

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0382-03

# 光纤 Mach-Zehnder 干涉型波分复用器件 温度稳定性研究

鲁平 梅进杰 刘德明 黄德修

(华中科技大学光电子工程系, 武汉 430074)

**摘要** 采用光纤 3 dB 耦合器制成的 Mach-Zehnder 干涉型波分复用器件可以实现信号波长的合波与分波。Mach-Zehnder 干涉仪两臂差  $\Delta L$  与相位差  $\Delta\phi$  直接影响其合波特性, 复用波长的间隔  $\Delta\lambda$  与  $\Delta L$  成反比, 通过加长臂长差可以实现很高的波分密度。但是臂长差越长, 干涉仪对温度越敏感。探讨了一种方法来弥补温度变化所造成的相位差, 其波长间隔可做到 0.8 nm, 稳定性高, 消光比好。

**关键词** Mach-Zehnder 干涉仪, 耦合器, 波分复用器

中图分类号 TN253 文献标识码 A

## Stability of Temperature about Fiber-optic Mach-Zehnder Interferometer Filter

LU Ping MEI Jin-jie LIU De-ming HUANG De-xiu

(Department of Optoelectronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

**Abstract** Fiber-optic Mach-Zehnder interferometer can be used to multiplex and demultiplex wavelengths. The  $\Delta L$  and  $\Delta\phi$  directly influence the properties of M-Z. Through lengthening the  $\Delta L$ , the density of wavelength dividing can be improved. The longer the  $\Delta L$ , the more sensitive to temperature the M-Z. The method for making the M-Z work stably is explored. The wavelength separation is 0.8 nm, and the extinction ratio is high.

**Key words** Mach-Zehnder interferometer, coupler, wavelength multiplexers and demultiplexers

### 1 Mach-Zehnder 干涉型波分复用器 的工作原理

Mach-Zehnder 干涉型波分复用器的结构如图 1 所示。它是由两个 3 dB 耦合器级联而成。其制作方法目前主要有两种, 一种是可以先制造两个 3 dB 耦合器, 然后将它们各自的输出臂熔接在一起, 这种

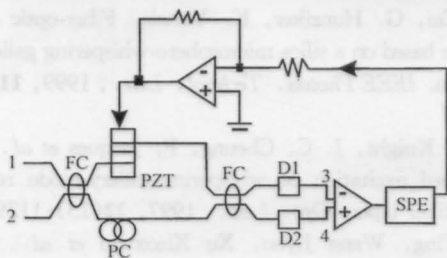


图 1 温度稳定性 Mach-Zehnder 干涉型  
波分复用器的结构图

Fig. 1 Schematic diagram of stabilized Mach-Zehnder  
interferometer filter

方法制造简单, 但会引入熔接损耗, 而且两干涉臂的长度不易控制; 另外一种方法可参考文献[1], 该方法不会引入附加插入损耗, 长度易于控制, 但制造起来比较麻烦。

当端口 1 输入宽带光信号时, 分别从 3、4 端口输出相应波长的信号, 其输出光功率为

$$\left. \begin{aligned} P_3 &= P_1 \cos^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \\ P_4 &= P_1 \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \\ \Delta\phi &= k_0 n_{\text{eff}} \Delta L \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中  $\Delta\phi$  为干涉臂长度不同所引起的相位差,  $k_0 = 2\pi/\lambda$  为波矢,  $n_{\text{eff}}$  为光纤有效折射率,  $\Delta L$  为干涉臂长差。从(1)式可知, 当  $\lambda = n_{\text{eff}} \Delta L / m$  时, 信号从 3 端口输出, 当  $\lambda = 2n_{\text{eff}} \Delta L / (2m + 1)$  时, 信号从 4 端口输出。同一端口输出波长的波峰与波谷间隔为:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_1^2}{2n_{\text{eff}} \Delta L + \lambda_1} \approx \frac{\lambda_1^2}{2n_{\text{eff}} \Delta L} \quad (2)$$

通过干涉臂之间的干涉效应可实现 DWDM 波长的解复用。从(2)式可知复用波长的间隔  $\Delta\lambda$  与  $\Delta L$  成反比,通过加长臂长差可以实现很高的波分密度。 $\Delta\lambda$  与  $\Delta L$  的相互关系如图 2 所示(试验样品采用美国康宁公司的 SMF-28 单模光纤,  $n_{\text{eff}} = 1.465$ , 入射波长  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ )。

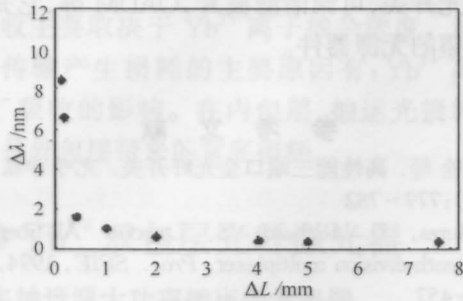


图 2  $\Delta\lambda$  与  $\Delta L$  关系图

Fig. 2  $\Delta\lambda$  and  $\Delta L$

若要复用波长的间隔  $\Delta\lambda = 0.8 \text{ nm}$ , 由图 2 可得  $\Delta L \approx 1 \text{ mm}$ , 即两干涉臂之差要控制在  $1 \text{ mm}$ , 才能将输入的间隔为  $0.8 \text{ nm}$  的多波长信号, 分别从端口 3, 4 输出。

Mach-Zehnder 干涉波分复用器工作时, 其周围环境温度的变化会直接影响双干涉光束的相位差, 而且臂长差越长, 干涉仪对温度越敏感, 相位差  $\Delta\phi$  随温度的变化量为:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{dn_{\text{eff}}}{dt} k_0 \Delta L + n_{\text{eff}} k_0 \frac{d\Delta L}{dt} \quad (3)$$

设  $c = d\phi/dt$ , 则  $\Delta\phi = c\Delta t$ 。对于石英光纤, 干涉仪的相位温度系数为  $c = 0.0435 \text{ rad}/^\circ\text{C}$ <sup>[2]</sup>。相位差发生变化, 会导致复用波长峰值功率的漂移, 影响器件的工作特性, 为了弥补周围环境温度带来的影响, 本文采用如图 1 所示方法来弥补温度变化所造成的相位差。在制作时干涉仪的两臂在  $20 \text{ cm}$  左右, 在较短的干涉臂上缠绕一个压电陶瓷片 PZT, 因为 PZT 随着温度的变化会发生伸缩效应, 从而会引起干涉臂长度的变化。在较长的干涉臂上增加一个偏振控制器对导模的偏振态进行控制, 因为外界环境的变化会引起导模偏振态的变化, 从而引起干涉仪消光比的变化, 消光比 EX 在此定义为通带的光功率与阻带的光功率之比, 因而要想获得比较好的滤波性能, 两干涉光束的偏振态的匹配是十分重要的, 实验中通过调整导模的偏振态可以得到优于  $15 \text{ dB}$  的消光比。图 1 右边为电路控制部分, 通过两个光电二极管  $D_1, D_2$  对输出光信号进行响应, 通过信号处理器 SPE 进行处理, 产生控制信号对 PZT 的电压进行

控制。当电压变化所引起的相位变化  $\Delta\phi_v$  满足公式

$$\Delta\phi_v + \Delta\phi_t = 2m\pi \quad (m = 0) \quad (4)$$

可以消除温度对干涉仪波分复用性能的影响, 即通过改变驱动电压可以弥补温度的影响。为了测得 PZT 的伸缩所引起的器件相位的变化, 实验起初在恒温箱中, 改变 PZT 输入电压, 分析输出功率的变化。最简单的方法, 每当输出相位变化  $\pi$ , 即由波峰转化为波谷时, 读一次数。测得 PZT 的响应速度为  $\alpha = 0.213 \text{ rad/V}$ 。由(4)式计算得  $\Delta V$  随温度的变化量为:  $\Delta V = 4.69c\Delta t$ , 为了弥补  $\pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$  的温度范围, 控制电路的电压补偿范围需在  $\pm 11 \text{ V}$ 。

## 2 实验结果

本文实验以光电系 DWDM 实验平台中的合波器 OMU 输出的双波长信号(波长分别为  $1549.32 \pm 0.08 \text{ nm}$  与  $1548.51 \pm 0.08 \text{ nm}$ )作为信号源来检测实验的效果。输入的双波长信号通过图 1 所示的分波器后, 输出光谱如图 3 所示。由于在文中的计算采用的是近似计算, 例如(2)式以及臂长差  $\Delta L$  为  $1 \text{ mm}$  的近似计算, 必然会带来一定的误差, 反映在输出光谱上会有一些的偏差, 这时可以进行微调, 在

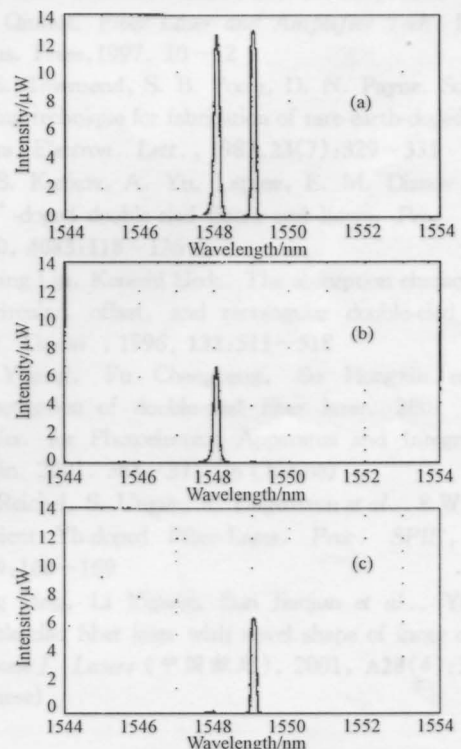


图 3 双波长信号通过干涉仪后输出光谱

Fig. 3 The output optical spectrum of a doubly wavelength-multiplexed optical input

