

InP 系波导和光电探测器单片集成*

杨 易 陈兴国 程宗权 王惠民 吕章德 蒋惠英
王 晨 施惠英 吴学海

(中国科学院上海冶金研究所 上海 200233)

朱祖华 胡 征

(浙江大学信电系 杭州 310008)

摘要 本文主要报道 InP 光波导和 InGaAs-PIN 光电探测器的单片集成,包括材料生长、器件工艺、器件测试三个部份.器件的结构和制作方法较为简单,而代表器件性能的主要参数可与国外同类器件相接近,如光波导损耗最小为 8.6dB/cm,器件正向压降为 0.4~0.6V,反向击穿电压>40V,响应度~0.5A/W,上升时间<0.9ns.

PACC: 4280, 4280L, 0762

1 引言

对高密度光通信系统,发展和应用单片光电集成电路(OEIC)和光子集成器路(PIC)已成为当前一个重要的研究方向. InP-InGaAs 半导体光波导和光电探测器单片集成是发展高密度信息系统不可缺少的一个重要组成部份,近年来,对它的研究已日趋活跃^[1]. 本文的研究工作以期能发实现波分多路用光通信单片集成提供一些基础和实际应用.

本文选用简单的器件结构和制作工艺,并引入 InGaAsP 匹配层对光起到折射率导引作用,由此制取的器件其性能与国外同类器件相接近,在国内,迄今尚未见这一工作的报道.

2 器件结构

光波导和光电探测器的单片集成国外已有多种报道^[2~9]. 本研究基于长波长光纤通信系统要求低的传输损耗和高的光电流响应性能,经过各种因素的综合考虑,选用 InP 和 In-

* 国家自然科学基金资助项目

杨 易 男,1937 年生,副研究员,从事光电子材料和器件研究

陈兴国 男,1962 年生,助理研究员,从事光电子材料和器件研究

1994 年 7 月 24 日收到初稿,1995 年 4 月 1 日收到修改稿

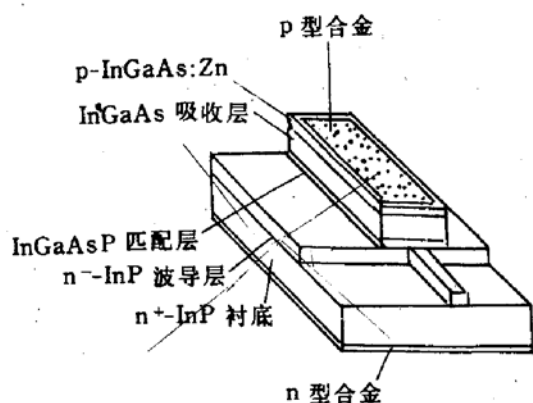


图 1 器件结构图

GaAs 材料为主,设计 InP 光波导截面积为 $3.5 \times 8 \mu\text{m}^2$, InGaAs 探测器长宽分别为 $240 \mu\text{m}$ 和 $50 \mu\text{m}$. 单片集成结构图(见图 1). 由于入射光在 InP 光波导内以极大的入射角入射到光波导壁面(几乎与 InP 光波导平行),所以大部份的光在光波导内进行全反射,以致上面的 InGaAs 吸收层不能有效的吸收. 为此我们在 InP 光波导($n=3.17$)^[9]和 InGaAs 光吸收层($n=3.58$)^[9]之间插入了一层折射率介于二者之间的 InGaAsP 匹配层($n=3.22$)^[9],以使对光能起到折射率导引的作用,从而使 InP 光波导中传输的光能不断地泄漏穿过 InGaAsP 匹配层而进

入 InGaAs 吸收层. 若器件尺寸设计合宜,可望得到 $\sim 100\%$ 的吸收效率.

3 器件制作

3.1 材料生长

采用液相外延石墨舟滑移的方法,在掺 S-n^+ InP(100)衬底($n=(1\sim 3) \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)上依次生长 n-InP 波导层($n=5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$, 厚度 $\sim 3.5 \mu\text{m}$), InGaAsP 匹配层 $n \sim 5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$, 厚度 $\sim 0.2 \mu\text{m}$, $\lambda_g=1.3 \mu\text{m}$)和 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 吸收层($n < 1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$, 厚度 $\sim 4 \mu\text{m}$, $\lambda_g=1.65 \mu\text{m}$). 图 2 表示各层厚度照片(见图版 I). 经 X 光双晶衍射测试计算,各层晶格失配度 $< 5 \times 10^{-4}$.

3.2 器件工艺

由于 InGaAs 材料的肖脱基势垒极低(0.2eV)很容易造成表面漏电,所以要制得很低暗电流,高响应的器件,工艺极为重要. 共分九步进行.

(1)InGaAs 吸收层表面大面积扩 Zn;(2)蒸发 AuZn 形成 P 面欧姆接触;(3)一次光刻腐蚀出 P 面电极;(4)二次光刻腐蚀出 InGaAsP/InGaAs 台面;(5)三次光刻腐蚀出 InP 光波导和光电探测器;(6)聚酰亚胺钝化保护;(7)衬底减薄;(8)蒸发 AuGeNi,形成 N 面欧姆接触;(9)解理管芯,装架测试. 制得的器件芯片顶视照片如图 3 所示(见图版 I).

4 器件测试

1 对管芯(见图 3)进行解理分割,然后初测其电学特性,挑选正向电压为 $0.4 \sim 0.6 \text{V}$, 反向击穿电压 $> 40 \text{V}$ 的管芯. 对初测挑选后的管芯,安装在管壳中制得样管. 将波长为 $1.15 \mu\text{m}$ He-Ne 激光,经准直聚焦后入射到光波导端面,测试其光电特性,测得零偏压下暗电流 $< 1 \text{nA}$,光电流 $> 138 \mu\text{A}$,响应度 $\sim 0.5 \mu\text{A}/\mu\text{W}$. 图 4(见图版 I)表示光电流(I_p),暗电流(I_d)随偏压的变化曲线.

2 利用中国科学院上海光机所研制的高功率锁模激光系统,激光波长为 $1.06 \mu\text{m}$,脉冲宽度为 40ps ,测得器件响应速度,上升时间 $< 0.9 \text{ns}$ (示波器本身前沿 0.9ns),如图 5 所示

(见图版 I)。

3 解理不同长度的光波导,在相同测试条件下进行比较测量,测得波导的传输损耗最小为 8.6dB/cm,(激光光源波长为 1.15 μm),传输模为单模(激光光源波长为 1.52 μm),见图 6(见图版 I)。

5 结果和讨论

1 利用液相外延方法生长多层外延材料,并选取适当的半导体工艺流程解决了光波导和 PIN 光电探测器单片集成工艺的相容性.为了有效地提高光吸收效率,引入了 InGaAsP 匹配层.本器件与国外同类器件相比,用较简单的器件结构,得到了相近的器件性能.本文在国内属首次发表。

2 制得的器件光电流随偏压升高而增加,见图 4.但有的器件外加偏压升高只增加暗电流而不增加光电流,这是由于表面漏电流过大而造成的.器件工艺有待进一步提高。

3 用波长为 1.52 μm 的激光在波导内传输,得到单模输出(图 6),这与文献[9]报道的结果一致.详细情况有待进一步的工作,将另文发表。

致谢 中国科学院上海光机所顾圣如副研究员.李永春副研究员帮助测试器件响应速度,上海科大杨悦群同学参加部份工作.在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] R. J. Deri, J. Lightwave Technol., 1993, 11(8):1296.
- [2] O. Wada, T. Sakurai *et al.*, IEEE Quantum Electron., 1986, QE-22(6):805.
- [3] D. B. Ostrowsky, R. Poirier *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1973, 22(9):463.
- [4] G. E. Stillman, C. M. Wolfe *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1974, 25(1):36.
- [5] C. Bornholdt, W. Doldissen *et al.*, Electron. Lett., 1987, 23(1):2.
- [6] S. Chandrasekhav, J. C. Campbell *et al.*, Electron. Lett., 1987, 23(10):501.
- [7] S. Chandrasekhav, J. C. Campbell *et al.*, IEEE Electron Device Lett., 1987, EDL-8(11):512.
- [8] R. J. Deri, N. Yesuoka *et al.*, IEEE Photonic Technol. Lett., 1990, 2:496.
- [9] 牧内正男,信学技报,1990, OQE-9:49~53.

Monolithic Integration of InP Optical Waveguide and Photodetector

Yang Yi, Chen Xingguo, Chen Zongquan, WangHuimin, Lu Zhangde, Jiang Huiying
Wang Chen, Shi Huiying and Wu Xiehai

(Shanghai Institute of Metallurgy, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050)

Zhu Zuhua and Hu Zheng

(Zhejiang University, Hangzhou 310008)

Received 24 July 1994, revised manuscript received 1 April 1995

Abstract The monolithic integration of InP optical waveguide and InGaAs PIN Photodetectors is reported. It includes three parts as materials growth, device technology and device measurement. The structure and fabrication of this device are rather simple, but the principal parameters representing the performance of this device are closed to the level of foreign devices, such as the minimum of optical waveguide loss is 8.6dB/cm, forward voltage drop is 0.4~0.6V, reverse breakdown voltage >40V, responsibility ~0.5A/W, rise time <0.9ns.

PACC: 4280, 4280L, 0762,