

光アンプ励起用 250 mW 1480 nm LD モジュール (FOL1404QQ シリーズ)

250 mW-1480 nm Laser Diode Module for Optical Amplifier

木村 俊雄*
Toshio Kimura

築地 直樹*
Naoki Tsukiji

吉田 順自*
Junji Yoshida

木村 直樹*²
Naoki Kimura

愛清 武*
Takeshi Aikiyo

伊地知 哲朗*
Tetsuro Ijichi

池上 嘉一*
Yoshikazu Ikegami

概要 光アンプの励起用光源として使用される 1480 nm 半導体レーザモジュールにおいて、半導体レーザ素子の最適化、及びモジュールの熱設計の見直しにより、ケース温度 70℃、光ファイバ出力 250 mW での駆動を実現した。

1. はじめに

インターネットやデジタル画像伝送の普及に伴い、ファイバー 1 本あたりの伝送容量を拡大する目的で波長多重(WDM)光通信システムの実用化が進んでいる。多重信号数の増大により、そこで使用される光アンプの特性向上が急務となっている。現在 1.55 μm 帯用の光アンプに使用されるエルビウムドープトファイバ (EDF) の励起には高出力の半導体レーザモジュール (以下 LD モジュール) が使用されている。励起用 LD モジュールの発振波長帯には 980 nm 帯と 1480 nm 帯がある。1480 nm 帯の LD モジュールは、

- 1) 高い信頼性
- 2) EDF の変換効率がよく、アンプの高出力化に有利
- 3) EDF の吸収帯域が広く多波長での合成が可能
- 4) アイソレータ、波長合成器、偏波合成器などの周辺光学部品がそろっている

などの利点があり、双方向励起、波長合成、偏波合成などにより、複数個の LD モジュールの光出力をあわせて高出力光アンプの励起光源として使用される¹⁾。また、EDF 励起以外にも、ラマンアンプへの応用も期待されている²⁾。

励起用 LD モジュールは、高出力が求められるために、市場では出力競争の感を呈しており、1480 nm 帯では 200 mW 品までの LD モジュールが製品化されている。

また、動作環境温度に対する要求も厳しく、ケース温度 (T_c) で -20 ~ +70℃ までの広い範囲で安定した特性が要求され、更に高温側での動作が期待されている。

当社ではこれまでに、

PA シリーズ: 最大光出力 160 mW 駆動電流 ~ 600 mA

PB シリーズ: 最大光出力 200 mW 駆動電流 ~ 800 mA

を商品化しているが、更に高出力化の要求に応えるため QQ

シリーズとして今回世界最高の光出力 250 mW 品の製品の開発を行ったので報告する。

2. 励起用 1480nm LD モジュール

励起用 LD モジュールは、LD 素子と、LD 素子からのレーザ光を光ファイバに結合させる光学結合部分と、LD 素子の発振状態を安定させるための温度コントロール部分で構成されている。図 1、図 2 に LD モジュールの外観と構成図を示す。

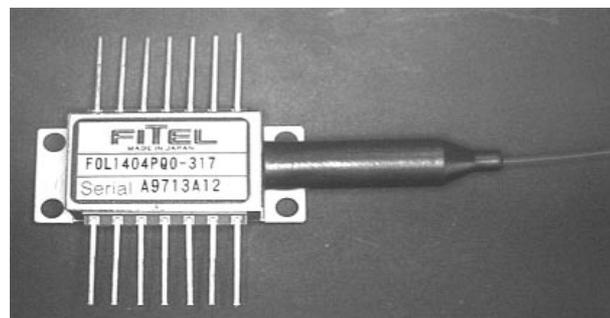


図 1 LD モジュール外観
Appearance of LD module

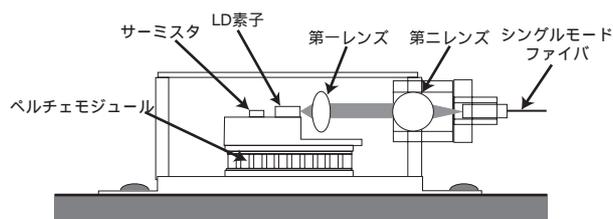


図 2 1480 nm LD モジュールの構成図
Structure of 1480 nm LD module

* ファイテル製品事業部 光デバイス部

*² 研究開発本部 横浜研究所 放熱・冷却技術開発室

2.1 LD素子

図3にLD素子構造を示す。低リーク電流と安定した横基本モード動作及び高効率動作を実現するため、圧縮歪みMQW (Multi Quantum Well) 活性層を有するGRIN-SCH-BH構造 (Graded Index-Separate Confinement Heterostructure-Buried Heterostructure) を採用している³⁾。素子の前端面にはAR (Anti-Reflection) 膜、後端面にはHR (High Reflection) 膜をコーティングしている。素子はキャリア上の窒化アルミニウムヒートシンクを介してジャンクションダウンボンディングされている。

2.2 光学結合部

通常、LD素子からのレーザ光の発光は30°程度の広がりをもってのり。これを第一レンズで平行光にし、第二レンズで光ファイバ端面に集光させて光結合させている。これらの光学部品の位置精度は1~10μm程度必要であり、特に光ファイバの固定精度は1μm以下が必要である。

また、LD素子の発光はレンズを介して空間的に光ファイバに結合されているため、このレンズやファイバの間に光アイソレータ等の光学機能部品を搭載することが可能である。

2.3 温度コントロール部分

LD素子は温度によって、発振波長、光出力が変動する。このため、LD素子自身の発熱や外部の環境温度による特性の変動を防ぐ目的で、励起用LDモジュールには温度コントロール用にペルチェクーラーが搭載されている。また、LD素子の近傍にはサーミスタが搭載されており、この温度をモニターしてペルチェクーラーをコントロールすることにより、LD素子の温度(センサー温度: T_s , 通常25°)を一定に保っている。

3. 高出力動作に向けての問題点

LDモジュールの動作限界を決める要素としては、光出力面ではLD素子の最大光出力、及び光ファイバとの結合効率、動作温度面ではLD素子の消費電力とLDモジュールの放熱経路の熱抵抗及びペルチェクーラーの吸熱性能である。ある特性を持った放熱構造とペルチェクーラーによってLD素子を駆動できる限界はLD素子の無効電力(LD駆動電力とLD光出力の差、主に熱に変換される)で決定される。

LD駆動電流の制限を外した場合、特に高温環境下での使用を考えると、熱問題への対応が重要である。このような考えに基づき、次の開発方針を掲げた。

1) LD素子の最大光出力を改善し、かつエネルギー変換効率(LD駆動電力とLD出力の比)の観点に基づいた最適化を図

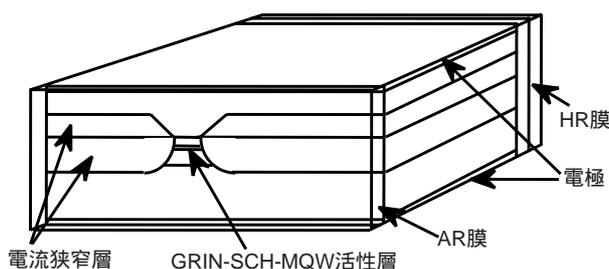


図3 LD素子構造
Structure of LD chip

る。

2) LD素子の無効電力による素子温度の上昇をコントロールするペルチェクーラーの能力向上を図る。

4. LD素子の改良

一般的に、LD素子に電流を注入していくと、光出力が上昇するが、LD素子自体の発熱による出力低下が同時に起こり、ある点で飽和して、電流を注入しても光出力が上昇しなくなる。飽和の起こる電流値を大きくするために、素子の共振器長を長くし、LD素子の電圧の低減、及び熱抵抗の低減を図った。この際、LDモジュールの結合を80%程度と想定すると、250mWの出力を得るためには、LD素子の光出力として310mW以上が必要である。

図4にLDの共振器長を変化させた際のLD駆動電流とLD光出力の関係を示す。駆動電流500mA以下においては共振器長800μmが有利であるが700mA以上では1300μmが有利となっている。

それに対し図5にLD駆動電力とLD光出力の関係を示す。光出力100mW程度の低出力領域から既に共振器長1300μmの優

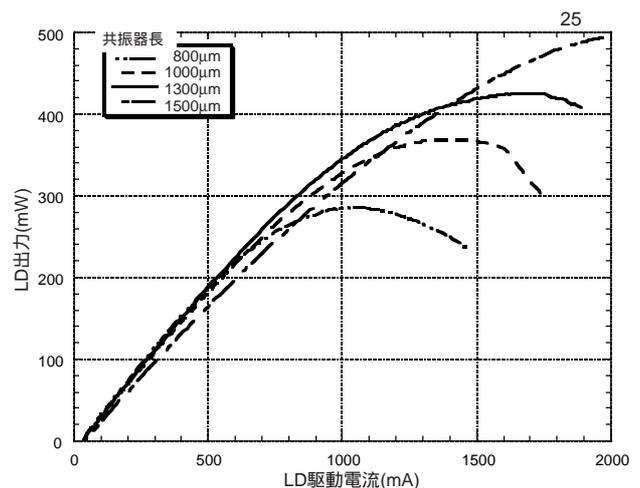


図4 共振器長とLD出力(1)
Cavity length vs. fiber output power (1)

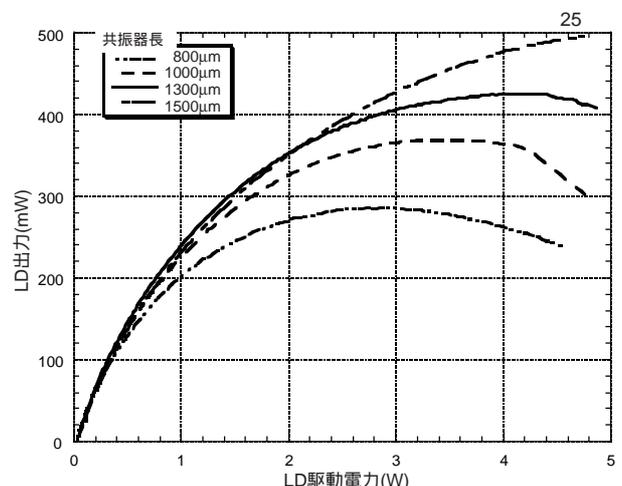


図5 共振器長とLD出力(2)
Cavity length vs. fiber output power (2)

位性が見え、駆動電力 2 W すなわち光出力 350 mW を越えるポイントから 1500 μm の優位性が見える一方、800 μm の優位性は低い光出力においてもほとんど認められない。このように、エネルギー変換効率に関して検討を行うと、その最適値が大きく変わってくる場合があることが見出された。クラッド層キャリア濃度などその他の設計パラメータについても同様な考えに基づき最適化を図った。

前記結果から、本開発では、LD 素子の共振器長を 1300 μm とし、同時に反射損失の低下による外部微分子効率低下を抑えるため、AR 端面反射率の調整を行った。その結果 LD 素子の駆動電圧は駆動電流 1 A においても 2 V 程度に抑えられ、LD 駆動電力 1.6 W で LD 出力 320 mW、ファイバ出力 250 mW が実現可能である。

共振器長 1500 μm の LD 素子では LD 駆動電流 2 A において 490 mW の LD 出力が達成されている。しかし、後述するように今回の開発で目標とする LD モジュール寸法及び動作温度 ($T_s/T_c = 25/70$) での高光出力駆動は、現時点では駆動電力が過大になってしまう。そのためモジュール寸法の変更を含めて、今後の開発課題とした。

5. LD モジュールのパッケージの放熱特性

励起用 LD モジュールは非常に長期にわたる信頼性の保証が必要である。このため LD 素子の劣化や光学結合の劣化を含めた出力の低下を考慮して、通常、製品の初期の使用点 (BOL: Beginning Of Life) での LD 駆動電流値の 1.2 倍を EOL (End Of Life) 駆動電流と定義し、この EOL 電流でも仕様内の

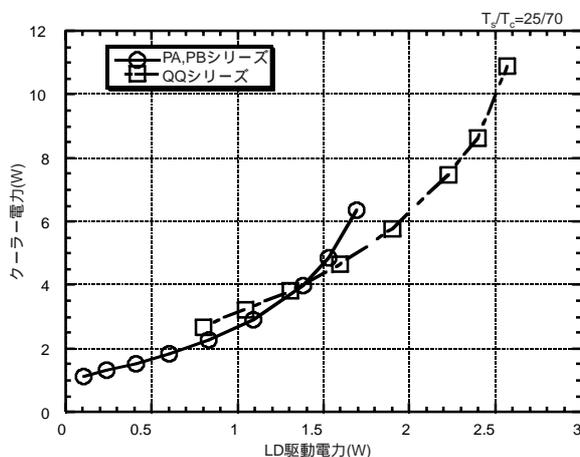


図6 ペルチェクーラーの最適化と最大駆動電力の向上
Optimization of Peltier cooler and LD driving power

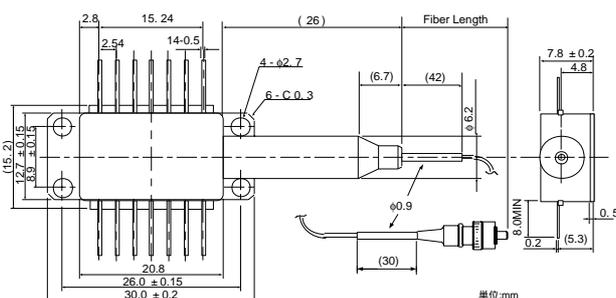


図7 LD モジュールの外観寸法
Dimensions of LD module

最も厳しい環境下 (多くの場合高温環境下) において駆動が可能であることを確認している。

PA, PB シリーズでは、LD 素子の駆動電流を 600 ~ 800 mA、駆動電力 1 W 程度での使用において、ペルチェクーラーの最適化をしているため、図 6 に示すように、その最大吸熱量は EOL における LD 駆動電力を若干上回る 1.6 W 程度である。

しかしながら、250 mW での駆動を考えた場合、BOL でも 1.6 W、EOL までの駆動と特性のばらつきを考えると 2.5 W 程度の LD 駆動電力に対応することが必要である。このためペルチェクーラーの見直しを行った。一般に最大吸熱量を増大させるためにはペルチェクーラー内のペルチェ素子の素子数を増大させるが、それに伴い直列抵抗の上昇が起こり、クーラーの消費電力も増大してしまう。そのため、ペルチェクーラーには目標とする最大吸熱量に対して、最適設計が存在する。QQ シリーズでは図 6 に示すように、最大吸熱量を伸ばしつつ、1.6 W ~ 2.5 W の領域で駆動を最適化した。この際に光アンプで使用される電源として 5 V のものが多いことを考慮すること、LD モジュールのサイズを従来の PA, PB シリーズから変更しないことを設計の目標とした。これにより、 $\Delta T = 45$ の条件下 (LD 温度 $T_s = 25$, ケース温度 $T_c = 70$) の条件下でも LD 素子の最大駆動電力を今までの 1.6 W から 2.5 W に増大させ、BOL で 1000 mA、EOL で 1200 mA までの駆動を可能とした。

6. 製品特性

LD モジュールの外観寸法を図 7 に示す。外観寸法は PA, PB シリーズの 1480nm LD モジュールと同じである。

図 8 に QQ シリーズの光電流特性を示した。ケース温度 70 の設定で LD 駆動電流 900 mA で 250 mW の光出力を達成した。ファイバ端からの最大光出力は 330 mW 以上である。また、250 mW での発振スペクトルを図 9 に示す。

ケース温度と LD 駆動電流を変化させたときのペルチェクーラーの電流、電圧特性を図 10、図 11 に示した。ケース温度 $T_c = 70$ で EOL を想定した LD 駆動電流 1200 mA において、クーラー電流 3 A、クーラー電圧 3.2 V である。

製品オプションとして

- ・ 光アイソレータ内蔵

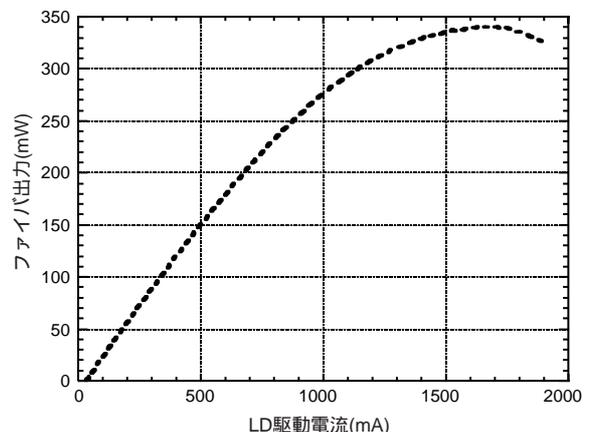


図8 ファイバ出力特性
L-I curve

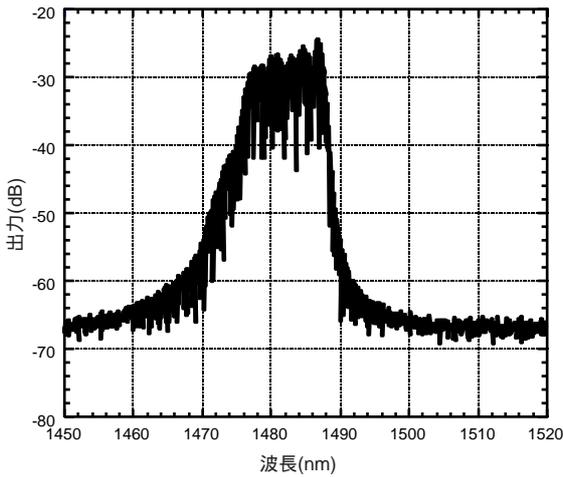


図9 出力スペクトル
Output spectrum of LD module

- ・ PMFを含む各種ファイバ
- ・ ファイバブラッググレーティング (FBG) による波長固定と狭スペクトル化⁴⁾

等々のPA, PBシリーズと同様のオプションが可能である。これらのオプションを組み合わせることで、双方向励起、偏波合成、波長合成などにより、超高出力光アンプ実現が可能となる。表1にQQシリーズの製品特性を示す。

また、QQシリーズでは、250 mWもの高出力が可能となったため、140 mWクラスのPA又はPBシリーズのLDモジュール2個の光出力を合成していた部分を、250 mWクラスのQQシリーズ1個で置き換えることが可能となった。その消費電力も図12に示すように合成光出力250 mWとした場合、140 mW品2個と250 mW品1個で比べると、ほぼ同等になっている。これにより、省スペース化が可能となり、制御回路等が単純化され、合成に必要であった光部品が不要となり、光アンプの小型化、低コスト化に貢献できる。

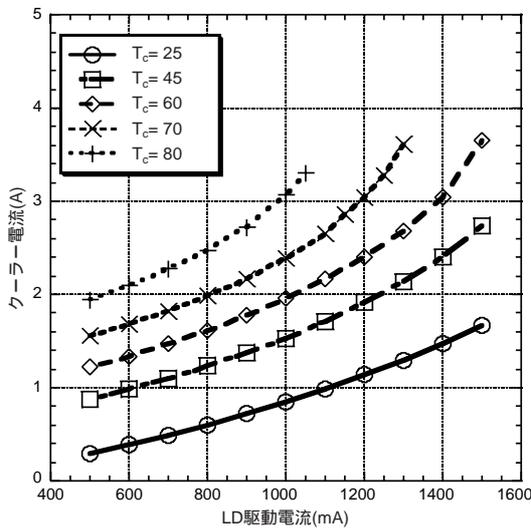


図10 クーラー電流特性
Characteristics of TEC current

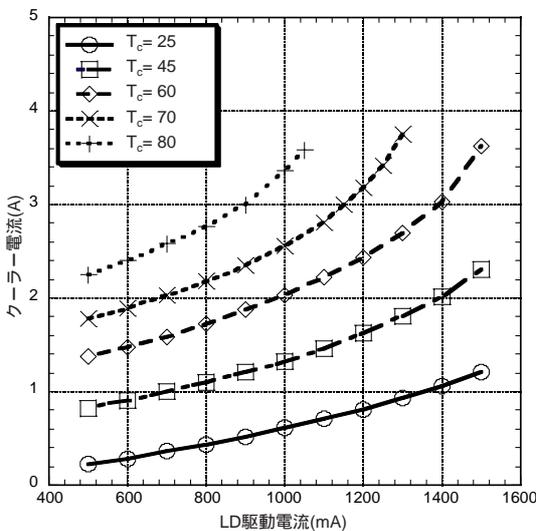


図11 クーラー電圧特性
Characteristics of TEC voltage

表1 QQシリーズ仕様
Specifications of QQ series laser diode modules

Parameter	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Unit	Condition
しきい値電流	I_{th}	-	35	70	mA	$T_s=25^\circ\text{C}$, CW
LD順電圧	V_f	-	-	2.7	V	$P_f=250\text{ mW}$, BOL
光出力 FOL1404QQO	P_f	250			mW	I_{fBOL} = $< 1000\text{ mA}$
LD順電流 (BOL)	I_{fBOL}	-	-	1000	mA	$P_f=250\text{ mW}$
LD順電流 (EOL)	I_{fEOL}	-	-	1200	mA	$I_{fEOL}=I_{fBOL} \times 1.2$
中心波長	λ_c	1460	-	1490	nm	RMS, $P_f=250\text{ mW}$
スペクトル幅	$\Delta\lambda$	-	4	8	nm	RMS, $P_f=250\text{ mW}$
モニタ電流	I_m	200	-	1500	μA	$V_{rPD}=5\text{ V}$, $P_f=250\text{ mW}$
モニタ暗電流	I_d	-	-	100	nA	$V_{rPD}=5\text{ V}$
クーラー電流	I_c	-	3	4	A	$T_s=25^\circ\text{C}$, $T_c=70^\circ\text{C}$, EOL
クーラー電圧	V_c	-	3	4	V	$T_s=25^\circ\text{C}$, $T_c=70^\circ\text{C}$, EOL
サーミスタ 抵抗	R_{th}	9.5	10	10.5	k Ω	$T_s=25^\circ\text{C}$
サーミスタ 定数	B	-	3900	-	K	-
アイソレー ション ^{*1}		30			dB	
偏波消光比 ^{*2}		13			dB	

*1 Type 3 or 4 (アイソレータ内蔵)

*2 Type 2 or 4 (PMF使用)

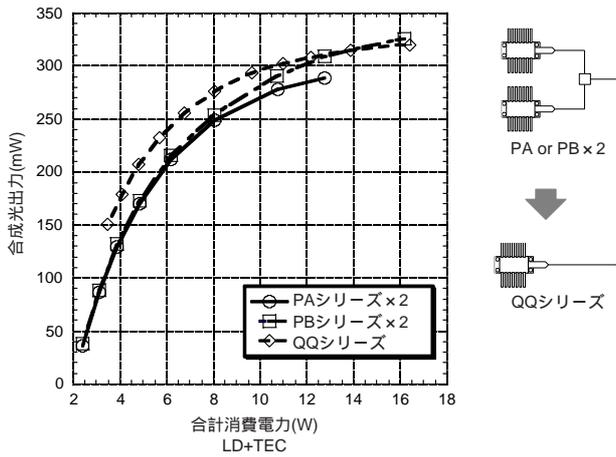


図 12 消費電力と光出力
Total power consumption vs. optical output power

7. おわりに

高温動作が可能なシングルモードファイバ付き 1480 nm 励起レーザモジュールにおいて、QQシリーズとして世界最高の光出力 250 mW の製品を開発した。この製品は、光アンプの高出力化、小型化に大きく貢献することが期待される。

参考文献

- 1) Y. Tashiro, S. Koyanagi, T. Aikiyo, and Y. Ikegami : 9th Topical Meet. of Optical Amplifiers and Their Applications, Vail, Colorado, paper WC2(1998)
- 2) M.Tanaka, S. Kinoshita, Y. Sugaya, and T. Tanaka : 10th Topical Meet. of Optical Amplifiers and Their Applications, Nara, Japan, paper ThA3-1(1999)
- 3) A.Kasukawa, T. Namegaya, N. Iwai, N. Nakayama, Y. Ikegami, N. Tsukiji : IEEE Photonics Tech. Lett. Vol66, No.1, (1994), 4
- 4) S. Koyanagi, A. Mugino, T. Aikiyo, and Y. Ikegami : 9th Topical Meet of Optical Amplifiers and Their Applications, Vail, Colorado, paper MC2(1998)