

## 1. 研究背景

インターネットの普及、動画の配信の一般化やスマートフォンの出現によって人々が日々やり取りする情報の量は増加し続けていて、通信速度の更なる向上やネットワーク容量の増大への需要が高くなっている。光ファイバーを用いた現代の光通信は広帯域、低減衰、波長多重の容易性などから電気ケーブルを用いた通信から取って代われ、通信速度の高速化をもたらした。

現在商用で使用されている光通信の伝送速度は 100Mbps~10Gbps であり、一般家庭向けに 1Gbps の通信速度を実現したインターネットサービスも普及している。この技術では信号を処理する際は光信号から電気信号に変換して電気回路により処理している。しかし、電気回路による信号の伝送速度には電子回路中の電子の移動度によって 40Gbps 程度に限界があり、これ以上の伝送速度向上が困難であるとされている。この限界を突破する新たな技術として信号処理をも光で行う全光信号処理の技術の研究が進んでいる。

光回路においては超高速光クロックパルス発生、遅延干渉型波長変換器(DISC)、Mux/Demux、論理ゲート、記憶領域など多くの技術が組み合わされており、本研究室において更なる高速化、低消費電力化に向けた研究が行われている。

## 2. 原理

### 2.1 半導体光増幅器(SOA)

全光技術において電子回路におけるトランジスタの働きをする半導体光増幅器(SOA)の働きはとても重要である。SOAに電流を注入し光を入射すると注入電流のエネルギーによって光を直接増幅する働きを持つ。構造は以下の図 1[1]のようになっており、端面の反射を無くす加工が施された半導体レーザー構造になっている。

半導体レーザーは電流の注入によって発生した光が端面で反射しその光が誘導放出を引き起こし、発振状態となってレーザー光を出力するが、SOAは外部から光が入射することによって初めて誘導放出が起こる。希土類添加ファイバー増幅器やラマン増幅器などの他の光増幅器より遥かに小型なため、論理ゲートへの応用や集積化が期待できる。本研究において使用した SOA は Inphoenix 社の IPSAD1501 というモジュールタイプのバルク型 SOA である。

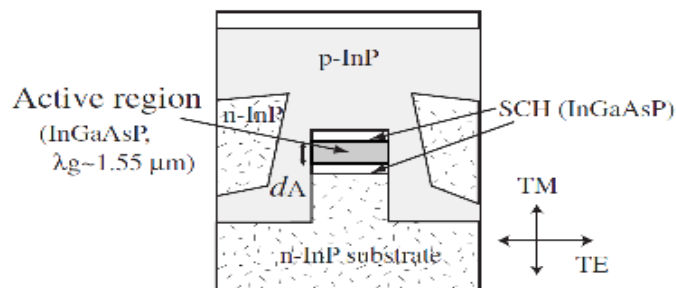


図 1 バルク型 SOA の構造(側面図) [1]

### 2.2 利得の偏光依存

SOA は活性層の厚みの方向に対してはエピタキシャル成長技術により数Åの精度を可能としているが、活性層の幅についてはエッチング技術に拠るので数百ナノメートルオーダー程度でしか制御できない。このため、閉じ込め係数の  $\Gamma_{TE}$  と  $\Gamma_{TM}$  に差が出てしまう。閉じ込め係数の大小関係は以下の式で表される。

$$\Gamma_{TE} > \Gamma_{TM} \tag{2.3.1}$$

式(2.2.4)を変形し、 $P_{out} / P_{in}$  を表すと、

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = [(\Gamma\gamma_0 - \alpha)L] \tag{2.3.2}$$

となる[2][3]。式(2.3.2)によれば閉じ込め係数  $\Gamma$  が大きいと利得も大きくなるのが分かる。よって TE 軸の利得が大きくなることが予想される。

また、これらの式は非飽和領域において成り立つものであり、飽和強度に近づいていくにつれて利得および偏光による利得差が減っていくものだと考えられる。

光伝送に適した偏光依存の少ない SOA とするためには活性層の幅と高さを同じにする必要があるが、活性層幅に活性層の高さを合わせると導波モードが複数発生しマルチモードとなりやすい。一方、NPR を用いて論理ゲートを構成しようとするならば、SOA の偏光依存は小さくなくてもよいが、偏光への依存性を正確に調べる必要がある。

### 3. 実験方法

#### 3.1 非飽和利得と飽和利得特性の測定

2章で述べた SOA の偏光依存性を確かめるために偏光状態を調節して非飽和利得の最大と最小を調べた。SOA の偏光依存性[3]によれば、入力光の偏光状態が TE モードの時に非飽和利得が最大となり TM モードの時に最小となるはずである。これを調べるために非飽和利得の最大および最小を測定した。

まず、入力光であるレーザーの強度を -20dBm、SOA の注入電流を 200mA とし軸合わせを行った。軸合わせとは入力光の偏光状態が TE モードまたは TM モードにすることで、このような状態であれば偏光の回転は起こらない。軸合わせが出来たら非飽和利得を測定し、入力光強度を変化させて飽和利得特性を測定した。そして H 板を 90 度回転させてから軸合わせ、非飽和利得測定、飽和利得特性の測定を行った。

#### 3.2 SOA の NPR 量の測定

ここでは SOA が実際にどれだけ NPR を起こしているかを調べた。実験構成図は図 3.2 である。



図 3.2 : 非線形偏光回転測定実験構成図

まず SOA の軸合わせを行い、入力光の偏光状態の基準を設定した。この時の P1、Q1、H1 の角度はそれぞれ

れ  $0^\circ$ 、 $300^\circ$ 、 $106^\circ$  であった。

H1 を  $15^\circ$  回転させて  $121^\circ$  とし、入力光を軸から  $30$  度ずらした。入力光強度を  $-5\text{dBm}$  にし、SOA の注入電流を  $20\sim 200\text{mA}$  の間で変動させて SOA の NPR の注入電流依存性を測定した。入力光強度  $0\text{dBm}$ 、 $5\text{dBm}$  においても同様に測定した。次に、H1 を更に  $7.5^\circ$  回転させて  $128.5^\circ$  とし、入力光を軸から  $45$  度ずらした。この偏光状態においても同様に入力光強度と注入電流を変化させて測定を行った。

私はこの実験で入力光強度が NPR 量に大きく影響する入力光の偏光角度や注入電流の条件を見つけようと考えた。実用面では入力光の強度変化が他の 2 つの条件に比べて圧倒的に速いと思われるからである。偏光角度や注入電流をその場で変化させることで大きな NPR 量差を得たとしても、入力光強度で偏光が回転しなければ光信号処理の長所である高速な処理が出来ない。

## 4. 実験結果

### 4.1 SOA の注入電流 $200\text{mA}$ における非飽和利得の大小

実験に際してはレーザーの電流を  $100\text{mA}$ 、SOA の注入電流を  $200\text{mA}$  とし、入力光の強度はアッテネーターを用いて調整した。

表 4.1 : 非飽和利得測定結果

	TE	TM
	13.04[dB]	12.07[dB]

利得差の調査の結果は表 4.1 である。図 3.2.1 において H 板が  $135$  度で見つかった TE 軸と H 板が  $45$  度で見つかった TM 軸において  $0.97\text{dB}$  の利得差が発生していた。これは信号増幅用途にとって極端に小さいとは言えない[4]が、20 年以上前[3]と比較すれば十余年でかなり小さくなっていることが分かった。

### 4.2 飽和利得特性

SOA の軸ごとの飽和利得特性は図 4.2(a)のようになった。TE モードは非飽和領域での利得が大きく、飽和していくにつれて利得差が小さくなり  $0\text{dBm}$  付近で大小が逆転した。式(2.2.3)における光強度  $I$  と飽和強度  $I_s$  の項から、飽和するに従って偏光依存が小さくなっていくのではないかと考えた予想は  $-10\text{dBm}$  程度までは一致した。しかし利得の差は逆転して再び差が開いてしまっている。原因と考えられるものとして以下のような項目を挙げる。

図 4.2(b)の概形から注入電流  $60\text{mA}$  の時に NPR 量が小さくなりそれ以上でも以下でも NPR 量は大きい、注入電流が大きいほうが NPR 量の差は明確になった。これは SOA 注入電流値が小さいために過度な飽和状態となり、2.2 章および 2.3 章に起因する利得差による影響を受けにくくなっているためではないかと考えた。また、入力光強度  $-10\text{dBm}$  の場合は他の入力光強度に比べて回転量が大きくなっており、変化も急峻であった。これは入力光強度が小さいほど偏光依存が大きくなるのではないかとという予想と近いとも言えるが、グラフの全体的な概形である回転量が大きいところから一旦回転量が減り、再度回転量が大きくなるという結果を説明するには不十分だと感じた。

図 4.2(c)の概形は、図 4.2(b)と大きく異なり、回転量が  $90$  度付近から  $-90$  度付近まで変化してからあまり大きく変動せず、ゆっくりと  $0$  度に近づいていた。図 4.2(c)において入力光  $-10\text{dBm}$  の NPR 量が他の入力光強度のそれと大小が逆転することもあるが、入力光強度が小さいほうが NPR の注入電流依存性が大きいという結果

となった。この回転量の差異の原因についても飽和状態であればあるほど 2.2 章および 2.3 章に起因する利得差による影響を受けにくくなっているためではないかと考えた。

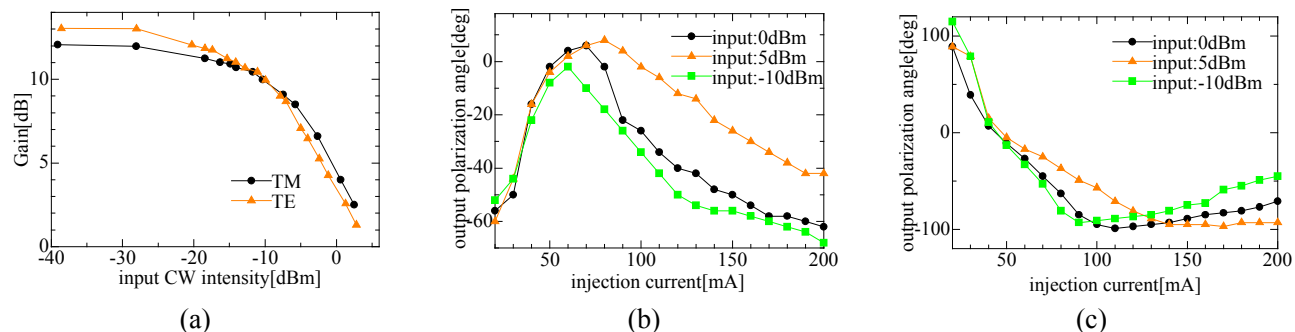


図 4.2:飽和利得特性の偏光依存(a)と入力光偏光が軸から 30 度ずれた時の NPR 量(b)と 45 度ずれた時の NPR 量(c)

## 5. 結論

### 5.1 半導体光増幅器「IPSAD1501」の NPR 利用の可能性・有用性

今回の研究で、偏光依存性の小さい SOA の NPR は TE 軸と TM 軸の利得差よりも屈折率の変化によるものが大きかった。そして屈折率の変化による NPR は SOA の注入電流によってもたらされていた。図 2.2.1 よれば、活性層の厚さを薄く、幅を広く作成すれば偏光依存が大きくなると期待でき、利得の偏光依存性を考慮しない場合 9dB 程度の利得の偏光依存性が得られる[3]ため信号増幅用の SOA とは異なる構造の SOA を使用した方がより入力光強度の依存性が強くなり、入力光による大きな NPR を観測できるのではないかと考えた。

今回の NPR 測定において入力光偏光状態が軸から 45 度ずれた場合の注入電流依存性は 90 度を超えていた。入力光強度と比べて注入電流変化による大きな NPR 量差が見られたことから、電気的な制御が可能なビットレートの範囲であれば、注入電流の制御をすることで偏光分離が容易に可能である。このことから私が集中輪講で発表した NPR を用いた全光バッファへの応用方法[5]が非常に有効であったことが実験によって確かめられた。データ信号の増幅と NPR はレーザー増幅器特有の高速性が需要で、バッファリングの制御は電気的な制御で十分でだからである。

### 5.2 今後の課題

本研究で NPR 量の予想値と実測値を比較したが、結果があまりにも違うものであったため、今回予想に使用した計算方法は適切でなく、修正が必要であった。修正の方針として、SOA の屈折率変化による影響を計算に入れて再度シミュレーションを行うことが挙げられた。

## 参考文献

[1] Jun Sakaguchi Department of Electronics Engineering Faculty of Electro-Communications University of Electro-Communications Doctor of Philosophy June 2008  
 [2]Zhang Shangjian,Zhang Qianshu,Li Heping, Liu Youngzhi,Liu Yong “All-optical Sampling Using Nonlinear Polarization Rotation in a Single Semiconductor Optical Amplifier" JOURNAL OF SEMICONDUCTORS vol.29 No.6 June 2008  
 [3]石尾秀樹「光増幅器とその応用」オーム社 1992 年 5 月 3 月.  
 [4] 中澤忠雄 小滝祐二 森戸健「光ネットワーク用デバイス」FUJITSU.52,4,(07,2001)  
<http://img.jp.fujitsu.com/downloads/jp/jmag/vol52-4/paper14.pdf>  
 [5]Mu Cheng, Chongqing Wu, Jussi Hiltunen, Yaping Wang, Qin Wang, and Risto Myllylä “A Variable Delay Optical Buffer Based on Nonlinear Polarization Rotation in Semiconductor Optical Amplifier”