

文章编号 : 0253-2239(2001)07-878-04

1 × 16 多模干涉型 GaAs 光功分器的研制*

马慧莲 杨建义 江晓清 王明华
(浙江大学信电系, 杭州 310027)

摘要: 设计并制作了一种能直接与通信用标准单模光纤阵列相耦合的 1 × 16 多模干涉型光功分器。其输入、输出单模波导采用离散谱折射率法优化设计, 获得了脊宽为 3 μm、脊高为 2.9 μm 和理论传输损耗约为 0.028 dB/cm 的单模脊形光波导。分析表明, 这种深刻蚀多模干涉型光功分器具有较大的制作容差性、较宽的工作带宽以及几乎可忽略的极化依赖性。测试结果表明, 器件实现了 1 × 16 光功分器功能。

关键词: 多模干涉; 光功分器; 离散谱折射率法

中图分类号: TN256 文献标识码: A

1 引 言

高性能、集成化的光功分器是高速、大范围、多路访问的光纤网络必不可少的重要器件。基于自镜像效应(SIE)的多模干涉(MMI)型光功分器具有结构紧凑、低的插入损耗、较宽频带、制作工艺简单和容差性好等优点^[1,2], 所以它有着非常广泛的应用前景, 我们正在对它进行其实用化研究。

2 设 计

本文设计的 1 × 16 多模干涉型 GaAs 光功分器的俯视图如图 1 所示。在所需波导结构的两边制作了参考直波导, 用作与光纤耦合时的对准标志。

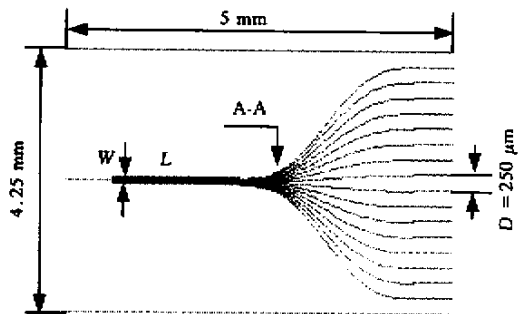


Fig. 1 Top view of 1 × 16 MMI optical power splitter

本文所设计的 1 × 16 多模干涉型 GaAs 光功分器的单模输入、输出脊形波导的截面图如图 2 所示。按设计要求, 将 GaAlAs 上限制层和 GaAs 波导层完

全刻蚀掉, 用来形成空气-波导-空气这种强限制波导结构, 这不但可以提高多模波导自镜像效应和减小器件偏振依赖性, 而且在输入、输出端弯曲波导设计时, 在相同的传输损耗情况下有较小的弯曲半径, 从而大大减小器件尺寸^[3]。

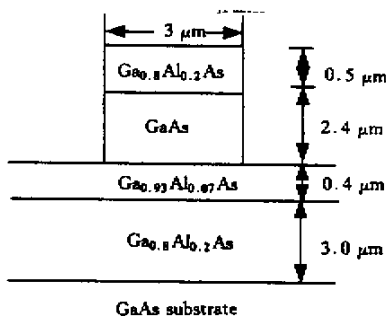


Fig. 2 Cross-section of GaAs single-mode rib waveguide

本文所设计的光功分器将工作在第三通信窗口, 即工作波长 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ 。输入、输出单模波导采用离散谱折射率法^[4]优化设计, 获得了当脊宽为 3 μm 时, 除基模外, 所有其他高阶模(这里仅画出了一次模的光场分布, 实际上其他高阶模的损耗将更大, 都被过滤到衬底中去而成为泄漏模, 最终获得理论传输损耗约为 0.028 dB/cm 的单模工作状态(如图 3 所示)。由多模干涉原理可知, 为实现 1 × 16 的光功率分配, 自镜像效应多模波导的最短长度为^[2]

$$L_{\text{MMI}} = \frac{1}{16} \cdot \frac{3L_{\pi}}{4}, \quad (1)$$

其中 L_{π} 为零次模和一次模传播常数差倒数的 π 倍, 即两个最低次模的拍长:

$$L_{\pi} = \frac{\pi}{\beta_0 - \beta_1} = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{n_0 - n_1}, \quad (2)$$

* 国家自然科学基金(69677012)和国家重点基础研究发展规划资助项目。

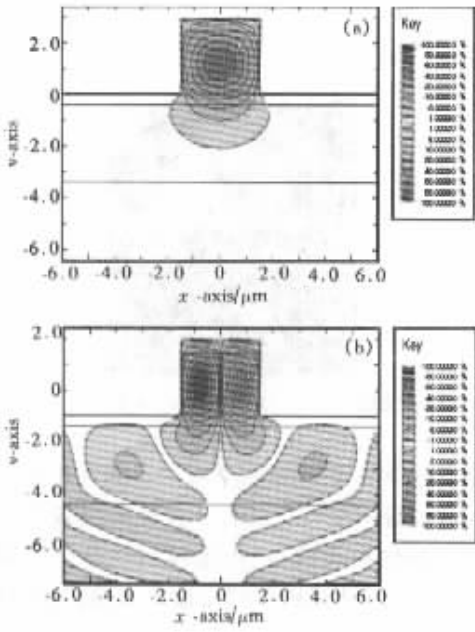


Fig.3 (a) The predicted field of TE₀₀ mode ;
(b) The predicted field of TE₁₀ mode

其中 β_0 和 β_1 分别为自镜像效应多模波导(宽度为 W)零次模和一次模的传播常数, n_0 和 n_1 为相应的有效折射率。兼顾自镜像效应和器件尺寸大小,选取自镜像效应多模波导宽度 W 为 $128 \mu\text{m}$, 利用离散谱折射率法^[4]便可求得相应的各参数(如表 1)。从表 1 不难发现,我们设计的深刻蚀 1×16 多模干涉型光功分器对极化依赖性几乎是可忽略的,这一特性对单模光通信系统是十分重要的。为保证器件最后能与通信用标准单模光纤相耦合,在自镜像效应多模波导输出端,采用了具有较小弯曲损耗的 S 形弯曲波导结构,使两相邻输出波导中心间距 $D = 250 \mu\text{m}$ 。当弯曲半径较大时,弯曲辐射损耗可忽略,在强限制波导结构中,这个弯曲半径下限 R_{CO} 可由有效折射率法估计^[5],由此可确定 S 形弯曲部分波导的最短长度,我们取 2.6 mm 。

Table 1. The parameters for SIE multimode waveguide with the width of SIE multimode waveguide fixed at $128 \mu\text{m}$

$n_0(\text{TE})$	$n_0(\text{TM})$	$n_1(\text{TE})$
3.36723	3.36708	3.36721
$n_1(\text{TM})$	$L_{\text{MM}}(\text{TE})$	$L_{\text{MM}}(\text{TM})$
3.36706	$2225.2 \mu\text{m}$	$2225.0 \mu\text{m}$

3 特性分析

光功分器中,插入损耗和输出均匀度是两个极

为重要的性能指标,所以在光功分器设计时,一定要考虑到这两个指标。光功分器的输入端与某输出端的插入损耗是由分光比引起的本征损耗和附加损耗(是指各输出端的能量总和与输入端能量之比)组成的,输出均匀度则反映了光功分器分配光束的均匀程度,与器件的插入损耗相比,器件输出均匀度是更为重要的参数。插入损耗 α 和输出均匀度 u 一般都采用分贝值表示,定义如下:

$$\alpha = 10\lg(P_{\text{out}}/P_{\text{in}}), \tag{3}$$

$$u = 10\lg(P_{\text{outmin}}/P_{\text{outmax}}), \tag{4}$$

其中 P_{in} 和 P_{out} 分别表示输入光功率和某一输出端输出光功率的大小, P_{outmin} 和 P_{outmax} 则分别表示输出波导中输出光功率的最小值和最大值。

根据前面所取参数,图 4 给出了自镜像效应多模波导宽度 W 的变化对器件附加损耗和输出均匀度的影响。由图可见,附加损耗较输出均匀度更为敏感,当各自均允许 1 dB 的偏离时,附加损耗所允许的 W 的偏差为 $\pm 0.8 \mu\text{m}$, 输出均匀度为 $\pm 2.3 \mu\text{m}$ 。在集成光学工艺中,通常器件的制作精度可以控制在 $1 \mu\text{m}$ 以下。因此,我们所设计的器件对工艺的精度要求不算太高,因而十分有利于批量生产。

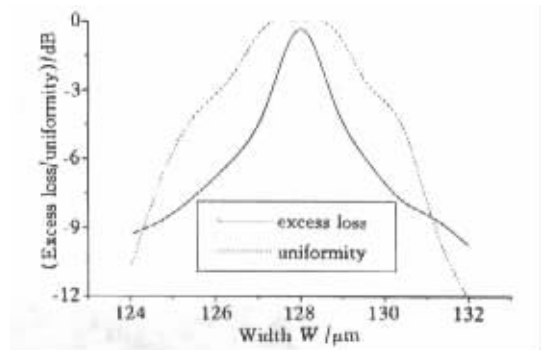


Fig.4 Excess loss and uniformity versus the width W SIE multimode waveguide with length fixed at $2225 \mu\text{m}$

光通信系统向高速化的不断发展,波分复用(WDM)、频分复用(FDM)等技术的引进以及掺铒光纤放大器(EDFA)的引入,电信网向多业务、宽带化发展的必然趋势等,都对光通信所用元器件的工作带宽提出了越来越高的要求。由于多模干涉型器件是相位敏感的器件,其工作带宽将受限。图 5 给出了工作波长 λ 的变化对本文所设计的 1×16 多模干涉型光功分器的附加损耗和输出均匀度的影响。由图中可见,当工作波长偏离 $\pm 50 \text{ nm}$ 时,引起的输出均匀度小于 0.5 dB ,且在很大范围内,输出均匀度几乎不受影响,而附加损耗相对工作波长比较敏感。

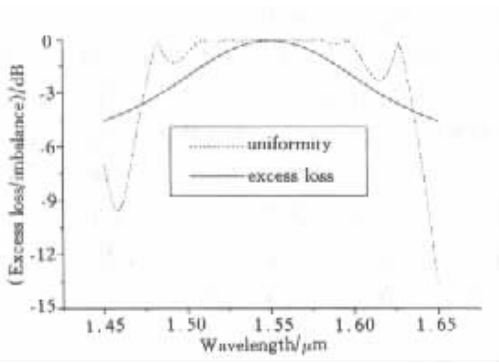


Fig.5 Excess loss and uniformity versus the wavelength with the optimum wavelength of 1.55 μm

4 制作与测试

我们制作的 1×16 多模干涉型光功分器是基于 (100) 晶面衬底的 GaAs 外延层上, 光波导沿 110 晶向。本文研制的光功分器只需光刻一次, 光刻后的正胶掩膜位于光波导部分。由于多模干涉型结构器件要求在多模干涉耦合区的边界折射率突变, 即波导侧壁具有较高的垂直度, 所以本器件必须采用干法刻蚀。按设计要求, 刻蚀深度控制在 $2.9\mu\text{m}$ 。刻蚀结果的芯片截面扫描电子显微镜 (SEM) 图如

图 6 所示。可以看出, 图形边缘及垂直度基本上达到了预定的要求。



Fig.6 The SEM picture of the cross-section of single-mode rib waveguide after dry etching

器件的测试系统如图 7 所示。测试用的光源为 $1.55\mu\text{m}$ 的分布反馈激光器。经红外摄像获得器件输出成像后的视频信号, 由视频线传送至计算机的视频采集卡, 由计算机存储器输出成像, 并进行数据处理。

图 8 (a) 给出了本文研制的芯片上各支光功分器的输出成像情况。从测试结果看, 该器件实现了光功率均分要求。对输出照片进行数据处理得如图 8 (b) 所示的相对光功率分布情况, 并由 (4) 式可计算出相应的输出均匀度约为 0.56 dB。

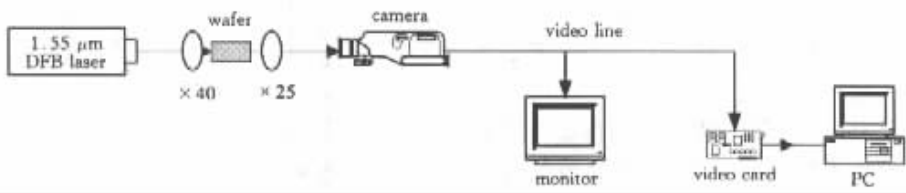


Fig.7 The measurement system

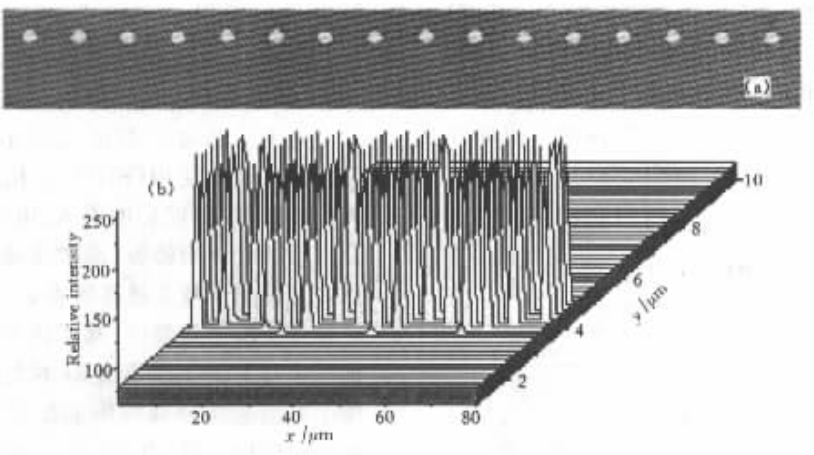


Fig.8 (a) The output images of the 1×16 MMI GaAs optical power splitter in A-A ;(b) Power distribution of the outputs of the 1×16 MMI GaAs optical power splitter

从整体来看, 器件输出远未达到完全均衡。而本文研制的器件是对称结构。由此可以认为, 器件

中所存在的输出不均衡主要来源于制作工艺的不完善。虽然多模干涉型器件有较大的工艺制作容差

性,但对刻蚀器件线条的精细度还是有着一一定的要求(如图 4 所示)。精细度欠佳,与侧壁倾斜一样,都将影响多模波导中的自镜像效应。这种不均衡将在进一步的工作中予以改善。

由于器件在未耦合上光纤之前,直接采用光功率计测量各输出端口的输出光功率是困难的。而对计算机采集下来的图像,由于存在背景噪声,再加上输出定位的困难,也难以由此获得 16 个输出端口的输出光功率的绝对值。因此,如(3)式所定义的器件的插入损耗将在器件完成封装之后才能进行测量。而集成光学器件的封装技术正是目前国内集成光学器件进一步走出实验室的关键。

要使器件的性能得到进一步的改善,器件的制作工艺须做如下改善:

1) 着重解决光波导-光纤的耦合,完成器件的封装和对器件各种性能指标的测量。

2) 进一步优化设计单模输入、输出波导,以获得更大脊宽的单模工作状态,降低器件对刻蚀线条精细度。

3) 进一步提高光刻质量。

4) 进一步研究干法刻蚀工艺,使波导侧壁有更好的光滑度与垂直度。

总结 我们已完成了工作在第三通信窗口的 1×16 多模干涉型光功分器的设计和制作。整个器件的尺

寸为 $4.25 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$,非常容易与其它光学器件在单片上集成。进一步的研究工作是着重解决芯片的封装问题,这是所有光器件走出实验室最为关键的一步。在此基础上,进行更为广泛的器件应用研究,包括光路由器和波分复用/解复用器等的研制。

感谢北京中科院物理研究所周均铭老师在 GaAs/GaAlAs 分子束外延材料设计和生长上所进行的实验和建议。感谢北京中科院半导体所张子莹博士在 GaAs/GaAlAs 干法刻蚀工艺过程中给予的帮助。

参 考 文 献

- [1] Ulrich R, Ankele G. Self-imaging in homogeneous planar optical waveguides. *Appl. Phys. Lett.*, 1975, **27**(6): 337 ~ 339
- [2] Besse P A, Bachmann M, Melchior H *et al.*. Optical bandwidth and fabrication tolerances of multimode interference couplers. *J. of Lightwave Technol.*, 1994, **12**(6): 1004 ~ 1009
- [3] 马慧莲, 杨建义, 王明华. 用于光通信的 MMI 型 GaAs 光功分器. *光子学报*, 1997, **28**(7): 613 ~ 616
- [4] 马慧莲, 李 瑾, 杨建义等. 离散谱折射率法分析深刻蚀、单模 GaAs/GaAlAs 脊形光波导. *光子学报*, 2000, **29**(2): 152 ~ 156
- [5] Deri R J, Pennings E C M, Harrkins R J *et al.*. Simple method for estimating usable bend radii of deeply etched optical rib waveguide. *Electron. Lett.*, 1991, **17**(21): 1532 ~ 1534

Study and Fabrication of 1×16 MMI GaAs Optical Power Splitter

Ma Huilian Yang Jianyi Jiang Xiaoqing Wang Minghua

(Department of Information and Electronic Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

(Received 30 May 2000; revised 3 July 2000)

Abstract: A 1×16 multimode interference (MMI) optical power splitter which allows for connecting with the standard single-mode fiber arrays for optical communication directly is designed and fabricated. The input and output single-mode waveguides are optimized by the discrete spectral index method (DSIM). Single-mode rib waveguide with low theoretical propagation loss ($\sim 0.028 \text{ dB}$) and with rib width of $3 \mu\text{m}$ and rib height of $2.9 \mu\text{m}$ is obtained. Analysis shows that the deep-etched MMI optical power splitter has large fabrication tolerance, big bandwidth and insensitive-polarization. The measurement results show that the function of 1 to 16 uniform splitting has been realized in the device.

Key words: multimode interference; optical power splitter; discrete spectral index method