

外部光源向け高出力・高効率分布帰還型レーザの開発

Development of High Power Distributed Feedback Lasers
With High Power-Conversion-Efficiency for External Laser Sources今村 明博 ^{*1}
Akihiro Imamura吉田 琢真 ^{*1}
Takuma Yoshida小林 剛 ^{*1}
Go Kobayashi石井 啓之 ^{*2}
Hiroyuki Ishii

〈概要〉

データセンタ内通信における近距離光ファイバ通信の需要が急速に増加している。これに対応するため、フロントパネル部から基板上の集積回路までの電気配線を光配線に置き換える Co-Packaged Optics 技術の導入が進められており、外部光源として単一モード特性を備えた高出力・高効率半導体レーザが求められている。本研究では、その外部光源向けに 1.3 μm 帯で動作する高出力・高効率分布帰還型レーザを開発した。開発したレーザは、分布帰還型レーザと半導体光増幅器をモノリシック集積した長さ 1.8 mm のチップであり、埋込ヘテロ構造、電界制御層、非対称構造の低/高反射率端面を採用している。直流駆動光出力は、50°C および 75°C においてそれぞれ 200 mW、400 mW、電力変換効率は 75°C において光出力 200 mW のとき 21% と、高出力特性と高効率特性を両立した。

1. はじめに

生成 AI (Artificial Intelligence) や HPC (High Performance Computing)、クラウドサービスの急速な普及により、データセンタにおける情報処理量は飛躍的に増加している。情報処理量の増加に伴い消費電力は 2030 年には 945 TWh に達すると予測されており、消費電力が生成 AI 等の進化のボトルネックになると見込まれている¹⁾。データセンタ内通信においても顕著に消費電力が増加しており、通信システムの高速化と省電力化が重要な課題となっている。

従来のプラグブルモジュールを用いた方式では、光と電気の間インターフェイスがフロントパネル部となるため、フロントパネル部からスイッチ ASIC (Application Specific Integrated Circuit) などの半導体チップまでは電気配線が使用される。伝送速度の増加に伴う電気配線の伝送損失や消費電力の増大が問題となっており、次世代技術として光学部品をスイッチ ASIC 等と同一基板上に集積し、電気配線を光配線に置き換える CPO (Co-Packaged Optics) 技術が注目されている。CPO 技術を導入し、電気配線を光配線に置き換えることで伝送損失を低減し、信号再生デバイスを削減することができ、約 30% の消費電力削減効果が見込まれる²⁾。

図 1 に CPO 技術と外部光源 (external laser source: ELS) の概念図を示す³⁾。CPO 構成において光トランシーバをスイッチ ASIC 近傍に配置した場合、発熱による光源の特性劣化が懸念される。この課題を解決するため、光源のみ比較的低温環境で

あるフロントパネルに設置する ELS が提案されている^{4), 5)}。ELS としては高速伝送を可能とし、リンク損失を補償するため、単一モードかつ高出力のレーザが不可欠である。

こうした背景のもと、ELS として単一モード特性を備えた高出力・高効率半導体レーザの研究開発が活発化しており、近年では高出力の分布帰還型 (distributed feedback: DFB) レーザに関する多くの報告がなされている。チップ長が 2 mm の例では、直流 (direct current: DC) 駆動光出力 200 mW を超える高出力 DFB レーザが報告されている^{6)~8)}。消費電力削減の観点から、高出力 DFB レーザは高い変換効率を持つ必要がある。本稿では、ステージ温度 75°C、DC 駆動光出力 200 mW の動作条件下において 21% の高い電力変換効率を持つ、1.3 μm 帯高出力・高効率 DFB レーザを開発したことを報告する。

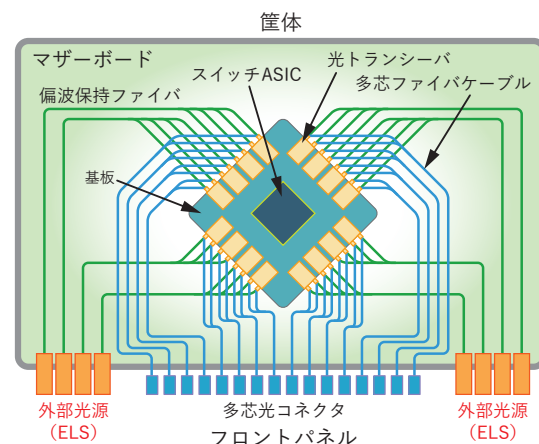


図 1 CPO と外部光源 (ELS) の概念図
Conceptual illustration for co-packaged optics (CPO) with external light sources (ELS).

^{*1} 研究開発本部 フォトニクス研究所 フォトニックデバイス開発部

^{*2} 研究開発本部 フォトニクス研究所

部署名は 2026 年 3 月時点の所属を記載しています。

2. デバイス構造

一般に、半導体レーザの注入電流を増加すると、発熱により素子の温度が上がり、光出力特性が劣化する。素子温度の上昇はスロープ効率の低下、更には光出力の飽和をもたらす、高出力化の制限要因となる。発熱による特性劣化を抑制するためには、半導体レーザの電気抵抗および熱抵抗の低減が有効である。電気抵抗および熱抵抗は素子長に反比例するため、素子長を増加することで自己発熱を抑制し、高出力化が可能である。一方、素子長の増加はミラー損失の低下を通じてスロープ効率の低下要因となる。本開発では、ELS用DFBレーザに求められる高出力・高効率特性を同時に満たすことを目標に、高出力と高効率のトレードオフを考慮し、素子長は1.8 mmとし、DFBレーザと半導体光増幅器(semiconductor optical amplifier: SOA)のモノリシック集積構造を採用した。

図2に、高出力DFBレーザ素子構造の上面模式図を示す。DFB領域よりSOA領域の方がメサ幅が大きいWide-SOA構造を採用している。DFB領域は単一横モードが確保できるメサ幅とし、スポットサイズコンバータ(spot size converter)で単一横モードを維持したままSOA領域に結合させる。一方、SOA領域は電気抵抗と熱抵抗の低減を目的として広いメサ幅を採用し、高電流駆動時の自己発熱を抑制するとともに、利得飽和を抑制して高出力化を狙っている。

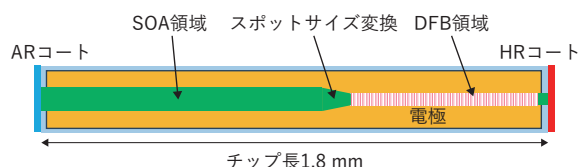


図2 半導体光増幅器(SOA)を集積した高出力分布帰還型(DFB)レーザ素子構造の上面図
Schematic top view of high-power distributed feedback (DFB) laser chip integrated with semiconductor optical amplifier (SOA) via spot size converter.

活性層はGaInAsP系多重量子井戸構造とし、電流狭窄構造は熱抵抗低減のため埋め込みヘテロ(buried-hetero: BH)構造を採用した。また、素子長増加に対するスロープ効率低下を抑制するため、活性層下方のN型半導体層側にGaInAsP系多層構造の電界調整層を導入した⁹⁾。高屈折率のGaInAsP層により光強度分布をN側半導体側に寄せ、P型半導体層にかかる光強度分布を低減することで、価電子帯間光吸収の抑制が可能である。1.3 μm 帯では価電子帯間光吸収が導波路損失の主要因の一つだが、価電子帯間光吸収を抑制することで導波路損失を低減し、素子長増加によるスロープ効率低下を抑制できる。また、素子両端面は光出力増加のため低反射(antireflection: AR)/高反射(high-reflection: HR)の非対称構成の端面コーティングを採用した。

3. デバイス特性評価結果

3.1 光出力特性と電力変換効率

評価はチップのP電極側を上面にして窒化アルミニウム(AIN)のサブマウントに実装したチップオンサブマウント状態で

で、DC駆動により連続波(CW)光出力特性を評価した。図3にDC駆動電流-光出力特性を示す。環境温度はサブマウント下部のステージ温度で管理し、25°C、50°C、75°Cの3条件で評価した。測定時の駆動電流は最大1125 mAであり、出力制限のため25°Cでは875 mAまでとしている。すべての環境温度条件でクシクのない良好な特性を示しており、75°Cではしきい値電流約120 mAで、最大光出力236 mWを達成した。さらに、50°Cでは最大光出力400 mWを達成した。

図4に電力変換効率を示す。光出力200 mWのときの電力変換効率は25°Cで44%、50°Cで35%、75°Cで21%であった。また、400 mWのときの電力変換効率は25°Cで37%、50°Cで21%であり、高効率な発光特性が得られた。

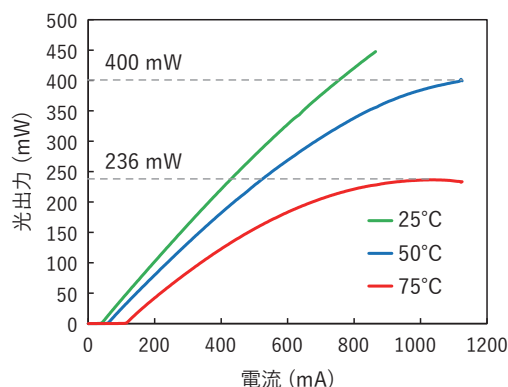


図3 環境温度25°C、50°C、75°CにおけるDC駆動電流-光出力特性
Measured light-output power characteristics for high-power DFB laser as function of DC drive current, at ambient temperatures 25, 50 and 75°C.

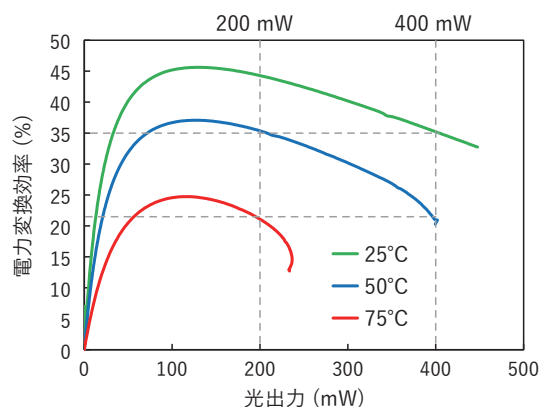


図4 環境温度25°C、50°C、75°Cにおける電力変換効率
Measured power conversion efficiency for high-power DFB laser driven by direct current, at ambient temperatures 25, 50 and 75°C.

3.2 光スペクトル特性と相対強度雑音

CPOへの適用には低い相対強度雑音(relative intensity noise: RIN)が求められる。サイドモード抑圧比(side mode suppression ratio: SMSR)が低いと、主モードとのビートによりRINが増加するため、高いSMSRが要求される。図5は、25°C、50°C、75°Cにおける駆動電流700 mAのときの光スペクトルを示している。発振波長のピークは約1310 nmであり、単一モード発振が得られている。温度変化に対して連続的に波長が変化しており、モード跳びが生じていないことが確認されて

いる。SMSRはすべての温度条件で50 dB以上であり、良好な単一モード特性を示している。

次にRIN特性を評価した。RINの評価では、反射戻り光をなし、-40 dB、-35 dBと変化させ、反射戻り光に対する耐性を併せて評価した。反射戻り光の偏波はRINが最大となるよう調整した。図6に環境温度25℃における、RINの評価結果を示す。RIN測定値はピーク値が-145 dB/Hz以下、平均値は-155 dB/Hz以下であった。また、-35 dBの反射戻り光に対してもRINの変化は小さく、良好な反射戻り光耐性が得られた。

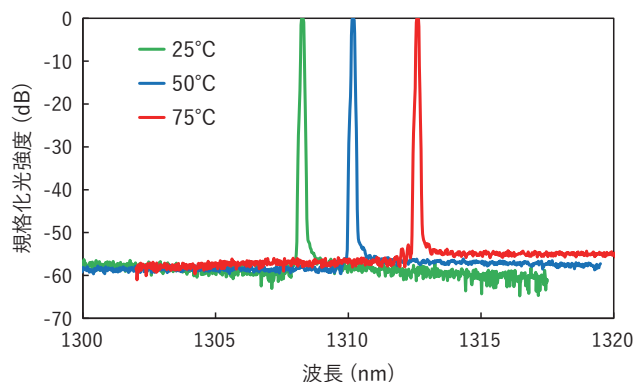


図5 環境温度25℃, 50℃, 75℃におけるDC駆動電流700 mAのときの光スペクトル
Measured Optical Spectrum of High Power DFB laser with DC driving current 700 mA and at ambient temperatures 25, 50, and 75°C.

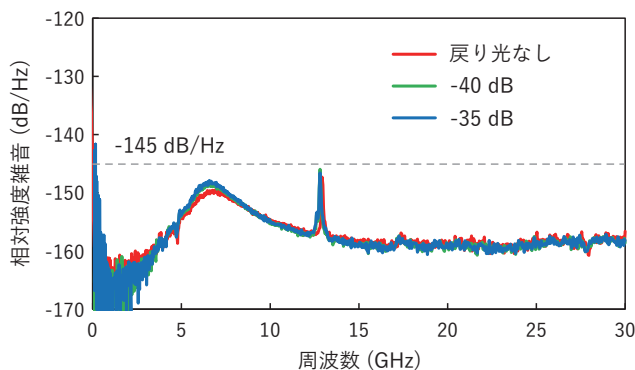


図6 環境温度25℃における相対強度雑音スペクトル
Measured relative intensity noise (RIN) Spectrum at ambient temperature 25°C.

3.3 電力変換効率の比較

図7に電力変換効率を既報値と比較して示す。光出力200 mWにおける電力変換効率を環境温度に対して示し、既報のチップ長2 mmの1.3 μ m帯高出力DFBレーザ^{6), 7)}と比較した。本稿の高出力DFBレーザは、25℃, 50℃で業界最高の電力変換効率、75℃でも業界最高水準の電力変換効率を示した。しかしながら、温度変化に対する電力変換効率の低下が比較的大きいことが課題であり、活性層構造等の見直しによる改善の余地があると考えている。

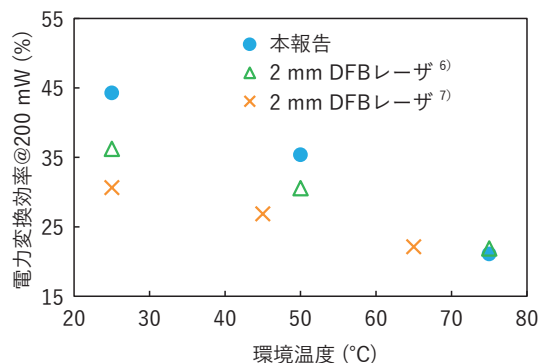


図7 DC駆動光出力200 mWにおける電力変換効率の既報値との比較
Measured Power Conversion Efficiency at various ambient temperatures and at DC driven light output power 200 mW, compared with reported values.

4. おわりに

今回、我々はELS向けに、高出力・高効率1.3 μ m帯DFBレーザを開発した。Wide-SOA構造を採用し、電界調整層を導入することで、高い電力変換効率を得られ、光出力200 mWのときの電力変換効率は、25℃, 50℃で業界最高値、75℃で業界最高水準であった。開発した高出力DFBレーザは、50 dB以上の高いSMSRと-35dBまでの良好な反射耐性を示しており、ELS用途に適していることを示した。今後、引き続き高出力化、電力変換効率の温度依存性改善等、更に改良を進めて行く予定である。

参考文献

- 1) IEA, "Energy and AI", 2025.
- 2) A. Torza, "Cisco Demonstrates Co-packaged Optics (CPO) System at OFC 2023", Cisco Blogs, Mar. 2023.
- 3) 古河電工HP>ニュースリリース>CPO用ELSがICSJ2022にて Best Paper Awardを受賞(2022年10月31日)
https://www.furukawaelectric.com/release/2022/comm_20221031.html (参照日: 2026年1月15日)
- 4) Taketsugu Sawamura, Kyoko Nagai, Kazuhiko Kashima, Kohei Umetsu, Daiki Takeda, Tsunetoshi Saito, and Hideyuki Nasu, "8-Channel CWDM TOSA for CPO External Laser Sources Employing a Blind Mate Optical Connector," OFC 2023, paper W4B.1 (2023).
- 5) Kyoko Nagai, Taketsugu Sawamura, Masayoshi Kimura, Kazuhiko Kashima, Kohei Umetsu, and Hideyuki Nasu, "A Record Energy Efficient QSFP ELS for Co-Packaged Optics," ECOC 2022, paper We.B.4.4 (2022).
- 6) Milind R. Gokhale, Mark A. Emanuel and Benjamin Li, "Record high efficiency high-power uncooled 1.31 μ m CW-DFB lasers," OFC 2023, paper M4C.1 (2023).
- 7) Daisuke Inoue, Konosuke Aoyama, Naoki Fujiwara, Daisei Shoji, and Harold Kamisugi, "A high-power, power-efficient 1.3- μ m SOA-integrated DFB laser for CPO applications," OFC 2023, paper M4C.4 (2023).
- 8) Yuanfeng Mao, Yuanbing Cheng, Guangcan Chen, Yanbo Li, Bo Wu, "Development of High-Power DFB Lasers with High Reliability," OFC 2024, paper M1D.3 (2024).
- 9) J. Yoshida, M. Wakaba, N. Hojo, M. Seki, and H. Itoh, "High Power 14xx-nm Raman Pump Using GaInAsP/InP Electric-Field-Control Layers," ISLC 2022, paper TuA-06 (2022).