

# 利用半导体光放大器环路镜实现 $4 \times 2.5 \text{ GHz}$ OTDM 解复用\*

吴之林 姚敏玉 高以智 周炳琨  
(清华大学电子工程系 北京 100084)

**提要** 报道了利用半导体光放大器环路镜对  $4 \times 2.5 \text{ GHz}$  光时分复用(OTDM)进行全光解复用的实验,实验结果表明用该方法解复用可得到具有很好消光比的解复用信号。

**关键词** 光时分复用,解复用器,半导体光放大器,环路镜

## 1 引 言

光时分复用(OTDM)是提高光通信速率的有效途径之一,随着近年来复用技术的迅速发展,复用信号的码率已可达  $\text{Tbit/s}^{[1]}$ 。用传统的电学方法实现解复用和时钟提取已变得越来越困难,为此迫切需要发展以光子技术为基础的全光信息处理技术。高速光解复用器是 OTDM 通信系统中关键器件之一。到目前为止,研究较多的全光解复用方法是采用非线性光学环镜(Nonlinear Optical Loop Mirror, NOLM)。因石英光纤中非线性效应较弱,需要数公里长的光纤环和很强的控制光功率才能获得足够大的非线性相移。长达几公里乃至十几公里的光纤使光纤非线性环路镜对外界的影响十分敏感。将行波半导体光放大器作为非线性光学元件代替几公里长的光纤插入环路中,构成半导体光放大器非线性环路镜(简称为 SLALOM)。与光纤相比,半导体光放大器具有体积小、非线性折射率系数大、所需控制光功率低、无需考虑色散影响、结构紧凑、易集成等突出优点,近年来已受到世界各国科学家的广泛重视。

迄今,SLALOM 已实现多种信号处理功能。如解复用<sup>[2]</sup>、光时钟提取<sup>[3]</sup>、脉冲整形及宽带波长变换<sup>[4]</sup>等,因半导体光放大器中载流子寿命为几百皮秒,一般情况下,其工作速度限制在几 GHz。已有文献报道利用行波半导体光放大器的快速增益饱和效应,SLALOM 可构成一个 THz 的解复用器<sup>[5]</sup>,并在实验上实现对  $250 \text{ Gbit/s}$  的信号解复用<sup>[2]</sup>。

本文报道我们在利用 SLALOM 实现全光解复用研究方面的实验结果。

## 2 SLALOM 解复用的基本原理

SLALOM 解复用器的基本结构如图 1 所示。稍稍偏离环路中心的行波半导体光放大器(TWSLA),使一个光脉冲进入环路后沿顺时针和逆时针方向传输的两部分到达 SLA 的时间

\* 国家自然科学基金和 863 计划光通信主题资助项目。

差为  $\Delta\tau$ , 在此设沿顺时针方向传输的部分先到达 SLA。SLA 在短光脉冲作用下的动态增益由下式表示<sup>[6]</sup>

$$G(t) = \frac{1}{1 - \left[ 1 - \frac{1}{G_0} \right] \exp \left[ - \frac{U_{in}(t)}{U_{sat}} \right]} \quad (1)$$

式中  $G_0$  为 SLA 小信号增益,  $U_{in}$  为注入光脉冲能量,  $U_{sat}$  为 SLA 的饱和能量, 由 SLA 的本征参数决定。

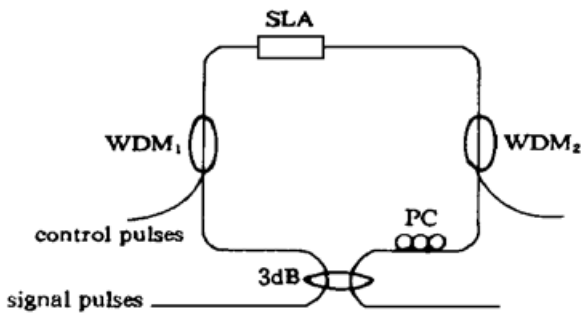


图 1 半导体光放大器环路镜结构

Fig. 1 Configuration of SLALOM

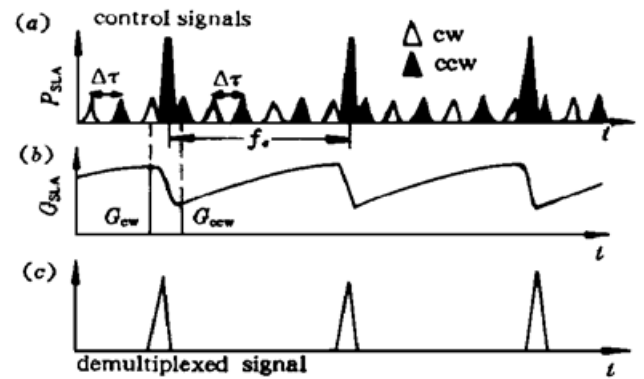


图 2 半导体光放大器环路镜解复用原理示意图

cw: 顺时针; ccw: 逆时针

Fig. 2 Demultiplying principle of SLALOM

cw: clockwise; ccw: counter-clockwise

若有控制光经 WDM<sub>1</sub> 进入 SLALOM, 信号光与控制光到达 SLA 的时序如图 2 (a) 所示。当某一信道信号光的顺时针 (cw) 和逆时针 (ccw) 传输分量分别先于或迟于控制光到达 SLA, 若其时间差  $\Delta\tau$  远小于 SLA 载流子寿命  $\tau_c$ , 则这两个传输分量因控制光使 SLA 饱和而获得不同的增益, 前者为小信号增益, 后者为饱和增益。SLA 的增益变化曲线如图 2 (b) 所示。若设两个相向传输的脉冲分量的增益比为  $G_{ccw}/G_{cw}$ , 控制光经过 SLA 时增益为  $G(t_s)$ , 则

$$\frac{G_{ccw}}{G_{cw}} = \left| \frac{G(t_s)}{G_0} \right|^{\exp[-(t-t_s)/\tau_c] - \exp[-(t+\Delta\tau-t_s)/\tau_c]} \quad (t > t_s) \quad (2)$$

两分量的相位差

$$\varphi_1 - \varphi_2 = - \frac{\alpha}{2} \ln \left[ \frac{G_{ccw}}{G_{cw}} \right]$$

式中  $\alpha$  为线宽展宽因子。当相位差为  $\pi$  时, 这一信道光脉冲将从 SLALOM 端口 2 完全输出。由于 SLA 增益恢复时间较长, 其余信道光脉冲没有控制光脉冲作用又处于增益恢复阶段到达 SLA, 在此期间 SLA 增益变化缓慢, 两传输分量获得的增益、相移基本相同, 从 1 端输出。所以从 2 端输出的只是某一信道的信号脉冲, 从而达到解复用的功能。2 端的输出光功率主要取决于  $G_{ccw}/G_{cw}$  比值

$$P_{out}(t) = \frac{1}{4} P_{in}(t-T) G_{cw}(t-T) \left[ 1 + \frac{G_{ccw}}{G_{cw}} - 2 \sqrt{\frac{G_{ccw}}{G_{cw}}} \cos \left[ \frac{\alpha}{2} \ln \frac{G_{ccw}}{G_{cw}} \right] \right] \quad (3)$$

式中  $P_{in}(t)$  为输入光信号功率,  $T$  为光脉冲在 SLALOM 环内传输一周的时间。

### 3 实验结果

图 3 为利用半导体光放大器环路镜解复用的实验装置。信号光脉冲波长为 1557 nm, 由增益开关 DFB 量子阱激光器产生频率为 2.5 GHz, 脉宽为 60 ps 的超短光脉冲, 再经色散补偿 (DCF) 光纤压缩到 14 ps (用 SHG 测得), 由可调光延迟线和偏振控制器复用为  $4 \times 2.5$  GHz 同偏振等幅归零全 1 码。图 4 (a) 所示为  $4 \times 2.5$  GHz 光时分复用信号脉冲的波形。应说明受宽带示波器分辨率的限制, 所示脉宽大于脉冲的实际宽度。控制光脉冲由另一个增益开关 DFB 激光器产生, 波长为 1531 nm, 调制频率为 2.5 GHz, 未经压缩时的脉宽约为 50 ps。信号光与控制光之间的位置关系可由移相器调节, 调节偏振控制器  $PC_1$  使它们的偏振态保持一致, 通过输入端的 WDM 进入 SLALOM。实验中所用 SLA 为三段式结构, 属偏振敏感型, 即对 TE 和 TM 模有不同的增益, 其增益差约为 8 dB。在此加入  $PC_2$  使信号光和控制光的偏振态适合 SLA 以获得较大的小信号增益。在 SLALOM 的输出端用窄带光滤波器将信号光波长滤出, 即能得到解复用的信号。

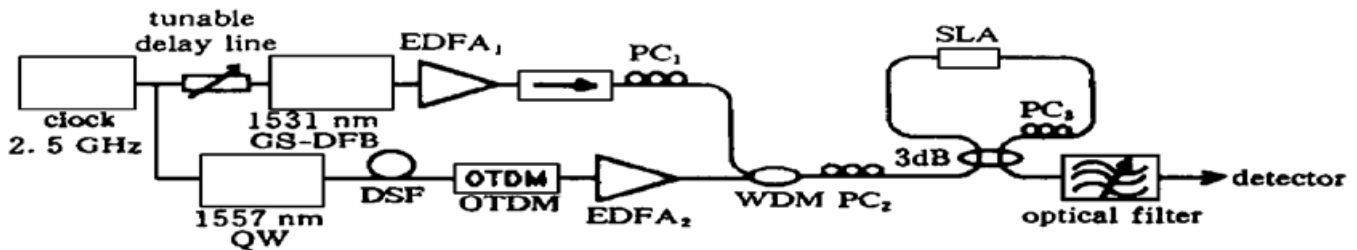


图 3 利用半导体光放大器环路镜进行全光解复用的实验装置

EDFA: 掺铒光纤放大器; DSF: 色散位移光纤; OTDM: 光时分复用器;

PC: 偏振控制器; WDM: 波分复用器; SLA: 半导体激光放大器

Fig. 3 Schematic diagram of all optical demultiplexing using the SLALOM experimental setup

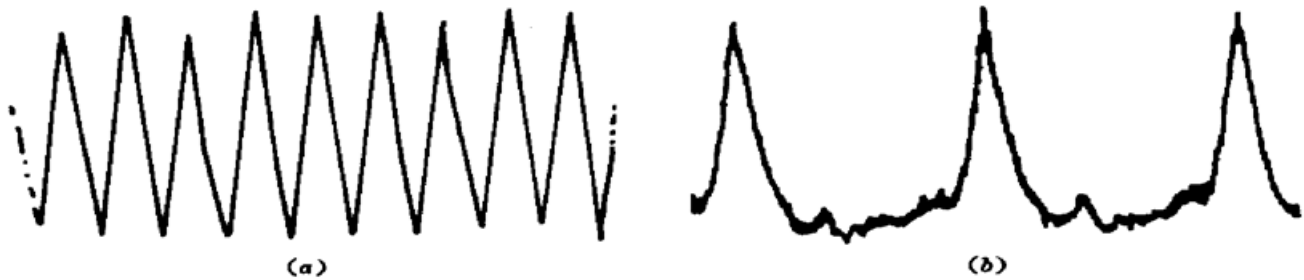


图 4 光时分复用信号及解复用信号波形

(a)  $4 \times 2.5$  GHz 复用信号; (b) 2.5 GHz 解复用信号

Fig. 4 Waveform of multiplexing and demultiplexing optical signals

(a)  $4 \times 2.5$  GHz multiplexing signals; (b) 2.5 GHz demultiplexing signals

实验中, 在波分复用器前测得的信号光和控制光功率分别为 0.3 mW 和 1.6 mW, 根据环路中耦合损耗折算进入 SLA 的信号光功率约为  $40 \mu\text{W}$ , 控制光功率为  $200 \mu\text{W}$ 。SLA 偏置电流为 120 mA。图 4 (b) 所示为解复用后单信道信号, 从解复用后的信号波形可看出, 其它三个信道的信号光在 SLALOM 端口 2 输出很小。通常将所选信道与未选信道信号输出幅度比定义为消光比。消光比是解复用器主要性能指标, 它关系到接收系统的信噪比及系统的误码率。本实验中测得消光比大于 10 dB (与电吸收调制器的性能参数相当)。

将信号光 (1557nm) 改为连续光 (CW) 输入, 其它条件不变, 则可测出上述 SLALOM 的开关窗口。从图 5 测出其宽度约为 70 ps (控制光脉宽为 50 ps)。在 SLALOM 中控制光与信号光

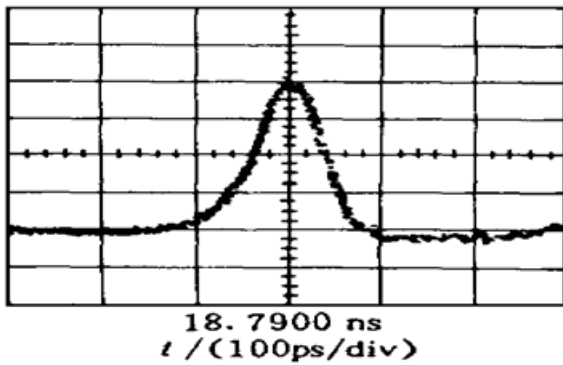


图5 测得的半导体光放大器环路镜的窗口

Fig. 5 Measured switch window of SLALOM

的走离可以忽略,窗口的宽度主要取决于SLA偏离中心位置和控制光脉冲宽度。实验中将信号光与控制光光源对换后再次测量开关窗口,即控制光脉宽为14 ps,测量结果仍为70 ps左右,由此推测该SLALOM的窗口宽度主要由 $\Delta\tau$ 决定。本实验中70 ps的窗口宽度基本满足了10 GHz解复用要求。

从上述实验结果与分析可见,利用SLALOM解时分复用信号时 $\Delta\tau$ 的设置是一个重要参量,它不仅决定了开关窗口的宽度而且关系到 $G_{ccw}/G_{cw}$ 比值,从而影响解复用器的消光比。

## 4 结 论

本文介绍了利用半导体光放大器增益饱和的非线性效应制成的环路反射镜解复用的基本原理,报道了利用这种环路镜对 $4 \times 2.5$  GHz光时分复用信号进行全光解复用的实验,在70 ps的开关窗口下,获得了消光比可达10 dB的解复用信号。

### 参 考 文 献

- 1 T. Morioka, H. Takara, S. Kawanishi *et al.*. 100 Gbit/s  $\times$  10 channel OTDM/WDM transmission using a single supercontinuum WDM source. *OFC'96*, PD21-2
- 2 I. Glesk, J. P. Sokoloff, P. R. Prucnal. Demonstration of all-optical demultiplexing of TDM data at 250Gbit/s. *Electr. Lett.*, 1994, **30**(4) : 339~ 341
- 3 Wu Zhilin, Yao Minyu, Gao Yizhi. Clock component extraction from unequal amplitude signals in time division multiplexing using SLALOM. *Chinese J. Electronics*, 1997, **6**(1) : 29~ 33
- 4 J. Zhou, N. Park, K. J. Vahala *et al.*. Four-wave mixing wavelength conversion efficiency in semiconductor traveling-wave amplifiers measured to 65nm of wavelength shift. *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1994, **6**(10) : 984~ 987
- 5 J. P. Sokoloff, P. R. Prucnal, I. Glesk *et al.*. A terahertz optical asymmetric demultiplexer (TOAD). *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1993, **5**(7) : 787~ 790
- 6 M. Eiselt, W. Pieper, H. G. Weber. SLALOM: Semiconductor laser amplifier in a loop mirror. *J. Lightwave Technology*, 1995, **13**(10) : 2099~ 2112

## 4 $\times$ 2.5 GHz OTDM Demultiplexing using SLALOM

Wu Zhilin Yao Minyu Gao Yizhi Zhou Bingkun

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

**Abstract** An all optical demultiplexing experiment using a semiconductor laser amplifier in a loop mirror from  $4 \times 2.5$  GHz optical time division multiplexing is reported. The results show that demultiplexed signals with good extinction ratio can be achieved.

**Key words** optical time division multiplexing, demultiplexer, semiconductor laser amplifier, loop mirror