

# 基于 SOA 双泵浦 FWM 全光波长变换的研究

齐 江,迟 楠,郑 远,陈树强,管克俭

(北京邮电大学光通信中心,北京 100876)

摘 要: 本文报道了半导体光放大器(SOA)在偏振方向相互垂直的双泵浦光作用下,四波混频(FWM)效应实现的全光波长变换实验,其变换效率和信噪比在 55nm 的调谐范围内较高并且基本稳定.

关键词: 半导体光放大器; 四波混频; 波长变换

中图分类号: TN929. 11 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2001) 01-0038-03

## All-Optical Wavelength Conversion Based on Four-Wave Mixing in Semiconductor Optical Amplifiers with Two Pumps

QI Jiang, CHI Nan, ZHENG Yuan, CHEN Shu-qiang, GUAN Ke-jian

(Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: The wavelength conversion experiment based on four-wave mixing in the semiconductor optical amplifiers with two orthogonal-polarized pumps is reported. The conversion efficiency and SNR are high and relatively flat over a large tunable range.

Key words: semiconductor optical amplifier; four-wave-mixing; wavelength conversion

### 1 引言

波分复用是提高通信系统容量的一种非常有效的方法,全光波长变换在将来的全光通信网中是非常关键的技术<sup>[1]</sup>.理想的全光波长变换要求对偏振不敏感、对信号光严格透明、宽调谐范围内平坦的变换效率与信噪比.基于 SOA 四波混频效应的波长变换是仅有的对调制方式、码速率完全透明的波长变换,并且由于 SOA 带内效应作用时间很短( $< 100fs$ ),因而具有高达 100Gb/s 的信号变换潜力<sup>[2]</sup>.但四波混频效率较低,并且变换效率以及变换光信噪比随着信号光、泵浦光频差的增大急剧下降,同时由于 SOA 增益的不对称性,向长波长方向变换时,变换光效率 SNR 劣化的尤为明显<sup>[2]</sup>,这一切都限制了变换带宽.采用偏振方向相互垂直的双泵浦光源,可以实现在 SOA 增益范围内具有稳定变换效率和信噪比的波长变换<sup>[3]</sup>,极大提高了基于 SOA 四波混频效应波长变换的性能.本文理论上简要分析了 SOA 中垂直双泵浦四波混频波长变换器原理,在国内首次报道了利用 SOA 双泵浦四波混频效应对 2.5Gb/s 非归零码光脉冲进行全光波长变换的实验,变换带宽达 55nm,且在 SOA 增益范围内,其变换效率相对平坦.

### 2 实验原理与试验装置

实验装置如图 1 所示,其中泵浦光  $P_1$  为固定波长泵浦光,  $P_2$  为可调谐泵浦光.信号光  $S$  与泵浦光  $P_1$  耦合后经同一偏振控制器,保证泵浦光  $P_1$  与信号光  $S$  偏振方向平行,同时调节偏振控制器使泵浦光  $P_2$  与  $P_1$ 、 $S$  偏振方向相互垂直.

SOA 非线性介质在  $S$ 、 $P_1$ 、 $P_2$  共同作用下,其四波混频频谱图如图 2 所示.图中信号光  $S$  与泵浦光  $P_1$  频差固定为  $\omega_1$ ,可调谐  $P_2$  与  $P_1$  的频差为  $\omega_2$ .四波混频产生的变换光为  $C_1$  和  $C_2$ ,以  $C_1$  为例,  $C_1$  与信号光  $S$  的频差为  $\omega_2$ ,与信号光  $S$  有相同的调制信息.据文献<sup>[3]</sup>,变换光  $C_1$  变换效率  $\eta(\omega_2)$  以及信噪比  $SNR(\omega_2)$  分别为:

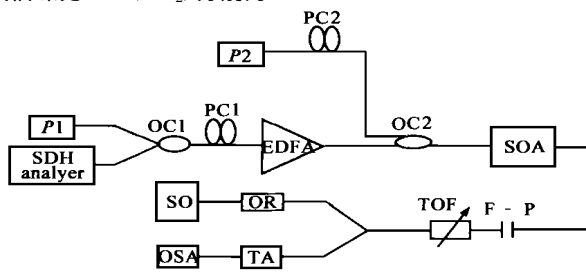


图 1 SOA 中双泵浦 FWM 试验装置图

$$\eta(\omega_2) = p_{c1} / p_s = E_{c1} \cdot E_{c1}^* / E_s \cdot E_s^* = P_1 P_2 G_x^2 G_y R(\omega_2) \quad (1)$$

$$SNR = P_{c1} / P_{ASE} = E_{c1} \cdot E_{c1}^* / P_{ASE} = P_1 P_2 P_s G_x^2 G_y^2 R(\omega_2) / P_{ASE} \quad (2)$$

其中:  $E_s$ 、 $E_{c1}$  分别为信号光  $S$ 、变换光  $C_1$  的光矢量;  $G_x$ 、 $G_y$  为 SOA 垂直偏振方向上的增益系数;  $R(\omega_2)$  为相对转换效率函

数,随失谐频率  $\omega_1$  的增大而减小<sup>[3]</sup>.对频率为  $\omega_1 + \omega_2 - \omega_s$  变换光  $C_2$  经过同样的分析可以得出相同的结果.由式(1)、(2)可见,在 SOA 的增益范围内,变换光变换效率、信噪比不随信号光  $S$  与泵浦光  $P_2$  的频差  $\omega_2$  的变化而变化.

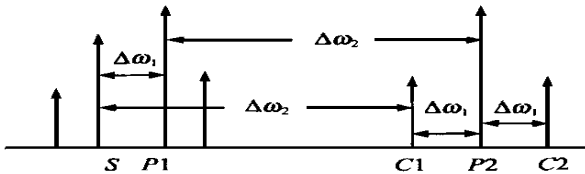


图 2 垂直双泵浦 FWM 频谱图

试验中 SDH 测试仪产生 2.5 Gb/s STM-16 非归零码光脉冲,与泵浦光  $P_1$  耦合后经偏振控制器  $PC_1$  进入 EDFA 放大;同时可调谐锁模激光器产生  $P_2$  泵浦光,经偏振控制器  $PC_2$  与 EDFA 输出光耦合,进入 SOA 调节偏振控制器  $PC_1$  和  $PC_2$  保证两泵浦方向相互垂直.实验中滤波器带宽较宽,SOA 输出的混频光先经 F-P 腔滤波器后,再经可调谐光滤波器滤出变换光(如果有自由谱域较宽而带宽较窄的可调谐滤波器,可以不需要 F-P 腔滤波器).由于实验中示波器光接口灵敏度要求不低于 -15 dBm,变换光先经 2.5 Gbit/s 的光接收机恢复出电信号,再观测眼图.

实验中所用仪器如下:取样示波器为美国惠普公司 HP68480A 型,取样带宽 20 GHz.光谱仪为日本 Anritsu 公司 MS9001B1 型,最小分辨率为 0.1 nm,2.5 Gbit/s 光接收机为课题组自制,波长适应范围为 1300 nm ~ 1600 nm,响应时间小于

40 ps. EDFA 的性能如下:饱和输出平均光功率为 16 dBm,小信号增益为 30 dB,放大器噪声系数为 6 dB 左右.耦合器均为 1550 nm 窗口 3 dB 宽带耦合器. SDH 分析仪为美国惠普公司 OMNIBer-718 型.半导体光放大器 SOA 为法国 ALCTEL 公司 1901 型,主要参数如下:最大偏置电流为 250 mA,有源区长度 500 μm,纤纤小信号增益为 20 dB,偏振敏感度小于 1 dB,其增益谱宽 1520 nm ~ 1600 nm.可调谐滤波器中心波长为 1550 nm,可调谐范围大于 40 nm,3 dB 带宽为 1.8 nm,插入损耗小于 2 dB. F-P 腔滤波器自由谱域为 3.4 nm,3 dB 带宽小于 0.08 nm.

### 3 实验结果及分析

实验中 SDH 分析仪产生信号光波长为 1549.380 nm,3 dB 带宽小于 0.1 nm.  $P_1$  泵浦光为 DFB 激光器,波长为 1550.905 nm,3 dB 带宽为 0.05 nm.  $P_2$  为可调谐锁模激光器,可调谐范围为 1480 nm - 1585 nm,3 dB 带宽小于 0.05 nm.图 3、图 4 为向长波长方向变换 30.78 nm 与向短波长方向变换 24.25 nm 时光谱图.其中向长波长方向变换 30.78 nm 时效率为 -18.56 dB,向短波长方向变换 24.25 nm 时效率为 -25.47 dB.改变泵浦光  $P_2$  波长,我们得到了变换效率如图(5)所示,与我们以前所做的单泵浦四波混频<sup>[5]</sup>相比,可以看到 SOA 双泵浦四波混频效率在其饱和增益范围内相对平坦.由于可调谐激光器波长范围的限制,没有向更长波长方向做变换.从图 5 可以看出,在小于 1530 nm 波长方向上变换效率较低,是由于试验中 SOA 的峰值增益波长在 1560 nm 左右,对长波长方向光增益较高;对小于 1530 nm 波长方向上增益很低,因而导致了四波混频效率较低.

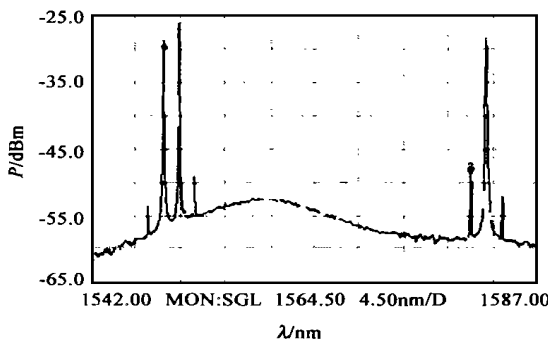


图 3 向长波长方向变换达 30.78 nm 时光谱图

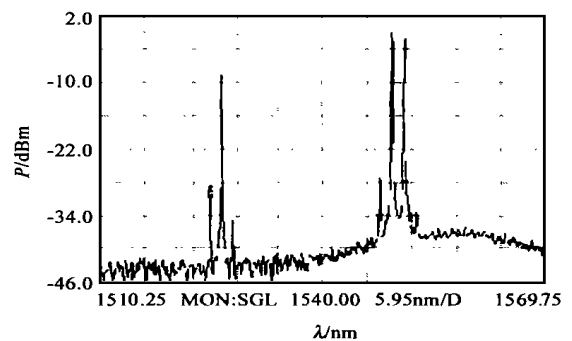


图 4 向短波长方向变换达 24.25 nm 时光谱图

由公式(1)、(2)可知,四波混频的变换效率和信噪比与  $R$  ( $\propto \omega_1$ ) 成正比,因而为了得到尽量大的变换效率和信噪比,必须尽量减少泵浦光  $P_1$  与信号光  $S$  的频差  $\omega_1$ .但从图 2 可知,  $\omega_1$  的减少,必然导致变换光与泵浦光  $P_2$  频差的减少,因此实验

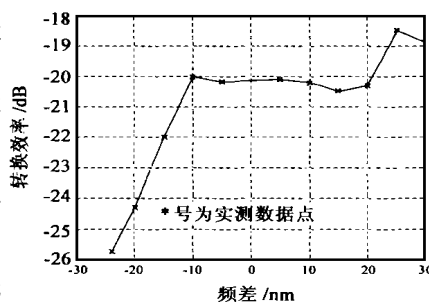


图 5 SOA 双泵浦四波混频变换效率图

中要求有边模抑制比较高、窄带宽的滤波器.我们采用两级滤波,先经过 F-P 腔再经过可调谐滤波器,得到带宽较窄的不同波长变换信号.由可调谐滤波器范围所限,我们选取波长为 1558.889 nm 的变换光进行误码测量,变换光经两级滤波后得到的光谱图,以及光接收机恢复出电信号眼图如图 6 所示,信号光采用  $2^{23} - 1$  伪随机码,经过 1 小时的误码测量,误码率为  $1.2 \times 10^{-9}$ .由于试验室 SDH 测试仪最高只能提供 2.5 Gbit/s 的误码测试信号,我们没有对更高码速率光信号进行测量.

### 4 结论

我们利用偏振方向相互垂直的双泵浦光,对 2.5 Gb/s 的非归零码光信号实现了基于 SOA 四波混频效应的全光波长

变换,变换范围达 55nm.与 SOA 单泵浦的四波混频相比较,双泵浦可以实现在 SOA 饱和增益范围内相对稳定的变换效率和信噪比,这一点对 WDM 全光网非常有意义.

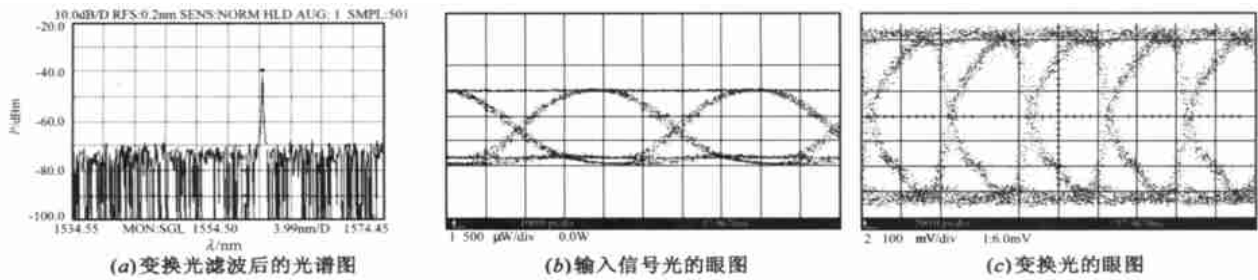


图 6

## 参考文献:

- [ 1 ] Wauters, N., Van Parys, W., Demeester, P., et al. Proc. OFC 97 [C], 1997:190 - 193.
- [ 2 ] Mecozzi, A., Scotti, S., D Ottavi, A., et al. IEEE J. Quantum Electron, 1995, 31(4): 689 - 699.
- [ 3 ] Jonathan, P. R., and Mark, A., Journal of Lightwave Technology, 1998, 15(12): 2419 - 2427.
- [ 4 ] Zhou J, Park, N., and Vahala, KJ., IEEE Photonics Technology Letters, 1994, 14(8): 859 - 860.
- [ 5 ] 齐江,陈树强,迟楠.光通信技术. 2000, 1(1): 40 - 43.

## 作者简介:

齐江 1995年、1998年在北京理工大学光电工程系获学士、硕士学位,现为北京邮电大学电磁场与微波技术专业博士研究生,主要研究方向为全光波长变换与光纤接入网.



迟楠 1996年在北京邮电大学电信工程学院获电磁场与微波技术专业学士学位,现为北京邮电大学电磁场与微波技术专业博士研究生,主要研究方向为 WDM 技术及全光波长变换.