

# プロジェクタ用2.1W-CW動作 赤色半導体レーザー

蔵本恭介\*  
阿部真司\*\*

## 2.1W-CW Red Laser Diode for Projector

Kyosuke Kuramoto, Shinji Abe

### 要旨

現在、プロジェクタ用の光源として広く用いられている高圧水銀ランプを、より高効率・高色再現性・長寿命・低環境負荷といったメリットを持つ半導体レーザー(Laser Diode: LD)へ置き換える動きが進んでいる。実際に、青色LD光源を用いたプロジェクタは、既に市場に投入され、順調に置き換えが進んでいる。赤色LDについても、三菱電機が、2.5Wパルス動作の製品を2015年9月に量産化したことで、徐々に市場へ浸透している状況である。

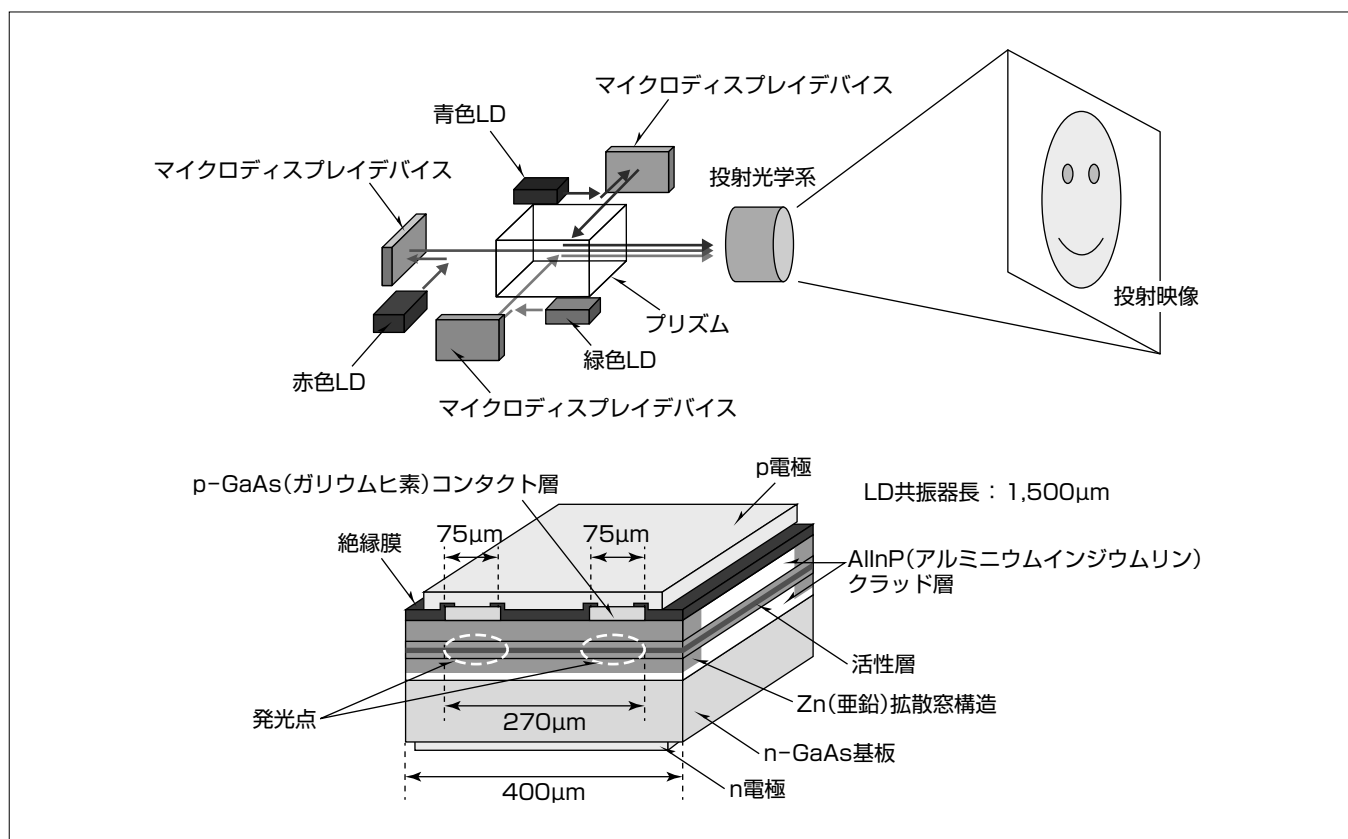
一方、3つのデジタルミラーデバイスを用いるプロジェクタでは、CW(Continuous Wave)光源が必要となるが、CW駆動では単体で2.0W以上が出力可能な赤色LD光源は

存在していなかったことから、このような光源の実現が強く望まれていた。

当社では、現行のパルス動作赤色LDをベースに、端面窓構造を最適化することで、前端面近傍での光吸収に起因するCOD破壊(Catastrophic Optical Damage: レーザ端面の熔融破壊)の耐性を向上、さらに、発光ストライプ形状を最適化することで、高温・高出力時のCW駆動光出力を改善した。

その結果、世界最高出力<sup>(注1)</sup>となるCW駆動2.1Wの動作特性と、良好な信頼性を持つ赤色LDを実現した。

(注1) 2017年1月18日現在、当社調べ



### レーザープロジェクタの構成と2.1W-CW動作赤色LD

レーザープロジェクタの光源として、青、緑、及び赤色LDが用いられる。マイクロディスプレイデバイスが1つで構成されるプロジェクタではレーザー光源はパルス駆動され、3つで構成される場合はCWで駆動される。高輝度画像の実現及び低消費電力の要求に応えるためには、レーザー光源の高出力・高効率化が必要となる。

## 1. ま え が き

現在、プロジェクタ用の光源には、高圧水銀ランプが広く用いられている。しかし、ランプ寿命が3,000~6,000時間程度と比較的短い、消費電力が大きい、水銀の環境負荷があるといった問題から、高圧水銀ランプをLED、蛍光体、LDといった固体光源に置き換える動きが進んでいる。この中でも、LD光源は他の光源に比べて、高効率で低消費電力であること、高輝度であること、色再現性が良好であることから、有望な光源である。

このことから、青色LD光源と緑色・赤色蛍光体を使用したハイブリッドタイプのプロジェクタは、既に市場に投入されており、市場占有率を伸ばしている。また、赤色LD光源についても、当社が2.5Wのパルス動作が可能な製品“ML562G84”<sup>(1)</sup>を2015年9月に量産化しており、赤色蛍光体に代わるものとして、徐々に市場に浸透している状況である。

プロジェクタには、1つのデジタルミラーデバイスを用いるタイプと、3つのデジタルミラーデバイスを用いるタイプがあり、前者にはパルス光源が、後者にはCW光源が用いられる。しかし、これまでは、CW駆動では単体で2.0W以上が出力可能な赤色LD光源は存在していなかった。当社では今回、CW駆動で2.1W出力が可能な赤色LDを開発した。このことによって、LD使用個数の低減による省スペース化や、光源の低コスト化が可能になる。

本稿では、赤色高出力LDの設計と素子特性、及び寿命試験結果について述べる。

## 2. 素子構造及び素子設計

### 2.1 LDの基本構造

図1に今回開発した赤色LDの基本構造を示す。AlGaInP(アルミニウムガリウムインジウムリン)系の材料を用いて、比較的容易に高出力化が可能なBroad Stripe(BS)LD構造を採用した。n型導電性を持つGaAs基板上に有機金属気相成長法(Metal Organic Chemical Vapor Deposition : MOCVD)によって、n-AlInPクラッド層から、p-GaAsコンタクト層までを積層する。活性層にはGaInP(ガリウムインジウムリン)材料を用いた単一量子井戸構造を用いている。

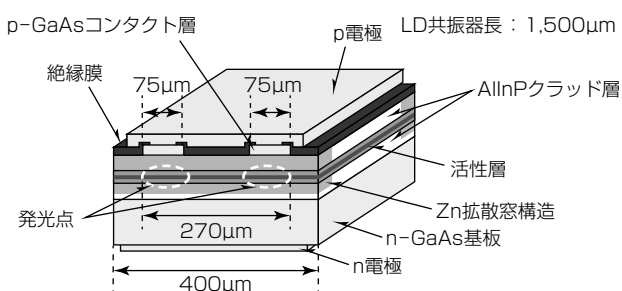


図1. 赤色LD開発品の素子構造

赤色LDの光出力が高温時に低下する主な理由は、熱エネルギーを得た電子が、pクラッド層のバンド障壁を乗り越えて(オーバーフロー)、発光に寄与しなくなることである。これを防止するため、今回の開発品では、pクラッド層のキャリア濃度を最適化している。また、活性層への光閉じ込め量を増大することで、発振に必要なキャリア密度を低減し、電子のオーバーフローを抑制している<sup>(2)</sup>。

p-GaAsコンタクト層は、エッチングによって75μm幅の2本のストライプ形状とし、その後、絶縁膜を形成する。このストライプ上部だけ開口させた上でp電極を形成して基板裏面にn電極を形成することで、垂直方向に電流が流れる構造となっている。このような構造によって2本のストライプ部だけに電流が流れるため、この2点が発光点となってレーザー光が出射される。LD共振器長は1,500μmとした。

端面近傍での光吸収によって発生するCOD破壊の対策として、LD端面には、当社独自の亜鉛熱拡散による量子井戸構造の無秩序化によって端面窓構造を形成している<sup>(3)</sup>。

前端面には低反射コーティングを、後端面には高反射コーティングを施している。活性層からの発熱を効率良く放熱するため、LD素子をJ/D(Junction Down)でサブマウントにダイボンズし、直径9.0mmのTO-CANパッケージに搭載した。

このLDの各ストライプの幅は75μmと広いため、横モードはマルチモードで発振する。

### 2.2 信頼性設計

プロジェクタ光源に要求される平均故障時間(Mean Time To Failure : MTTF)は、20,000時間程度である。パルス駆動の場合は、パルスデューティ比が30%程度で使用されることから、20,000時間の駆動時間内で、LD光が出力されている時間は、20,000×30%=6,000時間となる。一方、CW駆動の場合は、LD光が出力される時間は20,000時間となることから、CW駆動の場合は、より高い信頼性が実質的に要求される。

ここで、赤色LDでの高出力化の阻害要因は、主に前端面でのCOD破壊である。これは、端面近傍での光吸収によって端面が融解し、素子が故障する現象である。この故障モードでのMTTFは、前端面の光密度に大きく依存することが分かっており<sup>(4)</sup>、この開発品の場合は、式(1)のような依存性を持つことが分かっている。

$$MTTF(COD) \propto P_{dens}^{-3.38} \dots\dots\dots (1)$$

$$P_{dens} = \left( \frac{P_f}{W_e \cdot d} \right) \dots\dots\dots (2)$$

- $P_{dens}$  : 光密度
- $P_f$  : 前端面光強度
- $W_e$  : ストライプ全幅
- $d$  : スポット径(垂直)

このことから、高い信頼性を確保するためには、ストラ

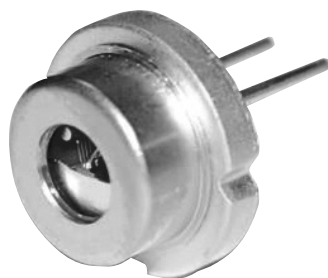


図2. φ9.0mm TO-CANパッケージ

イブ全幅を大きくして、光密度を下げるのが極めて有効である。

しかしながら、ストライプ領域は、発熱領域でもあるため、ストライプ全幅を大きくすると、高温・高出力領域での光出力が低下する。そこで、この製品では、温度特性の改善のため、ストライプ全幅を従来の180μm(60μm-3ストライプ)から、150μm(75μm-2ストライプ)に低減することにした。その一方で、窓構造を改善することによって、COD破壊の耐性を高めた。

また、2本のストライプ間隔が大きいほど、互いの熱の干渉が小さくなるものの、ビームの集光性が悪化していくことから、2本のストライプはML562G84と同じく、270μmの範囲内に配置した。

### 2.3 素子構造変更による熱抵抗の低減

高電流・高出力動作時には、活性層又はその近傍領域での発熱によって、活性層の温度が上昇し、光出力が低下する。活性層温度を低減するためには、活性層とステム底面間の熱抵抗を低減する必要がある。

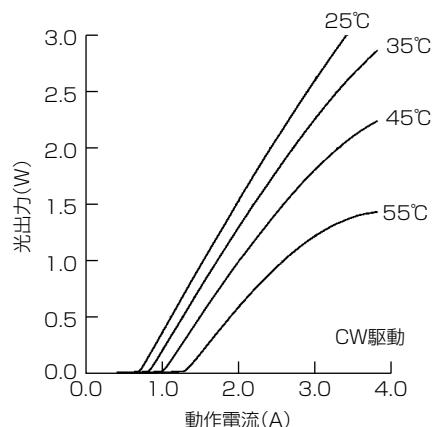
当社では従来の2.5Wパルス出力製品に、大型のφ9.0mm TO-CANを採用済みで<sup>(1)</sup>、この2.1W-CW出力製品でも同様に、φ9.0mm TO-CANパッケージを採用した(図2)。

さらに、先に述べたように、ストライプ数を従来製品の3本から2本に、ストライプ全幅を180μmから150μmに変更した。これによって、活性層とステム底面間の熱抵抗、つまり、活性層における発熱量1W当たりの活性層温度上昇量は、熱シミュレーション値で3.04K/Wから2.83K/Wに低減しており、活性層温度低減に寄与している。

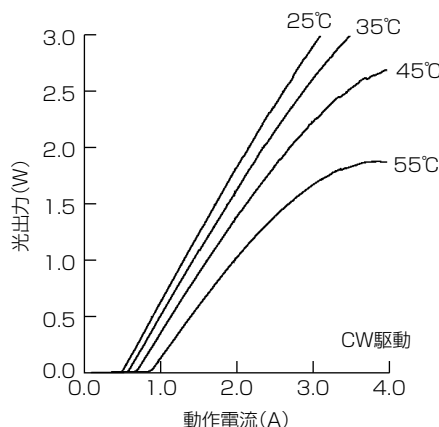
### 3. 素子特性と信頼性評価結果

現行パルス出力製品、及び今回開発したCW出力製品の光出力-電流特性の例を、それぞれ図3に示す。駆動条件は、CW駆動で、図中の温度は、パッケージ底面における温度(ケース温度)である。

現行パルス製品をCW駆動させた場合に比べて、今回の開発品では、特に高温・高出力領域で光出力が改善している。開発品の25℃及び45℃での2.1W出力時の動作電流は、それぞれ2.25A、2.85A、動作電圧はそれぞれ2.27V、2.34Vであった。25℃におけるスロープ効率、1.30W/A



(a) 現行パルス出力製品



(b) 開発品

図3. 光出力-電流特性

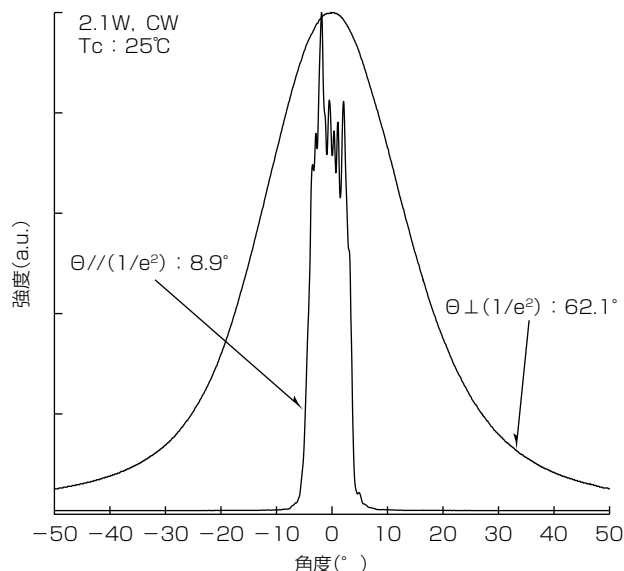


図4. 開発品の遠視野像

となっている。

図4は、開発品を2.25A、25℃、2.1WでCW駆動したときの水平(FFP(Far Field Pattern)//)及び垂直方向(FFP⊥)の遠視野像である。光出力がピーク値の1/e<sup>2</sup>となるときの全幅は、それぞれ8.9°、62.1°である。これらの形状

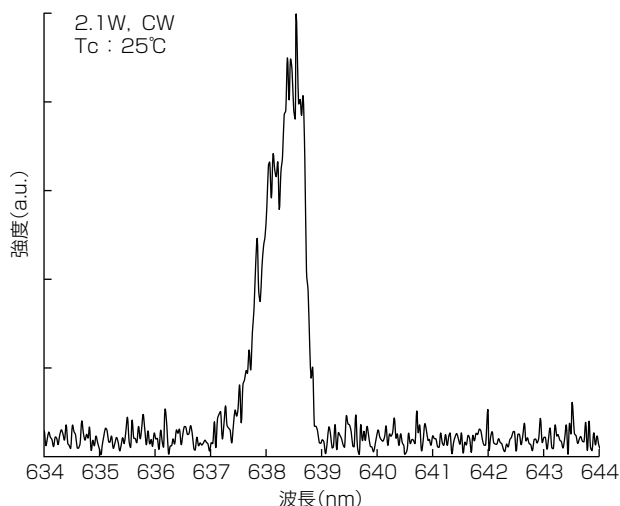


図5. 開発品の波長スペクトル

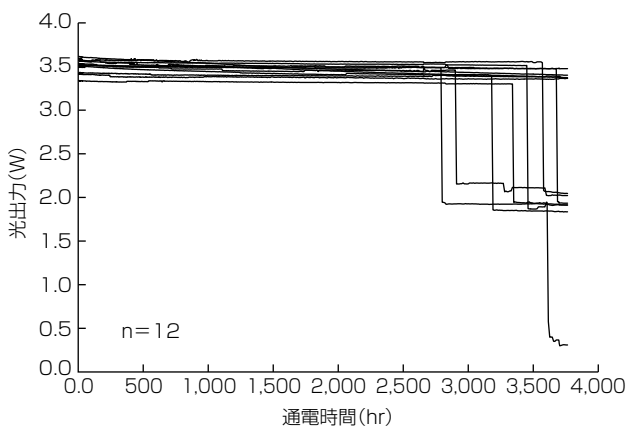


図6. 寿命試験結果(20°C, 3.55W-CW動作)

は、現行パルス出力製品とほぼ同等となっている。

図5は、開発品を2.25A, 25°C, 2.1WでCW駆動したときの波長スペクトルである。ピーク波長は638.5nm, スペクトルの半値全幅は約0.9nmとなっている。

図6に、この開発品をケース温度20°C, 3.55W-CW動作で定電流駆動したときの寿命試験(サンプル数12)の結果を示す。この試験で発生した劣化は全てCOD劣化であり、劣化時間から求めたMTTFは、3,990時間であった。この試験の2.1W光出力時に対する加速係数は式(1)から  $(3.55\text{W}/2.1\text{W})^{3.38} = 5.90$  となる。したがって、この試験の結果から、2.1W-CW動作時のMTTFは  $3,990 \times 5.9 = 23,500$  時間に相当することになる。

図7は、この開発品をケース温度45°C, 2.1W-CW動作で定電流駆動したときの寿命試験(サンプル数22)の結果である。4,200時間経過後でも安定動作している。この試験の光出力の低下量から、光出力50%を故障と定義したときのMTTFを求めると、42,700時間となった。

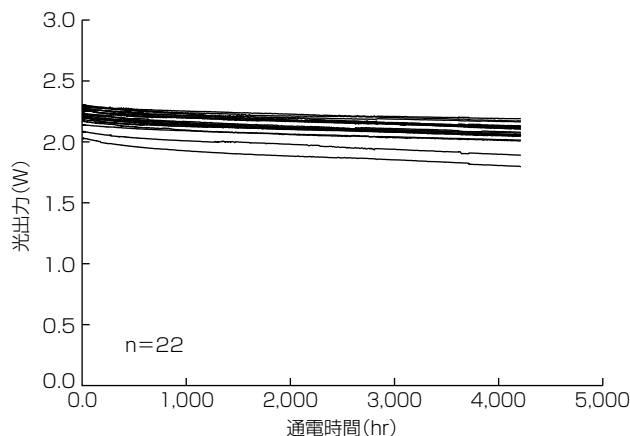


図7. 寿命試験結果(45°C, 2.1W-CW動作)

これらから、この赤色LDが高い信頼性を持っていることが分かる。この2.1WのCW動作は、TO-CANパッケージタイプの639nm帯赤色LDで、世界最高出力の動作である。

#### 4. む す び

CW光源が必要なプロジェクタ向けに、CW駆動可能な2.1W出力赤色LDを開発した。現行パルス製品と同じφ9.0mm TO-CANパッケージを採用し、2ストライプ化、及びストライプ全幅の低減によって、温度特性を改善することで、CW駆動時の光出力を増大させた。さらに、45°C, 2.1WのCW動作で、23,500時間以上の安定動作を確認した。

現在、当社ではプロジェクタの高輝度化の要求に応えるため、更なる高出力化を進めている。

#### 参 考 文 献

- (1) 蔵本恭介, ほか: プロジェクタ用638nm帯高出力赤色半導体レーザ, 三菱電機技報, **89**, No.5, 307~310 (2015)
- (2) Kuramoto, K., et al.: High Power AlGaInP Red Laser Diode, The 1st Laser Display Conference, LDCp7-1 (2012)
- (3) Tada, H., et al.: Uniform Fabrication of Highly Reliable, 50-60mW-Class, 685nm, Window-Mirror Lasers for Optical Data Storage, Japanese journal of applied physics, **36**, No.5A, 2666~2670 (1997)
- (4) Mitsuyama, H., et al.: Reliability Study on High-Power 638nm Broad Stripe Laser Diode, Optical Review, **21**, No.1, 43~47 (2014)