

GaAs 光电阴极片原子级表面清洁方法的研究及评价

孙长印 张书明 马秀玲 侯 洵

(中国科学院西安光学精密机械研究所 710068)

摘 要 本文对 GaAs 光电阴极片 UHV 系统中原子级表面清洁方法做了研究,它们是:光加热法、直接加热法、离子轰击加退火法、热子加热法.表面清洁效果用装于 UHV 系统中在线俄歇检测,表面质量用 As/Ga Auger 峰高进行比较,指出两种用于第三代象增强器光电阴极的表面清洁方法:Cs⁻离子轰击加退火法和热子背加热法.

关键词 原子级清洁;光加热;直接加热;离子轰击;热子

0 引言

GaAs 光电阴极只有在 UHV 系统中经过铯氧激活,才能形成负电子亲和热光电阴极,产生最大光电发射.GaAs 阴极片在激活前,必须达到原子级清洁表面,因为光电阴极经过前面的制备工序,以及工序之间的传递,表面将吸附有杂质.UHV 系统的抽气过程,烘烤过程(一般达24小时,180℃),以及热子去气等,也会造成 GaAs 表面的残气吸附.杂质对光电发射过程的影响为¹

1)它们占据表面位置并妨碍 Cs 对 GaAs 形成强结合,因此,会使真空能级不能降得像没有吸附物质时那么多.

2)他们的存在产生一个电位,它减小发射电子的逃逸几率.

3)逸出电子因与外来杂质的电子-电子相互作用及电子声子散射而损失能量.

对清洁方法的要求为:

1)使 GaAs 表面达到原子级清洁表面.因为 Auger 谱仪对表面元素的探测灵敏度可达千分之一,所以用 Auger 谱仪可用来判断表面是否清洁.

2)表面晶格的完整性.表面晶格的损伤或者表面组成之一的沉淀如Ga,将使光电子逸出几率降低.从 Auger 谱中 Ga/As 峰高比,可以判断 GaAs 表面组分是否偏离正常值.

3)清洁效果的均匀性.对于第三代象增强器用透射式阴极组件,因为阴极是 $\varnothing 20$ 的 GaAs 圆片粘结在玻璃片上形成的,故清洁方法的不均匀性会造成 GaAs 表面发射不均匀,温度不均匀将造成玻璃片和 GaAs 片的应力增加,并在以后的工序中炸裂.

1 清洁方法及实现

1.1 光加热清洁法

光加热清洁是利用可见光和红外辐射对晶体进行加热².它是一种非接触加热方法.其光源采用高效卤素灯($2 \times 800W$),加热窗采用石英玻璃,加热时,光源放在椭球反光镜的一个焦点上,而阴极片处于另一个焦点处,光线从光源出发后,经反光镜会聚到GaAs片上.加热温度通过光源功率来进行调节.

对于反射式光电阴极,测温用的热偶和 GaAs 片均粘在钼片上.对于透射式光电阴极,可采用红外

收稿日期:1995-10-17

比色温度计测量. 由于加热光源的光线在 GaAs 表面反射后, 进入测温仪, 干扰测温仪的精度, 所以, 对进入测温仪的光线要精心滤波, 对各种杂散光要精心阻挡.

光加热功率最大, 系统温升高, 放气最多, 由于系统在烘烤过程无法对其相应部分去气, 故加热时真空度 $P=10^{-5}\sim 10^{-6}\text{Pa}$.

1.2 直接加热法

直接加热法是让电流直接通过 GaAs 片子本身, 在其电阻上产生热量, 将 GaAs 片子加热到所需温度. 我们做了透射式阴极组件的电阻随温度的变化曲线, 如图1所示. 从图1可看出: 在 $T<T_0$ 区域, 其电阻温度系数呈现负值, 当 $T>T_0$ 时, 电阻温度系数为正值. 电加热功率 $W=V^2/R=I^2R$, 所以, 在 $T<T_0$ 区域, 采用电压源作为加热功率源将使加热温度无法控制. 因为温度上升, 导致电阻 R 减小, 加热功率变大, 片子温度升高, 导致电阻进一步减小, 这样, 片子表面温度无法控制, 甚至烧坏片子. 在 $T>T_0$ 时, 采用电压源加热, 片子温度可通过改变加热电流调节. 对于 P 型重掺杂 GaAs 单晶片, 当其厚度为 1mm 左右时, 其在 500 C ~ 700 C 范围内, 电阻呈现负温度系数的特性, 加热必须采用稳流源. 利用稳压源将导致片子瞬间烧毁.

对于由 MOCVD 技术生长, 经粘结, 选择腐蚀工艺制成的透射式光电阴极, 当其厚度为 $2\mu\text{m}$ 左右, 掺杂浓度为 $10^{18}\sim 10^{19}/\text{cm}^3$ 时, 其电阻在 500 C ~ 700 C 温度范围呈正的温度系数, 我们采用电压源供电, 电压从 0 变为 30V 左右, 加热电流从 0 变为 1A 左右, 经 1 小时片子温度即可达到 600 C 左右.

实验采用的电极如图2所示, 由 AuZn(9:1) 合金蒸镀并烧结而成, 一端电极接系统外壳, 另一端电极通过装在真空室的弹性探针连接, 探针本身带有波纹管, 可以自由伸缩.

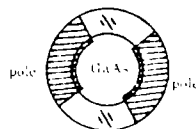
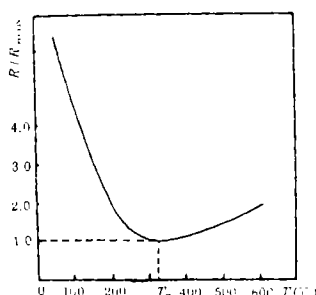


图1 透射式 GaAs 电阻温度特性

图2 直接加热电极图

Fig. 1 Temperature characteristic of GaAs resistance

Fig. 2 Pole arrangement for resistance heating

测温用比色温度计进行.

直接加热法加热效率最高, 将 GaAs 片加热到 600 C 多度只需几十瓦功率, 所以系统温升最小, 放气量也小, 真空度 $P=10^{-7}\text{Pa}$ 量级, 最适于 UHV 系统.

2 离子轰击法

离子轰击法是用具有一定能量的入射离子(如 Ar^+)轰击 GaAs 表面, 使表面吸附杂质脱附, 或使 GaAs 剥蚀 100~1000 个分子层, 产生清洁表面, 对于大部分物质, 这个能量阈值为 20eV~50eV.

我们在系统中装有一把 Ar^+ 离子枪, 束斑为直径 1mm 左右的圆斑, 45° 入射角, 采用扫描方式, 扫描面积为 $10\times 10\text{mm}^2$.

离子刻蚀实验在 $E_i=1\text{kV}$ 进行, 此时 $I=20\mu\text{A}$ 左右, 一般经几十分钟后, 表面杂质如 C 和 O 完全去除, Auger 谱峰上面未见 C、O. 但 As/Ga 的俄歇信号比已明显小于 1, 说明表面有选择性 Ar^+ 离子溅射发生, As 被优先剥蚀掉, Ga 在表面富余. 这种情况下, 很难获得高的光电灵敏度阴极.

为了不损失表面晶格, Ar^+ 离子能量就不能过高, 但我们用的氩枪在 $E_i<500\text{eV}$ 时, 离子流很小 ($<1\mu\text{A}$), 无法进行大面积清洁, 所以我们又研制了 Cs^+ 离子源.

Cs^+ 是由铯原子经过多孔钨通道时发生的离化作用得到铯离子的. 离化效率为³

$$\eta_i = [1 + 2 \exp(\frac{V_i - \varphi}{kT})]^{-1}$$

当铯的 $V_i = 3.9\text{eV}$, 钨的 $\varphi = 4.6\text{eV}$, $T = 1300\text{K}$ 时, $\eta_i = 99.6\%$.

我们研制的铯源如图3所示, 多孔钨头采用 $3 \sim 5\mu\text{m}$ 粒度, 孔隙度为 $20\% \sim 30\%$ 的钨粉压制烧结而成的, 多孔钨与镍管之间用电子束焊成气密性封接, 镍管内充有由铬酸铯、锆铝粉组成的反应物, 镍管另一端用亚弧焊焊牢, 多孔钨和镍管外套热子, 铯离子源与阴极之间用

远焦点式电子离子光学系统, Cs^+ 从多孔钨中出来后, 经束子成型后, 投射到 AsGa 阴极面上.

Cs^+ 离子能量为 $200 \sim 300\text{eV}$, 离子流 $I_i = 10 \sim 20\mu\text{A}$, 时间一般30多分钟, 后经 400°C 加热退火 $8 \sim 10$ 小时.

Cs^+ 离子源在系统烘烤过程中已经 $1 \sim 2$ 天去气, 故使用时系统真空度 $P = 10^{-6}\text{Pa}$ 量级.

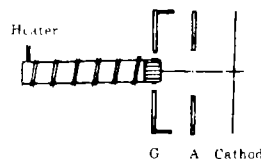


图3 离子铯源

Fig. 3 Cs^+ ion source

3 热子背加热

热子加热是目前常用的一种清洁方法, 我们采用的是涂有 Al_2O_3 的钼丝热子, 加热电流为 8A 时, 20分钟即可将阴极加热到 600°C 左右.

反射式 GaAs 阴极的温度测量用热电偶.

透射式 GaAs 阴极温度直接测量比较困难, 我们用间接方法进行测量标定, 我们间接测量的量为加热功率, 对电压源来说, 就是先测量一定电压下的电流值 I 与片子温度 T 的关系, 然后先将片子加热到微微发白, 再将温度降低 20°C 左右, 以此做为表面清洁温度, 并找出相应的电流值.

热子加热功率为 200W 左右, 热子在系统烘烤的同时在 650°C 左右去气, 故加热工作期间放气量适中, $P = 10^{-6} \sim 10^{-7}\text{Pa}$.

4 清洁方法的评价

由于光加热, 直接加热以及热子加热均是将 GaAs 加热到其等比例蒸发温度时, 获得原子清洁表面的, 所以清洁效果在相同的处理工艺下是相同的. 对于进台前经过 H_2SO_4 ; H_2O_2 ; $\text{H}_2\text{O} (5:1:1)$ 约数十秒漂洗的片子, 经过上面几种热清洁, O 峰完全去除, C 峰仍可见, 但 C/Ga 峰高比已处于 0.1 以下.

对于表面质量, 因为光加热功率大, 所以, 光源发光功率的不稳定和光加热功率较难连续控制, 使 GaAs 片子表面 As 蒸发较严重, 故 As/Ga Auger 峰高比偏小. 直接加热和热子加热方法, 因为热功率小, 功率可连续精确调节, 所以较少造成片子的 As 蒸发, 一次清洁后, GaAs 片子表面 As/Ga 俄歇峰高比在 0.9 之内. 对于离子轰击法, 清洁最彻底, Auger 谱中 C, O 均未见, 轰击离子能量 $E > 700\text{V}$ 时, 可见表面 As 的优先溅射, As/Ga 比最坏可达 0.5 , 当 $E < 300\text{V}$ 时, As/Ga 比在 0.9 以上.

由于圆片阴极直接加热法均匀性差, 光加热功率不易控制, 使热子加热法和离子轰击加退火法成为三代管阴极的首选清洁方法. 我们用热子清洁方法获得了 $1000\mu\text{A}/\text{lm}$ 的反射光电灵敏度.

5 改进意见

1) 热子清洁方法采用稳压电源供电, 提高温度控制精度.

2) 文献4报道用 $E_i = 100\text{eV}$ 的 Ar^+ , 加上45分钟 310°C 退火, 获得了原子清洁表面, 表面质量优. 我们用 Cs^+ 源, 也应设法降低能量 E_i , 使 E_i 不要超过 100eV , 这需要离子光学系统设计, 使 $E_i = 100\text{eV}$ 时, 仍具有 $10 \sim 20\mu\text{A}$ 的 Cs^+ 离子流.

参考文献

1 Sommer P H 著, 侯海译, 光电发射材料, 北京: 科学出版社, 1979: 292 ~ 293

