



砷化镓光电发射的初步研究*

孙密文¹⁾

(吉林大学物理系)

一、前言

最近, III-V 族化合物作为光电发射体引起人们的重视。早在 1965 年, 舍尔 (J. J. Scheer) 和拉尔 (J. Van. Laar)^[1] 发表了一种 GaAs-Cs 新型光电发射材料, 在超高真空中劈裂一块 p 型重掺 GaAs 单晶并进行铯化处理, 其灵敏度达到 500 微安/流明。在詹姆士 (L. W. James)^[2] 等人的实验中, 另加了氧铯层, 结果比单独用铯所得的效率高。上述实验证明 p 型 GaAs-Cs 和 GaAs-Cs₂O 是一种非常好的光电发射体。然而均是在超高真空中进行操作, 这给制备实用的光电阴极带来一定的困难。

如果能在高真空条件下不采用劈裂方法, 而是通过不同的处理技术, 使这类光电阴极获得较高的量子产额, 将有着十分重要的现实意义。

本文主要叙述在高真空条件下 GaAs-Cs₂O 光电发射特性的一般原理, 实验装置, 操作方法和初步实验结果, 但许多问题还有待于进一步地研究。

二、GaAs-Cs₂O 光电阴极发射机理概述

目前出现的 III-V 族化合物半导体光电阴极, 在增加量子产额和长波响应方面均大大胜过传统的光电阴极。GaAs-Cs₂O 光电阴极就是其中的一种。关于 III-V 族化合物光电发射体的原理在几篇文章里已作了专门的评述^[3,4]。本文用大大简化的形式对它的发射机理作一扼要介绍, 并与传统光电阴极加以比较, 以此说明这种阴极的灵敏度比传统阴极的灵敏度高。本文中的第三部分将用实验加以证实。

半导体光电阴极的发射机理可以用它的能带图来说明。图 1 (a) 和 (b) 分别绘出了正电子亲和势和负电子亲和势光电阴极的能带示意图。

图 1 (a) 为正电子亲和势的能带示意图, 传统光电

阴极大部分属于这一类。价带电子受光激发, 跃迁到导带, 只有那些能量大于 $(E_g + E_a)$ 的电子 (B'), 才能克服表面位垒, 再逸到真空。而能量小于 $(E_g + E_a)$ 的电子 (A') 则不能逸出。

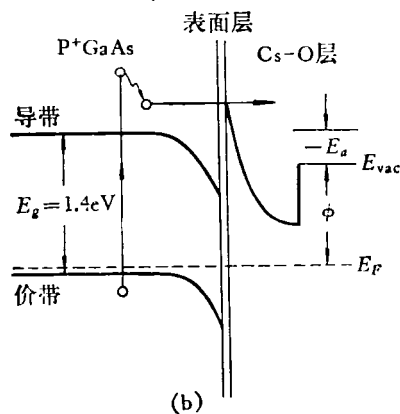
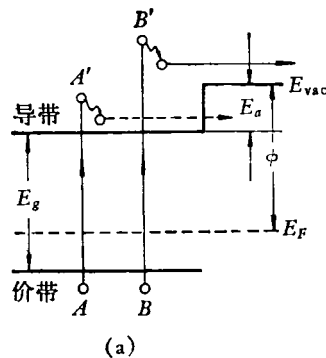


图 1 光电阴极的能带示意图

- (a) 正电子亲和势光电阴极;
 (b) 负电子亲和势光电阴极 ($p^+GaAs-Cs-O$).
 E_{vac} ——真空能级; E_a ——电子亲和势;
 E_g ——带隙能量; E_F ——费米能级;
 ϕ ——功函数

* 1974 年 7 月 12 日收到。

1) 孙密文同志系吉林大学物理系光学试办班一九七〇届毕业的工农兵学员, 现在留校工作。

图 1 (b) 为 GaAs-Cs₂O 光电阴极的简化能带图(其中一些具体数据可参看文献 [5]), 是用铯和氧覆盖在 p⁺ 型重掺杂 GaAs 单晶表面, 这就使真空能级降低到体材料导带底部的下面, 形成负的电子亲和势。能带表面状态的弯曲引起费米能级趋近价带顶部。很明显, 在这种负电子亲和势阴极中, 价带的电子被激发到导带后, 由于没有表面位垒的阻挡, 立即逸到真空。另一方面, 由于受激发的电子与声子的碰撞迅速损失能量, 并立即在导带底部产生热效应, 因此, 在图 1 (a) 的情形, 仅仅是接近表面(通常是几百埃以内)的电子才能产生超过($E_g + E_a$)的能量, 逸到真空。在图 1 (b) 的情形, 距真空界面较远的一些电子(微米数量级)就能扩散到表面并且还有足够的能量逸到真空。因此, 负电子亲和势光电阴极与传统的光电阴极相比, 前者逸出功小, 逸出深度长, 从而逸出几率高, 长波阈长(假定两者的禁带宽度相同)^[6,7]。

选择不同带隙能量的 III-V 族化合物半导体材料, 就可得到不同的光谱响应。目前已出现 InAsP-Cs₂O^[8], InP, GaInAs-Cs-O^[9], GaInAsP-Cs₂O, 以及 GaAs-C₂O 等各种材料的光电阴极。

三、实 验

掺 Zn (10^{19}cm^{-3}) <100> 面或 <110> 面的 p 型 GaAs 单晶, 用 Al₂O₃ 粉等磨料在呢子(或鹿皮)上抛成镜面一样光滑; 然后用二甲苯和丙酮去油, 用无水乙醇冲洗, 再放到 H₂SO₄:H₂O₂:H₂O 为 3:1:1 的混合液中进行化学腐蚀; 用去离子水冲洗, 无水乙醇脱水, 烘干; 样品两端镀金作为电极, 放在专用的装架台上进行装配使 GaAs 片的电极与 Ni 帽之间有良好欧姆接触, 然后封入实验管中(参看图 2)。

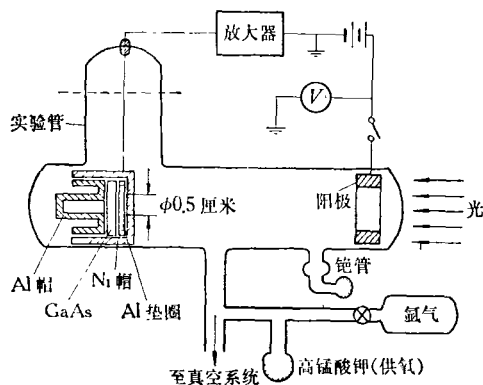


图 2 实验装置示意图

图中的虚线表示可以由这里截掉, 以便更换样品。阴极的激活是在图 2 所示的实验装置中进行的。全部系统在 450°C 下烘烤去气 2 至 3 小时, 待压强降到 5×10^{-6} 托以下时, 将氙气充入系统(约 0.1—0.2

托)进行高压放电, 对 GaAs 表面进行清洁处理。当系统重新抽至压强低于 10^{-5} 托时, 将盛有 CsCl 和 Ca 的小玻璃泡(A)加热, 反应生成的 Cs 凝结在玻璃泡(B)中, 这时将玻璃泡(A)截掉, 套上烘箱, 进行第一次铯化处理。此时要观察光电流的变化情况(在阴极和阳极之间加 120 伏的直流电压, 光电流由经过校准的放大器读出。烘箱内放一个非标准光源, 以便观察在处理过程中光电流的变化情况)。当光电流达到峰值时, 立刻拉开烘箱, 冷却后, 通入少量氧气(一般在 10^{-5} 托以下)进行氧化。待光电流稍有下降时, 立即停止给氧。将系统继续排气, 待压强降到 5×10^{-6} 托以下时, 进行二次铯化处理, 步骤同前。截掉铯管后, 进行低温处理以驱除多余的铯。

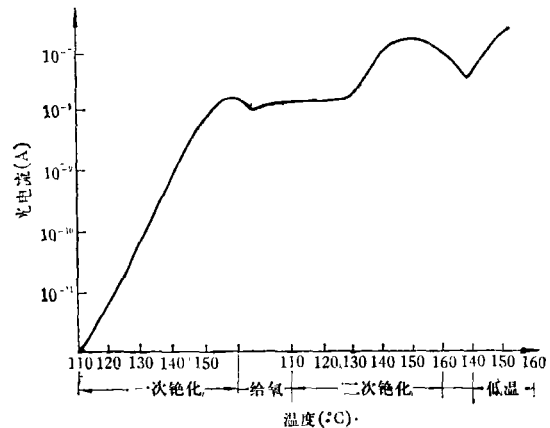


图 3 处理过程中光电流变化情况示意图

处理过程中, 光电流的变化情况如图三所示。最后用放在距阴极面为一米处的标准光源进行光电流的精确测量。

四、结果与讨论

采用色温为 2850K, 发光强度 $I_N = 51.2$ 烛光的标准光源; 光源到阴极面的垂直距离 $R = 1$ 米, 垂直投射到阴极面上, 测出光电流。利用公式:

$$S = \frac{I_\phi R^2}{I_N \delta}$$

可求出光电阴极的积分灵敏度。

其中: S ——阴极灵敏度,

I_ϕ ——光电流,

R ——光源至阴极面的垂直距离,

δ ——阴极面积,

I_N ——光源的发光强度。

这里: $R = 1$ 米,

$I_N = 51.2$ 烛光,

$\delta = \pi r^2 = \pi (0.25)^2 \text{cm}^2 = 0.196 \text{cm}^2$

(下转第 4 页)

括主持正义,他们的阴谋没有完全得逞,但《奉元历》的修订工作却因缺乏五星观测数据而受到重大影响,卫朴的才能没有得到充分发挥(《梦溪笔谈》)。

科学毕竟是人民群众的事业。劳动人民一旦夺取了政权,掌握了自己命运之后,就能“使知识和科学成为解放被剥削的劳动群众的工具,不再是特权者的东西,不再是巩固富人和剥削者的阵地的材料”^[1]。在金田起义的第二年,太平天国就批判了旧历书宣扬迷信、愚弄人民、逐日注出吉凶祸福的那一套,废除了旧历,颁行了一种彻底的阳历,称为天历。它以我国劳动人民在长期实践中早已总结出来的二十四节气为基础,以立春为元旦,以两个节气为一个月。天历符合农民的革命需要,又“便民耕种兴作”,“农时以正”,共行使了十六年多,后因革命失败而中断。而儒家卫道士曾国藩之流却对此大肆攻击,猖狂叫嚷“行夏之时,圣人之训。蠢尔狂寇,竟至更张时宪,……逆天渎天,罪大恶极”。在这里,这帮反动家伙,仇恨人民、敌视科学的嘴脸暴露得多么淋漓尽致!

在我国封建社会里,反动统治阶级的残酷剥削和压迫,激起了数百次伟大的农民起义。“只有这种农民的阶级斗争、农民的起义和农民的战争,才是历史发展的真正动力。因为每一次较大的农民起义和农民战争的结果,都打击了当时的封建统治,因而也就多少推动了社会生产力的发展。”^[2]伴随着生产力的发展,科学技术也总是要发展的。归根结底,科学技术的真正主人是广大劳动人民,而不是那些孔老二的徒子徒孙。

(上接第 13 页)

最终测得光电流 $I_{\phi} = 2.8 \times 10^{-7}$ (安培),从而得出:

$$S = \frac{2.8 \times 10^{-7} \times 10^4}{51.2 \times 0.196} \approx 280 \text{ (微安/流明)}.$$

结果:从灵敏度看,比传统的光电阴极高,但尚未达到国际上最高指标。主要原因是真空条件不太理想,又不是采用劈裂方法制备的光电阴极,表面存在污染,这样可能在 GaAs 与第一层 Cs 之间存在着一个“位垒”,所以功函数大,这一功函数将降低逸出几率^[2]。因此,在提高真空度和表面清洁处理方面还要作许多工作。

实验中,我们初步只是采用在氩气中进行轰击的方法,其他方法还没进行试验。例如,有人指出,将 GaAs 进行热处理以改进光电发射产额,而这个最佳温度是很严格的,大约在 610°C 左右^[10,11]。在这样温度下进行处理,制出光电阴极之后,再将它移到器件中,还须附加一套装置,这方面的工作还有待进一步试验。

目前,我们的实验均采用铯和氧交替暴露技术^[2,11],但是宋能堡 (Sonnenberg)^[12]提出了铯与氧同时暴露技术,这样,灵敏度会更高一些。铯和氧在降低

“卑贱者最聪明!高贵者最愚蠢。”这就是历史的辩证法!

正是由于历代劳动人民和进步科学家的努力,在我国漫长的历史时期中,科学技术还是冲破了儒家路线的重重阻碍,取得一系列重大的成就。如指南针、造纸法、印刷术、火药等伟大发明至今仍在世界上放射着灿烂的光辉!

新中国的建立,结束了旧中国经济、文化发展迟缓的状态,社会主义制度为我国科学技术的发展开辟了广阔的天地,劳动人民的聪明才智得以充分发挥。但是儒家思想的影响还存在。刘少奇、林彪一类政治骗子效法孔老二,大搞“克己复礼”,妄图复辟资本主义,大肆宣扬唯心主义先验论、反动“天才论”,诬蔑劳动人民,反对知识分子与工农兵相结合,鼓吹洋奴哲学、爬行主义,严重干扰我国科学技术工作。在伟大的批林批孔运动中,我们科学技术工作者应当运用马列主义观点,认真总结我国科学技术史,揭露儒家思想的阻碍和破坏作用,清除它在科学技术战线上的影响,以便更自觉地运用辩证唯物主义观点来指导我们的工作,沿着毛主席的无产阶级革命路线,为发展我国社会主义的科学事业,尽快地赶上和超过世界先进水平而奋斗!

- 1) 列宁,《在全俄国际主义教师第二次代表大会上的演说》,《列宁全集》第 28 卷,人民出版社,(1956),389。
- 2) 毛泽东,《中国革命和中国共产党》,《毛泽东选集》,人民出版社,(1969),588。

阴极材料的功函数方面的作用,近来已成为有重大争议的一个课题。关于这方面的问题还须通过实验进一步加以研究。

参 考 文 献

- [1] Scheer, J. J. and Laar, J. Van., *Solid State Communications*, 3-8 (1965), 189—193.
- [2] James, L. W., Moll, J. L. and Spicer, W. E., *Gallium Arsenide, Proc. of and Intern. Symp.*, (1968).
- [3] Bell, R. L. and Spicer, W. E., *Proc. IEEE*, 58 (1970), 1788.
- [4] Williams, B. F. and Tietjen, J. J., *Proc. IEEE*, 59 (1971), 1489.
- [5] Sonnenberg, H., *Appl. Phys. Letters*, 14-9 (1969), 289.
- [6] 中国科学院电子学研究所,《云光技术》, -5 (1973).
- [7] Sommer, A. H., *BGA Review*, 34-1 (1973), 95.
- [8] Sonnenberg, H., *Appl. Phys. Letters*, 16 (1970), 245.
- [9] Uebbing, J. J. and Bell, R. L., *Proc. IEEE*, 56 (1968), 164.
- [10] Uebbing, 1.06 μ *Image Converter, Rep AFALTR*, 69 (1969), 301.
- [11] Liu, Y-Z., Moll, J. L., Spicer, W. E., *Appl. Phys. Letters*, 14-9 (1969), 275.
- [12] Sonnenberg, H., *Appl. Phys. Letters*, 19 (1971), 431.