半導体全光ゲートの高密度電流注入・高速化実験用に微小発熱体

## を利用する負帰還温度制御・導波路結合安定化方式の開発

先進理工学専攻 上野研究室 吉川 恵太

#### 1 はじめに

半導体光増幅器(SOA)を含む全光ゲートは、 超高速動作、低消費電力、集積化が可能な点 から超高速・大容量な光通信を実現する素子 として期待されている<sup>[1]</sup>。全光ゲートにおい て重要な2つのパラメータとしてSOAの緩和 時定数と非線形位相シフト量がある。SOAの 緩和時定数は全光ゲート動作の限界速度を 決定づけ、非線形位相シフト量は出力光の消 光比を決定づける。SOAの緩和時定数を短く する手法としては光加速効果が挙げられる。 光加速効果とは光注入によって緩和時定数 を短くする効果のことである。光加速効果を 得るためにはSOAの透明波長に第三の光を 注入する方法などいくつかの方法があるが、 本研究ではCW光高強度注入をターゲットと する。このCW光高強度注入はSOA内のキャ リアの定常状態を下げ、緩和時定数を短縮す る方法であるが、この時非線形位相シフト量 が小さくなってしまう。そこで大きな非線形 位相シフト量を得るために、SOAへの高密度 電流注入が必要となる。しかし、SOAへの高 密度電流注入を行う際、SOA発熱量がより大 きくなり、従来のSOA温度制御方式ではSOA と光結合している先球ファイバとの相対位 置がずれることに起因する光結合損失の増 大が無視できなくなってきた。

本研究ではSOA台座における従来の温度 制御方式を見直し、新たな温度制御方式であ る発熱補償温度制御方式を開発した。この温 度制御方式の有効性を実証し、実際に用いて 高密度電流注入によりSOAの緩和時定数を 短縮した。

#### 2 光結合損失増大要因

図 1(a),(b)に実際の実験構成写真を示し、 図2に本実験のchip型SOA とその固定用マ ウント・ステージの模式図を示す。 chip 型 SOA はマウント上部に固定されており、 SOA との光入射・受光は左右のアームに固 定された先球ファイバを用いている。SOA の温度制御はサーミスタとペルチェ素子に 取り付けてある温度調整器(温調)が行う。 SOA 下部のサーミスタの抵抗値から SOA 温度を常時算出し、目標の設定温度になる ように温調がペルチェ素子を使って吸熱ま たは発熱させるように電流を流して温度制 御を行っている。SOA の発熱量が増加した 場合、ペルチェ素子は設定温度に保つよう に吸熱量を増加する。この時、マウント-ス テージへの排熱量も増加するため、マウン ト-ステージの熱膨張量が増加し、台座上の SOA とアームで固定された先球ファイバの 相対位置がずれてしまう。このことが SOA と先球ファイバとの光結合損失増大を引き 起こす(図 3)。





# 3 発熱体(チップ抵抗)を用いた発熱 補償方式

2010年博士前期課程の中原康貴氏が提案 した発熱補償方式は図2にある発熱体(チッ プ抵抗)を使い、発熱体とSOAの発熱量を 一定にすることによりペルチェ素子のマウ ント-ステージへの排熱量を一定に保つ方 式である(図4)。この方式を使えば、原理的 に発熱量は一定に保つことができ、光結合 損失は増大しない。しかし、手動制御で行 っていたため発熱量に差異が出てしまうこ とがある。差異が出てしまうと、サーミス タが差異を検知し、温調がペルチェ素子の 排熱量を増減させてしまい、chip型SOAと ファイバ間の光結合損失が増大してしまう。 (図5)





# Lensed fiber SOA

図 1. 実験構成写真 (a)実験環境全体図 (b)光結合の様子



図 2. SOA 固定用台座とステージの模式図



## 4 発熱補償温度制御方式

新たな負帰還温度制御方式として発熱補 償温度制御方式を提案する。今回の発熱補 償温度制御方式の概念を図6に示す。ペル チェ素子による温度制御方式ではペルチェ 素子を温調によって自動で制御し、温度を 一定に保っている。しかし、ペルチェ素子 からマウントへ排出される熱量は一定には ならない。発熱補償温度制御方式ではペル チェ素子で一定量の吸熱と排熱を行う。温 調を発熱体につなぐことにより、発熱で chip 型 SOA の温度を制御する構成にした (図 7)。 chip 型 SOA の発熱量が変わった場 合、自動的に発熱体の発熱量が変動するた め chip 型 SOA の温度は一定に保たれる。こ の時マウント-ステージ部への排熱量は一 定に保たれるため熱膨張量増大が起きない。



図 6. 発熱補償温度制御方式の概念



図 7. 発熱補償温度制御方式の構成

### 5 熱膨張量の抑制

ペルチェのみの負帰還温度制御方式、発 熱補償方式、発熱補償温度制御方式の3方 式を用いてSOA 台座ステージ-マウント部 の熱膨張量を測定した。熱膨張量はマウン ト部とステージ部の上下の温度をそれぞれ 測定し、マウント部の材料(アルミ)の線膨張 率2\*10<sup>-6</sup>[/K]と長さ15 mm、ステージ部の材 料(鉄)の線膨張率12\*10<sup>-6</sup>[/K]と長さ45 mm から算出した(図8)。SOA(ここでは擬似抵 抗を用いた)の発熱量を0.10Wとし、十分 に熱平衡状態達した後0.47Wへ切り替え、 60分後また0.10Wへ切り替えた。この時の SOA 台座ステージ-マウント部の熱膨張量 の推移を描いた(図9)。





従来方式よりも今回開発した発熱補償温 度制御方式の方が熱膨張を抑制できている ことが分かる。実験内で、ペルチェのみの 負帰還温度制御の最大熱膨張量は 1.4 μm、 発熱補償方式は 0.6 μm、発熱補償温度制御 方式は 0.1 μm であった。

#### 6 光結合損失増大の抑制

従来のペルチェのみの負帰還温度制御と 発熱補償温度制御方式を用いて、chip 型 SOA の自然放出光(ASE)の強度推移を比較 した(図 10)。十分に熱平衡状態にした後、 SOA の注入電流を 100、200、100、300、100 mA と 30 分毎に切り替えた。結果は図 11 である。



図 10. 光結合損失増大測定の実験構成図 @発熱補償温度制御方式



図11. 自然放出光強度の時間変動比較 ペルチェ素子のみの温度制御方式では200、 300 mA時それぞれ30分間で1.3、8.0 dB光結合 損失が増大してしまうが、発熱補償温度制御 方式ではそれぞれ0.09、0.12 dBしか光結合損 失は増大せず、今回開発した発熱補償温度制 御方式の有用性を示した。

## 7 高密度電流注入時の緩和時定数

前述の発熱補償温度制御方式を用い、緩 和時定数を測定した(実験構成図:図 12、結 果:図 13)。cw 光波長 1540 nm、強度 0 dBm、 パルス光波長 1555 nm、1 つ当たりのパルス エネルギー300 fJ を SOA に同時に入射し、 相互利得変調(XGM)波形から緩和時定数を 見積もった。chip 型 SOA は米国 InPhenix 社 製、利得帯域 1.5 µm 帯、活性層幅 2 µm、活 性層長 300、700、1000 µm の三種類を使用 した。





図 13. 注入電流密度対緩和時定数 従来の温度制御では測定困難だった高密 度電流注入時(図 13 赤丸)の緩和時定数を見 積もることが出来るようになった。また注 入電流増大及び活性層長延長により、緩和 時定数は短縮された。

#### 8 結論

光結合損失増大の無い温度制御方式とし て発熱補償温度制御方式を提案し、それを実 証した。この温度制御方式を用いることで測 定困難だった高密度電流注入領域まで測定 を行うことが出来る。今回はその例として緩 和時定数を測定し、注入電流増大及び活性層 長延長により、緩和時定数が短縮される結果 を得た。発熱補償温度制御方式はどの研究機 関においても簡単に構成でき、汎用性が高い ため、今後のSOAを用いた全光ゲート研究の 発展に期待できる。

#### 参考文献

- [1] Y. Liu et al, OSA/IEEE JLT, Vol. 25, pp. 103 (2007)
- [2] Zhi Wang et al, SPIE, Vol. 6838, 68380R-1 (2008)
- [3] 中原 康貴他,電子情報通信学会,講演番号 176 (2011)

#### 発表実績

[1] 吉川恵太、中原康貴、竹内宏幸、上野芳康「半 導体全光ゲートの高密度電流注入・高速化実験用 に微小発熱体を利用する負帰還温度制御・導波路 結合安定化方式の開発」2013年春季 第60回 応用 物理学会連合講演会 (3/29 発表予定) 2013 年春季第 60 回応用物理学会学、29p-B3-6、2013/03/27~30

半導体全光ゲートの高密度電流注入・高速化実験用に微小発熱体 を利用する負帰還温度制御・導波路結合安定化方式の開発 Development of the negative-feedback-temperature-control and waveguide coupling stabilizing system using minute heating element for ultra-high-speed all-optical-gate experiment by high-density current injection

**電通大先進理工**<sup>1</sup>, <sup>0</sup>吉川 恵太<sup>1</sup>, 中原 康貴<sup>1a)</sup>, 竹内 宏幸<sup>1b)</sup>, 上野 芳康<sup>1</sup> Univ. of Electro-Communications<sup>1</sup>, <sup>°</sup>Keita Yoshikawa<sup>1</sup>, Yasutaka Nakahara<sup>1a)</sup> Hiroyuki Takeuchi<sup>1b)</sup> and Yoshiyasu Ueno<sup>1</sup>

E-mail: yoshiyasu.ueno@uec.ac.jp

#### 1. 序論

半導体光増幅器(SOA)を含む全光ゲートは、超高 速動作、低消費電力、集積化が可能な点から超高 速・大容量な光通信を実現する素子として期待さ れている<sup>[1]</sup>。SOAの周波数限界速度は一般的にキ ャリアの回復速度に制限され、その回復速度を速 める効果として光加速効果がある。光加速効果は いくつかの手法があるが最も簡単で効果的な方 法として注入電流量の増大が挙げられる<sup>[2]</sup>。しか し、注入電流量を増大するとともに SOA でのジ ュール熱も増大し、chip 型 SOA を支えるマウン ト-ステージ部の熱膨張につながる。この熱膨張に より、chip 型 SOA と先球ファイバとの光結合が ずれ、光結合損失増大を引き起こしていた。そこ で新たに発熱体(チップ抵抗)を付加する温度制御 方式を提案する<sup>[3]</sup>。今回、chip型 SOA の台座の温 度制御系を見直し、新たな温度制御方式を提案し、 高密度電流注入によるゲート動作高速化につい ての成果を報告する。

#### 発熱補償温度制御方式の原理 2.

新たな温度制御方式として発熱補償温度制御 方式を提案する。従来の一般的なペルチェ素子に よる温度制御方式と今回の発熱補償温度制御方 式の概念を図1に示す。ペルチェ素子による温度 制御方式ではペルチェ素子を温度調整器(以下温 調)によって自動で制御し、温度を一定に保ってい る。しかし、ペルチェ素子からマウントへ排出さ れる熱量は一定にはならない。発熱補償温度制御 方式ではペルチェ素子で一定量の吸熱と排熱を 行う。温調を発熱体につなぐことにより、発熱で chip 型 SOA の温度を制御する構成にした(図 2)。 chip 型 SOA の発熱量が変わった場合、自動的に 発熱体の発熱量が変動するため chip 型 SOA の温 度は一定に保たれる。この時マウント-ステージ部 への排熱量は一定に保たれるため光結合損失増 大が起きない(図3)。

(a)	発熱量	chip SOA		(b)	発熱量	chip SOA	チッ	プ抵抗
	吸熱量	ペルチェ素子	放熱		吸熱量	ペルチェ	素子	放熱



- 図 1. 温度制御方式の概念図 ペルチェ素子による温度制御方式 (a)
  - (b) 発熱補償温度制御方式



#### 高密度電流注入時の緩和時定数 3.

前述の発熱補償温度制御方式を用い、緩和時定 数を測定した(図 4)。cw 光波長 1540 nm、強度 0 dBm、パルス光波長 1555 nm、1 つ当たりのパル スエネルギー300 fJ を SOA に同時に入射し、相互 利得変調(XGM)波形から緩和時定数を見積もっ た。chip 型 SOA は米国 InPhenix 社製、利得帯域 1.5 µm 帯、活性層幅 2 µm、活性層長 300、700、

1000 µm の三種類を使 用した。

従来の温度制御では 測定困難だった高密度 電流注入時(図4赤丸)の 緩和時定数を見積もる ことが出来るように



図 4. 注入電流密度対緩和時定数 なった。また注入電

流増大及び活性層長延長により、緩和時定数は短 縮された。

#### 結論 4.

光結合損失増大の無い温度制御方式として発 熱補償温度制御方式を提案し、それを実証した。 この温度制御方式を用いることで測定困難だっ た高密度電流注入領域まで測定を行うことが出 来る。今回はその例として緩和時定数を測定し、 注入電流増大及び活性層長延長により、緩和時定 数が短縮される結果を得た。発熱補償温度制御方 式はどの研究機関においても簡単に構成でき、汎 用性が高いため、今後の SOA を用いた全光ゲー ト研究の発展に期待できる。

#### 参考文献

6

- Y. Liu *et al*, OSA/IEEE JLT, Vol. 25, pp. 103 (2007)
  Zhi Wang *et al*, SPIE, Vol. 6838, 68380R-1 (2008)
- [3] 中原 康貴他, 電子情報通信学会, 講演番号 176 (2011)

a)現在:NTTコミュニケーションズ株式会社 b)現在:三菱重工株式会社