

GaAs 晶片的光辐射加热

佟跃军 侯 洵

(中科院西安光机所)

【摘要】本文描述了一种用高强度会聚光辐射对真空系统中的 GaAs 晶片进行加热清洁的方法。对光强及目标温度间的关系进行了计算及实验验证。根据升温曲线, 可通过调节光源参数来控制目标温度。

一、引 言

GaAs 晶片经化学清洗后其表面吸附有碳和氧之类的污染物, 而这些污染物的清除对于表面科学、半导体材料及器件制备等方面的研究是至关重要的。为此, 人们常常采取多种措施进行清洁处理, 其中真空加热是使用的方法之一。还有热子加热^[1], 电阻加热^[2], 电子轰击加热^[3], 辐射加热^[4, 5]等方法。当然, 这些方法都各有其优缺点, 可根据不同的目的和要求来加以选择。例如, 为了制作透射式 GaAs(Cs, O) 光电阴极及有关器件时, 真空度要求要高, 对于受处理的表面, 要尽量少受损伤且受热要均匀, 温度的控制也应尽可能的简单。我们选用外部会聚光辐射加热的方法来实现。本文的目的就是介绍应用这一方法的一些结果。

二、加热装置

图 1 为加热装置示意图。光源为 3000W 卤钨灯。光束经椭球反射镜后再经透镜会聚, 通过真空窗口而入射到需加热的样品上(当真空窗口口径较大时, 不另加透镜以减少光能损失)。在实验中, 采用铂铑-铂热电

偶进行温度测量, $x-y$ 记录仪记录升、降温曲线, 入射光强用能量计测量。为了保证测量的可靠性, 用红外双波段测温仪进行测温(为避免光辐射的影响, 采用水层滤波的办法; 使入射光波长保持小于 $1.4\mu\text{m}$, 而把长波部分加以消除)。

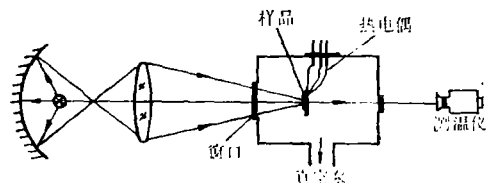


图 1 加热系统示意图

调整光源、透镜及目标间的距离可使光斑面积的大小获得改变。光斑面积一般选为 $2 \times 1.5\text{cm}^2$, 这时(在同样光源电压下)光斑最亮。晶片尺寸约为 $1 \times 1\text{cm}^2$ 。光斑中不同点的温度差不超过 5°C 。GaAs 在 600°C 左右的热扩散率为 $10^{-1}\text{cm}^2/\text{s}$ 的数量级(可认为热扩散是很快的)。在晶片上不同点的温差小于 5°C , 因此, 热均匀性是满足要求的。

此加热装置有这样一些优点: GaAs 对波长小于 $1\mu\text{m}$ 的辐射有强烈的吸收, 而卤钨灯的光谱辐射在小于 $1\mu\text{m}$ 范围内占大部分,

本文修改稿于 1987 年 8 月 12 日收到。

这样一来, GaAs 吸收光谱与卤钨灯发射光谱间的匹配性好, 从而可使加热效率提高, 卤钨灯成本低, 能量转换效率高, 可通过选择滤波器改变照射辐射的平均吸收深度, 使加热集中在表面层, 而不致使半导体内部掺杂引起变化, 加热装置在真空系统外部, 而受热部件在其内部, 故其加热过程中不会污染系统, 而且操作也极方便, 加热面积较大, 均匀性亦好。

三、光强与温度的关系

在大部分入射辐射波长范围内, GaAs 晶片有强烈的吸收^[6]。当晶片较厚 (0.5mm) 时, 约 $3\mu\text{m}$ 以上波段的辐射就被透镜或玻璃窗阻隔, 晶片上没有被反射掉的辐射, 可以认为被全部吸收。当晶片吸收光能后温度立即升高, 同时晶片也向外辐射能量 (损失能量)。由于晶片是在真空系统中, 样品架又是较细的镍丝, 因此, 吸收能量与损失能量很快达到平衡, 而使温度达到极大值。

设入射光强为 $I(\text{W}/\text{cm}^2)$, 晶片厚度为 $d(\text{cm})$, 反射率 R , 密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$, 比热 $c[\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})]$, 发射系数 ε , 斯特藩-玻尔兹曼常数 σ 。经推导可得以下方程

$$dT/dt = [I(1-R) - 2\varepsilon\sigma T^4]/(\rho cd) \quad (1)$$

解上式可得升温曲线方程

$$\frac{1}{4} \ln \frac{1 + (b/a)^{1/4} T}{1 - (b/a)^{1/4} T} + \frac{1}{2} \operatorname{arctg} (b/a)^{1/4} T = (b/a)^{1/4} at + c_1 \quad (2)$$

和降温曲线方程

$$1/T^3 = 3bt + c_2 \quad (3)$$

式中, $a = I(1-R)/(\rho cd)$, $b = 2\varepsilon\sigma/(\rho cd)$, c_1 、 c_2 为由初始条件确定的积分常数。

晶片最大温度 T_m 与 I 的关系可由令 (1) 式为零求得

$$I(1-R) = 2\varepsilon RT_m^4 \quad (4)$$

由 (2) 和 (3) 两式可画出升、降温曲线, 如图 2 所示。图中曲线是 $I = 5.3 \text{ W}/\text{cm}^2$ 作出的。由图可见。开始温度上升很快, 到 10s 后减缓, 最后达到饱和。停止加热后温度下降很快。由 (4) 式可作出光强 I 与晶片最高温度 T_m 的关系曲线, 如图 3 所示。

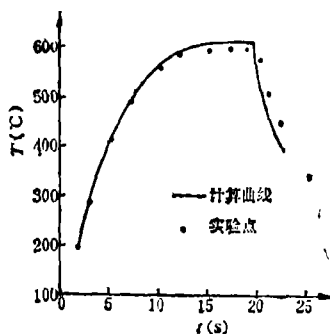


图 2 升、降温曲线

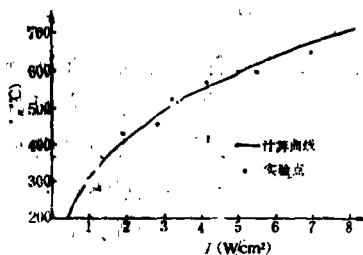


图 3 I 与 T_m 关系曲线

四、加热实验

由图 2 和图 3 不难看出, 计算曲线与实验测得的结果符合得很好。通过改变光源电压来改变光强, 从而可使温度得到改变。电压误差造成的温度误差由下式表示

$$\Delta T_m / T_m = \Delta V / 2V \quad (5)$$

当温度约为 600°C 时, 基本上是电压改变 1V 而温度可改变 1°C 。假如在实验中每次把电压加到同一数值, 检验出的温度重复性是很好的。如把电压加到 200V, 15s 后晶片总是被加热到 595°C 左右, 而各次温差均在 5°C 之内。

一般化学处理后的 GaAs 表面的主要污染物是碳和 GaAs 的氧化物。用 X 射线光电子能谱^[7] 观察上述加热的表面, 其清洁过程为: 当加热到 350°C 时, 碳污染大量减少, 在温度达 380°C 后, 其减少率减缓, 而氧化物没有变化; 温度继续升高, As 氧化物减少, 而 Ga 氧化物增加; 到 500°C 时, As 氧化物消失, 而 Ga 氧化物还在增加; 温度再继续升高, Ga 氧化物开始减少; 直到 580°C 左右, 所有氧化物均全部消失。为了尽量清洁表面, 随着加热温度继续增加, 表面上的 Ga、As 等量地蒸发, 直到一等比例蒸发温度 T_0 为止。当温度超过 T_0 时, 就出现非等量蒸发, As 蒸发量超过 Ga 而破坏表面的 1:1 结构。对 GaAs(100) 面 T_0 为 663°C^[8], 这是大量出现非等比例蒸发的温度。实际上在温度为 610°C 时开始就有少量的不等量蒸发存在, 所以加热温度一般都选择在 580~650°C 之间。而加热时间则要看所选的温度确定 (一般为几分钟到半小时不等), 温度越高, 所需时间越短。经上述加热处理后的 GaAs 表面, 一般都可以达到很高的清洁程度, 表面呈现清晰的 LEED 图样, 污染物含量都在 Auger 探测极限以下。

根据以上过程, 清洁时分别把样品加热到 350°C、580°C 和 610°C 三个温度上。在各温度上都采用图 2 中的温度饱和区域上的值, 这样温度和加热时间都容易控制。由于真空泵抽速小, 故采用多次、间歇性加温。每次温度达饱和后再保持 5s。在某一温度上连续两次加温与降温时若真空度变化基本上一样, 则在这一温度上的加温清洁过程就完成了。一般在 350°C 上需要重复十几次, 在 580°C 上约要重复十次, 而在 610°C 上只能进行三次, 否则容易出现表面光泽消失、表面结构被破坏的现象。由于没有表面分析仪器对加热后样品的清洁度进行测试, 因此, 只能在不破坏表面的情况下, 尽量延长加热时间或提高温度来达到清洁的目的。

五、讨 论

我们采用光辐射方法对 GaAs 进行加热清洁处理加热过程的重复性很好, 温度和时间都容易控制。不易出现表面结构被破坏的现象, 而且光斑面积大, 受热均匀性也好。由于是外部辐射, 减少了对真空系统的污染, 装置比较简单。总之, 这是一种比较好的加热方法, 此方法也可应用到半导体的退火等工艺中。

实验中如将卤钨灯改用氙灯, 其效果会更好。氙灯光谱中波长大于 2 μm 范围的能量只占总能量的 1% 左右, 其大部分能量都在波长较短的部分, 这部分波段与 GaAs 的吸收谱区很匹配。但这种光源及电源成本较高。

鉴于对本工作的大力帮助作者谨对潘林兴、雷明轩、梁爱霞、王培福、赵宝升及西安光机所光电公司加工部、二室测试组等个人及单位表示感谢!

参 考 文 献

- [1] Y. Z. Liu, J. L. Moll and W. E. Spicer, Appl. Phys. Lett. 14 (1969), 9, 275
- [2] G. H. Olsen, D. J. Szotak, T. J. Zamerowski and M. Ettenberg, J. Appl. Phys. 48 (1977), 3, 1007
- [3] D. Andrew, J. P. Gowers, J. Phys. D 3 (1970), 320
- [4] D. Rodway, Surf. Sci. 147 (1984), 103
- [5] S. Garbe and G. Frank, Proc. 1970 Int. Symp. on GaAs Inst. Phys. Soc. 208
- [6] W. G. Driscoll, W. Vanghn, Handbook of Optics, Mc. Grow Hill, New York, 1978
- [7] R. P. Vasquez, B. F. Lewis and F. J. Grunthaner, Appl. Phys. Lett. 42 (1983), 3, 293
- [8] B. Goldstein, D. J. Szostak and V. S. Ban, Surf. Sci. 57 (1976), 733