

# 单片集成光波导波分器的研究\*

马少杰 赵伟 傅绍军\*\* 鲁平 汪贤秀

(中国科学院长春物理研究所, 长春 130021)

**提要** 简述了单片集成光波导波分器的原理和制备工艺。并用同一根光纤传输的两波长激光束(632.8 nm, 785.5 nm)测试了该器件的波分特性。实验中成功地观察到同光纤传输的两个不同波长的激光信号在波分器的输出端分离。

**关键词** 光通信, 光波导, 波分器

## 1 引言

光通信是现代通信的重要手段之一,它具有成本低、抗干扰、传输远、容量大等优点。光通信波分器是光纤通信的重要元件,是增加光通信容量的主要方法之一。它的应用能使原来传输单一波长光信号的光纤通信干线同时传输多个波长的光信号,并在终端将各波长的光信号分离,从而达到增加通信容量的目的。波分器的信道数越多,通信容量越大。在重多的波分器中,光波导光栅波分器具有结构坚固、不易受环境影响、波分信道多、并可多元件集成等优点,因此,倍受重视<sup>[1~3]</sup>。本文根据 Maltenfort 提出的理论设想<sup>[3]</sup>,在实验上成功地制备了单片集成光波导波分器,并用制备的器件进行了波分测试。

本文根据光波导光栅布拉格衍射原理,简述了单片集成光波导波分器的机理,并简述了器件的制备过程。用制备的器件测试了同光纤中传输的两波长激光(632.8 nm, 785.5 nm)的波分实验。实验中,波分器成功地将两不同波长的激光束分离,并用线阵 CCD 和示波器接收观察到分离的光信号。

## 2 波分器原理简述

图1为单片集成光波导波分器原理图。波分器由两个光波导短程透镜和一个光波导光栅构成,光波导为平面波导。波导的输入输出端面分别为光波导短程透镜  $L_1, L_2$  的焦平面。根据几何光学原理得知,在波导输入端面的点光源发出的光信号输入光波导,在波导中,光信号经波导透镜  $L_1$  后准直成平行光。准直的平行光入射波导光栅,经过波导光栅后,平行光由波导透镜  $L_2$  聚焦到波导输出端面,输出光波导。输入端耦合点位置的改变,将改变波导透镜  $L_1$  准直的

\* 中国科学院青年基金、邮电部基金资助项目。

\*\* 中国科技大学国家同步辐射实验室,合肥 230026。

收稿日期: 1995年2月1日; 收到修改稿日期: 1995年5月11日

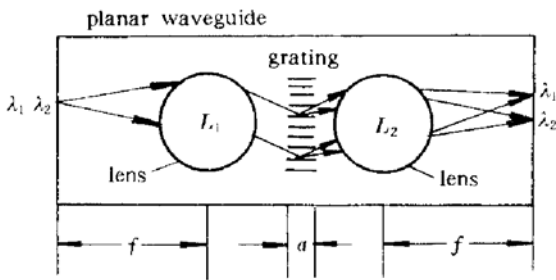


Fig. 1 Schematic diagram of an integrated waveguide with two spheroidal geodesic lenses and a grating device modules on a glass substrate

平行光束入射波导光栅的入射角 $\theta$ 。当入射角 $\theta$ 满足布拉格条件时,即 $\theta = \theta_b = \sin^{-1}(\lambda/2n\Lambda)$ ,则入射波导光栅的平行光束将产生布拉格衍射。衍射光仍为平行光,衍射的平行光也将由透镜 $L_2$ 聚焦到光波导的输出端面。

如果入射光波导波分器的光束为非单色光或多波长单色光时,由波导光栅产生的布拉格衍射将入射光按光谱序展开。当有一定谱线宽度的光或多波长单色光入射时,如入射光中心波长满足布拉格条件,则在中心波长附近的光也近似满足布拉格条件。入射波长距中心波长越远,光栅衍射效率越低,直至不满足布拉格衍射条件。设

入射光波长偏离中心波长 $\Delta\lambda$ ,并近似满足布拉格条件,其衍射光的衍射角将偏离中心波长的衍射角,偏离角 $\Delta\theta_r$ 可由一级 Maclaurin 级数展开近似给出<sup>[3]</sup>

$$\Delta\theta_r \approx (\partial\theta_r/\partial\lambda_0)(\Delta\lambda) \approx \Delta\lambda/(n\Lambda\cos\theta_b) \quad (1)$$

式中 $n$ 为光波导的折射率, $\Lambda$ 是波导光栅周期, $\theta_b$ 是中心波长布拉格衍射角。可见,当入射光束的波长满足或近似满足布拉格条件时,衍射光束的衍射角与波长有关。其偏离角与波长偏离 $\Delta\lambda$ 成正比。经光波导光栅衍射的不同波长的衍射光仍为平行光束,并经透镜 $L_2$ 后聚焦到输出端面。根据几何光学原理可得,传输方向不同的衍射平行光束将由透镜 $L_2$ 聚焦到波导输出端的不同位置,而达到分离不同波长的目的。设入射光波长为 $\lambda_0 + \Delta\lambda$ ,其衍射光在输出端面光斑的位置与中心波长衍射光斑的位置相距为

$$s = f\Delta\theta_r \quad (2)$$

式中 $f$ 为透镜 $L_2$ 的焦距。

### 3 器件的制备及测试

单片集成光波导波分器选用国产 K7 玻璃为衬底制备的。衬底尺寸 $60 \times 20 \times 3.5 \text{ mm}^3$ 。器件制备经过以下四个过程:

- (1) 在样品表面光学加工光波导短程透镜;
- (2) 采用全息法制备光刻胶掩膜光栅;
- (3) 用光刻胶光栅掩膜,离子蚀刻制备光波导光栅;
- (4) 用硝酸钾熔盐 $\text{K}^+/\text{Na}^+$ 离子交换制备光波导,波导深度为 $5 \mu\text{m}$ 。

详细的制备过程请参见文献[4]。波导短程透镜和波导光栅的尺寸由表 1 给出。两光波导短程透镜为凹球面形,其尺寸相同,间距 $26 \text{ mm}$ 。由于光纤的数值孔径小,入射波导光束的发散角小( $< 8^\circ$ ),所以,波导短程透镜不产生球差<sup>[5]</sup>。波导光栅位于两透镜中间玻璃表面。波导光栅对测试用两激光中心波长的布拉格衍射角为 $4.5^\circ$ ,衍射效率约为 $30\%$ 。

单片集成光波导波分器测试的实验装置由图 2 给出。如图 2 所示,He-Ne 激光( $632.8 \text{ nm}$ )和半导体激光( $785.5 \text{ nm}$ )由 $1.3 \mu\text{m}$ 单模光纤(芯径 $9 \mu\text{m}$ ) $2 \times 1$ 星型光纤耦合器,将两波长激光束耦合输入同一根光纤中。再通过光纤波导端面耦合将两波长激光束耦合输入光波导的输

入端。在光波导的输出端用 10× 的显微目镜将输出波导的光束聚焦到线阵 CCD 上,并用示波器观察 CCD 接收到的光信号。

Table 1 The sizes of waveguide spheroidal geodesic lenses and waveguide grating

Waveguide lenses			Waveguide grating	
Radius of depressed surface	$R$	10 mm	period $\Delta$	2.85 $\mu\text{m}$
Depth of depressed surface	$h$	2 mm	width $a$	50 $\mu\text{m}$
Paraxial focal length	$f$	15 mm	groovy depth	1.6 $\mu\text{m}$

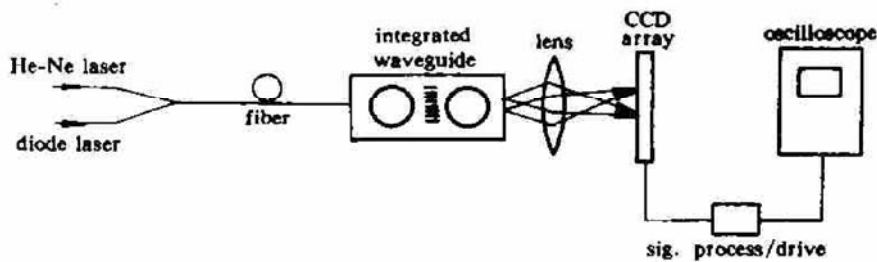


Fig. 2 Experimental set-up of measuring the demultiplexer characteristics

测试时首先将 He-Ne 激光和半导体激光耦合输入 2×1 星型光纤耦合器的二根光纤端,并同时用功率计在星型耦合器的单根光纤端检测耦合效率,调激光器和光纤使得耦合效率最高。调好激光器同光纤耦合后,再将星型光纤耦合器的单根光纤端对准波导输入端进行光纤波导耦合,同时在波导的输出端观察波导导模光强,微调光纤至导模光强最强。再微调显微物镜和 CCD,使得 CCD 能接收到光波导输出端的近场光斑。

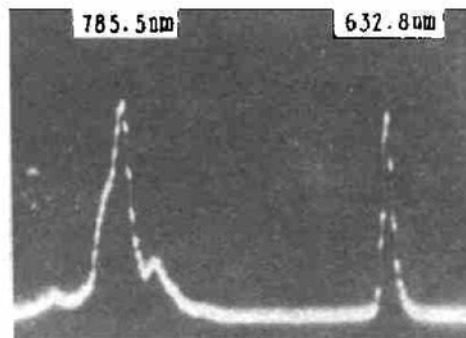


Fig. 3 Intensity profiles at the output face for two different wavelengths  
(a) He-Ne laser 632.8 nm (right trace); (b) laser diode 785.5 nm (left trace)

光路调好后,再微调输入端光纤与波导耦合点的位置,同时观察示波器。当耦合点调到某一位置附近时,在示波器可观察到光波导光栅对入射的双波长激光束产生的布拉格衍射。图 3 所示为 CCD 接收到的两波长激光束在波分器的输出端分离的近场光斑照片。在输出端两光斑相距 500  $\mu\text{m}$ 。两信道间串音分别为 -29 dB, -27 dB。该波分器的光谱分辨率约  $1.2 \times 10^2$ 。图 3 中左边的曲线为 785.5 nm 波长激光信号,右边的曲线为 632.8 nm 波长的激光信号。由图 3 可见左边曲线的半宽度大于右边曲线的半宽度,这是因为半导体激光谱线的半宽度大于 He-Ne 激光谱线的半宽度。图 4 示出实验用 He-Ne 激光和半导体激光的光谱曲线,可见,He-Ne 激光的谱线半宽度为 0.4 nm,而半导体激光的谱线半宽度为 2 nm。上述实验表明,波分器将有一定谱线宽度的激光束在输出端按谱线宽度展开。

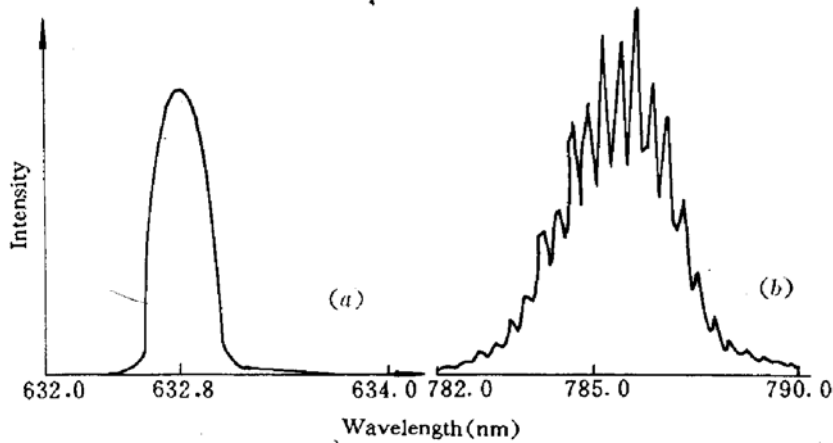


Fig. 4 Spectram of (a) a He-Ne laser and (b) a laser diode

## 4 结 论

本文采用光学冷加工、离子蚀刻和离子交换等工艺制备了单片集成光波导波分器。并用制备的器件成功地将同一光纤中传输的波长差为 152 nm 的两波长激光信号分离,实现了波分的目的。根据光路可逆原理,该器件还可用于光纤通信的复用器。本文仅为单片集成光波导波分器的原理实验。为使该器件能用于光纤通信波分复用器,还需进一步的实验研究。需要用光通信波长 1.3  $\mu\text{m}$  或 1.5  $\mu\text{m}$  的连续可调谐光源测试波分复用器的信道谱线宽度、信道间串音、波分复用信道数等波分复用器参数。

致谢 参加本研究工作的还有李公羽、范俊清、洪义麟\*\*、陶晓明\*\*等同志。

## 参 考 文 献

- 1 S. Ura, M. Moridawa, T. Suhara *et al.*. Integrated Optic Wavelength Demultiplexer Using a Coplanar Grating Lens. *Appl. Opt.*, 1990, 29(9):1369
- 2 T. Suhara, Y. Handa, H. Nishara *et al.*. Monolithic Integrated Microgratings and Photodiodes for Wavelength Demultiplexing. *Appl. Phys. Lett.*, 1982, 40:120
- 3 A. J. Maltenfort. Integrated Optic Wavelength-division Multiplexing System for Optical Fiber Communication Systems. *SPIE*, 1986, 704:152
- 4 马少杰, 赵 伟, 鲁 平等. 单片集成玻璃光波导器件. 中国激光, 1994, A21(12):949
- 5 许承杰, 范俊清, 鲁 平. 球面波导端程透镜的球差. 光学学报, 1985, 5(11):1031

## Investigation of Monolithic Integrated Waveguide Demultiplexer

Ma Shaojie Zhao Wei Fu Shaojun Lu Ping Wang Xianxu

(Changchun Institute of Physics, Academia Sinica, Changchun 130021)

**Abstract** The principle and the fabricating technology of the monolithic integrated waveguide demultiplexer are discribed in brief. The demultiplexer has been tested with two laser beams (632.8 nm, 785.5 nm) traveled in a fiber. In the experiment, the two laser beams of different wavelengths, which are separated at the output end of demultiplexer, are observed successfully.

**Key words** optical communication, waveguide, demultiplexer