

非致冷 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$ 红外探测器研究

缪国庆, 殷景志, 金亿鑫, 蒋红, 张铁民, 宋航

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 激发态物理重点实验室, 长春 130033)

摘要:采用 LPMOCVD 技术生长了 InGaAs 红外探测器器件结构材料, 其晶格失配为 2.19×10^{-4} 。利用锌扩散制备探测器单元器件, 光谱响应范围为 $0.90 \sim 1.70 \mu\text{m}$, 在 1.95V 偏压下, 暗电流为 $5.75 \times 10^{-5}\text{A}$, 在反向偏压为 -5V 时, 电容为 $6.96 \times 10^{-12}\text{F}$ 。探测器波段探测率为 $2.08 \times 10^{11}\text{cmHz}^{1/2}\text{W}^{-1}$ 。

关键词:金属有机化学气相沉积; 镓砷; 探测器

中图分类号: TN304

文献标识码: A

文章编号: 1000-985X(2005)06-1056-03

Study on Uncooled $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$ Infrared Detectors

MIAO Guo-qing, YIN Jing-zhi, JIN Yi-xin, JIANG Hong, ZHANG Tie-min, SONG Hang

(Key Laboratory of Excited State Processes, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

(Received 14 July 2005)

Abstract: The $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$ used for infrared detector was grown by low pressure metal-organic chemical vapor deposition. The lattice mismatch is 2.19×10^{-4} . The detector was fabricated by Zn diffusion. The range of spectral response is $0.90\text{--}1.70\mu\text{m}$. At a bias of 1.95V the dark current is $5.75 \times 10^{-5}\text{A}$, the capacitance at -5V is about $6.96 \times 10^{-12}\text{F}$. The detectivity is $2.08 \times 10^{11}\text{cmHz}^{1/2}\text{W}^{-1}$.

Key words: MOCVD; InGaAs ; detector

1 前言

近几年来,红外探测器得到迅速发展。但是大多数红外探测器需要在低温工作才能获得较高性能,这是目前制约红外探测器获得更广泛应用的主要原因。由于需要致冷使得红外系统体积大、笨重、价格昂贵和不便使用。而民用市场的发展必然会提出既要功耗低、体积小、重量轻,又要有高性价比,而且使用方便的要求。因此非致冷红外探测器获得了巨大发展的空间^[1]。 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 是直接带隙材料,具有高电子迁移率、低背景载流子浓度、均匀的厚度、光亮平整的表面,稳定性好,是一种短波红外探测器材料,因此可以利用 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$ 材料体系制备红外探测器。而且由于外延层与衬底晶格匹配,可以利用先进的生长技术获得高质量的 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$ 材料体系,它所制备的红外探测器可以在室温工作,可批量生产,具有高可靠性^[2]。 InGaAs 红外探测器主要应用在成像和光谱两方面^[3]。

本文采用 LPMOCVD 技术生长了 InGaAs 器件结构材料,利用半导体平面工艺制作了平面型 InGaAs 红外探测器,对其器件性能进行测量。

收稿日期: 2005-07-14

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(No. 50132020); 国家自然科学基金面上项目(No. 50372067)资助

作者简介: 缪国庆(1964-),男,吉林省人,理学博士,研究员。E-mail: miaogq@ciomp.ac.cn

2 实 验

材料生长采用我们自行组装的 LP-MOCVD 系统,此系统采用水平石英反应管,气悬浮旋转石墨基座,由高频感应加热。反应室压力为 $1 \times 10^4 \text{ Pa}$,生长温度为 630°C ,经钨管纯化的氢气为载气。三甲基镓(TMGa)和三甲基铟(TMIn)作为 III 族源,10% 砷烷(AsH_3)和 10% 磷烷(PH_3)作为 V 族源。掺硫的 InP 单晶片作为衬底,晶片表面方向为(100)。平面型红外探测器器件是采用等离子化学气相沉积技术在顶层沉积一层 SiO_2 膜,用光刻技术刻蚀出一个图形窗口。由 Zn 扩散形成平面 PN 结。再用等离子化学气相沉积技术沉积一层氮硅化合物薄膜作为抗反射层,然后利用光刻技术刻蚀出接触图形,溅射形成 P 面和 N 面的欧姆接触。

3 结果与讨论

我们在掺杂的 InP 衬底上,利用 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 作为吸收层,InP 作覆盖层。 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 作为吸收层,它的吸收波长应到 $1.7 \mu\text{m}$,而 InP 作覆盖层或限制层,它能够钝化 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$,减少在表面的光生载流子复合,能增加量子效率,缺点是它吸收波长小于 $0.92 \mu\text{m}$ 的光,如果 InP 保持较薄(小于 $1 \mu\text{m}$),在 $0.8 \mu\text{m}$ 波长的光 20% 到 30% 可以穿透 InP,被吸收层 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 探测到^[4]。高质量的材料是决定器件性能指标的关键因素。为此我们详细研究了生长温度、V/III 比对 InGaAs 外延层的结晶质量、电学性质的影响^[5,6]。利用优化的生长条件制备红外探测器器件结构材料。图 1 为我们生长的 InGaAs/InP 红外探测器器件结构材料的横截面扫描电子显微镜照片,从照片可以看到 InP,InGaAs 外延层之间和外延层与 InP 衬底之间层次清晰,界面平整。利用扫描电子显微镜能谱分析对 InGaAs 红外探测器器件结构材料各层厚度进行了测定,见图 1 中标尺,覆盖层 InP 厚度为 $0.9 \mu\text{m}$,吸收层 InGaAs 厚度为 $3.1 \mu\text{m}$,符合 InGaAs 红外探测器器件结构设计要求。

我们对 InGaAs 红外探测器器件结构材料进行了 X 射线双晶衍射测量,如图 2 所示,其晶格失配为 2.19×10^{-4} 。

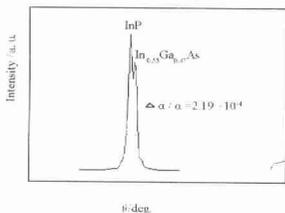


图 2 InGaAs 红外探测器器件结构材料 X 射线双晶衍射图
Fig. 2 DCXR of the InGaAs detector structure

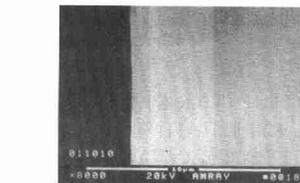


图 1 InGaAs 红外探测器结构材料横截面照片
Fig. 1 Cross-sectional photograph of the InGaAs detector structure

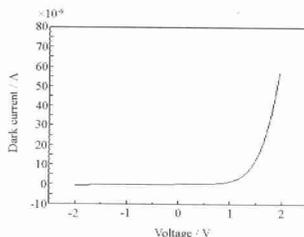


图 3 InGaAs 探测器 I - V 特性曲线
Fig. 3 I - V characteristics of the InGaAs detector

图 3 为 InGaAs/InP 平面型探测器的 I - V 特性曲线,由图可见在 1.95 V 偏压下,暗电流为 $5.75 \times 10^{-5} \text{ A}$ 。图 4 为 InGaAs/InP 平面型探测器的 C - V 特性曲线,在反向偏压为 -5 V 时,电容为 $6.96 \times 10^{-12} \text{ F}$ 。

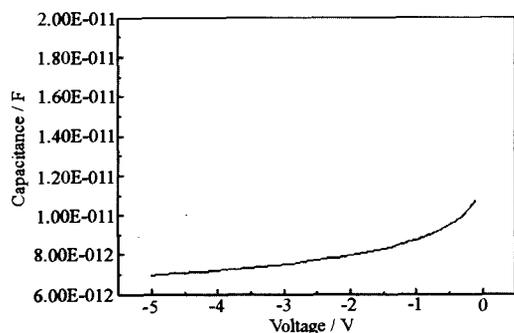


图4 InGaAs 探测器 C-V 特性曲线

Fig.4 C-V characteristics of the InGaAs detector

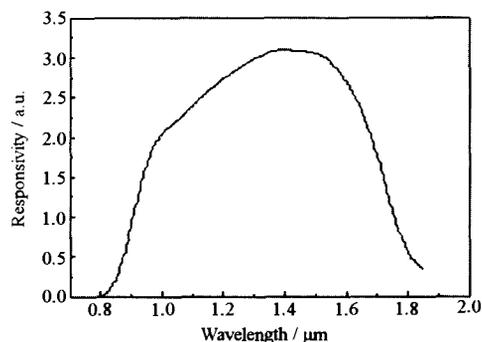


图5 InGaAs 探测器相对光谱响应曲线

Fig.5 Relatively spectrum response of the InGaAs detector

采用短波红外光谱仪测量相对光谱响应度曲线如图5,响应范围为 $0.90 \sim 1.70 \mu\text{m}$,在 $1.3 \mu\text{m}$ 相对响应达到最大值,当波长大于 $1.5 \mu\text{m}$ 时相对响应开始下降。

我们采用标准黑体和锁相放大器测量 InGaAs 红外探测器的信号和噪声,计算得到 InGaAs 探测器的波段探测率 D^* 为 $2.08 \times 10^{11} \text{cmHz}^{1/2} \text{W}^{-1}$ 。

4 结 论

我们采用 LPMOCVD 技术制备 InGaAs 红外探测器器件结构材料,材料层次清晰,界面平整,晶格失配为 2.19×10^{-4} 。利用所制备材料采用 Zn 扩散制作非致冷 InGaAs 探测器,其光谱响应范围为 $0.90 \sim 1.70 \mu\text{m}$,在 1.95V 偏压下,暗电流为 $5.75 \times 10^{-5} \text{A}$,在反向偏压为 -5V 时,电容为 $6.96 \times 10^{-12} \text{F}$ 。InGaAs 探测器的波段探测率为 $2.08 \times 10^{11} \text{cmHz}^{1/2} \text{W}^{-1}$ 。

参 考 文 献

- [1] Rogalski A. Infrared Detectors at the Beginning of the Next Millennium [J]. *Sensors and Materials*, 2000, 12(5):233.
- [2] Hoogeveen R W M, Vander A. R J, Goede A P H. Extended Wavelength InGaAs Infrared ($1 - 2.4 \mu\text{m}$) Detector Arrays on SCIAMACHY for Space-based Spectrometry of the Earth Atmosphere [J]. *Infrared Physics & Technology*, 2001, 42:1.
- [3] Cohen M J, Eitenberg M H, Lange M J, et al. Commercial and Industrial Applications of Indium Gallium Arsenide Near Infrared Focal Plane Arrays [J]. *SPIE*, 1999, 3698:453.
- [4] Olsen G H, Ban V S. InGaAsP: The Next Generation in Photonics Materials [J]. *Solid State Technology*, 1987, 2:99.
- [5] 缪国庆,金亿鑫,蒋红,等. 生长温度对 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$ 的 LPMOCVD 生长影响 [J]. *发光学报*, 2002, 23(5):465.
- [6] 缪国庆,金亿鑫,蒋红,等. V/III 比对 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$ 的 LPMOCVD 生长影响 [J]. *半导体光电*, 2002, 23(4):271.