

平成 17 年度 卒業論文

高速集積型 OSMZ 光 3R ゲートの光再生性能解析

学籍番号 0212114

松尾 知昭

電子工学科	光エレクトロニクス講座
指導教官	上野芳康 助教授
提出日	平成 18 年 2 月 28 日

概要

光信号を電気信号に変えることなく信号再生する干渉型全光ロジックゲートの研究が進められている。超高速光 3R では対称マッハツェンダー (Symmetric Mach-Zehnder, SMZ) 型全光 3R ゲート [1]、偏光識別対称マッハツェンダー (Polarization-discrimination SMZ, PDSMZ) 型光 3R ゲート [2] が研究されている。SMZ 型光 3R ゲートは 1 信号雑音のみであるが強度雑音抑制作用・入力タイミング耐性・周波数スケーリング則 [3]、さらに、ジッタ抑制作用、波長チャープ特性 [4] の理論解析結果が報告されている。本研究では 1 信号雑音に加え、0 信号雑音を付け強度雑音抑制を行う最適な条件の探索、入力タイミング耐性、反転論理動作条件について報告する。

最適条件下で信号判定閾値範囲が入力の 1.2 倍に広がった。入力タイミング耐性は 8ps と PD-SMZ 型光 3R ゲートより広いことがわかった。1 信号雑音、0 信号雑音をともに抑制することはできないと考えられ、反転論理動作させ 2 段接続を行うことで 0 信号雑音の抑制量増加が考えられる。そのための反転論理動作条件の探索を行った。反転論理動作条件はプログラムの改良によって解析できるということがわかった。

目次

第 1 章	序論	1
第 2 章	研究の背景	2
2.1	研究の技術分野	2
2.2	干渉型全光ロジックゲート	
2.2.1	対称マッハツェンダー(Symmetric Mach-Zehnder, SMZ)型光 3R ゲート	2
2.2.2	偏光識別対称マッハツェンダー(Polarization-discrimination SMZ, PD-SMZ)型光 3R ゲート	3
2.2.3	ゲート動作の基本方程式	7
第 3 章	研究の目的と方法	8
3.1	目的	8
3.2	全光 3R ゲートシミュレーション方法	8
3.3	最適条件探索方法	8
第 4 章	SMZ 型光 3R ゲートの最適動作条件探索	9
4.1	キャリア寿命による最適動作条件探索	11
4.2	クロックパルス幅による最適動作条件探索	14
4.3	クロックパルス・データ光パルスエネルギーによる最適動作条件探索	14
4.4	遅延時間・入力タイミングによる最適動作条件探索	14
4.5	位相シフトによる最適動作条件探索	19
第 5 章	干渉型全光 3R ゲートの雑音抑制能力	22
5.1	SMZ 型光 3R ゲートの雑音抑制能力	22
5.2	SMZ 型光 3R ゲートにおける入力信号のタイミング耐性	22
5.3	SMZ 型光 3R ゲートの反転論理動作条件探索	26
第 6 章	結論	29
	謝辞	30
	参考文献	31
	付録	

第 1 章 序論

高速光信号を長距離伝送させるためにはタイミングのズレ、波形のゆがみ、強度の減衰など、劣化してしまった信号をきれいな信号に直す必要がある。光信号を再生するときに一度電気信号に変換し電子回路で 3R (Re-timing, Re-shaping, Re-amplifying)再生を行い、再び光信号に変換している。電子回路を用いた信号再生では電子の物理的要因によって光通信の持つ高速性を生かすことができない。このため信号の再生をすべて光で行う全光 3R 再生が期待されている。

これまで全光 3R では SMZ 型光 3R ゲートでは実験研究では 10~80 Gb/s でのタイミングジッタ耐性が実証[5]され、また 42Gb/s での反転論理動作も実験実証[6]されている。PD-SMZ 型光 3R ゲートでは 40Gb/s での反転論理カスケード接続の研究が報告されている。本研究では 1 信号雑音、0 信号雑音を加え、最も雑音を抑制する条件を探索し、入力のタイミング耐性について検討した。また、反転論理動作条件の探索も行った。

研究の背景

2.1 研究の技術分野

近年、インターネットの普及により通信ネットワークの大容量化、高速化が求められている。現在の光通信システムでは信号の再生を電気信号に変換してから行うため伝送速度が制限されてしまっている。この速度の限界を超えた通信速度を実現するために光信号を電気信号に変換せずに信号再生をすることのできる全光 3R 再生が期待されている。また電気回路を用いるよりも素子数も少なく、コスト、サイズ、消費電力の削減も期待されている。

2.2 干渉型全光ロジックゲート

2.2.1 対称マッハツェンダー(Symmetric Mach-Zehnder, SMZ)型光 3R ゲート

図 2.1(a)に模式的な SMZ 型光 3R ゲートの構造を示した。マッハツェンダー干渉計に半導体光増幅器(Semiconductor optical amplifier, SOA)を加えた構成をしている。SOA をマッハツェンダー干渉計の上下の導波路上にあることが特徴となっている。SOA に光パルスを入力することによって非線形位相シフトが起こり、それによって干渉を制御している。また、Phase shifter によって両アームの位相が π ずらされていて、干渉させると打ち消しあうようになっている。

SMZ 型 3R ゲートにデータ光パルスが入力されると、入力されたデータ光パルスは二つに分けられる。分けられた光パルスは一方のアームではそのまま SOA に入力され、もう一方のアームでは Δt 時間遅延をさせて SOA に入力される。データ光パルスが入力されると SOA 内でキャリアの再結合が起こる。キャリアの再結合によりキャリア密度が減少し、キャリア密度の変化は屈折率の変化と利得の変化を引き起こす。キャリアの再結合はパルスが入力されるたびに起こり、パルスがないときにはキャリア密度はゆっくりと回復していく。図 2.2 に SOA におけるキャリア密度の変化、屈折率の変化、利得の変化を示す。図 2.2 (a)はコントロールパルス(データ光パルス)の入射時にはキャリア密度が減少し、それ以外のところでは電流注入によってキャリア密度が回復していることを示している。図 2.2 (b)(c)はそれぞれ屈折率、利得がキャリア密度の変化に追従していることを示している。キャリア密度の減少する時間はデータ光パルスの幅とほぼ等しくなる。SOA の屈折率の非線形変化によってそれぞれのアームの光位相は非線形位相シフトを受け位相が変調される。片方のアームでは Δt の遅延時間が与えられているため、干渉時の光パルスの位相は図 2.3(a)のようになる。その差の位相差は図 2.3(b)のようになり、位相差が π ではなく、打ち消しあわない状態ができる。その後フィルタによってデータ光パルスの成分を取り除くことによってデータ光パルスによってクロックパルスが変調されたことになる。このときクロックパルスにはタイミングのずれや波形のゆがみはないため出力された信号はきれいな信号となり、3R 再生されたことになる。スイッチング窓というものを考えると、位相差が π でない

第 6 章 結論

本研究で 0、1 信号雑音を付加し SMZ 型光 3R ゲートの最適動作条件の探索、強度雑音抑制能力、インプットタイミング耐性の理論解析を行った。

SMZ 型光 3R ゲートの雑音抑制能力が大きくなるように、最も雑音を抑制する動作条件を探索した。変更の難しい SOA に関するパラメータ、パルスに関するパラメータと順に変更していき、最後に一番自由にできる遅延時間、位相シフトを変更した。

雑音抑制能力は二段接続である PD-SMZ 型光 3R ゲートまで抑制することはできないが、入力と比較し抑制されている。PD-SMZ 型光 3R ゲートと同様に多段接続することで抑制能力の増大をすることができると考えられる。

入力タイミング耐性では PD-SMZ 型光 3R ゲートより広い 8ps のタイミングのずれに対する許容範囲があった。また、SMZ 型光 3R ゲートは光集積化することができるため、PD-SMZ 型光 3R ゲートよりも省スペース化することができる点で勝っている。今回の理論解析によって、PD-SMZ 型光 3R ゲートよりも広いタイミング耐性を持つことがわかり、また反転論理動作による更なる雑音抑制が期待できる。今後は多段接続のための反転論理動作による理論解析を行う必要がある。そのための反転論理動作を実現するためのプログラムの改良を、さらに反転論理動作条件を見つけ、その条件での最適な条件、タイミング耐性など解析していく必要がある。

謝辞

本研究を進めるに際し、懇切なるご指導を賜りました上野芳康助教授に深く感謝をします。また、同じ上野研究室の皆様には常日頃より研究に対する非常に有益なご意見、激励を受け、大きな励みとなりました。

参考文献

1. L. Billes, J. C. Simon, B. Kowalski, M. Henry, G. Michaud, P. Lamouler, F. Alard, "20 Gbit/s optical 3R regenerator using SOA based Mach-Zehnder interferometer gate," in the technical digest of the 23rd European Conference on Optical Communications (ECOC '97), Edinburgh, Scotland, Sept. 22-25, 1997, vol. 2, pp. 269-272.
2. 豊田 将志, 「超高速半導体光ロジックゲートの光強度雑音抑制作用」, 電気通信大学 修士論文 2005年3月
3. Y. Ueno, 'Theoretically predicted performance and frequency-scaling rule of a Symmetric-Mach-Zehnder optical 3R gating,' Opt. Comm. vol. 229, pp. 253-261, Jan. 2004.
4. 鈴木 励, 「光 3R ロジックゲートにおけるジッタ耐性と波長チャープ特性の研究」, 電気通信大学 卒業論文, 2004年3月
5. Y. Ueno, S. Nakamura, and K. Tajima, 'Penalty-free error-free all-optical data pulse regeneration at 84 Gb/s by using a Symmetric-Mach-Zehnder-type semiconductor regenerator,' IEEE Photonics Technol. Lett. vol. 13, no. 5, pp. 469-471, May 2001.
6. S. Nakamura, T. Tamanuki, M. Takahashi, T. Shimizu, S. Ae, K. Mori, A. Furukawa, T. Sasaki, and K. Tajima, "Ultrafast optical signal processing with hybrid-integrated Symmetric Mach-Zehnder all-optical switches," Proc. of SPIE, vol. 5246, 2003, pp. 345-354.
7. Y. Hashimoto, R. Kuribayashi, S. Nakamura, K. Tajima, and I. Ogura, 'Transmission at 40 Gbps with a Semiconductor-based Optical 3R Regenerator'
8. Y. Ueno, S. Nakamura, and K. Tajima, 'Nonlinear phase shifts induced by semiconductor optical amplifiers with control pulses at repetition frequencies in the 40-160 GHz range for use in ultrahigh-speed all-optical signal processing,' J. Opt. Soc. Am. B, Vol. 19, no. 11, pp. 2573-2589, Nov. 2002.
9. 永末 洋平, 「光 3R ゲートの二次元マッピング解析とデジタル符号誤り率解析」, 電気通信大学 卒業論文, 2004年3月