

GaAs 非对称 X 结波导混合耦合器的研究*

冯 浩 王明华 胡小文 杨建义

(浙江大学信息与电子工程系, 杭州 310008)

摘 要 本文报道了 GaAs 非对称 X 结波导耦合器的工作原理. 该器件制作在 n^-/n^+ GaAs 外延材料上. 文中采用有效折射率法分析了这个耦合器的分离角、波导脊高及其两个非对称波导传播常数差之间的关系. 器件在 $\lambda = 1.15 \mu\text{m}$ 下测量, 得到了小于 -2.9 dB 的分光性能和小于 -20 dB 的串音比.

关键词 X 结波导, 耦合器.

1 引 言

在集成光学器件中, 作为光混合器的波导器件有对称 Y 分支耦合器和三波导耦合器, 它们主要用于波导调制器中作为 3 dB 耦合器和干涉器^[1,2]; 用这两个耦合器制作的调制器只有一个输入端和一个输出端, 无法用作光开关及列阵; 而非对称 X 结波导耦合器以其特殊的工作原理, 既可用于光调制器的 3 dB 耦合器和干涉器使其成为光开关, 也可用于单片集成的传感器. 该器件已在 LiNbO_3 材料^[3]和玻璃材料^[4]上研制成功, 本文报道其在 III-V 族化合物材料上的研制工作. III-V 族化合物材料具有巨大的光、电集成潜力, 这是其它材料不具备的特点. 因此, 对各种 GaAs 波导器件的研究是很有意义的.

非对称 X 结耦合器可以理解为由一个对称 Y 分支波导一个非对称 Y 分支波导构成如图 1 所示. 因此, 通过分析这两种 Y 分支波导原理, 就可以知道 X 结耦合器的工作原理.

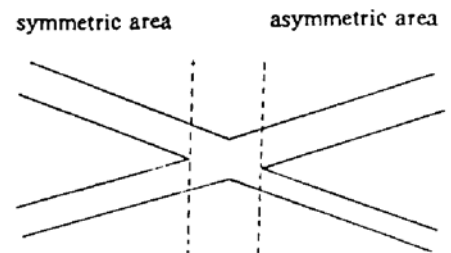


Fig. 1 Asymmetric X-junction hybrid coupler

2 Y 分支波导的工作原理

从模式转换的角度来讲, 对称 Y 分支波导一般工作在功率分割状态, 即可以作为功率分割器或模式转换器. 模式转换遵循“传播常数最接近”原则^[5]. 图 2 所示为对称 Y 分支模式转换规律. 而在非对称 Y 分支中, 一般选取参数使得 B, C 波导的宽度不同 (如 $B > C$). 在分支角 θ 很小的情况下, Y 分支将具有模式分离功能, 即 θ 应满足以下条件^[6]

$$\theta < \theta_c = \Delta\beta / (0.43 \sqrt{\beta_0^2 - n_3^2 k^2})$$

收稿日期: 1993年1月11日; 收到修改稿日期: 1993年3月15日.

* 国家自然科学基金资助课题.

式中 $\Delta\beta = |\beta_B - \beta_C|$, n_3 为分支波导间平板波导的折射率, β_0 为分支 B 和 C 独立时的平均传播常数. 此时 Y 分支中的模式转换仍然遵循上述原则. 图 3 为非对称 Y 分支的模式转换规律.

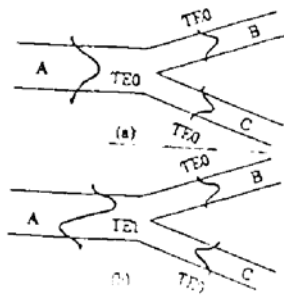


Fig. 2 Mode conversion in symmetric Y-branch

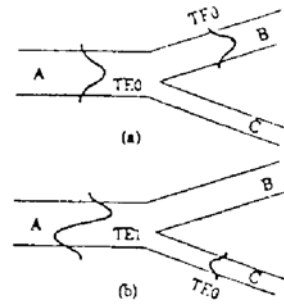


Fig. 3 Mode sorting in asymmetric Y-branch

通过上述分析, 计算了 n^-/n^+ GaAs 脊型波导的非对称 Y 分支模式分离角与 B, C 波导的相对传播常数差和脊高的关系曲线, 如图 4, 图 5 两组曲线所示. 从曲线可以看出, 临界分离角随传播常数差的变化较大, 而随脊高的增加, 不同波导厚度的 Y 分支临界分离角趋于一致.

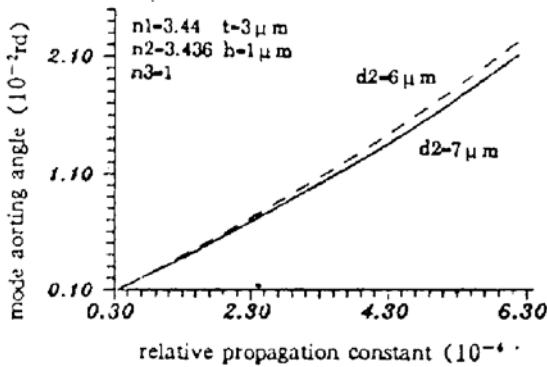


Fig. 4 Mode sorting angle in homostructure waveguides varies with the relative propagation constant

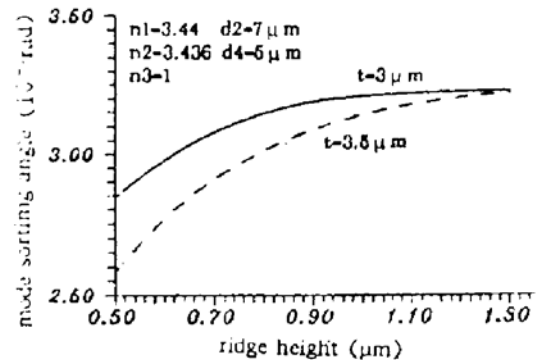


Fig. 5 Mode sorting angle in homostructure waveguides varies with ridge height

3 非对称 X 结耦合器工作原理

非对称 X 结可以看成有三个区域, 即对称 Y 分支区, 过渡区和非对称 Y 分支区, 如图 1 所示. 输入端的光场转换过程可以认为是上述 Y 分支光场转换过程的逆过程, 输出端的光场转换与上述过程相同. 对于不同的光输入形式, 可总结为 8 种基本工作原理 (即光场转换过程), 如图 6 所示. 前述 X 结耦合器可作为 3 dB 耦合器, 也可作为干涉器. 现就两种工作状态来说明该器件的模式转换过程.

3.1 3 dB 耦合器

如果一束偏振光 (如 TE_0 模) 由对称端的一个分支端口输入, 在这个分支系统中将激励产生一对奇偶模, 并沿着 Z 方向传播; 在交叉点, 偶模转换为基模, 奇模转换为 1 次模, 两个模式功率

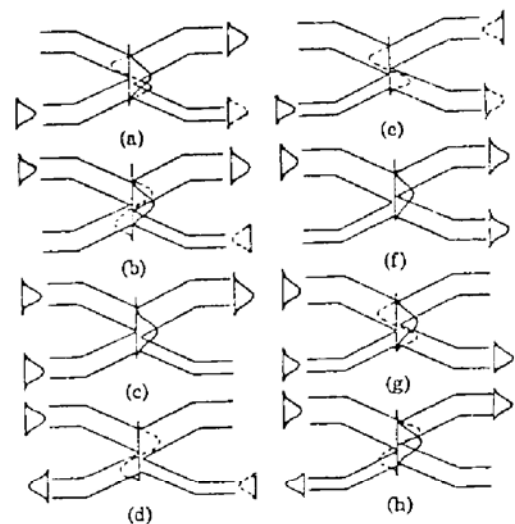


Fig. 6 The working principle of the asymmetric X-junction hybrid coupler

相等. 这时, 根据模式转换原则, 基模从非对称 Y 分支区的宽波导中输出, 1 次模从窄波导中输出, 如图 6(a), (b) 所示. 若一束偏振光 (TE_0 模) 从非对称端的窄波导或宽波导输入时, 在交叉区将激励一次模或基模, 并由对称端等功率输出. 如图 6(e), (f) 所示.

3.2 干涉器

若两束同相位 TE_0 模分别从对称端的两个波导输入, 在过渡区将激励产生基模, 并从输出端的宽波导中输出, 如图 6(c) 所示. 若输入两光场相位相反, 则在过渡区会产生 1 次模场分布, 并从输出端窄波导中输出, 如图 6(d) 所示. 若两束偏振光同时分别从宽波导和窄波导输入时, 它们分别会在过渡区产生基模和一次模, 这两个模分别转换为两对称输出波导中的 TE_0 模; 若同一输出波导中的两个 TE_0 模同相, 则相互加强输出, 若相反, 则会相互抵消. 图 6(g), (h) 显示了这两种输入状态下的输出情况.

4 器件的设计和制作

由于非对称端工作在模式分离状态, 因此要求分支角 $\theta < \theta_c$, 参考前面的计算结果和工艺精度要求, 选取该分支角角度为 0.4° . 对称端工作在模式转换状态, 分支角可取较大值, 但分支角过大, 将导致分支处产生散射损耗, 故选取该角角度为 0.8° . 另外, 该器件采用的是单模波导, 因此可以采用有效折射率以计算 n^-/n^+ GaAs 波导的单模波导宽度的取值范围, 约为 $1 \sim 9 \mu\text{m}$. 图 7 表示了器件的几何参数.

器件制作在通过气相外延生长的 n^-/n^+ GaAs 外延层 (100) 面上. 由于 n^- 外延层载流子浓度 (约 10^{15} cm^{-3}) 小于衬底载流子浓度 ($\geq 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), 外延层与衬底之间产生折射率差 (约 5×10^{-3}), 这样外延层就成为波导层, 其厚度约为 $2.5 \mu\text{m}$. 通过镜面腐蚀液 $\text{H}_3\text{PO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1 : 10$, 在 25°C 下腐蚀约 2 分钟, 形成脊高约 $1 \mu\text{m}$ 的脊形波导, 使原平板波导实现侧向限制.

5 测试结果与讨论

器件的测试采用了 $\lambda = 1.15 \mu\text{m}$ 的 He-Ne 激光器, 激光束经偏振器被透镜聚焦到波导端面, 移动波导可以得到不同的入射状态. 从器件中输出的光再由透镜准直, 用红外摄像机接收, 在显示器中显示其光斑, 并用选行存储器 and 示波器选取光斑的光场分布并计算其相对强度. 图 8 显示了该耦合器部分工作状态下的光斑和光场分布情况.

对于图 6(d), (h) 两种状态, 由于同时输入两个反相光束是困难的, 因此制作了 $2 \times 2, 1 \times$

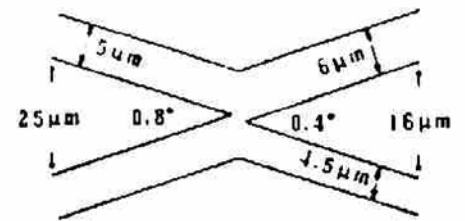


Fig. 7 The structure parameters of the hybrid coupler

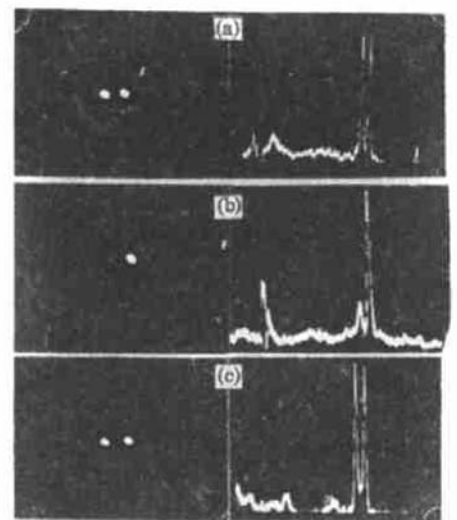


Fig. 8 Output optical spots and optic field distribution of the coupler. Light input on single waveguide (a) and two waveguides (b) of asymmetric section; Light input on single waveguide (c) of symmetric section

2 马赫-陈德尔干涉器结构^[7,8]来间接测量这两种状态. 这两个器件分别采用了非对称 X 结和 Y 分支作为 3 dB 耦合器, 一束偏振光(TE_0 模)经该耦合器分成相等两束后, 再由两个相位调制器调制, 使这两个光产生 180° 的相对相位差, 并再进入待测的非对称 X 结耦合器, 从而得到近似结果. 测量结果如下

Fig. 6	3 dB coupler (dB)	interferometer (dB)
a/b	< -2.9	
c		< -20
d		< -16
e/f	< -2.85	
g		< -22
h		< -22

作者认为制版中的误差, 会使 1×2 开关的两个干涉臂宽度产生微小差别, 从而造成串音. 因此, 前面 d 的结果较差, 就是因采用了这种间接测量带来的误差, 而实际情况要好得多.

结 论 本文全面讨论并测量了 GaAs 非对称 X 结混合耦合器, 得到了小于 -2.9 dB 的分光特性和小于 -20 dB 的串音特性. 该混合器除了可用于光开关外, 还可用于集成光纤陀螺.

参 考 文 献

- [1] P. Buchmann, H. Kaufmann, H. Melchiro, Broadband Y-branch electro-optic GaAs waveguide interferometer for $1.3 \mu\text{m}$, *Appl. Phys. Lett.*, 1985, **46**(5): 462~464
- [2] R. G. Walker, High-speed electrooptic modulator in GaAs/GaAlAs waveguide devices, *IEEE J. Lightwave Technol.*, 1987, **LT-5**(10): 1444~1453
- [3] M. Izutsu, A. Enokihara, T. Sueta, Optical-waveguide hybrid coupler, *Opt. Lett.*, 1982, **7**(1): 549
- [4] C. P. Hussell, R. V. Ramaswamy, R. Srivastava, Wavelength and polarization insensitive 3 dB cross-coupler power dividers by ion exchange in glass, *App. Phys. Lett.*, 1990, **56**(24): 2381~2383
- [5] H. Yajima, Coupled mode analysis of dielectric planar branching waveguides, *IEEE J. Quant. Electron.*, 1987, **QE-14**(10): 749~755
- [6] W. Burns, A. F. Milton, Mode conversion in planar-dielectric separating waveguides, *IEEE J. Quant. Electron.*, 1975, **QE-11**(1): 32~39
- [7] 冯浩, 李锡华, 王明华 等, GaAs 2×2 Mach-zehnder 光波导开关调制器, *光学学报*, 1992, **12**(11): 1043~1047

Study of GaAs Asymmetric X-Junction Waveguide Hybrid Coupler

Feng Hao Wang Minghua Hu Xiaowen Yang Jianyi

(Department of Information and Electronic Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310008)

(Received 11 January 1993; revised 15 March 1993)

Abstract We report on the GaAs asymmetric X-junction waveguide coupler. The mechanism of this coupler is discussed. The device is made on n^-/n^+ GaAs epitaxial material. The relation among the mode sorting angle and waveguide ridge height and the difference between the propagating constants of two asymmetric waveguides is analyzed by using an effective-index approximation. The device is characterized by a power division of -2.9 dB and a crosstalk ratio of less than -20 dB. It is shown that this device could be applied to switcher and optical sensor.

Key words X-junction waveguide, coupler