

# 透射式 GaAs(Cs,O)光电阴极稳定性的研究\*

闫金良 朱长纯

(西安交通大学电信学院电子工程系, 陕西, 西安, 710049)

向世明

(西安应用光学研究所, 陕西, 西安, 710100)

**摘要** 研究了光照强度和残余气体对阴极稳定性的影响, 比较阴极在管壳内和激活室内的阴极稳定性, 用俄歇谱仪分析激活的 GaAs 光电阴极表面和灵敏度衰减到 0 时的 GaAs 光电阴极表面, 结果表明, 真空中有害残余气体与阴极表面的相互作用是引起阴极衰减的主要原因。

**关键词** 光电发射, 像增强器, 负电子亲和势, 残余气体, 稳定性。

## STABILITY OF TRANSMISSION MODE GaAs(Cs,O) PHOTOCATHODES\*

YAN Jin-Liang ZHU Chang-Chun

(Department of Electronic Engineering, School of Electronics and Information Engineering,  
Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi 710049, China)

XIANG Shi-Ming

(Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an, Shaanxi 710100, China)

**Abstract** The influence of illumination intensity and residual gases on the stability of negative electron affinity GaAs(Cs,O) photocathodes during operation was investigated in the present work. A comparison was made between the stability of photocathodes installed in activation chamber and tube body. Studies of the activated GaAs photocathode surface and the surface of GaAs photocathode with sensitivity decaying to zero were made using Auger electron spectroscopy. It was found that the degradation of GaAs photocathodes stems mainly from the interaction of harmful residual gases and photocathode surface.

**Key words** photoemission, image intensifier, negative electron affinity, residual gas, stability.

### 引言

负电子亲和势 (NEA) GaAs(Cs,O) 光电阴极具有比多碱阴极更优越的性能, 如在红外及近红外波长范围内比多碱阴极量子效率高, 光电子能量分布和角分布集中, 与夜天光谱曲线匹配, 长波阈可设计, 而且扩展潜力大等等<sup>[1]</sup>. 这些性能使得 GaAs(Cs,O) 阴极在航空航天和军事上的应用十分广泛. 但是 GaAs(Cs,O) 阴极的灵敏度随时间的衰减 (即阴极的稳定性) 是实用化过程中一个重要的技术难题. GaAs(Cs,O) 阴极稳定性的研究对研制长寿命

■ 代微光像增强器具有指导意义.

有关 GaAs(Cs,O) 阴极稳定性的研究已有报道. D. C. Rodway 等人<sup>[2]</sup>用 AES 对 GaAs(Cs,O) 激活层的原位研究表明, NEA 状态对 Cs,O 的比非常敏感, 与最佳值有 2% 的偏离就足以将光电发射降为 0. M. M. Yao<sup>[3]</sup>发现, GaAs 光电阴极的灵敏度损失后可以通过再次沉积 Cs 得到恢复. Tailiang Guo<sup>[4]</sup>用 Cs<sup>+</sup>和激活态 O<sub>2</sub> 激活 GaAs 阴极, 可以提高阴极的稳定性. 本文的目的是针对 ■ 代微光像增强器透射式 GaAs(Cs,O) 阴极灵敏度下降问题, 对工艺过程的质量进行研究, 分析影响因素, 并改进工

\* 国防科技重点基金 (2. 2. 3. 1) 和中国博士后科学基金 (中博基 [1999]17 号) 资助项目  
稿件收到日期 2000-05-30, 修改稿收到日期 2000-12-25

\* The project supported by the Fund of National Defense Technology (No. 2. 2. 3. 1) and by the Postdoctoral Science Foundation of China (No. [1999]17).

Received 2000-05-30, revised 2000-12-25

艺解决阴极不稳定问题。

## 1 实验

实验采用P<sup>+</sup>型GaAs单晶衬底和透射式GaAs阴极组件,即GaAs/GaAlAs/(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>)/玻璃结构<sup>[1]</sup>。P<sup>+</sup>型GaAs(100)衬底掺杂剂Zn,掺杂浓度为 $7 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ;透射式GaAs阴极组件发射层GaAs(100)是P<sup>+</sup>型掺杂,掺杂剂为Zn,掺杂浓度为 $7 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ,厚度为2 $\mu\text{m}$ ;阴极组件的钝化层Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.4</sub>As是P型掺杂,掺杂浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ,厚度为1.5 $\mu\text{m}$ 。样品在激活前,先在高纯N<sub>2</sub>气氛中进行除油和化学清洗,在真空状态下以650℃高温热清洁10min,然后自然降温到室温,温度测量用红外光学高温计。

样品激活用多轮的Cs<sub>2</sub>O交替激活,即YO—YO激活<sup>[6]</sup>,激活使用的铯源为锆铝合金粉还原铬酸铯的分子源,氧源采用高纯氧(99.9%),通过微漏阀导入激活系统。阴极灵敏度测量用的光源灯泡为30W(5A,6V)白炽灯,色温为2854K,光强度用进口的光学照度计校准,对 $\phi 18\text{mm}$ 光斑,光通量为0.05lm。在激活台内先用P<sup>-</sup>重掺杂GaAs衬底片检测激活工艺对稳定性的影响,在阴极激活稳定条件下改用透射式GaAs阴极组件进行激活。

用进口的全无油极限真空 $2 \times 10^{-9} \text{Pa}$ 的超高真空系统研究了光照强弱和残余气体对透射式GaAs(Cs<sub>2</sub>O)阴极稳定性影响,在钢封装的Ⅱ代微光像增强器样品管中测试了透射式GaAs(Cs<sub>2</sub>O)阴极灵敏度随时间的衰减,用Auger电子能谱仪分析解剖了Ⅱ代微光像增强器样品管中的GaAs(Cs<sub>2</sub>O)阴极表面和微通道板输入面。

## 2 测试结果与分析

### 2.1 光照强度对阴极稳定性的影响

为了解决阴极灵敏度下降问题,我们对激活工艺进行各种实验,寻求出最佳工艺条件,确保激活后阴极灵敏度不下降。图1(a)是阴极随光照强弱的变化曲线。从图1(a)中可清楚看到,光强度对阴极灵敏度的影响十分明显,所以Ⅲ代管使用中必须考虑光强度对阴极的影响,不允许阴极在强光照下工作。图1(b)是阴极激活Cs<sub>2</sub>O过量阴极灵敏度随光照强度变化曲线,同图1(a)相比较,强光下Cs<sub>2</sub>O过量阴极灵敏度下降速率要缓慢的多,但弱光下的变化不大,这说明激活过程中Cs<sub>2</sub>O量过多或过低都会影响阴极灵敏度。

Cs在GaAs表面的吸附状态存在着高能和低能不同的键和状态<sup>[7]</sup>,当Cs在GaAs表面的覆盖率达到半个原子层时,Cs在GaAs表面形成一个偶极子阵列,此阵列降低表面逸出功到最低。随着光照增强,Cs在GaAs表面的解吸增强,表面逸出功增大;而温度的升高,增加了激活层对电子的散射。这两者都不利于电子的逸出。当Cs覆盖率大于半个原子层时,由于表面偶极子增多,偶极子间相互排斥力增加,导致偶极子发生退极化,于是表面逸出功增加。随着光照延续,Cs在GaAs表面脱附,逸出功经历了大→小→大的转化过程。温度的升高,增加了激活层对电子的散射。因此灵敏度出现图1(b)所示曲线。

### 2.2 残余气体对阴极稳定性影响

超高真空系统中的残余气体也是影响阴极稳定性的主要原因。图2是系统本底压强 $10^{-9} \text{Pa}$ 下残气

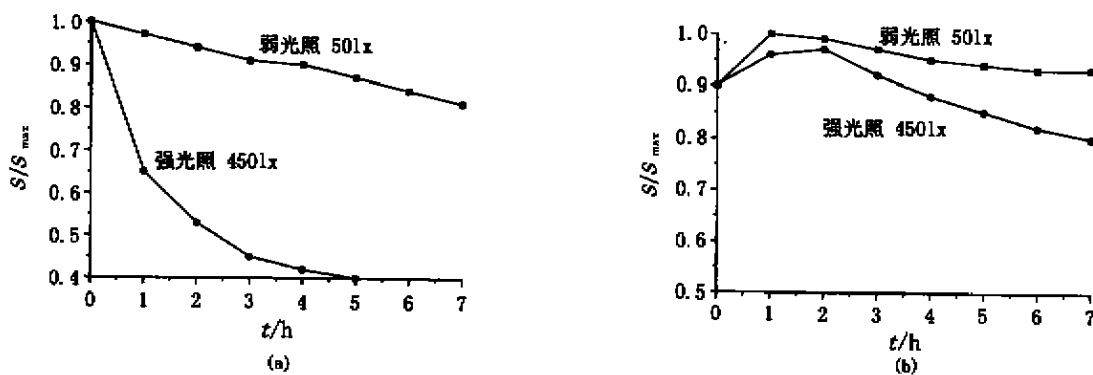


图1 阴极灵敏度随光照强弱的变化

(a) 正常 (b) 铯过量

Fig. 1 Variation of cathode photosensitivity and illumination intensity

(a) normal (b) excess Cs

分压分别对阴极灵敏度稳定性的影响。H<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub> 影响最小,CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 影响最大。H<sub>2</sub>O 在阴极表面分解出 OH 并与 Cs 结合形成 CsOH,CO<sub>2</sub> 在 GaAs 表面形成 CO<sub>2</sub>-Cs 复合物。这些将导致阴极表面 Cs,O 的比例偏离最佳值,从而使阴极灵敏度下降。提高阴极稳定性的最根本方法应该是在提高系统的本底真空度的基础上,进一步减少残余气体 H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub> 和 CO 的分压强。保证工艺质量是确保阴极长寿命的关键因素。

2.3 管壳中阴极稳定性

为了验证管壳内阴极灵敏度下降与激活工艺的关系,将透射式 GaAs(Cs,O) 阴极钼封装到管壳中,经稳定性实验,结果如图 3 所示。在管壳洁净和无微通道板(MCP)情况下,荧光屏管壳内的阴极稳定性与激活室内的阴极稳定性差别不大,在管壳洁净和有 MCP 情况下,样品管内的阴极稳定性与激活室内的阴极稳定性差别较大。这说明钼封装到管壳中的 MCP 对阴极灵敏度稳定性影响非常大。图 4 和

图 5 分别示出了解剖的样品管内阴极表面和 MCP 输入面的 Auger 谱。可以看到,灵敏度衰减到 0 时的 GaAs 光电阴极表面遭受到碳的污染,MCP 输入面吸附了额外的 Cs。

在实际像增强器中,由于真空工艺的限制和气体分子吸附作用,必然在像管内有残余的气体分子,这些气体分子在 MCP 的输出端附近受到密集的二次电子碰撞而解吸或电离。解吸的有害残余气体与阴极表面相互作用引起阴极衰减;电离的正离子在通道内电场的作用下轰击光电阴极,破坏 GaAs(Cs,O) 阴极表面态,降低光电阴极的高光电发射灵敏度;另外,MCP 是吸附元件,特别是在近贴的情况下,MCP 把 Cs 从 GaAs(Cs,O) 阴极吸到 MCP 板上,就会使阴极灵敏度下降。如果在 MCP 输入端制备一层 4nm 厚 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 或 SiO<sub>2</sub> 膜(称电子透射膜),此膜阻止了产生于 MCP 通道末端或后近贴区 MCP 输出端附近的离子轰击阴极<sup>[8]</sup>。实验上已证明,电子透射膜隔离 II 代微光像增强器成二个真空

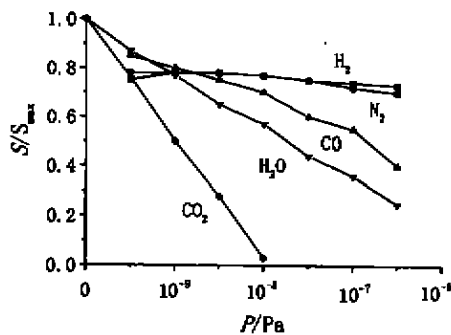


图 2 不同残余气体对阴极稳定性的影响  
Fig. 2 Influence of residual gases on the stability of GaAs(Cs,O) photocathodes

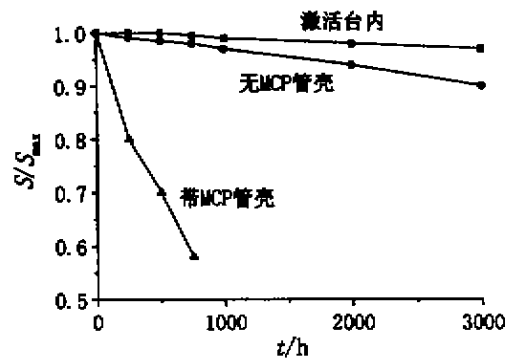


图 3 管壳内阴极稳定性实验  
Fig. 3 Stability of GaAs(Cs,O) photocathodes in tube body

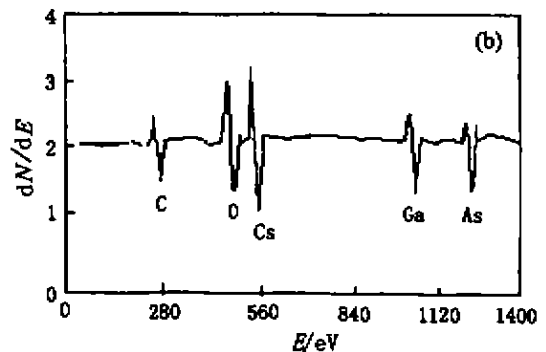
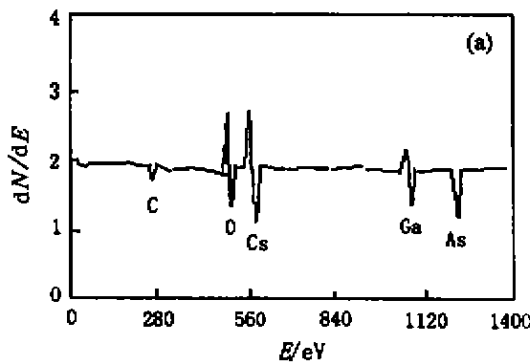


图 4 GaAs(Cs,O) 光电阴极表面 Auger 谱  
(a) 激活的 GaAs 阴极 (b) 灵敏度衰减到 0 时的 GaAs 阴极  
Fig. 4 Auger spectrums of the activated GaAs(Cs,O) photocathode surface (a) and the surface of GaAs(Cs,O) photocathode with sensitivity decaying to zero (b)

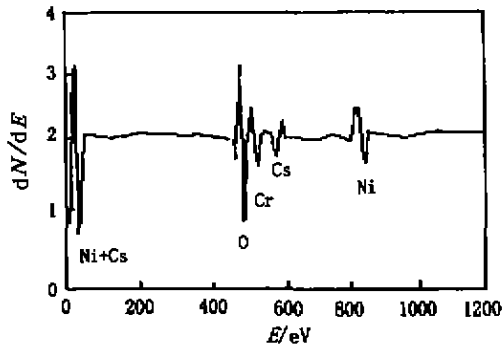


图5 微通道板输入面的 Auger 谱  
Fig. 5 Auger spectrum of the microchannel plate entrance face

室: 阴极与 MCP 入口一侧为一个真空室, MCP 出口一侧与荧光屏为一真空室. 在管子封成之后, 如 MCP 继续释放气体, 此气体就被阻隔在荧光屏一侧的真空室内, 不能危害 GaAs(Cs, O) 阴极所必须的超高真空状态.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  电子透射膜阻止了 MCP 对 GaAs(Cs, O) 阴极表面 Cs 的吸附. 因此, MCP 电子透射膜是决定 II 代微光像增强器 GaAs(Cs, O) 阴极稳定性和可靠性的主要因素.

### 3 结语

透射式 GaAs(Cs, O) 光电阴极避免在强光下工作, 阴极激活的最后过量供 Cs 能提高阴极的稳定性; 阴极表面 Cs 的脱附和残余气体对阴极表面的毒化导致阴极灵敏度极大的下降; 阴极的稳定性不但与真空系统的本底压强有关, 还与有害残余气体

含量有关, 而且有害残余气体的含量影响更大; II 代微光像增强器工作时 MCP 释放出的残余气体与阴极表面的相互作用、电离的残余气体对阴极的轰击和 MCP 对阴极表面 Cs 的吸附影响管内阴极稳定性. MCP 输入端的电子透射膜是决定 II 代微光像增强器稳定性和可靠性的主要因素.

### REFERENCES

- [1] Allen G A. Calculations on the performance of GaAs photocathodes, *Acta Electronica*, 1973, **16**(3): 229—236
- [2] Rodway D C, Allenson M B. *In situ* surface study of the activating layer on GaAs(Cs, O) photocathodes, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1986, **19**(7): 1353—1371
- [3] Yao M M. The state of Cs on negative electron affinity surfaces, *Applied Surface Science*, 1988, **33/34**: 364
- [4] GUO Tai-Liang, GAO Huai-Rong. Photoemission stability of negative electron affinity GaAs photocathodes, *SPIE*, 1993, **1982**: 127—131
- [5] YAN Jin-Liang, XIANG Shi-Ming. Studies of glass-bonded GaAs transmission photocathode by double crystal x-ray diffraction, *Chinese Journal of Semiconductors* (闫金良, 向世明. 透射式 GaAs 阴极粘贴工艺的 x 射线双晶衍射研究, *半导体学报*), 1998, **19**(9): 678
- [6] Naoi Y, Ito K, Uehara Y, *et al.* Very high resolution photoelectron spectra of NEA GaAs, *Surface Science*, 1993, **283**(1/2): 457—461
- [7] Bernard Goldstein, Daniel Szostak. Different bonding states of Cs and O on highly photoemissive GaAs by flashdesorption experiments, *Applied Physics Letters*, 1975, **26**(3): 111—112
- [8] Richard J C, Roaux E. Low light level imaging tube with GaAs photocathode, *Vacuum*, 1980, **30**(11/12): 549—550