

高出力青色レーザーダイオードモジュール 及びレーザー発振器の開発

Development of High-Power Blue Laser Diode Module and Laser System

早水 尚樹*
Naoki Hayamizu

森 肇*
Hajime Mori

〈概要〉

青色レーザーの金属加工用途への適用を目的に、日亜化学工業株式会社殿と協力し、高出力青色半導体レーザーダイオードモジュールの開発を行った。日亜化学工業株式会社殿が世界最高の光出力が得られる青色レーザーダイオード (LD) が封入された小型パッケージを作製し、古河電工がファイバレーザで使用される赤外波長帯のレーザーダイオードモジュール (LDM) で培った技術を元にモジュール化を行った。その結果、約100 μm のコア径を持つ光ファイバから平均光出力185 Wが得られ、1000時間を超える連続駆動においてもほぼ光出力劣化の無い高信頼性を有した青色レーザーダイオードモジュールを開発することができた。

上記青色レーザーモジュールを制御回路及び駆動回路と接続して発振器を構成し、これをIRファイバレーザ発振器と組み合わせたBlue-IRハイブリッドレーザ発振器「BRACE®」を開発した。

1. はじめに

地球温暖化防止と持続可能な社会実現のため、世界各国の政策で新車のガソリン車販売を規制する動きがでてきており、今後、ハイブリッド車も含めたxEV (電気自動車) への置き換えが進むと予想されている。2030年代には32%が、2040年代には51%の自動車はxEV化されると予想され、この動きは更に加速されると考えられる。xEVの社会普及を推進するためには、製造コストを低減し、いまのガソリン車と変わらない普及価格帯で提供することが重要である。xEVの基幹部品であるモータ、インバータ、リチウムイオン電池には銅が多く使用されており、それぞれモータ巻線溶接やバスバ溶接、電池箔溶接といった銅の加工が多く存在しており、これらの銅加工に対し、非接触・高速・高精度であるレーザー加工への需要が増大すると考えられる。

しかし、古河電工がレーザー加工用として製品化している赤外波長帯のファイバレーザでは、その銅に対するレーザー加工が難しいことが知られている。

我々は、日亜化学工業株式会社殿とパートナーシップを結び、ファイバコア径約100 μm の光ファイバから100 Wを超える光出力を得ることを目標に青色LDMの開発を行った。別稿の日亜化学工業株式会社社長濱氏の特別寄稿「高出力青色レーザーダイ

オードの開発」の通り、日亜化学工業株式会社殿が1エミッタの青色LDでは世界最高出力である11.2 Wの光出力を発する青色LD及び、その青色LDを封入した小型パッケージ：サイドリードパッケージ (Side Lead Package: SLP) を開発した。

さらに、このSLPを搭載し、古河電工のIRファイバレーザに使用されている赤外波長帯のレーザーダイオードモジュール (IR-LDM) の設計、製造技術を使って、古河電工が青色LDMの開発を行った。

2. 高出力青色LDMの構造

図1にIR-LDMの構造を示す¹⁾。この方法は、複数のIR-LDを階段状に配置し、それぞれの光をレンズやミラーといった光学部品を用いて1本の光ファイバに入射させることで高出力化している。青色LDMでは、このIR-LDの部分を実際に置き換え、それに合わせて光学部品や構造を最適化している。

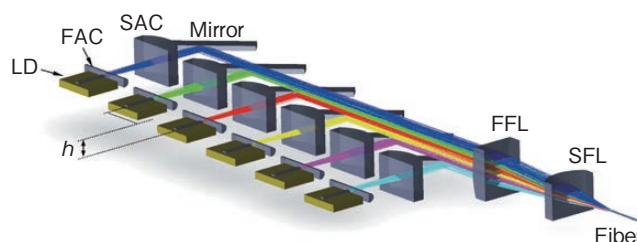


図1 赤外波長帯レーザーダイオードモジュール (IR-LDM) の構造図
Structural drawing of IR-LDM.

* 研究開発本部 インキュベーター統括部
先進レーザー開発プロジェクトチーム

IR-LDMでは、そのパッケージを外付けのヒートシンクで一括して冷却することが可能であったが、青色LDはその特性として、IR-LDの約2倍の排熱量がある。青色LDMの光出力の高出力化、特性安定化、高信頼性化のためには、各SLPを効率的に、均一に冷却することが望ましい。このため、**図2**に示すように、SLPを搭載するベースプレートとして、その階段の傾斜に沿って水路を形成した水冷ヒートシンク一体型のベースプレートを採用した²⁾。

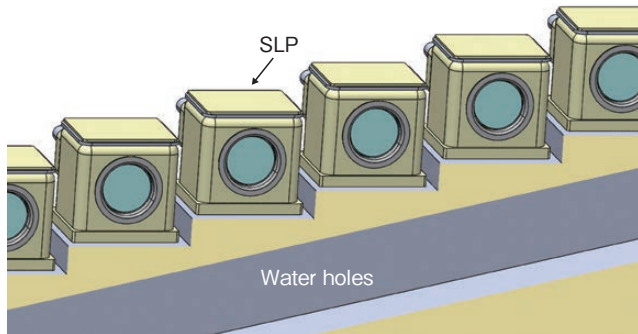


図2 SLP冷却構造の構造図
Structural drawing of cooling system for SLP.

3. 高出力青色LDMの特性

以上の技術を用いて作製した高出力青色LDMの典型的な光-注入電流特性(L-I特性)および電圧-電流特性(V-I特性)を**図3**に示す。冷却水の温度は25℃に設定し、CW(Continuous Wave)駆動の下、測定を行った。その結果、約100 μmのファイバコアから、定格駆動電流値:8.5 Aにて185 W、寿命電流値である10.5 Aでは220 Wの光出力を達成した。これは約100 μmのファイバコアで出力される青色LDMとして世界最高クラスの光密度である。

また、**図4**に青色LDMの典型的な波長スペクトルを示す。中心波長は約462 nmであり、SLPにて測定された波長とはほぼ変わらないことから、水冷ヒートシンク一体型のベースプレートにより十分に冷却されていることが示されている。

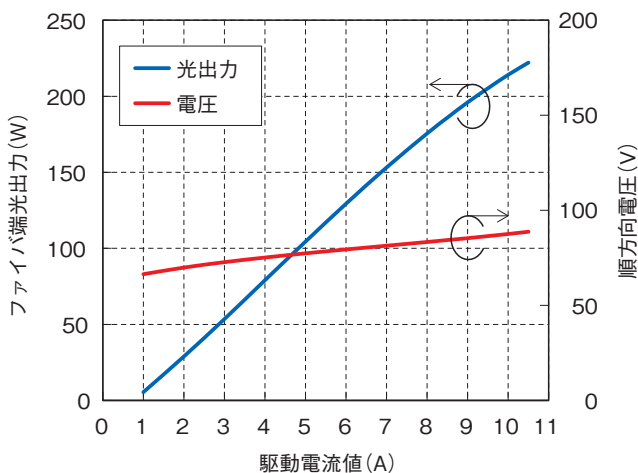


図3 青色LDMのL-I, V-I特性
Typical L-I and V-I characteristics of the blue LDM.

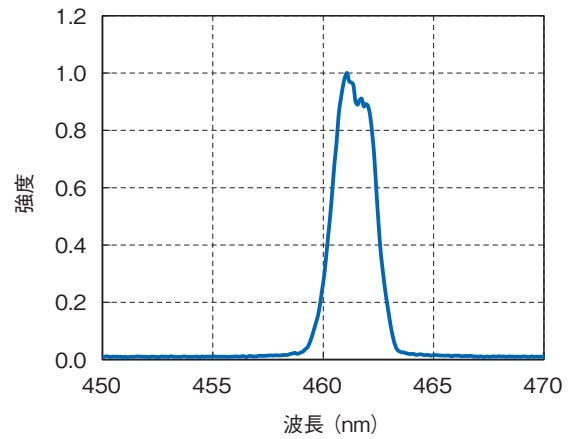


図4 青色LDMの波長スペクトル
Typical wavelength spectrum of the blue LDM.

4. 青色LDMの信頼性

図5に、青色LDMを寿命電流値:10.5 Aにて連続通電試験を行った5サンプルの試験結果をまとめて示す。日亜化学工業株式会社殿の信頼性の高い青色LDと古河電工のLDM製造技術の融合により、1000時間経過してもファイバ端光出力の変動が1%以下と非常に優れた信頼性を示している。

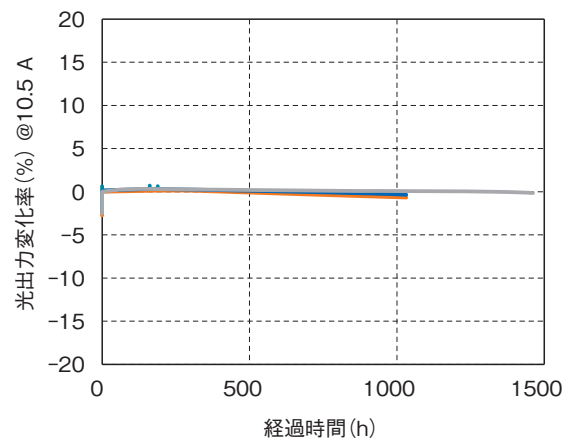


図5 青色LDMの連続通電試験の結果
Aging test result of the blue LDM.

また、**図6**に信頼性試験項目の一例である、ヒートショック(温度サイクル)試験及び高温放置試験を行った5サンプルの試験結果をまとめて示す。ヒートショック試験では、-20℃と+70℃の温度変化を1サイクルとし、その温度負荷を100サイクル掛けても、光出力変動値は±4%以内と良好な結果を示している。高温放置試験は、仕様の保存温度50℃に対し、それより十分に高い70℃の環境下に500時間放置しても光出力変動が1%以下という結果を示している。

これらの結果から、加工などの産業用途で十分に使用できる信頼性をもった青色LDMが開発できたと考えている。

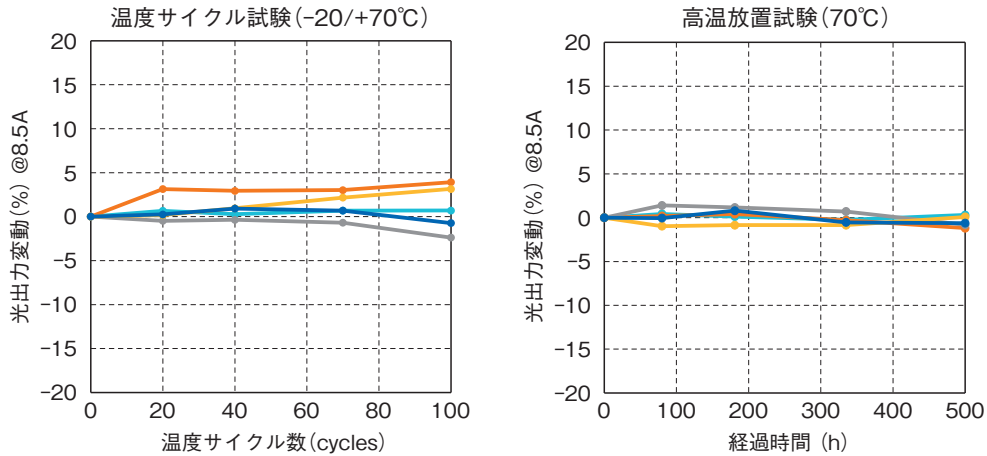


図6 青色LDMの信頼性試験の結果(ヒートショック及び高温放置試験)
Heat shock test and high temperature storage test results of the blue LDM.

5. Blue-IRハイブリッドレーザ発振器「BRACE」

上記青色レーザモジュールを制御回路及び駆動回路と接続し青色発振器を構成し、これをIRファイバレーザ発振器と組み合わせたBlue-IRハイブリッドレーザ発振器「BRACE」を開発した。図7に装置外観、図8に青色及びIRレーザの出力特性を示す。青色で150 W以上、IRで1 kW以上の出力が得られた。



図7 Blue-IRハイブリッドレーザ「BRACE」装置外観
Blue-IR hybrid laser "BRACE".

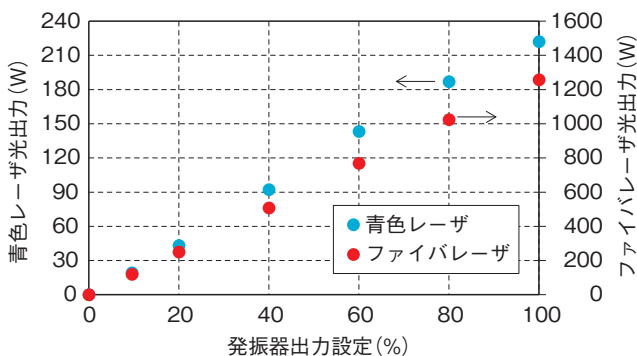


図8 BRACE 光出力特性
Typical L-I characteristics of BRACE.

6. まとめと今後の展望

青色レーザの金属加工用途への適用を目的に、日亜化学工業株式会社殿と協力し、高出力青色半導体レーザダイオードモジュールの開発を行った。古河電工のIR-LDMの技術を用いて、日亜化学工業株式会社殿が開発したSLPに最適化されたLDMを開発した。その結果、約100 μmのファイバコアから定格駆動時の平均光出力で185 Wを有し、さらに220 Wにおよぶ高出力下での1000時間を超える連続通電試験において、約1%以下の光出力変動という高信頼性も有する青色LDMを開発した。開発した青色LDMを制御回路などと接続して発振器を構成し、これをIRファイバレーザ発振器と組み合わせたBlue-IRハイブリッドレーザ「BRACE」を製品化した。

今後は、日亜化学工業株式会社殿が青色LDの更なる高出力化に取り組み、日亜化学工業株式会社殿及び古河電工の両者でLDから光ファイバへの光結合効率を更に高め、ファイバ端光出力300 Wを超える青色LDMを開発する予定である。

参考文献

- 1) Y. Ishige, E. Kaji, E. Katayama, Y. Ohki, G. Gajdáty, and A. Cserteg, 120W, NA_0.15 Fiber Coupled LD module with 125-μm clad / NA 0.22 fiber by spatial coupling method, Proc. of SPIE, 10514, (2018), 105140M.
- 2) Y. Ishige, H. Hashimoto, N. Hayamizu, N. Matsumoto, F. Nishino, M. Kaneko, H. Nasu, G. Gajdáty, A. Cserteg, K. Jahn, T. Hirao, H. Matsuo, R. Konishi, Blue laser-assisted kW-class CW NIR fiber laser system for high-quality copper welding, Proc. of SPIE 11668 (2021) 116680M.