

研究快报

影响 GaAs-GaAlAs 相位调制器的相位移效率因素的研究

邬祥生

(中国科学院上海冶金研究所, 上海)

A. Alping, T. R. Hausken and L. A. Coldren

(美国加州大学圣巴巴拉分校)

1988年1月6日收到

本文报道了腐蚀脊型 GaAs-GaAlAs 双异质结相位调制器, 研究了反向偏压、测试光源波长和波导层载流子浓度对器件相位移效率的影响, 得到了迄今最高的相位移效率的结果。

主题词: 半导体器件和材料, 光调制器, 相位移效率。

一、引言

随着化合物半导体激光管、发光管和探测器研究的成功和应用, 人们已经注意到同一类型材料的光调制器的研究^[1-4]。预计, 它在高速光通信、相干光通信、集成光电子学和激光陀螺等方面均有一定的应用前景。

以前, 调制器的大多数工作是利用半导体的线性电光效应或自由载流子的等离子效应^[5-6], 这样得到的器件相位移效率较低。本文报道的器件是利用薄波导层的耗尽边进行传输, 并对器件加反向偏压造成折射指数很大改变的原理来制备的。也就是说, 不仅利用了线性电光效应, 还利用了电折射效应等。这种腐蚀脊型 GaAs-GaAlAs 双异质结结构的相位调制器, 达到了迄今最高相位移效率的结果—— $69^\circ/V \cdot mm$ 。

二、实验

在(100)晶面低阻 GaAs 衬底上, 水平透明炉、石墨滑移舟系统内进行液相外延。Pd 扩散纯化氢作保护气体, 外延生长在 852—840℃ 进行。外延时, 采用双衬底法以控制熔体的饱和度, 冷却速度为 0.2℃/分。在 $2.2 \times 2.6\text{cm}^2$ 的衬底上依次生长 n-GaAs 缓冲层, n-Ga_{0.6}Al_{0.4}As 限制层和不同载流子浓度的 n-GaAs 波导层 ($0.2-0.3\mu\text{m}$ 厚), P-Ga_{0.6}Al_{0.4}As 限制层及 P⁺-GaAs 欧姆接触层。外延片解理面用 HF 酸溶液显结^[7], 然后用扫

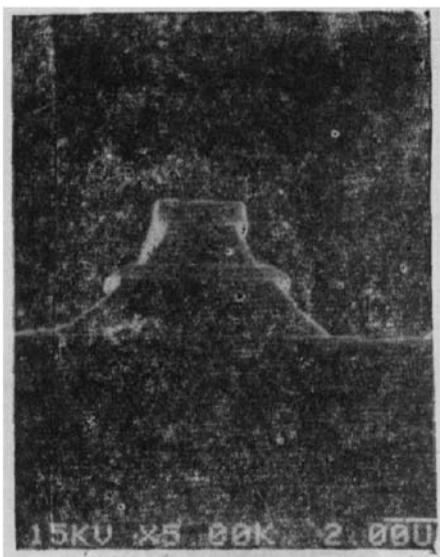


图 1 调制器解理面的 SEM 照片

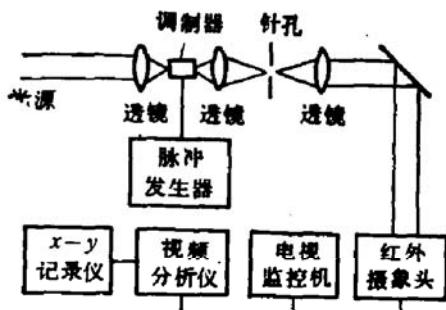


图 2 相位调制器测试装置示意图

扫描电镜 (SEM) 进行观察。外延片还用电化学 C-V 腐蚀法检测了各层的浓度。

用射频 (13.56MHz) 磁控溅射,在外延片 P 面淀积无定形 Si 膜,经光刻、等离子刻蚀等工艺,制备成 Si 条形薄膜,作为腐蚀掩膜^[8],用 2—5% 溴甲醇溶液进行室温腐蚀,形成脊形波导结构器件,如图 1 所示。然后分别用 5% Zn-Au 合金和 Au-Sn 合金作 P 面和 n 面欧姆接触。

用光学显微镜系统将 Nd-YAG 激光器 ($1.06 \mu\text{m}$) 或 InGaAsP 耦合腔激光器 ($1.3 \mu\text{m}$, 或 $1.55 \mu\text{m}$) 光束耦合进调制器的解理端面上。相位移的测量是将通过波导传输的光与通过衬底的光的远场干涉图象的相位移来测量的, 器件通过加在其上的反向偏置来进行调制。测试系统装置示意如图 2 所示。在物镜前装了 Glau-Thomsou 偏振片以控制入射光束的偏振。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。X-Y 记录仪则记录了器件的 Fabry-Perot 模位移引起的强度变化曲线。

三、结果和讨论

1. 反向偏压对相位移效率的影响

用 Nd-YAG 激光源测试了反向偏压对器件 WL 8507-202 的相位移影响, 结果如图 3 所示。这儿相位移效率的定义为

$$\eta = \frac{\phi}{V_B \cdot L}$$

其中, 相位移 ϕ 是光波经过波导调制后相位的变化; V_B 是所加的反向电压; L 是调制器波导的长度。从图 3 测试结果, 可以看出, 在 $1.06 \mu\text{m}$ 测试光源波长时, GaAs-GaAlAs 相位调制器的 TE 模或 TM 模, 相位移都随反向偏压的增加而线性地增加。经计算, 该调制器的 TE 模和 TM 模的相位移效率分别为 $69^\circ/\text{V} \cdot \text{mm}$ 和 $56^\circ/\text{V} \cdot \text{mm}$, 这是迄今得到的最高数据。

TE 模和 TM 模的相位移效率差, 可以认为是由于线性电光效应的影响。因为调制

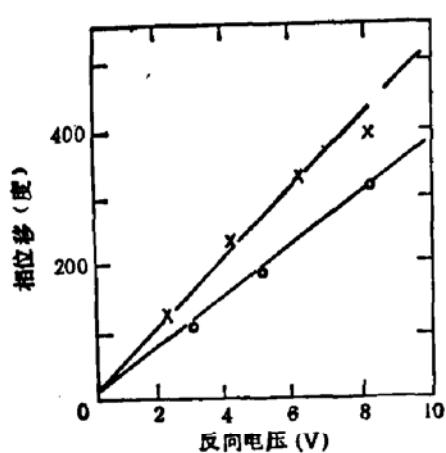


图 3 反向偏压对相位移的影响

样品编号 WL8507-202 \times TE 模, \circ TM 模,
 $L = 715\mu\text{m}$ $\lambda = 1.06\mu\text{m}$

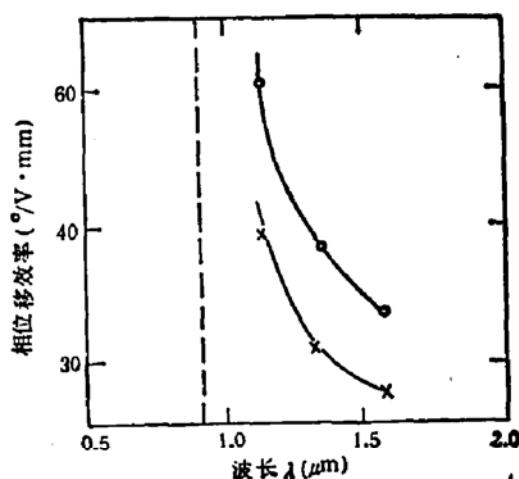


图 4 相位移效率与测试光源波长的关系

(虚线为波导层禁带波长)

器的波导取向在 $[01\bar{1}]$ 方向上, 这时对 TM 偏振来讲, 电光效应可以忽略^[9], 而主要受电折射效应影响^[10], 也受能带填充效应影响^[11].

Franz-Keldysh 电折射效应是电吸收效应的孪生效应。众所周知, GaAs、InP 材料线性电光效应的 Pockels 系数比常用的 LiNbO₃ 材料要小。但是, T.E. Van Eck^[12]等已经证明, GaAs、InP 材料有较强的电折射效应。这里利用了电折射效应, 得到了较高的相位移效率。

2. 测试光源波长对相位移效率的影响

利用不同波长测试光源对同一 GaAs 波导层的光调制器进行了相位移测试比较, 光源分别为 $1.06\mu\text{m}$ 的 Nd-YAG 和 $1.3\mu\text{m}$ 、 $1.55\mu\text{m}$ 的 InGaAsP 耦合腔激光器。图 4 为三种不同波长的光源测得的 TE 模和 TM 模相位移效率的变化关系。从图上可以看到, 无论 TE 模或 TM 模的相位移效率均受波长影响, 在接近波导层禁带宽度的波长光

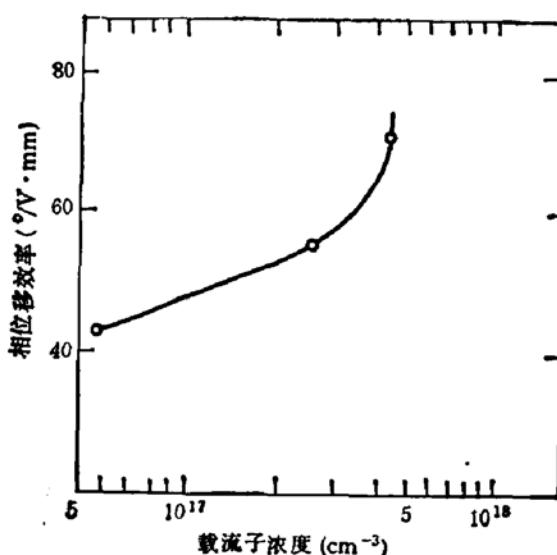


图 5 波导层载流子浓度与相位移效率关系

源下测试,可以得到最大相位移效率。这是电折射效应的一个显著特征。对于更短波长测试光源,相位移效率变化有待进一步验证。

3. 波导层载流子浓度对相位移效率的影响

在控制限制层载流子浓度、厚度不变,波导层厚度在 $\sim 0.2 \mu\text{m}$ 情况下,变化波导层载流子浓度,研究其对相位移效率的影响。如图 5 所示,在波导层载流子浓度 $4-5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 时,得到最高的相位移效率。J. G. Mendoza-Alvarez 等^[12]计算了 GaAs 中折射指数与自由载流子浓度之间的关系,他指出,在 $n = 6 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 附近,折射指数达到最大值。显然,图 5 的结果吻合上述计算结论。

限于目前的实验条件,尚未研究上述因素对调制器带宽的影响,需进一步实验。

四、结 论

利用薄波导层耗尽边进行光学传输,器件加反向偏压而综合材料的电光效应和电折射效应、能带填充效应等,制备的 GaAs-GaAlAs 双异质结脊型相位调制器,在测试波长 $1.06 \mu\text{m}$ 时,得到迄今最高相位移效率的结果。

工作中得到 A. Vawter, D. Zak 和黄拓川、陈自姚等帮助,受 UC Micro、Rockwell International 和 AFOSR Contract No. 85-0323 支持,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] F. K. Reinhart and B. I. Miller, *Appl. Phys. Lett.*, 20, 36(1972).
- [2] X. S. Wu, A. Alping *et al.*, *Elect. Lett.*, 22, 328(1986).
- [3] A. Alping, X. S. Wu *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 48, 1243(1986).
- [4] T. H. Wood, J. S. Weiner, Conf. on Integrated and Guided Wave Optics THAA1, 20(1986).
- [5] P. M. Rodgers, M. J. Robertson *et al.*, Conf. on Integrated and Guided wave Optics, THAA4, 22(1986).
- [6] A. J. N. Houghton, P. M. Rodgers *et al.*, *Elect. Lett.*, 20, 479(1986).
- [7] X. S. Wu, L. A. Coldren *et al.*, *Elect. Lett.*, 21, 558(1985).
- [8] X. S. Wu, E. Omura *et al.*, *J. Appl. Phys.*, 60, 1218(1986).
- [9] C. S. Namba, *J. Opt. Soc. Amer.*, 51, 76(1961).
- [10] T. E. Van Eck, L. M. Walpita *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 48, 451(1986).
- [11] J. Manning, R. Olshansky *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, QE-18, 1525(1986).
- [12] J. G. Mendoza-Alvarez, F. D. Nunes *et al.*, *J. Appl. Phys.*, 51, 4365(1980).

Study on Phase Shift Efficiency of GaAs-GaAlAs Modulator

X. S. Wu

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica, Shanghai, China)

A. Alping T. R. Hausken and L. A. Coldren

(University of California, Santa Barbara, U. S. A.)

Abstract

The etching ridge GaAs-GaAlAs DH phase modulators are reported. The reverse-biased voltage, the wavelength of optical sources and carrier concentration dependence of phase modulator on phase shifting efficiency of the devices are studied. The largest phase shifting efficiency ever reported in a reverse-biased p-n junction is observed.

KEY WORDS: Optical modulator, Semiconductor devices, Phase shifting efficiency.