

ファイバーアンプ励起用高出力半導体レーザー

粕川 秋彦

よく知られているように光ファイバー通信は長距離・大容量伝送を実現でき、現代の情報化社会の通信系のバックボーンを支えている。近年、インターネットの普及に伴い急激な通信容量の増大が叫ばれているなか、増大し続ける通信容量の増大に対応するために、従来の通信方式時分割多重通信 (TDM) に代わり波長分割多重通信 (WDM) 方式が採用されている。この WDM システムでは、既設のファイバーや既存技術である 2.5 Gbps の伝送技術をそのまま使用できるため、最もコストエフェクティブな方法として広く認知されている。WDM 方式を用いたときの伝送容量の増加の様子を図 1 に示す。近い将来は、10 Gbps/チャンネルの技術を用いることにより、テラビット伝送も十分可能となっている。

WDM システムに用いられる信号光源には波長に対する厳しい要求のみならず、中継距離を増大するため、伝送速度を増大するため、あるいはシステム内で用いられる光部品による挿入損失等を補償するため大きな光出力が要求される。

光を光の形で増幅できる光ファイバーアンプは高ビットレートや多波長一括増幅に対応でき、しかも大きな光出力が得られるため WDM 方式にとって必須部品となっている。後述するように、光ファイバーアンプを用いて信号光波長 (1550 nm 帯) を増幅することができる。高出力 980 nm, 1480 nm レーザー (LD) が励起用光源 (ポンプ LD) として用いられる。

ここでは、光ファイバーアンプについて簡単に紹介した後、光ファイバーアンプの中核ユニットである励起用高出力半導体レーザーについて紹介する。

1. 光ファイバーアンプ

稀土類であるエルビウム (Er) イオンをコアの部分にドープしたエルビウムドープファイバー (EDF) は光通信の最低損失波長である 1550 nm 帯で高利得の光増幅が得られるため特に注目されている¹⁾。この EDF を用いたファイバーアンプ (EDFA: Er-doped fiber amplifier) の構成の一例を図 2 に示す。EDF, 励起用レーザーモジュール (LDM), 励起光と信号光とを EDF に導入するための光合波器 (WDM), アンプ内の発振を防止するための光アイソレーター, および光フィルターの 5 要素が基本で構成されており、さらに入出力レベルをモニターするためのカップラーと光検出器が通常含まれる。励起用の光源は、EDF の吸収波長となる 980 nm あるいは 1480 nm の高出力 LD が用いられる。1480 nm で励起した場合、高いエネルギー変換効率を得られ、980 nm で励起した場合、雑音指数が小さくできるという特徴がある。現在では、両者の特徴を活かし、980 nm 励起をプリアンプとして、1480 nm 励起をブースターアンプとして用いるケースが多い。

2. 高出力レーザーとレーザーモジュール

2.1 波長 1480 nm LD

図 3 に LD 構造を示す。活性層は、高効率動作が可能な GaInAsP 圧縮歪量子井戸 (厚さ 4 nm, 井戸数 5) 構造を用いている²⁾。また、狭出射ビームを実現するため光閉じ層には組成の異なる GaInAsP を用いている。発振モードの制御および低消費電力動作を目的に、活性層幅を 2 μm 程度とした埋め込み (buried heterostructure: BH) 構造を用いている。図 4 には、最適化された LD の注入電流対光出力特性を示す。共振器長は熱放散を考慮し 1200 μm と通常の光通信用の LD の 300~400 μm に比べると長共

古河電気工業(株)横浜研究所 (〒220-0073 横浜市西区岡野 2-4-3)
E-mail: kasukawa@yokoken.furukawa.co.jp

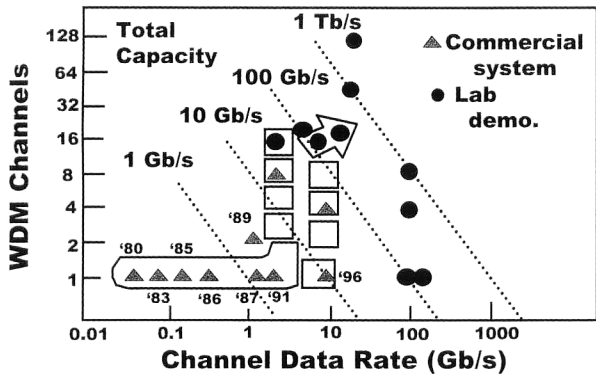


図1 WDMシステムを使った伝送速度の進歩.

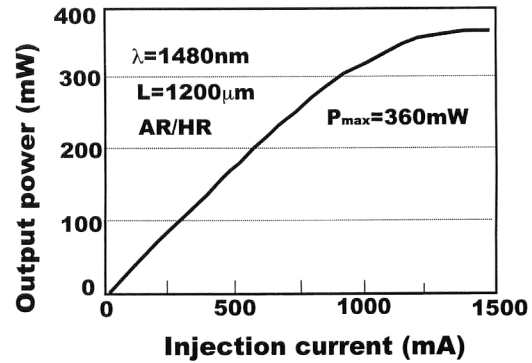


図4 1480 nm レーザーの電流対光出力特性.

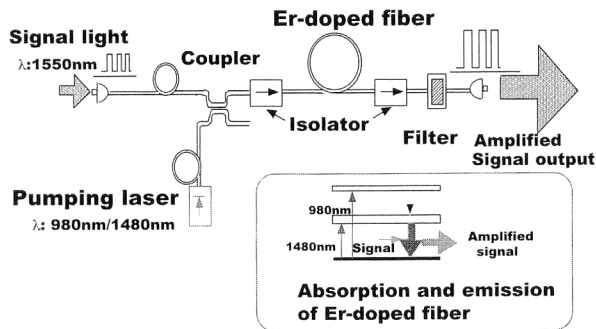


図2 光ファイバーアンプの構成.

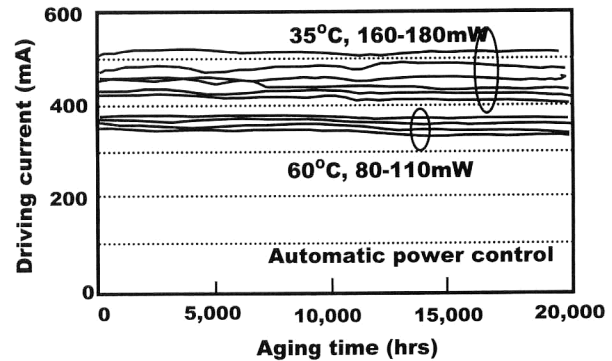


図5 1480 nm レーザーの信頼性試験結果.

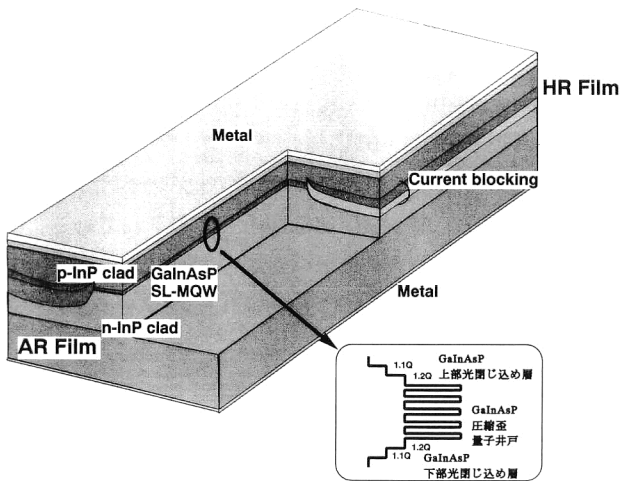


図3 1480 nm レーザーの構造図 (図中 AR film, HR film はレーザー端面にコーティングされた低反射率膜, 高反射率膜, SL-MQW は圧縮歪量子井戸活性層, 1.1Q, 1.2Q は組成波長 1.1 μm , 1.2 μm の GaInAsP 層を示す).

振器構造となっている。また、放熱性を高めるため、素子は熱源となる活性層をヒートシンク側にシボンディングしてある。光取り出し面から高い光出力を得るため共振器の後面には誘電体膜からなる高反射率膜、前面には低反射率膜をコーティングしてある。最大光出力は 360 mW が得られた²⁾。この例の場合、1200 μm の長共振器を用いているため、熱による光出力の飽和は抑えられ高出力動作が得

られているものの、実使用レベルである 100~200 mW を得るための動作電流 (消費電力) が高い。そこで一般的には、800 μm 程度の共振器長が用いられている。共振器長を短くしたことで、最大光出力は減少するものの、量子効率が大きくなるため、100~200 mW を得るための駆動電流 (消費電力) を低減化することができる。

光ファイバーアンプは基幹回線や海底線 で用いられるため、通常の光通信用 LD 同様の高い信頼性が高出力動作条件下で要求される。図5には 35°C, 60°C での一定光出力モードの信頼性試験の結果を示す。光出力は、それぞれの動作温度での最高 (飽和) 光出力の 80% であり、35°C では 180 mW 程度、60°C で 120 mW 程度の光出力に対応する。20,000 時間経過後も駆動電流の顕著な上昇も観察されず安定に動作していることがわかる。35°C, 150 mW 程度の光出力 (モジュール出力で 120 mW 相当) での MTTF (mean time to failure; 平均寿命の推定値) として 100 万時間が推定され、高い光出力でも高い信頼性が達成されている^{3,4)}。

2.2 波長 980 nm

図6には AlGaAs 層をクラッドとするリッジ導波路型 LD 構造を示す⁴⁾。活性層は GaInAs 圧縮歪量子井戸 (厚さ 7 nm, 井戸数 2) からなる。幅 4 μm , 共振器長 1500

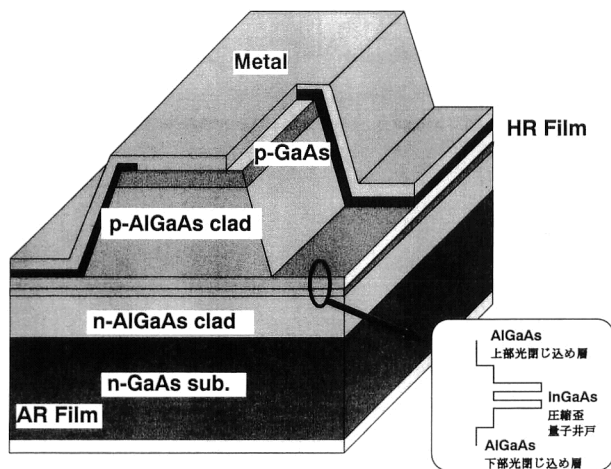


図6 980 nm レーザーの構造模式図（図中の略号は図3と同じ）。

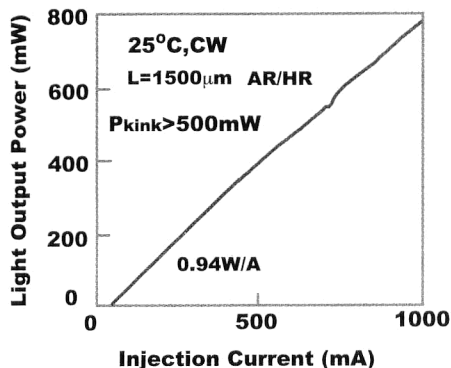


図7 980 nm レーザーの電流対光出力特性（図中 P_{kink} は基本横モード動作する最大の光出力）。

μm のリッジ導波路型 LD の電流対光出力特性を図7に示す。最大光出力 1000 mW 以上、スロープ効率 0.94 W/A 程度と実用上十分な特性が得られるに至っている。端面へ特殊保護膜を採用することで 980 nm LD で問題となる頓死を防いでいる。500 mW 以上の基本横モード出力を達成した。リッジ導波路型を用いているため、出射ビーム形状は波長 1480 nm LD に比べると楕円形状である。しかしながら、結合系を工夫することにより、SMF (single mode fiber; 単一モードファイバー) への結合効率 80% 程度が可能である。

図8には、端面保護された素子の 60°C, 250 mW 一定出力での長期信頼性試験結果を示す⁴⁾。5000 時間程度まで駆動電流の顕著な上昇は観察されず安定に動作しており、実用化レベルの高信頼性が得られている。

2.3 レーザーモジュール

図9には LDM の写真を示す。このモジュールには、高出力 LD, モニターフォトダイオード, 光アイソレータ, レンズ, 温度調整用ペルチェ素子が内蔵されている。

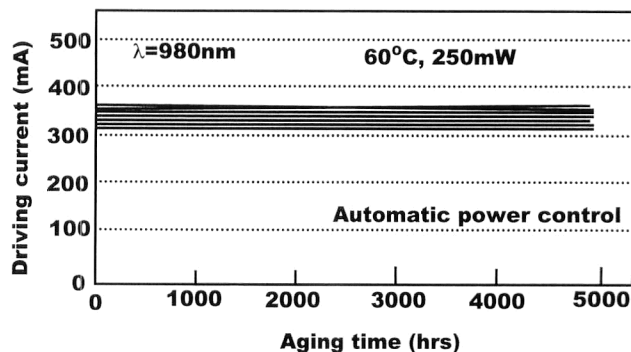


図8 980 nm レーザーの信頼性試験結果。

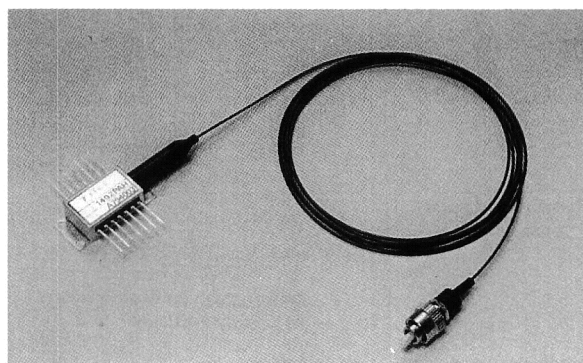


図9 レーザーモジュール（ピッグテールモジュール）の外観写真。

980 nm では 200 mW 以上⁵⁾、1480 nm では 300 mW 以上の光出力が得られている⁶⁾。

また、波長安定化を目的にファイバグレーティングを内蔵した波長安定化 1480 nm LDM も作製されている。ファイバグレーティングを用いることで、温度・注入電流に対しても安定した波長特性が実現されている。

3. 今後の展開

歴史的に見ると、1480 nm LD では量子井戸活性層の導入、歪量子井戸活性層の導入により高出力化が可能となってきた。今後さらに高出力を実現するためには、活性層構造あるいは材料系におけるイノベーションが必要である。現在、盛んに検討されている量子箱による特性改善も期待される。ハイパワーデバイスであるため、LD の組立方法、ヒートシンク材料、ペルチェクーラー等を含めた総合的な熱設計も重要である。

本研究を遂行するにあたり日頃よりご支援いただく大久保常務、鈴木取締役、城川半導体研究開発センター長、神谷 WA チーム長に感謝する。また、ファイナル製品事業部を含めた当社ポンプレーザーチーム諸氏に感謝する。

文 献

- 1) S. B. Poole, D. N. Payne and M. E. Fermann: "Fabrication of low-loss optical fibers containing rare-earth ions," *Electron. Lett.*, **21** (1985) 737-739.
- 2) A. Kasukawa, T. Namegaya, N. Iwai, N. Yamanaka, Y. Ikegami and N. Tsukiji: "Extremely high output power 1.48 μm GRIN-SCH strained-layer MQW lasers," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, **1** (1994) 4-6.
- 3) A. Kasukawa, M. Ohkubo, T. Ijichi and Y. Ikegami: "High power, high reliable 980 nm and 1480 nm pumping lasers," *Technical Digest of LEOS '98*, Orland (1998) pp. 342-343.
- 4) A. Kasukawa: "Recent progress of high power laser diodes for EDFA pumping," *Technical Digest of Optical Fiber Communication Conference*, San Diego (1999) pp. 20-22.
- 5) Y. Irie, J. Miyokawa, A. Mugino and T. Shimizu: "Over 200 mW 980 nm pump laser diode module using optimized high-coupling lensed fiber," *Technical Digest of Optical Fiber Communication Conference*, San Diego (1999) pp. 238-240.
- 6) T. Kimura, N. Tsukiji, A. Iketani, N. Kimura, H. Murata and Y. Ikegami: "High temperature operation quarter watt 1480 nm pump LD module," *Technical Digest of Optical Amplifiers and Their Applications*, Nara (1999) pp. 183-184.

(1999年10月26日受理)