

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0412-03

一种新型的波分复用技术

刘 健¹ 阮 玉¹ 李继锋² 陈斯杰² 殷东亮¹ 杨中文¹

(¹ 华中科技大学光电子工程系, 武汉 430074)
(² 福州康顺光通讯有限公司, 福州 350014)

摘要 介绍了一种新型的波分复用技术即 interleaver/deinterleaver 技术。重点阐述了利用偏振干涉法制作 deinterleaver 的原理及其简单的结构。从理论上分析计算了如何展宽波形带宽。并通过实验证实了作者制作的 deinterleaver 的带宽展宽现象。还分析了 interleaver 技术的其他几种形式, 指出了各种形式的优缺点。最后对 interleaver 技术的市场和应用前景作了展望。

关键词 波分复用, interleaver 技术, 偏振干涉法, 带宽

中图分类号 TN929.11 **文献标识码** A

A New Technique of Wavelength Division Multiplexing

LIU Jian¹ RUAN Yu¹ LI Ji-feng² CHEN Si-jie² YIN Dong-liang¹ YANG Zhong-wen¹

(¹ Optoelectronic Department, Huazhong University of Sciences and Technology, Wuhan 430074)
(² Koncent Communication Inc., Fuzhou 350014)

Abstract The paper introduce a new interleaver/de interleaver technique used in WDM network. The principle and simple structure of a de interleaver based on polarization interference theory are discussed. According to the theory analysis and experiment conducted by the author, a means is brought forward to widen the bandwidth of output. Some other interleaver techniques are also referred in terms of their advantages and disadvantages. At last the author prospect the potential application and market of interleaver techniques.

Key words wavelength division multiplexing, interleaver technique, polarization interference theory, bandwidth

1 引 言

随着光纤通信技术的迅猛发展,特别是波分复用(WDM)技术的出现,光通信系统容量有了几百倍的提高,使得 IP over WDM 技术的出现成为可能。这对我国目前骨干通信传输网仅 2.5 Gb/s 的速度以及日益增长的语音,图像传输业务无疑将是一个巨大的福音。由于密集波分复用(DWDM)技术的出现,更多通道、更大容量的光通信网也将日趋成熟。一般 DWDM 技术的关键在于干涉膜片的制造,因此膜片价格的高低将直接影响 DWDM 的应用。由于技术上的困难,目前 DWDM 的波长间隔最好能达到 50 GHz。但高昂的价格使得 DWDM 在光纤通信的应用受到极大的限制。Interleaver/deinterleaver 技术的出现极大地改变了这种状况。Interleaver/deinterleaver 将密集波长间隔(50 GHz 甚至更密)扩展到更宽的通道间隔(100 GHz 或 200 GHz)或将宽波长间隔的光合并为一间隔更窄的

光,从而达到密集复用的目的。

目前生产 Interleaver 的国外厂家大致有 E-TEK, OPLINK, CHORUM, AVANIX, JDSU 等。以 E-TEK 公司生产的 interleaver 为例,该公司的一个重要优势在于低色散,其 interleaver 低色散典型值小于 ± 10 ps/nm,这相对其他公司 40 ps/nm 以上的色散是很有优势的,插入损耗小于 1.8 dB,绝缘度为 25 dB,50 GHz 型号的净带宽大于 16 GHz,100 GHz 型号的净带宽大于 30 GHz。其温度漂移系数低,仅为 0.2 GHz/°C,无需进行温度控制。在 OFC2000 上 Chorum 公司展示的 interleaver 产品具有体积小、完全无源的优点。

Interleaver 是一项很新的技术,发展极为迅速,市场要求也越来越大,预计到 2003 年,北美包括 interleaver 在内的密集波分复用器件市场将达到 63 亿美元。由于 interleaver 的经济性,对于日益发展的全光通信网特别是下一代每秒太比特网络将有极

大的吸引力。

2 干涉法制作的 deinterleaver

利用干涉法制作 deinterleaver 的简单原理示意图如图 1(省略了其他双折射晶体以及各种波片)。

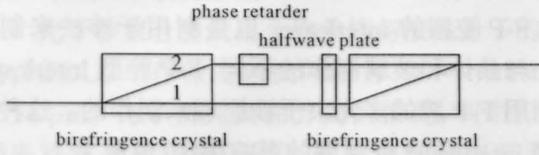


图 1 干涉法制作 interleaver 原理示意图

Fig. 1 Illustration of interleaver based on polarization interference

一束宽带光经双折射晶体折射后分 1、2 两路传播, 1 路为 o 光, 2 路为 e 光。2 路光经过相位延迟器, 产生位相延迟。经过第二块双折射晶体合光产生干

涉, 由于相位延迟器对于不同波长的光具有不同的延迟效果, 适当选择相位延迟器的厚度, 可以使得两个不同通道波长的光的偏振方向互相垂直。再利用一块双折射晶体即可将其分开。

以下是对作者制作的样品的计算。双折射晶体采用 YVO₄ 晶体, 厚度: $l = 7 \text{ mm}$, $l' = 6.5 \text{ mm}$ (l' 为干涉后合光用双折射晶体的长度, 其余双折射晶体的长度均为 l)。YVO₄ 晶体折射率: $n_o = 1.94473$, $n_e = 2.14861$ 。相位延迟器用玻璃, 其折射率为 $n = 1.444$, 厚度为 $d = 3.376 \text{ mm}$ 。

光路 1、2 的位相延迟为

$$\sigma(\lambda) = 2\pi(n - 1)d/\lambda$$

选择的设计通道波长: $\lambda = 1.5509183 \mu\text{m}$, 波长间隔为 0.8 nm 。

省略计算步骤, 最终可得振幅与波长关系为

$$E(\lambda) = \frac{1}{2} \left[\begin{aligned} &\exp\left\{i\left[\frac{\delta(\lambda)}{2} - \frac{3\pi}{2}\right]\right\} + \exp\left\{i\left[\frac{\delta(\lambda)}{2} - \sigma(\lambda) - \frac{5\pi}{2}\right]\right\} \\ &\exp\left\{-i\left[\frac{\delta(\lambda)}{2} + \frac{3\pi}{2}\right]\right\} + \exp\left\{-i\left[\frac{\delta(\lambda)}{2} + \sigma(\lambda) + \frac{5\pi}{2}\right]\right\} \end{aligned} \right]$$

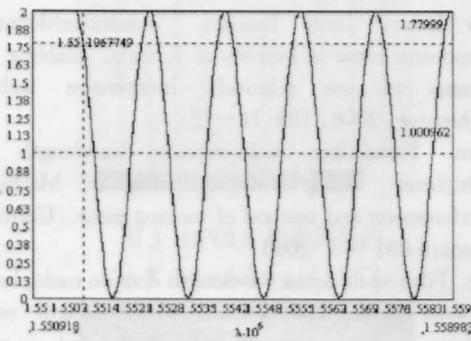


图 2 单级 deinterleaver 输出波长振幅与波长关系

Fig. 2 The relationship of amplitude and wavelength in the simple stage

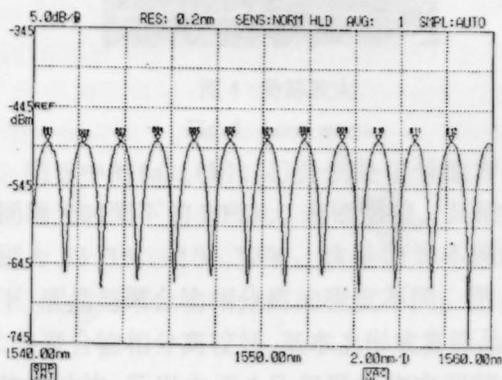


图 3 单级 deinterleaver 实测波形

Fig. 3 The result of amplitude in the simple stage

其中 $\delta'(\lambda) = 2\pi l'(n_e - n_o) / \lambda$ 。

输出波长振幅与波长的关系如图 2 所示。由图 2 可以看出, 波峰很“尖”, 意味着带宽很窄。实际制作的单级 interleaver 的波形如图 3 所示。

改进的措施是增加一级干涉。第二级干涉的原理与第一级干涉完全相同, 只是相位延迟器的厚度有所不同, 为第一级相位延迟器厚度的两倍。经理论计算, 双级 deinterleaver 的输出光波长振幅与波长的关系如图 4 所示。

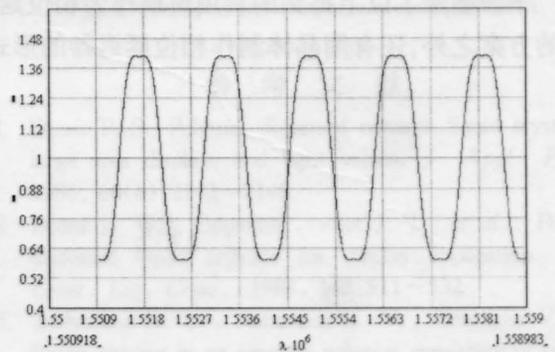


图 4 双级 deinterleaver 输出波长振幅与波长关系

Fig. 4 The relationship of amplitude and wavelength in the double stage

比较单级和双级 deinterleaver 的波形图, 可以

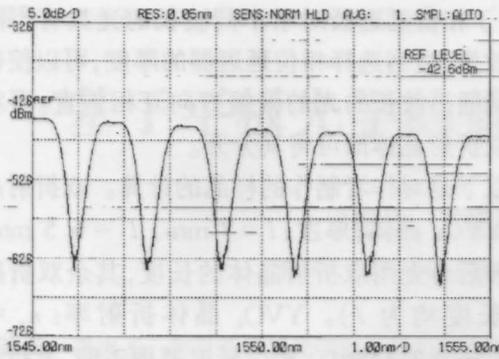


图5 双级 deinterleaver 实测波形

Fig. 5 The result of amplitude in the double stage

看出增加一级干涉后,波形得到极大改善。增加了输出波长的带宽,这对 interleaver 技术的实用化是很有意义的。

在实际制作上,我们就是采用双级的形式。利用光谱仪扫出的波形如图5所示。

3 结 论

从以上分析可以看出,增加一级干涉对输出波形将起到极大的改善作用。实验中对样品的测试结果表明,单级中心波长 0.5 dB 带宽为 0.33 nm 左右,双级中心波长 0.5 dB 带宽将超过 0.5 nm。单级的插入损耗小于 1.2 dB,双级插入损耗小于 1.5 dB。可见由于增加一级干涉,对样品的插损增加不大,而带来的带宽展宽效果却是明显的。

4 其他形式的 interleaver 技术

就目前而言,interleaver 大致还有三种类型:

4.1 晶体干涉型

干涉型除了以上提到的利用玻璃作为相位延迟器的方案之外,还有用晶体制作相位延迟器的形式。

在实际制作过程中,由于晶体的折射率及厚度受温度的影响较大,极易产生温度漂移,故一般采用双晶体匹配补偿的形式来克服温度影响。由于晶体的温度系数难以精确测定,所以用晶体偏振干涉法制作 interleaver 困难较大。

4.2 F-P 腔型

F-P 腔型的 interleaver 也是利用干涉法来制作的。与晶体和玻璃制作的不同,F-P 腔型 interleaver 是利用 F-P 腔的多光束干涉原理来制作的。这种形式的 interleaver 受温度的影响很小,色散大。

4.3 M-Z 干涉仪型

这种形式的 interleaver 是熔融光纤 M-Z 干涉仪的应用,是最简单的一种设计。在这种设计中,利用在两个 3dB 的耦合器使用不等长的光纤长度来产生干涉。通过精密控制通路长度,设置满足 ITU 的中心波长和通路间隔。因为采用了全光纤设计,这项技术具有低损耗,宽波长范围标准响应特性、非常低的色散以及较低的偏振相关损耗,受温度的影响更小。制作的难度在于通路长度的精确控制。

参 考 文 献

- 1 Bob Shine, Jerry Bautista. Interleaver/de-interleaver components come in a variety of formats, enabling DWDM systems to use relatively inexpensive technology. *Lightwave*, 2000, (8):71~78
- 2 Chen. Fused-fiber multi-window wavelength division multiplexer using an unbalanced Mach-Zehnder interferometer and method of making same. United States Patent:6 031 948. 2000
- 3 Cao. Fiber optic dense wavelength division multiplexer with a phase differential method of wavelength separation utilizing a polarization beam splitter and a nonlinear interferometer. United States Patent: 6 130 971. 2000
- 4 Li Weizhong. Optical interleaver. United States Patent: 6 215 923. 2001