

文章编号: 0258-7025(2003)09-0829-06

太赫兹光非对称解复用器中自发辐射 噪声特性分析

温亮生, 伍剑, 林金桐

(北京邮电大学光通信中心, 北京 100876)

摘要 提出了一个在超短脉冲注入半导体光放大器(SOA)时,在考虑了半导体带间效应以及带内效应,包括载流子热效应、谱烧孔效应、双光子吸收效应以及超快非线性折射效应的自发辐射噪声的计算模型。并利用该模型计算了放大自发辐射(ASE)噪声对太赫兹光非对称解复用器(TOAD)开关性能的影响。数值结果表明,在考虑 ASE 噪声情况下,TOAD 的开关窗口的边沿更陡,在开关窗口的尾部还会出现明显的小峰。结果还表明,在输入为理想孤子脉冲下,即使考虑 ASE 噪声,在 TOAD 处于开的状态时,其输出信号的信噪比也大于 25 dB。

关键词 通信技术;自发辐射噪声;太赫兹光非对称解复用器;半导体光放大器;开关窗口;信噪比

中图分类号 TN 929.11 **文献标识码** A

Analysis of the Characteristics of Amplified Spontaneous Emission in TOAD

WEN Liang-sheng, WU Jian, LIN Jin-tong

(Optical Communication Center, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract A model for the treatment of amplified spontaneous emission (ASE) noise in semiconductor optical amplifiers (SOA) in the case of ultra-short pulse injected into SOA by taking not only interband effects but also intraband effects, such as carrier heating, spectral hole burning, two-photon absorption and ultrafast nonlinear refraction is proposed. The influence of ASE on the performance of terahertz optical asymmetric demultiplexers (TOAD) is also discussed. Numerical results show that the edge of switching window of a TOAD device becomes sharper and the over-shoot peak in the tailing edge of switching window becomes more obvious when the ASE noise is considered. Results also show that the signal noise ratio (SNR) of output signal of TOAD is larger than 25 dB when it is in the turn-on state.

Key words communication technique; amplified spontaneous emission (ASE); terahertz optical asymmetric demultiplexers (TOAD); semiconductor optical amplifiers (SOA); switching window; signal noise ratio (SNR)

1 引言

近年来,太赫兹光非对称解复用器(TOAD)由于其具有开关窗口小等优良特性,成为光通信中的关键器件之一,倍受关注^[1~3]。利用 TOAD 可以从高速的光时分复用(OTDM)信号中解复用单路信号,可以作为强度鉴别器来实现时钟信号的提取^[4]和锁相技术相结合来实现比特自同步^[5]。在

OTDM 分组交换网络中,还可以用来实现分组的地址识别及路由^[6,7]。

在包含有半导体器件的光通信系统中,噪声是影响通信系统性能的重要因素之一。放大自发辐射(ASE)噪声是噪声中的主要部分,它将引起光信号的强度和相位的抖动。对于半导体光放大器(SOA)中的自发辐射噪声,有许多人做过理论分析。Mukai 和 Yamamoto^[8]提出了一种模型,但其

收稿日期:2002-04-19;收到修改稿日期:2002-06-03

基金项目:国家自然科学基金(批准号:60072035)资助项目。

作者简介:温亮生(1975—),男,江西人,北京邮电大学博士研究生,主要从事超高速光时分复用光网络及单元技术的研究。E-mail: weilis_wen@hotmail.com 或 wenls@windbell.dhs.org

是在假定放大增益在 SOA 的长度方向是平均的前提下得到的。Shtaif 和 Eisensein^[9] 在 Yamamoto 模型的基础上,改进成适合放大增益在 SOA 的长度方向非平均的情况,但是其增益的计算中没有考虑带内非线性效应的影响,因此只适用于连续波和长脉冲情形。Tang 和 Shore^[10] 提出了考虑带内非线性效应:包括载流子热效应(CH)、谱烧孔效应(SHB)、双光子吸收效应(TPA)以及超快非线性折射(UNR)的 SOA 增益和相位模型。本文结合 Shtaif 和 Tang 的模型,提出了一种适合超短脉冲注入情况下,SOA 的自发辐射噪声计算模型。并利用该模型计算了不同情况下脉冲的信噪比以及 ASE 对 TOAD 性能的影响。

2 理论模型

TOAD 是一种非对称的光纤环路器件,其结构如图 1。其工作原理是利用 SOA 的交叉相位调制(XPM)和交叉增益调制(XGM)。一般在实际应用中,控制光的功率要远远大于信号光的功率,当控制光经过 SOA 时,使得 SOA 处于饱和状态。在存在控制光的情况下,由于 SOA 的位置在环中不是对称的,顺时针(CW)和逆时针(CCW)方向的信号光通过 SOA 时得到的增益是不一样的,其相位的改变量也不一样。当它们到达耦合器 Cp1 时,进行干涉,在端口 B 得到输出的信号光。若没有控制脉冲,顺时针和逆时针方向的脉冲得到的增益和相位的改变量都一样,则在 Cp1 处干涉后将从端口 A 反

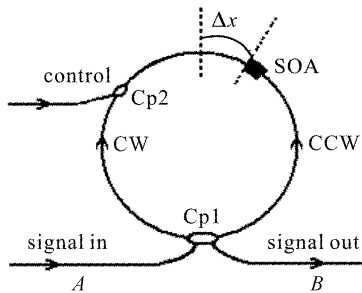


图 1 TOAD 结构示意图

Fig. 1 Configuration of TOAD

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vec{A}_{\text{ctr}}}{\partial z} &= \frac{1}{2} \frac{G_{\text{ctr}} - \epsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \epsilon_1 P_{\text{ctr}}^2} \vec{A}_{\text{ctr}} - \frac{i}{2} \left[\alpha_N G_{\text{ctr}} - \alpha_T \frac{\epsilon_1 G_{\text{ctr}} P_{\text{ctr}} + \epsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \epsilon_1 P_{\text{ctr}}^2} \right] \vec{A}_{\text{ctr}} - \\ &\quad \left(\Gamma_2 \beta_2 + i \Gamma'_2 \frac{\omega_0 - \text{ctr}}{C} n_2 \right) \frac{1}{\sigma} \vec{A}_{\text{ctr}} P_{\text{ctr}} - \frac{1}{2} \alpha_{\text{int}} \vec{A}_{\text{ctr}} \\ \frac{\partial \vec{A}_{\text{sgl}}}{\partial z} &= \frac{1}{2} \frac{G_{\text{sgl}} - \epsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \epsilon_1 P_{\text{ctr}}^2} \vec{A}_{\text{sgl}} - \frac{i}{2} \left[\alpha_N G_{\text{sgl}} - \alpha_T \frac{\epsilon_1 G_{\text{sgl}} P_{\text{ctr}} + \epsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \epsilon_1 P_{\text{ctr}}^2} \right] \vec{A}_{\text{sgl}} - \end{aligned} \quad (1)$$

射回去。通过改变 SOA 与环中心之间的距离 Δx , 就可以得到不同大小的开关窗口。

2.1 ASE 噪声的引入

将 SOA 沿光的传输方向平均分成 n 段,如图 2 所示,每段可以看作是一个 sub-SOA。

每个 sub-SOA 中的 ASE 噪声可以看作是均值为 0,功率谱密度为 $\hbar \omega_{0-\text{sgl}} N_{\text{sp}} (G_{\text{sub}} - 1) B_0$ 高斯白噪声,其中 $N_{\text{sp}} = [g(z, t) + \Gamma a N_0] / g(z, t)$ 为自发辐射因子, G_{sub} 为整个 sub-SOA 的增益, B_0 是 SOA 的 3 dB 带宽,为 5 THz。为了简化计算,作以下处理:以第 i 个 sub-SOA 为例,从第 1 到 $i-1$ 个 sub-SOA 产生的 ASE 噪声随信号光一起在第 i 个 sub-SOA 中传输,而第 i 个 sub-SOA 中产生的 ASE 噪声在第 i 和第 $i+1$ 个 sub-SOA 的交界面上叠加上去。当 n 足够大时,这种模型可以得到和真实情况足够近似。

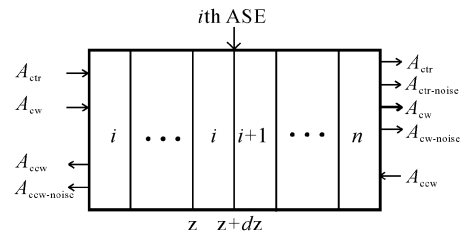


图 2 SOA 的计算模型

Fig. 2 Section model of SOA

2.2 各电场分量在 SOA 中的传输

考虑到实际情况,即控制光功率远远大于噪声功率,即 $|A_{\text{ctr}}|^2 \gg |A_{\text{ctr-noise}}|^2$,且在 TOAD 中端口 B 输出的信号中只需考虑信号光,因此 $A_{\text{ctr-noise}}$ 可以忽略,这样在 SOA 中就存在 5 个电场分量,即控制光电场 \vec{A}_{ctr} ,顺时针信号光电场 \vec{A}_{cw} ,逆时针信号光电场 \vec{A}_{ccw} ,与顺时针信号光在一起的 ASE 噪声电场 $\vec{A}_{\text{cw-noise}}$ 以及顺时针信号光在一起的 ASE 噪声电场 $\vec{A}_{\text{ccw-noise}}$ 。在同时考虑带间效应及载流子热效应、谱烧孔效应及双光子吸收等带内效应,在 $|A_{\text{ctr}}|^2 \gg |A_{\text{cw}}|^2 \gg |A_{\text{cw-noise}}|^2$ 的近似条件下,以及考虑到噪声的频谱特性,噪声电场和控制电场之间的耦合以及噪声电场和信号电场之间的耦合可以忽略,则 5 个电场分量在 SOA 中传输时满足的方程如下^[10]

$$\left(\Gamma_2\beta_2 + i\Gamma'_2 \frac{\omega_{0\text{-sgl}}}{C}n_2\right) \frac{1}{\sigma} \vec{A}_{\text{sgl}} P_{\text{ctr}} - \frac{1}{2} \alpha_{\text{int}} A_{\text{sgl}} - \frac{1}{2} \eta_{\text{ctr-sgl}} P_{\text{cw}} \vec{A}_{\text{sgl}} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \vec{A}_{\text{noise}}}{\partial z} = \frac{1}{2} \frac{G_{\text{sgl}} - \epsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \epsilon_1 P_{\text{ctr}}^2} \vec{A}_{\text{noise}} - \frac{i}{2} \left[\alpha_N G_{\text{sgl}} - \alpha_T \frac{\epsilon_1 G_{\text{sgl}} P_{\text{ctr}} + \epsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \epsilon_1 P_{\text{ctr}}^2} \right] \vec{A}_{\text{noise}} - \left(\Gamma_2\beta_2 + i\Gamma'_2 \frac{\omega_{0\text{-sgl}}}{C}n_2\right) \frac{1}{\sigma} \vec{A}_{\text{noise}} P_{\text{ctr}} - \frac{1}{2} \alpha_{\text{int}} \vec{A}_{\text{noise}} \quad (3)$$

增益所满足的方程为

$$\frac{\partial G_{\text{ctr}}}{\partial t} = \frac{G_{s\text{-ctr}} - G_{\text{ctr}}}{\tau_s} - \frac{1}{E_{s\text{-ctr}}} \frac{G_{\text{ctr}} - \epsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \epsilon_1 P_{\text{ctr}}^2} P_{\text{ctr}} + \Gamma_2 \beta'_{2\text{-ctr}} P_{\text{ctr}}^2 \quad (4)$$

$$\frac{\partial G_{\text{sgl}}}{\partial t} = \frac{G_{s\text{-sgl}} - G_{\text{sgl}}}{\tau_s} - \frac{1}{E_{s\text{-sgl}}} \frac{G_{\text{ctr}} - \epsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \epsilon_1 P_{\text{ctr}}^2} P_{\text{ctr}} + \Gamma_2 \beta'_{2\text{-sgl}} P_{\text{ctr}}^2 \quad (5)$$

其中下标 sgl 代表 cw 和 ccw, noise 代表 cw-noise 和 ccw-noise。式(3)中已经假设 ASE 噪声和信号光的增益一样。 $\eta_{\text{ctr-sgl}}$ 为控制光和信号光之间的耦合项,其表达式为

$$\eta_{\text{ctr-sgl}} = \eta_{\text{ctr-sgl}}^{\text{CD}} + \eta_{\text{ctr-sgl}}^{\text{CH}} + \eta_{\text{ctr-sgl}}^{\text{SHB}} \quad (6)$$

其中

$$\eta_{\text{ctr-sgl}}^{\text{CD}} = \frac{g_{s\text{-sgl}} \alpha_{\text{sgl}} \tau_s (1 - i\alpha_N)}{\hbar \omega_{0\text{-sgl}} \sigma} \frac{1}{[-i(\omega_{0\text{-ctr}} - \omega_{0\text{-sgl}}) \tau_s + 1]} \cdot \frac{1}{[-i(\omega_{0\text{-ctr}} - \omega_{0\text{-sgl}}) \tau_1 + 1]} \quad (7)$$

$$\eta_{\text{ctr-sgl}}^{\text{CH}} = \epsilon_T g_{s\text{-sgl}} (1 - i\alpha_T) \frac{1}{[-i(\omega_{0\text{-ctr}} - \omega_{0\text{-sgl}}) \tau_h + 1]} \cdot \frac{1}{[-i(\omega_{0\text{-ctr}} - \omega_{0\text{-sgl}}) \tau_1 + 1]} \quad (8)$$

$$\eta_{\text{ctr-sgl}}^{\text{SHB}} = \epsilon_{\text{SHB}} g_{s\text{-sgl}} (1 - i\alpha_{\text{SHB}}) \cdot \frac{1}{[-i(\omega_{0\text{-ctr}} - \omega_{0\text{-sgl}}) \tau_1 + 1]} \quad (9)$$

分别表示与载流子耗尽、载流子热效应和谱烧孔效应相关的耦合系数,其中

$$g_{s\text{-sgl}} = G_{s\text{-sgl}} / (1 + P_a / P_s) \quad (10)$$

P_a 为信号光的平均功率, P_s 为波长为信号光波长时材料的饱和功率, $G_{s\text{-sgl}}$ 为信号光的小信号增益,其数值的计算见文献[11]。其他各参数的意义及数值计算时所采用的值参照表 1。

令 $A = \sqrt{P}e^{\phi}$, 代入到(1) ~ (5) 式中,最后可归结为如下方程

$$\frac{\partial P_{\text{ctr}}}{\partial z} = \frac{G_{\text{ctr}} - \epsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \epsilon_1 P_{\text{ctr}}^2} P_{\text{ctr}} - 2\Gamma_2\beta_2 \frac{1}{\sigma} P_{\text{ctr}} - \alpha_{\text{int}} P_{\text{ctr}} \quad (11)$$

$$\frac{\partial \phi_{\text{ctr}}}{\partial z} = -\frac{1}{2} \left(\alpha_N G_{\text{ctr}} - \alpha_T \frac{\epsilon_1 G_{\text{ctr}} P_{\text{ctr}} + \epsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \epsilon_1 P_{\text{ctr}}^2} \right) - \Gamma'_2 \frac{\omega_{0\text{-ctr}}}{C} n_2 \frac{1}{\sigma} P_{\text{ctr}} \quad (12)$$

$$\frac{\partial G_{\text{ctr}}}{\partial t} = \frac{G_{s\text{-ctr}} - G_{\text{ctr}}}{\tau_s} + \Gamma_2 \beta'_{2\text{-ctr}} P_{\text{ctr}}^2 - \frac{1}{E_{s\text{-ctr}}} \frac{G_{\text{ctr}} - \epsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \epsilon_1 P_{\text{ctr}}^2} P_{\text{ctr}} \quad (13)$$

$$\frac{\partial P_{\text{sgl}}}{\partial z} = \frac{G_{\text{sgl}} - \epsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \epsilon_1 P_{\text{ctr}}^2} P_{\text{sgl}} - \alpha_{\text{int}} P_{\text{sgl}} - \left[2\Gamma_2\beta_2 \frac{1}{\sigma} + \text{Real}(\eta_{\text{ctr-sgl}}) \right] P_{\text{ctr}} P_{\text{sgl}} \quad (14)$$

$$\frac{\partial \phi_{\text{sgl}}}{\partial z} = -\frac{1}{2} \left(\alpha_N G_{\text{sgl}} - \alpha_T \frac{\epsilon_1 G_{\text{sgl}} P_{\text{ctr}} + \epsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \epsilon_1 P_{\text{ctr}}^2} \right) - \left[\Gamma'_2 \frac{\omega_{0\text{-sgl}}}{C} n_2 \frac{1}{\sigma} + \frac{1}{2} \text{Imag}(\eta_{\text{ctr-sgl}}) \right] P_{\text{ctr}} \quad (15)$$

$$\frac{\partial G_{\text{sgl}}}{\partial t} = \frac{G_{s\text{-sgl}} - G_{\text{sgl}}}{\tau_s} + \Gamma_2 \beta'_{2\text{-sgl}} P_{\text{ctr}}^2 - \frac{1}{E_{s\text{-sgl}}} \frac{G_{\text{ctr}} - \epsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \epsilon_1 P_{\text{ctr}}^2} P_{\text{ctr}} \quad (16)$$

$$\frac{\partial P_{\text{noise}}}{\partial z} = \frac{G_{\text{sgl}} - \epsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \epsilon_1 P_{\text{ctr}}^2} P_{\text{noise}} - \alpha_{\text{int}} P_{\text{noise}} - 2\Gamma_2\beta_2 \frac{1}{\sigma} P_{\text{ctr}} P_{\text{noise}} \quad (17)$$

$$\frac{\partial \phi_{\text{noise}}}{\partial z} = -\frac{1}{2} \left(\alpha_N G_{\text{sgl}} - \alpha_T \frac{\epsilon_1 G_{\text{sgl}} P_{\text{ctr}} + \epsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \epsilon_1 P_{\text{ctr}}^2} \right) - \Gamma'_2 \frac{\omega_{0\text{-sgl}}}{C} n_2 \frac{1}{\sigma} P_{\text{ctr}} \quad (18)$$

在 sub-SOA 的交界处有

$$\vec{A}_{\text{noise}}(i+1) = \vec{A}_{\text{noise}}(i) + \sqrt{0.5\hbar\omega_{0\text{-sgl}}N_{\text{sp}}(G_{\text{sub}}-1)B_0}(n_1 + in_2) \quad (19)$$

其中 n_1, n_2 是均值为 0, 功率谱密度为 1 的随机数。 G_{sub} 为 sub-SOA 的总增益,其表达式为

$$G_{\text{sub}} = \int_{-\infty}^{+\infty} P_{\text{sgl}}(z + dz, t) dt / \int_{-\infty}^{+\infty} P_{\text{sgl}}(z, t) dt \quad (20)$$

表 1 参数意义和数值

Table 1 Parameters and their values for numerical calculation

Frequency of control pulse	ω_{0-ctr}	1.216×10^{15} Hz
Peak power of control pulse	P_{ctr}	0.5 W
Peak power of signal pulse	P_{sgl}	0.001 W
Period of control pulse	Period	4×10^{-10} s
Small signal gain for control pulse	G_{s-ctr}	3.24×10^4 m ⁻¹
Width of the active region of SOA	w	1.5×10^{-6} m
Depth of the active region of SOA	d	0.3×10^{-6} m
Length of the active region of SOA	L	2×10^{-4} m
Area of active region of SOA	σ	$\sigma = wd$
Carrier lifetime	τ_s	2×10^{-10} s
Traditional confinement factor	Γ	0.3
Confinement factor for TPA	Γ_2	0.5
Confinement factor for UNR	Γ'_2	0.28
Coefficient for TPA	β_2	37×10^{-11} m/W
Differential gain for control pulse	α_0	3×10^{-20} m ²
Nonlinear refractive index coefficient	n_2	-3.5×10^{-16} m ² /W
Internal linear lost of SOA	α_{int}	2000 m ⁻¹
Nonlinear gain compression factor	ϵ_1	0.2 W ⁻¹
Nonlinear gain compression for TPA	ϵ_2	200 m ⁻¹ W ⁻²
Nonlinear gain compression for CH	ϵ_T	0.13 W ⁻¹
Nonlinear gain compression for SHB	ϵ_{SHB}	0.07 W ⁻¹
Traditional linewidth enhancement factor	α_N	5.0
Temperature linewidth enhancement factor	α_T	3.0
Linewidth enhancement factor for SHB	α_{SHB}	0.1
Time for carrier-carrier scattering	τ_1	5×10^{-14} s
Time for carrier-photon scattering	τ_h	7×10^{-13} s
Transparent carrier density	N_0	1×10^{24} m ⁻³
Band width of SOA	B_0	5×10^{12} Hz

假设输入脉冲为理想的孤子脉冲,以控制脉冲为基准,调节顺时针信号脉冲与控制光脉冲之间的时差 T_d , 这样在进入 SOA 时逆时针信号脉冲与控制光脉冲之间的时差为 $T_d - T_{off}$, 其中 $T_{off} = 2\Delta x/v_g$, v_g 为光在光纤中的传输速度。采用四阶 Runge-Kutta 方法,求解三组一阶偏微分方程组(11)~(18),可以得到经过 SOA 后控制光、顺时针信号光、逆时针信号光、与顺时针信号光在一起的 ASE 噪声、与逆时针信号光在一起的 ASE 噪声功率、相位和瞬时增益。

在到达耦合器 1 时顺时针信号光和逆时针信号光的电场分别为

$$\vec{A}_{cw}(T_d) = \sqrt{P_{cw}(L,t)} e^{i\phi_{cw}(L,t)} \quad (21)$$

$$\vec{A}_{ccw}(T_d) = \sqrt{P_{ccw}(L,t)} e^{i\phi_{ccw}(L,t)} \quad (22)$$

则从端口 A 反射回去的功率及从端口 B 透射的功率分别为

$$P_A(T_d) = |[\vec{A}_{cw}(T_d) + \vec{A}_{cw-noise}(T_d)] + [\vec{A}_{ccw}(T_d) + \vec{A}_{ccw-noise}(T_d)]|^2 \quad (23)$$

$$P_B(T_d) = |[\vec{A}_{cw}(T_d) + \vec{A}_{cw-noise}(T_d)] - [\vec{A}_{ccw}(T_d) + \vec{A}_{ccw-noise}(T_d)]|^2 \quad (24)$$

值得注意的是,在到达耦合器 1 时顺时针信号脉冲和逆时针信号脉冲中心位置是相等的,因此在计算时应将逆时针信号脉冲在时域上向后平移 T_{off} 。这时 TOAD 的透过率 $\text{Tran}(T_d)$ 为

$$\text{Tran}(T_d) = \frac{\int_{t_0 - \frac{t_w}{2}}^{t_0 + \frac{t_w}{2}} P_B(T_d) dt}{\int_{0 - \frac{t_w}{2}}^{0 + \frac{t_w}{2}} P_A(T_d) dt + \int_{0 - \frac{t_w}{2}}^{0 + \frac{t_w}{2}} P_B(T_d) dt} \quad (25)$$

从等式(13)可以看出,从端口 B 输出的信号电场为 $\vec{A}_{SB} = \vec{A}_{cw} - \vec{A}_{ccw}$, 噪声电场为 $\vec{A}_{NB} = \vec{A}_{cw-noise} - \vec{A}_{ccw-noise}$, 则 TOAD 的输出信噪比为

$$SNR = \int_{t_0 - \frac{T_d}{2}}^{t_0 + \frac{T_d}{2}} |A_{SB}|^2 / \int_{t_0 - \frac{T_d}{2}}^{t_0 + \frac{T_d}{2}} |A_{NB}|^2 \quad (26)$$

每改变一个 T_d ，可以得到一组传输结果。

3 结果与讨论

图 3 给出了经过 SOA 后顺时针信号光和 ASE 噪声叠加在一起的脉冲波形。从图中可以看出，当改变顺时针信号脉冲和控制光脉冲时间差时，ASE 噪声的大小几乎不变。这表明 ASE 噪声功率几乎与 SOA 的增益耗尽无关。从图中还可以看出，在信号周期的前半部分的噪声比后半部分的噪声功率大，这主要是因为噪声在信号周期前半部分时得到的增益比后半部分大。

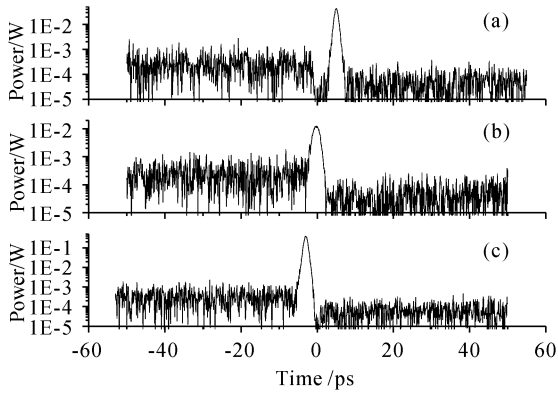


图 3 当 $T_{off} = 10$ ps 时不同 T_d 的顺时针信号脉冲的波形

Fig. 3 Waveform of clockwise signal pulse with different T_d when $T_{off} = 10$ ps

(a) $T_d = 5$ ps; (b) $T_d = 0$ ps; (c) $T_d = -3$ ps

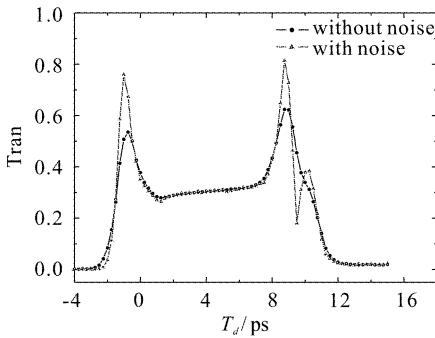


图 4 $T_{off} = 10$ ps 时 TOAD 的开关窗口

Fig. 4 Switching window of TOAD for $T_{off} = 10$ ps

图 4 显示了有没有噪声情况下 $T_{off} = 10$ ps 时 TOAD 的开关窗口。从图中看出，在有噪声的情况下，开关窗口的边沿比不考虑噪声的情况更陡，并且在开关窗口的尾部出现了一个明显的小峰。

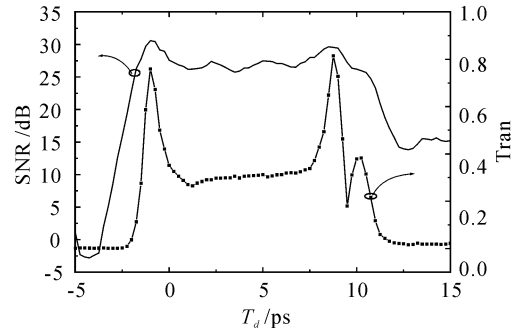


图 5 当 $T_{off} = 10$ ps 时 TOAD 的信噪比

Fig. 5 SNR of a TOAD device when $T_{off} = 10$ ps

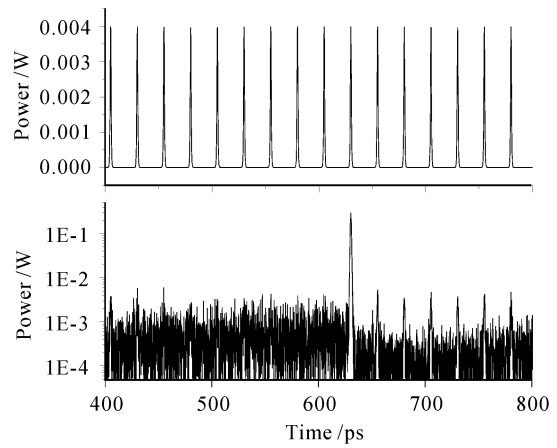


图 6 从 16×2.5 Gbit/s 的复用数据中解复用 1 个信道
图中显示是所有信道都为“1”时的解复用结果

Fig. 6 Demultiplexing one channel from 16×2.5 Gbit/s signal

All channels, including the target channel, are “1”

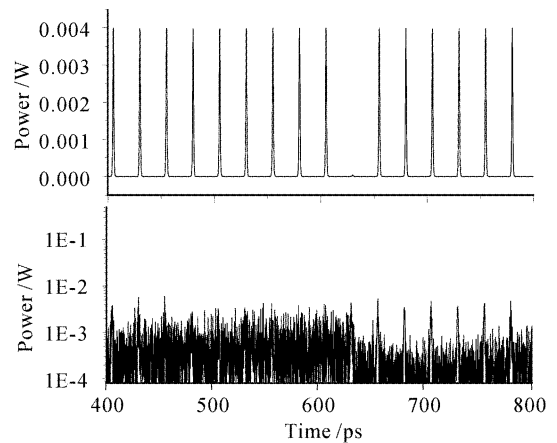


图 7 从 16×2.5 Gbit/s 的复用数据中解复用 1 个信道
目标信道为“0”，而其他信道都为“1”时的解复用结果

Fig. 7 Demultiplexing one channel from 16×2.5 Gbit/s signal

Target channel is “0” while other channels are “1”

图 5 显示了 TOAD 端口 B 输出信号的信噪比。从图中可以看出,当 TOAD 处在开的状态时,输出信号的信噪比都大于 25 dB,这表明,即使在有 ASE 噪声的情况下,从 TOAD 输出的信号也有足够的消光比。

图 6 和图 7 给出的是从由 16 个 2.5 Gbit/s 信道复用成的 40 Gbit/s 数据中解复用出一路信道的结果。输入信号中“1”和“0”的消光比为 20 dB。比较图 6,7 可以看出,信道串扰很小,目标信道可以很容易地解下来。从图中还可以看出 ASE 的噪声性能对解复用的影响很小。

4 结 论

本文提出了一个在超短脉冲注入 SOA 时,在考虑了半导体带间效应以及带内效应,包括载流子热效应、谱烧孔效应、双光子吸收效应以及超快非线性折射效应的自发辐射噪声的计算模型。并利用该模型计算了 ASE 噪声对 TOAD 开关性能的影响。数值结果表明,在考虑 ASE 噪声情况下,TOAD 的开关窗口的边沿更陡,在开关窗口的尾部还会出现明显的小峰。结果还表明,在输入为理想孤子脉冲下,即使考虑 ASE 噪声,在 TOAD 处于开的状态时,其输出信号的信噪比也大于 25 dB。

参 考 文 献

- 1 J. P. Sokoloff, P. R. Prucnal, I. Glesk *et al.*. A terahertz optical asymmetric demultiplexer (TOAD) [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1993, **5**(7):787~790
- 2 R. J. Manning, A. E. Kelly, A. J. Poustie *et al.*. An Improved Semiconductor Optical Amplifier for Ultrafast All-optical Signal Processing [C]. *Nonlinear Optics '98: Materials, Fundamentals and Applications Topical Meeting*, 1998. 159~161
- 3 B. S. Robinson, K. I. Hall. Experimental Analysis of Switching Windows in Semiconductor Based All-optical Switches [C]. *Lasers and Electro-Optics Conference on 2000*, 331~332
- 4 K. L. Deng, I. Glesk, K. I. Kang *et al.*. Unblanced TOAD for optical data and clock separation in self-clocked transparent OTDM networks [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1997, **9**(6):830~833
- 5 Zhou Xiang, Peida Ye, K. J. Guan *et al.*. A novel OTDM frame synchronization scheme based on a terahertz optical asymmetric demultiplexer with feedback [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(1):125~127
- 6 I. Glesk, J. P. Solokoff, P. R. Prucnal. All-optical address recognition and self-routing in a 250 Gbit/s packet-switched network [J]. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(16):1322~1323
- 7 Ben Y. Yu, Paul Toliver, Robert J. Runser *et al.*. Packet-switched optical networks [J]. *IEEE Micro*, 1998, January/February, 28~38
- 8 T. Mukai, Y. Yamamoto. Noise in an AlGaAs semiconductor laser amplifier [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1982, **QE-18**(4):564~575
- 9 Mark Shtaif, Gadi Eisentein. Noise characteristics of nonlinear semiconductor optical amplifiers in the Gaussian limit [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1996, **32**(10):1801~1808
- 10 J. M. Tang, K. A. Shore. Analysis of the characteristics of TOAD's subject to frequency-detuned control and signal picosecond pulse [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1999, **35**(11):1704~1712
- 11 Kristof Obermann, Stephan Kindt, Dirk Breuer *et al.*. Performance analysis of wavelength converters based on cross-gain modulation in semiconductor-optical amplifiers [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1998, **16**(1): 78~84