

文章编号: 0258-7025(2003)03-0239-04

# 基于偏振光干涉仪的 Interleaver 解复用器 实验研究

蔡燕民, 赵 岭, 周赢武, 张位在, 陈高庭, 方祖捷  
(中国科学院上海光学精密机械研究所信息光学实验室, 上海 201800)

**摘要** 为实现更窄信道间隔的密集波分复用, 提出了一种基于偏振光干涉仪的新型 Interleaver 解复用器, 分析了结构组成与基本工作原理, 对其进行了初步的测试实验, 该器件所分开的 DWDM 系统两组波长功率均衡, 隔离度分别为 10.6 dB 和 14.64 dB, -1 dB 带宽分别为 0.7 nm 和 0.4 nm。

**关键词** 光纤通信技术; 密集波分复用; 偏振光干涉仪; 双折射; 梳状滤波器; 干涉

**中图分类号** TN 929.11; O 438; O 734 **文献标识码** A

## Experimental Study on Interleaved Demultiplexer Based on Polarization Beam Interferometer

CAI Yan-min, ZHAO Ling, ZHOU Ying-wu,  
ZHANG Wei-zai, CHEN Gao-ting, FANG Zu-jie

(The Laboratory of Information Optics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics,  
The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

**Abstract** A novel interleaved demultiplexer based on polarization beam interferometer is proposed. The configuration and basically principle were analyzed by means of birefringence crystal and polarization beam interferometer. With simple experiment, interleaver does separate DWDM odd and even channel into two groups with the power equalization and satisfied with ITU-T suggestions. The two channels isolations are 10.6 dB and 14.64 dB respectively, -1 dB bandwidth are 0.7 nm and 0.4 nm, respectively.

**Key words** fiber communication technique; DWDM; polarization beam interferometer; birefringence; interleaver; interference

## 1 引 言

信息社会的发展对通信技术的要求越来越高, 目前密集波分复用(DWDM)技术成为光纤通信的主要发展方向。由于对传输容量的要求不断增加, 开发大信道数目、窄信道间隔的复用/解复用器件变得十分重要。目前介质薄膜滤波器、阵列波导光栅(AWG)和光纤光栅(FBG)是制作复用/解复用器件的主要技术, 然而当信道间隔小于 100 GHz 时, 采用这些成熟的技术使器件成本提高很多。为了实现 50 GHz 间隔的密集波分复用系统, 同时避免器件技

术的过分复杂化和太高成本, 采用 Interleaver(交错滤波器)技术加倍各信道的间隔<sup>[1~3]</sup>, 是扩大通信系统容量的一种有效的手段。Interleaver 器件的功能是将 DWDM 系统的 2N 路波长光信号分成两路, 一路包含 N 路奇数波长, 另一路包含 N 路偶数波长, 其信道间隔倍增。

理想的 Interleaver 器件应该是: 插入损耗低, 通带形状平坦, 通道隔离度特性良好, 温度机械稳定性好等等。Interleaver 不但在长途干线通信中发挥很大的作用, 而且对于城域网、接入网等的应用也

收稿日期: 2001-11-22; 收到修改稿日期: 2002-03-29

**作者简介:** 蔡燕民(1971—), 男, 辽宁人, 中国科学院上海光学精密机械研究所博士研究生, 主要从事光通信的研究。E-mail: yanmincai@mail.sim.ac.cn 或 caiyanmin@163.com。现地址: 上海长宁路 865 号(邮编: 200050)。

很有吸引力,可以作为光分插复用器(OADM),一个端口将一组波长解复用到本地结点,另一端口将另一组波长解复用到其他结点。制作 Interleaver 器件的技术有多种多样,目前主要是:光纤马赫-曾德尔(Mach-Zehnder)干涉仪法<sup>[2,4]</sup>、偏振光干涉仪法<sup>[5]</sup>、阵列波导光栅法<sup>[3]</sup>、取样光纤光栅法<sup>[6]</sup>、光纤光栅组合法<sup>[7]</sup>等等。光纤马赫-曾德尔干涉仪型 Interleaver,由于其第二个 3 dB 耦合器的分束比很难控制,所以不易实现;阵列波导光栅型 Interleaver 的技术复杂,成本较高;取样光纤光栅型 Interleaver 不能制作大信道数目的器件,而且功率均衡也成问题;而采用光纤光栅组合法则需要大量的光纤光栅,可靠性不高,成本将很高。目前这四种技术都处于实验室或模拟计算阶段,而偏振光干涉仪型 Interleaver 在技术、成本、可靠性等诸多方面都存在优势。本文提出一种基于偏振干涉仪的 Interleaver 解复用器,报道有关的实验研究工作和初步结果。

## 2 原理分析与结构设计

偏振光干涉仪主要由起偏器、位相延迟器、检偏器等组成。偏振光在位相延迟器中分成偏振态正交的有一定相位差的两束光,在检偏器上发生干涉。

基于偏振光干涉仪的 Interleaver 解复用器结构示意图如图 1 所示,主要由起偏器 1,位相延迟器 2,检偏器 3,分波器 4,合波器 5,半波片 6~8 以及光纤准直器 9~11 等构成。

图 1 中,包含  $2N$  路 WDM 信号光波自光纤准直器 9 垂直入射到起偏器 1,利用晶体的双折射把入射光分成偏振态正交的两束线偏振光;先分析其中一束光(图 1 中 PBS1 产生的  $e$  光),假设其振动方向为平行于纸面,未经过半波片 6 直接入射到位相延迟器 2,在晶体 2 中又分解成正交的  $o$  光,  $e$  光(在同一传播方向上),产生的位相差表示为  $\delta$ ;此  $o$  光,  $e$  光在检偏器 3 的光轴方向与垂直于光轴方向上的分量将分别发生干涉。

器件的各晶体组件的光轴方向之间满足一定的角度关系,这样可以在检偏器 3 平行于光轴与垂直于光轴方向上得到干涉强度分别表示为<sup>[5]</sup>

$$I_{\parallel} = I_0 \cos^2(\delta/2) \quad I_{\perp} = I_0 \sin^2(\delta/2) \quad (1)$$

其中  $I_0$  表示 PBS1 产生的  $e$  光光强。而位相延迟器 2 产生的位相差可以表示为

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)h \quad (2)$$

其中  $n_e, n_o, h$  分别为位相延迟器 2 的主折射率和厚度,  $\lambda$  为真空波长。

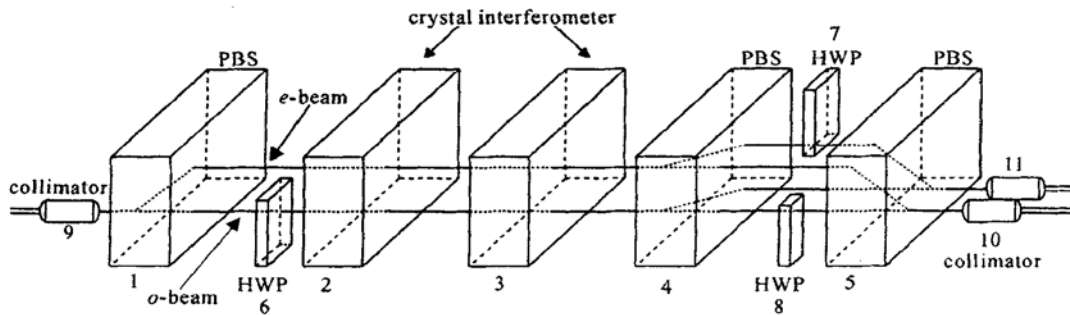


图 1 Interleaver 结构示意图(图中示意的为正晶体)

Fig. 1 Schematic diagram of the interleaver configuration (positive crystal in the figure)

PBS: polarization beam splitter; HWP: half wavelength plate

如果输入的光束中包含频率间隔为  $\Delta f$  的  $2N$  路波长,当  $\delta = 2m\pi$  时,根据公式(1)得到,  $I_{\parallel} = I_0, I_{\perp} = 0$ ,满足此相位差条件的  $N$  路波长可以表示为

$$\lambda_{\text{even}} = \frac{1}{2m} 2(n_e - n_o)h \quad (3)$$

式中  $m$  为干涉级次,那么输出光束为偏振方向平行于检偏器 3 光轴方向的线偏振光,频率间隔为  $2\Delta f$ 。

同理,当  $\delta = (2m+1)\pi$  时,根据公式(1)得到,  $I_{\parallel} = 0, I_{\perp} = I_0$ ,满足此相位差条件的  $N$  路波长可

以表示为

$$\lambda_{\text{odd}} = \frac{1}{2m+1} 2(n_e - n_o)h \quad (4)$$

那么输出光束为偏振方向垂直于检偏器 3 光轴方向的线偏振光,频率间隔为  $2\Delta f$ 。从而实现了 Interleaver 的功能,把  $2N$  路输入信号光分成两个信道分支,频率间隔倍增。现在需要把正交的两组光波分开,利用分波器 4,偶数波长的光波在分波器中是  $o$  光,传播方向不变,奇数波长的光波在分波器中是

$e$  光, 由于双折射与  $o$  光分开一定的距离平行出射, 这样奇数偶数波长的光波在空间上就分开了。

现在再分析 PBS1 产生的另一束线偏振光(图 1 中 PBS1 产生的  $o$  光), 假设其振动方向为垂直于纸面, 经过半波片 6 偏振方向将旋转  $90^\circ$  而平行于纸面, 与上面分析同理, 在分波器 4 之后实现分波。

设计选择起偏器 1, 分波器 4, 合波器 5 的晶体材料、尺寸相同, 均为  $YVO_4$  晶体, 长度均为 10 mm, 光轴方向满足一定的关系。这样可以使从分波器 4 出射的四束线偏振光在横截面内空间位置上排列成正方形的关系。利用两个半波片, 在合波器 5 把起偏器 1 分开的两束线偏振光合波, 使这两束光都得到利用, 可以减少 3 dB 损失。该光学系统的输入输出都与偏振无关。

基于偏振光干涉仪的 Interleaver 解复用器, 是要在 1550 nm 波段把信道间隔为 100 GHz 的 DWDM 波长分成间隔为 200 GHz 的两组。由(3), (4)式可以看出, 如果不考虑材料色散, 晶体长度的加工误差, 以及温度变化, 那么取不同的正整数, 就可以得到与 ITU-T 建议标称中心频率一致的频率

值<sup>[5]</sup>, 而且频率间隔是均匀的, 与 ITU-T 建议的以频率间隔为标准是一致的。根据(3), (4)式可以得到(其中  $c$  为真空光速)

$$\Delta f = c/[2(n_e - n_o)h] \quad (5)$$

令  $\Delta f = 100$  GHz, 选择  $YVO_4$  单轴晶体作为位相延迟器 2, 这样可以计算得到其长度为:  $h = 7.352$  mm。图 1 中为分析问题方便起见而采用检偏器 3, 实际上这种 Interleaver 结构并不需要检偏器 3, 这里就不证明了。

### 3 实验结果

测试器件滤波特性的实验结构如图 2 所示。因为在分波器 4 之后奇数偶数波长的光波在空间上已经分开, 所以初步实验选择起偏器 1, 位相延迟器 2, 检偏器 3, 分波器 4 组成简化结构, 对起偏器 1 出射的一束光进行滤波特性测试。这样简化的结构与实际设计的结构相比, 所缺的只是合波器 5 以及为实现合波而采用的三个半波片, 这并不影响该器件的实际功能, 唯一的不足是引起 3 dB 插入损耗。

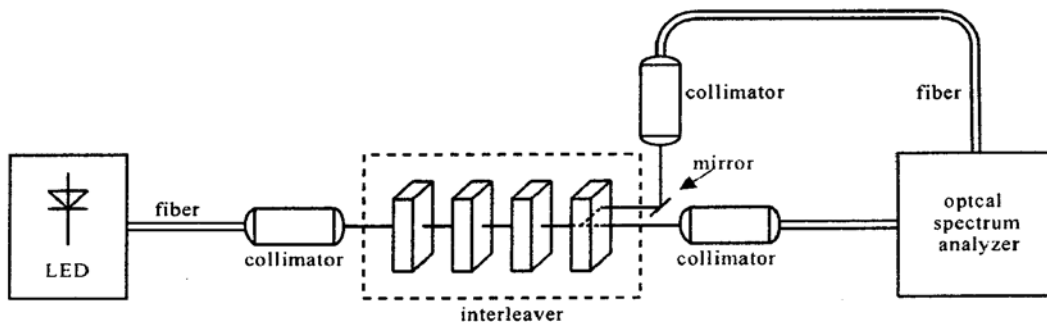


图 2 Interleaver 器件传输谱测试系统示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the testing system of the interleaver transmission spectra

实验中, Interleaver 器件的输入采用一个 LED

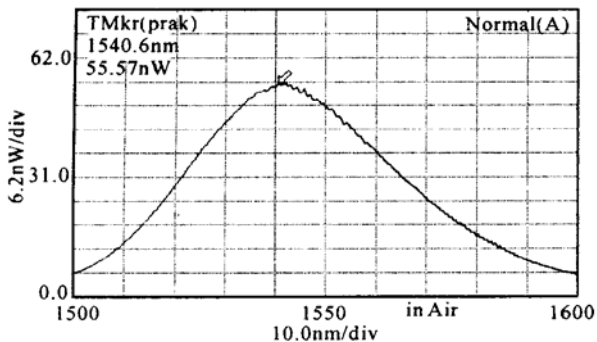


图 3 LED 光源的光谱  
Fig. 3 Spectrum of LED

光源, 该光源的峰值波长在 1540 nm 附近, 光谱如图 3 所示。Interleaver 器件先经过 He-Ne 激光调整, 光纤准直器与各晶体组件精心调整, 然后用 LED 光源输入, 其输出的一束光经过反射镜和光纤准直器送入光谱仪, 另一束光经光纤准直器直接送入光谱仪, 该光谱仪采用 MS9710B 型光纤光谱分析仪。测量得到两路输出光的光谱如图 4 所示。

从图 4(a) 可以看出, 偶数路波长 1545.42 nm, 1547.02 nm 间隔为 1.6 nm, 分别与 ITU-T 建议的标称中心波长 1545.32 nm, 1546.92 nm 相差 0.1 nm, 满足偏差  $\pm 20$  GHz 的要求。从图 4(b) 可以看出, 奇数路波长 1546.2 nm, 1547.76 nm 间隔为

1.56 nm, 分别与 ITU-T 建议的标称中心波长 1546.12 nm, 1547.72 nm 相差 0.08 nm, 0.04 nm, 满足偏差  $\pm 20$  GHz 的要求。(a) 图中信道间隔度为 10.6 dB, (b) 图中信道间隔度为 14.64 dB。图 5 为图 4 传输谱的 -1 dB 带宽测试图, (a) 图中 -1 dB 带宽是 0.7 nm; (b) 图中 -1 dB 带宽是 0.4 nm。图 4 是传输谱与光源谱相除的结果, 剔除了 LED 光

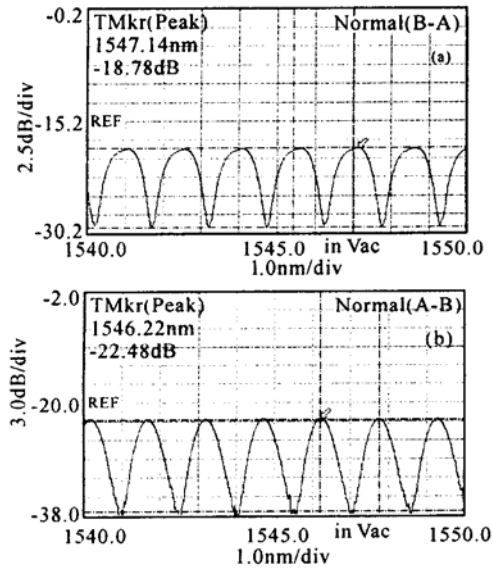


图 4 Interleaver 器件的传输谱

(a) 偶数路波长传输谱; (b) 奇数路波长传输谱

Fig. 4 Transmission spectra of interleaver

(a) even channels; (b) odd channels

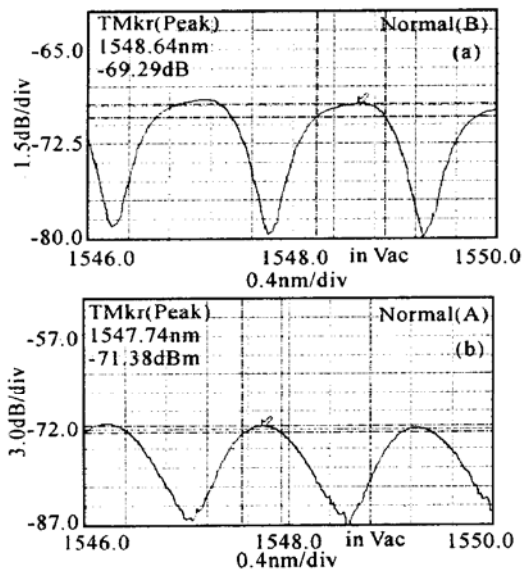


图 5 Interleaver 器件的传输谱的 -1 dB 带宽

(a) 偶数路波长传输谱; (b) 奇数路波长传输谱

Fig. 5 -1 dB width of interleaver transmission spectra

(a) even channels; (b) odd channels

源不均衡的影响, 可见基于偏振干涉仪的 Interleaver 解复用器的功率很均衡。

为得到  $\text{YVO}_4$  晶体的吸收系数, 取一片 Z 切割的  $\text{YVO}_4$  单轴晶体, 厚度为 2.8 mm, 实验测得其透过率  $T = 78.5\%$  (1550 nm), 一般光学材料的透过损耗包括表面的反射损失和晶体内部的吸收。根据菲涅耳定律计算晶体表面的反射率, 就可以得到  $\text{YVO}_4$  晶体在 1550 nm 波段沿光轴方向的吸收系数为  $\alpha = 8.765\% / \text{cm}$ 。设图 1 中 Interleaver 器件的各通光表面镀增透膜, 反射率为 0.25%, 可以计算得整个器件的插入损耗为 2 dB 左右。而实验中采用的是图 2 的简化结构, 因为加工的原因, 未镀增透膜有很大的反射损耗, 以及在调整过程中各组件间距较远, 光纤跳线的连接损耗很大等若干因素, 如果剔除这些因素的影响, 器件插入损耗的实际测试值接近计算值。如果采用良好的实验条件, 测试的插入损耗应该有很大的降低。

## 4 结 论

根据偏振光的干涉原理, 提出了一种把 DWDM 系统信道奇数偶数波长分成两个信道分支的 Interleaver 解复用器, 对该器件进行了初步测试, 分开两路信号功率均衡, 隔离度分别为 10.6 dB 和 14.64 dB, -1 dB 带宽分别是 0.7 nm 和 0.4 nm。温度机械稳定性实验有待于进一步进行。

## 参 考 文 献

- 1 M. Oguma, T. Kitoh, K. Jinguji *et al.*. Flat-top and Low-Loss WDM Filter Composed of Lattice form Interleave Filter and Arrayed Waveguide Gratings on One Chip [C]. OFC2001, Paper WB3, Anaheim, California, 2001
- 2 T. Chiba, H. Arai, K. Ohira *et al.*. Novel Architecture of Wavelength Interleaving Filter with Fourier Transform-based MZIs [C]. OFC2001, Paper WB5, Anaheim, California, 2001
- 3 Ding wei Huang, Tsung-hsuan Chiu, Yinchieh Lai. Arrayed Waveguide Grating DWDM Interleaver [C]. OFC2001, Paper WDD80, Anaheim, California, 2001
- 4 Zhao Hao. Study on Fiber Grating and WDM Element Technologies [D]. Shanghai Jiaotong University, 1999, 9, 41~43
- 5 Cai Yanmin, Fang Zujie, Zhao Ling *et al.*. Principle of birefringence crystal type interleaver applied in DWDM fiber system [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2001, A28 (11): 1017~1020 (in Chinese)
- 6 Li Lin, Fang Zujie, Cai Haiwen *et al.*. Sampled FBG Based Optical Interleaver [C]. CLEO/Pacific Rim 2001, Paper TuE2-5, 1-404~405, Chiba, Japan, 2001
- 7 J. J. Pan, Y. Shi. 0.4-nm channel spacing dense WDM multiplexer and demultiplexer using FBGs and bandpass filters [C]. OFC98, Paper WM7, 1998