

# 単一 QD-SOA を用いた全光 XOR-AND 回路

2021 年 12 月 6 日

## 1 はじめに

近年のインターネット通信端末の増加と普及により, 光通信による通信の高速化と大容量化が必要不可欠となっている. 現在の光通信では, 信号処理を行う際に一度光信号から電気信号へと変換するため通信速度の最大値が電気信号の処理速度に依存してしまうという課題がある. 従って電気信号への変換処理が必要ない全光信号処理技術を構成する全光論理回路の研究が進められている. 従来研究として実装されている全光論理回路の多くは光がデバイスに入射した際に発生する非線形光学効果を利用している. その中でも量子ドット半導体光増幅器 (Quantum-Dot Semiconductor Optical Amplifiers: QD-SOA) を用いた全光論理回路が提案されている. QD-SOA は量子ドット構造の活性層を持つ光増幅器のことであり, 電子を量子ドット内に閉じ込めることで従来の光増幅器よりも大きな利得を得ることができる. 従来研究として提案されている全光 XOR 回路ではマッハ・ツェンダー干渉系 (Mach-Zehnder Interferometer: MZI) を用いた回路が提案されている. しかし, MZI を用いた全光回路は同一特性の QD-SOA を 2 つ使用しなければならないが同一特性の QD-SOA を製造することは非常に困難という問題がある. 上記の問題点を踏まえて本研究では MZI を用いない単一の QD-SOA で動作する全光 XOR-AND 回路を提案し, シミュレーションによる性能評価を行う.

## 2 単一 QD-SOA を用いた全光 XOR-AND 回路

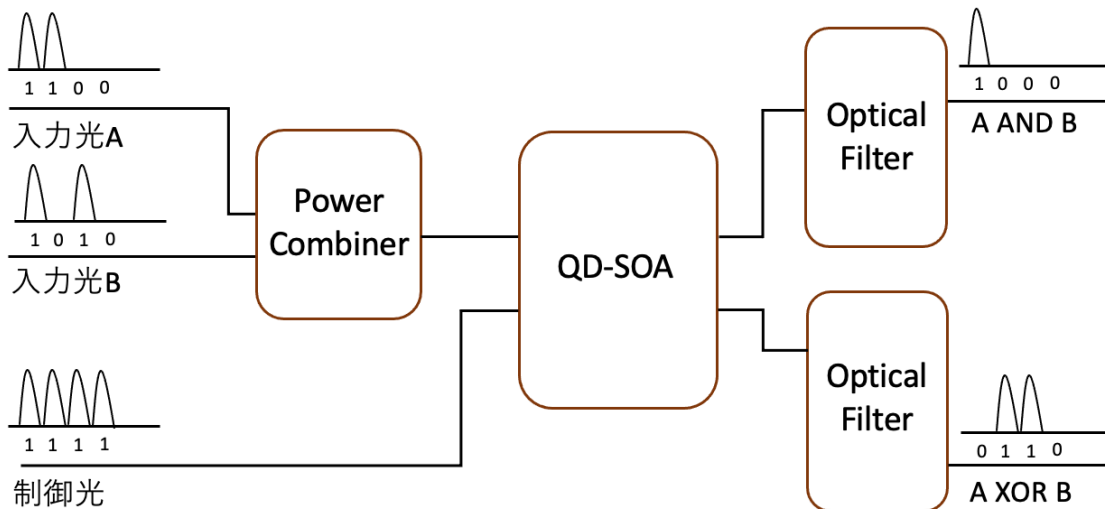


図 1: 提案する全光 XOR-AND 回路の構成

提案する全光回路ではまず, 入力光 A,B を複数の光を合波するデバイスである PowerCombiner(PC) に入射させる. その後合波された光と制御光を入力とした QD-SOA で光を増幅させ, 最後に特定の波長の光を取り出すデバイスである Optical Filter(OF) から基本論理回路として必要な波長のみを取り出し最終的な出力光とする.

### 3 シミュレーション

#### 3.1 条件及び評価指標

本研究では OptiSystem16.1.0, MATLAB 2019a を用いてシミュレーションを行った。QD-SOA は光の伝搬方程式, キャリアのレート方程式及び伝達行列法 (Transfer Matrix Method:TMM) を用いてシミュレーションを行う。光の伝搬方程式は QD-SOA 内の光電界に関する式であり, キャリアのレート方程式は QD-SOA 内の時間変化によるキャリアの変化を表す式である。また, 伝達行列法は QD-SOA を光の伝搬方向に対して細かく分割しキャリア密度, 光子密度, 利得を繰り返し求めることで結果的に出力される光電界を求める手法である。今回シミュレーションで使用するパラメータは表 1 に示したものをを用いた。

シミュレーションでは入力光強度と各論理回路に対応する光フィルタの指定波長を変化させ、それぞれの条件に対する消光比が最も高くなるようなパラメータ探索を行う。

表 1: シミュレーションで用いるパラメータ

パラメータ名	値	単位
QD-SOA の長さ	$3.0 \times 10^{-3}$	$m$
QD-SOA の厚さ	$0.25 \times 10^{-6}$	$m$
QD-SOA の幅	$3.0 \times 10^{-6}$	$m$
量子ドット密度	$5.0 \times 10^{14}$	$m^{-2}$
キャリア寿命 (WL $\rightarrow$ ES)	$3.0 \times 10^{-12}$	$s$
キャリア寿命 (ES $\rightarrow$ WL)	$1.0 \times 10^{-9}$	$s$
キャリア寿命 (WL $\rightarrow$ 系外)	$2.0 \times 10^{-9}$	$s$
キャリア寿命 (ES $\rightarrow$ GS)	$0.16 \times 10^{-12}$	$s$
キャリア寿命 (GS $\rightarrow$ ES)	$1.2 \times 10^{-12}$	$s$
キャリア寿命 (GS $\rightarrow$ 系外)	$0.4 \times 10^{-9}$	$s$
注入電流	$5.0 \times 10^{-2}$	$A$

#### 3.2 評価指標

評価指標としてアイダイアグラム (eye diagram) および消光比 (Extinction Ratio: ER) を用いる。アイダイアグラムとは信号光を 1 ビット幅間隔で分割し, 重ね合わせて描画したグラフのことであり, 消光比は  $P^1_{min}$  を "1" として出力された光の中で最も強度が弱いときの光強度の値,  $P^0_{min}$  を "0" として出力された光の中で最も強度が強い時の光強度の値としたときに  $ER[dB] = 10 \log 10 \frac{P^1_{min}}{P^0_{max}}$  で算出される指標である。この値が大きいほど出力光が "0", "1" の区別が付きやすい優れた波形であることを示す。

#### 3.3 シミュレーション結果

AND 演算および XOR 演算を行った場合のシミュレーション結果をアイダイアグラムの形で描画すると以下のよう表せる。AND 演算における消光比は 14.89dB, XOR 演算における消光比は 10.21dB が得られた。

### 4 まとめ

単一 QD-SOA を用いた全光 AND/XOR 論理回路を提案した。シミュレーション結果より論理回路の動作を確認でき, 評価指標から出力波形の品質は良好と見られる。今後の課題としては QD-SOA 内で発生する雑音を考慮したシミュレーション結果の検討やパラメータの最適化が挙げられる。

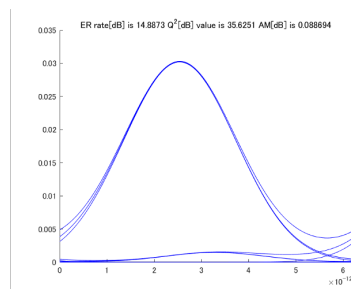


図 2: AND 回路の結果

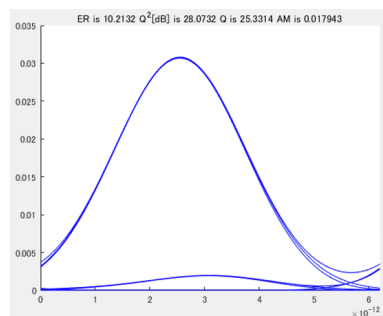


図 3: XOR 回路の結果