

GaAs/GaAlAs 定向耦合器型行波调制器 II. 实验*

杨建义 周 强 吴志武 吴通锡 王明华 高桥芳浩 多田邦雄
(浙江大学信息与电子工程学系, 杭州 310027) (日本东京大学工学部电子工学科)

摘 要 在理论分析设计的基础上, 进行了 GaAs/GaAlAs 定向耦合器型行波调制器实验。建立了器件行波电极微波特性的测试系统, 由此系统进行实验确定器件最佳结构参数, 完成器件的制作。器件采用共平面行波电极, 击穿电压 28 V。用 1.06 μm YAG 激光器进行测试, 开关电压 8.5 V。由微波网络分析仪测试器件行波电极的微波特性, 测得电极中微波与波导中光波间的速率失配小于 3%, 且在 30 GHz 下, 微波传输损耗小于 30 dB, 表明器件的 3 dB 调制带宽超过 32 GHz。
关键词 GaAs/GaAlAs, 光波导调制器, 集成光学。

在文献[1]中, 作者对目前器件存在的主要问题, 从理论方面进行了研究和分析, 设计了 GaAs/GaAlAs 定向耦合器型行波调制器, 并根据初步的实验结果, 对器件结构进行了改进, 最终设计的器件结构如图 1 所示。本文是在文献[1]的研究基础上进行实验, 针对器件行波电极微波特性的重要性, 侧重于器件行波电极微波特性的测试工作, 从而确定器件最佳结构参数, 完成器件的制作和测试。

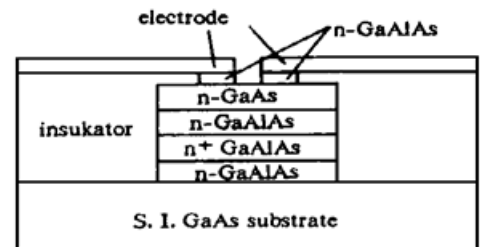


Fig. 1 GaAs/GaAlAs traveling-wave directional coupler optical waveguide modulator

1 器件的制作

器件所用的外延材料是用分子束外延生长获得的。用半绝缘 GaAs 衬底; 先生长一层 n^- GaAs 缓冲层, 生长中的背景杂质浓度为 10^{15} cm^{-3} , 厚度为 0.1 μm ; 随后是 n^- Ga_{0.95}Al_{0.05}As, 厚度 1.3 μm ; 接着依次为 n^+ Ga_{0.95}Al_{0.05}As, 掺 Si 浓度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 厚度 0.2 μm ; n^- Ga_{0.95}Al_{0.05}As, 厚度 0.5 μm ; n^- GaAs 波导层, 厚度 1.5 μm ; n^- Ga_{0.95}Al_{0.05}As, 厚度 0.5 μm ; 最后是 0.05 μm 厚的 GaAs 层用于肖特基(Schottky)接触。

脊形波导的制作是用正性光刻胶掩膜, 用 $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} (\text{D. I.}) = 1 \cdot 1 \cdot 10$ 的腐蚀液完成的, 腐蚀脊的高度为 0.5 μm 。定向耦合器的脊波导宽度为 5 μm , 波导间距为 3.5 μm 。

* 国家自然科学基金和 863 高技术资助项目。

收稿日期: 1996 年 3 月 26 日; 收到修改稿日期: 1996 年 7 月 15 日

制作台面是为了去除多余的外延层, 以尽可能降低行波电极中的微波传输损耗。台面制作时同样用正性光刻胶掩膜, 用 $\text{H}_3\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 系腐蚀液腐蚀制作。台面高度 $3.6\ \mu\text{m}$, 宽度为 $35\ \mu\text{m}$ 。对去除外延层的部分用高分子绝缘材料层予以填充, 以防制作电极时, 由于台面的位差导致电极的断接。所用的高分子材料是 UR-3800 型负性光敏高分子聚合物, 可用 DV-605 型显影剂除去其非曝光部分。由于在电极制作中无法使用剥离技术, 作者采用了光刻掩膜腐蚀的方法。电极材料选用 Al。用电蒸发的方法, 使铝与器件材料形成肖特基接触, 然后用正性光刻胶掩膜, 用 80% 的浓 H_3PO_4 水浴法加热腐蚀刻蚀完成。为了满足电极中微波趋肤深度的要求, Al 的厚度为 $1.2\ \mu\text{m}$ 。器件调制区长度为 $8\ \text{mm}$, 器件总长度为 $14\ \text{mm}$ 。

2 器件的测试

2.1 直流特性的测试

由于采用的是共平面电极, 器件表现为两个肖特基结的反接。测试获得的器件击穿电压为 $28\ \text{V}$ 。器件的直流特性是调制器的一个重要参量。直流测试系统如图 2 所示, 用 He-Ne 激光器准直测试系统光路, YAG 激光器为测试用光源, 其工作波长为 $1.06\ \mu\text{m}$ 。器件的直流特性测试结果如图 3 所示。可以看到, 器件的开关电压是 $8.5\ \text{V}$, 直通态的消光比为 $8\ \text{dB}$, 交叉态的消光比不小于 $15\ \text{dB}$ 。

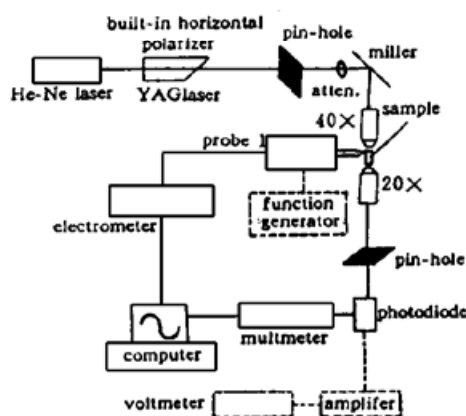


Fig. 2 The system for measuring the direct current modulation characteristics

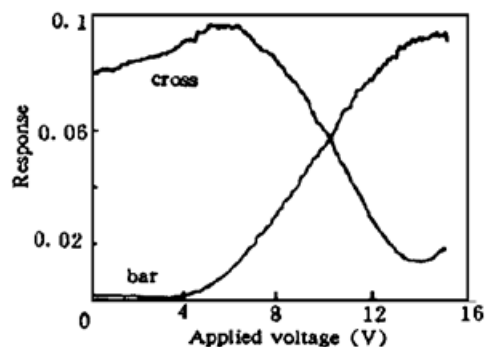


Fig. 3 The direct current modulation characteristics

2.2 微波特性的测试

利用微波网络分析仪对器件行波电极的微波特性进行测试, 如图 4 所示。

由微波理论可以知道, 对于图 4 所示的微波传输线网络, 可以定义 S 矩阵:

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

若 S_{11} 的幅值大, 表明微波传输线由输入口 1 输入能量时, 网络存在大的反射, 网络和源间阻抗失配大; 若 S_{21} 的幅值小, 表明网络的微波传输损耗相当大。由 S_{21} 的相位值 ϕ_1 的微波频率响应可以计算微波在传输线中传输的有效折射率 n_m 值:

$$n_m = c\Delta\phi/2\pi L\Delta f \quad (2)$$

$$\Delta\phi = \phi_1(f_1) - \phi_1(f_2) = -(\beta_1 L - \beta_2 L), \quad \Delta f = f_1 - f_2$$

L 为微波传输线长, c 为真空中光速, f_1 和 f_2 为微波的两个频率值。关于 S 参量的具体推导和测试方法可以参见有关微波技术书籍^[2, 3]。

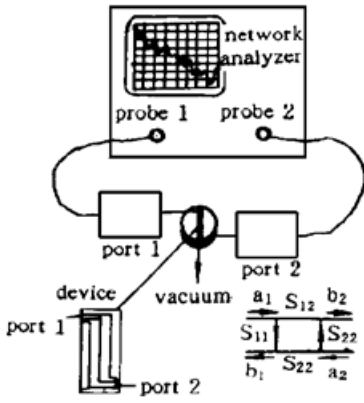


Fig. 4 The system for measuring the microwave transmission characteristics of traveling wave modulator

为了获得图 1 结构下器件的最佳参数, 作者进行了一系列初步的器件微波特性实验, 主要分析了台面的宽度值、非掺杂层(包括波导层及相邻的上下限制层)的厚度影响。通过对不同台面宽度的器件测试可以看到, 台面越宽, 行波电极微波损耗越大, 微波有效折射率也越大, 即慢波效应加强。当 n^+ 重掺杂层远离电极, 即两者间的非掺杂层厚度加大, 微波损耗降低, 有效折射率下降。这与理论解释均是一致的。作者也测试了在不同铝电极厚度下的情况, 当铝厚度为 $0.2 \mu\text{m}$ 时, 微波损耗极大; 为 $0.7 \mu\text{m}$ 时, 损耗减小; 达到 $1.2 \mu\text{m}$ 时, 损耗趋于稳定值。这是由微波在铝电极中的趋肤深度所决定的。通过一系列的实验, 确定了图 1 所示的器件参数。

器件的微波特性测试结果如图 5 所示。由图 5(a) 中的 S_{21} 参量曲线可以知道, 器件行波电极微波传输的有效折射率值为 3.56, 和光波的有效折射率值 3.48 相近。图 5(b) 中的 S_{11} 参量曲线表明共平面行波电极传输线的阻抗依然有些失配(测试网络分析仪的匹配阻抗值为 50Ω)。由此得到图 6 所示的微波有效折射率和传输损耗的色散曲线。

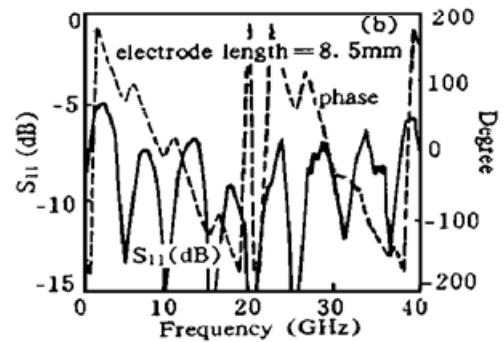
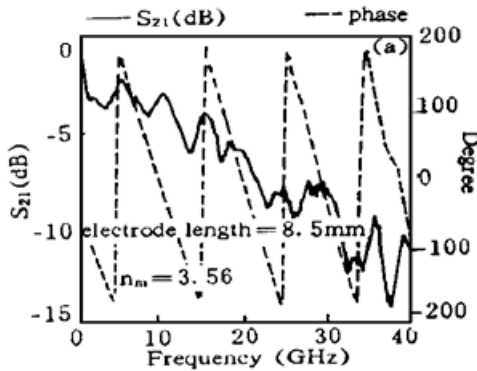


Fig. 5 (a) The S_{21} parameter and (b) the S_{11} parameter of the coplanar traveling wave electrodes

由于测试条件的限制, 无法直接测试器件的高频(微波)交流特性。应用文献[1]中的理论及测试获得的器件行波电极的微波特性值, 可以计算得如图 7 所示的器件调制带宽曲线, 可以看到器件的 3 dB 调制强度带宽超过 32 GHz。

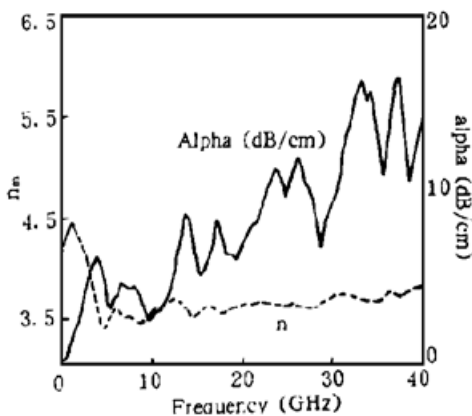


Fig. 6 Dispersion curves of the effective index and the transmission loss of the microwave, which are calculated from Fig. 5

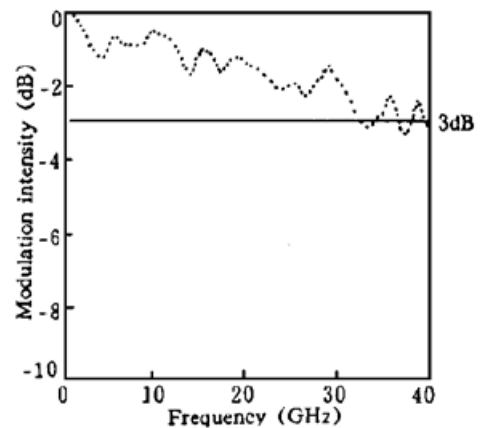


Fig. 7 The relationship between the modulation intensity and the modulation frequency in the device, which is calculated from Fig. 5

3 总结和讨论

在文献[1]的基础上, 本文给出了 GaAs/GaAlAs 定向耦合器型行波调制器的制作过程和测试结果。器件的击穿电压为 28 V, 开关电压 8.5 V, 由微波网络分析仪测得器件行波电极中微波与器件波导中光波间的速率失配小于 3%, 在 30 GHz 时, 微波的传输损耗小于 30 dB。通过测试共平面行波电极的微波特性 S 参量, 再利用微波理论分析获得了调制器的频响曲线, 结果表明所设计制作的光波导调制器 3 dB(光) 调制带宽超过 32 GHz。

在文献[1]和本文中, 作者完成了 GaAs/GaAlAs 异质结构定向耦合器型行波光波导调制器的研制工作。通过实验和分析知道, 器件的调制带宽进一步的提高, 尚需解决的主要问题是: 1) 用金电极代替铝电极, 进一步降低行波电极引入的微波传输损耗。2) 通常 n^+ 重掺杂层的掺杂浓度取为 10^{18} cm^{-3} 。在本文中, 器件中的 n^+ 重掺杂层也取这一掺杂浓度。然而由于 n^+ 重掺杂层在器件中的重要地位, 需要通过实验寻求更加合适的电导率(掺杂浓度)值以及相应的厚度, 降低微波传输损耗。另外, 此时器件的行波电极的宽度已不受约束于波导的宽度值, 因此器件在尽可能进行微波和光波间的速率匹配和降低微波传输损耗的同时, 可以考虑通过包括行波电极宽度在内的各结构参数的选取, 做到行波电极的 50Ω 的阻抗匹配。

参 考 文 献

- [1] 杨建义, 周 强, 吴志武等, GaAs/GaAlAs 定向耦合器型行波调制器: 1. 设计. 光学学报, 1997, 17 (5)
 [2] 水启刚, 微波技术, 北京, 国防工业出版社, 1986: 6
 [3] 吴志武, II-V 族化合物半导体行波调制器研究(博士论文). 杭州, 浙江大学, 1995

GaAs/GaAlAs Traveling-Wave Directional Coupler Modulators: II. Experiment

Yang Jianyi Zhou Qiang Wu Zhiwu Wu Tongxi Wang Mingkua
 (Department of Information and Electronic Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Yoshihiro Takahasi Kunio Tada
 (Department of Electronic Engineering, University of Tokyo)
 (Received 26 March 1996; revised 15 July 1996)

Abstract The experiments on the GaAs/GaAlAs traveling-wave directional coupler optical modulator are done. With aid of a system for measuring the microwave characteristics of the traveling wave electrode. Then the parameter of the modified structure of the device are determined and the traveling wave optical modulator is fabricated and measured. The coplanar traveling wave electrode is used in this device and the measured breakdown voltage is 28 V. Under the measure system with 1.06 μm YAG laser, the switch voltage of 8.5 V is obtained. The velocity mismatching between the microwave, measured by the network analyzer, and the lightwave in the waveguide of the device is less than 3% and the microwave transmission loss is less than 10 dB/cm at 30 GHz which indicates the 3 dB optical modulation bandwidth of the traveling-wave modulator is greater than 32 GHz.

Key words GaAs/GaAlAs, optical waveguide modulator, integrated optics.