

p -InP 与 Au-Zn、Ti/Au、Pd/Au 和 Ti/Pd/Au 接触时的界面性质 和电学特性*

张桂成 程宗权 俞志中

(中国科学院上海冶金研究所) (上海测试技术研究所)

提 要

本文用俄歇电子能谱和扫描电子显微镜等方法研究了 p -InP 与 Au-Zn, Ti/Au, Pd/Au 和 Ti/Pd/Au 接触在热处理过程中的互扩散现象. 结果表明: Au 较 Ti, Pd 易向 p -InP 内扩散. 研究了 p -InP/Au-Zn 体系的合金化条件对比接触电阻 (ρ_c) 的影响. 在 450°C 热处理 1—2 min 或在 350°C 热处理 30 min, 均可得到较低的比接触电阻. 这表明界面处的互扩散“程度”是决定比接触电阻的重要因素. Au-Zn 合金在蒸发和热处理的过程中, Zn 趋向于“凝集”在最表面层, 而不能充分发挥它在 InP 中的受主作用, 这是该体系的 ρ_c 值偏高的原因之一.

一、引 言

InP 是光电和微波器件的重要材料, 由它制成的器件的特性表明: $\phi_{BP} > \phi_{Bn}^{[1]}$, $\rho_{cp} > \rho_{cn}^{[2]}$. ϕ_{BP} 、 ϕ_{Bn} 和 ρ_{cp} 、 ρ_{cn} 分别是 p -InP 和 n -InP 的势垒高度和比接触电阻. 因此研究 p -InP 与各种金属的接触性质和电学性质, 对提高器件的电学参数和性能有着实际的意义.

曾有人研究了 p -InP 与 Au/Be^[3,4], TiAuZn^[5], Mg/Au^[6], InAuZn^[2], AuZnAu^[7], Au/Zn 和 Ti/Pd/Au^[5] 等接触时的特性. 本文用俄歇电子能谱 (AES) 和扫描电子显微镜 (SEM) 等方法研究了 p -InP/Au-Zn 等的接触性质和热处理后的表面形貌; 用四探针法测量了不同合金条件下的电学特性. 讨论了 p -InP 与接触金属界面的互扩散“程度”对电学特性的影响.

二、实验方法

样品是用高压炉拉制的掺 Zn 浓度为 $2-3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的 p -InP 单晶作衬底, 经机械刨光, 并用有机试剂清洗后, 放在三靶式溅射仪中, 在其上分别溅射 Ti \sim 500 Å, Pd \sim

* 1984年7月10日收到, 1984年10月4日修改定稿.

3000 Å, Au~3000 Å 制成的。然后把样品放在纯氮中,用快速加热和快速冷却方法,在 450°C 进行热处理。处理后,用 PHI 550 型多功能电子能谱仪作 AES 分析,并结合 Ar⁺ 离子轰击刻蚀技术,获取热处理前后样品的组成金属随深度的分布曲线;用 SEM 观察样品接触界面的表面形貌;用四探针法测量不同合金条件下的接触电阻。

三、实验结果

1. p-InP 与 Au-Zn, Ti/Au, Pd/Au, Ti/Pd/Au 等金属的界面接触

图 1—图 4 是 p-InP 与 Au-Zn, Ti/Au, Pd/Au 和 Ti/Pd/Au 等金属接触界面在 450°C 热处理 5 min 前后样品的组成元素随深度变化的情况。从图可见:(1) 同种接触金属体系,热处理前后对应接触处的组成元素分布情况发生了明显的变化。热处理后,发

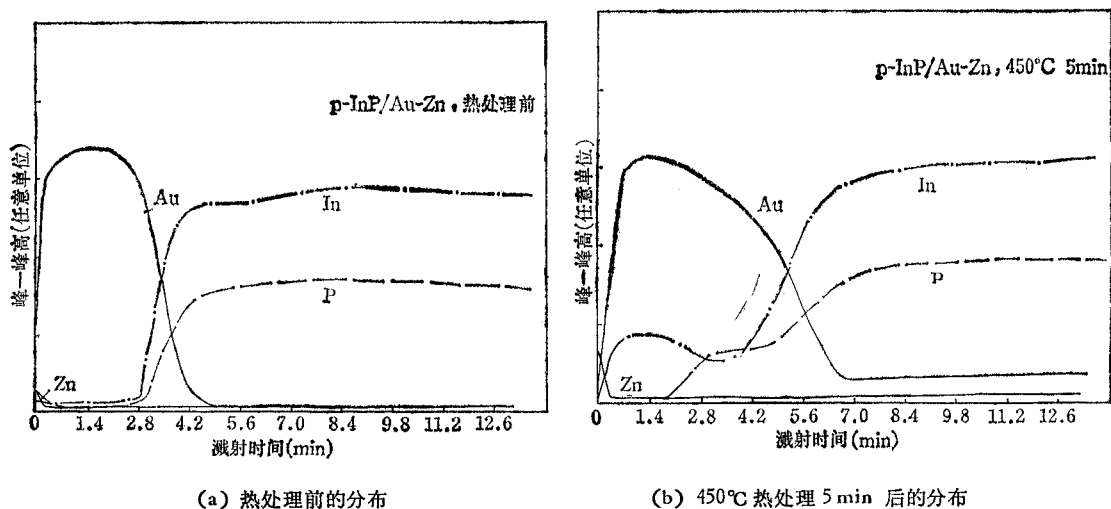


图 1 p-InP/Au-Zn 体系的俄歇分布曲线

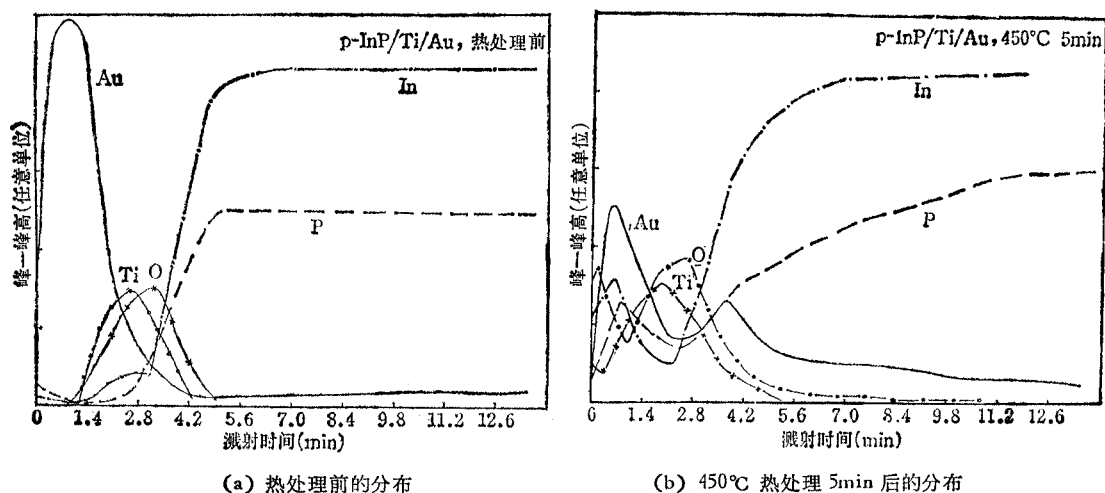
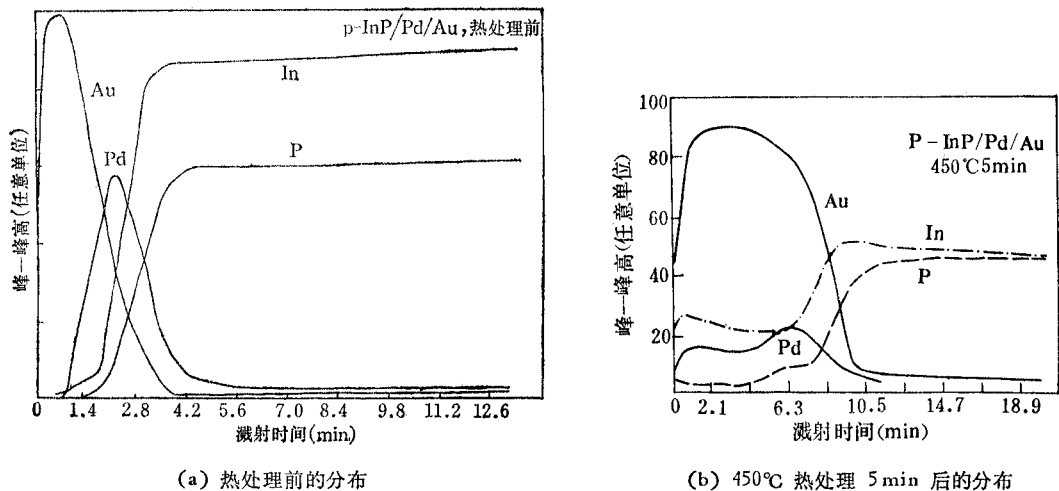
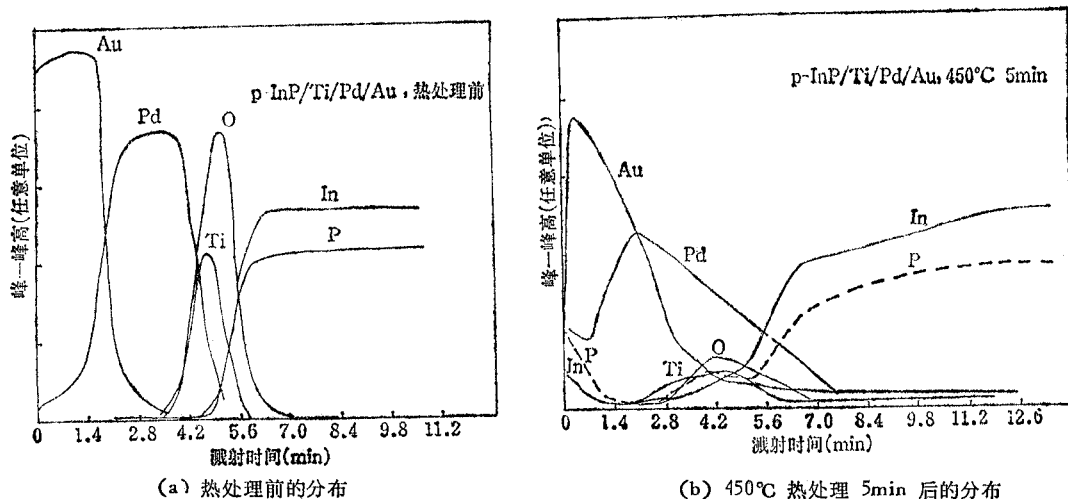


图 2 p-InP/Ti/Au 体系的 Auger 分布曲线

图3 p -InP/Pd/Au 体系的俄歇分布曲线图4 p -InP/Ti/Pd/Au 体系的俄歇分布曲线

生了接触金属的内扩散和 In, P 的外扩散。(2) 接触金属与 p -InP 界面在热处理过程中的互扩散“程度”与接触金属种类有关。Au 较 Ti, Pd 更易向 InP 内扩散; In 较 P 更易外扩散;而 Ti, Pd 层对 Au 的内扩散有一定的屏蔽作用。(3) 在 Ti/Au 和 Ti/Pd/Au 体系中,热处理前后均有 O 峰与 Ti 峰同时出现的对应关系,而在 Pd/Au 和 Au-Zn 体系中,未见 O 峰出现。(4) 在蒸发的 Au-Zn(Zn5.7%) 体系中, Zn 在蒸发和热处理过程中趋向于“凝集”在最表面层。

2. p -InP 与 Ti, Pd, Au 接触界面的互扩散

图5—图7是 p -InP 与 Ti, Pd, Au 接触界面在 450°C 热处理 5 min 前后,样品的组成元素随深度分布的情况。从图可见:(1) 单层金属热处理前后,剖面组成元素分布情况亦明显不同。热处理后,与前面讨论的 p -InP 与多层金属接触时相同,有内扩散现象发生。(2) 互扩散“程度”与接触金属种类有关。Au 较 Ti, Pd 的内扩散更为明显。

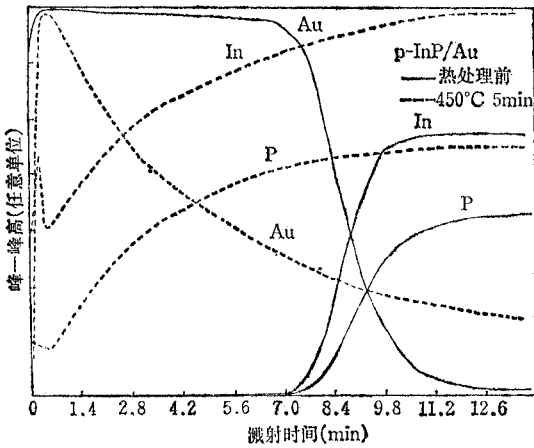


图5 p-InP/Au 体系的俄歇分布

实线表示热处理前的俄歇分布 虚线表示在 450°C 热处理 5min 后的分布

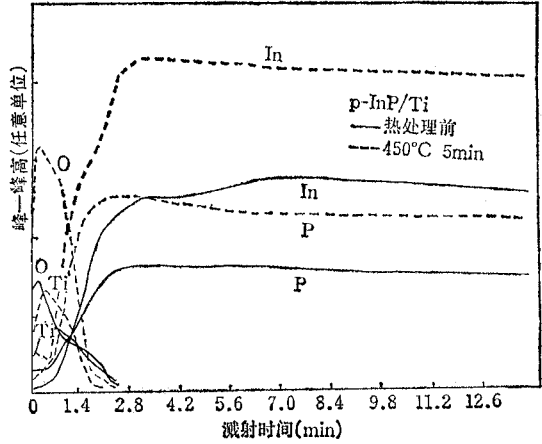


图6 p-InP/Ti 体系的俄歇分布

实线表示热处理前的分布 虚线表示在 450°C 热处理 5min 后的分布

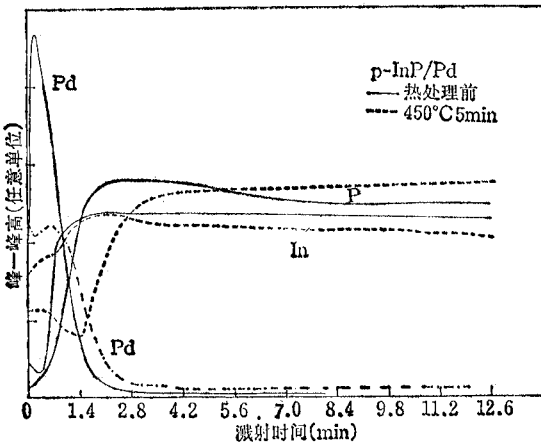
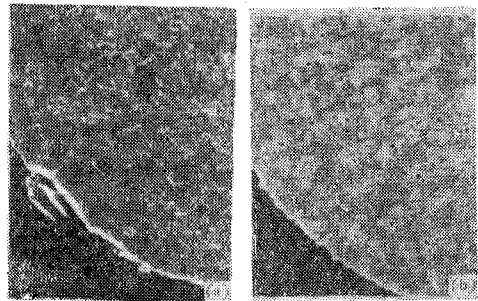


图7 p-InP/Pd 体系的俄歇分布

实线表示热处理前的分布 虚线表示在 450°C 热处理 5min 后的分布



(a) 450°C, 1min (b) 350°C, 30min

图8 Au-Zn 热处理后的表面形貌

(3) 在 Ti/Au 体系中有 O 峰与 Ti 峰同时出现的对应关系,而在另两个体系中则未见此现象。

3. 表面形貌

用 SEM 观察了 Au-Zn 体系“高温”(450°C)短时间(1—2min)和“低温”(350°C)较长时间(30—60 min)热处理后的表面形貌,结果如图8所示。从图可见,前者表面粗糙,后者表面平滑光洁。

4. 合金化条件与 ρ_c 的关系

在氮气流中快速加热和快速冷却的条件下,研究了合金化温度对 Au-Zn (Zn 5.7%) 比接触电阻 (ρ_c) 的影响,结果如图9所示。从图可见,合金化温度和时间对 ρ_c 皆有明显的影响。p-InP/Au-Zn (Zn 5.7%) 在 420—450°C 热处理 1 min, $\rho_c \approx 2.7 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 。

当合金化温度为 350°C , 时间为 30 min 时, $\rho_c \approx 2.0\text{--}2.7 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$. 它与在 $420\text{--}450^{\circ}\text{C}$ 加热 1 min 的 ρ_c 值基本相同. 随合金化温度的增高或时间的延长, ρ_c 值均有明显的增大.

5. Ti/Pd/Au 电极在 InGaAsP/InP 发光管中的应用

用 p 面电极为 Ti/Pd/Au 的 InGaAsP/InP 双异质结发光管^[8] 在大气气氛中、 5 kA/cm^2 电流密度下, 进行了 10^4 h 的老化试验. 在老化过程中管子的 $I\text{-}V$ 特性和串联电阻 (R_s) 未发生明显变化 (见图 10). 表明该电极有较好的热稳定性.

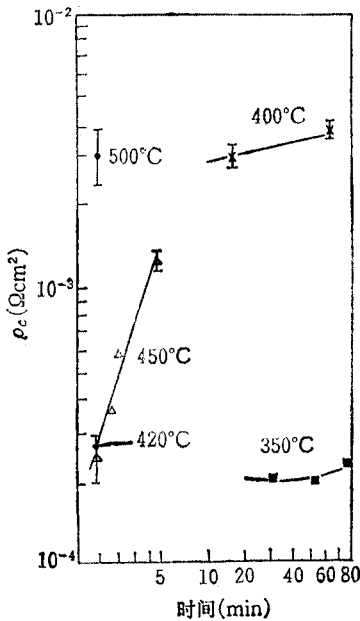


图 9 Au-Zn 合金化温度和时间对 ρ_c 的影响

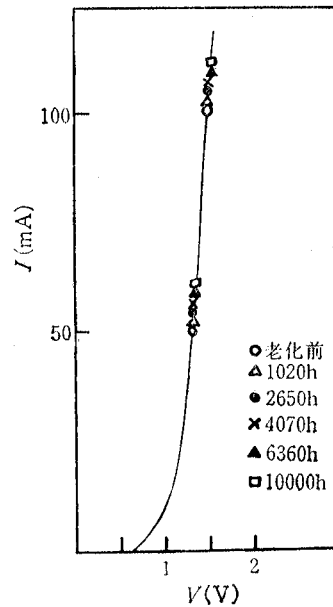


图 10 InGaAsP/InP 双异质结发光管在老化过程中的 $I\text{-}V$ 特性

四、讨 论

1. 接触金属与 p -InP 在界面的互扩散

从图 1—图 4 和图 5—图 7 可见, 不论是 Au-Zn, Ti/Au, Pd/Au 和 Ti/Pd/Au 等多层金属, 还是 Ti, Pd, Au 等单层金属与 p -InP 接触时, 在热处理过程中皆有互扩散现象发生. 而互扩散“程度”与接触金属种类有关; Au 较 Pd 和 Ti 的内扩散更明显; 而 In 较 P 更易外扩散. 这是由于加热时, 接触界面处的表面形态和化学组份出现了差异, 使 In 原子热力迁移与 P 原子热力迁移发生了差别.

在 p -InP/Ti/Au、Ti/Pd/Au 和 Ti 的体系中, AES 深度分布图 (图 2.4.6) 表明, 存在着 O 峰和 Ti 峰同时出现的对应关系. 这一现象在热处理前后无明显变化, 而在 Au-Zn、Pd/Au 体系中未出现此现象. 这层以钛的氧化物形态存在的 TiO , 可能来自钛靶, 从而出现了氧的沾污. 在 p -InP/Au-Zn 体系中, 组成元素 Zn 向 InP 层扩散的同时, 趋向于

凝集在表面层,经热处理后亦未发生明显变化。

用 Au-Zn 作接触材料时, ρ_c 值可高达 10^{-2} — $10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}^{2[2]}$, 而用电镀 Au/Zn^[9] 和多层 Au/Zn/Au^[7] 时, 则 ρ_c 值较低 ($\rho_c \approx 4 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$)。提高 Au-Zn 合金中的 Zn 含量(从 2% 增至 5.7%), 可使 ρ_c 由 $3 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}^{2[9]}$ 降到 $2.7 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 。但由于热处理后 Zn 在表面有凝集现象,使 Zn 的受主作用不能充分发挥,从而使 ρ_c 值高于 Au/Zn/Au 体系和电镀 Au 体系。

2. p -InP 接触金属界面互扩散“程度”对 ρ_c 的影响

合金化过程是形成高掺杂半导体界面层的微合金过程。它是 p -InP 与接触金属互扩散的产物,只有互扩散到一定程度,方能形成高掺杂的退化半导体界面层,从而获得良好的欧姆电阻接触。图 9 表明,改变合金化温度和时间, ρ_c 值会有较大差别。这主要是由于界面处互扩散“程度”有较大差异。温度高时,界面互扩散过于激烈,温度低时,互扩散不充分,均使高掺杂半导体层难以形成,所以 ρ_c 值高。在 420—450°C, 1 min 或在 350°C, 30 min 条件下热处理,互扩散“程度”适中,这时可形成高掺杂半导体退化层,可得到低的 ρ_c 值 ($\rho_c \approx 2.7 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$), 表面也光洁平滑。实验表明, ρ_c 值在很大程度上是由接触金属/ p -InP 界面的互扩散“程度”决定的。

用 Au-Zn 作电极的器件,在高电流密度下老化时, Au 可能向内扩散,这是器件暗结构形成的来由之一^[10]。Ti 和 Pd 与 p -InP 的互扩散程度较弱。如在 Au 层与 p -InP 之间添加 Ti、Pd 层作屏蔽层,可使 Au 的内扩散受到抑制。这不但有利于降低 ρ_c 值,也有利于提高器件的可靠性。实验已表明, Ti/Pd/Au 电极在 5 kA/cm^2 电流密度下长时间老化后,器件的 I - V 特性和 R_c 未发生明显变化^[11] (图 10), 这表明该电极有较好的热稳定性。

五、结 束 语

(1) 用 AES、SEM 等方法研究了 p -InP 与 Au-Zn、Ti/Au、Pd/Au 和 Ti/Pd/Au 的界面在热处理过程中的互扩散现象。互扩散“程度”随接触金属的种类不同而异。Au 较 Ti、Pd 更易于内扩散; In 较 P 易于外扩散。

(2) p -InP/Au-Zn 的界面互扩散“程度”是决定比接触电阻的重要因素,改变合金化温度和时间,可调节互扩散“程度”, ρ_c 值也随之而变化。这表明控制合适的合金化温度和时间是获得较佳 ρ_c 值的重要条件。在蒸发的 Au-Zn 体系中, Zn 趋向在表面层“凝集”,因而不能充分发挥它的受主作用,这是 ρ_c 值偏高的原因之一。

(3) Ti/Pd/Au 多层结构电极有较好的热稳定性。这与 Ti 和 Pd 层对 Au 的内扩散有屏蔽作用有关。Ti 或 Pd 使互扩散“程度”受到抑制,从而获得较低的 ρ_c 值和光洁的表面。

翟礼锦、蒋惠英同志参加了部分工作。

参 考 文 献

- [1] E. H. Ökelek, et al., *Solid-State Electronics*, 24(1981) 99.
- [2] E. Kuphal, *ibid.*, 24(1981), 69.
- [3] A. J. Vaiois, et al., *ibid.*, 25(1982), 973.
- [4] H. Temkin, *Appl. Phys. Lett.*, 36(1978), 444.
- [5] 水海龙等, 半导体光电, 2(1981), 192.
- [6] L. P. Erickson, *Thin Solid Film*, 64(1979), 421.
- [7] C. L. Chang, et al., *Electronics Lett.*, 18(1982), 755.
- [8] 水海龙等, 电子学通讯, 5(1982), 286.
- [9] K. Tabaie, et al., *Appl. Phys. Lett.*, 40(1981), 398.
- [10] A. K. Chin, et al., *ibid.*, 41(1982), 555.
- [11] 张桂成等, 发光与显示, 2(1982), 65.

INTERACTIONS OF THE *p*-InP WITH Au-Zn, Ti/Au, Pd/Au Ti/Pd/Au AT INTERFACE AND THEIR ELECTRICAL PROPERTIES

Zhang Quicheng, Cheng Zongquan

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

Yu Zhizhong

(Shanghai Institute of Measurement Technique)

In this report, interdiffusion of the *p*-InP with Au-Zn Ti/Au, Pd/Au, and Ti/Pd/Au at interface has been investigated by Auger electron spectroscopy and electron spectroscopy for chemical analysis. The surface morphology for the heat treatment are observed with scanning electron microscopy.

It is found that the in-diffusion of Au is easier than that of Pd and Ti, and the out-diffusion of In is easier than that of P. The effects of the alloying temperature and time on the specific contact resistance of the *p*-InP/Au-Zn system are studied. The lower specific contact resistance, $\rho_c=2.4-2.7 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$, is obtained when alloying at 450°C for 2 min or at 350°C for 30 min.

These results indicate that the specific contact resistance strongly depends on the interface "interdiffusion degree". The Zn in Au-Zn alloy distributes onto the most surface layer of the *p*-InP/Au-Zn system during evaporation process and heat treatment. It may be one of the reasons for the higher specific contact resistance.