

85°Cで安定動作可能な 超小型RGBレーザモジュール

Ultracompact RGB Laser Module Operating at +85°C

熊野 哲弥*
Tetsuya Kumano

塩谷 陽平
Yohei Enya

石原 邦亮
Kuniaki Ishihara

中西 裕美
Hiromi Nakanishi

池上 隆俊
Takatoshi Ikegami

中村 孝夫
Takao Nakamura

広い温度範囲で動作する今までにない超小型RGBレーザモジュールを開発した。RGB各レーザチップ、フォトダイオードチップ、サーミスタ、光学部品等が熱電クーラー上に搭載され、それらが全てハーメチックシールされている。11×13×5.7mmの金属パッケージに収まり、そのパッケージから安定した高品質なコリメート光が出射される。半導体レーザ（特に赤色レーザ）の高温における出力低下が厳しいことにより今までRGBレーザモジュールの+85°Cにおける動作は困難であったが、チップ実装により低熱容量化を行うことで熱電クーラーを使用したモジュール温度の制御が可能となり、-40～+85°Cの広い温度範囲におけるモジュールの動作を実現した。温度制御は早い応答速度（4秒以下）を実現している。

We have developed a novel ultracompact RGB laser module with a wide operating temperature range. RGB laser chips, photodiode chips, a thermistor, and optical components are mounted on a thermo-electric cooler on a base mount. The base mount is hermetically sealed in an 11 × 13 × 5.7 mm metal package, from which high-quality stable collimated laser beams are emitted. Operation at +85°C was difficult with conventional RGB laser modules because the output power of laser diodes (LDs), especially red LDs, dropped at high temperatures. However, the thermal capacity was lowered by mounting LDs on a chip, thus enabled control of module temperature at a wide range of -40°C to +85°C with a peltier cooler. The temperature is controlled at a high reply speed of less than 4 seconds.

キーワード：フルカラー、レーザ、半極性、熱電クーラー、コリメート光

1. 緒言

近年ピコプロジェクトやヘッドアップディスプレイ、ウェアラブル端末等の革新的なデバイスのためのディスプレイ開発が進められている。それらに組み込むため、光の3原色（赤・緑・青）の半導体レーザ（LD*¹）を利用した超小型レーザ光源の需要が高まっている。フルカラー表示のためには3原色のLDがそれぞれ必要となる。青色光源はInGa_N-LD、赤色光源はAlInGaP-LDが市場に出回っているが、緑色光源で実績があるのは赤外LD（1064nm）の第二次高調波発生（SHG*²）を利用した532nm光源のみであった。

しかしSHGを利用するとサイズや特性面で劣ってしまうため、緑色LDの実現が強く期待され、その開発に多大な努力がなされてきた。我々は窒化ガリウム（Ga_N）の半極性面である{20 $\bar{2}$ 1}面の優位性を見出し、2009年に{20 $\bar{2}$ 1}面Ga_N基板を利用して世界初となる純緑色LDの発振に成功し、波長531nmのパルス発振、536.6nmの室温連続発振（CW発振*³）を発表した^{(1)~(5)}。一方で、複数の技術的課題のため実現が困難と思われたc面Ga_N基板を利用した緑色LD開発の追い上げも進み、出力1.01W、525nm CW発振における電力変換効率14.1%の報告がなされている⁽⁶⁾。

これらの緑色LDを利用することで、ピコプロジェクト

やヘッドアップディスプレイ用途のためのRGBレーザモジュールが開発されてきた^{(7)~(9)}。一般的に、3原色LDはそれぞれTO-CAN*⁴パッケージで準備し、それらを組み込むことでモジュールが構成されている。しかしこの構成では熱容量が大きいためモジュールの温度を制御することが困難であり、その結果として動作温度が限られてしまう。3原色LDの中でも赤色LDの高温におけるレーザ出力低下による特性劣化は特に著しい。上記の革新的なデバイスが車載環境等の厳しい温度環境下で使用可能となるために、その環境下で動作するRGBレーザモジュールが求められてきた。

そこで、我々は当社がこれまで培ってきた可視レーザ技術と通信用モジュール技術を組み合わせることで、広い温度範囲で動作する超小型RGBレーザ光源モジュールの開発を進め、世界で初めてその実現に成功した。

2. モジュールの構造

レーザ光源の特長である高精細、高輝度、フォーカスフリーに加え、欠点であった高温における特性劣化を熱電クーラー（thermo-electric cooler; TEC*⁵）を内蔵することで克服を試みた。図1に超小型RGBレーザモジュールの写

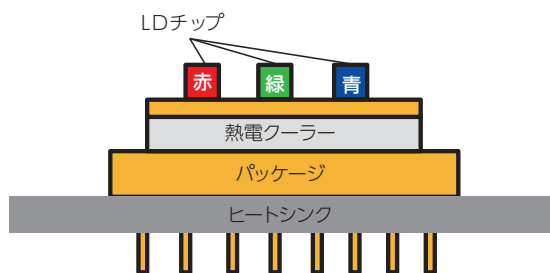
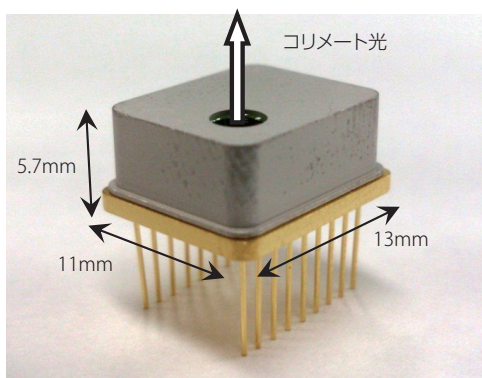


図1 RGBレーザ出力温度特性 (TEC動作なし)

真およびモジュール内部の模式図を示す。寸法は11×13×5.7mmである。3原色LDの各チップ、フォトダイオード (PD^{※6})、サーミスタ、光学部品 (レンズ、合波機構) をTEC上に設置し、TECを搭載したベースは金属DIP^{※7}内にハーメチックシールされている。RGB-LDの発振波長はそれぞれ640nm、528nm、460nmである。PDによりRGB-LDの出力をモニタリングでき、サーミスタからの信号を元にTECを制御する。集光および合波もモジュール内部で行われるた

め、この超小型パッケージからコリメート光^{※8}が射出される。超小型パッケージ内に組み込まれている合波機構は、当社が通信用モジュール開発で培った技術を活用し、高精度での合波を実現した。LDをTO-CANではなくチップで実装することにより低熱容量化を実現した。温度とTEC消費電力の相関を調べた結果を図2に示す。ヒートシンク温度が+85℃の時に最も大きく、3.5Wとなる。3つのLDを直接ベース上に実装することにより、TO-CANのLDを使用した場合と比較して熱容量を著しく低下させることで、LDチップの温度を比較的消費電力で制御可能となった。

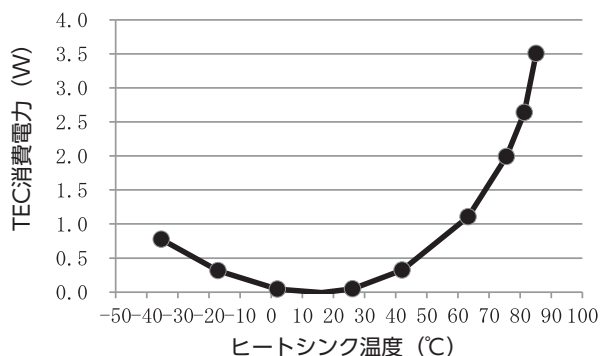


図2 TEC消費電力

3. モジュールの特性

3-1 レーザ出力特性

モジュールを100×100×1mmのヒートシンク上に固定し、TEC制御によりモジュール温度を一定に保持した場合の効果を検証した。図3にTEC動作なしの場合のレーザ出力温度依存性を示す。温度が上昇するにつれ、レーザ出力が低下している様子が見られる。特に赤色LDの+40℃以上の出力低下は著しい。TECを動作させてLD温度を+40℃に保持し、環境温度を変化させた場合の結果を図4に示す。TECを

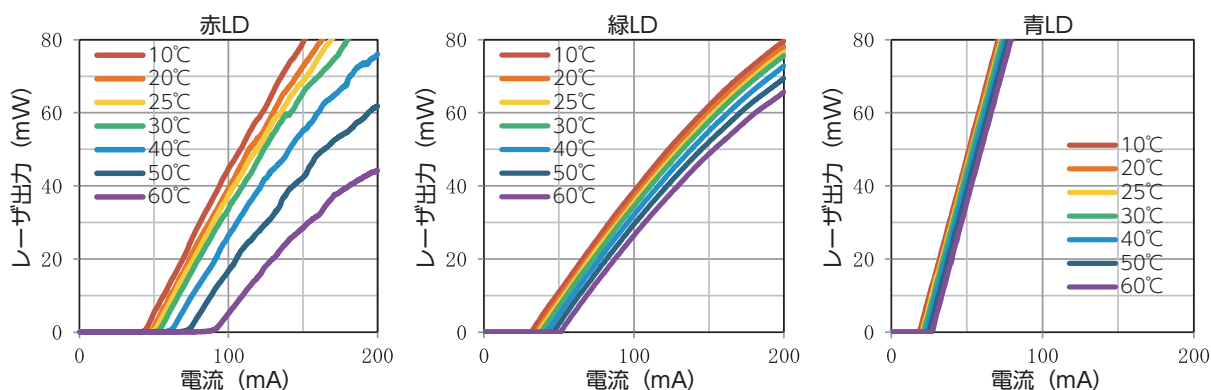


図3 RGBレーザ出力温度特性 (TEC動作なし)

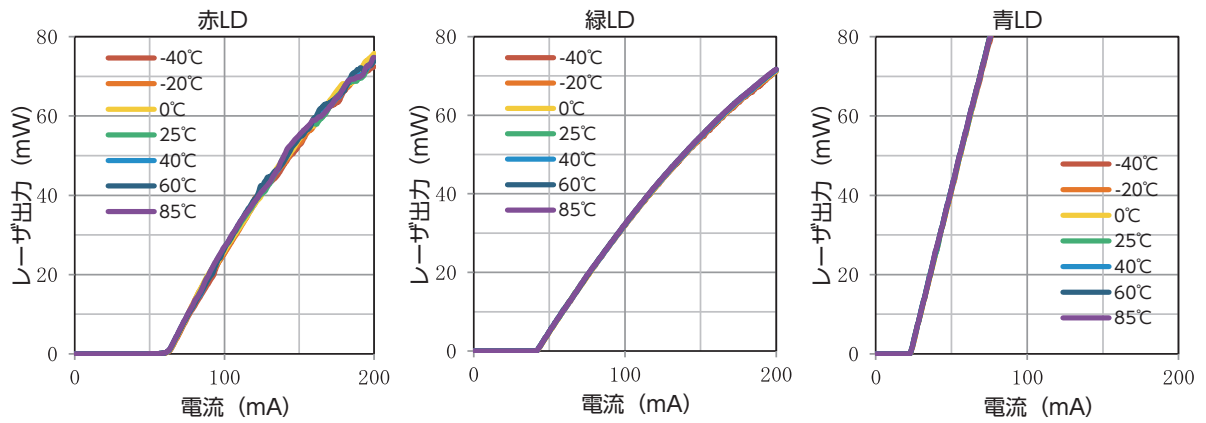


図4 RGBレーザー出力温度特性 (TEC動作あり)

動作させることで、広い温度範囲において温度に対し出力が一定となる様子を確認できた。

3-2 光軸の精度

RGBコリメート光の品質評価も実施した。光軸の基準軸からの角度ずれのヒストグラム (L=1400mm) を図5に示す。角度ずれ平均値は0.03°であり、RGBビームの合波が高精度で実現できていることがわかった。TO-CANのLDを合波したモジュールの角度ずれは0.1~0.2°であり、1桁小さい値である。温度変化による光学部品の熱膨張のために光軸

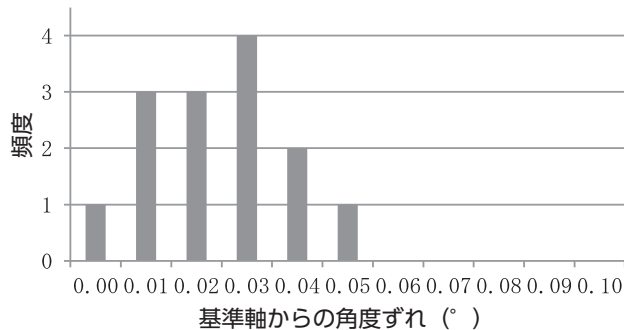


図5 RGBコリメート光の角度ずれ

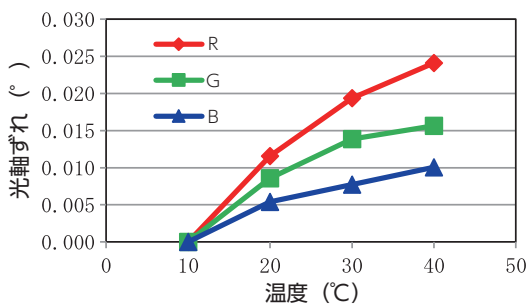


図6 光軸ずれの温度依存性

ずれが生じるが、その値も非常に小さく (図6)、それを含めても1桁小さい値である。さらに光学部品もTEC上に搭載されているため、温度一定に保持することで熱膨張による光軸ずれも生じなくしている。

3-3 応答速度

モジュールの応答速度の評価も行った。+85°C、-40°Cにおいて+40°Cに制御した時の温度の時間変化を図7に示す。低熱容量の効果によりいずれも4秒で所望の温度に到達している。この高い応答速度によって、高温・低温環境下での使用においても、短時間でモジュールを立ち上げることができると考えられ、実用上重要な特性である。TO-CANのLDを組み込んだ場合、冷却する部品の体積が約10倍となるため、応答速度は1桁悪化すると予想される。

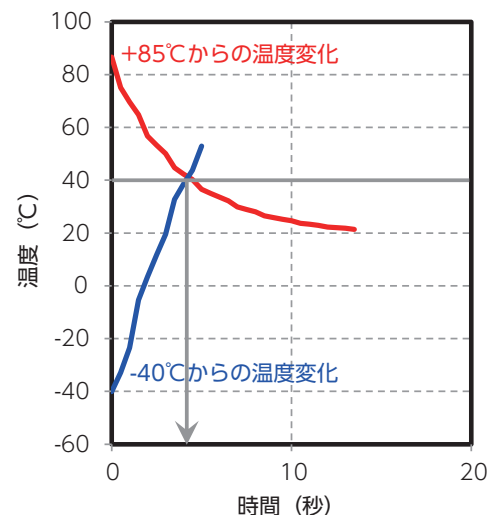


図7 TEC動作時の温度時間変化

3-4 ファイバ出力特性

上記の光モジュールをシングルモードファイバ (SMF^{※9}) に結合した (写真1)。3種レーザ光の全てが高結合効率となるようにファイバ接続を行い、各20mWの出力が可能となっている (図8)。

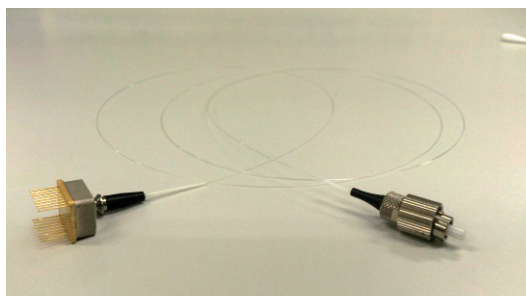


写真1 SMF結合

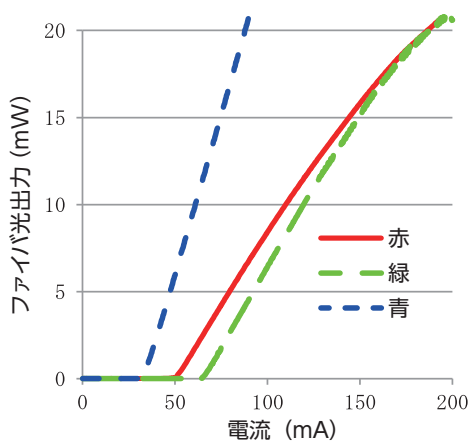


図8 ファイバからのRGB光出力

4. モジュールの用途

4-1 DIPタイプ

以上に報告したDIPタイプでは、チップ・光学部品の高精度実装により低熱容量化とTEC搭載による低消費電力での温度制御を実現した。環境温度により出力・波長等の特性が変化するLDの欠点を克服し、特に高温での出力が低下する赤色LDも動作可能にした。チップや光学部品をハーメチックシール内に収めることで高信頼性を確保している。用途としてはヘッドアップディスプレイ、プロジェクタ、サイネージ等である。

4-2 SMFタイプ

上記DIPタイプにSMFを結合したSMFタイプも開発している (写真2)。RGBレーザを高結合効率でファイバ接続し、

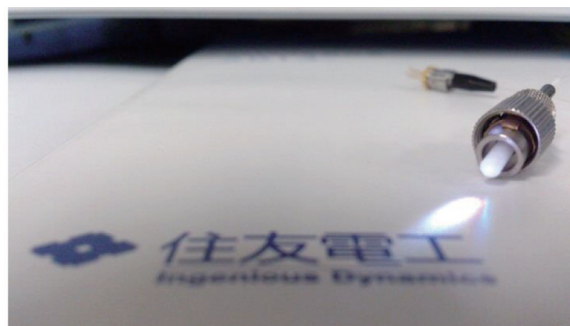


写真2 SMFタイプ発光の様子

ファイバ結合された各RGB-LDおよびコンバイナによる結合による従来方式と比較して部品点数の削減、小型化を実現している。用途としてはウェアラブル端末、イルミネーション、高輝度照明、分析等である。

4-3 TO-CANタイプ

DIPタイプ以外に、TO-CANタイプも開発している (写真3)。LDで通常使用される $\phi 5.6$ 標準パッケージにRGB-LDと光学部品を実装し、 $\phi 5.6$ パッケージからコリメートされたR,G,Bレーザビームを出射する。レーザ駆動電流を制御することで多彩な色のレーザビームを実現した。用途としては、ポインタ、ウェアラブル端末、イルミネーション、産業機器等である。



写真3 TO-CANタイプ

5. 結 言

我々は広い温度範囲で動作する超小型RGBレーザモジュールの開発に成功した。モジュールの寸法は11×13×5.7mmであり、RGB-LDチップ、PDチップ、TEC、サーミスタ、光学部品（レンズおよび合波機構）がベース上に搭載されている。PDによりRGB-LDのレーザ出力をモニター可能であり、パッケージ内部に設置されたサーミスタによりTEC制御を行う。この超小型パッケージから高精度なRGBレーザのコリメート光が出射される。TEC制御により、-40～+85℃の広い温度範囲においてRGBレーザモジュールの安定動作を可能にした。

用語集

※1 LD

Laser Diode：半導体レーザ。電流を注入し電子を光に変換し、光出力を増幅する素子。色純度が高い。

※2 SHG

Second Harmonic Generation：元の光の2倍の周波数の光を発生させる現象。

※3 CW発振

Continuous Wave：時間的に持続して発振している状態。

※4 TO-CAN

Transistor Outline-CAN：可視光LDは通常、 $\phi 3.8\text{mm}$ 、 $\phi 5.6\text{mm}$ 、 $\phi 9\text{mm}$ 等のTOパッケージに実装された状態で販売されている。

※5 TEC

Thermo-Electric Cooler：ペルチェ接合による小型電子冷却素子。

※6 PD

Photodiode：受けた光を電流に変換するダイオード。レーザ出力モニターのため設置されている。

※7 DIP

Dual In-line Package：長方形パッケージの両側面から多数の金属ピンを並べたもの。

※8 コリメート光

レンズ等を使用して平行状態に調整された光。指向性が高く遠くまで伝搬する。

※9 SMF

Single Mode Fiber：光ファイバ中を伝搬する光の形態（モード）が一つしかないファイバ。伝送損失が小さい。

参考文献

- (1) 京野孝史、塩谷陽平、秋田勝史、上野昌紀、足立真寛、住友隆道、徳山慎司、池上隆俊、片山浩二、中村孝夫、「世界初の新規GaN基板上純緑色レーザ開発Ⅰ」、SEIテクニカルレビュー第176号、pp.88-92 (2010)
- (2) 足立真寛、京野孝史、塩谷陽平、秋田勝史、上野昌紀、住友隆道、徳山慎司、池上隆俊、片山浩二、中村孝夫、「世界初の新規GaN基板上純緑色レーザ開発Ⅱ」、SEIテクニカルレビュー第176号、pp.93-96 (2010)
- (3) Y. Enya, Y. Yoshizumi, T. Kyono, K. Akita, M. Ueno, M. Adachi, T. Sumitomo, S. Tokuyama, T. Ikegami, K. Katayama and T. Nakamura, "531 nm green lasing of InGaN based laser diodes on semi-polar {2021} free-standing GaN substrates," Appl. Phys. Express, vol. 2, 082101-082103 (2009)
- (4) S. Takagi, Y. Enya, T. Kyono, M. Adachi, Y. Yoshizumi, T. Sumitomo, Y. Yamanaka, T. Kumano, S. Tokuyama, K. Sumiyoshi, N. Saga, M. Ueno, K. Katayama, T. Ikegami, T. Nakamura, K. Yanashima, H. Nakajima, K. Tasai, K. Naganuma, N. Fuutagawa, Y. Takiguchi, T. Hamaguchi, and M. Ikeda, "High-power (over 100mW) Green Laser Diodes on Semipolar {2021} GaN Substrates Operating at Wavelengths beyond 530nm," Appl. Phys. Express 5, 082102 (2012)
- (5) K. Yanashima, H. Nakajima, K. Tasai, K. Naganuma, N. Fuutagawa, Y. Takiguchi, T. Hamaguchi, M. Ikeda, Y. Enya, S. Takagi, M. Adachi, T. Kyono, Y. Yoshizumi, T. Sumitomo, Y. Yamanaka, T. Kumano, S. Tokuyama, K. Sumiyoshi, N. Saga, M. Ueno, K. Katayama, T. Ikegami and T. Nakamura, "Long-Lifetime True Green Laser Diodes with Output Power over 50 mW above 525 nm Grown on Semipolar {2021} GaN Substrates," Appl. Phys. Express 5, 082103 (2012)
- (6) S. Nagahama: Int. Workshop Nitride Semiconductors, 2012, PL4.
- (7) <http://www.microvision.com/technology/>
- (8) http://pioneer.jp/carrozzeria/products/nd_hud1/
- (9) <http://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/201402/14-024/>

執 筆 者

熊野 哲弥* : 半導体技術研究所



塩谷 陽平 : 半導体技術研究所



石原 邦亮 : 住電半導体材料株式会社 主査
博士 (工学)



中西 裕美 : 部門スペシャリスト
半導体技術研究所 主幹



池上 隆俊 : 半導体技術研究所 技師長



中村 孝夫 : 半導体技術研究所 主幹
博士 (工学)



*主執筆者