

# GaAs 表面 S 钝化方法: S 气氛辉光放电法\*

陈溪滢 曹 华 徐前江 王 杰 朱 炜 曹先安 张甫龙 丁训民 侯晓远

(复旦大学应用表面物理国家重点实验室 上海 200433)

(复旦大学李政道物理综合实验室 上海 200433)

陆 明

(复旦大学真空物理实验室 上海 200433)

**摘要** 本文报道了一种新的 GaAs 表面 S 钝化方法——S 气氛辉光放电法. 用光致发光光谱 (PL) 结合俄歇电子能谱 (AES) 和 X 射线光电子能谱 (XPS) 研究了辉光放电 S 钝化的 GaAs (100) 表面. 结果表明, 与未处理的样品相比, 用该方法处理后的表面复合速率大大降低, PL 强度提高了将近两个数量级, 而且稳定. AES 谱和 XPS 谱测量结果表明用 S 气氛辉光放电的方法在 GaAs(100) 表面上形成了较厚的 GaS 薄膜.

**PACC:** 6820, 7280E, 7320

## 1 引言

砷化镓 (GaAs) 具有直接带隙、高电子迁移率和高饱和漂移速率等优越特性. 它主要被用来制造高速和微波半导体器件. 但 GaAs 与其自身氧化物界面的电学和化学性质却很差, 具有很高的表面和界面态密度, 从而引起费米能级的钉扎和高的表面复合速率, 影响了它的进一步应用. 1987 年, Sandroff 等<sup>[1]</sup>报道了用 S 钝化 GaAs 表面, 取得了很大的进展. 用  $\text{Na}_2\text{S}$  或  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$  水溶液等常规方法钝化 GaAs 表面, 可以除去 GaAs 表面的氧化物并留下约一个单层硫原子与 Ga 或 As 结合, 形成 S/GaAs 的界面, 并饱和 GaAs 表面的悬挂键, 因而大大降低了表面复合速率. 由于钝化的样品表面无法产生比较厚的钝化层, 所以在大气中存放会被重新氧化而失去钝化效果. 要解决 GaAs 表面 S 钝化的不稳定性, 必须在 GaAs 表面上生长出较厚的硫化物层.

以前我们曾报道了用电化学阳极硫化的方法<sup>[2]</sup>, 在 GaAs 表面上形成了约 2nm 厚的硫化物薄膜, 成功地解决了常规 S 钝化方法不能解决的不稳定性问题. 后来 MacInnes<sup>[3]</sup>等采用  $[(t\text{-Bu})\text{GaS}]_4((t\text{-Bu})=\text{C}(\text{CH}_3)_3)$  有机分子在 GaAs 表面上淀积了 GaS 薄膜, 其钝化

\* 国家自然科学基金和国家教委跨世纪人才基金支持项目

陈溪滢 女, 1972 年生, 硕士生, 从事专业: 凝聚态物理

1995 年 1 月 28 日收到初稿, 1995 年 4 月 12 日收到修改稿

效果同样是稳定的. 虽然这两种方法都证明在 GaAs 上形成厚 Ga 硫化物层具有稳定的钝化效果, 但将这两种方法用于实用还存在着一些困难. 进一步寻找和创造新的硫钝化方法是十分重要的.

本文中我们首先提出了利用辉光放电生成硫的等离子体, 在 GaAs 表面上生成了比较厚的 GaS 层. 并利用光致发光光谱(PL)、俄歇电子能谱(AES)及 X 射线光电子能谱(XPS)等分析手段研究了它的钝化效果和 GaS 膜形成机理的.

## 2 实验方法

实验所用样品为半绝缘的 n 型 GaAs(100)单晶片. GaAs 样品首先依次用丙酮、酒精、去离子水等各超声清洗五分钟, 随后用离心机甩干. 样品处理的 S 气氛辉光放电装置如图 1 所示. 样品进入真空腔体后, 先将真空度抽到小于 0.1Pa, 通过电源 V1 加热衬底温度至 400℃, 随后通过电源 V2 加热源温至 100℃, 使玻璃管内硫气压维持在 10Pa 附近, 作为源的硫粉纯度为光谱纯. 此时开启高压电源 V3, 2kV 起辉后, 放电电压维持在 800V 左右, 玻璃管内 S 气氛辉光呈蓝色荧光, GaAs 样品在这种条件下处理大约半小时. 作为对比, 另一块样品不作任何处理, 其表面为自然氧化层.

PL 测量的激发光源采用 Ar 离子激光 514nm 线, 样品上激光功率密度为 1.5kW/cm<sup>2</sup>. AES 的测量是在 PHI 公司的扫描俄歇微探针中进行的. 实验中的本底压强为 1×10<sup>-7</sup>Pa. AES 的入射电子能量为 3keV, 样品电流 1μA. XPS 的测量是在 VG 公司的 ADES-400 中进行的. 实验中的本底压强为 1×10<sup>-8</sup>Pa. XPS 的激发光源是 AlK<sub>α</sub> 线, 其光子能量为 1486.6eV.

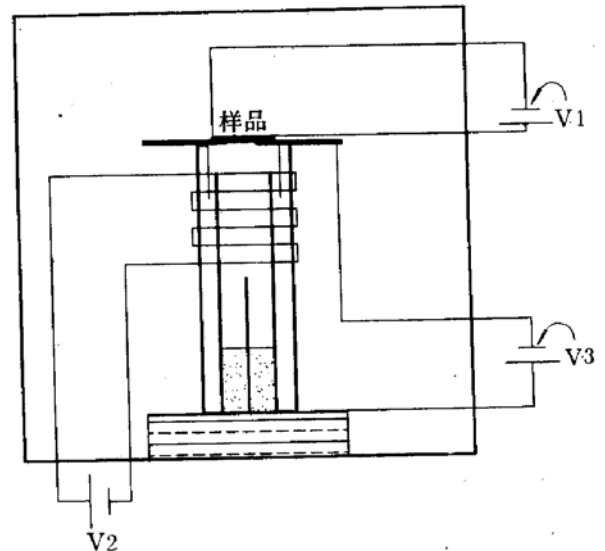


图 1 辉光放电 S 钝化装置图

## 3 结果与讨论

### 3.1 S 气氛辉光放电法

采用 S 气氛辉光放电法在 GaAs 表面上形成 GaS 薄膜主要基于以下两种考虑: ①S 的蒸气压很高, 在 100℃ 温度下, S 的蒸气压可达 10Pa 左右, 但单质硫通常是以环状的 S<sub>8</sub><sup>[4]</sup>形式存在, 在不很高的温度下 (<600℃), 很难与其它元素化合生成硫化物, 因而采用辉光放电方法产生 S 的等离子体, 利用 S 离子的化学活性可在较低的温度下与其它元素反应生成硫化物. ②以往的研究发现 As-S 的稳定性较差<sup>[5,6]</sup>, 通常真空退火温度高于 360℃ 时, 可从 GaAs 表面去除 As-S 键, 而 Ga-S 键在温度 500℃ 以上都是稳定的. 因而我们采用 GaS 样品在 S 等离子体气氛下 400℃ 退火, 希望在 GaAs 表面上只生成 GaS 薄膜.

以下的 PL 测量证实了 S 气氛辉光放电法处理的 GaAs 样品确实有稳定的钝化效果. 而 AES 及 XPS 测量也表明了 S 气氛辉光放电法的确可以长出比较厚的 GaS 薄膜.

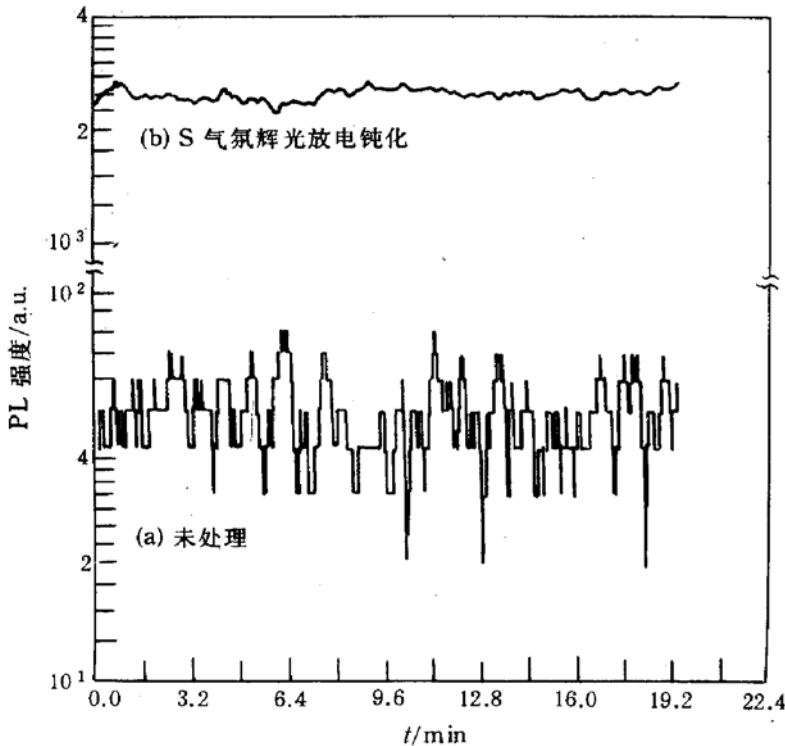


图2 GaAs 光致发光谱(PL)强度随时间的变化关系  
(a)未处理, (b)辉光放电 S 钝化处理.

### 3.2 钝化效果的比较

PL 谱作为一种检测 GaAs 表面钝化效果的有效手段,我们测量了钝化样品以及未经钝化样品的 PL 谱强度及其随时间的变化,如图 2 所示.从图 2 中可以看出,钝化样品的 PL 强度比未钝化的 GaAs 表面大近两个数量级,且它的强度在测量的时间范围内(24 分钟),不随时间衰减.用常规 S 钝化的样品,其 PL 强度在激光照射下却很快地衰减<sup>[7]</sup>.这说明了等离子体 S 钝化 GaAs,有很好的钝化效果,并且稳定.

### 3.3 钝化表面的化学成分

表面元素成分由 AES 谱给出(见图 3).从这张谱图可以看到在钝化后的表面有 Ga、S、C

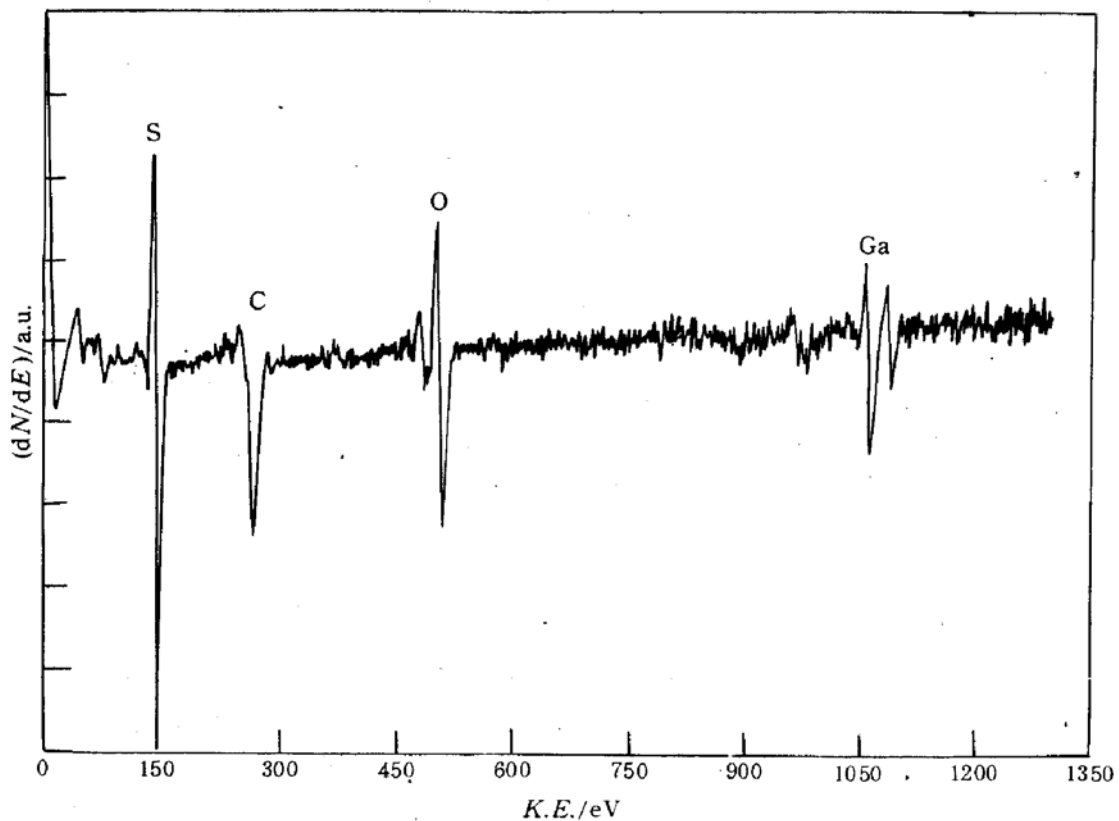


图3 辉光放电 S 钝化处理的 GaAs 表面的 AES 谱

和 O,而没有 As. 碳,氧信号主要来自于大气条件下存放引入的碳,氧沾污.这说明 GaAs 表

面形成了一层 GaS 薄膜. 根据 Ar 刻时间估算, 膜厚约为  $10^2\text{nm}$ .

### 3.4 钝化表面的化学环境

由于 XPS 观察不到 As 信号, 我们只对 XPS 探测到的 Ga2p 芯能级进行了曲线拟合处理, 结果如图 4. 由于生长的 GaS 层比较厚, 谱中没有观察到 Ga 与 As 成键的价态峰 (见图 4(a)). 经曲线拟合解出的两个峰, 其相对化学位移是  $1.38\text{eV}$ , 它们可能对应于 Ga 的两种硫化态. Ar 刻至 GaS/GaAs 界面附近的 XPS 谱如图 4(b) 所示, 经曲线拟合解出三个峰, 其中结合能低的峰为 Ga-As 价态, 另两个高结合能峰的相对化学位移分别是  $1.57\text{eV}$  和  $2.91\text{eV}$ . 由于高结合能的两个峰之间的化学位移为  $1.34\text{eV}$ , 与未 Ar 刻的两个峰的相对位移基本一致.  $2.91\text{eV}$  位移峰与以前阳极硫化方法<sup>[2]</sup>中的硫化态峰的化学位移完全一致.  $1.57\text{eV}$  位移峰与阳极硫化中硫化态峰的化学位移  $1.3\text{eV}$  有差异, 可能是由于辉光放电法的样品处理温度 ( $400^\circ\text{C}$ ) 与阳极硫化法的处理温度 (室温) 不同所致, 因而使 Ga 原子周围的化学环境也有所不同.

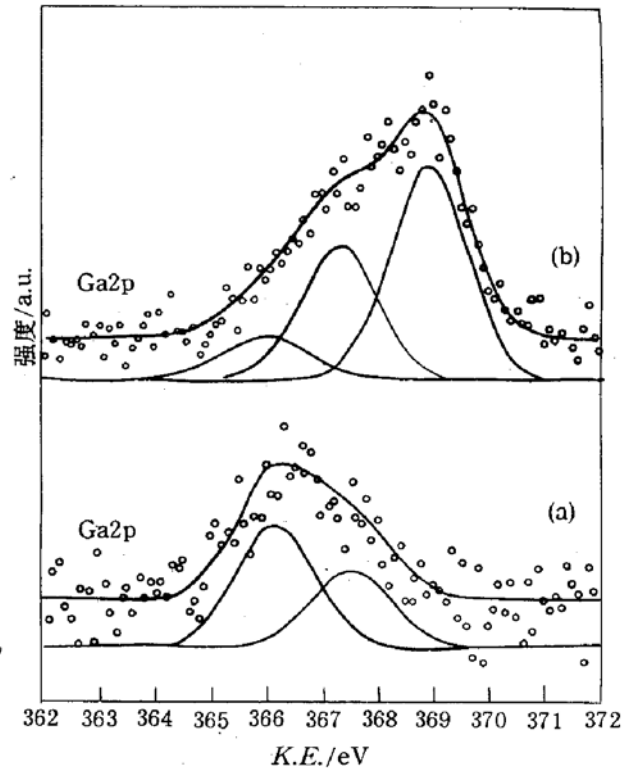


图 4 GaAs 的 XPS 谱

(a) 辉光放电 S 钝化处理的样品, (b) Ar 刻后的样品.

## 4 结论

在 GaAs 的硫钝化处理方法中, 辉光放电的等离子体硫钝化有设备简单、易控制以及单质硫无毒等优越性. 且由于等离子体具有很好的活泼性, 通过控制其钝化温度、放电电流等参数, 就可在 GaAs 表面上形成具有良好钝化效果且稳定的 GaS 薄膜. 关于 GaAs 表面上 GaS 薄膜性质以及在器件方面应用的研究正在进行之中.

**致谢** 实验中得到了王迅教授的指导, 并与王季陶教授进行了有益的讨论.

## 参 考 文 献

- [1] C. J. Sandroff, R. N. Nottenberg, J. C. Bishoff and R. Bhat, *Appl. Phys. Lett.*, 1987, **51**:33.
- [2] X. Y. Hou, W. Z. Cai, Z. Q. He, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 1992, **60**:2252.
- [3] A. N. MacInnes, M. B. Power and A. R. Barron, *Appl. Phys. Lett.*, 1993, **62**:711.
- [4] J. E. Baer and M. Carmack, *J. Am. Chem. Soc.*, 1945 **71**:1215.
- [5] H. Hirayama and Y. Matsumoto, *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **54**:2565.

- [ 6 ] H. Sugahara, M. Oshima and Ruth Klauser, *Surf. Sci.*, 1991, **242**:335.  
[ 7 ] M. Oshima, T. Scimeca, Y. Watanabe, *et al.*, *Extended Abstracts of the 22th International Conference on Solid State Devices and Materials*, 1992, 545.

## Newly Developed Passivation Technique of GaAs Surfaces

Chen Xiyang, Cao Hua, Xu Qianjiang, Wang Jie, Zhu Wei, Cao Xianan,  
Zhang Fulong, Ding Xunmin and Hou Xiaoyuan

(*Surface Physics Laboratory and Fudan, T. D. Lee Physics Laboratory, Fudan University, Shanghai 200433*)

Lu Ming

(*Vacuum Physics Laboratory, Fudan University, Shanghai 200433*)

Received 28 January 1995, revised manuscript received 12 April 1995

**Abstract** A novel sulfur passivation technique, sulfur glow discharge plasma passivation, has been developed. By using this technique, a thick GaS layer was formed on GaAs surface. Photoluminescence measurements show that GaS is a very stable passivating layer.

**PACC:** 6820, 7280E, 7320