

# 高速全光論理ゲートに向けたデータ光と同一波長な CW 光による 光加速作用の研究

電子工学科 上野研究室 吉川 恵太

## 1. 研究背景

半導体光増幅器(Semiconductor Optical Amplifier, SOA)を用いてマッハツェンダー干渉計(Mach-Zehnder Interference, MZI)などと組み合わせることにより波長変換機、全光論理ゲートなどの機能をもった全光ゲートが作成されている。このような全光ゲートでは複数の信号光を SOA へ入力するものが一般的であるが、今まで異波長を使っているものがほとんどであった。異波長を使う場合、バンドパスフィルタなどにより信号光の取り扱いが容易ではあるが、SOA の利得スペクトルの変動により SOA 緩和時定数と非線形位相シフト量のトレードオフを増加させてしまい、光加速作用を下げってしまう。私たちの研究では SOA へ入力する信号光を同一波長にすることでこのトレードオフを緩和し、光加速作用を高められることが報告されている[1]。そこで、本研究ではこの同一波長・偏光分離方式を使い、その SOA 注入電流依存性とパルス波長依存性を調べた。

## 2. 原理

### 2.1 緩和時定数と非線形位相シフト量

SOA で全光ゲートを構成する際、緩和時定数と非線形位相シフト量が重要なパラメータとなる。緩和時定数は全光ゲートの動作周波数を決定し、非線形位相シフト量は出力パルスの消光比を決定する要因となる。緩和時定数を短縮するには連続光(Continuous wave, CW 光)の利得を高くすることが必要であり、非線形位相シフト量を大きくするにはパルス光の利得を高くする必要がある。しかし、緩和時定数と非線形位相シフト量にはトレードオフの傾向がある。

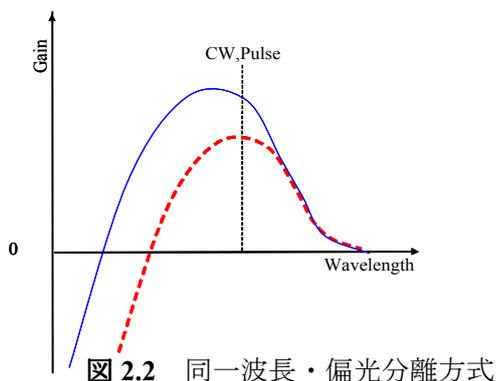
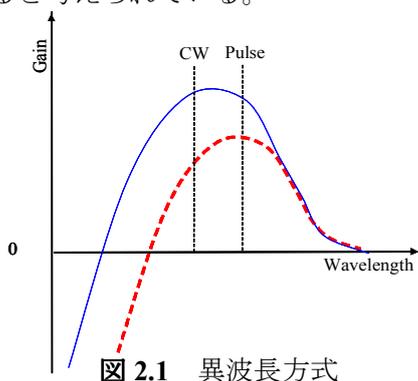
### 2.2 光加速作用

光加速作用とは SOA にパルスを入射した後のキャリア回復速度を早める作用のことを言う。今回は主に 2 つの方法を用いる。1 つ目は SOA への注入電流を増やす方法である。これは直接キャリアを SOA へ供給するので簡単かつ効果的である。2 つ目は CW 光の強度を強くする方法である。CW 光の強度を強くすると SOA 内のキャリアは常に強く消費される。このことにより SOA のキャリア密度の定常状態が下がり、SOA の利得は下がってしまうが変調量も下がるのでその分 SOA 緩和時定数を短縮することができる。

### 2.3 同一波長・偏光分離方式

SOA の利得スペクトルは図 2.1 のような形を取っており、異波長を選択している場合パルス光の利得と CW 光の利得は異なるものになってしまう。また、SOA の利得スペクトルは SOA 内のキャリア密度により変動する。キャリア密度が低い場合では利得が下がり、ピーク波長は長波長側にシフトする。パルス光が入射されているときこの変動は連続的に起きていると考えられている。これらのことから異波長方式では SOA 内を伝播するパルスと CW 光に利得差を生じさせ、非線形位相シフト量と緩和時定数のトレードオフの関係を強めると考えられている。

同一波長・偏光分離方式はパルス光と CW 光の波長を同一にしたものである。パルス光と CW 光の波長が同一だと BPF は使えない。ここではパルスと CW 光を直行させ、SOA の TE 軸(Transverse Electric)と TM 軸(Transverse Magnetic)に合わせ、非線形偏光回転を回避することで偏光での分離を可能にしている。2つの入力光の波長を同一にすることでパルス光と CW 光の利得は等しくなる(図 2.2)。また、パルス光を入射したことによる利得スペクトルの変動でのパルス光と CW 光の利得差を少なくすることができる。これらのことから同一波長・偏光分離方式では非線形位相シフト量と緩和時定数のトレードオフの関係を弱められると考えられている。



### 3. 実験方法

トレードオフの関係を見るために異波長方式と同一波長・偏光分離方式での緩和時定数と非線形位相シフト量の測定を行った。緩和時定数は相互相関計(Cross-Correlater, X.C)で測定し、非線形位相シフト量は光スペクトラム・アナライザ(Optical Spectrum Analyzer, OSA)で測定した。

パルスエネルギーは 100 fJ で測定した。トレードオフの SOA 注入電流の依存性を測定する時は SOA 注入電流を 100 mA、150 mA、200 mA で行った。このとき CW 光強度を -3 dBm、0 dBm、+3 dBm と SOA 注入電流を変えるごとにそれぞれ変えた。異波長方式ではパルス光波長 1555 nm、CW 光波長 1540 nm で行い、同一波長・偏光分離方式ではパルス光波長 1555 nm、CW 光波長 1555 nm で行った。

トレードオフのパルス依存性を測定する時はパルスエネルギー 100 fJ、SOA 注入電流 150 mA、CW 光強度 0 dBm で測定した。パルス波長を 1545 nm、1555 nm、1560 nm と変え、CW

光波長 1540 nm で行った。

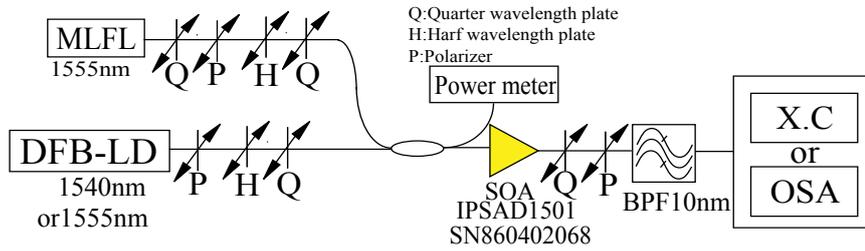


図 3.1 緩和時定数と非線形位相シフト量測定セットアップ

#### 4. 実験結果

X.C で得られた波形を補正すると図 4.1 のような波形が得られる。この波形をフィッティングし、緩和時定数を求めた。これを一つ一つ行い、まとめたのが図 4.2 である

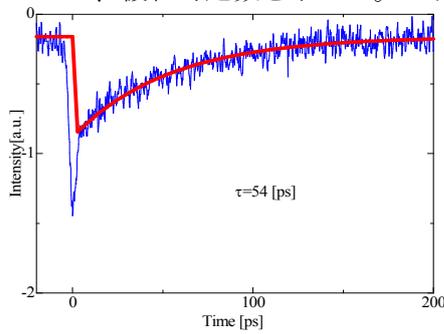


図 4.1 緩和時定数測定例

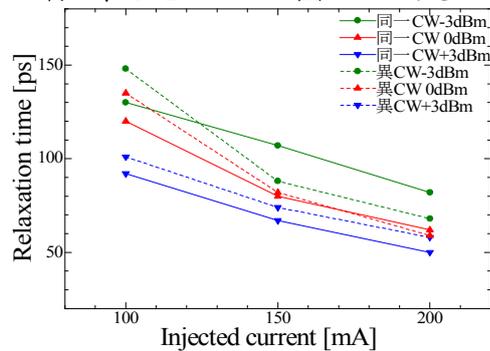


図 4.2 緩和時定数の注入電流依存性

図 4.2 を見ると SOA 注入電流の増大と CW 光強度の増加が緩和時定数を短縮させていることが良く分かる。異波長方式と同一波長・偏光分離方式では同一波長・偏光分離方式の法が緩和時定数は短縮され、SOA 注入電流 200 mA、CW 光強度 3 dBm では約 50 ps まで短縮された。

非線形位相シフト量は変調された CW 光のスペクトル(図 4.3)を OSA で測定し、そこから非線形位相シフト量を算出した。図 4.4 にそのまとめを示す。

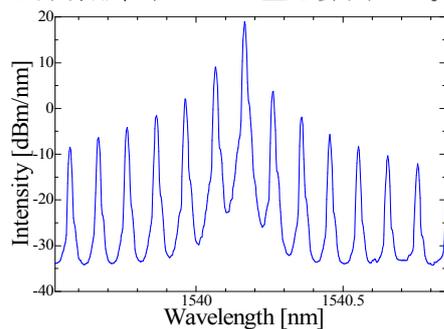


図 4.3 変調された CW 光のスペクトル例

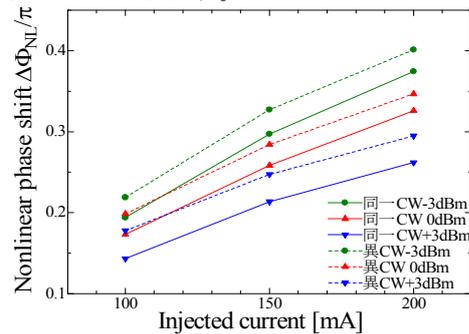


図 4.4 非線形位相シフト量の注入電流依存性

非線形位相シフト量は SOA 注入電流増大により増加し、CW 光強度増大により減少することが分かる。また、同一波長・偏光分離方式は異波長方式よりも約  $0.03\pi$  小さいという結果となった。

トレードオフの関係を見るために非線形位相シフト量対緩和時定数のグラフにまとめた(図 4.5)

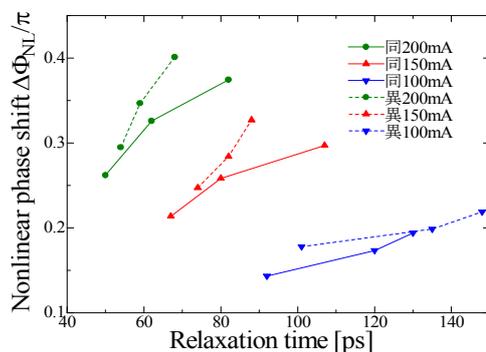


図 4.5 トレードオフの関係の注入電流依存性(異波長・同一波長)

この図は左上に行くほどトレードオフを抑制できていることを表している。これを見ると SOA 注入電流を増大させるほどトレードオフを抑制していることが分かる。今回、同一波長・偏光分離方式のトレードオフ抑制効果がなかった。前年度に行われていた同一波長・偏光分離方式の実証ではパルスエネルギー300 fJで行っており、今回は100 fJで行っていた。よってパルスエネルギーによりトレードオフ抑制効果に影響を及ぼすのではないかという新たな疑問が出てきた。

トレードオフのパルス光波長依存性については、ほとんどないという結果となった(図 4.6)。

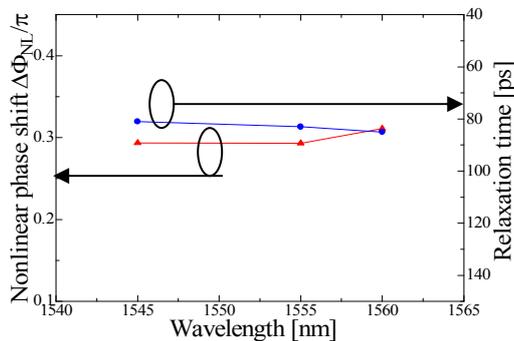


図 4.6 トレードオフの関係のパルス波長依存性

## 5. 結論

SOA 注入電流の増大と CW 光強度増大の光加速作用により、緩和時定数は 50 ps まで短縮され、同一波長・偏光分離方式の方が光加速作用は高いことが分かった。しかし非線形位相シフト量は同一波長・偏光分離方式の方が約  $0.03\pi$  小さくなるといった結果となった。また、今回の結果からトレードオフの関係にはパルスエネルギーも関係していると予測され、調査することが今後の課題となっている。トレードオフのパルス光波長依存性はほとんどなかった。しかし、今回測定した波長領域ではまだ狭いので今後広い波長帯域で測定する必要がある。

## 参考文献

- [1] 山路 健瑠、「同一波長・偏光分離方式に基づく、高速光半導体ゲートについての研究」、電気通信大学修士論文、2010年3月