

100Gbit/s CFP 光トランシーバ搭載用 小型半導体光増幅器 (SOA モジュール)

Semiconductor Optical Amplifier Module for 100GBASE-ER4

寺西 良太*

Ryota Teranishi

金丸 聖

Satoru Kanemaru

山内 康之

Yasuyuki Yamauchi

阿部 務

Tsutomu Abe

藤原 泰

Yasushi Fujihara

佐藤 敬二

Keiji Satoh

筆者らは 100 Gbit/s -CFP トランシーバ内蔵用の光アンプ用途として、小型 SOA モジュールを開発した。小型化を達成するため、パッケージング／光学デザインの最適化を行い、またトランシーバ内のファイバ取り回しを考慮し、曲げ半径の小さい R7.5 mm ファイバ (SEI 製 PA-A2) を採用した。光アンプの特性として、IEEE 802.3ba (CFP-ER4) 規格を満たすための利得、LAN-WDM 帯域をカバーする利得帯域の確保、利得の低偏波依存性を達成した。

The authors have developed a semiconductor optical amplifier (SOA) for a 100 GE CFP transceiver module. The design and packaging of the optical coupling system have been improved for downsizing, and an optical fiber with a small bend radius (7.5 mm) was adopted for flexible layout. The amplifier meets the IEEE 802.3ba 100GBASE-ER4 standard, and features a gain bandwidth covering the LAN-WDM bandwidth and low polarization dependence of the gain.

キーワード：半導体光増幅器、CFP 光トランシーバ、100GBASE-ER4、IEEE802.3ba

1. 緒 言

近年要求される通信トラフィックの増大に対応するため、光通信の伝送スピードは現在主流の 10Gbit/s からより高速の 100Gbit/s への要求が高まっている。

現在 100G Ethernet では業界標準として CFP (Centum gigabit Form Factor Pluggable) 光トランシーバが採用されている。10km 伝送仕様である LR4 規格の CFP 光トランシーバには用いられていないが、40km の長距離伝送仕様である ER4 規格では CFP 光トランシーバに内蔵した光増幅器を用いて伝送ロスを補う方式が採用されている。光増幅器は波長帯域や小型化の観点からファイバアンプではなく、半導体光増幅器 (Semiconductor Optical Amplifier 以下 SOA) が用いられることとなった。今回、我々は CFP 光トランシーバに搭載可能な小型 SOA モジュールの開発を行った。使用部品の最適化による小型化を行い、また 100GBASE の長距離伝送で求められるアンプ特性を実現した。

本稿では、開発した SOA モジュールの構造と特性について報告する。

2. 開発方針、および仕様

今回開発した SOA モジュールは CFP 光トランシーバ内に搭載され 40km 伝送後のロス補償を行うプリアンプとして用いられる。図 1 に CFP 光トランシーバ内の SOA の配置を示す。SOA モジュールは CFP 光トランシーバの受信側に配置される。

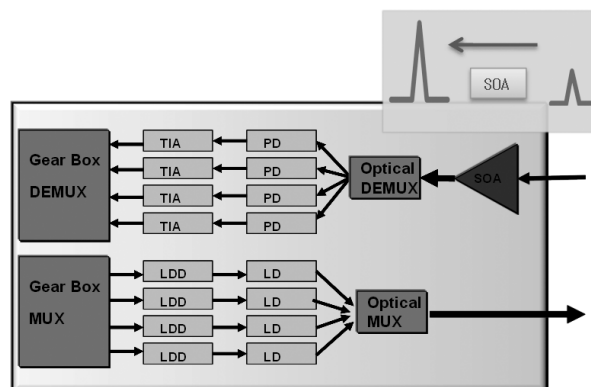


図 1 CFP 光トランシーバ内の SOA 配置

40km 伝送された 25Gbit/s LAN-WDM の 4 チャンネル光信号は SOA モジュールで同時増幅され、後段の OPTICAL DEMUX を介して各チャンネルの受光素子 (PD) に入力される。

表 1 に今回開発を行った SOA モジュールの仕様を示す。SOA モジュールに要求される特性として 40km 版の ER4 規格の入力レンジから、SOA の搭載されていない 10km 版の LR4 規格の入力レンジまでの増幅が必要となる。IEEE802.3ba 100GBASE-ER4 の最小受信感度レベル OMA : -21.4dBm と LR4 のレベル : -8.6dBm の差 12.8dB が必要とされる利得であるため、この値に劣化マージン分 ~1dB を加えて 14dB を利得特性の目標値とした。

SOAモジュールはCFP光トランシーバ（145.0mm×82.0mm×13.6mm）に搭載されるため、一般的な14ピンバタフライタイプのSOAモジュールから大幅に小型化が必要であった。目標とするSOAモジュールサイズとして全長45.0mm、全幅12.0mm、全高6.5mm以下をターゲットとした。

表1 モジュール仕様

項目	値	単位
動作ケース温度	-5°C~+75°C	°C
外形寸法	全長40.1 全幅 10.6 全高 5.8 注)ファイバ/コネクタ/リード部は含まず。	mm
光インターフェイス	両端ピグテイル (LCコネクタ/コネクタレス)	
電気インターフェイス	8ピン リード	
増幅信号帯域	1294~1315	nm
動作電流	MAX 250	mA
利得	14~22	dB
利得偏波依存	MAX 2.5	dB
飽和光出力	MIN 7.0	dBm
消費電力	MAX 2.5	W

3. SOAモジュールの構造

今回開発したSOAモジュールと14ピンバタフライタイプのSOAモジュールの比較写真を写真1に、内部断面図を図2に示す。

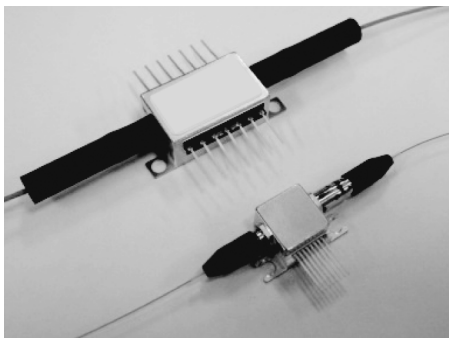


写真1 バタフライタイプとのサイズ比較
(上: 14ピンバタフライタイプ 下: 新規開発品)

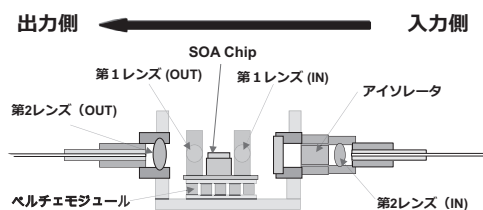


図2 モジュール断面図

モジュールサイズの縮小を達成するために第2レンズホルダ、ペルチェモジュール等の最適化を行った。

また外部リード/モジュール固定のフランジを片側のみ配置にしている。これらの構成により一般的な14ピンバタフライタイプのSOAモジュールと比較し実装時の占有体積は30%に抑えられた。

入射からの出射までの光路設計については、光学ロスを極力さけるため、入力光から増幅光の光路を直線上に置く設計を取った。

SOAモジュール入力側のファイバ端から第2レンズ(IN)でコリメート化された入力光が偏波無依存アイソレータを通過して、PKG内に導入され第1レンズ(IN)でSOAチップの活性層に入射する。入力光は活性層内で増幅されSOAチップの逆側から出力光として放出される。その後入力側と逆の順序で第1レンズ(OUT)によりコリメート化されその後PKGに側壁に実装した第2レンズ(OUT)で集光し出力側のファイバ端に入力される。

また今回開発したSOAモジュールのファイバは最小曲げ半径R7.5mm(従来品はR20.0mm)のタイトバンドファイバ(住友電工製タイトバンドファイバ: PureAccess®-A2)を採用しており、光トランシーバ内でのファイバの取り回し性の向上を図っている。

図3にSOAモジュールのブロックダイアグラムおよび各ピンの機能を示す。

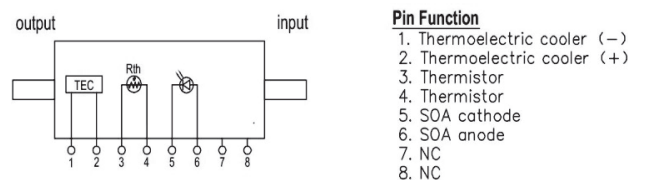


図3 ブロックダイアグラム/ピンアサイン

今回採用したSOAチップは動作温度を一定で駆動できるように、SOAチップ近傍に搭載したサーミスタ抵抗値のフィードバックから温度制御する構成としており、SOAチップキャリア、入力/出力側の第1レンズをペルチェモジュール上に搭載している。

4. 特性 (基礎特性)

SOAの基礎特性として利得 (Gain)、飽和光出力 (Ps: Power saturation)、利得偏波依存 (PDG: Polarization Dependent Gain) の評価結果を示す。図4に利得のSOA電流依存性、図5に飽和利得特性を示す。増幅信号波長はLAN-WDMの両端の短波側L0 (1294.60nm) と長波側

L3 (1310.10nm) を用いている。得られる利得について各信号波長ともにSOA電流が80mA以上であれば目標特性の14dB以上の利得を得られることが確認できた。またL0、L3とも飽和光出力（最大Gainから-3dB低下したGainでの光出力。）はそれぞれL0：10.5dBm、L3：11.5dBmと目標の7dBmを満足している。図6に利得と

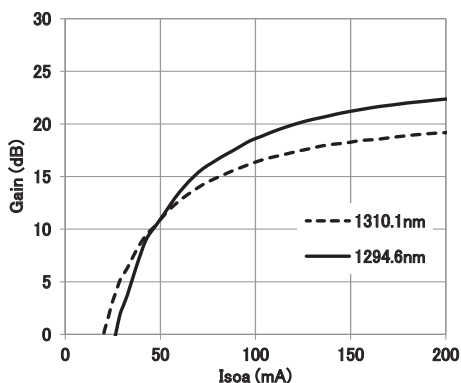


図4 利得のSOA電流依存特性

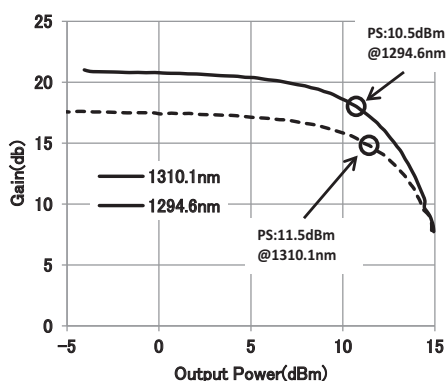


図5 飽和光出力特性

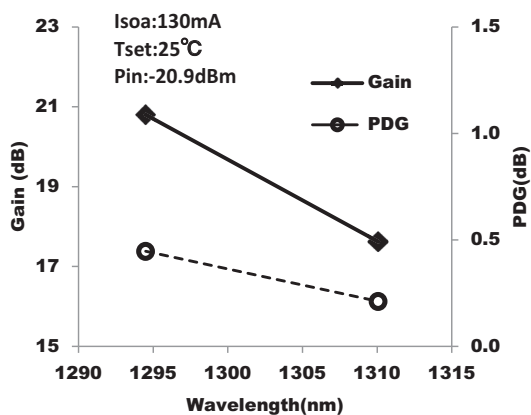


図6 利得／PDGの信号波長依存特性

PDGの信号波長依存性を示す。評価条件はSOA電流値が130mA、動作温度が25°C、入力信号の光出力は-20.9dBmとした。SOAは一般的に入力光の偏波状態により利得差が生じやすい。偏波依存特性が大きい場合、偏波状態により後段の受光素子に入力される光出力が変動してしまうため、偏波依存は小さい方が望ましい。今回使用したSOAチップは構造の最適化によりPDGを極力抑えた設計となっている。L0、L3信号波長ともにPDGは0.5dB以内に収まっており、良好な特性を得られている。

次にLAN-WDMの4波長を同入力した際の評価結果を示す。今回開発したSOAモジュールはLAN-WDM信号を同時に増幅する特性が求められ、後段の受光素子の感度幅を考慮すると、各信号波長でのSOA出力の差はできる限り小さいことが望まれており、市場要求として4dB以下が要求されている。図7にLAN-WDMの4波同時入力での増幅前後のスペクトルを示す。評価条件は各チャンネル-20.9dBmを入力し、SOAモジュールの動作条件は電流130mA、動作温度25°Cとした。チャンネル間の利得差は3.5dBに収まり要求の4dB以下を満足している。

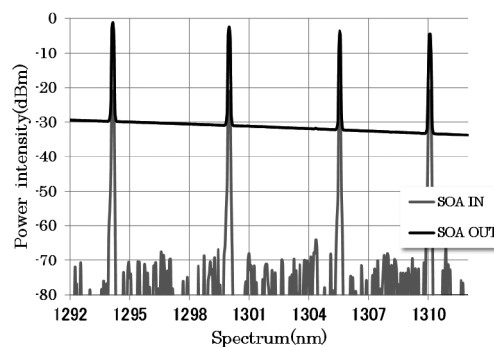


図7 同時入力時スペクトラム

5. 光波形／伝送評価

図8にSOA使用の有無による25Gbit/sの光波形の違いを示す。

評価方法はビットレート25.781Gbit/s、PRBS 2³¹-1の光信号をアテネータで-20dBmまで減衰させた後、SOAモジュールで減衰前と同レベルまで光出力を増幅させ光波形を観測した。双方の波形共にベッセルトムソンフィルタ透過後の波形である。SOA増幅後はONレベルノイズの増加が見られるものの、消光比 (ER) の変化はSOA増幅前後で8.7dBから8.4dBであり、変化は0.3dBに押さえられている。

次に25Gbit/s TOSAとROSA対向させた伝送試験でSOAを間に配置して行った伝送ペナルティの評価結果を示す。25Gbit/s TOSA、ROSAはSEDI製STN41QD (TOSA) とSPG72FV (ROSA) を使用した。

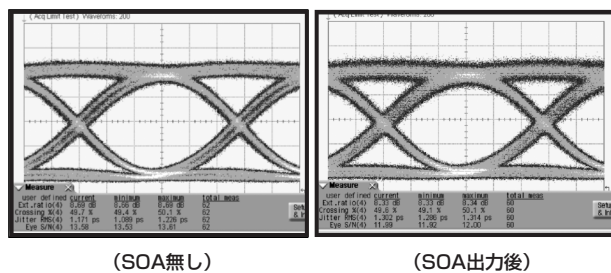


図8 SOA入力前後の光波形

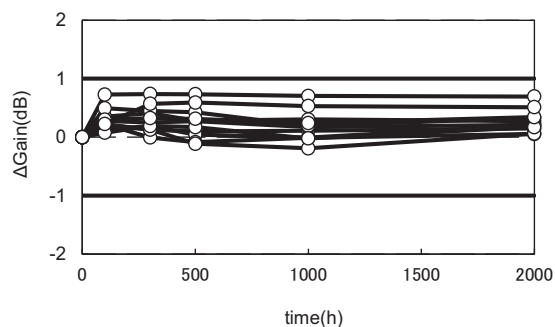


図10 高温放置試験結果

図9にSOAの有無での受光素子の受信感度を示す。

測定条件は入力信号については上記光波形評価と同様で(信号波長はL0:1295.60nm) SOA電流を55mA、動作温度25°Cとして評価を行った。

評価の結果、SOAの無い場合の受光素子の最小受信感度が-13.2dBmであるのに対し、SOAを用いることにより最小受信感度は-22.8dBmとなり、9.6dBの感度改善が確認できた。

これらのSEDI製TOSA ROSAの組み合わせで100GBASE-ER4の最小受信感度規格-21.4dBmを確保できることを確認した。

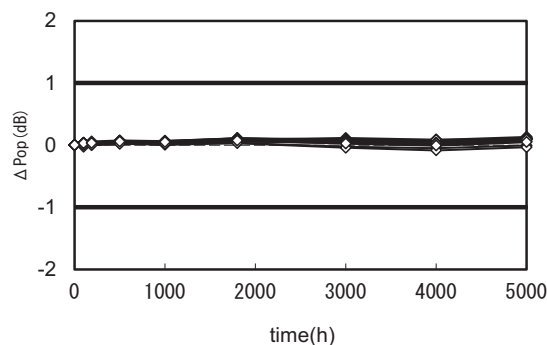


図11 SOAチップの通電試験結果

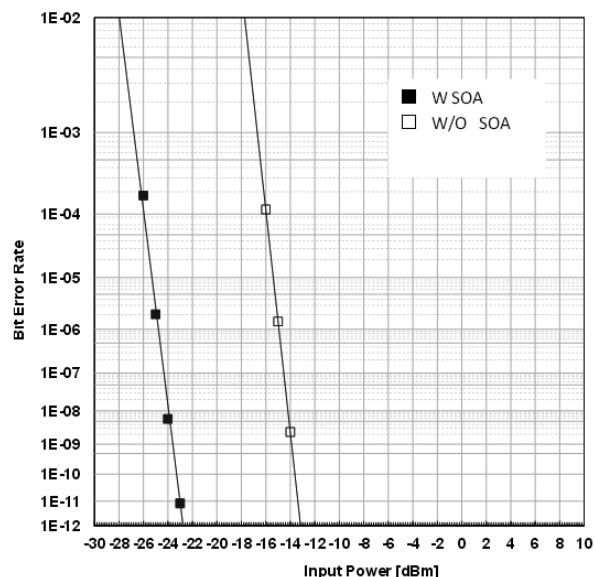


図9 受信感度特性 (SOA 有無)

6. 信頼性

モジュールの長期信頼性の評価として長期高温放置での利得変動とSOAチップの長期通電試験を実施した。

図10に85°C雰囲気温度でのエージング試験結果と図11にSOAチップの長期通電試験結果を示す。両試験ともに試験時間内での変動量は変動率 ± 1 dBに収まる結果となっている。

上記試験の結果からSOAモジュールとしてのTOTAL FIT数は周囲温度50°C、SOA駆動電流150mA動作温度25°Cの条件で10年のFIT数が約20fits、20年で約200fitsと見積もられ、既存の光通信用デバイスと同等の長期信頼性を確保できていることを確認した。またTelcordia GR-468-Coreに準拠した信頼性も確認されており、今回開発したSOAモジュールが通信用デバイスとしての信頼性を有している事も確認している。

7. 結 言

100 Gbit/s CFP光トランシーバに内蔵可能な小型SOAモジュールを開発した。使用部品および光学結合系の最適化によりモジュールサイズの縮小化を図り、またタイトバンドファイバを採用し光トランシーバへの実装時の搭載性の向上を図った。LAN-WDMの同時増幅を可能とした40km伝送用小型光増幅器を実現した。

用語集

※1 CFP

100G Form-factor Pluggable：挿抜可能な光トランシーバの業界標準規格のひとつ。

※2 ファイバアンブ

不純物を添加した光ファイバを使った光増幅器。

※3 LAN-WDM

波長分割多重方式に使用される波長並びのひとつ。1294.53nmから1310.19nm間で約5nm間隔の4波長の伝送信号を一本のファイバで伝送させる。

※4 ペルチェモジュール

熱電素子のひとつ。ペルチェ効果を利用した加熱/冷却素子。

※5 ベッセルトムソンフィルタ

信号処理における線形ローパスフィルタの一種で、特定の信号伝送速度毎に規定される。

※6 TOSA

Transmitter Optical Sub-Assembly：送信用小型光デバイス。

※7 ROSA

Receiver Optical Sub-Assembly：受信用小型光デバイス。

※8 FIT数

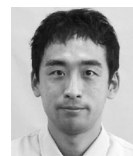
故障率の単位。単位時間あたりの故障数を示す。

参考文献

- (1) 津村英志 他、「43/112Gbit/s用光トランシーバの開発」、SEIテクニカルレビュー第181号（2012年7月）

執筆者

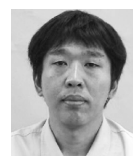
寺西 良太*：住友電工デバイス・イノベーション(株)
光部品事業部



山内 康之：住友電工デバイス・イノベーション(株)
光部品事業部



藤原 泰：住友電工デバイス・イノベーション(株)
光部品事業部



金丸 聖：住友電工デバイス・イノベーション(株)
光部品事業部



阿部 務：住友電工デバイス・イノベーション(株)
光部品事業部 課長 (Ph.D.)



佐藤 敬二：住友電工デバイス・イノベーション(株)
光部品事業部 部長



*主執筆者