

半導体キャリア冷却時定数限界を克服する 高速全光ゲートの設計(II)

発表者：光エレクトロニクス講座 森本 勇樹 (0422029)

指導教官：上野芳康 准教授

1. 序論

光スイッチ型の全光波長変換器の一つに DISC (Delayed Interference Signal-Wavelength Converter) がある。しかし、キャリアヒーティング現象によって、半導体光増幅器(SOA)の伝導体内のキャリアはエネルギーを失い、周囲の格子温度に向かって冷やされる。この時の波長変換後の出力信号に、冷却時定数による波形歪が確認された[1]。これまでに、SOA 出力後に光フーリエ変換を用いて中心波長から、短波長領域、長波長領域ごとに振幅、位相スペクトル特性を調整し波形歪が軽減できるスペクトル合成方式の高速全光ゲートの設計を報告した(以下 高速全光ゲート())[2]。本研究では、SOA 出力後の位相スペクトル特性を 10 GHz ごとに調整し、[2]の結果よりも、出力パルスの広がりを抑え、高い消光比を得るためにスペクトル合成方式の高速全光ゲートを改良設計した。(以下 高速全光ゲート())。

2. スペクトル合成方式の原理

図 1 はスペクトル合成方式による全光波長変換ゲートの構成図である。データ信号 λ_1 と連続光(CW 光) λ_2 が SOA に入力されると、CW 光は SOA の非線形効果により相互利得変調(XGM)及び相互位相変調(XPM)を受ける。変調を受けた CW 光はスペクトル合成器(Spectral Synthesizer)で光フーリエ変換され位相、強度スペクトルを 10 GHz 間隔で整形される。逆光フーリエ変換後に、バンドパスフィルタ(BPF)でパルスが除去され、波長変換された CW 光のみが出力される。

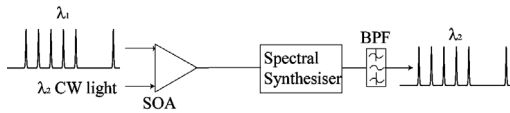


図 1 スペクトル合成方式の全光波長変換ゲートの構成図

3. 理論解析

本研究では、SOA 中のキャリア密度を表すモデル式として、キャリアヒーティング現象を考慮したレート方程式を用いた(式(1))

$$\frac{d}{dt} \overline{n_c(t)} = \frac{I_{op}}{qV} - \frac{\overline{n_c(t)}}{\tau_1} - \frac{1}{V} [G\{\overline{n_c(t)}\} - 1] \times \frac{|E_{cw}|^2 + |E_{signal}(t)|^2}{\hbar \omega} \quad (1)$$

$$n_{trans} < n(t) < n_{max}$$

$$\frac{d}{dt} \overline{n_c(t)} = \frac{I_{op}}{qV} - \frac{\overline{n_c(t)}}{\tau_2} - \frac{1}{V} [G\{\overline{n_c(t)}\} - 1] \times \frac{|E_{cw}|^2 + |E_{signal}(t)|^2}{\hbar \omega}$$

$$0 < n(t) < n_{trans}$$

SOA を通過する入力光に対する非線形位相シフトは式(2)より表され、キャリア密度に依存することがわかる。

$$\phi(t) = k_0 dn_r / n_c [n_c^0 - \overline{n_c(t)}] \Gamma L_{SOA} \quad (2)$$

式(3)はスペクトル合成後の出力である。 $e^{i \cdot \Phi_f(\Delta f)}$ が位

相フィルタ部分の式である。本研究では式(3)を用いて位相スペクトル特性が直線となる高速全光ゲートを設計した。

$$S_{out}(\Delta f) = S_{out}^{SOA}(\Delta f) \cdot \sqrt{T_f(\Delta f)} \cdot e^{i \cdot \Phi_f(\Delta f)} \quad (3)$$

本研究は、クロック信号のビットレート 80 Gbit/s, パルス幅 1 ps, CW 光パワー 0.5 mW で計算した。SOA 出力後の位相スペクトル波形は図 2(a)である。この特性から、位相スペクトル特性が直線となる様に、図 2(b)のような位相スペクトル特性のフィルタを設計した。図 2(c)はフィルタリング後の波形を示しており、直線的な特性であることがわかる。

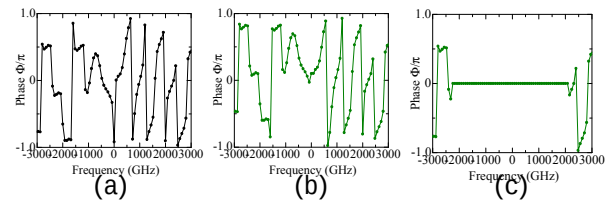


図 2 : 位相スペクトル波形 (a)SOA 出力後 (b)位相フィルタの特性 (c)フィルタリング後の波形

4. 結果

擬似ランダム信号を用いて出力信号をアイパターンで品質評価した。図 3 に示すように、入力信号のパルス幅 1 ps のガウス型パルスに対して、高速全光ゲート()では、消光比 10.4 dB、パルス幅 0.99 ps となった。高速全光ゲート()では消光比 11.7 dB、パルス幅 0.74 ps となった。

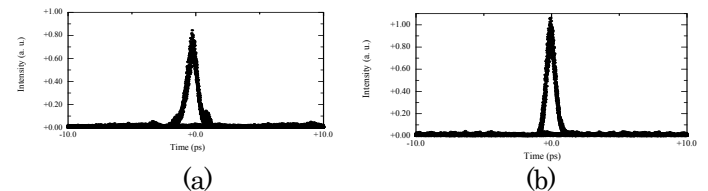


図 3 アイパターン(a) 高速全光ゲート() (b) 高速全光ゲート()

5. 結論

結果より、アイパターンから新高速全光ゲートの方が良好であり、消光比 1.3 dB、パルス幅 0.25 ps 改善されている。波形歪についても高速全光ゲート()では波形の裾に歪が生じているのに対して、高速光ゲート()では波形歪は完全に除去されているのが分かった。以上より、周波数フィルタリングを用いて位相スペクトルの整形を行うことで、高品質な波長変換が実現することを理論解析により明らかにした。

[参考文献]

[1] J. Mørk *et al.* IEICE TRANS. ELECTRON 2004, E87-C (7), 1126

[2] Y. Ueno *et al.* Optics Express vol. 14, no. 26, pp. 12655-12664, Dec 25, 2006.