4.47% |
| 2 | -1.69% | -2.62% | -2.17% | -5.05% | -6.07% |
| 3 | -1.04% | -1.17% | -1.32% | -3.24% | -4.03% |

组实验中, 当用过 Cs 10% 比例激活时灵敏度相对最低, 说明激活时 Cs:O 比例小, 阴极灵敏度低。过 Cs 90% 比例激活的阴极灵敏度也不是每组实验中最高, 说明过量的 Cs 并没有促进阴极灵敏度的增长。从表 1 可知, 激活结束后, 继续维持真空度优于 1×10^{-8} Pa 的高真空环境, 过 Cs 90%、70%、50% 比例激活的光阴极稳定性好, 过 Cs 30% 次之, 过 Cs 10% 相对最差。实验结果表明, GaAs 光阴极 Cs-O 激活时, Cs 量越多, 相对阴极的灵敏度稳定性越好, 随时间变化光电流下降越少。但从实际工艺角度考虑, 既要确保灵敏度高, 还要考虑光阴极稳定性好, 激活时间短, 需要一个适当的 Cs:O 比例, 并不是 Cs 越多越好。

分析实验结果, 结合分子的扩散理论, 不难发现, 由于 Cs 原子的活泼性, 在 GaAs 表面形成由 $\text{GaAs}(\text{Zn})^{-}\text{Cs}^{+}$ 、 Cs_2O 、 GaAs-O-Cs 三种偶极子形成的偶极层时, 激活过程中, Cs 量超过一定比例时, 就可以在较短的时间内充分与 O、GaAs 形成稳定的偶极子, 所以在激活结束时, 光电流保持稳定状态。当 Cs 过量时, 多余的 Cs 以原子形式吸附在 GaAs 表面, Cs 原子层的增厚, 对光电子造成散射、吸附等阻碍作用, 造成光电流下降, 这也就是过 Cs 90% 为什么不是灵敏度最高的原因。但是过量的 Cs 在结束后 5 min 内有一个光电流上升的阶段, 这种现象应该是激活刚结束后, GaAs 光阴极表面偶极子层的形成还没有结束, 仍没达到相对稳定的动态平衡状态。过量的 Cs 原子仍然在与 O、GaAs 形成偶极子的形式, 降低表面势垒, 从而光电流增大。在 Cs 不充裕的情况下, 例如过 Cs 10% 情况, 会发生 Cs 原子重新扩散至真空, 造成偶极层形成不完全, 势垒宽度重新变大, 光电子表面逸出几率变小, 灵敏度下降现象。当激活结束时, GaAs 光阴极表面偶极子层的形成还没有结束, 仍没达到相对稳定的动态平衡状态, 此时因为没

有 Cs 原子的补充,部分偶极子还没有形成或者处在形成过程中还不稳定,活泼的 Cs 原子脱离 GaAs 表面,逸出至真空中。

3 结 论

通过实验分析 GaAs 光阴极激活对其稳定性的影响,结果表明,GaAs 光阴极 Cs-O 激活时,Cs 量越多,Cs:O 比例越大,相对阴极灵敏度的稳定性越好,随时间变化光电流下降越少,但过量的 Cs 又会因为原子形态的堆积降低光阴极的光电流,不利于获得高灵敏度的 GaAs 光阴极。Cs-O 激活过程合理控制 Cs:O 比例,在获得高灵敏度的同时,可以增强以 GaAs 为阴极的像增强器件的灵敏度稳定性,延长产品寿命。对微光像增强器件的制作具有一定指导意义。

参考文献:

- [1] Zhou Liwei. On figure of merit of low light level image intensifiers [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2004, 33(4): 331-337. (in Chinese)
周立伟.关于微光像增强器的品质因数[J]. 红外与激光工程, 2004, 33(4): 331-337.
- [2] Zhang Junju, Chang Benkang, Zhang Baohui, et al. Long-distance image fusion system for infrared and LLL/visible bands [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(1): 20-24. (in Chinese)
张俊举,常本康,张宝辉,等. 远距离红外与微光/可见光融合成像系统[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(1): 20-24.
- [3] Jin Jupeng, Liu Dan, Wang Jianxin, et al. 320×256 GaAs/AlGaAs long-wavelength quantum well infrared photodetector focal plane array [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(4): 833-837. (in Chinese)
金巨鹏,刘丹,王建新,等. 320×256GaAs/AlGaAs 长波红外量子阱焦平面探测器 [J]. 红外与激光工程, 2012, 41(4): 833-837.
- [4] Qiao Yanbin, Feng Shiwei, Ma Xiaoyu, et al. Thermal characteristic of GaAs-based laser diodes [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(11): 2134-2137. (in Chinese)
乔彦彬,冯士维,马晓宇,等. GaAs 基半导体激光器热特性 [J]. 红外与激光工程, 2011, 40(11): 2134-2137.
- [5] Guo Xiangyang, Chang Benkang, Qiao Jianliang, et al. Comparison of stability of GaN and GaAs photocathode [J]. *Infrared Technology*, 2010, 32(2): 117-120. (in Chinese)
郭向阳,常本康,乔建良,等. GaN 与 GaAs NEA 光电阴极稳定性的比较[J]. 红外技术, 2010, 32(2): 117-120.
- [6] Feng Liu, Liu Hui, Cheng Hongchang, et al. Influence of different Cs-to-O current ratios on sensitivity and stability of activating GaAs photocathodes [J]. *Journal of Applied Optics*, 2009, 30(4): 654-658. (in Chinese)
冯刘,刘晖,程宏昌,等. 不同 Cs、O 电流比激活对 GaAs 光阴极灵敏度和稳定性的影响 [J]. 应用光学, 2009, 30(4): 654-658.
- [7] Du Xiaoqing, Chang Benkang, Zou Jijun. Influence of Cs,O activation modes on GaAs photocathode [J]. *Journal of Vacuum Science and Technology(China)*, 2006, 26(1): 1-3, 7. (in Chinese)
杜晓晴,常本康,邹继军. Cs、O 激活方式对 GaAs 光阴极的影响[J]. 真空科学与技术学报, 2006, 26(1): 1-3, 7.
- [8] Guo Xiangyang, Chang Benkang, Wang Xiaohui, et al. Photoemission stability of negative electron affinity GaN photocathode [J]. *Acta Phys Sin*, 2011, 05: 751-757. (in Chinese)
郭向阳,常本康,王晓晖,等. 反射式负电子亲和势 GaN 光阴极的光电发射及稳定性研究 [J]. 物理学报, 2011, 05: 751-757.