

環境配慮型 1480 nm 帯 EDFA 励起用レーザー

Environment-Friendly 1480-nm LD Module for EDFA

山田 敦史 Atsushi Yamada, 下瀬 佳治 Yoshiharu Shimose, 小野 純 Jun Ono, 大貫 紳一 Shinichi Onuki,
長島 靖明 Yasuaki Nagashima

[要 旨] 省電力 1480 nm 帯 EDFA 励起用 LD モジュールを開発した。独自の超高出力化技術を応用することで、素子微分抵抗の低減を図った。その結果、200~400 mW 出力 LD モジュールにおいて、従来に比べ約 40% の消費電力を削減することに成功した。一方で、モジュール組立時に使用するハンダを鉛フリー化した。これにより励起用モジュール全機種が RoHS 規制対応品となった。

[Summary] Anritsu has developed an environment-friendly 1480-nm LD module for EDFA. The series resistance of the LD chip has been decreased using unique high-output power technology to cut power consumption by 40% compared to conventional 200 to 400-mW LD modules. Moreover, all 1480-nm LD modules are fully RoHS compliant through use of Pb-free solder.

1 まえがき

発振波長が 1460~1490 nm (1480 nm 帯) の半導体レーザーダイオード (LD) モジュールは、今や光通信システムには不可欠となったエルビウム添加ファイバ増幅器 (EDFA) の励起用光源として主に用いられている。これまでのデータ伝送サービスに加え、近年では映像配信サービスの発展により、光ネットワークシステムは益々大規模・高機能化しており、EDFA と共に 1480 nm 帯励起用 LD モジュールの需要も高まっている。

アンリツは、EDFA が通信用光増幅器として使用され始めた初期からこの 1480 nm 帯 LD の開発に携わっており、現在ではお客様の使用用途に合わせて、光出力 120 mW の低出力品に始まり、世界でもトップレベルの光出力を発する 400 mW タイプまでを商品化している。

これまでの開発の主眼は、光通信システムの長距離・大容量化に伴う EDFA の増幅率向上に応えるための、励起用 LD の高出力化にあった。しかし FTTH (Fiber to the home) の普及等により、ファイバ通信システムが身近な存在になってきた昨今、システムには小型・低価格化が望まれている。従って、励起用 LD への要求は、高出力化から低価格・低消費電力化へと移り変わりつつある。さらに、環境や人体に影響を及ぼすとされている有害物質を排除する動きが社会的に活発であり、光デバイスも例外では無い。

以上のような背景から、今回我々は、これまで比較的消費電力が高かった 200 mW 出力以上のモジュールに対して、LD 素子構造の最適化による低消費電力化を実現した。さらに、現在商品化されている励起用 LD モジュール全機種において、EU 指令である RoHS (Restriction of the use of certain hazardous substances

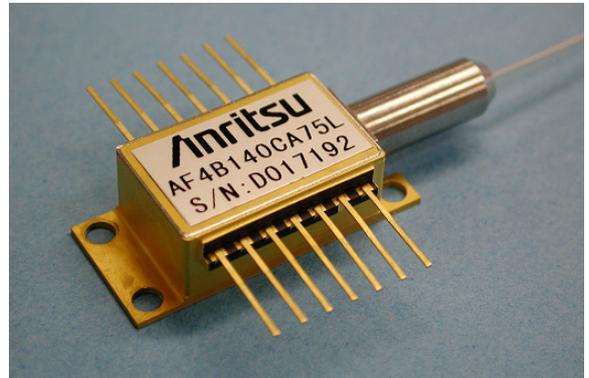


図 1 1480 nm 帯励起用レーザーモジュール外観
Appearance of LD module

in electric and electronic equipment; 電気電子機器の有害物質の使用制限指令)への対応を行った。本稿では、その低消費電力化の施策とその結果、および RoHS 対応化に向けて実施した内容について述べる。図 1 に、代表して 400 mW 出力モジュール AF4B140CA75L の外観を示す。

2 モジュール消費電力の低減

2.1 開発方針

励起用 LD モジュールには、LD 素子の温度を一定に保つため、ペルチェ素子で構成される TEC (Thermo-Electric Cooler) が内蔵されており、通常はモジュール消費電力の大半をこの TEC 部が占める。TEC は、その負荷量に応じて消費電力が比較的大きく変化するため、LD 素子の発熱を少しでも減らすことが、モジュール総消費電力の削減に大きな効果をもたらす。

LD 素子の発熱を抑えるためには、(1)電流 — 光変換効率 (スロープ効率, η_s) を増加させ定格電流を下げる、あるいは (2) LD 素

子の微分抵抗を減らし駆動電圧を下げる必要がある。当然この両者を同時に満足することが理想であるが、今回は主に後者に着目して開発を行った。

素子の微分抵抗を減らす一つの方法として、電流経路の増大、すなわち共振器長(L)および活性層幅(Wa)の拡大化が考えられる。しかし単にLを長くするだけではスロープ効率の低下から光出力が不足し、また単にWaを拡大するだけではLD素子内の導波光に横高次モードが現れてしまい、IL曲線にキックが発生したり、ファイバへの結合効率が悪化したりしてしまう。この問題を解決するために、我々は超高出力化技術を今回のLD素子にも適用することにした。次節でその技術を簡単に紹介する。

2.2 非対称クラッド構造

図2に、今回使用したLD素子の断面模式図を示す。MQW部、SCH部、およびメサ形成以降の製造工程は従来構造と同一である¹⁾。本構造の特徴は、従来はInPで構成していたn側のクラッド層を、新たにInGaAsPで構成して非対称クラッド構造とした点にある。

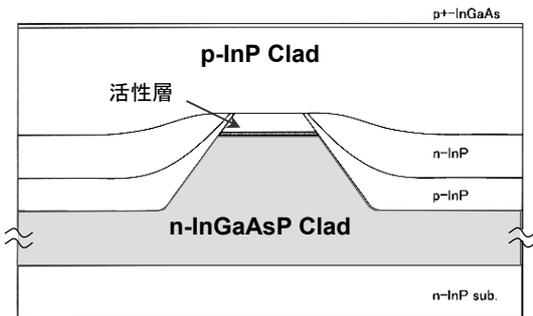


図2 LD素子の断面模式図
Schematic structure of asymmetric-cladding laser

n側クラッド層に使用したInGaAsPの屈折率はp側のInPに比べて僅かに高い。したがって、活性層で発生した光は、n側に偏ってLD共振器内を伝搬する。シミュレーションによれば、従来の対称クラッド構造に比べてp側クラッド層内にしみ出す光は約6割に減少する。本構造は以下のような利点を持つ。

- p側クラッド層内の光分布が減少することにより、p側クラッド層内における荷電子帯間光吸収の影響を少なくできる。これにより、LD素子の内部損失 α_i の値が低減する。
- 導波光のp側クラッド層へのしみ出し距離も短くなるため、p側クラッド層を従来より薄く設計できる。p-InP層は比較的電気抵抗が高いため、pクラッド層の薄膜化は素子微分抵抗の低減に繋がる。

- より高い屈折率を持つ材料でnクラッド層を構成しているため、導波路部との等価屈折率差が小さくなり、その結果、横基本モードで導波することのできる最大の活性層幅(カットオフ幅)を拡大することができる。こちらも素子微分抵抗の低減に繋がる。

試作した非対称クラッド構造では、内部損失 α_i は約30%、単位長あたりの素子微分抵抗は約13%低減することを確認した²⁾。さらに、n側クラッド層に使用するInGaAsPの組成を慎重に選び、LD素子長L=3mm、活性層幅Wa=7 μ mのLD素子を作製したところ、1.2Wを超える超高出力な端面出力を実現することに成功した³⁾。

2.3 LD構造の最適化

上述したように、非対称クラッド構造では、内部損失 α_i が低減するため、LD素子長を長くしても高いスロープ効率 η_s を維持することができる。また、活性層幅Waをある程度拡大しても横高次モードの発生を抑えることができる。

この非対称クラッド構造を200mW~400mW出力モジュール用のLD素子にも適用するにあたり、定格電流や基本的な製造方法は従来品を踏襲することを前提とし、さらに製造コストを抑えるためこの出力範囲のLD素子はすべて同一のウエハから採取できることを念頭として、ウエハ構造の最適化を図った。その結果、共振器長と端面反射率の調整のみで各機種に対応できるようになった。素子微分抵抗を低減したことにより素子の発熱量も減ったため、従来必要としていたダイヤモンドヒートシンクが不要となり、部材コストの削減にも繋がった。

3 モジュール特性

3.1 400mW出力モジュール

図3に、400mW出力モジュールAF4B140CA75Lの典型的な電流—光出力(IL)および電圧(IV)特性を示す。非対称クラッド構造の導入により活性層への光閉じ込め率も低減するため、発振しきい値電流(I_{th})は高くなった。しかし、内部損失 α_i の低減効果により、長共振器化したにも関わらず、スロープ効率 η_s は従来機種よりも高い。その結果、定格電流1.4A付近の光出力では従来機種と同等以上になった。一方、IV特性にも今回の施策効果が顕著に現れており、1.4A時の駆動電圧は2V以下となり、従来機種に比べて約25%低減した。

図4に消費電力特性を示す。縦軸はモジュールの全消費電力、すなわちLD電力とTEC電力の総和であり、モジュールケース温度(T_c)が許容上限値の70°Cの場合で示した。EOL(End of life)

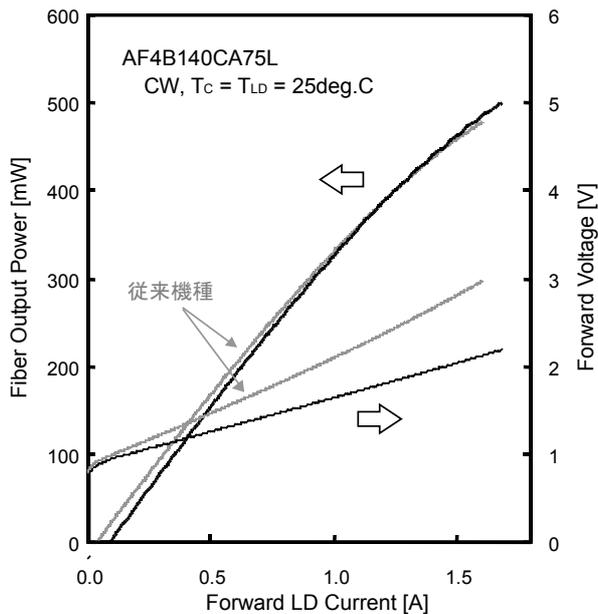


図3 AF4B140CA75L(400 mW出力モジュール)のILおよびIV特性
(従来機種と比較して表す)
LIV Curve for AF4B140CA75L (400-mW LD module)
(Comparison with conventional model)

電流 1.68 A での全消費電力は 12 W となり、従来機種に比べて約 40%削減した。

このモジュールに搭載する LD 素子を 70°C, ACC(Auto current control) 1.56 A の条件下で 5 千時間以上連続動作させたときの光出力の変動を図 5 に示す。

この結果から、光出力が 20%減少する時間を寿命とし、活性化エネルギー(Ea)を 0.4eVとした場合の、T_{LD} = 25°Cにおける ML 値(Median life)を見積もったところ、約 118 万時間となった。また 25 年での故障率は、これより 98FITs となった。LD 素子の拡大化によって熱抵抗や電流密度が低減したことが、信頼性の向上にも

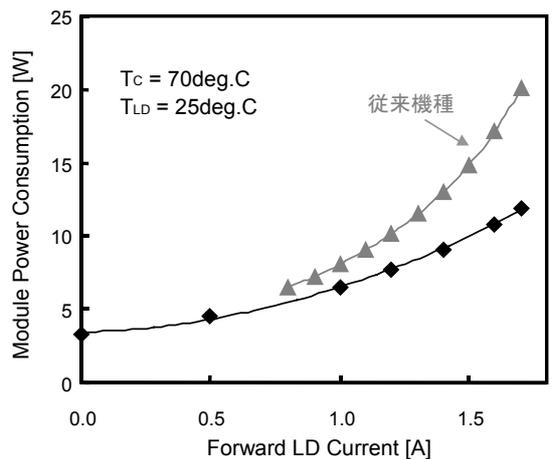


図4 AF4B140CA75Lの消費電力特性
Power consumption of AF4B140CA75L

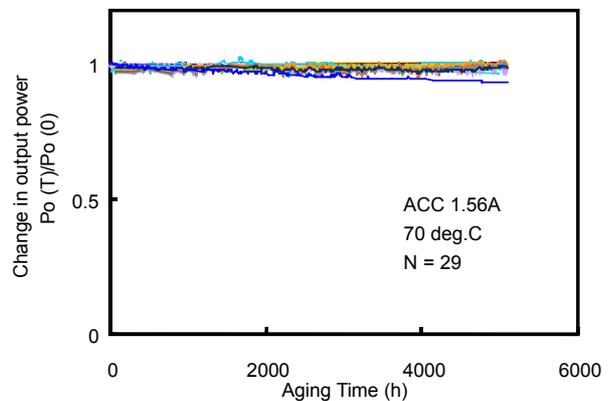


図5 400 mW モジュール用 LD 素子の高温連続動作試験結果
Aging test of LD chip for 400-mW module

繋がった。

表1 にモジュールの主要規格を示す。

表1 各種モジュールの主要規格
Specifications

項目	*2	AF4B120AA75L AF4B120AD75L	AF4B122AA75L AF4B122AD75L	AF4B125AA75L AF4B125AD75L	AF4B130CA75L AF4B130CD75L	AF4B135CA75L AF4B135CD75L	AF4B140CA75L AF4B140CD75L	単位
定格光出力		200	220	250	300	350	400	mW
順電圧	Max.	2						V
しきい値電流	Typ.	70			100			mA
	Max.	150						
順電流(BOL)	Max.	700		800	1100	1400		mA
中心波長	Min.	1460						nm
	Typ.	1475						
	Max.	1490						
TEC 電圧*1	Max.	3.1			2.9	3.1		V
TEC 電流*1	Max.	1.3		1.5	2.7	3.0		A

*1 測定条件; T_c = 70°C, I_F = EOL (= BOL × 1.2)

*2 型名の下段は偏波保持ファイバ仕様

3.2 250 mW 出力モジュール

200~250 mW 出力モジュール用は、より低電流で使用されるため初期スロープ効率の向上に留意して LD 素子長を決定した。代表して 250 mW 出力モジュール AF4B125AA75L の IL, IV 特性を図 6 に示す。先程と同様に、 I_{th} は上昇したものの、定格電流の 0.8 A 付近では十分な光出力が得られている。駆動電圧も大きく減少した。その結果、 $T_c = 70^\circ\text{C}$ 、EOL 電流 0.98 A における全消費電力は約 5.5 W となり、こちらも従来に比べ約 40%低減した。

250 mW 級モジュールの主要規格も表 1 に併せて示す。

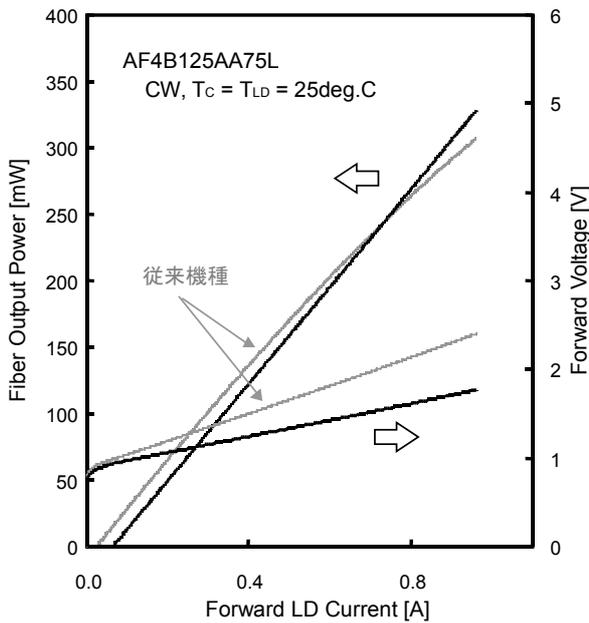


図 6 AF4B125AA75L(250 mW 出力モジュール)の IL および IV 特性 (従来機種と比較して表す)
LIV Curve for AF4B125AA75L (250-mW LD module)
(Comparison with conventional model)

4 RoHS 規制への対応

図 7 にアンリツの光モジュールの構造概略図を示す。主要な光学部は溶接固定しているが、その他の部分はハンダ固定している。工程毎に融点の異なるハンダ材を使い分けているが、従来の励起用 LD モジュールでは、基板と TEC 吸熱部、TEC 放熱部とパッケージ床面それぞれの接合部に SnPb(錫鉛)ハンダを使用しており、これが RoHS 規制の対象であった。

そこで、我々は鉛フリーのハンダ材として、この部分を SnAgCu ハンダに置き換えた。その際に問題となるのは、ハンダ材の融点が SnPb の 183°C から SnAgCu の 217°C に高温化することである。ハンダ接合工程の高温化は、ペルチェ素子に加わる熱応力の増加を

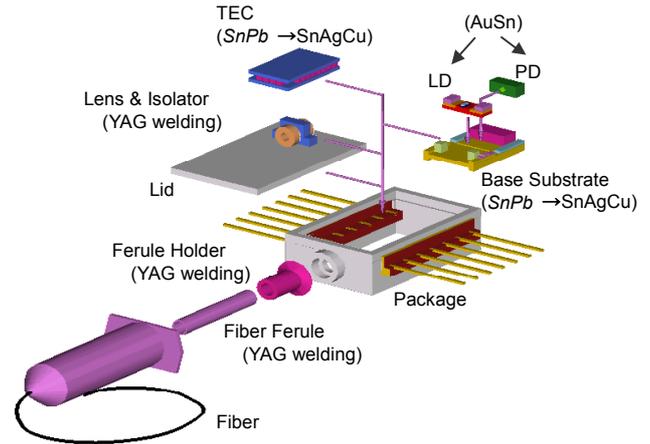


図 7 励起用 LD モジュールの構成概略図と各部の固定手段
Schematic structure of pumping LD module and fixing method for each part

招く。この問題に対しては、基板およびパッケージ床面を、TEC の吸熱面および放熱面を構成するアルミナと同程度の線膨張係数持つ材質に変更することにて対処した。

また、今回の RoHS 対応化に伴い、各種の部品および製造工程をなるべく共通化できるよう設計変更を行い、製造コストの低減も図った。

表 2 に、今回開発した RoHS 対応励起用 LD モジュールの信頼性試験結果を示す。いずれも規格を大きく上回っており、高い信頼性を確認した。

表 2 RoHS 対応 LD モジュールの信頼性試験結果
Reliability test of RoHS-compliant LD module

試験項目	条件	結果	規格
機械的衝撃	500G 1ms 6 axes 5 cycle N = 11	$\Delta P_{f_{max}} = 0.04 \text{ dB}$ $\Delta P_{f_{ave}} = 0.03 \text{ dB}$	<0.5 dB
正弦波振動	20-200 Hz 20G XYZ 4 cycle N = 11	$\Delta P_{f_{max}} = 0.04 \text{ dB}$ $\Delta P_{f_{ave}} = 0.01 \text{ dB}$	<0.5 dB
温度サイクル	-40/+85 deg.C 500 cycle N = 12	$\Delta P_{f_{max}} = 0.22 \text{ dB}$ $\Delta P_{f_{ave}} = 0.14 \text{ dB}$	<0.5 dB
高温連続試験	$T_c = 70 \text{ deg.C}$, $T_{LD} = 25 \text{ deg.C}$ T = 5000 h, N = 12	$\Delta P_{f_{max}} = 0.18 \text{ dB}$ * $\Delta I_c < \pm 2.5\%$ * $\Delta V_c < \pm 2.5\%$	<0.5 dB < $\pm 5\%$

* $\Delta I_c, V_c$; TEC Current, TEC Voltage

5 むすび

光出力 200 mW~400 mW の EDFA 励起用 1480 nm 帯 LD モジュールの消費電力低減化に対する開発方針と、そこに使用した非対称クラッド構造技術の特徴について述べた。本技術の導入により、光出力を犠牲にすることなく LD 素子の微分抵抗を大幅に

低減することができた。その結果、ケース温度 70°C 且つ EOL 電流時の全消費電力は、250 mW/400 mW 出力モジュールそれぞれにおいて 5.5 W/12 W となり、どちらも従来機種に比べて約 40%の電力を削減できた。

また、EU 指令の RoHS 規制に対応するため、これまでモジュール内部で使用していた、鉛を含むハンダ材を SnAgCu ハンダに変更した。ハンダの高融点化による熱応力の増加に対しては部材を見直すことで対処し、モジュールの信頼性に影響無いことを確認した。

今回の新機種開発にあたっては、モジュール部材および製造方法の共通化によるコスト削減も念頭において開発を進めた。今後は、製造歩留まりの改善策も合わせて検討し、さらなるコスト削減に努めたい。

参考文献

- 1) 菊川知之, 山田敦史, 大貫紳一, 金谷康宏, 長島靖明:14XXnm 帯励起用レーザの開発, アンリツテクニカル No.81, Mar. 2003.
- 2) Y. Nagashima, S. Onuki, Y. Shimose, A. Yamada and T. Kikugawa, : “Novel Asymmetric-Cladding 1.48 μm Pump Laser with Extremely High Slope Efficiency and CW Output Power of > 1W,” LEOS’02, PD 1.4 (2002).
- 3) Y. Nagashima, S. Onuki, Y. Shimose, A. Yamada and T. Kikugawa, : “1480-nm pump laser with asymmetric quaternary cladding structure producing high output power of >1.2 W with low power consumption,” 19th ISLC, ThA7 (2003).

執筆者



山田 敦史
光デバイス R&D センター
発光デバイス開発部



下瀬 佳治
光デバイス R&D センター
発光デバイス開発部



小野 純
光デバイス R&D センター
発光デバイス開発部



大貫 紳一
光デバイス R&D センター
発光デバイス開発部



長島 靖明光
デバイス R&D センター
発光デバイス開発部