高速・非線形半導体材料をカスケード接続する全光ゲート透過率向上度評価

電子工学科 上野研究室 0812143 山本 浩晶

# 1. 研究背景

近年通信需要の拡大から、より高速、大容量な通信を可能とする技術が求められている。半導体光増幅器 (Semiconductor Optical Amplifier, SOA)とマッハ・ツェンダ干渉計(Mach-Zehnder Interference, MZI)の組み合わせ で出来る DISC 型全光ゲートと、これを応用して出きる DISC-LOOP 型パルス発生器(DISC-LOOP)[1]は波長分 割多重と光時分割多重を実現するパルス光源として有用である。DISC 型全光ゲートは入力された CW 光をパ ルス光に変換し、入力パルスと出力パルスの比となる透過率は重要なパラメータとなる。特に DISC-LOOP で は、パルスの発振条件は DISC ゲート透過率と強度保障のために付けられた外部増幅器の利得の合計が受動素 子の損失を上回る必要がある。また外部増幅器は非常に大きく、今後求められる集積化の障害となる。このた めに、DISC ゲート透過率の向上が求められる。

本研究ではこのパルス繰り返し周波数 100 GHz での DISC ゲート透過率の増幅透過を目的としている。この ための手段として SOA をカスケード接続し、非線形位相シフト量、透過率測定を行った。また SOA への入力 光の偏光を調整し光軸あわせを行うことでこれらの値の更なる改善が得られることを実験的に証明した。

### 2. 原理

SOA のカスケード接続によって注入電流を増やし、キャリアの量を増すことが出来る。このために単体時 と比較した非線形位相シフト量、透過率の向上が見込める[2]。SOA の内部構造により利得などの特性は入射 光の偏波によって変化する。TE モードでの利得は TM モードの物に比べ高い。偏光を調整し SOA の光軸に合 わせて入力することで、利得と非線形性を十分に引き出すことが出来る。SOA をカスケード接続した DISC 型 全光ゲートでは、一つ目と二つ目どちらの SOA にもこの光軸合わせを行うことで、さらなる非線形位相シフ ト量、透過率の向上が得られる[]。また非線形偏光回転を抑えることも出来るため、偏光子での損失を減らせ る。この方法による非線形位相シフト量、透過率の向上は過去研究で得られているが、同一 SOA を用いた実 験が行われておらず、実験的な証明は行われていない[3]。



図1 SOA カスケード接続時の DISC 型全光ゲート概略図

### 3. 実験方法

SOA カスケード接続時の 10.5 GHz での非線形位相シフト量、100 GHz での透過率測定実験を行った。この結果 を単体時の測定結果と比較し、カスケード接続によって非線形位相シフト量、透過率の向上が得られることを示し た。その後、偏光調整によって更なる非線形位相シフト量、透過率改善が行えることを実証するため、図1の構成 で SOA への偏光を調整し、一つ目だけでなく二つ目の SOA でも CW が TE モード、パルスが TM モードで入射す るようにした状態での測定を行った。なお、100GHz での SOA 単体時の結果については過去測定された結果を用い、 今回は測定を行わなかった。各実験構成はそれぞれ次のようになっている。今回の測定では SOA は全て IPSAD1501 を用いた。



図2 SOA カスケード時非線形位相シフト量測定実験構成

非線形位相シフト量は SOA に CW 光とパルス光が入射したときに生じる CW 光の位相の変化量であり、 XPM のスペクトルから求められるので、それを光スペクトルアナライザ (Optical Spectrum Analyzer, OSA)を用 いて測定した。入力 CW 光強度を-3.8 dBm で一定にし、入力パルスの一つ当たりの強度を 10 fJ から 300 fJ の 範囲で変えてスペクトルを測定し、パルス強度による非線形位相シフト量の変化を求めた。



図3 SOA カスケード時透過率測定実験構成

透過率は入力パルスと DISC ゲートからの出力パルスの強度比となるので、入力パルス強度と出力強度を測定することで求められる。CW 入力強度 0.72dBm とし、パルスはパルス繰り返し周波数を高周波化による出力 への影響が強まると考えられる 100 GHz に設定し、3 dBm から-25 dBm までの範囲で変えておこなった。透過 率測定では、SOA への注入電流については、強度を確保するために 200 mA ずつとした。

#### 4. 実験結果

4.1 非線形位相シフト量

測定された XPM から求めた非線形位相シフト量は図 4 のようになった。前方 SOA 単体時と比較して非線 形位相シフト量の増加が確認できたが、後方の SOA である SOA2 単体時と比較して大きく落ちた結果となっ ている。この原因について、一つの大きなものとして、後方 SOA での CW 強度による利得飽和が考えられる。 図 5 の利得飽和特性を見ると、SOA への注入電流 100mA のときは、最大出力が低く、十分な利得が得られな い。このために、非線形位相シフト量が伸びなかった可能性があり、十分な非線形位相シフト量を得るには、 飽和を考慮する必要があると言える。



図4 SOA カスケード接続時非線形位相シフト量

図5 SOA 利得飽和特性

# 4.2 透過率

結果は図5となった。横軸がSOAに入射するパルスの時間平均強度、縦軸が透過率となっている。当研究 室の新井氏が入力強度以外を同じ条件でSOA単体時に測定した結果と比べて、入力強度の違いから単純な比 較は出来ないが、5 dB程度の透過率増加が確認できる。相互相関計で測定した出力の時間波形は図4.13 の通 りとなっており、入力パルス強度-10 dBm以下ではパルスの生成が確認できていない。二つのSOAへの注入 電流は200 mAずつであり、より大きな増幅を行えたとみなせる。注入電流の合計が単体時よりも高くなった ことで、単位時間に注入されるキャリア量が増大し、高繰り返し周波数でもパルス一個あたりに消費されるキ ャリアが増大したためである。入力CW強度0 dBmでの消光比について新井氏測定の単体時の結果と比較す るとこちらでも2 dBほどの向上が見られる。これら結果よりSOAをカスケード接続することにより、より高 い消光比、透過率を実現できる。

これら結果では大平氏測定では行えた増幅透過が得られなかった。大平氏測定結果では、パルス繰り返し周 波数 42 GHz で SOA 注入電流を 300 mA ずつとしたときの測定で透過率が 0 dB を超える増幅透過を達成して いる。今回の測定では SOA の注入電流限界値の関係から 200 mA より高い電流を注入しての実験を行えなか ったことが理由の一つとなる。大平氏測定でも 200 mA での注入では増幅透過は起きていない。



図5 SOA カスケード時 100 GHz 透過率

図 6 SOA カスケード時 100 GHz ゲート出力時間波形

4.3 入力光の偏光を調整した場合

研究背景や原理で述べた通り、SOA への入力光の偏波を調整することで、更なる透過率の増加が狙えると

考えられる。後方の SOA にもパルスが TM モード、変調された CW 光が TE モードで入力するように調整した結果は次の通り。



図7偏光調整を行った場合の非線形位相シフト量

図8 偏光調整を行った場合の透過率

どちらも単体時、入力光の偏光調整を行わないカスケード時と比較して増加した結果が得られた。また非線 形位相シフト量について、入力 CW 強度を-15dBm とした場合のほうが高い結果が得られており、このことか らも図 4 で非線形位相シフト量が伸びていなかった原因は CW 光による利得の飽和にある可能性が高いと考 えられる。この結果から、カスケード接続によって透過率は高くなり、更に偏光を調整することでより上がる 結果が同一 SOA から得られた。このことからより高い透過率を得る必要がある場合に、カスケード接続と入 力偏光調整が有効であると言える。ただし偏光を調整した場合でも透過率は 0 dB に届かず、増幅透過は確認 できなかった。

より高い透過率を実現するために、もっとも確実な方法は SOA への注入電流をより高いものとすることで ある。大平氏測定で増幅透過を達成した際では、SOA への注入電流が 300 mA ずつとなっていた。また大平氏 測定で用いた SOA では最大出力が今回使用のものよりも高い値となっており、飽和による影響を調べる必要 もあると考えられる。

#### 5. 結論

本研究では DISC 型全光ゲートの高速動作および DISC-LOOP のパルス発振条件改善のため、増幅透過を目 標に SOA のカスケード接続を用いて DISC ゲート透過率の向上を図ることを目的としていた。測定結果から、 カスケード接続によって非線形位相シフト量、透過率の向上が実現でき、偏光を調整することでさらなる透過率を 得られる事が実験的にわかった。ただし本研究では、SOA の増幅透過は行えておらず出力のさらなる向上を目指す 必要がある。今後の課題としてはこれを実現することがまず一つあがる。更に、カスケード時の透過率の偏光や入 力強度に対する依存度なども見ていく必要がある。

#### 参考文献

[1] Y. Ueno, S. Nakamura, and K. Tajima, "5-ps, 10-GHz pulse generation from an all-optical semiconductor switch embedded in a ring cavity," App. Phys. Lett., Vol. 79, No. 16, pp. 2520-2522 2001
[2] 大平高志、"超高速光ゲートの時間多重信号周波数スケーリング則の研究"、修士論文 2007.

[3] 竹内宏幸、"Q-sw 保護回路を内蔵する光クロック信号源の開発"、 修士論文 2009

4