

高稳定长寿命反射式 GaAs(Cs, F) 光阴极*

谈 凯 声

(中国科学院电子学研究所)

提 要

一个稳定的光阴极表面层是获得一个稳定的长寿命光阴极的必不可少的条件。由于反射式 GaAs(Cs, F) 光阴极用氟代替氧进行表面激活, 氟的强烈的电负性使得表面层的稳定性得到改善。反射式 GaAs(Cs, F) 光阴极的寿命达到 8500 小时。除此之外, 它的工艺重复性和抗污染能力也比 GaAs(Cs, O₂) 光阴极的好。

一、引 言

负电子亲和势 III-V 族化合物光阴极的工作不稳定和寿命短仍然是实际应用中的一个严重问题。

沙斯 (Schase) 等人^[1]和克雷塞尔 (Kressel) 等人^[2]认为 GaAs(Cs, O₂) 光阴极的量子效率快速衰减的一个主要因素是阳极表面上吸附的杂质在光电子轰击下释放出来, 并被发射表面吸附。因此, 如果把阳极的工作电压降低到 15V 左右, 或者利用磁场偏转作用, 防止阳极释放出来的杂质沉积到发射表面上去, 就可以改善 GaAs(Cs, O₂) 光阴极的稳定性。但 H. Kan 等人^[3,4]通过实验否定了上述论点。他们曾经采用 Cs-Sb-O₂ 和 Cs-Ag-O₂ 两组材料分别激活 GaP-GaAlP 基底。由这两组材料激活的光阴极在阳极工作电压高达 90V 的工作条件下, 仍能分别获得三千小时和六千小时的工作寿命。

加温 (Garwin)^[5] 等人在分析他们研制的强电流 GaAs(Cs, O₂) 光阴极的几种失败模型时也得出与 H. Kan 等人相同的结论, 即吸附在 GaAs 基底上的激活材料 Cs 和 O₂, 在阴极工作过程中的脱附作用使得激活表面难以维持稳定状态。

众所周知, 阴极本身是一种热阻材料。在超高真空下工作的过程中, 它的温度将逐渐上升到 30°C—60°C^[3]。这样一来, 在光阴极和其周围环境之间出现了一个温度差, 促使光阴极表面上的 Cs 和 O₂ 脱附, 破坏了表面层的组成和结构, 从而导致光阴极发射下降。根据这个论点, 当光阴极的发射出现衰减时, 适当地补充发射表面上损失的 Cs 和 O₂, 光阴极的发射能力可以得到恢复。实验证明这种补充手段是行之有效的^[5]。上述现象充分说明了光阴极发射稳定性的本质不是体效应而是表面效应。

根据上面的叙述, 我们可以推断: 获得一个稳定的长寿命 III-V 族化合物负电子亲和势光阴极的必要条件是在阴极的表面维持一个稳定的吸附层。换言之, 如果我们能够

* 1985年3月27日收到, 1985年4月25日修改定稿。

选用一种激活材料,它既能降低 III-V 族化合物基底的表面势垒形成负电子亲和势表面,又能在基底表面上形成一层热稳定性良好的表面层,那末,我们就能获得一个稳定性好,寿命长的光阴极。

埃文斯 (Evans) 等人^[6] 在研究场致发射时发现 Cs/F/W 发射体具有良好的热稳定性。钨的表面吸附了一层 Cs, F 表面层之后,它的电子逸出功可以下降到 1.0eV,直到工作温度高达 530K 时仍稳定。其后加布 (Garbe)^[7] 报道了一种 GaAs(CsF, Cs) 光阴极。制备这种光阴极是先把装在直径为 1mm 上面有三个直径为 0.3mm 小孔的套筒内的 CsF 化合物蒸发到 GaAs 表面上,然后再在上面覆盖一个单原子层 Cs。这种表面层可把逸出功降低到 1eV。它的热稳定性要比 GaAs(Cs, O₂) 光阴极的好。

本文报道的是一种分别用 Cs 和 F 作为表面激活材料, GaAs 为基底的反射式负电子亲和和势光阴极。由于 Cs 和 F 组成的表面层的热稳定性良好,而且组成表面层的 Cs 和 F 的比例在工艺过程中可以灵活搭配,因此可以获得满意的表面结构。GaAs(Cs, F) 光阴极的寿命达到了 8500 小时。

二、实验装置

反射式 GaAs(Cs, F) 光阴极的激活系统如图 1 所示。p-GaAs 基底采用的是价格低廉的体单晶,而不是价格昂贵的外延片,其掺锌浓度在 6×10^{18} 到 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 之间,晶面

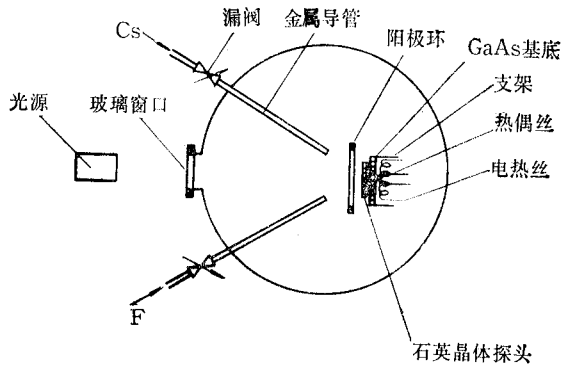


图 1 反射式 GaAs(Cs, F) 光阴极激活系统的示意图

为[100]。GaAs 基底经常规化学清洗后^[8],立即固定在装有电热丝和热偶丝的支架上,迅速送入激活系统,进行抽气。基底的真空热清净由装在其背部的电热丝进行原位加热。在超高真空中,最高加热温度为 660℃,保温约一分钟,然后,在 570℃ 烘烤 2h, 520℃ 烘烤 22h。位于 GaAs 背面的热偶丝必须紧贴在基底上面,否则所测量的温度误差将会很大。如果 GaAs 基底的加热温度过高,As 先被蒸发,将在基底的表面上留下一层 Ga₂O₃^[5]。这层氧化物将阻碍光电子发射。反之,温度过低表面得不到彻底清净,也不可能获得理想的光电发射表面。所使用的碱金属 Cs 源是分子束源。在 Cs 源和系统之间有一个漏阀,用来控制 Cs 的流量。Cs 源的工作温度在 105℃ 左右。碱金属 Cs 通过一个金属导管直接喷射到 GaAs 基底上去。它的喷射速度由 Cs 源的加热温度和漏阀的漏孔大小来控制。位

于基底正前方的一块石英晶体是石英振荡频率测厚仪的探头,在激活工艺开始之前,监测碱金属 Cs 的喷射速率。在 Cs 的喷射速率被调节到预定值后,移去石英晶体探头,即可准备激活。氟源同样由一个漏阀控制流量,通过一根金属导管直接喷射到基底上去,氟量的大小则由真空计监测。

激活系统由吸附泵、升华泵、离子泵组成的超高真空系统抽气。在 GaAs 基底烘烤完毕,降至室温后,整个系统的真空度在 2×10^{-10} mmHg 以上。

激活工艺在室温下进行,方法与一般文献上介绍的基本相同。Cs 和 F 激活交替进行,直到光阴极的积分灵敏度达最大值,并趋于稳定为止。在整个激活过程中,需经常测量红光和白光光电灵敏度的比值。

三、GaAs(Cs, F) 光阴极的特点

我们曾在同一系统中,用同一种 GaAs 基底。同样的激活工艺,分别用 (Cs, F) 和 (Cs, O₂) 进行激活。相比之下, GaAs(Cs, F) 光阴极的寿命大大地超过 GaAs(Cs, O₂), 达到 8500 小时, 而 GaAs(Cs, O₂) 光阴极的寿命不足 1000 小时。

除此之外,我们发现 GaAs(Cs, F) 光阴极还有下述两个特点。

(1) 在 GaAs(Cs, O₂) 光阴极的激活过程中,不论是引 Cs, 引 O₂ 还是 Cs, O₂ 交替,光电流变化非常迅速灵敏、工艺过程不易控制。而在 GaAs(Cs, F) 光阴极激活时,光电流变化比较平缓,容易控制,因此,工艺重复性较好。

(2) GaAs(Cs, F) 光阴极,不仅热稳定性能好,工作寿命长,而且抗污染的能力也强。我们曾做过一些对比试验,例如,在光阴极激活完毕后,把 CO、CO₂、CH₄ 等有害气体分别输入激活系统观察它们对 GaAs(Cs, F) 和 GaAs(Cs, O₂) 光阴极的危害。结果表明, GaAs(Cs, F) 光阴极抗污染的能力比 GaAs(Cs, O₂) 光阴极强得多。图 2 示出的两组曲线仅是一例。图 2(a) 表明 GaAs(Cs, F) 光阴极在 CO 气氛中长达七个小时左右,它的光电发射相对灵敏度损失幅度不大。CO 被抽走后,它的光电流相对灵敏度很快地回升。但是在 CO 的气氛中, GaAs(Cs, O₂) 光阴极的光电发射相对灵敏度,在不到二十分钟的时间内就有较大幅度的下降,可见, GaAs(Cs, F) 光阴极有良好的抗污染性能,能够在比

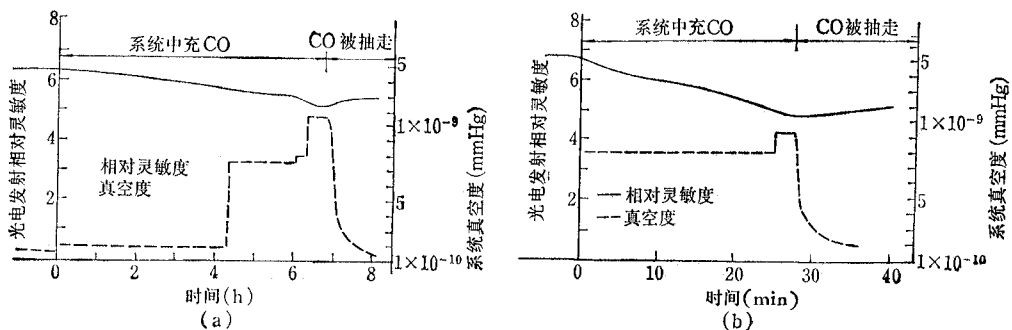


图 2 在 CO 气氛中光电发射相对灵敏度的变化曲线
(a) 反射式 GaAs(Cs, F) 光阴极; (b) 反射式 GaAs(Cs, O₂) 光阴极

较差的环境中工作。

四、结 论

制备一个高稳定、长寿命光阴极的一个必不可少的条件是在发射表面上维持一个稳定的活性层。实验证明 GaAs(Cs, F) 比 GaAs(Cs, O₂) 稳定。尽管我们对于用 Cs 和 F 激活的光阴极的表面状态还不清楚,但是,根据门捷列夫化学周期表,我们知道,氟是一种电负性最强的元素,迄今所知氟的化合物都是比较稳定的。而铯又是电正性最强的元素。无疑,氟、铯化合物要比氧铯化合物稳定。由此,我们可以推断,由氟铯构成的光阴极的活性面要比氧铯构成的稳定。实验证明,确实 GaAs(Cs, F) 光阴极与 GaAs(Cs, O₂) 光阴极相比,寿命长,抗污染能力强。

本工作是在美国斯坦福大学直线加速器中心完成的。在工作中得到辛克莱(C. K. Sinclair)博士的指导和协助。在完成本文的过程中,作者曾和陶兆民和杨连贵两位先生进行过有益的讨论。在此谨表谢意。

参 考 文 献

- [1] H. Schade, H. Nelson and H. Kressel, *Appl. Phys. Lett.*, 20(1972), 385.
- [2] H. Kressel, H. Schade and H. Nelson, *J. Lumin.*, 7(1973), 146.
- [3] Hirofumi Kan, et al., *Appl. Phys. Lett.*, 9(1979), 545.
- [4] Hirofumi Kan, et al., *J. Appl. Phys.*, 6(1980), 3404.
- [5] E. L. Garwin, et al., "Oxide effects on photoemission from high current GaAs photocathodes". SLAC-Pub. 2715, March 1981.
- [6] B. E. Evans, et al., *Surface Sci.*, 11(1968), 1.
- [7] S. Garde, *Phys. Stat. Sol. (A)*, 2(1970), 497.
- [8] I. Shita, et al., *J. Electrochem. Soc.*, 124(1977), 155.

A HIGH STABLE LONG LIFE-SPAN REFLECTIVE GaAs(Cs, F) PHOTOCATHODE

Tan Kaisheng

(Institute of Electronics, Academia Sinica)

A Stable surface layer is essential for a high stable long life-span photocathode. Using fluorine instead of oxygen in activating the surface of GaAs substrate, the strong electronegativity of fluorine improved the stability of photocathode. The life-span of reflective GaAs (Cs, F) photocathode has been up to 8500 hours. Furthermore, its technological reproducibility and anti-contamination ability are better than those of GaAs(Cs, O₂) photocathode.