

# $p$ -InP/TiPdAu 体系的冶金 行为和电学特性\*

张桂成 水海龙

(中国科学院上海冶金研究所)

**(一) 引言** 近年来 InP 在光电和微波器件中的应用已引起广泛重视。对 InP 的欧姆接触和肖特基势垒已有报道,这些结果表明,  $\phi_{Bp}$  较  $\phi_{Bn}$  大<sup>[1,2]</sup>,  $n$ -InP 的比接触电阻较  $p$ -InP 的低<sup>[3]</sup>。以 InP 为衬底的多层结构器件中,表面层有时是  $p$ -InP, 因此研究  $p$ -InP 与接触金属界面上的冶金行为和电学特性,对改善器件参数和提高器件的可靠性有实际意义。对  $p$ -InP 与接触金属 Pd<sup>[2]</sup>, Mg/Ag<sup>[2]</sup>, Au-Zn<sup>[3]</sup>, Mg/Au<sup>[4]</sup>, Pd/Ag<sup>[5]</sup> 的界面特性,已有用俄歇电子能谱 (AES) 和电子探针 (EP) 进行的研究结果。

在发光器件制备中对于  $p$ -InP, 接触金属较多采用 Au-Zn 合金。但 Au-Zn 与 SiO<sub>2</sub> 绝缘膜的粘附性差,易剥落; Au 又会向 InP 中扩散<sup>[3,6]</sup>,而影响器件的可靠性<sup>[7]</sup>。我们采用 Ti/Pd/Au 体系作接触金属,获得了较低的比接触电阻和较好的粘附性<sup>[8]</sup>。

本文用 AES, 扫描电镜 (SEM) 和测量接触电阻等方法,研究了  $p$ -InP/TiPdAu 界面上的冶金行为和电学特性。Ti/Pd/Au 接触层已在 InGaAsP/InP 双异质结发光管中应用,结果表明,电学特性和热稳定性都较好。

**(二) 实验方法** 在抛光的高阻 InP(100) 单晶片上,经 Zn 扩散形成  $p$ -InP。然后在三靶高频溅射仪内,衬底不加热条件下,分别溅射 500 Å Ti 层, 3000 Å Pd 层和 3000 Å Au 层。再在 H<sub>2</sub> 中热处理后,用多功能电子能谱仪作 AES 分析,并在 Ar 离子剥离的同时测量组成随深度的变化关系。用 SEM 观察热处理后样品的表面形貌。用四探针测量接触电阻。用液相外延技术生长  $n$ -InP/InGaAsP/ $p$ -InP 外延片。以 SiO<sub>2</sub> 膜作绝缘层,光刻出直径为 50 μm 的窗口。以 Ti/Pd/Au 作  $p$  面电极,制成面发光型发光管<sup>[9]</sup>,并研究了管子的电学特性、退化特性<sup>[10]</sup>和电极的热稳定性。

## **(三) 结果和讨论**

**(1) 热处理温度对 Au 与 InP 互扩散的影响** 图 1(a)、(b)、(c) 是  $p$ -InP/TiPdAu 未经热处理和 180°、450°C 热处理后样品的组成随深度变化的关系曲线。从图可见,热处理前  $p$ -InP/TiPdAu 界面各组份的层次分布清晰。这是由于溅射过程中衬底未加热,所用金属与  $p$ -InP 之间未发生明显的互扩散。而图 1(b)、(c) 与图 1(a) 相比则有明显差别。热处理后 Au 的内扩散和 In, P 的外扩散较为明显。这是因为 Au 与 In 在 100°C 即可发生作用<sup>[7]</sup>,生成 In-Au 化合物;热处理温度增高后,这一作用就更为明显的缘故。

\* 1982 年 2 月 13 日收到。

1983 年 4 月 18 日修改定稿。

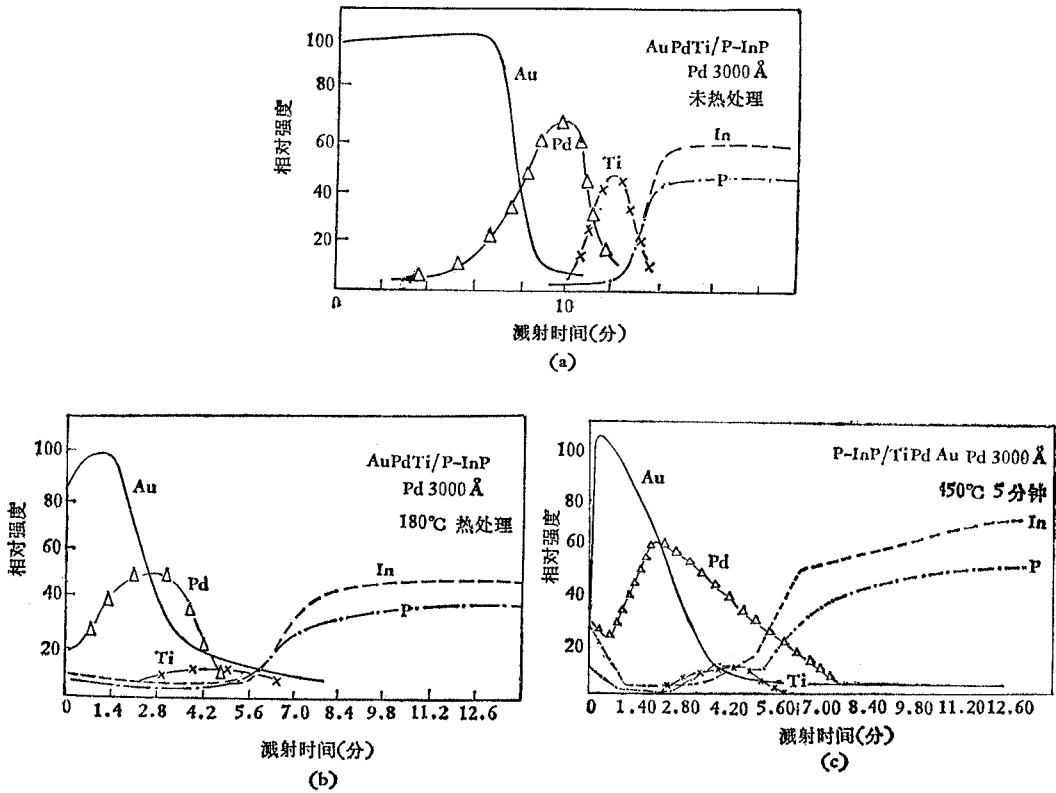


图1 *p*-InP/TiPdAu 的组成与深度的变化关系

Fig. 1 Depth-composition profile of *p*-InP/TiPdAu (a) Before heat treatment (b) After heat treatment at 180°C (c) After heat treatment at 450°C

(2) Pd层厚度对互扩散的影响 研究了Pd层厚分别为1000 Å和3000 Å并在450°C热处理后 *p*-InP/TiPdAu 界面的组成随深度的变化关系,结果如图1(c)和图2所示. 比较图1(c)和图2可见,Pd层厚从3000 Å减薄到1000 Å,Au的内扩散和In、P的外扩散就更为明显. 这表明500 Å厚的Ti层3000 Å厚的Pd层(图1(c)),对Au的内扩散有一定的阻挡作用.

(3) ESCA分析热处理后 *p*-InP/TiPdAu 的表面 用化学分析用电子能谱(ESCA)分析了热处理后 *p*-InP/TiPdAu 的表面.如图3所示,在表面层有In,P和Au.

(4) SEM表面形貌观察 用SEM观察了不同热处理条件下, *p*-InP/TiPdAu 的表面形貌,结果如图4所示.从图4可见,热处理前表面光滑呈细晶粒状.热处理后表面变得粗糙,随热处理温度的增高,逐渐产生缩球现象.在450°C表面变得平滑光洁.

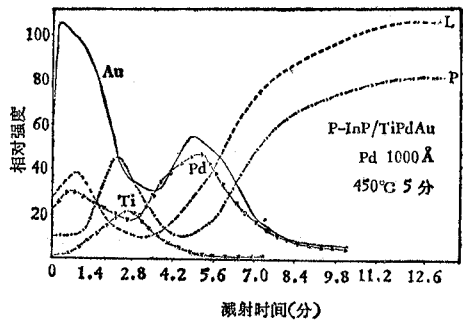


图2 450°C热处理后 *p*-InP/TiPdAu 的组成与深度的变化 (Pd厚1000 Å)

Fig. 2 Depth-composition profile of *p*-InP/TiPdAu after heat-treatment at 450°C (Pd 1000 Å)

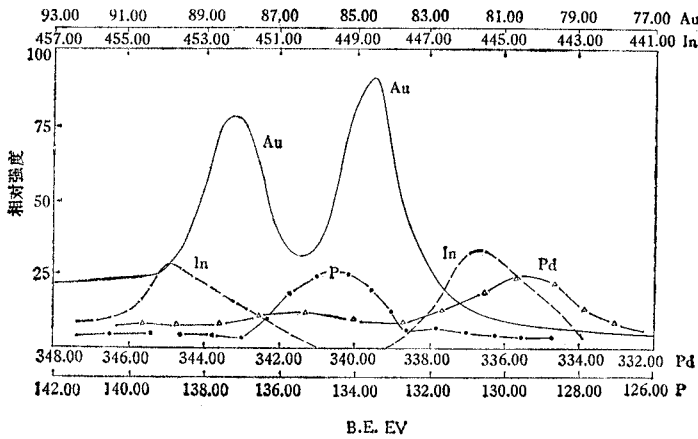


图 3 *p*-InP/TiPdAu 在 450°C 热处理后表面层的 ESCA 谱

Fig. 3 ESCA spectrum of *p*-InP/TiPdAu surface layer after heat-treatment at 450°C

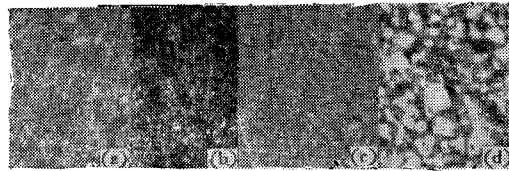


图 4 *p*-InP/TiPdAu 的表面形貌

Fig. 4 Surface morphology of *p*-InP/TiPdAu (a) as deposited (b) after heat-treatment at 180°C (c) after heat-treatment at 450°C (d) after heat-treatment at 500°C

(5) *p*-InP/TiPdAu 的比接触电阻与合金化温度的关系 图 5 是 *p*-InP/TiPdAu 的比接触电阻与合金化温度的关系。从图 5 可见，在 450°C 比接触电阻较低，( $\sim 5 \times 10^{-3} \Omega\text{-cm}^2$ )，高于 450°C 和低于 450°C，比接触电阻都变大，这与文献 [8] 的结果相符。

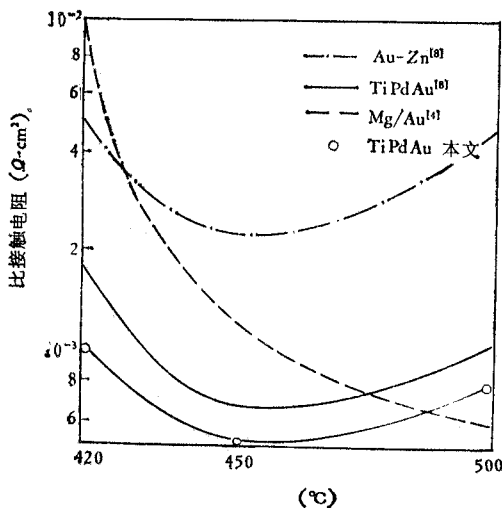


图 5 比接触电阻与热处理温度关系

Fig. 5 Specific contact resistance as a function of heat-treatment temperature

(6) *p*-InP/TiPdAu 电极的稳定性及其应用 用 Ti/Pd/Au 作 *p* 面电极制成 InGaAsP/InP 双异质结发光管，串联电阻  $R_s$  为 1—4Ω。管子在大气中，大电流密度下 ( $5\text{kA/cm}^2$ ) 老化，其电学参数  $R_s$ ，正向压降  $V$  等在长时间老化过程中未发生变化，表明该电极有较好的热稳定性。这主要是由于 Ti、Pd 层对 Au 的内扩散和 In、P 的外扩散有一定的阻挡作用。Ti 与  $\text{SiO}_2$  膜的粘附性好也是提高器件可靠性的原因之一。

(四) 结束语

(1) 用 AES、ESCA、SEM 等方法研究

了  $p$ -InP/TiPdAu 界面的互扩散现象. 比较了热处理温度, Pd 层厚度对 Au、In 和 P 互扩散的影响. 互扩散作用随热处理温度的增高和 Pd 层厚度的减薄而加剧.

(2) 在 450°C 的合金化温度下, 3000 Å 的 Pd 层、500 Å 的 Ti 层对 Au、In 等的互扩散有一定的阻挡作用, 并对应有较低的比接触电阻和较光洁的表面形貌. 这表明互扩散程度, 电学参数和表面形貌之间有着内在联系和依赖关系.

(3)  $p$ -InP/TiPdAu 电极有较好的热稳定性, 在大电流密度下长时间老化, 器件的电学参数未发生变化.

本文 AES 测试由上海市测试研究所俞志中同志承担、程宗权和翟礼锦同志参加部分工作, 在此一并表示感谢.

### 参 考 文 献

- [1] E. H. Ökelek et al., *Solid-state Electronics*, **24**(1981), 99.
- [2] G. Y. Robinson, *Thin solid films*, **72**(1980), 129.
- [3] E. Kuphal, *Solid-state Electronics*, **24**(1981), 69.
- [4] L. P. Erickson, *Thin Solid Films*, **64**(1979), 421.
- [5] C. J. Jones et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **12**(1979), 941.
- [6] H. C. Casey, *J. Appl. Phys.*, **51**(1980), 2933.
- [7] K. Fujiwara, *Appl. Phys. Lett.*, **35**(1979), 861.
- [8] 水海龙等, 半导体光电, 1981年, 第2期, 第192页.
- [9] 水海龙等, 电子学通讯, **4**(1982), 286.
- [10] 张桂成等, 发光与显示, **2**(1982), 65.

## METALLURGICAL AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF $p$ -InP/TiPdAu SYSTEMS

Zhang Guicheng Shui Hailong

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

The interdiffusion of  $p$ -InP/TiPdAu at interface has been investigated by Auger electron spectroscopy (AES). The surface morphology of heat treatment samples are observed. The specific contact resistance as a function of heat treatment temperatures for the  $p$ -InP/TiPdAu systems is also given.

It is found that the interdiffusion of Au, In, P occurs during the heat treatment of  $p$ -InP/TiPdAu. The Pd layer as a diffusion barrier plays an important role. The interdiffusion, morphology and specific contact resistance for heat treatment samples of  $p$ -InP/TiPdAu have interconnection and strong dependence on each other.

The TiPdAu layers are used as  $p$ -electrodes for InGaAsP/InP double heterojunction light emitting diodes. The  $p$ -electrode has good stability.