

doi: 10.3788/gzxb20134209.1031

基于太赫兹光解复用器-四波混频效应的全光异或门方案

段杰^{1,2}, 谢小平^{1,2}, 段弢², 温钰¹

(1 西安通信学院, 西安 710106)

(2 中国科学院西安光学精密机械研究所 瞬态光学与光子技术国家重点实验室, 西安 710119)

摘要:为了解决基于太赫兹光解复用器-交叉相位调制效应全光异或门的三个问题,即严格的同步要求;不能应用于输入信号为非归零码信号的情况;异或处理速率受半导体光放大器载流子速率限制.提出了一种应用于输入为开关调制信号,利用太赫兹光解复用器结构,基于半导体光放大器四波混频效应的全光异或门方案.该方案由于基于四波混频效应,因此能从根本上解决基于太赫兹光解复用器-交叉相位调制效应全光异或门方案所存在的三个问题.通过理论分析介绍了该方案的原理,并通过仿真分别实现了该方案对输入为 40 Gbps,归零码信号;80 Gbps,归零码信号;10 Gbps,非归零码信号的异或操作.三种输入信号对应的异或输出 Q 因子与误码率分别为 11.7, 2.4×10^{-18} ; 8, 1.1×10^{-10} ; 22, 1.3×10^{-40} .分析了太赫兹光解复用器主要组成元件参数,以及温度起伏与色散效应对异或门输出信号质量的影响.理论分析与仿真共同验证了该方案对于解决基于太赫兹光解复用器-交叉相位调制效应全光异或门三种问题的可行性与有效性.

关键词:全光异或门;太赫兹光解复用器;半导体光放大器;四波混频效应

中图分类号:O439

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2013)09-1031-8

An All-optical Exclusive-OR Gate Based on Terahertz Optical Asymmetric Demultiplexer-four Wave Mixing Effect

DUAN Jie^{1,2}, XIE Xiao-ping^{1,2}, DUAN Tao², WEN Yu¹

(1 Xi'an Telecommunication College, Xi'an 710106, China)

(2 State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, CAS, Xi'an 710119, China)

Abstract: In order to solve the three problems of terahertz optical asymmetric demultiplexer-cross phase modulation effect based all-optical exclusive-OR gate, which are that the strict demand of synchronization; cannot be applied in the situation of not return to zero signal input; the speed of exclusive-OR operation is limited by carrier recovery speed of semiconductor optical amplifier. An all-optical exclusive-OR gate was proposed which utilizes the structure of terahertz optical asymmetric demultiplexer and is based on four wave mixing effect, because of based on four wave mixing, this exclusive-OR gate can radically solve the mentioned three problems of terahertz optical asymmetric demultiplexer-cross phase modulation based exclusive-OR gate. This paper illustrates the principle of this exclusive-OR gate through theoretic analyse, and realizes the exclusive-OR operation for the input of 40 Gbps, return to zero signal; 80 Gbps, return to zero signal; 10 Gbps, not return to zero signal. The Q factor and bit error rate of exclusive-OR operation for above three kinds of input are 11.7, 2.4×10^{-18} ; 8, 1.1×10^{-10} ; 22, 1.3×10^{-40} .

基金项目:国家自然科学基金(No. 60907026)和中意合作项目“新型分布式光传感与网络技术”(No. 2010DFA14640)资助

第一作者:段杰(1986-),男,硕士研究生,主要从事光网络物理层安全方面的研究. Email:duanjiedemail@163.com

导师:谢小平(1976-),男,研究员,博士,主要从事高速光通信关键技术,光网络安全方面的研究. Email:xxp@opt.ac.cn

收稿日期:2013-03-11;录用日期:2013-05-20

And then, we analyse the influence on the quality of exclusive-OR output signal which is generated by change of parameter of main elements of terahertz optical asymmetric demultiplexer and temperature and dispersion effect. The feasibility and effectiveness of this exclusive-OR gate for solving the three problems of terahertz optical asymmetric demultiplexer-cross phase modulation based all-optical exclusive-OR gate are verified by theoretic analyse and simulation.

Key words: All-optical exclusive-OR gate; Terahertz optical asymmetric demultiplexer; Semiconductor optical amplifier; Four wave mixing

0 引言

随着网络带宽需求的增长,单信道传输速率已经逼近电子速率的极限,全光信号处理技术因具有超高速率的潜质,因此有望突破电子速率瓶颈,使得网络单信道传输速率大大增加.在全光信号处理技术中全光异或逻辑门是其重要组成部分,它可以用于光标签或分组交换、门限判决、数据编码、奇偶校验、信号再生、全光数据加密^[1-3]等重要功能.目前,针对开关调制(On-Off Keying, OOK)信号的全光异或逻辑门通常借助于非线性效应,根据其所采用的非线性介质,可以分为两类:利用半导体光放大器(Semiconductor Optical Amplifier, SOA)实现的全光异或门方案与高非线性光纤(High Nonlinear Fiber, HNLF)实现全光异或门方案. SOA 方案可以分为:基于 SOA 交叉增益调制(Cross Gain Modulation, XGM)效应全光异或门^[4]、基于 SOA 马赫曾德尔干涉(Mach Zehnder Interferometer, MZI)结构全光异或门^[5-7]、基于太赫兹光解复用器交叉相位调制效应(Terahertz Optical Asymmetric Demultiplexer-Cross Phase Modulation, TOAD-XPM)全光异或门^[8-10]; HNLF 方案可以分为:基于超快非线性干涉(Ultrafast Nonlinear Interference, UNI)全光异或门^[11]、基于非线性光线环境(Nonlinear Optical Loop Mirror, NOLM)全光异或门^[12].在这些方案中,由于利用 SOA 作为非线性介质的全光异或门方案具有体积小、非线性系数高、易于集成、工作稳定等优点^[13].在利用 SOA 的全光异或门方案中,基于 TOAD-XPM 全光异或门相比基于 SOA-MZI 全光异或门方案而言,其仅需要一个 SOA 就能实现两光信号的异或逻辑操作,并且环形结构更有利于两路探测光实现稳定的干涉,保证异或输出信号的质量^[12].但是由于 TOAD-XPM 全光异或门所存在的三个问题,限制了其发展和应用:1)基于 TOAD-XPM 全光异或门的探测光必须是与光信号相同的脉冲信号,并且要求光信号与探测光脉冲在输入 SOA 时保持严格同步,因此基于 TOAD-XPM 全光异或门具有对信号同步要求高的缺点;2)需要通过控制两路光信号的延时,使得它们分别进入

SOA 中,因此该全光异或门不能应用于输入信号为非归零(Not Return to Zero, NRZ)码型的情况;3) SOA 固有的载流子恢复时间限制了 TOAD-XPM 全光异或门对光信号的处理速率.

为了解决 TOAD-XPM 全光异或门这三个缺点,本文通过学习文献[14-16]中针对差分相位调制(Differential Phase Shift Keying, DPSK)输入信号的全光异或门方案,提出一种基于 TOAD 结构四波混频效应的针对 OOK 输入信号的全光异或门方案.该方案相比 TOAD-XPM 全光异或门具有 3 个特点:1)能够利用连续光作为探测光,因此大大降低了对信号同步的要求;2)能够实现 NRZ 信号的异或逻辑操作;3)由于 SOA-FWM 效应相比 XPM 效应具有超短响应时间的特点^[17],因此基于 TOAD-FWM 全光异或门能够实现超高速异或操作.本文通过理论分析介绍了基于 TOAD-FWM 全光异或门的原理,并且通过仿真实现了该全光异或门对输入信号速率为 10 Gbps 的 NRZ 信号与 40 Gbps 与 80 Gbps 的 RZ 高斯脉冲信号的异或逻辑操作,并分析了信号速率为 40 Gbps 与 80 Gbps 情况下,2×2 耦合器的耦合系数、SOA 注入电流、信号脉冲占空比、干涉前闲频光偏振涨落、温度起伏、群速率色散效应对全光异或门输出信号质量的影响.

1 方案原理

图 1 是基于 TOAD-FWM 的全光异或门结构.

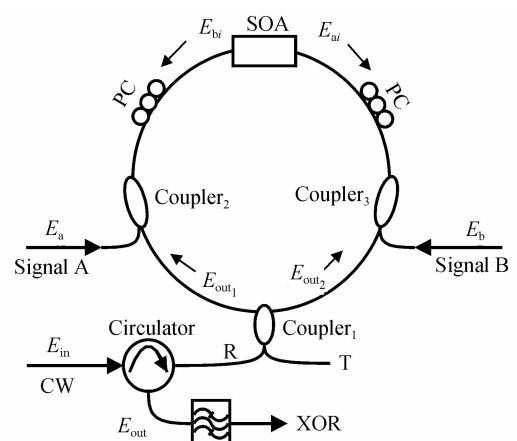


图 1 基于 TOAD-FWM 的全光异或门结构
Fig. 1 Schematic diagram of all-optical XOR gate based on TOAD-FWM

连续光(记为 $E_{in} = A_{in}e^{j(\omega t + \phi)}$, 其中, A_{in} 为光场强度, ω 为光场频率, ϕ 为光场瞬时相位)通过环形器后在 3 dB耦合器(Coupler)的 R 端口输入 TOAD 环, 进入环中后连续光场会分为顺时针传输的 E_{out_1} 与逆时针传输的 E_{out_2} . 根据 3 dB 耦合器的传输矩阵可得

$$E_{out_1} = Ae^{j(\omega t + \phi)} / \sqrt{2} \tag{1}$$

$$E_{out_2} = \frac{j}{\sqrt{2}} Ae^{j(\omega t + \phi)} = \frac{j}{\sqrt{2}} Ae^{j(\omega t + \phi + \frac{\pi}{2})} \tag{2}$$

E_{out_1} 经过 Coupler₂ 后会与信号 A(其光场记为 $E_a = A_a e^{j(\omega_a t + \phi_a)}$, 其中, A_a 为信号 A 光场强度, ω_a 为信号 A 光场频率, ϕ_a 为信号 A 光场瞬时相位)耦合, 当波长不同的顺时针传输光场(E_{out_1})与信号 A(E_a)耦合输入 SOA 时, 会在 SOA 中发生四波混频效应, 在靠近信号光波长附近产生一束闲频光, 该闲频光可以表示为^[18]

$$E_{ai} = \frac{1}{\sqrt{2}}(AA_a)r(\omega_a - \omega)A_a \exp j[(2\omega_a - \omega)t + (2\phi_a - \phi)] \tag{3}$$

式中 $r(\omega_a - \omega)$ 为四波混频效率. 同理可得, E_{out_2} 与 E_b (记为 $A_b e^{j(\omega_b t + \phi_b)}$)耦合输入 SOA 时, 因四波混频效应产生的闲频光可以表示为

$$E_{bi} = \frac{1}{\sqrt{2}}(AA_b)r(\omega_b - \omega)A_b \exp j[(2\omega_b - \omega)t + (2\phi_b - \phi - \pi/2)] \tag{4}$$

闲频光 E_{ai} 与 E_{bi} 由 SOA 输出后继续在环中分别沿顺, 逆时针传输, 当两闲频光同时到达 coupler1 时, 根据 3 dB 耦合器的传输矩阵可得 R 端口闲频光波长处的输出光场 E_{out} 为

$$E_{out} = (jE_{ai} + E_{bi})/2 \tag{5}$$

令 $A_a = A_b = A_1$ 且 $\phi_a = \phi_b = \phi_1$ (在文献[18~20]所述全光异或门要求输入光相位差稳定的基础上, 增加了两输入光相位相等的条件), 那么根据式(3)、(4)与(5)可得: 当信号 A 与信号 B 仅有一个为“1”码时, 那么 A_a 或 A_b 为 0, 则两路信号光中仅有一路发生了四波混频效应, 因此 R 端口的闲频光波长处输出光场为: $E_{out} = jE_{Ai}/2$ 或 $E_{out} = E_{Bi}/2$, 记为“1”码.

当信号 A 与信号 B 同时为 0 时, 将不会发生四波混频效应, R 端口没有闲频光波长输出光场, 记为“0”码.

当信号 A 与信号 B 同时为 1 时, 由于 $A_a = A_b = A_1$, 且 $\phi_a = \phi_b = \phi_1$, 将式(3)与式(4)带入式(5)中可得

$$E_{out} = \frac{1}{2} \{ (AA_1)r(\omega - \omega_1)A \exp j[(2\omega - \omega_1)t + (2\phi - \phi_1 + \frac{\pi}{2})] + (AA_1)r(\omega - \omega_1)A \cdot \exp j[(2\omega - \omega_1)t + (2\phi - \phi_1 - \frac{\pi}{2})] \} = 0 \tag{6}$$

综上, 通过在 R 端口放置中心波长与闲频光波长相同的带通滤波器, 滤波器输出即为信号 A 与 B 的异或逻辑操作结果.

2 仿真实验

利用 Optisystem 软件对基于 TOAD-FWM 全光异或门进行仿真, 验证其对于输入信号为 40 Gbps, RZ 信号; 80 Gbps, RZ 信号; 10 Gbps, NRZ 信号异或逻辑操作的可行性与有效性.

2.1 输入信号为 40 Gbps 的 RZ 信号

图 2 是基于 TOAD-FWM 全光异或门仿真结

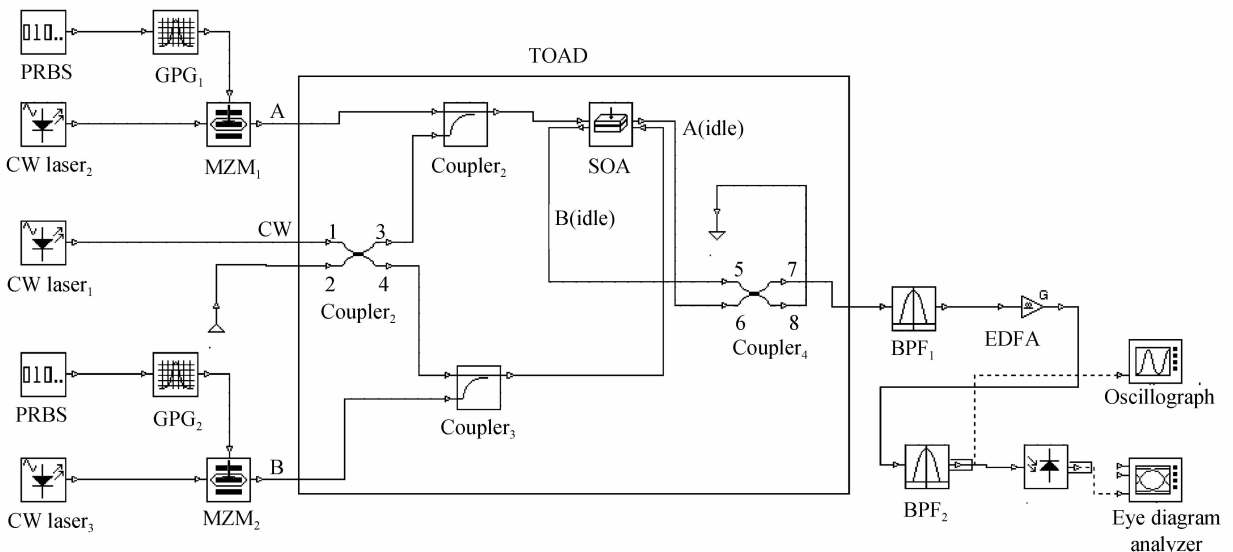


图 2 基于 TOAD-FWM 全光异或门仿真结构图
Fig. 2 Schematic diagram of the simulation of all-optical XOR gate based on TOAD-FWM

构,信号 A 与信号 B 为速率为 40 Gbps, 占空比为 0.3 的伪随机高斯脉冲信号, 其中连续激光器 2 (CW laser₂) 与连续光激光器 3 (CW laser₃) 的中心波长为 1 554 nm, 输出光平均功率为 14 dBm. 连续光激光器 1 发出的光为全光异或门的探测光, 其中心波长为 1 550 nm, 平均光功率为 10 dBm. CW 探测光通过 Coupler₁ 后分为两路进入 TOAD 环, 其中从 3 端口输出的连续探测光与 A 信号耦合后从左侧入射 SOA (SOA 的注入电流为 0.3 A, 其主要物理参数如表 1 所示), 连续探测光与信号光 A 在 SOA 中发生四波混频效应, 产生的闲频光 (记为 A (idle)) 从 SOA 右侧输出后本应在环中继续传输, 然后从 Coupler₁ 的 4 端口输出, 但是鉴于软件中没有双向耦合器, 因此利用 Coupler₄ 来替代闲频光出射 TOAD 的耦合器, Coupler₄ 与 Coupler₁ 的端口对应关系是: 5-3, 6-4, 7-1, 8-2. 因此将 A (idle) 连接至 Coupler₄ 的 6 端口; 同理, 信号 B 与连续探测光由于 FWM 产生的闲频光 (B (idle)) 连接至 Coupler₄ 的 5 端口. 在 Coupler₄ 的 7 端口放置高斯型滤波器 1, 其中心波长为 1 558 nm, 带宽为 0.8 nm, EDFA 增益为 20 dB, BPF₂ 与 BPF₁ 相同. 这里采用 EDFA 放大是因为四波混频效率较低, 从 BPF₁ 输出的光功率很小, 因此需要 EDFA 进行放大. 从方案原理部分可知, BPF₂ 的输出即为信号 A 与信号 B 的异或逻辑结果. 在 BPF₂ 的输出端分别连接示波器与眼图分析仪来观察异或输出波形与眼图 (图 3).

表 1 SOA 主要物理参量

Table 1 The mainly physical characteristics of SOA

Active length	0.000 6 m
Width	4e-007 m
Height	4e-007 m
Active area	1.6e-013 m ²
Optical confinement factor	360 000 000 1/s
Recombination coefficient A	0.45
Recombination coefficient B	5.6e-016 m ³ /s
Recombination coefficient C	3e-041 m ⁶ /s
Group velocity	750 000 00 m/s
Temperature	300 K

对比图 3 中信号 A、B 与 XOR 波形, 可以看出, 当信号 A 与信号 B 存在脉冲波形时, XOR 无脉冲输出; 当 A、B 均无脉冲波形时, XOR 无脉冲输出; 当 A、B 仅有一个有脉冲波形时, XOR 有脉冲波形输出. 因此该全光异或方案实现了速率为 40 Gbps 的 RZ 输入信号的异或逻辑操作.

如图 4 所示, 该全光异或门输出信号眼图较为清晰, 眼图张开角大. 通过软件的眼图分析功能, 得到该信号的 Q 因子为 11.7, 误码率为 2.4×10^{-18} , 消光比为 16.8 dB.

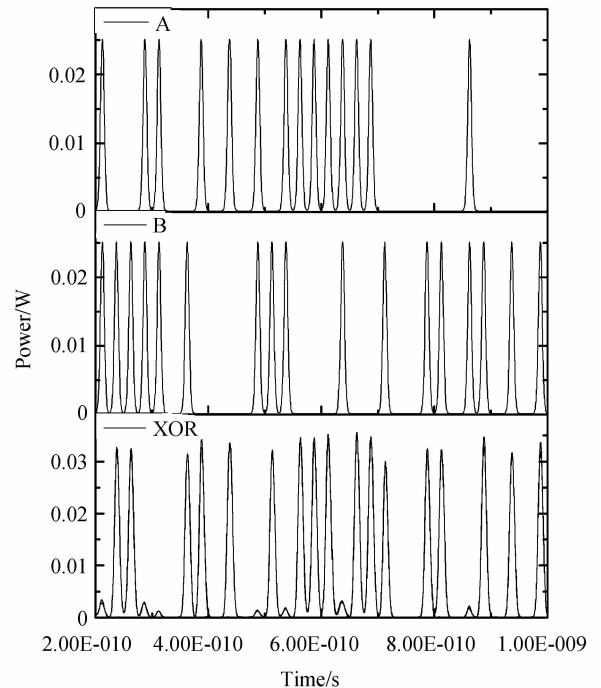


图 3 信号 A、B 及全光异或门输出信号波形

Fig. 3 Waveform of signal A, signal B and XOR output

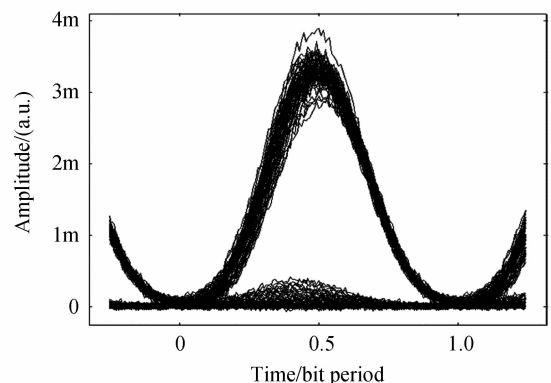


图 4 全光异或门输出信号眼图

Fig. 4 Eye diagram of output of the all-optical XOR gate

2.2 输入信号为 80 Gbps 的 RZ 信号

在输入信号速率为 80 Gbps 的仿真中, 信号码型仍采用占空比为 0.3 的高斯脉冲. 由于信号的脉冲宽度很小 (约为 4.2 ps), 导致信号光谱相比 40 Gbps 时发生明显的展宽, 若利用该信号与探测光在 SOA 中发生四波混频效应, 信号光 (signal) 部分光谱会蔓延至闲频光 (idle) 光谱处, 影响闲频光的质量. 因此相比图 2 所示的仿真结构图, 当输入信号为 80 Gbps, RZ 信号时需要利用 BPF 对信号进行一次滤波, 减小信号光谱宽度, 这里选用的滤波器中心波长为 1 558 nm, 带宽为 0.8 nm.

如图 2 所示, 在速率为 80 Gbps 的仿真中, 器件参数设置如下: CW laser₂ 与 CW laser₃ 的输出光中心波长为 1 558 nm, 平均功率为 20 dBm; CW laser₁ 的输出光中心波长为 1 550 nm, 平均功率为

9.7 dBm, SOA 注入电流为 0.37A (SOA 主要物理参数不变); BPF₁ 与 BPF₂ 的带宽为 1.8 nm, EDFA 增益为 20 dB.

图 5 是对比信号 A、B 与全光异或门输出波形图. 可以看出该全光异或门实现了速率为 80 Gbps 的信号 A 与信号 B 的异或逻辑操作. 图 6 为异或输出信号眼图. 从图中可以看出, 相比输入信号速率为 40 Gbp 的情况, 眼图质量有所下降. 通过对眼图的分析得到, 异或输出信号 Q 因子为 8, 误码率为 1.1×10^{-10} , 消光比为 15 dB.

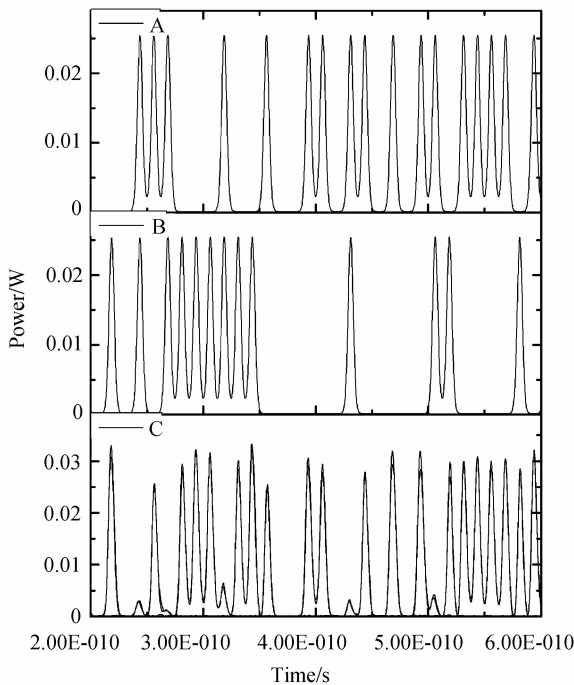


图 5 信号 A、B 及全光异或门输出信号波形图

Fig. 5 Waveform of signal A, signal B and XOR output

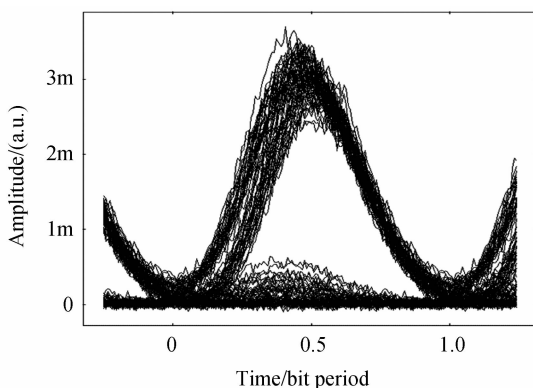


图 6 全光异或门输出信号眼图

Fig. 6 Eye diagram of output of the all-optical XOR gate

2.3 输入为 10 Gbps, NRZ 信号

输入信号为 10 Gbps, NRZ 情况时的仿真设置仅将图 2 所示的两个高斯脉冲发生器 (GPG₁ 与 GPG₂) 更换为 NRZ 脉冲发生器, 其他不变. 如图 2 所示, 器件参数设置如下: CW laser₂ 与 CW laser₃ 的输出光中心波长为 1 552 nm, 平均功率为

12 dBm; CW laser₁ 的输出光中心波长为 1 550 nm, 平均功率为 8 dBm; SOA 注入电流为 0.3A; BPF₁ 带宽为 0.6 nm, BPF₂ 的带宽为 0.3 nm, EDFA 增益为 20 dB. 该 NRZ 信号的上升沿与下降沿均为 10 ps.

图 7 是对比信号 A、B 与全光异或门输出波形图. 可以看出该全光异或门实现了速率为 10 Gbps 的 NRZ 信号的异或逻辑操作. 图 8 为异或输出信号眼图. 可以看出, 眼图清晰, 张开角大. 通过对眼图的分析得到, 异或输出信号 Q 因子为 22, 误码率为 1.3×10^{-40} , 消光比为 23 dB.

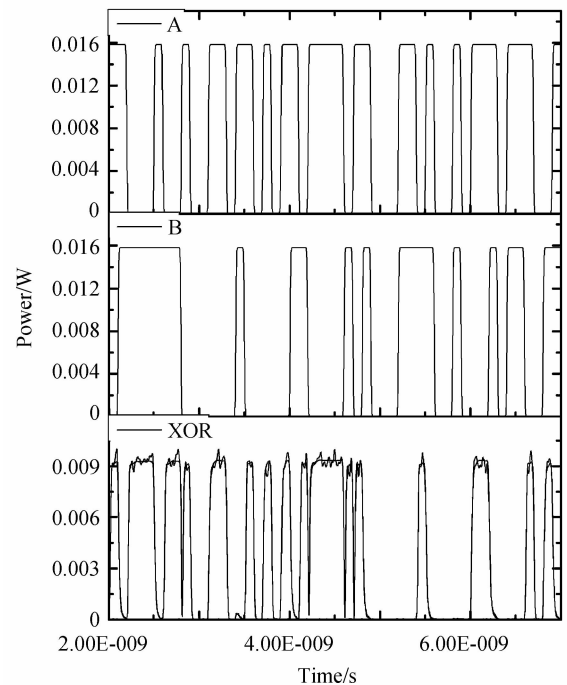


图 7 信号 A、B 及全光异或门输出信号波形

Fig. 7 Waveform of signal A, signal B and XOR output

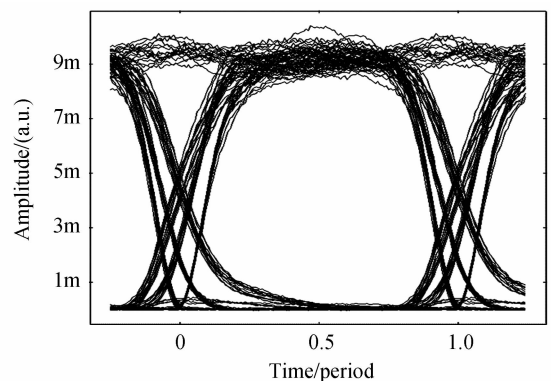


图 8 全光异或门输出信号眼图

Fig. 8 Eye diagram of output of the all-optical XOR gate

3 性能分析

利用控制变量法, 仿真分析了 TOAD 组成元件主要参数对异或输出信号质量的影响: 包括 2×2 耦合器耦合系数、SOA 注入电流、信号脉冲占空比、信号偏振涨落. 分析了温度变化、群速率色散效应对异或输出信号质量的影响.

图2所示的3 dB耦合器Coupler₁与Coupler₂的默认耦合系数为0.5,但是在实际中难以保证该耦合系数的稳定.对于Coupler₁而言,耦合系数的变化会影响3、4端口输出探测光的功率差与相位差,从而影响四波混频输出两闲频光的功率差与相位差;而Coupler₂的耦合系数变化会影响两束闲频光的干涉,从而影响异或输出信号质量.这里通过同时改变Coupler₁与Coupler₂的耦合系数,来分析异或输出信号Q因子的变化.图9为耦合器耦合系数的变化对异或输出信号Q因子的影响曲线.可以看出当耦合器耦合系数为0.47左右时,信号速率为40 Gbps或80 Gbps的异或输出信号Q因子均达到最大值,分别为11.9与8.1.随着耦合系数的增大或减小均会导致异或输出信号Q因子下降,对于信号速率为40 Gbps,当耦合系数为0.35~0.62之间时,对于信号速率为80 Gbps,当耦合系数为0.37~0.56之间时,能够保证异或输出信号Q因子大于6,误码率小于 1.0×10^{-6} .

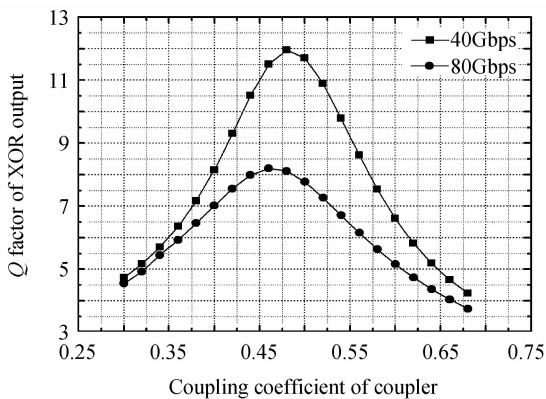


图9 耦合器耦合系数对异或输出信号Q因子影响曲线
Fig. 9 Curve of influence on the Q factor of XOR output generated by coupling coefficient of coupler

SOA是产生闲频光的器件,它的性能直接影响了闲频光的相位和功率,从而影响异或输出信号质量.注入电流是SOA一个重要的外部参数,通常情况下也是SOA唯一可以调节的参数.图10为SOA

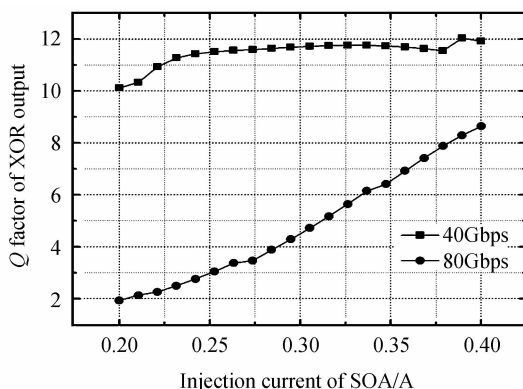


图10 SOA注入电流对异或输出信号Q因子影响曲线
Fig. 10 Curve of influence on the Q factor of XOR output generated by injection current of SOA

注入电流的变化对异或输出信号Q因子的影响曲线.可以看出当信号速率为40 Gbps时,随着SOA注入电流的增大,异或输出信号Q因子变化并不明显,但是当信号速率为80 Gbps时,随着SOA注入电流的增大,异或输出信号Q因子也在不断增大.因此,在超高速情况下,通过提高SOA注入电流能够起到改善异或输出信号质量的效果.

图11为信号脉冲占空比变化对异或输出信号Q因子的影响曲线.从图中可以看出,随着信号脉冲占空比的增大,异或输出信号Q因子均先增大再减小.对于信号速率为40 Gbps,信号脉冲占空比为0.3~0.5之间时,异或输出信号Q因子为12左右,当脉冲占空比小于0.3或大于0.5时,异或输出信号Q因子明显下降.而对于信号速率为80 Gbps,当信号脉冲占空比为0.25时,异或输出信号Q因子达到最大,约为8.3,但是当占空比大于或小于0.25时,异或输出信号Q因子迅速下降.因此信号速率越高,对输出信号脉冲占空比要求越严格.

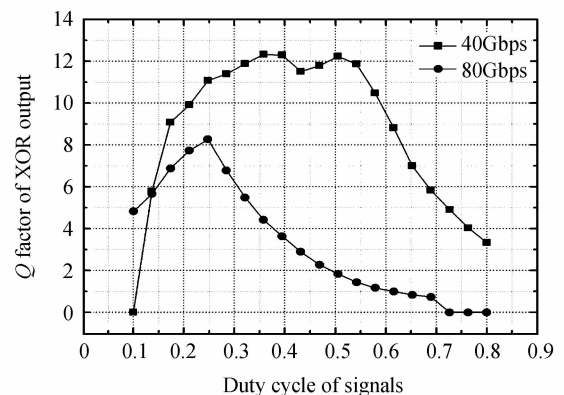


图11 信号脉冲占空比对异或输出信号Q因子影响曲线
Fig. 11 Curve of influence on the Q factor of XOR output generated by duty cycle of signals

图12为输入Coupler₂闲频光A(idle)偏振角的变化对异或输出信号Q因子的影响曲线,由于闲频光A(idle)与B(idle)在Coupler₂中通过耦合干

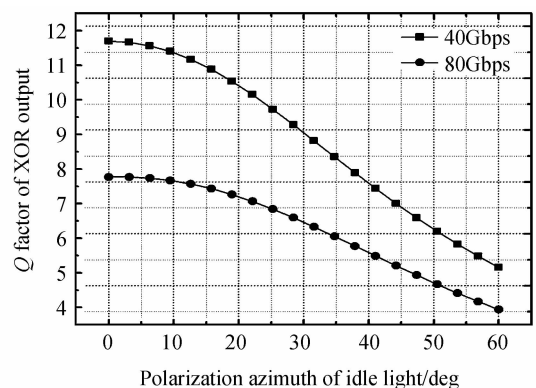


图12 闲频光偏振角对异或输出信号Q因子影响曲线
Fig. 12 Curve of influence on the Q factor of XOR output generated by polarization azimuth of idle light

涉输出信号 A 与信号 B 的异或逻辑结果,而信号 A 或信号 B 偏振方向的变化会直接影响干涉的效果,导致异或输出信号质量恶化. 如图 11 所示,对于信号速率为 40 Gbps 或 80 Gbps,随着 A(idle)偏振角的增大,异或输出 Q 因子均逐渐减小,当信号速率为 40 Gbps 时,偏振角大于 50° 时,当信号速率为 80 Gbps,偏振角大于 32° 时均会使得异或输出信号 Q 因子小于 6,误码率大于 1.0×10^{-6} ,从而失去通信的意义.

图 13 为温度变化对异或输出信号 Q 因子的影响曲线. 从图中可以看出,当信号速率为 40 Gbps 时,随着温度由 273~325 K ($0 \sim 52^\circ\text{C}$) 变化的过程中,异或输出信号 Q 因子呈波浪式变化,变化范围在 1.6 之内;当信号速率为 80 Gbps 时,随着温度由 273~325 K ($0 \sim 52^\circ\text{C}$) 变化的过程中,异或输出信号 Q 因子变化非常缓慢,变化范围在 1.0 以内.

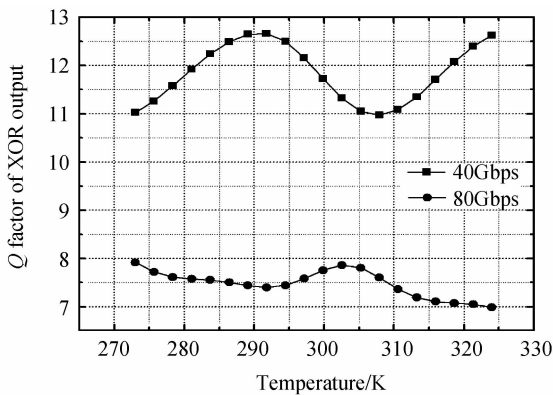


图 13 温度对异或输出信号 Q 因子影响曲线

Fig. 13 Curve of influence on the Q factor of XOR output generated by temperature

图 14 为光纤色散系数变化对异或输出信号 Q 因子的影响曲线. 在 TOAD 环中, coupler1 连接至 SOA 两段光纤长均为 1 m, SOA 连接 coupler2 的两段光纤长同样为 1 m. 由于光纤中群速率色散的存在,会使得信号脉冲展宽,影响异或输出信号质量.

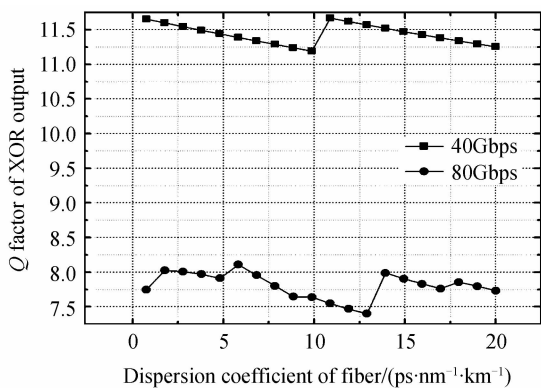


图 14 光纤色散系数对异或输出信号 Q 因子影响曲线

Fig. 14 Curve of influence on the Q factor of XOR output generated by dispersion coefficient of fiber

从图 14 可以看出,当信号速率为 40 Gbps 或 80 Gbps,随着四段光纤的色散系数由 0.75 ps/nm/km 向 20 ps/nm/km 增大的过程中,异或输出信号 Q 因子变化较小:当信号速率为 40 Gbps 时, Q 因子变化范围在 11.25~11.75 之间变化,当信号速率为 80 Gbps 时, Q 因子变化范围为 7.4~8.2. 这是因为该方案 TOAD 结构中光纤长度非常短,因此引入的色散几乎可以忽略不计.

4 结论

本文提出了一种利用太赫兹光解复用器 (TOAD) 结构,基于 SOA-FWM 效应实现的 OOK 信号全光异或门方案,该方案既具有基于 TOAD-XPM 全光异或门方案的易于集成、工作稳定等优点,同时有效地解决了 TOAD-XPM 全光异或门的三个问题,即:探测光脉冲与信号光脉冲的同步要求高;不能对 NRZ 信号进行异或操作;异或处理速率受限于 SOA 载流子恢复速率. 通过理论分析说明了该全光异或门的原理,并通过仿真实现了该全光异或门对输入为 40 Gbps, RZ 信号的异或操作,输出信号 Q 因子为 11.7,误码率为 2.4×10^{-18} ,消光比为 16.8 dB;实现了对输入为 80 Gbps, RZ 信号的异或操作,输出信号 Q 因子为 8,误码率为 1.1×10^{-10} ,消光比为 15 dB;实现了对输入为 10 Gbps, NRZ 信号的异或操作,输入信号 Q 因子为 22,误码率为 1.3×10^{-40} ,消光比为 23 dB. 并且分析了 TOAD 主要组成元件参数,以及温度起伏与色散效应对异或门输出信号质量的影响. 通过理论分析与仿真验证了该方案能够有效地解决 TOAD-XPM 全光异或门的三个问题.

参考文献

- [1] FJELDE T, KLOCHA, WOLFSOND, *et al.* Novel scheme for simple label-swapping employing XOR logic in an integrated interferometric wavelength converter [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2001, **13**(7): 750-752.
- [2] CHANG Wan-son, SEOK Lee, GIL Sang, *et al.* Realization of 10Gbps optical encryption and decryption by using cross-gain modulation[C]. *32nd Australian Conference on Optical Fibre Technology*, Melbourne, 2007: 4519130.
- [3] WANG Ya-ping, WU Chong-qing, WANG Zhi, *et al.* An encryption-decryption method using XOR gate based on the xpm between o-band and c-band light waves [J]. *Chinese Physics Letters*, 2009, **26**(7): 1-3.
- [4] JAE Hun-kim, YOUNG Min-jhon, YOUNG Tae-byun, *et al.* All-optical XOR gate using semiconductor optical amplifiers without additional input beam [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2002, **14**(10): 1436-1438.
- [5] WANG Qiang, ZHU Guang-hao, CHEN Hong-min, *et al.* Study of all-optical xor using mach-zehnder interferometer and differential scheme [J]. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 2004, **40**(6): 703-710.
- [6] JOO Youp-kim, JEUNG Mo-kang, TAE Young-kim. All-

- optical multiple logic gates with XOR, NOR, OR, and NAND functions using parallel SOA-MZI structures: theory and experiment[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2006, **24**(9): 3392-3399.
- [7] PAN Wei, ZOU Long-Fang, LUO Bin, *et al.* Theoretical study of all optical XOR using Mach-zehnder interferometer [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2005, **13**(3): 339-347.
潘玮, 邹龙方, 罗彬等. 基于马赫曾德尔干涉仪的全光逻辑异或门理论研究[J]. *光学精密工程*, 2005, **13**(3): 339-347.
- [8] MABLE P-fok, PAUL R-prucnal. All-optical xor gate with optical feedback using highly ge-doped nonlinear fiber and a terahertz optical asymmetric demultiplexer [J]. *Applied Optics*, 2011, **50**(2): 237-241.
- [9] HOUBAVLIS T, ZOIROS K, HATZIEFREMIDIS A, *et al.* 10Gbit/s all-optical boolean XOR with SOA fiber sagnac gate [J]. *Electronics Letters*, 1999, **35**(19): 1650-1652.
- [10] TANAY Chattopadhyay. Eliminating the additional input beam in all-optical XOR gate using terahertz optical asymmetric demultiplexer (TOAD) based interferometer; a theoretical analysis[J]. *Optic*, 2011, **122**: 1486-1491.
- [11] ZOIROS K E, SIARKOS T. Design rules for full pattern-operated all-optical XOR gate with single semiconductor optical amplifier-based ultrafast nonlinear interferometer[J]. *Communication Systems Networks and Digital Signal Processing*, Newcastle, 2010, 631-635.
- [12] HALL K I, RAUSCHENBACH K A. All-optical bit pattern generation and matching[J]. *Electronics Letters*, 1996, **32**(13): 1214-1215.
- [13] YE Xiao-hua, ZHANG Min, YE Pei-da. All-optical xor logic technology[J]. *Laser & Infrared*, 2007, **37**(7): 601-604.
叶小华, 张民, 叶培大. 全光异或逻辑门技术[J]. *激光与红外*, 2007, **37**(7): 601-604.
- [14] DENG Ning, CHAN Kit, CHAN Chun-Kit. An all-optical XOR logic gate for high-speed RZ-DPSK signals by FWM in semiconductor optical amplifier [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 2006, **12**(4): 702-707.
- [15] LI F, VO T D, HUSKO C, *et al.* All-optical gate for 40Gb/s DPSK signals via FWM in a silicon nanowire[J]. *Optical Express*, 2011, **19**(21): 20364-20371.
- [16] TRUNG D-vo, RAVI Pant, MARK D-pelusi, *et al.* Photonic chip-based all-optical XOR gate for 40 and 160Gbit/s DPSK signals[J]. *Optics Letters*, **36**(5): 710-712.
- [17] DONG Jian-ji, ZHANG Xin-liang, HUANG De-xiu. Experimental study of wavelength conversion at various modulation formats based on four-wave mixing in a semiconductor optical amplifier [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(7): 1327-1332.
董建绩, 张新亮, 黄德修. 基于半导体光放大器四波混频效应的多种调制格式的波长转换实验[J]. *光学学报*, 2008, **28**(7): 1237-1332.