

# 台面结铟镓砷探测器中 N 型磷化铟欧姆接触研究

汪 洋 唐恒敬 李 雪 龚海梅

(中国科学院上海技术物理所传感技术国家重点实验室, 上海 200083)

**摘要** 台面铟镓砷(InGaAs)探测器制备工艺包括 n 型 InP 欧姆接触和较好可靠性的延伸电极。采用 Cr/Au 作为 n 型 InP 欧姆接触,通过传输线模型和俄歇电子谱(AES)研究了 Cr/Au 与 n 型 InP 在不同退火条件下的欧姆接触和界面结构,实验表明 Cr/Au 在未退火条件下与 n 型 InP 形成较好欧姆接触,退火条件的引入导致 Cr/Au 与 n 型 InP 欧姆接触恶化,其原因是离子束溅射沉积的 Cr 中含有的  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  在退火过程中 O 扩散进入 Au 层。采用未退火的 Cr/Au 作为 n 型 InP 欧姆接触和延伸电极实现了台面 InGaAs 探测器制造工艺的简化。

**关键词** 遥感; 台面 InGaAs 探测器; 欧姆接触; 俄歇电子谱

**中图分类号** TN304.2 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS200929s1.0374

## Study of the Ohmic Contacts of n-Type InP in InGaAs Mesa Detectors

Wang Yang Tang Hengjing Li Xue Gong Haimei

(State Key Laboratories of Transducer Technology, Shanghai Institute of Technical Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract** The fabrication process of InGaAs mesa detectors contains the ohmic contacts of n-InP and the stretched electrode with good reliability. Cr/Au as the contact material for the n-InP is reported. The transmission line method (TLM) is employed to research the ohmic contacts at different annealing condition and Auger energy spectra (AES) is employed to research interface between Cr/Au and n-InP at different annealing condition. The results show that the good ohmic contacts are obtained without annealing treatment, while the ohmic contacts are degraded after annealing. The presence of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  in the Cr layer deposited with ion beam sputter causes oxygen out-diffusion into the Au layer at annealing condition. The fabrication process of InGaAs mesa detectors is simplified by using the unannealing Cr/Au as the ohmic contacts of n-InP and stretched electrode.

**Key words** remote sensing; InGaAs mesa detectors; Ohmic contacts; Auger energy spectra (AES)

### 1 引 言

铟镓砷(InGaAs)PIN 光电探测器是一种非常重要的光电器件,在室温下具有较高的探测率,国外 InGaAs 红外焦平面器件已成功地应用于遥感领域,如法国的 SPOT4 和 SPOT5 卫星上采用了 3000 像元 InGaAs 短波红外扫描焦平面器件<sup>[1]</sup>;欧洲空间局(ESA)新一代的环境卫星(ENVISAT)上采用了 1024 像元 InGaAs 短波红外扫描焦平面器件<sup>[2]</sup>。而国内的 InGaAs 红外焦平面器件性能与国际水平相比存在很大差距,InGaAs 器件的制备工艺有待进一步提高。

目前 InGaAs p-n 结(PIN)光电探测器制备有两种方式,即台面结方式和平面结方式,两种方式各

有优势和特点。在台面结 InGaAs 光电探测器制备过程中,延伸电极侧面爬坡约  $2.5\sim 3.5\ \mu\text{m}$ ,良好粘附效果的欧姆接触电极材料是台面结 InGaAs 光电探测器关键工艺之一。目前在 n 型 InP 上形成欧姆接触的电极材料有: Au/Sn, Au/Ge/Ni, Au/Ge<sup>[3,4]</sup>,大量文献报道表明引入退火工艺有利于改善欧姆接触。

为了实现 N 区欧姆接触和延伸电极工艺上的兼容,本文在分析金属 Cr 与 n 型 InP 接触界面的基础上,提出采用 Cr/Au 作为 InP/InGaAs/InP 光电探测器的 N 电极材料,开展了退火工艺的研究,并且利用俄歇能谱(AES)对金属 Cr 与 n 型 InP 接触界面进行分析。

## 2 实验过程

本文研究的 InP/In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As/InP(P-I-N)探测器 n 型衬底采用掺硅 InP 体材料,掺杂浓度  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,芯片经过干法和湿法刻蚀至 n 型 InP 层,然后通过标准的有机溶剂四步清洗,即三氯甲烷、乙醚、丙酮和酒精清洗,接着使用高纯氮气吹干,清洗干净的芯片再经过标准光刻工艺定义传输线模型(TLM),最后采用稀盐酸( $\varphi_{\text{HCl}}:\varphi_{\text{H}_2\text{O}}=1:5$ )去除表面氧化层,进行溅射沉积 Cr(20 nm)/Au(400 nm),离子束溅射系统的背景真空度为  $1 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ ,在溅射沉积前,对腔体进行预加热,释放腔体表面吸附的气体,浮胶划片后图形如图 1 所示,图形大小为  $250 \mu\text{m} \times 120 \mu\text{m}$ ,间距为  $10 \mu\text{m}, 12 \mu\text{m}, 14 \mu\text{m}, 16 \mu\text{m}$  直到  $28 \mu\text{m}$ 。要退火的样品放入快速退火炉 RTP500 中,在氮气保护下退火,退火参数见表 1,同时利用 Cr/Au 作为 InP/In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As/InP(P-I-N)探测器 n 型电极材料,制备 InGaAs 探测器。

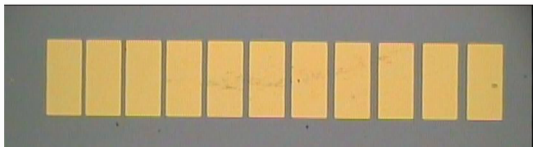


图 1 传输线结构俯视图

Fig. 1 Photograph of top-view illustration of TLM test pattern

伏安测试系统是计算机控制的 Keithley236 源

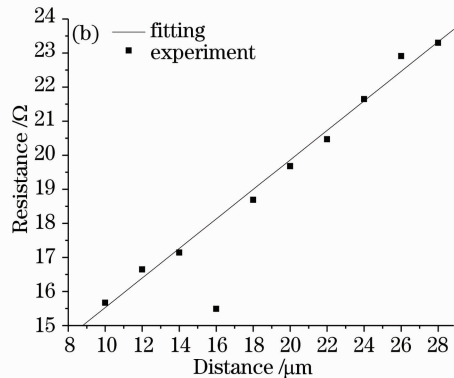
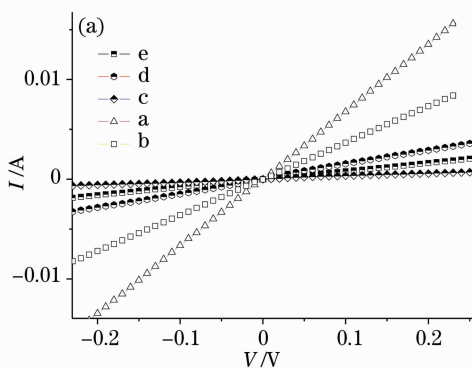


图 2 Cr/Au 与 n 型 InP 在不同退火条件下的  $I-V$  曲线(a)和测试电阻与电极间距的曲线图(b)

Fig. 2 (a)  $I-V$  curves of Cr/Au contacts on n-InP for several annealing condition and (b) measure resistance versus gap spacing of Cr/Au contacts on n-InP

退火工艺的引入并没有改善 Cr/Au 与 n 型 InP 的欧姆接触,反而恶化了两者之间的接触。与传统的退火技术改善欧姆接触存在差异<sup>[4]</sup>。Cr/Au 与 n 型 InP 样品在未经退火条件下的俄歇电子谱(AES)表明在 Cr 与 n-InP 之间存在 Cr 的氧化物,如图 3(a)所示。经过分析认为这是由于采用离子束溅射沉积的

表 1 InP 的 TLM 退火条件

Table 1 The annealing condition of InP's TLM

Samples	a	b	c	d	e
Temperature	RT	250 °C	300 °C	400 °C	500 °C
Time		1 min	1 min	1 min	1 min

测试单元,制备的 TLM 模型样品采用手工键压实现电极引出并封于高阻测试盒后置于金属屏蔽盒中进行测试,所有测试都在室温下进行。采用纳米扫描俄歇系统(PHI-700)对  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$  面积的 Cr/Au 与 n 型 InP 接触样品进行俄歇深度分析。

## 3 结果和分析

Cr/Au 的 TLM 电极引出采用手工键压,键压过程从一方面证实了 Cr/Au 与 InP 良好的粘附。Cr 的功函数为 4.6 eV,InP 的电子亲和能为 4.38 eV,因此 Cr 与 n 型 InP 很容易形成欧姆接触。Cr/Au 与 n 型 InP 在未退火前的伏安曲线如图 2(a)所示,从图中可以看出 Cr/Au 与 n 型 InP 较好的欧姆接触。根据传输线模型,画出电极间电阻与电极间距的曲线,如图 2(b)所示,经过拟合计算可得,未经退火的比接触电阻为  $1.80 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ ,随着退火温度到 250 °C,样品 b 的  $I-V$  曲线依旧呈线性关系,表明是欧姆接触。但是从 300 °C 长到 500 °C,样品 c~e 的  $I-V$  曲线已经呈现偏离线性的关系,随着退火温度升高曲线斜率变小,电阻增加,如图 2(a)所示。

靶材中存在 Cr 的氧化物,导致在 n 型 InP 上沉积的 Cr/Au 含有 Cr 的氧化物。A. Munitz 等也发现在 Cr/Au 与 n 型 InP 之间存在  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  的氧化物,随着退火的进行  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  中的 O 通过大的 Au 颗粒边界扩散进入 Au 层,并且一直向 Au 表面扩散,扩散速度随着温度上升而变快,进而加速恶化 Cr/Au 与 n 型

InP 的欧姆接触<sup>[6,7]</sup>。

采用未退火的 Cr/Au 作为 InGaAs 探测器的 n 电极材料和台面结芯片爬坡过程的延伸电极,制备工艺如前所述,图 3(b)是采用这种 n 电极的

InGaAs PIN 二极管的  $I$ - $V$  曲线,图中的曲线为典型的 PIN 二极管的  $I$ - $V$  曲线,实现了台面结 InGaAs 探测器制造工艺的简化。

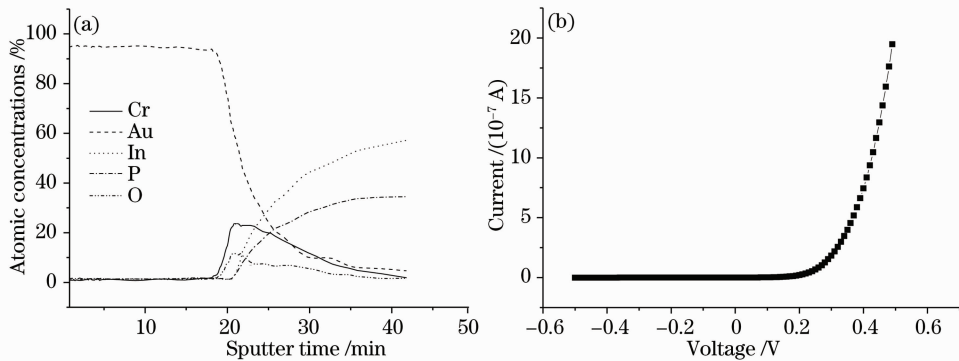


图 3 Cr/Au 与 n-InP 界面(未退火)的 AES 测试曲线(a)和 InGaAs PIN 二极管的  $I$ - $V$  测试曲线(b)

Fig. 3 (a) AES curves of Cr/Au contacts on n-InP without annealing and (b)  $I$ - $V$  curve of InGaAs PIN diode

## 4 结 论

台面结 InGaAs 探测器制备工艺包括 n 型 InP 欧姆接触和较好可靠性的延伸电极。从台面结 InGaAs 探测器制备工艺的可靠性出发,采用与 III-V 簇半导体有良好粘附力的 Cr/Au 作为 N 电极材料。通过传输线模型和 AES 实验表明,Cr/Au 与 n 型 InP 在未经退火条件下即可获得良好的欧姆接触,比接触电阻为  $1.80 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ ,同时具有很好的粘附力,退火工艺的引入恶化了 Cr/Au 与 n 型 InP 欧姆接触,分析认为欧姆接触恶化的原因是离子束溅射沉积的 Cr 中含有的  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  在退火过程中 O 扩散进入 Au 层。采用未经退火的 Cr/Au 作为的 N 电极制备台面结 InGaAs 探测器,获得了良好的台面结 InGaAs 探测器  $I$ - $V$  特性,Cr/Au 与 n-InP 形成的欧姆接触对器件长期稳定性的影响有待进一步研究。

## 参 考 文 献

- 1 Moy J P, Hugon X, Chabbal J *et al.*. 3000 InGaAs photodiode multiplexed linear array for the spot 4 SWIR channel [C]. *SPIE*, 1989, **1107**: 137~151
- 2 Hoogeveen R. W. M., van der A R. J., Goede A. P. H.. Extended wavelength InGaAs infrared (1.0~2.4  $\mu\text{m}$ ) detector arrays on SCIAMACHY for space-based spectrometry of the earth atmosphere[J]. *Infrared Physics & Technology*, 2001, **42**: 1~16
- 3 K. L. Jiao, A. J. Soltyka, W. A. Anderson. Hole trap level in Pt-Ti/p-InGaAs/n-InP heterostructures due to rapid thermal processing[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **57**(18): 1913~1915
- 4 A. Katz, B. E. Weir, S. N. G. Chu. Pt/Ti/n-InP nonalloyed Ohmic contacts formed by rapid thermal processing[J]. *J. Appl. Phys.*, 1990, **67**(8): 3872~3875
- 5 H. H. Herger. Models for contacts to planar devices [J]. *Solid-State Electronics*, 1972, **15**: 145~158
- 6 M. A. George, W. S. Glaunsinger. Electrical spectroscopic and morphological investigation of chromium diffusion through gold films[J]. *Thin Solid Film*, 1990, **189**: 59~72
- 7 A. Munitz, Y. Komem. Structural and resistivity changes in heat-treated chromium-gold films[J]. *Thin Solid Film*, 1976, **37**: 171~179