

# GaAs、Si 的外逸电子发射探测

王家锦 马圣驹

(中国科学院上海冶金研究所)

外逸电子(Exoelectron)是一新材料,它系指从材料表面发射的低能电子.金属、半导体、介质在辐照、轰击、变形、相变、氧化和吸附等作用下能自发射低能电子<sup>[1-3]</sup>.若在光、热的激发下外逸电子发射就更加明显,前者激发的电子称为光激外逸电子发射(OSEE),后者称为热激外逸电子发射(TSEE).但两者皆并非热电子和光电子.因为热电子要在相当高的温度下才能激发(一般要在700℃-2000℃时才有显著的发射),而外逸电子能在常温下发射,加热后在特定的温度下出现发射峰(这温度一般都在500℃以下).热电子发射与温度成正比;而外逸电子发射峰值与温度不成比例.此外,热电子发射与材料所经受的物理、化学过程无关,而外逸电子“放空”后再一次加热材料就不会再出现那种特性的发射曲线,除非材料表面又一次经受某化学、物理的过程.

光激外逸电子发射不同于光电子发射之处在于激发波长较长,但这也是对经过某种化学、物理作用的特定材料而言.

目前对外逸电子的研究较多应用于疲劳损伤探测、表面研究、催化以及剂量测量,在金属及介质材料方面研究较多<sup>[4,5]</sup>.而在Si及GaAs外逸电子发射方面的工作报道甚少.В. П. Алехин 等人<sup>[6]</sup>用塑性变形Si研究了位错密度与外逸电子发射的关系.И. В. Крылова<sup>[7]</sup>指出外逸电子能量与半导体型号无关,但发射中心与工艺有关.此外,文献[8]报道了应用低能质子轰击硅及锗后对外逸电子的发射进行研究能了解出轰击后退火的完全性.因此,探测半导体表面外逸电子的发射,对了解材料的表面性质以及对半导体器件加工工艺的某些监控将有裨益.

本文叙述半导体材料外逸电子探测的装置,并用此系统粗略观察在器件工艺中常用的离子注入、高频溅射、氧化、真空热处理等工艺加工后所引起的外逸电子的发射.

## 实验方法

实验设备示于图1.它由真空、电子捕集以及放大记录等系统组成.真空系统由一个普通玻璃油扩散泵,膨胀泵以及机械泵组成.电子捕集系统与真空系统硬接,真空一般为 $5 \times 10^{-7}$  Torr.

电子捕集系统包括高压源、电子倍增器、加速电压源、样品基座、屏蔽升温炉及控温等装置.放大记录系统包括跟随器、线性脉冲放大器、单道脉冲幅度分析器、定标器、线性率表、函数记录仪.整个电子捕集器及跟随器由铜网屏蔽以防干扰.

电子倍增器分别采用玻璃及陶瓷的通道式电子倍增器,增益约 $10^7$ .在跟随器放大4倍、线性放大器放大600倍的情况下,整个测试系

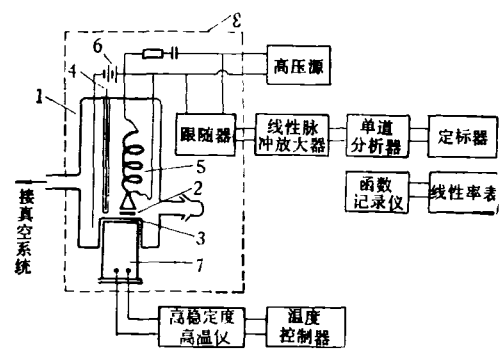


图1 实验装置示意图

- 1—电子捕集器; 2—样品; 3—基座;  
4—热偶; 5—电子倍增器; 6—加速电源;  
7—升温炉; 8—屏蔽罩

统的本底噪声为每秒 2—8 脉冲。由于外逸电子能量极低,为减少与系统的剩余气体碰撞,捕集器真空度要尽可能高,但要考虑加温时样品组分的挥发。待测样品要尽量靠近电子倍增器的喇叭口。为提高探测效率,采用 270V 加速电压。玻璃电子倍增器工作电压 3000V;陶瓷电子倍增器 5000V。

样品尺寸只要大于电子倍增器的喇叭口即可,所有样品表面均按器件工艺要求抛光。

在样品装入后开始抽真空。当真空达到极限值后测本底噪声,接着开始升温。温度毫伏及脉冲毫伏在记录仪 Y 轴上同时记录; X 轴为时间。

## 结果和讨论

### 1. GaAs 离子注入后外逸电子的发射

样品为掺 Te 的低阻 GaAs,在 160keV 下注

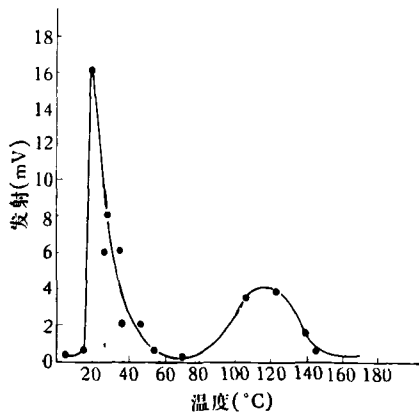


图 2 低阻 GaAs 在 160 keV 下注 S<sup>+</sup> (剂量为  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ ) 后热激外逸电子曲线

S<sup>+</sup>, 剂量为  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 。在热激发下外逸电子发射曲线示于图 2。由图可见,在很低的温度下就出现外逸电子发射。该样品是在室温低于 10°C 的情况下保留四天才开始测试的。此处有两个峰,第一个峰在 17°C 处,第二个峰在 118°C 处,强度比前者低得多。颇有趣味的是第一个峰发射温度很低,看来这些发射中心不是来自表面物理吸附层,而是 S<sup>+</sup> 注入后所产生的许多位错、空位等组成的点缺陷群。外逸电子的产生

物理

是由于部分相距较近的间隙电子-空穴对复合后所导致的、浅能级所捕获电子释放的结果。

### 2. 低阻 GaAs 及高阻 Si 在高频溅射后外逸电子的发射

图 3 的 I, II, III 曲线分别为低阻 GaAs 在 3000V, 2500V, 2000V 下高频溅射后所测热激外逸电子发射曲线。IV 为高阻硅在 1500V 下高频溅射后所测热激外逸电子发射曲线。由图可见,随着溅射电压升高,出现外逸电子发射峰的温度降低。高频溅射电压愈高,Ar<sup>+</sup> 的能量愈大,则材料表面受损伤的情况愈严重,出现发射峰温度就愈低,这点在图 2 中亦得到证明。图中表明,与 Si 相比, GaAs 具有更低的热激外逸电子发射峰出现的温度,由此可见在同样溅射电压下, GaAs 材料表面所受的损伤比 Si 严重。

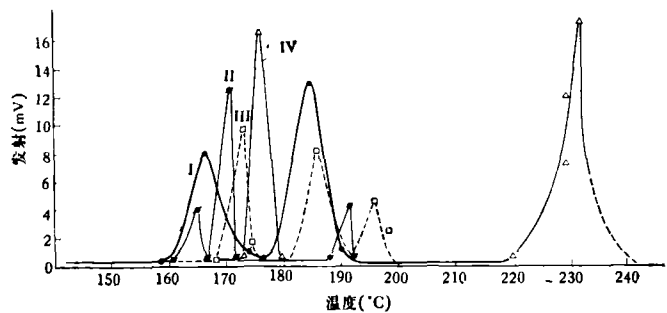


图 3 低阻 GaAs 及高阻 Si 高频溅射后热激外逸电子曲线  
I——3000V; II——2500V; III——2000V;  
IV——高阻硅 1500V

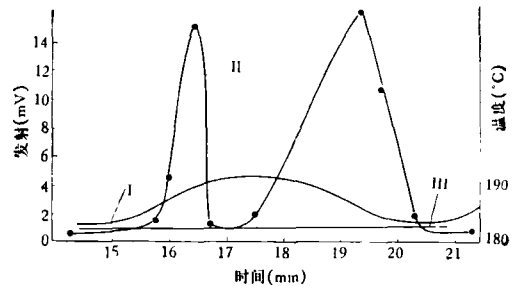


图 4 n 型低阻硅高温氧化后外逸电子发射  
I——温度曲线; II——外逸电子曲线

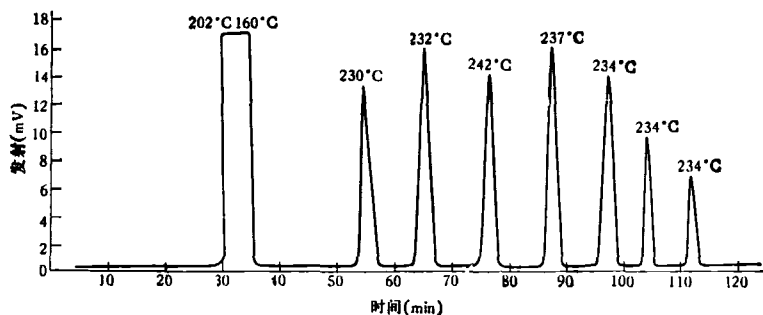


图5 低阻 GaAs 在 1500V 下溅射半小时后,在 230—242°C 温度下的外逸电子发射

### 3. Si 在去除氧化层后的外逸电子发射

n 型低阻 Si 在 1160°C 氧化一小时后在 HF 水溶液中除去 SiO<sub>2</sub>, 然后把它洗净、吹干进行外逸电子发射测量, 结果示于图 4 中。图中曲线 I 为温度曲线; 曲线 II 为外逸电子发射曲线。此处, 在 187°C 左右, 在很小的温度区间内出现两个发射峰。看来, 这与 Si-SiO<sub>2</sub> 界面的缺陷有关, 而不能单纯地归结为表面 OH<sup>-</sup> 吸附层。为了证明这一点, 我们把实验过的该样品在空气中暴露 96 小时使其充分获得吸附层, 然后在同样条件下测试, 结果未发现任何外逸电子发射(曲线 III)。

### 4. GaAs 在高温、高真空中加热引起外逸电子发射(图 5)

在 1500V 下, 经半小时溅射的 n 型低阻 GaAs, 当温度升到 202°C 时开始出现外逸电子发射; 降温到 160°C 时发射停止。再次升温时, 观察到在 230—242°C 之间规律性地出现外逸电子峰, 并同时在反应器上观察到凝结的 As

薄膜。看来这是 As 空位造成 GaAs 表面的无数缺陷所提供的外逸电子发射中心, 而电子发射则需一定的延迟时间。

由本文的发射曲线可知, GaAs、Si 半导体材料在离子注入、高频溅射、氧化、真空加热等工艺后在不同程度上表面都受损伤, 在相同条件下 GaAs 比 Si 更严重。

### 参 考 文 献

- [1] B. Rosenblum et al., *J. Appl. Phys.*, 48 12 (1977), 5262.
- [2] G. M. Renfro, H. J. Fischbeck, *Phys. Stat. Sol. (a)*, 54-1 (1979), 85.
- [3] И. В. Крылова, *Успехи Хим.*, 45-12 (1976), 2138.
- [4] H. Nanto, M. Kawanishi, *Surf. Sci.*, 86 (July 1979), 743.
- [5] V. Siegel et al., *Phys. Stat. Sol. (a)*, 51-1 (Jan. 1979), 123.
- [6] В. П. Алехин, С. С. Дрюнин, А. Г. Жданович, *Физ-Хим. Обр. Матер.*, 2 (1972), 132.
- [7] И. В. Крылова, В. И. Свитов, *Физ. и Тех. Полупров.*, 7 (1973), 409.
- [8] A. G. Zdanovich et al., *Phys. Stat. Sol. (a)*, 8-1 (1971), K27.