

文章编号: 0258-7025(2004)12-1433-04

基于级联半导体光放大器中交叉增益调制效应的新型全光逻辑与门

王 颖, 张新亮, 黄德修

(华中科技大学光电子工程系, 湖北 武汉 430074)

摘要 提出一种基于级联半导体光放大器(SOA)中的交叉增益调制(XGM)效应实现的全光逻辑与门新方案。该方案采用单端耦合半导体光放大器提高第一级半导体光放大器输出的消光比,合理控制第二级半导体光放大器的输入光功率,实现了两路 2.5 Gbit/s 非归零(NRZ)信号的逻辑与运算。详细阐明了基于级联半导体光放大器的与门的工作原理和实验方案,分析了实验结果。根据实验结果,发现第一级半导体光放大器输出信号的消光比和信噪比对逻辑与运算结果影响较大,利用单端耦合半导体光放大器后能改善逻辑与运算结果,第二级半导体光放大器的输入抽运光功率对逻辑与运算输出的信号质量有较大的影响。合理控制这些因素,可以有效地提高该逻辑与门的输出特性。

关键词 光电子学;半导体光放大器;全光逻辑与门;级联;交叉增益调制

中图分类号 TP 332.1 **文献标识码** A

Novel All-Optical AND Gate Based on Cross Gain Modulation in Cascaded Semiconductor Optical Amplifiers

WANG Ying, ZHANG Xin-liang, HUANG De-xiu

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

Abstract Novel scheme for all-optical AND gate based on cross-gain modulation in cascaded two stage semiconductor optical amplifiers (SOAs) is presented. Single-port-coupled SOA is exploited in the first stage to improve the output extinction ratio, input power of the second stage is properly controlled, and 2.5 Gbit/s all-optical logic AND operation is demonstrated experimentally. Operation principle is illustrated and experimental results are analyzed in detail. According to the experimental results, the extinction ratio of the output signal from the first stage and the optical power into the second stage are very important to the final results of this logic AND gate. So if these factors are controlled properly, the output performance of the logic AND gate can be effectively improved.

Key words optoelectronics; semiconductor optical amplifier; all-optical logic AND gate; cascade; cross gain modulation

1 引 言

由于全光信号处理技术具备处理宽带宽、高速率、大容量信号的能力,所以在通信和计算领域内,

被广泛地用作交换、判决、再生以及一些基础的或复杂的光运算。逻辑与门是一种核心的逻辑计算单元,它可以用于全光加法器和全光帧校验器等^[1,2]。目前,文献报道了构成逻辑门的多种方案,其中有的

收稿日期:2003-08-18;收到修改稿日期:2003-10-23

基金项目:国家 973 计划(2000036605)和国家 863 计划(2002AA312160)资助项目。

作者简介:王 颖(1979—),女,华中科技大学光电子工程系硕士研究生,主要从事半导体光放大器在全光逻辑方面的研究。E-mail:wangying_hust@yahoo.com.cn

使用双折射光纤^[3],有的使用液晶光阀^[4],也有的使用半导体光放大器(SOA)。使用半导体光放大器构成的逻辑门包括使用超快速非线性干涉仪(UNI),干涉型波长转换器(IWC)和基于半导体光放大器的非线性环境(SLALOM)实现的异或门(XOR),使用多个半导体光放大器构成的异或门和或非门(NOR)等^[5~8]。

目前,文献报道的全光与门主要是用非线性环境实现的,这种环形结构中信号的相位变化对输出结果的性能影响比较大。本文提出了一种基于级联半导体光放大器中交叉增益调制(XGM)效应的新型全光逻辑与门。采用单端耦合半导体光放大器提高第一级输出的消光比,合理控制第二级半导体光放大器的输入光功率,实现了两路 2.5 Gbit/s 非归零(NRZ)信号的逻辑与运算。

2 工作原理

基于半导体光放大器-交叉增益调制的新型全光逻辑与门的原理示意图如图 1 所示,由 SOA1 和 SOA2 级联而成。在三路输入光中,信号光 A 和 B 具有相同波长 λ_2 , 而连续光 CW 在另一波长 λ_1 上。首先,信号光 A 作为抽运光,连续光 CW 作为探测光注入 SOA1。假设信号光 A 为“1101”,如图 2(a)所示。因为存在交叉增益调制效应,A 光使半导体光放大器的载流子浓度受到调制,从而 CW 光经过 SOA1 将受到信号光脉冲 A 的调制,在 SOA1 的输出端,波长为 λ_1 的光被滤波器 1(filter 1)滤出,它将带有 A 光的信息,暂且称之为 P_0 ,其波形如图 2(b)所示为“0010”。然后,将 P_0 与信号光 B 一起注入 SOA2,一起竞争 SOA2 中的载流子。filter 2 将滤出从 SOA2 输出的波长为 λ_2 的光,即图 2 中的 P_{out} 。图 2(c)中设 B 为“0110”。因为进入 SOA2 的 P_0 的峰值功率远高于 B 光的峰值功率,所以当 P_0 为“1”时(也就是 A 为“0”时), P_0 消耗掉半导体光放大器中大部分载流子,因此 P_{out} 为“0”。反之,当 P_0 为“0”时(也就是 A 为“1”时),若 B 也为“1”,B 竞争得到载

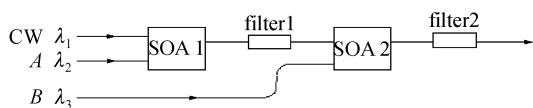


图 1 基于半导体光放大器-交叉增益调制的
全光逻辑与门结构示意图

Fig. 1 Structure diagram for all-optical logic AND gate
based on SOA-XGM

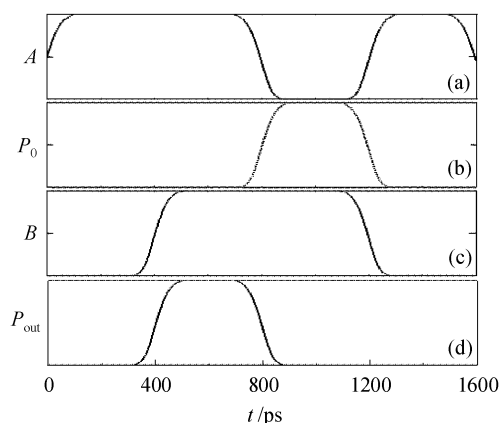


图 2 全光逻辑与运算原理示意图

(a) 输入 SOA1 中的信号光 A; (b) SOA1 输出的 λ_1 波长的光;
(c) 输入 SOA2 的信号光 B; (d) A 与 B 相与的结果

Fig. 2 Operation principle diagram for all-optical
logic AND gate

(a) signal A to SOA1; (b) the output of SOA1 at λ_1 ;
(c) signal B to SOA2; (d) the AND result of A and B

流子,则 P_{out} 为“1”,若 B 为“0”,则 P_{out} 也为“0”。从而实现了信号光 A 与 B 的“与”。

3 实验方案

实验装置如图 3 所示。分布反馈(DFB)激光器出射波长为 1555.9 nm,功率为 -6.5 dBm 的连续光。Anritsu 公司生产的 MP1570A 型同步数字系列(SDH)分析仪作为信号光光源,产生波长为 1545 nm,平均功率为 -7 dBm 的非归零(NRZ)信号。如图 3 所示,该非归零信号经过 50:50 耦合器后将分为两路。为得到两路不同的信号之间相与的结果,对这两路信号作相对的延时,例如图上上一路信号若为“1100”,下一路信号则被延时为“0110”。上一路信号经掺铒光纤放大器 1(EDFA 1)放大后作为抽运光与连续光一起进入 SOA1。为改善第一级转换的输出消光比特性,SOA1 采用单端耦合输入输出方式^[9,10],用光环行器分离出转换输出光,输出光再经过 EDFA2 放大后,由窄带滤波器 1 滤出波长为 1555.9 nm 的光。被滤出的光再与另一路信号进入 SOA2。从 SOA2 输出的结果由滤波器 2 滤出波长为 1545 nm 的光,利用 Tektronix 公司的 CSA8000 型通信分析仪观察逻辑门运算结果。此外,整个装置中还使用了两个偏振控制器(PC)控制输入光信号的偏振态,适当地调节偏振控制器可以改善输出波形。实验中选用的 SOA1 为实验室自

制的量子阱材料直腔结构半导体光放大器,腔长为 $450\ \mu\text{m}$,前端面剩余反射率控制在 10^{-4} 量级,后端面反射率约在 10^{-2} 量级。SOA2 为瑞士 OPTOSPEED 公司提供的体材料斜腔结构的行波半导体光放大器,腔长为 $600\ \mu\text{m}$,端面剩余反射率可达 10^{-6} 量级。实验中 SOA1 的工作电流为 $100\ \text{mA}$,小信号增益为 $10\ \text{dB}$,SOA2 的工作电流为 $200\ \text{mA}$,小信号增益约为 $18\ \text{dB}$ 。

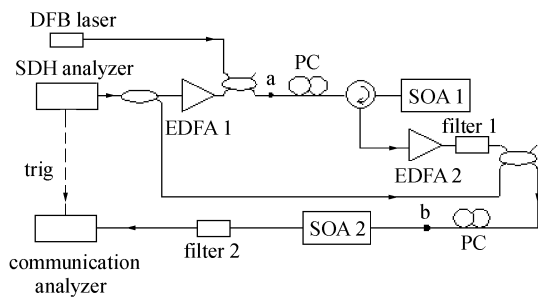


图 3 全光逻辑与门实验装置图

Fig. 3 Experimental setup for all-optical logic AND gate

用光谱分析仪分别测出进入 SOA1 和 SOA2 (即图 3 中 a, b 两点) 的光谱,如图 4 所示。进入 SOA1(图 3 中 a 点处) 的波长 $1545\ \text{nm}$ 的第一路信号光的峰值功率为 $4.38\ \text{dBm}$,波长为 $1555.9\ \text{nm}$ 的连续光功率为 $-10\ \text{dBm}$ 。进入 SOA2(图 3 中 b 点处) 的波长 $1545\ \text{nm}$ 的信号光的峰值功率为 $-13.82\ \text{dBm}$,波长为 $1555.9\ \text{nm}$ 连续光的功率为 $3.8\ \text{dBm}$ 。最后的输出信号峰值功率为 $-20\ \text{dBm}$ 。

4 实验结果及分析

图 5 所示为两路入射信号以及实验的输出结果,选择的输入信号分别是 16 位循环格式的“1100, 1100, 1100, 1100”和“0110, 0110, 0110, 0110”,如图 5(a)所示。图 5(b)为使用基于半导体光放大器-交叉增益调制与门后得到的输出波形,可以看出它恰好就是这两路输入信号相与的结果“0100, 0100, 0100, 0100”。而且,输出波形的消光比也比较理想。

如果适当改变实验条件,观察输出结果的变化情况,可以发现:第一级半导体光放大器输出的波形对整个与门的输出结果影响比较大。如果第一级半导体光放大器输出的光噪声过大、消光比差,那么在第二级半导体光放大器中两路信号交叉增益调制的作用就不明显,从而劣化了最终的输出波形。因此,为了抑制噪声,可以选择噪声比较小的应变量子阱材料的半导体光放大器,或者选用能有效抑制谐振

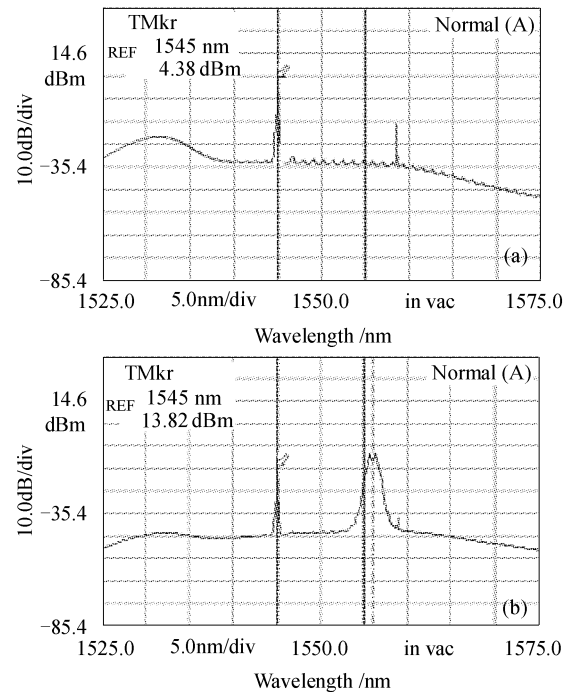


图 4 光谱图

(a) 进入 SOA1 的两路光的光谱;

(b) 进入 SOA2 的两路光的光谱

Fig. 4 Spectra of (a) two input lights to SOA 1; (b) two input lights to SOA 2

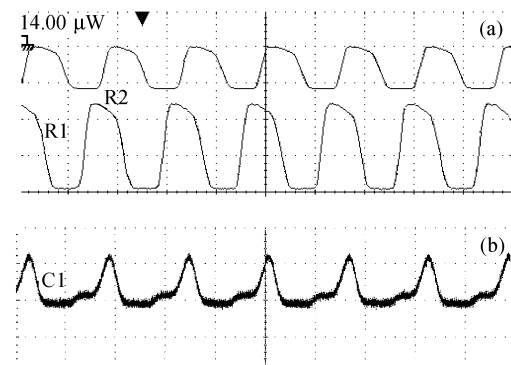


图 5 全光逻辑与运算实验结果

(a) 两路输入信号;(b) 基于交叉增益调制的两级半导体光放大器级联结构的与门输出结果

Fig. 5 Experimental results

(a) two input signals; (b) output signal of AND gate based on XGM in two cascaded SOA

效应的斜腔结构的半导体光放大器。也可以采用单端输入输出方式来提高半导体光放大器的输出消光比。

此外,图 5(b)中脉冲的上升沿的左端有一个微小的突起。造成这一现象的主要原因是进入第二级半导体光放大器的抽运光功率不足。由于抽运光功

率不足,交叉增益调制对第二路信号光的作用有限,于是输出波形中也叠加了第二路信号光自身被放大的结果。如果适当调整进入第二级半导体光放大器的抽运光功率,光功率越低,图 5(b)中脉冲的上升沿的左端的突起现象就越明显;光功率升高,这个突起基本上可以消除。所以,为了改善输出结果,有必要提高第二级半导体光放大器抽运光的功率。

5 结 论

提出了一种基于级联半导体光放大器中的交叉增益调制效应的全光逻辑与门新方案。采用单端耦合半导体光放大器提高第一级输出的消光比,合理控制第二级半导体光放大器的输入光功率,实现了两路 2.5 Gbit/s 非归零信号的逻辑与运算。结果表明这种方案结构简单、容易实现。第一级半导体光放大器输出信号的消光比和信噪比对逻辑与运算结果影响较大,提出利用单端耦合半导体光放大器能改善逻辑与运算结果,第二级输入抽运光功率对逻辑与运算输出的信号质量有较大的影响。

参 考 文 献

- 1 A. J. Poustie, K. J. Blow, A. E. Kelly *et al.*. All-optical full adder with bit-differential delay [J]. *Opt. Commun.*, 1999, **168**:89~93
- 2 A. J. Poustie, K. J. Blow, A. E. Kelly *et al.*. All-optical parity checker with bit-differential delay [J]. *Opt. Commun.*, 1999, **162**:37~43
- 3 Wang Zhaomin, Zhang Xihe, Ren Jianhua. Kerr effect in birefringence and optic logic gate [J]. *Acta Optica Sinica*, 1994, **14**(2):222~224
王兆民,张喜和,任建华. 双折射光纤中克尔效应及光纤-光学逻辑门[J]. *光学学报*, 1994, **14**(2):222~224
- 4 Yuan Shifu, Zhao Shijie, Zhang Xueru *et al.*. Implementation of optical logic gates with a liquid crystal light valve [J]. *Chinese J. Lasers*, 1994, **A21**(2):145~151
袁石夫,赵世杰,张学如等. 利用单个液晶光阀实现的光学逻辑门[J]. *中国激光*, 1994, **A21**(2):145~151
- 5 C. Bintjas, M. Kalyvas, G. Theophilopoulos *et al.*. 20 Gb/s all-optical XOR with UNI gate [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(7):824~836
- 6 T. Fjelde, D. Wolfson, A. Kloch *et al.*. Demonstration of 20 Gbit/s all-optical logic XOR in integrated SOA-based interferometric wavelength converter [J]. *Electron. Lett.*, 2000, **36**(22):1863~1864
- 7 J. H. Kim, Y. M. Jhon, Y. T. Byun *et al.*. All-optical XOR gate using semiconductor optical amplifiers without additional input beam [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, **14**(10):1436~1438
- 8 A. Hamie, A. Sharaiha, M. Guegan *et al.*. All-optical logic NOR gate using two-cascaded semiconductor optical amplifiers [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, **14**(10):1439~1441
- 9 Y. Maeda, L. Occhi. All-optical triode based on a tandem wavelength converter using reflective semiconductor optical amplifiers [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2003, **15**(2):257~259
- 10 Zhang Xinliang, Huang Dexiu, Sun Junqiang *et al.*. A novel scheme for XGM wavelength conversion based on single-port-coupled SOA [J]. *Chinese Physics*, 2001, **10**(2):124~127