

# 新しい温度制御方式を用いる SOA-DISC ゲート動作の 高速化実験研究

電子工学専攻 上野研究室 中原 康貴

## 1. はじめに

半導体光増幅器(SOA)を用いた全光ゲートは超高速光通信を担うデバイスとして注目されている<sup>[1]</sup>。その中でもモジュール化されていないチップ型 SOA は、汎用性が高く、SOA 単体での評価が可能という利点から研究が進められている。また、ゲート動作の高周波化に向けた SOA への要求として、高い位相シフト量と短いキャリア緩和時定数を効率よく得られるという点から、注入電流増大が効果的とされている。チップ型 SOA を用いた全光ゲート実験では、SOA 温度を一定に保つため、温度制御器を用いた負帰還温度制御が行われている。しかし、実験中の SOA 注入電流増減時に、SOA 導波路への光カップリングロスが長時間に渡り増大し、入出力強度が低下していた。またこの現象は高注入電流時ほど顕著に現れ、高周波化実験での系統的調査の妨げとなっていた<sup>[2]</sup>。

本研究では、従来型温度制御方式でのカップリングロス増大の原因を解明し、新しい温度制御方式を提案・実装した。本方式を用いることで、従来方式温度制御における、長時間に渡るカップリングロス増大という問題を解消し、DISC-Gate の高周波動作へ必要とされている、SOA 注入電流増大実験を可能にした。また 25GHz での DISC-Gate 実験において、新方式を用いることで従来方式よりも出力消光比を改善することができたので、ここで報告する。

## 2. 光導波路への光カップリング方法

チップ型 SOA 光導波路への光カップリングの顕微鏡写真を図 1 に示す。チップ型 SOA への光カップリングには先球ファイバを用いた空間伝播カップリングを行っている。xyz 微動可能なステージに固定された先球ファイバ（入出力両端）と SOA 光導波路の相対位置を調整することで、光カップリング精度の調整を行っている。

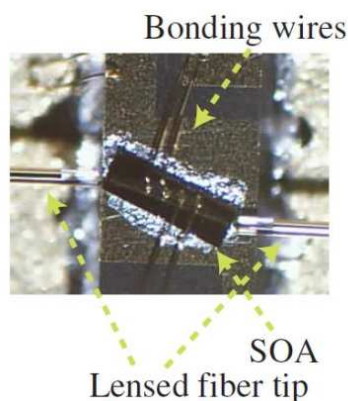


図1 チップ型 SOA 光導波路光カップリング

### 3. 従来・方式温度制御方式の原理

#### 3.1 従来方式温度制御の原理とカップリングロス増大の原因

従来方式温度制御の構成と負帰還温度制御の制御系を図 2、3 に示す。実験中に SOA を固定し、定温 (25℃) に保つ為、チップ SOA はマウント上部 (酸化銅) に固定している。SOA 注入電流量によるジュール熱 ( $W_{SOA}$ ) は、下部に設置したサーミスタへと伝導し、その温度変動をサーミスタで抵抗値として常時モニタリングする。その情報は外部温度調整機器へと送られ、内部負帰還制御回路により、ペルチェ冷却器への注入電流量を決定される。ペルチェ冷却器へと電流を注入することでゼーベック効果により、SOA ジュール熱はペルチェ冷却器下部へと排熱 ( $W_{Exhaust}$ ) される。この負帰還温度制御により、SOA 近傍温度を定温に保っている。

長時間に渡る光カップリングロス増大の原因となっていたのは、この  $W_{Exhaust}$  によるマウント部分の熱膨張 ( $\Delta l$ ) によるものであった (式 1)。SOA 注入電流増大に伴い  $W_{SOA}$  も増大する、その発熱量増大分をマウントへと排熱するために、ペルチェ冷却器の注入電流も増大する。その結果マウント温度も上昇する。しかしペルチェ冷却器の吸熱能力は吸熱部と排熱部の温度が重要となってくるため、マウント温度が上昇すると、冷却力が低下する。それを補うためにペルチェ冷却器への注入電流を増大していた。その結果マウント温度が再度上昇し、これが長時間にわたる  $W_{Exhaust}$  の増大へとつながり光カップリングロス増大を導いていた。

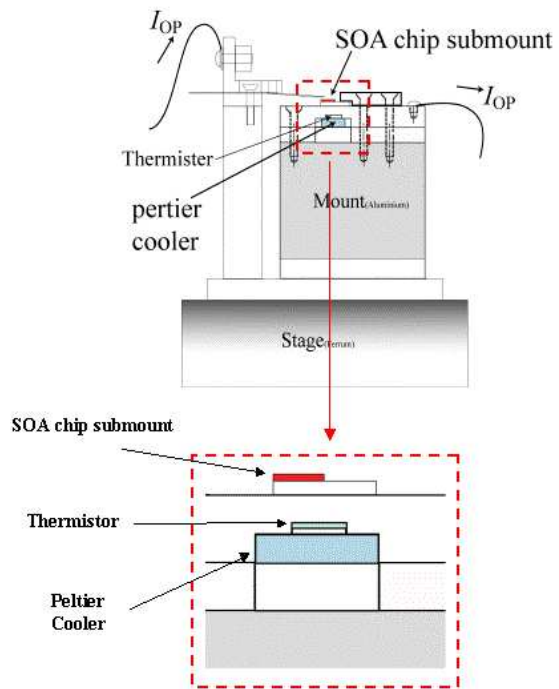


図 2 従来方式温度制御実験構成

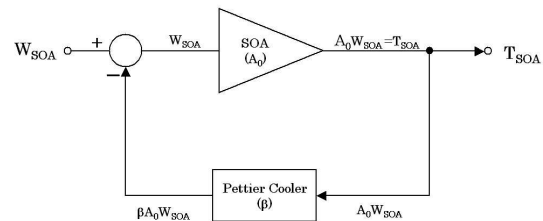


図 3 負帰還温度制御系

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T$$

$$\Delta T \propto W_{Exhaust} \doteq W_{SOA} + W_{Peltier} \quad \dots(\text{式 1})$$

[  $\Delta T$ : 台座温度変動量,  $\alpha$ : 線膨張係数,  $l$ : 台座長 ]

### 3.2 新方式温度制御の動作原理

新方式温度制御では、SOA 近傍に抵抗器を取り付けた。この抵抗器は発熱体として動作し SOA と抵抗器を一つの発熱体としてみなす。動作原理としては、実験中に SOA 注入電流増減により発熱量 ( $W_{SOA}$ ) が  $\Delta W_{SOA}$  増大した場合に、抵抗器の発熱量 ( $W_{Res}$ ) を  $\Delta W_{Res}$  減少させる (図 4)。

この結果 SOA と抵抗器の総発熱量は時間的に変動せず一定に保たれる。つまり抵抗器の発熱量を調整することで、総発熱量の補償を目的としている。これにより、一旦温度制御系が定常状態に達すると、その後 SOA 注入電流を増減させても、総発熱量は補償されるため、ペルチェ冷却器の吸熱量は時間的に一定に保たれる。その結果マウントへの排熱量 ( $W_{Exhaust}$ ) も時間変動しない為、熱定常状態が保たれ、マウントの熱膨張・収縮が生じず長時間に渡るカップリングロス増大の抑制が可能となる。



図 4 新方式温度制御の動作原理

### 4. 新方式温度制御を用いたカップリングロス増大抑制

今回はカップリング精度を示す指標として、カップリングロスと相関関係にある SOA 導波路から先球ファイバへの自然放出 (ASE) 受光強度を用いた。受光強度と光カップリングロスの関係を図 5 に示す。ASE 受光強度が減少するに連れてカップリングロスが増大していることがわかる。

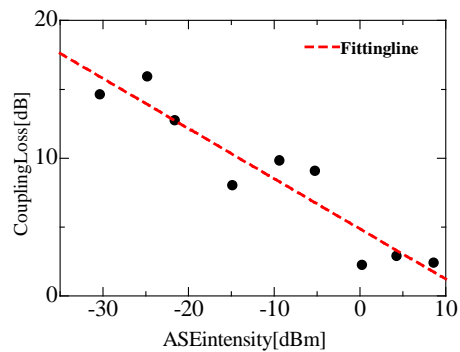


図 5 ASE 受光強度と光カップリングの関係

ASE 受光強度測定構成図を図 6 に示す。また台座の上部・下部計 4 点の温度上昇量を計測し、そこから熱膨張量を見積もった。ASE 受光強度と台座熱膨張量の時間変動量測定結果を図 7 に示す。また実験中の  $W_{SOA}$ ,  $W_{Resistor}$ ,  $W_{Total}$  を表 1 に表す。

$W_{SOA}$  を 100 から 430 mW (注入電流 100 から 300 mA) に増大した時、従来方式では、Output 側の ASE 受光強度が平衡状態に達するまでの時間 ( $\tau_2$ ) は 150 分要し、ASE 受光強度は 28.9 dB 減少しているのに対し、新方式では 5 分と短縮され ASE 受光強度減少は 0.5 dB 以下となった。これは台座の熱膨張量が従来型の 3  $\mu\text{m}$  に対し、0.5  $\mu\text{m}$  と 1/6 に抑えられている為である。また SOA 発熱量減少時にも同様の結果が見られた。

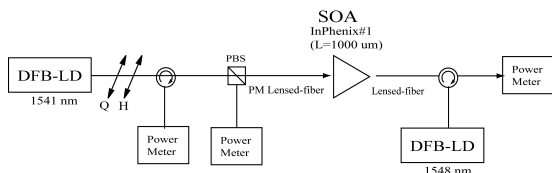


図 6 ASE 受光強度測定構成図

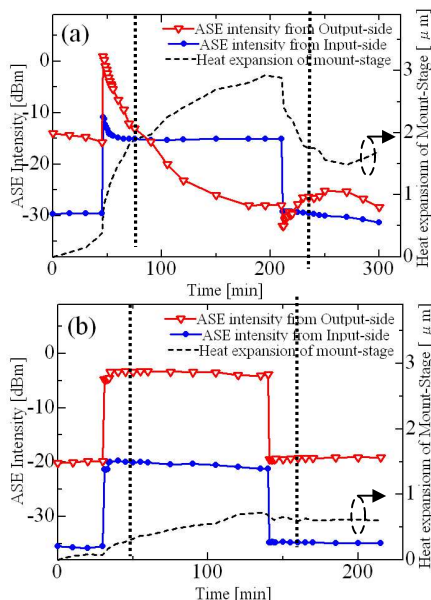


図 7 ASE 光強度・台座熱膨張時間変動量  
[(a)従来型 (b)新方式]

表 1 SOA・抵抗の発熱量と総発熱量  
[(s)従来型 (b)新方式]

(a)

Time [min]	$W_{SOA}$ [mW]	$W_{Res}$ [mW]	$W_{Total}$ [mW]
0-30	100	Non	<b>100</b>
31-140	430	Non	<b>430</b>
141-	100	Non	<b>100</b>

(b)

Time [min]	$W_{SOA}$ [mW]	$W_{Res}$ [mW]	$W_{Total}$ [mW]
0-45	100	430	<b>530</b>
46-210	430	100	<b>530</b>
211-	100	430	<b>530</b>

次に  $+\Delta W_{SOA}$  が 50, 150, 250, 350 mW の条件下で、ASE 受光強度の緩和時間 ( $\tau_2$ ) とその間の ASE 変動量を従来・新方式の両方式で測定した (図 8)。これにより  $\Delta W_{SOA}$  が大きいほど、 $\tau_2$  の短縮効果が高くその間 ASE 強度減少量は小さくなっている。結果として新方式の効果は強くなっているといえる。

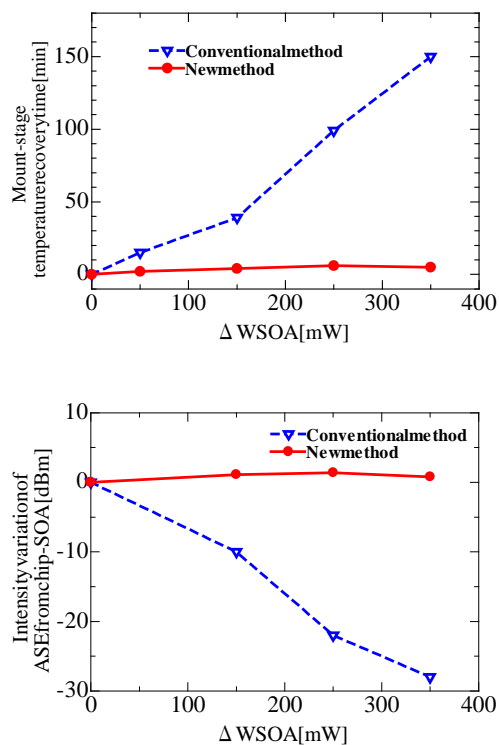


図 8 SOA 発熱増大量による  $\tau_2$  と ASE 変動量の関係

## 5. 新方式温度制御を用いた DISC-Gate 出力消光比改善

図9に25GHzDISC-Gate 実験構成を示す。MLFL から出力された繰り返し周波数 12.5GHz のクロックパルスは MUX により 25GHz へと多重される。SOA への入力光は、25GHz、50fJ/bit (into chip) のパルス光と、0dBm (intochip) の cw 光を入射した。また SOA への注入電流は200,300mA 注入する。SOA から出力された光はマツハツェンダ干渉計へと入射し、その後のバンドパスフィルタにより cw 光波長 (1541nm) のみを透過させる。その後相互相関計により時間波形を観測する。

実験手順としては、まず SOA 注入電流 200 mA に設定し、マウント-ステージが熱平衡状態に達し、それに伴う ASE 受光強度減少の収束も確認する。その後、注入電流を 300mA に増大させ、DISC-Gate 出力消光比の時間変動を従来方式と新方式温度制御を用いてどの程度改善されたかを観測する。両方式を比較したものを図 11 に示した。

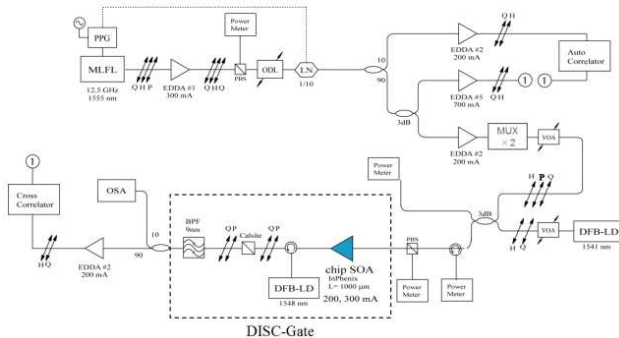


図 10 25GHzDISC-Gate 実験構成図

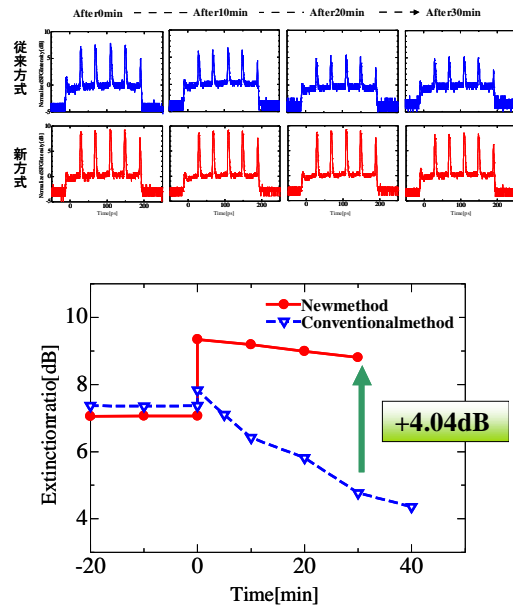


図 11 DISC-Gate 出力消光比 (従来・新方式)

図 11 より従来方式温度制御では時間経過において DISC-Gate 出力消光比が減少しているのに対し、新方式温度制御では出力消光比を維持しているのがわかる。注入電流増大 30 分後、新方式では従来方式温度制御と比べ出力消光比が+4.04 dB 改善された。これにより新方式温度制御を用いることでより定量的・定性的なゲート動作実験が行えることを証明した

## 6. おわりに

SOAチップを用いたゲート動作実験では、注入電流増加に伴って光結合損失が大きく変動し続けやすく、十分なcw光入力・データ光入力を得にくいという制限が存在し、高注入電流実験の妨げとなっていた。

そこでまず、SOA ジュール熱がマウントへ伝導する際の、冷却素子近傍の伝熱素材の熱膨張・収縮が損失変動原因であることを、改めて段階的に調査かつ因果関係分析した(損失量が平衡に達するまでの緩和時間が、局所的熱平衡状態に達するまでの温度制御時定数などにより決定される因果関係を分析した)。次に、新方式温度制御を実行するために、新型マウント治具構造を設計かつ実装した。この方式では、SOA 注入電流増減操作に伴う発熱量変動を相殺するように抵抗器の発熱量を増減制御し、発熱合計量を一定に保つ。SOA チップ近傍に微小な発熱補償物体(チップ抵抗器)を、特にその取付方法選択に最大の注意を払った上で、密着固定した。SOA 発熱量を 300 mW 増大させる際の損失増大量は、1/30 に抑えられた(温度制御安定化時間は 150 分から 5 分に短縮された)。また 25 ギガヘルツゲート動作実験で新方式の効果を試したところ、出力消光比低下量が 4dB 程度改善された。

## 引用文献

- [1] Y. Liu, E . *et al* ., JLT, vol. 25, 103,(2007)
- [2] 坂口淳氏 博士論文 chap.2, pp.23(2008)