

Ag 与 p-InP 的肖特基势垒特性

李晋闽* 郭里辉 张工力 侯 洵

(中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安, 710068)

1991年5月31日收到, 91年8月31日修改定稿

本文对 Ag 与 p-InP 所形成的肖特基势垒进行了研究。通过在不同的表面热清洁温度下, 对 p-InP 表面进行的 AES 分析, 得到其表面清洁的最佳条件为 480℃, 20 分钟。在超高真空系统内(真空度为 2.66×10^{-7} Pa), 根据热清洁条件对半导体表面进行热清洁后, 可获得接近理想状态的清洁表面。在该清洁表面上制备出 p-InP 的肖特基势垒高度和理想因子分别为 0.73 eV 和 1.09。另外本文还对肖特基结经不同温度及时间热处理后结特性的退化进行了研究。

EEACC: 2520D, 2530D

一、引 言

金属与 p-InP 所形成的肖特基势垒在半导体光电子学中具有较广泛的应用。例如: 在光电成像器件中应用的场助红外半导体光电阴极, 通过肖特基势垒接触在表面区形成的耗尽场, 可将象管的长波响应阈值延伸到 $2.1 \mu\text{m}^{[1]}$, 并大大提高阈值附近的光谱灵敏度, 使场助半导体光电阴极成为在红外波段最成功的光电发射体^[2-3]。在此之前, 曾有许多文献对金属与 n 型 III-V 族化合物半导体(如 n-GaAs、n-InP) 的肖特基势垒接触进行过相当广泛的研究^[4-5], 但是对金属与 p 型化合物半导体肖特基势垒接触的研究相对较少。为此本文在超高真空中 (2.66×10^{-7} Pa), 对蒸发制备的 Ag/p-InP 的肖特基势垒特性进行了研究。通过在超高真空中, 对 p-InP 表面进行临界温度下的热清洁, 可获得令人满意的肖特基势垒特性。文中还对表面清洁状态对肖特基势垒高度及理想因子的影响, 肖特基势垒的电流-电压特性以及高温热退化等进行了研究。

二、实验方法

肖特基势垒是在由溅射离子泵组成的不锈钢超高真空系统中用蒸发的方法制备的, 系统真空度为 2.66×10^{-7} Pa。实验中所用的样品为 p-InP 衬底(掺杂浓度为 $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) 的 (100) 晶面上液相外延生长的 p-InP, 掺杂浓度为 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 。样品表面及蒸发源(纯度为 6 个 9 的银丝)经严格的预清洁处理后, 放入超高真空系统内, 待达到所要

* 现在中国科学院半导体研究所工作, 通信地址: 北京 912 信箱, 100083。

求的真空度时,通过放置在样品基座中的热子,对样品表面进行间接加热的热清洁处理,以获得接近原子级清洁的表面。在样品表面,用钼片作掩膜,蒸发一层厚度约 100 nm 的银膜,图形直径为 0.8 μm 。为了提高银在样品表面的粘附性,蒸发期间样品的温度控制在 80°C。样品背面用蒸发一层 Au-Zn (含 10% Zn) 合金并经 450°C, 5 分钟合金化形成欧姆接触。

三、结果分析及讨论

1. 样品表面的热清洁

p-InP 外延片的表面在制备肖特基势垒接触之前,总会引入由杂质吸附所造成的表面态以及大约几十 Å 厚的氧化层。这一氧化层及表面杂质沾污的厚度和具体性质,取决于外延片前期暴露大气时间的长短及表面处理的具体方法。根据我们对 p-InP 表面所做的 Auger 能谱和二次离子质谱 (SIMS) 分析,对 p-InP 表面的 C、O、Cl、S 以及其它微量金属杂质的沾污还是比较严重的。图 1 和图 2 分别为 InP 表面 Auger 能谱和 SIMS 的分析结果。使用的分析设备为英国 VG 公司的 ESCALAB MK-II 型 Auger 能谱仪。要在这种受到沾污的表面上,获得较理想的肖特基特性几乎是不可能的。

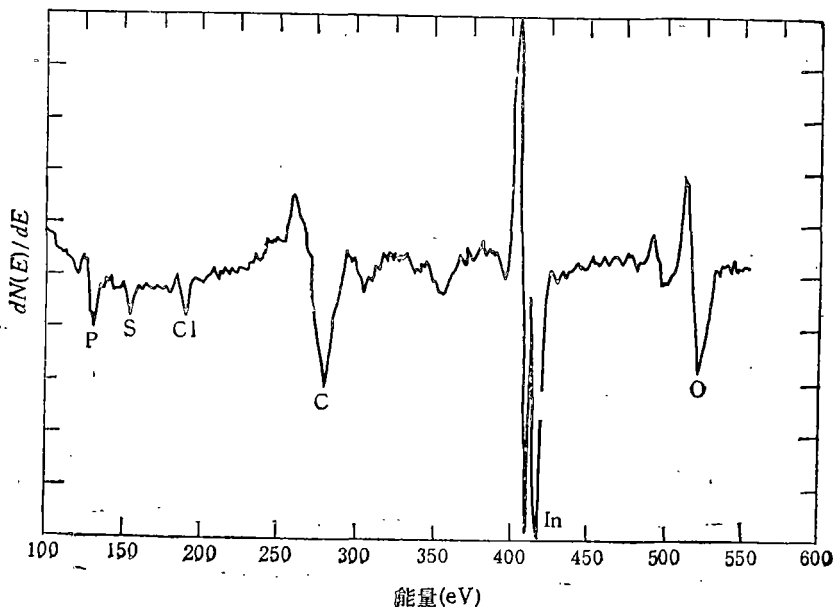


图1 InP 表面的 Auger 能谱

根据实验,仅靠超高真空系统中的热清洁处理很难达到较理想的原子清洁表面。因此在将样品放入系统之前,我们首先对其表面进行化学腐蚀的预清洁处理 ($\text{HCl}:\text{H}_2\text{O} = 1:4$)。图 3 是经过预清洁处理后 InP 的 Auger 能谱。图中结果表明,其表面的 S、Cl、O 峰都基本消失, C 峰也明显减小;其它微量杂质也减小到 SIMS 的探测极限之下。尽管预处理后的样品表面在装入系统前仍有可能受到各种污染源的沾污,但由于样品表面受

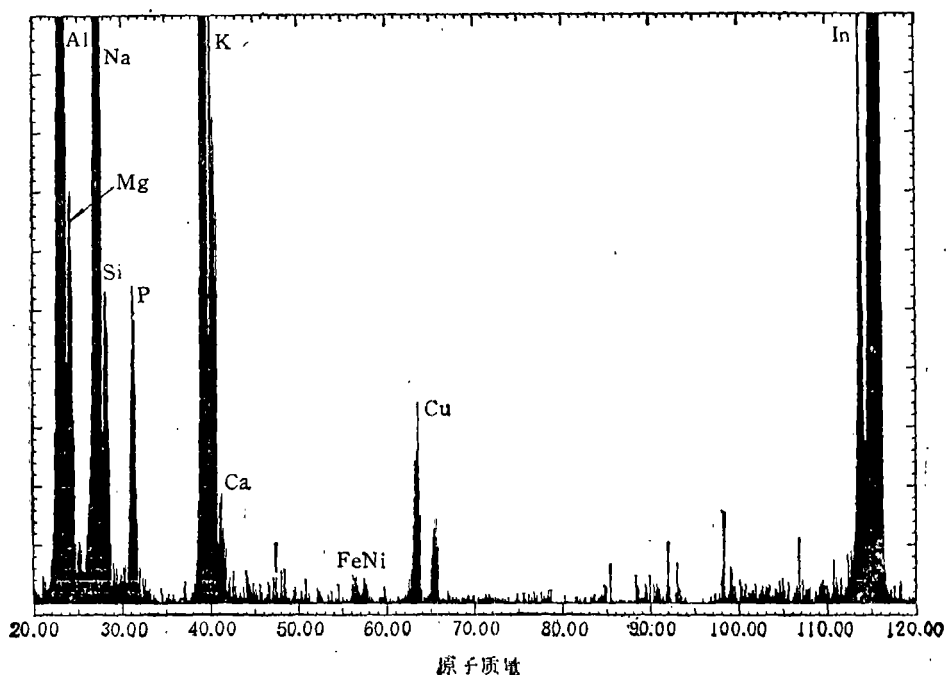


图2 InP 表面的 SIMS 结果

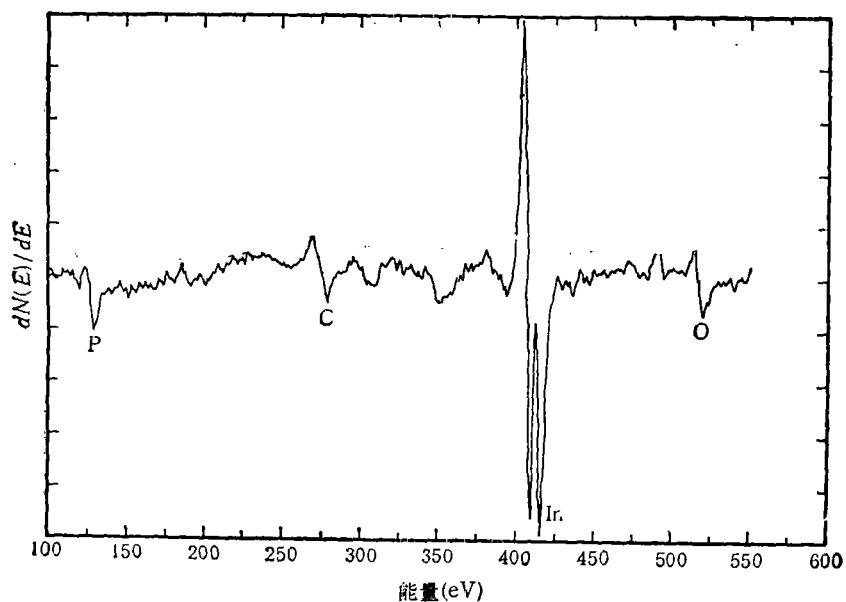


图3 预处理后的 InP 表面的 Auger 能谱

到二次沾污的时间极短,且主要是大气中的易挥发物质,因此通过工艺上采取一些措施,可使二次沾污减小到最低限度,为进一步在超高真空系统中通过热清洁获得原子清洁的表面奠定了基础。

由于样品表面中 P 组分的蒸气压较高,在远低于共熔温度下即发生明显的热分解,引起表面损伤及组分失配^[6]。因此在真空系统中要严格控制热清洁温度及时间,否则温度低时清洁不彻底,反之则会引起表面损伤,造成结特性大大偏离理想状态。为了确定最佳的热清洁条件,我们利用 Auger 能谱仪中的加热装置,模拟热清洁条件,对加热后的样品

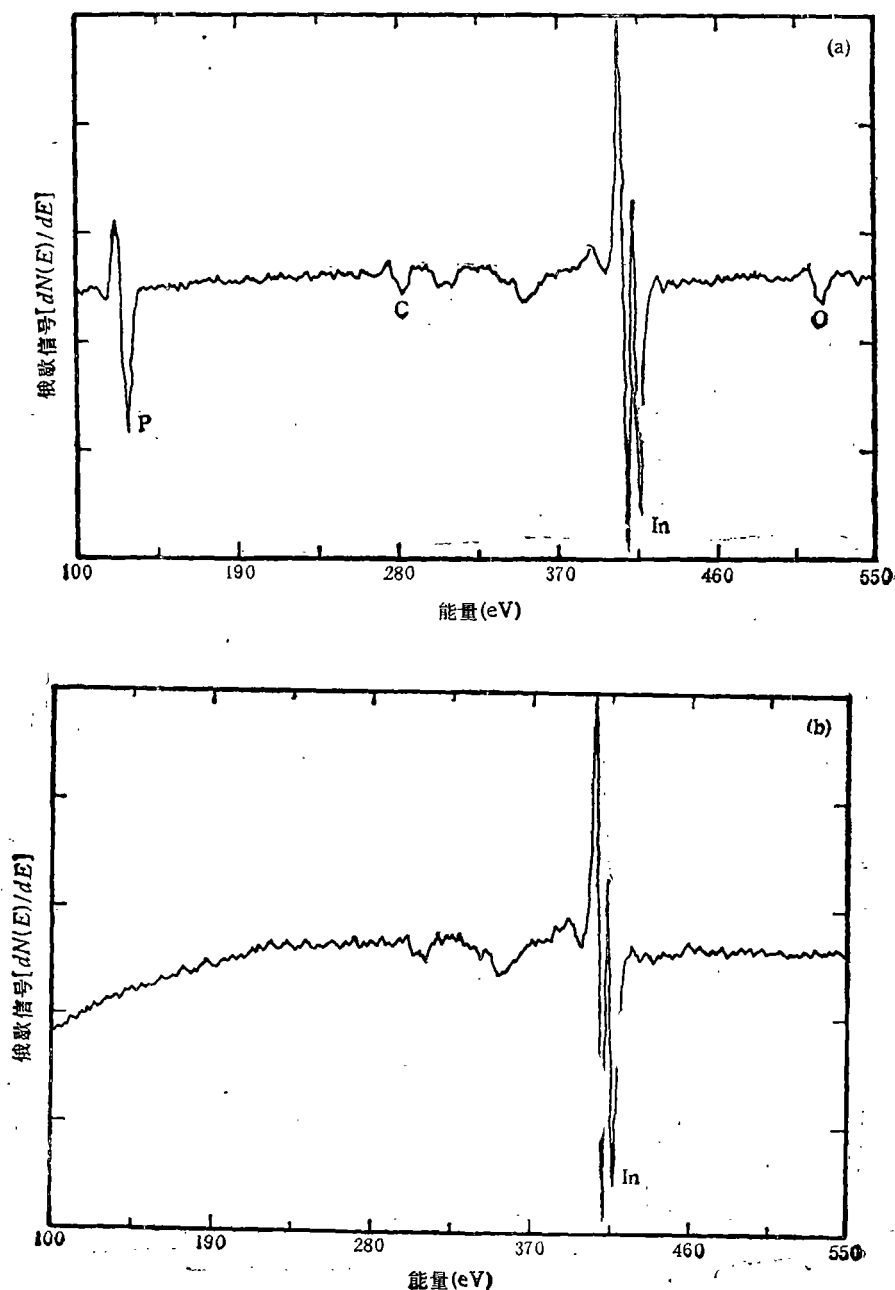


图4 热清洁后 InP 表面的 AES
(a) 450°C, 20 分钟, (b) 490°C, 20 分钟

进行原位 Auger 分析,以确定表面分解的临界温度。在 Auger 系统内,样品加热前的 InP 表面 Auger 能谱与图 3 相似。分析结果表明,在温度低于 350℃ 时,InP 表面各种成份无明显变化。在 450℃ 加热 20 分钟后,氧峰和碳峰明显减小;在 490℃ 时,InP 表面开始分解,氧峰和碳峰随着磷峰的减小而减小,加热 20 分钟后,随着磷的挥发,碳和氧基本消失,分析结果如图 4 所示。为了在不损伤表面的前提下获得清洁表面,根据以上分析及我们的实验结果,InP 表面清洁温度精确地控制在 480℃,清洁时间为 20 分钟。

2. 肖特基势垒高度及理想因子

经表面热清洁后所制备的肖特基势垒,采用电流-电压法测得的势垒高度和理想因子均获得了较好的结果。在我们的实验中,得到的肖特基势垒高度和理想因子的最佳值分别为 0.73 eV 和 1.09,与文献[7]中报道的 0.76 eV 和 1.04 的最佳值相比,十分接近。而该文献中所制备的肖特基势垒是在 2.66×10^{-8} Pa 的超高真空中,解理 p-InP 并在解理面上原位蒸发银得到的,因此可认为其界面是接近原子级清洁的理想表面。据此说明我们的热清洁工艺及所制备的肖特基势垒均较理想。而未经表面热清洁处理的肖特基结理想因子为 2.12,势垒高度为 0.47 eV。但必须注意的是,采用 $I-V$ 关系求 ϕ_B 的方法仅当 $n < 2$ 时才是可靠的^[4],因此在这里所得到的势垒高度仅是一个参考值。

3. 肖特基势垒的热退化

由于我们研究的 P 型肖特基势垒是用于红外波段成像器件中的场助阴极,因此针对后序工艺中不可避免的高温过程,对肖特基势垒特性的热退化机理进行了分析和测试。图 5 是 Ag/p-InP 经不同温度热处理(时间为 20 分钟)后的理想因子与势垒高度的关系曲线。由图中可见,在室温时理想因子和势垒高度分别为 1.10 和 0.72 eV;当温度为 500℃ 时, n 和 ϕ_B 分别为 1.52 和 0.66 eV;而当温度高于 500℃ 以上时, n 值随温度增加而变化很大,肖特基势垒的退化较为严重。因此在后序工艺中,对外延片表面进行温度低于 450℃ 的短时间高温过程,不会引起结特性的显著退化。

为了研究结特性退化的机理,我们用 AES 对热处理前后肖特基结界面的组分纵向分布进行了分析,如图 6 所示。如果取 Ag 和 P 的比例相等处作为结的界面,由图中可看出,未经处理的样品,在 Auger 溅射中,需经 23.1 分钟可剥离到界面;而经过 550℃,20 分钟热处理后的样品,剥离到界面需 21.1 分钟。以上结果说明高温处理后使界面向表面处移动,并且实验证明移动的距离随温度升高而增加。从 AES 纵向组分分布曲线来看,虽然界面过渡区比较宽,但热处理前后变化并不明显。因此造成肖特基势垒高温热退化的原因可能是由于界面向表

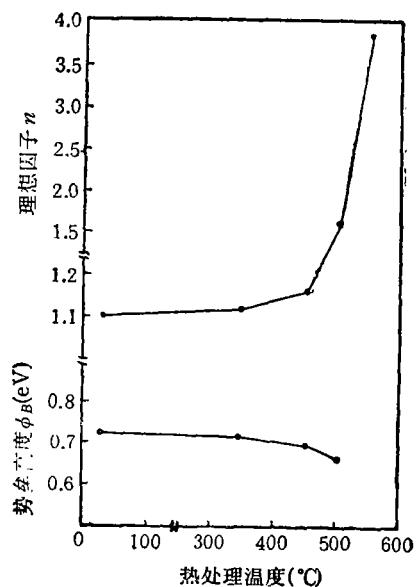


图 5 理想因子与势垒高度在不同温度下处理后的关系曲线

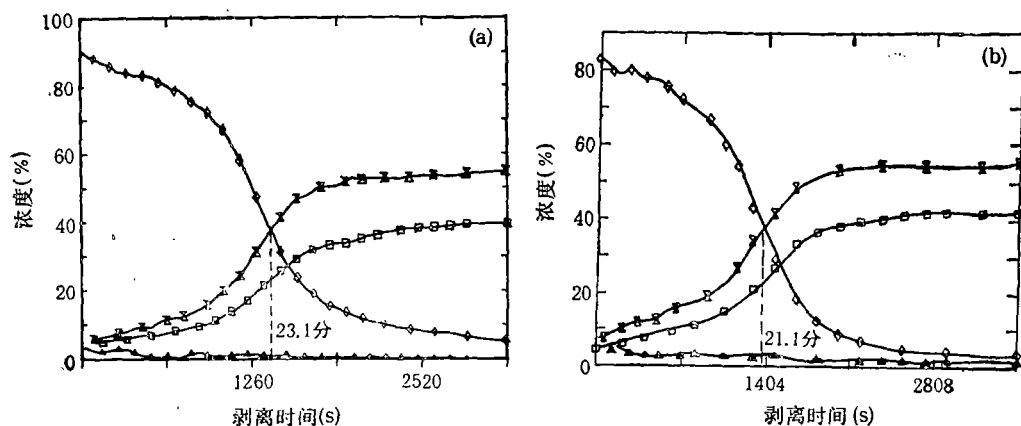


图6 热处理前后组分纵向分布的 AES

(a) $T = 25^{\circ}\text{C}$; (b) $T = 550^{\circ}\text{C}$, 20 分钟;图中: $\diamond$ —Ag, $\square$ —In, $\triangle$ —O, $\times$ —P

面的移动所致。根据以上结果,我们认为 Ag、In 和 P 的互扩散,特别是 In 和 P 向表面的扩散,使金-半导体接触的界面处形成一个 Ag 与 In、P 的混合区域,从而影响了肖特基势垒的整流特性。详细的热退化机理还有待进一步的深入研究。

四、结 论

根据本文的结果,肖特基结特性的优劣取决于半导体表面的清洁与否。经过表面预清洁及超高真空系统中的热清洁处理,可获得接近理想状态的清洁表面和良好的肖特基势垒。对于 p-InP 其最佳热清洁温度为 480°C , 时间为 20 分钟。根据最佳热清洁条件,得到了 Ag/p-InP 肖特基结理想因子和势垒高度的最佳值为 1.09 和 0.73 eV。对肖特基结热退化机理的研究表明,当热处理温度低于 450°C 时,不会引起结特性的显著退化,但在后序工艺中仍需尽量避免高温、长时间的热处理过程。

参 考 文 献

- [1] P. E. Gregory, J. S. Escher, R. R. Saxena and S. B. Hyder, *Appl. Phys. Lett.*, **36**, 639(1980).
- [2] J. S. Escher, R. L. Bell, P. E. Gregory, S. B. Hyder, T. J. Maloney and G. A. Antypas, *IEEE Trans. Electron. Devices*, **ED-27**, 1244 (1980).
- [3] J. S. Escher, P. E. Gregory, S. B. Hyder, R. R. Saxena and R. L. Bell, *IEEE Electron. Devices Lett.*, **EDL-2**, 123 (1981).
- [4] E. H. Rhoderik, "Metal-Semiconductor Contact", Clarendon Press (1978).
- [5] N. Uchitomi, M. Nagaoka, K. Shimada, T. Mizoguchi and N. Toyoda, *J. Vac. Sci. Technol.*, **B4**(6), 1392(1986).
- [6] K. Pak, T. Nishinaga and S. Uchiyama, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **14**, 1631(1975).
- [7] N. Newman, M. van Schilfgaarde and W. E. Spicer, *Phys. Rev.* **B35**, 6298(1987).

Schottky-Barrier Properties of Ag on p-InP

Li Jinmin, Guo Lihui, Zhang Gongli and Hou Xun

(Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Academia Sinica, 710068)

Abstract

The Schottky-barrier formed by Ag on p-InP has been studied. According to the investigations of Auger energy spectra on the surfaces of p-InP under the different temperatures of heat cleaning, the optimum conditions of surface cleaning are 480°C and 20 minutes, respectively. In ultrahigh vacuum system (2.66×10^{-7} Pa), almost ideal surfaces are achieved after heat cleaning of the semiconductor surfaces on the basis of the conditions. The ideality factor and barrier height of Schottky junction formed on the surfaces of p-InP are 0.73 eV and 1.09, respectively. The degradation of the Schottky-barrier properties treated at different temperatures and time have also been studied.

EEACC: 2520D, 2530D