

SOA を用いた TOAD のループ出力強度変動の抑制

電子工学科 上野研究室 加藤 泰惇

1. 研究背景

増え続ける通信容量を担う為に現在の光通信でボトルネックとなっている通信システム内の電気信号処理部分の光回路置き換えが期待されている。本研究室では遅延干渉(Delayed Interference Signal-wavelength Converter, DISC)型全光ゲートによる波長変換[1]とゲートの根幹を成す半導体光増幅器 (Semiconductor Optical Amplifier, SOA) の応答特性測定[2]等の研究を行なっている。

本研究では高速全光回路を実現する為に全光 XOR ゲートの作成を目標としている。全光 XOR ゲートは論理回路に必要不可欠である。よって、今回は研究室で用いている SOA を利用した TOAD 型 XOR ゲート[5][6]を引用し、TOAD による入力光同士の干渉による出力消光とコントロールパルスによる XOR 出力を行う事を目的とした。

2. 原理

2.1 非線形光ループミラー(NOLM)

図 2.1 のように光学素子である 2×2 カプラを用いてファイバーループを構成する。カプラの分岐比が 1:1 である 3 dB カプラを用いた時、ファイバーループ内に非線形性がなければ、ファイバーループを右回り、左回りに分けられ伝播した光は再びカプラ中で同位相・同強度・同タイミングで干渉する事になり、結果として入力側に反射される[3]。しかし、非線形効果を利用してファイバーループ中の右回り、左回りの光の間で異なる位相遅延を与えた場合には図 2.1 における E_{O2} から出力が得られる[4]。この性質を利用して節 2.4 の様な応用回路が考案され光スイッチング機能が実現されている。

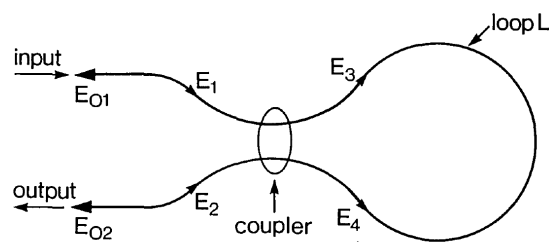


図 2.1 NOLM 概念図[8]

2.2 TOAD 型 XOR ゲート

図 2.2 のように構成したループ内に、入力が分割された右・左回りのパルスの他にさらに外部からコントロールパルスを入射する事で右、もしくは左回りのパルスと XPM 及び相互利得変調 (XGM)を起し、右回りと左回りのパルスの間で異なる位相遅延を得る。これによりパルスが入射し、ループ内の片方のパルスに影響を与えた際は信号を出力から得る。NOLM の基本原理を引用して作られ、デマルチプレクサとして構成された図 2.2 の回路の事を TOAD[5]と呼び、さらにコントロールパルスのタイミングを調整する事で XOR 出力を得る回路を TOAD 型 XOR ゲートとなる[6]

TOAD 型 XOR ゲートでは XOR ゲートに入力する信号 2 種類(入力信号 1、入力信号 2)を多重化してコントロールパルスとして入力する。コントロールパルス、すなわち入力信号 2 種類を多重化する際に使用する Delay を調整する事で、信号 1、2 を右回り、左回りのパルスそれぞれに割り当てて、右回りパルスが SOA に入る時と左回りパルスが SOA に入るタイミングに合わせて入力する。その結果図 2.3 SOA 内 XPM 概念図とループ出力信号の関係性の出力結果になる。左右で変調されたループパルスが強度・位相的に等しければ出力'0' 異なれば出力'1' が出力される。

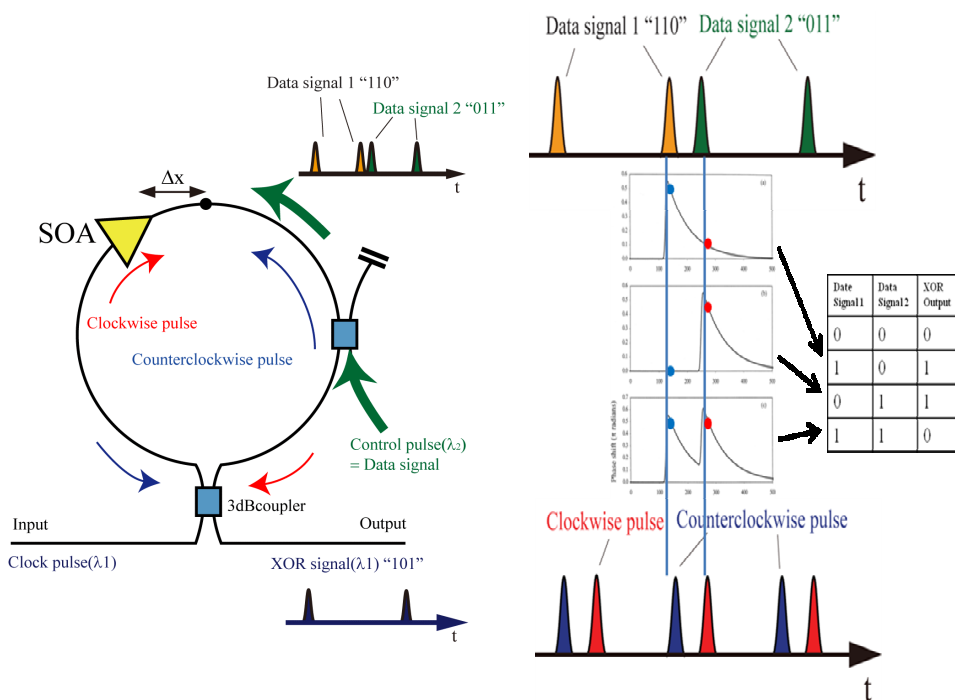


図 2.2 TOAD 型 XOR ゲート動作概念図

図 2.3 TOAD-SOA 内の XPM 概念図と XOR 対応表

3. 実験方法・結果

3.1 今までの実験

使用したのはモジュール化された InPhenix 社製バルク型 SOA である。まず、3 dB カプラのみでファイバリングを形成し、レーザからの連続光(Continuous wave ,CW 光)を入力した場合と 12.5 GHz のクロックパルスを入力した場合に出力側に信号が出ない事を確認した。これによりカプラのスイッチング動作を確認し、TOAD ループ内の光をカプラ内で打ち消せる事が分かった。

次に TOAD を構成し、CW 光を入力してコントロールパルスを入れずに出力測定を行う。この出力信号が'0'であれば XOR 演算における'0' '0' の入力信号を回路に入力した結果、出力が'0' となる演算結果を再現できる。同様にパルスにおいても実験を行った。その結果出力強度に変動が見られたが、ループ内での光強度・偏光変動を測定した結果 SOA を通過した後に CW 光の揺らぎが増幅されていると思われる変動増加が見られた。これにより干渉に影響が起き出力が変動した。

3.2 TOAD 型 XOR ゲート実験方法

今までの結果を踏まえ SOA 前のファイバ長をスプライサーを用いて融着して長さを調節したファイバーを用いて、Delay の操作出来る長さの範囲内で TOAD のループ中間点に SOA を配置できるようにする事で右回り左回りで時間変動を限りなく無視し出力安定化を図る。この実験で

はループ内にコントロールパルスを入力せず、入力した CW 光やパルス光を出力部で打ち消し、強度変動が改善したか確認する。

次に TOAD 出力の時間強度変動なければ、実験構成を図 3.1 にする。コントロールパルスとして DISC ゲートで波長変換したパルスを入力し、TOAD 型 XOR ゲートに'1'と'0'を入力した場合に'1'が出力されるかを測定したい。DISC から出力した後に異波長で入力したコントロールパルスをバンドパスフィルタでカットする事で入力パルスのみを相互相関計で観測する。

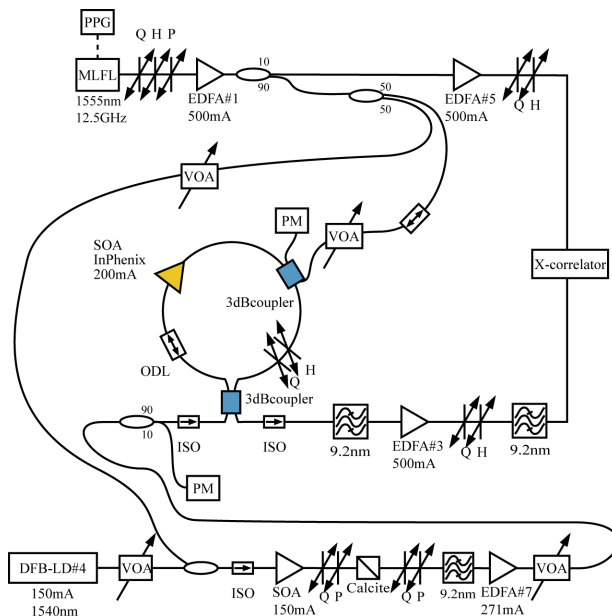


図 3.1 TOAD 型 XOR ゲート構成

3.3 実験結果

1 つ目の実験は現時点で最も良い結果を得る事が出来た。よって 2 つ目の実験に移った。

2 つ目の XOR 出力実験は、TOAD 入力パルスを DISC ゲートから波長変換された 1541 nm の 12.5 GHz クロックパルス(図 3.2(b))とした。TOAD に DISC ゲート出力パルスを入力をし、ループ内の偏光板を調整すると強めあう場合と打ち消し合う場合を見る事が出来る。強めあう時と消光状態の比較を図 3.3 に載せる。この強度変動は 1 つ目の実験と同じく抑える事が出来ていた。

次に XOR 出力を得る為にコントロールパルスとして 1555 nm で 12.5 GHz のクロックパルス(図 3.2(a))を-3 dBm でループ内に入力した。これは TOAD 型 XOR ゲートにおいて'111'と'000'を論理回路に入力した事に等しいので、出力として'111'が観測できるはずである。結果、強度が 1 dB 程度と小さいながらも'1'の出力を得る事が出来た。

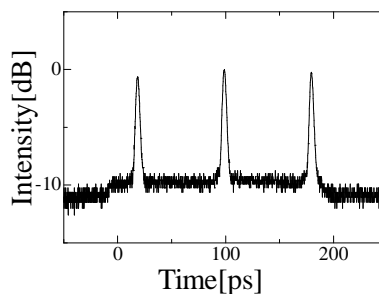
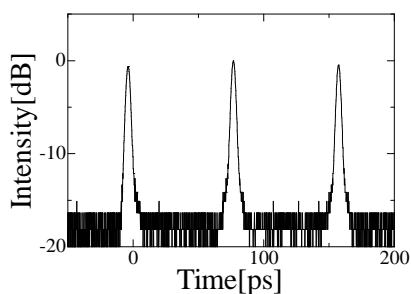


図 3.2(a) コントロールパルス時間波形

(b) TOAD 入力 DISC 出力パルス時間波形

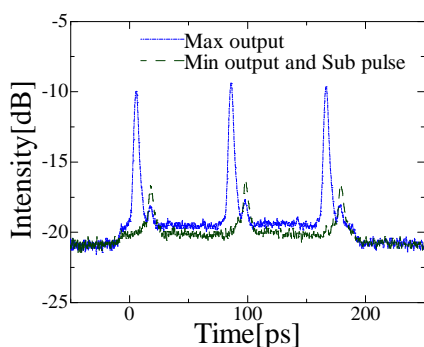


図 3.3 TOAD 出力-強めあう時と消光状態

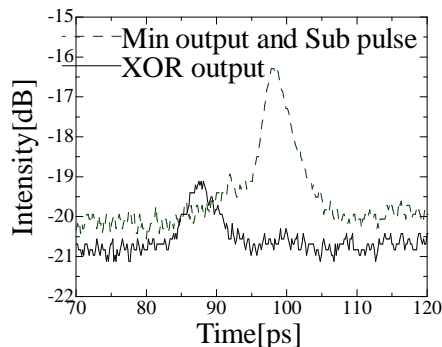


図 3.4 TOAD 出力 消光状態と XOR 出力

4. 結論

3 dB カプラのファイバーループによる光スイッチングで CW 光同士の干渉から最大 16 dB の消光が出来る事、同じくパルスにおいても消光が出来る事を導いた。

TOAD 構成中の出力時間的強度変動 ± 4 dB を測定し、改善の為にループ内の強度測定を行なって SOA がループの中心点から大きく外れていた事が原因と判断した。最後にループ長を調整して TOAD を動作させた結果、入力が CW 光の場合、出力強度変動は ± 0.5 dB パルス光の場合出力強度変動 ± 0.1 dB に治まった。その後、DISC ゲートを接続し異波長のパルス光を TOAD に入力する図 3.1 の構成から図 3.4 の消光比 1 dB 程の XOR 出力を導くことができた。

今後の課題として今回 XOR 出力が小さい事、XOR 出力の入力パターンが 1 つである事が課題である。図 3.3 の消光時発生するサブパルスについても改善するべきである。

将来的には SOA 特性評価や DISC ゲート研究と合わせて研究が行なえるだろう。

参考文献

- [1] Y. Ueno, S. Nakamura, K. Tajima, and S. Kitamura, "3.8-THz wavelength conversion of picosecond pulses using a semiconductor delayed-interference signal-wavelength converter (DISC)," IEEE Photon. Technol. Lett., 10, 1998, 346-348.
- [2] 杉浦 賢太、「高速半導体光増幅器チップの利得スペクトル特性比較」、電気通信大学卒業論文、2009年3月
- [3] DAVID B. MORTIMORE "Fiber Loop Reflectors," JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. 6, NO. 7, JULY 1988,1217
- [4] N. J. Doran and David Wood "Nonlinear-optical loop mirror" OPTICS LETTERS_Vol. 13, No. 1_January 1988, 56
- [5] J.P. Sokoloff, P.R. Prucnal, I. Glesk, M. Kane, "A Terahertz Optical Asymmetric Demultiplexer (TOAD),"IEEE Photon. Technol. Lett. 5_1993.787.
- [6] A.J. Poustie , K.J. Blow, R.J. Manning, A.E. Kelly, "All-optical pseudorandom number generator," Optics Communications 159_1999.208-214