

InGaAsP 相位调制器的研究*

邬祥生 李允平 吴学海 吕章德 龚连根 周萍 吴长川

(中国科学院上海冶金研究所)

1989年3月24日收到

本文报道了 InGaAsP/InP 脊形相位调制器的初步研究结果。采用水平液相外延，常规器件工艺和湿法化学腐蚀方法，制得了波导宽度 $4\text{--}8 \mu\text{m}$ ，反向击穿电压 $3\text{--}5 \text{ V}$ 的相位调制器。用 Mach-Zehnder 干涉光路，和 $1.52 \mu\text{m}$ 激光源对器件进行测量，得到迄今最高的相位移效率——TE 和 TM 模分别为 $60^\circ/\text{V} \cdot \text{mm}$ 和 $43^\circ/\text{V} \cdot \text{mm}$ 。

主题词 半导体器件和材料，光调制器，相位移效率

一、引言

随着光纤通信和光信息处理系统的迅速发展，除了激光管，发光管和探测器外，调制器也是一个很重要的元器件。众所周知，在光纤通信系统中，激光器直接调制引起调制信号频率啁啾，而造成限制调制带宽和传输距离等问题，所以人们已考虑采用外调制方式。在外调制器件中，化合物半导体材料调制器因其体积小，易于集成，效率高，中心波长可根据需要进行组份调制等优点，受人注目。

但是，半导体材料 GaAs, InP 等与常用的电光材料 LiNbO_3 相比，电光系数要小得多。因此，若单纯利用线性电光效应，则半导体制备的调制器的调制效率很低。作者以前曾报道了一种小型的脊形 GaAs/AlGaAs 相位调制器，它们是利用薄波导层的耗尽边进行传输，并对器件加反向电压而造成折射指数很大改变的原理制备的，具有很高的相位移效率^[1,2]。这是因为这种器件不仅利用了线性电光效应，还利用了电折射效应，等离子效应和能带填充效应^[3]。

考虑到光纤技术的发展，要求低损耗和低色散的光纤传输，人们已在发展 InGaAsP/InP 体系的光电器件，使之适用于 $1.3 \mu\text{m}$ 和 $1.55 \mu\text{m}$ 波长。本文报道的 InGaAsP/InP 腐蚀脊形波导相位调制器，就是针对这一目标而研制的。目前已达到迄今最高相位移效率的结果——在 $1.52 \mu\text{m}$ 时，TE 模为 $60^\circ/\text{V} \cdot \text{mm}$, TM 模为 $43^\circ/\text{V} \cdot \text{mm}$ ，预计可用于 $1.55 \mu\text{m}$ 的光纤通信和光信息处理系统。

二、实验

本研究所用的材料是用 YW-1 型水平液相外延炉制备。它是在 (100) 晶面低阻掺

* 国家高技术计划和国家自然科学基金资助项目。

S-InP 单晶衬底上,依次生长了 n-InP 限制层,禁带波长为 $1.3 \mu\text{m}$ 的 n-GaInAsP 波导层, P-InP 限制层和 P⁺-InGaAsP 欧姆接触层而成。外延中,分别用 Te 和 Zn 作 n 型 P 型掺杂剂。液相外延以本所自制的合金储氢瓶纯化氢作保护气体,多孔石墨滑移舟内进行材料生长。以二相熔液降温法,在 630—600°C 温度范围内生长双异质结材料。

外延片在 KKH 溶液——KOH, K₃Fe(CN)₆ 和 H₂O 的混合溶液中对解理面光照下腐蚀进行显结,用光学显微镜或扫描电镜观察和测量各层厚度。电化学 C-V 腐蚀法用于检测外延各层的载流子浓度。材料的晶格失配用双晶衍射仪测量。波导层的禁带波长用红外吸收光谱法测量。

器件用常规工艺制备,硅烷低温沉积 4000 Å 的 SiO₂ 膜作腐蚀或扩散掩膜,在 [011] 方向用 Br₂-CH₃OH 溶液湿法化学腐蚀脊形波导,宽度为 4—8 μm。用 Zn-Au 或 Au-Ge-Ni 合金真空蒸发分别制作器件 P 面和 n 面接触材料,以 SiO₂ 作器件台面隔离层。调制器端面由解理而成,未作抗反射膜。器件解理端面腐蚀显结后如图 1 所示。

调制器相位移测量在 Mach-Zehnder 干涉光路和光学显微镜光路组成的系统内进行。用光学显微镜系统将 1.52 μm 波长的 He-Ne 气体激光器的激光束耦合聚焦到器件解理端面,进入波导层。用另一显微镜放大近场图象,并成像到红外摄像管内,然后用电视显示,再用自制选行器和波形存储器使得干涉图象的选定的行信号记录到 X-Y 记录仪上,记录了器件 Fabry-Perot 模位移的强度变化曲线,如图 2 所示。器件通过加在其上的反向偏压来进行调制,比较调制前后的曲线,就能计算出相位移,从而得到相位移效率。

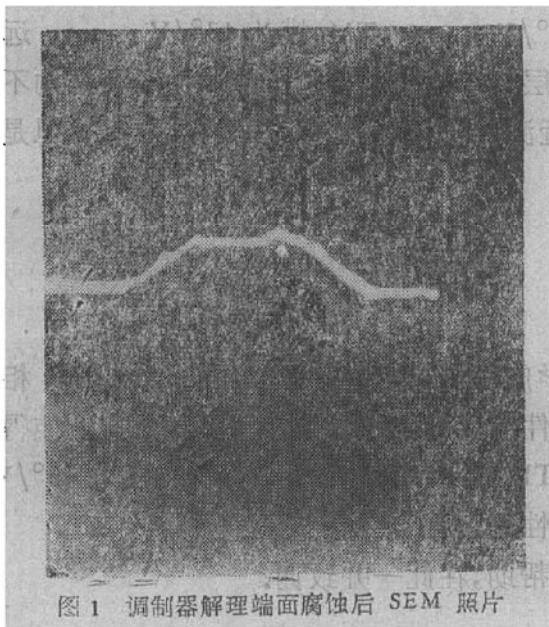


图 1 调制器解理端面腐蚀后 SEM 照片

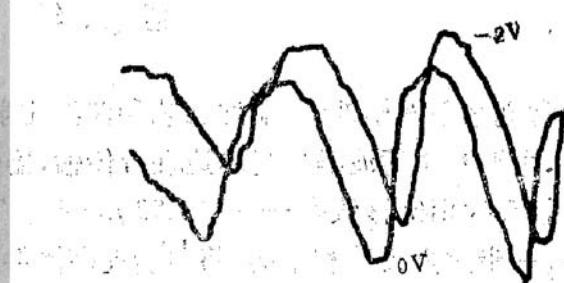


图 2 器件 Fabry-Perot 模位移曲线

三、结果和讨论

研究表明,采用常规水平液相外延,可以生长得到表面光洁,晶格失配 $\leq 0.04\%$ 的 InGaAsP/InP 双异质结外延片。用湿法化学腐蚀和常规器件工艺,可以制得脊宽为 4—8 μm 的脊形波导调制器。器件解理长度一般小于 1 mm。

器件正反向特性由 JT-1 示波器检测,典型的反向击穿电压为 3—5 V。图 3 显示了

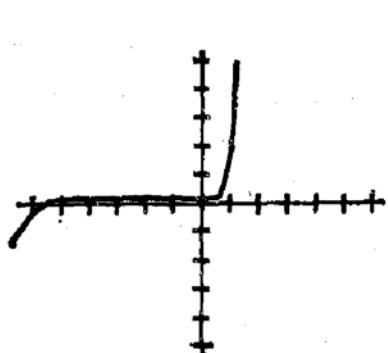


图3 调制器正反向特性曲线
(X 电压 Y 电流)

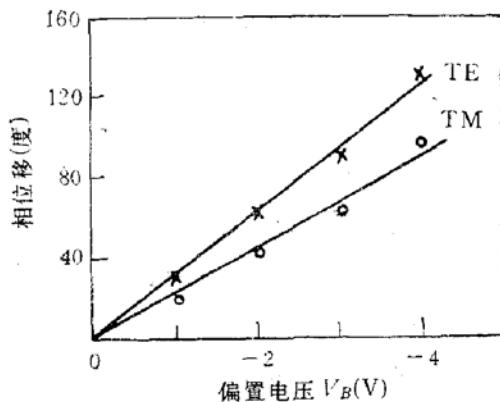


图4 反向调制电压对器件相位移影响
 $L = 500 \mu\text{m}$ $\lambda = 1.52 \mu\text{m}$

调制器正反向特性曲线。从图可以看出, InGaAsP/InP 异质结材料器件的反向击穿电压不高, 而相位调制器在反向偏压情况下使用, 所以有待进一步探索器件工艺, 提高反向击穿电压。器件的损耗初步测量为 $2.5 \text{dB}^{[6]}$ ($1.52 \mu\text{m}$ 时)。

对调制器 LW-88009-02 进行了相位移测量, 测量在室温下进行。该器件长 $500 \mu\text{m}$, 两端无抗反射膜保护。器件通过加在其上的反向偏压来进行相位调制, 图4 为反向偏压对调制器相位移的影响。从图可以看出, 器件 TE 模相位移随反向电压增加而呈线性增加。这就表明, 器件的线性电光效应仍起着很大作用。从曲线的斜率可以计算得到, 在 $1.52 \mu\text{m}$ 测试波长时, 相位移效率 TE 模为 $60^\circ/\text{V} \cdot \text{mm}$, TM 模为 $43^\circ/\text{V} \cdot \text{mm}$, 远超过文献报道的数据^[4,5]。可以认为, 主要是波导层禁带波长较接近于测试波长及结构不同的原因。当然, 进一步使波导层禁带波长更接近测试波长, 相位移效率将会更高, 但是也可能带来较大的吸收损耗。

四、结 论

用常规水平液相外延, 器件工艺和湿法化学腐蚀, 能制备出脊形 InGaAsP/InP 相位调制器, 由于利用薄波导层耗尽边进行传输, 器件加反向偏压而综合了多种效应, 使得调制器有较高的相位移效率——在 $1.52 \mu\text{m}$ 时, TE 模为 $60^\circ/\text{V} \cdot \text{mm}$, TM 模为 $43^\circ/\text{V} \cdot \text{mm}$ 。进一步改进设计和结构, 将更能提高器件性能。

工作中得到潘慧珍, 徐少华, 程宗权等同志帮助, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] X. S. Wu, A. Alping et al., *Elect. lett.*, **22**, 328 (1986).
- [2] 邬祥生, A. Alping 等, 半导体学报, **9**, 446 (1988).
- [3] A. Alping, X. S. Wu et al., *Appl. phys. lett.*, **48**, 1243 (1986).
- [4] J. Maehnes, W. Kowalsky et al., *Elect. lett.*, **24**, 518 (1988).
- [5] Y. Bourbin, A. Enard et al., *Elect. lett.*, **24**, 221 (1988).
- [6] 龚连根, 吴学海等, 第五届全国集成光学学术会议论文集(待发表)。

Study on InGaAsP Phase Modulator*

Wu Xiangsheng, Li Yunping, Wu Xuehai, Lu Zhangde,
Gong Liangen, Zhou Ping and Wu Changchuan

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

Abstract

A ridge optical waveguide InGaAsP/InP phase modulator is reported. The devices with a ridge width of 4—8 μm were fabricated by liquid phase epitaxy, wet chemical etching and other conventional techniques. The largest phase shifting efficiency of $60^\circ/\text{V}\cdot\text{mm}$ and $43^\circ/\text{V}\cdot\text{mm}$ for TE and TM mode, respectively, ever reported for a reverse biased structure was observed at 1.52 μm wavelength.

Key words Semiconductor material, Optical modulator, Phase shifting efficiency

The InGaAsP/InP phase modulator has been studied. The devices with a ridge width of 4—8 μm were fabricated by liquid phase epitaxy, wet chemical etching and other conventional techniques. The largest phase shifting efficiency of $60^\circ/\text{V}\cdot\text{mm}$ and $43^\circ/\text{V}\cdot\text{mm}$ for TE and TM mode, respectively, ever reported for a reverse biased structure was observed at 1.52 μm wavelength. The phase shifting efficiency decreased with increasing wavelength. The phase shifting efficiency of the device with a ridge width of 4 μm was measured to be $20^\circ/\text{V}\cdot\text{mm}$ at 1.3 μm . The phase shifting efficiency of the device with a ridge width of 8 μm was measured to be $15^\circ/\text{V}\cdot\text{mm}$ at 1.3 μm . The phase shifting efficiency of the device with a ridge width of 8 μm was measured to be $15^\circ/\text{V}\cdot\text{mm}$ at 1.3 μm .

The phase shifting efficiency of the device with a ridge width of 4 μm was measured to be $15^\circ/\text{V}\cdot\text{mm}$ at 1.3 μm . The phase shifting efficiency of the device with a ridge width of 8 μm was measured to be $15^\circ/\text{V}\cdot\text{mm}$ at 1.3 μm .

The phase shifting efficiency of the device with a ridge width of 4 μm was measured to be $15^\circ/\text{V}\cdot\text{mm}$ at 1.3 μm . The phase shifting efficiency of the device with a ridge width of 8 μm was measured to be $15^\circ/\text{V}\cdot\text{mm}$ at 1.3 μm .

The phase shifting efficiency of the device with a ridge width of 4 μm was measured to be $15^\circ/\text{V}\cdot\text{mm}$ at 1.3 μm . The phase shifting efficiency of the device with a ridge width of 8 μm was measured to be $15^\circ/\text{V}\cdot\text{mm}$ at 1.3 μm .

The phase shifting efficiency of the device with a ridge width of 4 μm was measured to be $15^\circ/\text{V}\cdot\text{mm}$ at 1.3 μm . The phase shifting efficiency of the device with a ridge width of 8 μm was measured to be $15^\circ/\text{V}\cdot\text{mm}$ at 1.3 μm .