

1.3 μm 帯偏波無依存型半導体光増幅器モジュールの開発

森本慎太郎 Shintaro Morimoto, 吉田谷弘明 Hiroaki Yoshidaya, 山田敦史 Atsushi Yamada,
大貫紳一 Shinichi Onuki, 下瀬佳治 Yoshiharu Shimose, 森 浩 Hiroshi Mori

[要 旨]

近年の通信量の飛躍的な増大に伴い、特にデータセンター間の通信に使用される光増幅器として半導体光増幅器が注目されている。そこで我々はこれまでに培った光デバイス作製技術等を利用して 1.3 μm 帯偏波無依存型の SOA を試作し、SOA 素子として十分に高い利得や低い偏波依存性などの特性があることを確認した。さらに、小型化の検討を行ったモジュールにこの素子を搭載したところ高い信頼性があることを検証した。結果として、データセンター間の光増幅に十分な特性があり、現在主流となっている CFP/CFP2 の搭載に好適な小型、高信頼性の SOA モジュールを実現できた。

1 まえがき

近年、動画配信などの広帯域アプリケーションの普及などによって、通信事業者網の帯域が逼迫してきている。また、通信自体が対ユーザから対マシンへ変化したことからデータセンター内やデータセンター間の通信が飛躍的に増大している。データセンター内やデータセンター間の通信には IEEE802.3ba により標準化されているイーサネットが使用される。そのなかでも 100GBASE-LR4/ER4¹⁾ は波長分散の少ない 1.3 μm 帯の 4 波長(λ0: 1294.53~1296.59 nm, λ1: 1299.02~1301.09 nm, λ2: 1303.54~1305.63 nm, λ3: 1308.09~1310.19 nm)を使用し、レーザ光を波長多重して、1 本のシングルモード光ファイバ経由で伝送する。LR4 は伝送距離 10 km であるため受信機に増幅器を必要としない。一方、ER4 は伝送距離 40 km の長距離仕様のため、受信機に光増幅器を内蔵し伝送ロスを補う方式が採用されている。ファイバの損失は約 0.5 dB/km と小さいが、伝送距離が長くなると信号の減衰が顕著になるため、それを補償するプリアンプが必要になる。基幹系や映像配信系では光信号の増幅に光ファイバアンプ EDFA(Erbium Doped optical Fiber Amplifier)を用いることが多く、アンリツデバイス(株)製の EDFA 用 1480 nm 励起用光源(AF4B150FA75L 等)などが用いられている。しかしながら EDFA は 1.55 μm の光信号に対して有効であり、データセンター間で用いられる 1.3 μm に対しては使用できない。一方、1.3 μm 帯の光ファイバアンプとしては PDFA(Praseodymium Doped Fiber Amplifier)が知られているが、実用化には至っていない。このような背景から、使用波長帯域やモジュールの小型化の観点から光ファイバアンプではなく、半導体光増幅器(SOA: Semiconductor Optical Amplifier)が注目されている。

データセンター間で使われる光送受信機は業界合意(MSA:

Multi Source Agreement)として規格化された CFP, CFP2²⁾ を使用することになる。CFP は第一世代と呼ばれ 82(W) × 13.6(H) × 144.8(D)mm のサイズであるが、CFP2 は第二世代で 41.5(W) × 12.4(H) × 107.5(D)mm に小型化されている。このような状況下において、従来の SOA モジュールは大き過ぎるため CFP に搭載できない。このため SOA モジュールの小型化が必須となる。

SOA の特長は小型で広い波長帯域を増幅できる利点があり、また既存の LD(Laser Diode)作製プロセスとほぼ同じ工程で作製できることが挙げられる³⁾。そのため当社で培った、導波路作製技術等⁴⁾を SOA の作製に利用することが可能となる。また、プリアンプ用の SOA は利得(G: Gain), 飽和光出力(Ps: Saturation Power), 雑音指数(NF: Noise Figure)の特性が優れていることに加えて、偏波依存利得(PDG: Polarization Dependent Gain)が低い必要がある。

本稿では上述の LD 作製技術を利用して試作した 1.3 μm 帯偏波無依存型 SOA 素子の紹介を行い、続いて、開発した小型 SOA モジュールの特性について報告を行う。

2 SOA 素子特性

作製した SOA 素子をキャリアに搭載し、CoC(Chip on Carrier)でのアンプ特性(利得, NF, PDG)を測定した。アンプ特性は入力光(Pin)と出力光(Pout)をそれぞれ光スペクトラムアナライザで測定した結果から算出した⁵⁾。入力光(Pin)には波長可変光源(TLS: Tunable Laser Source)を使用し、1 波長ごとに特性を観察した。光スペクトラムアナライザにはアンリツ(株)製 MS9740A を使用した。図 1 に 1310 nm の電流利得特性を示す。実線は利得を、破線は NF を示し、黒は TE モードを、赤は TM モードを示す。両端面ファイバ結合であるため利得はファイバ間の利得を意味する。

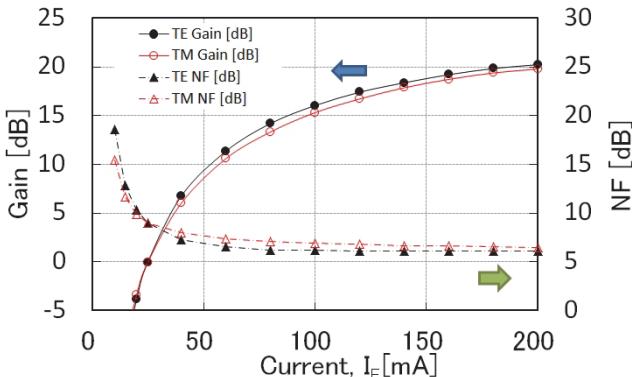


図 1 電流利得特性

入力波長 $\lambda_{in}=1310\text{ nm}$ の1波入力、入力パワー -25 dBm のとき、ファイバ間最大利得20 dB、このときPDG($=\text{TE Gain}-\text{TM Gain}$)は0.45 dBであった。200 mA以下の全域にわたりPDGが1.0 dB未満であることを確認しており、ほぼ偏波無依存の特性が得られた。また、駆動電流100 mA以上でNFが安定し一定値を示すことが分かる。200 mAでのNFは6.5 dBを得た。

利得と総消費電力のトレードオフを考慮して駆動電流を120 mAに定めた。結果として、利得は15 dB以上、総消費電力は1 W程度となり、実用上バランスのとれた動作条件が実現された。

図2に飽和特性を示す。SOA駆動電流120 mA、入力波長 $\lambda_{in}=1310\text{ nm}$ の1波入力時の飽和特性である。黒はTEモードを、赤はTMモードを示す。横軸に出力光パワー、縦軸にファイバ間利得をとり、出力光パワーの変化に対するファイバ間利得の変化を示した。初期の利得から3 dB低下した出力光パワーを飽和光出力Psとするとき、飽和光出力PsはTEモードで+8.4 dBm、TMモードで+8.8 dBmであり、プリアンプとしては十分な飽和光出力が得られた。

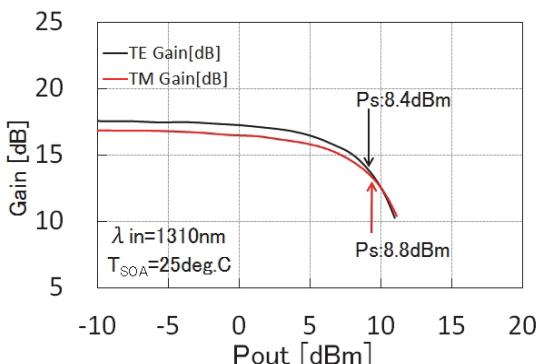


図 2 飽和特性

次に駆動電流120 mAで入力波長のみを変化させた場合の利得、PDGを図3に、Ps、NFを図4に示す。

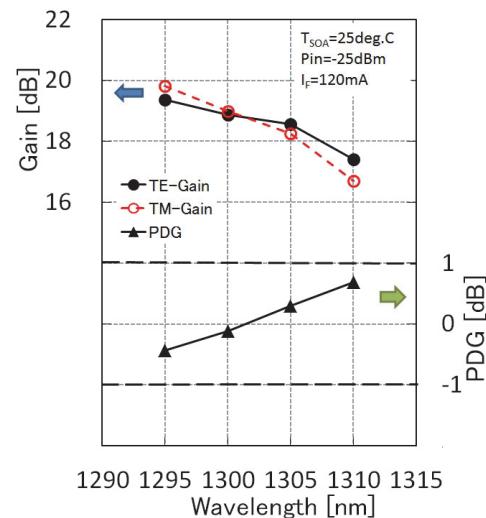


図 3 利得、PDGの波長特性

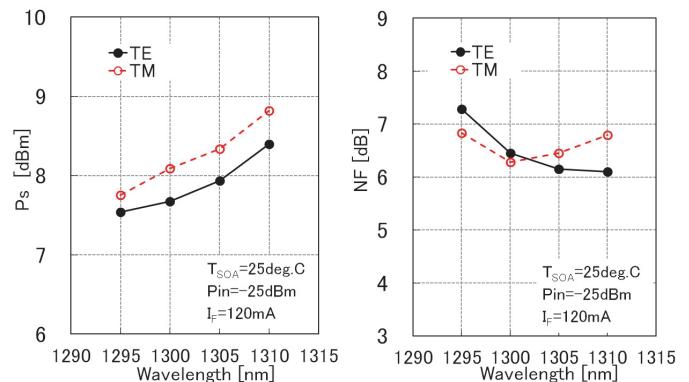


図 4 Ps, NFの波長特性

4波長帯において、利得は16 dB以上であり、NFは7.5 dB未満であった。利得とNFは短波長になるほど高くなる傾向であることが分かった。これらの特性については、ASE(Amplified Spontaneous Emission)の中心波長が1290 nmであったことから妥当な結果と考えている。またPsは+7.5 dBm以上を得た。長波長になるほどPsが高くなる傾向にある。開発したSOAのPDGは4波長帯において1.0 dB未満であり、使用範囲での偏波依存性がほぼ解消できている。

3 モジュール特性

3.1 モジュール作製 (形名: AA3F215CA)

小型化の要求に対し従来の14pinバタフライパッケージでは対応が難しいため、新たに6pin小型パッケージを採用した。小型化の制約からレンズとSOAキャリアをTEC(Thermo-Electric Cooler)上の所定の位置に搭載し、接着剤で直接固定する方法を

採用した。搭載の手順としては、TECを小型パッケージに搭載し、次にSOAキャリアを銀ペーストで温度硬化させた後に、レンズを搭載し紫外線硬化型接着剤で固定する方法をとった(図5)。また、省スペース化のため、1枚レンズ系、タイトベンドファイバ、片側ピンレイアウトを採用した。作製した小型SOAのサイズは35(W)×9.6(H)×5.7(D)mm(ファイバ、コネクタ、リードは含まない)であり、CFP2に対しても搭載可能な大きさとなった(図6)。

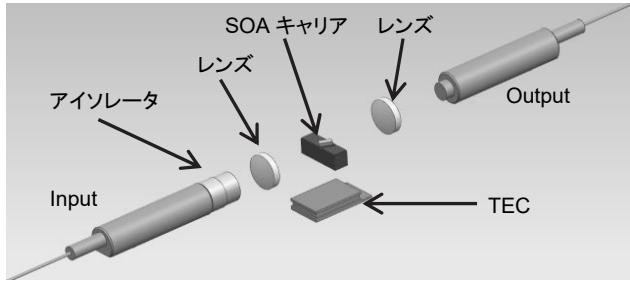


図5 SOAモジュールの組立図

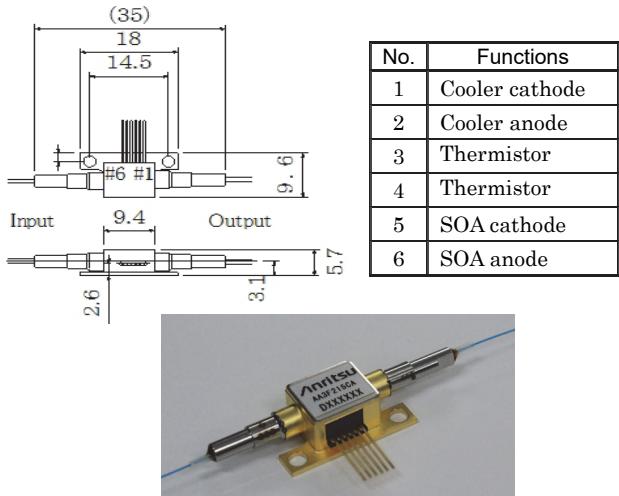


図6 SOAモジュール外観

SOAモジュール特性は表1に示すとおりで、組立時の損失を含めて、良好な特性を得た。

表1 電気的・光学的特性(形名:AA3F215CA)

(T _{SOA} =25°C, T _c =25°C)						
項目	記号	測定条件	最小	Typ.	最大	単位
光学利得	G	I _F =120 mA, Pin=-25 dBm	15			dB
偏波依存利得	PDG	I _F =120 mA, Pin=-25 dBm			1.5	dB
順電流	I _F		100		150	mA
順電圧	V _F	I _F =120 mA			2	V
波長帯域	λ	I _F =120 mA	1294		1311	nm
飽和出力	P _S	I _F =120 mA		7		dBm
雑音指数	NF	I _F =120 mA, Pin=-25 dBm		7		dB
消費電力	P	I _F =120 mA, T _c =75°C		1	1.8	W
サーミスタ抵抗	R _{th}	T _{SOA} =25°C, B=3435±105K	9.5	10	10.5	kΩ

実際に100GBASE-ER4で使用される4波同時入力時の確認を行った。駆動電流を120 mAとしたSOAに1波長あたり-25 dBmの4波を入力した(図7)。各波長で利得の著しい低下もなく、良好な信号増幅特性を持つことがわかった。

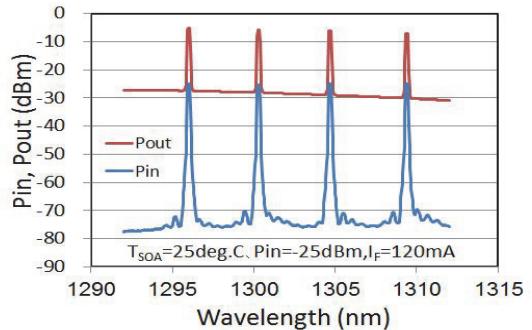


図7 4波長同時入力特性

3.2 信頼性試験

信頼性を評価するため Telcordia GR468-CORE, MIL-STD-883に基づき19項目(表2)の試験を実施した。全項目において判定基準を満たしており、良好な結果を得た。

表2 信頼性試験項目

信頼度項目	規格と評価条件	結果
振動	MIL-STD-883 Method 2007 20G, 20 Hz~2000 Hz 4 min/cycle	合格
衝撃	MIL-STD-883 Method 2002 4900 m/s ² (500 g), 1 ms 5 times/axis	合格
熱衝撃	MIL-STD-883 Method 1011 ΔT=100°C, 15 cycles	合格
温度サイクル	Telcordia GR-468-CORE Ta=-40~85°C, 30/30 min., 500 cycles	合格
低温放置	Telcordia GR-468-CORE Ta=-40°C, 72H	合格
高温放置	Telcordia GR-468-CORE Ta=85°C, 2000H	合格
高温高湿	Telcordia GR-468-CORE Ta=85°C/85%RH, 500H	合格
高温連続通電試験	Telcordia GR-468-CORE Tc=85°C, Tsoa=25°C, Isoa=150 mA, 2000H	合格
高温連続通電試験(SOA CoC)	Telcordia GR-468-CORE Tsoa=70°C, Isoa=150 mA, 5000H	合格
Cable retention	Telcordia GR-468-CORE 4.9N(500 g), 1 min., 1 time	合格
Fiber twist	Telcordia GR-468-CORE 10 cycles from 0° ~90° ~-90° ~0°	合格
内部水分量	MIL-STD-883 Method 1018	合格
ESD (HBM)	MIL-STD-883 Method 3015 C=100pF, R=1500Ω, ±500 V Discharge Interval: 5 s, Five of Discharges, forward and reverse stress	合格
ESD (CDM)	JESD22-C101E ±500 V, Five of Discharges, forward and reverse stress	合格
Die shear (SOA CoC)	MIL-STD-883 Method 2019	合格
Wire-bond pull	MIL-STD-883 Method 2011	合格

CoC の高温連続通電試験として、ACC(Auto Current Control)150 mA で、雰囲気温度 Ta=70°C, N=25 個で、5,000 時間の連続動作試験を実施した。結果を図 8 に示す。横軸は経過時間、縦軸は初期値で規格化した光出力を示す。途中、極端に劣化する素子はなく、安定に動作することが確認できた。ASE 出力が初期値から 1 dB 低下した時間を故障とし、累積故障数が 50% になった時間を寿命と定義した場合、ACC 150 mA, 70°C における寿命は約 13 万時間と推定された。また、25°C 換算での寿命は、105 万時間と見積もられた。故障率は動作時間 10 年で 31 FITs, 20 年で 192 FITs と計算され、この結果から、作製した SOA 素子の高い信頼性を確認した。

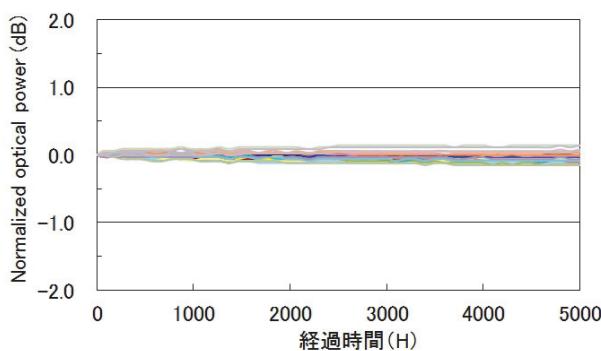


図 8 SOA 素子の高温連続通電試験

4 まとめ

100GBASE-ER4 で用いられる 1.3 μm 帯の半導体光増幅器を開発した。

CoC を 25°C、電流 120 mA で駆動したところ、ファイバ間利得が 16 dB 以上、偏波依存利得が 1.0 dB 未満、雑音指数が 7.5 dB 未満、飽和光出力が +7.5 dBm 以上を得た。100GBASE-ER4 で使用される範囲内での波長依存性も良好であった。また、モジュール作製においてはレンズと SOA キャリアを TEC 上に接着剤で直接固定する方法を採用したが、Telcordia GR468-CORE の機械試験項目等に合格し信頼性が確保されていることを確認した。

上述したように、開発した SOA モジュールはデータセンター間の光信号を增幅するのに十分な特性を持ち、小型であり、高信頼性も兼ね備えている。このために、現在主流となっている CFP2 にも搭載が可能である。

参考文献

- 1) David Law, John D' Ambrosia "IEEE P802.3ba: Architecture Overview", [online]http://www.ieee802.org/3/time_adhoc/public/apr09/dambrosia_03_0509.pdf(参照 2018.1.16)
- 2) "The Home of the CFP Multi-Source Agreement", [online] <http://www.cfp-msa.org/>(参照 2018.1.16)
- 3) 山田, 尾坪, 浅井, 篠根, 大貫, 芦田：“半導体光増幅器”アンリツテクニカル 67 号 pp.22-27(1994)
- 4) 三瀬, 山田, 森, 中山：“外部共振器レーザ用曲り導波路型ゲインチップ”アンリツテクニカル 83 号 pp.74-80(2003)
- 5) 谷本 隆生：“レーザー実験における各種計測技術(光スペクトラムアナライザ)－測定原理と測定上の注意事項－”レーザー研究 2011 年 5 月 第 39 卷第 5 号 P354-361

執筆者



森本慎太郎
デバイス開発センター
光デバイス開発部



吉田谷弘明
デバイス開発センター
光デバイス開発部



山田敦史
アンリツデバイス
経営管理部



大貫紳一
デバイス開発センター
光デバイス開発部



下瀬佳治
デバイス開発センター
光デバイス開発部



森浩
デバイス開発センター
光デバイス開発部

公知