

プロジェクタ用 638nm帯高出力赤色半導体レーザー

蔵本恭介*
西田武弘*
阿部真司*

High Power 638nm Red Laser Diode for Display Applications

Kyosuke Kuramoto, Takehiro Nishida, 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、青色半導体レーザー光源を用いたプロジェクタは、既に市場に投入されつつあるものの、赤色半導体レーザーは、1素子当たりの光出力が不足しており、現状では、置き換えがほとんど進んでいない状況である。

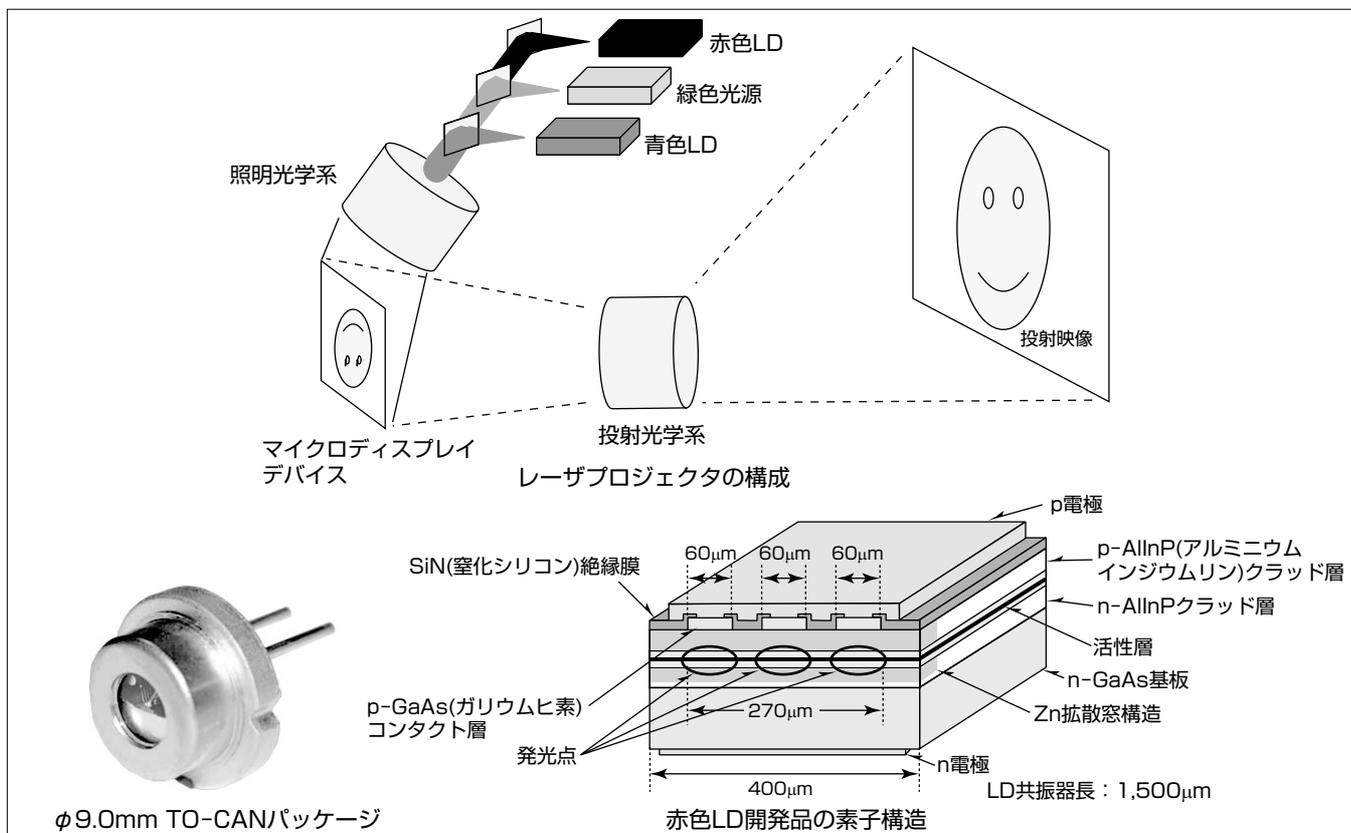
赤色半導体レーザーの高出力化を阻害する要因は、前端面近傍での光吸収によってCOD破壊(Catastrophic Optical Damage: レーザ端面の溶融破壊)が発生し、高光出力時の信頼性が確保できないこと、及び活性層温度の上昇に

よって光出力が飽和することである。

三菱電機では、現行の赤色半導体レーザー製品をベースに、発光点幅を拡大することで端面における光密度を低減し、端面COD耐性を向上させた。また、活性層温度の上昇を抑えるために、パッケージをφ5.6mm TO (Transistor Outline) オープンパッケージから、金属缶(CAN)封止型のφ9.0mm TO-CANに大型化するとともに、3発光点構造を採用した。

その結果、世界最高出力^(注1)となるパルス駆動2.5W出力までの良好な光出力特性と、2.5W動作での良好な信頼性を持つ赤色半導体レーザーを実現した。

(注1) 2014年6月17日現在、当社調べ



レーザープロジェクタの構成と638nm帯高出力赤色半導体レーザー

レーザープロジェクタの光源として、青、緑、及び赤色半導体レーザーが用いられる。マイクロディスプレイデバイスが1つの構成の場合、レーザーはデューティ比30%前後のパルスモードで駆動される。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化・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が、ランプ寿命が3,000時間前後と比較的短い、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、これを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光源と蛍光体を使用したハイブリッドタイプのプロジェクタが、市場に投入され始めている。

プロジェクタ光源用のLDは、大きな光出力を得ることが可能な横マルチモードLDが用いられる。赤色光源用の横マルチモードLDは、既に数社で製品化されているが、光出力が十分ではないために、プロジェクタ当たりの使用個数が大きくなる傾向がある。そのため、安価なシステムを構成しにくく、現時点では普及が進んでいない。このことから、赤色LDの高出力化が強く望まれている。

これまで当社は、プロジェクタ等の光源用途に、高出力赤色LD“ML501P73(CW(Continuous Wave)光出力0.75W、パルス光出力1.0W)”を開発・量産している。今回、この製品をベースに、パルス光出力を2.5Wにまで増大させた赤色LDを開発した。

本稿では、開発した高出力赤色LDの素子構造と素子設計及び素子特性と信頼性評価結果について述べる。

2. 素子構造と素子設計

2.1 赤色LDの素子構造

図1にAlGaInP系赤色LDの素子構造を示す。比較的容易に高出力化が可能なBS(Broad Stripe)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。

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

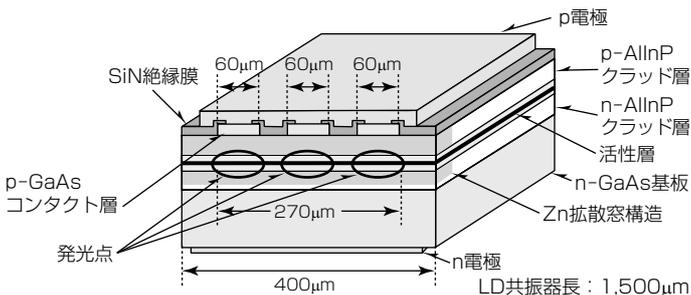


図1. 赤色LD開発品の素子構造

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-AlInP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させることで、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⁽¹⁾。

p-GaAsコンタクト層は、エッチングによって60µm幅の3本のストライプ形状とし、その後に、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電極を形成する。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、3本のストライプ部だけに電流が流れるため、3点からレーザ光が出射される。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⁽²⁾。

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させるため、LD素子をJ/D(Junction Down)でサブマウントにダイボンダし、φ9.0mmのTO-CANパッケージに搭載した。

このLDの各発光点の幅は60µmと広いため、横モードはマルチモードで発振する。

2.2 端面光密度の低減

赤色LDにおける主な高出力化阻害要因は、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平均故障時間(Mean Time to Failure : MTTF)は、式(1)のように、前端面の光密度に大きく依存することが分かっている⁽³⁾。

$$MTTF(COD) \propto P_{dens}^{-3.2} \dots\dots\dots(1)$$

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

- P_{dens} : 光密度
- P_f : 前端面光強度
- W_e : 発光点幅
- d : スポット径(垂直)

高光出力化した場合でも、高い信頼性を確保するためには、発光点幅 W_e を大きくすることで端面の光密度を低減し、CODの発生を抑制することが必要である。

今回、我々はデューティ比30%、パルス周波数120Hz、パルスピーク出力2.5Wのパルス動作におけるMTTFの目標値を25,000時間とした。これを実現するために必要な光密度の見積もり結果から、発光点幅を従来の40µmから180µmへ大幅に増大することとした。この発光点幅への変更は、1発光点のままその幅を広くする以外に、複数の発光点に分割する方法もある。今回の開発品では、60µm幅の発光点を3つ持つ素子構造を採用することにした。この構造を選んだ理由については2.4節に述べる。

2.3 パッケージの大型化による熱抵抗の低減

赤色LDの光出力を制限するもう1つの要因に、光出力の熱飽和がある。これは、高電流・高出力動作時に、活性層又はその近傍領域における発熱によって、活性層の温度が上昇することが原因となる。活性層温度を低減するためには、活性層とLDを保持するホルダ間の熱抵抗を低減する必要がある。

今回、これを実現するために、現行製品のパッケージである5.6mm径のTOオープンパッケージを、より大型となる9.0mm径のTO-CANに変更した⁽⁴⁾。図2に、その外形を示す。

現行製品のパッケージであるφ5.6mm TOの、パッケージ部分の熱抵抗は、熱シミュレーションによって2.13K/Wと見積もられる。また、このパッケージを、熱伝導グリスを介してLDホルダにセットしたと仮定したときの、パッケージとLDホルダ間の接触熱抵抗は4.07K/Wと見積もられる。一方、φ9.0mm TO-CANの場合の、パッケージ熱抵抗は1.43K/W、接触熱抵抗は1.37K/Wである。

このように、パッケージを大型化したことで、パッケージ熱抵抗と接触熱抵抗を合わせた熱抵抗値は6.20K/Wから2.80K/Wに低減し、活性層温度の低下に大きく寄与することになる。

2.4 素子構造変更による熱抵抗の低減

2.2節で述べたように、この開発品では、信頼性向上を目的に、発光点幅を現行の40μmから180μmに増大することにした。

図3に、開発したLDとサブマウントの模式図を示す。図中の矢印は、活性層近傍における発熱がパッケージ方向へ放熱するときの熱の流れを示している。発光領域を広くすると、この熱流の幅が広がることによって熱抵抗が小さくなる。LDをφ9.0mm TO-CANパッケージに搭載した

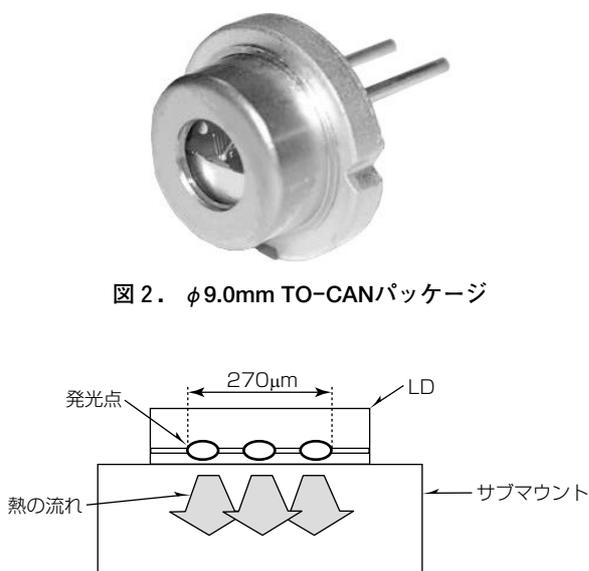


図2. φ9.0mm TO-CANパッケージ

図3. 60 μm幅3発光点構造での熱の流れ

場合の、活性層からLDホルダ間の全熱抵抗値は、現行製品で9.83K/Wであるが、3発光点構造によって3.90K/Wに低減する⁽⁴⁾。

ここで、発光点左端から右端までの距離が大きいほど、熱抵抗値が小さくなると考えられるが、今回は、光学系との結合を考慮して、この距離を270μmとした。

3. 素子特性と信頼性評価結果

現行製品及び開発した赤色LDの光出力-電流特性の例を、それぞれ図4(a), (b)に示す。駆動条件は、デューティ比30%、パルス周波数120Hzのパルス駆動で、図中記載の温度は、パッケージ底面における温度(ケース温度)である。

現行製品では、1.0W光出力までは良好なりニアリティを示しているものの、高出力及び高温領域では光出力の飽和が見られる。一方で、開発品では、25℃から55℃の温度範囲で、2.5W以上の光出力まで良好な特性が得られている。

開発品の25℃及び45℃における2.5W出力時の動作電流は、それぞれ2.71A, 3.41A、動作電圧はそれぞれ2.26V, 2.33Vであった。25℃におけるスロープ効率は、1.20W/Aとなっている。

図5は、開発品を25℃、2.5Wでパルス駆動したときの水平(FFP//)及び垂直方向(FFP⊥)の遠視野像である。光

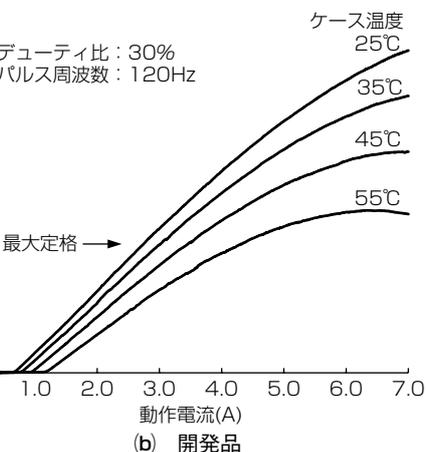
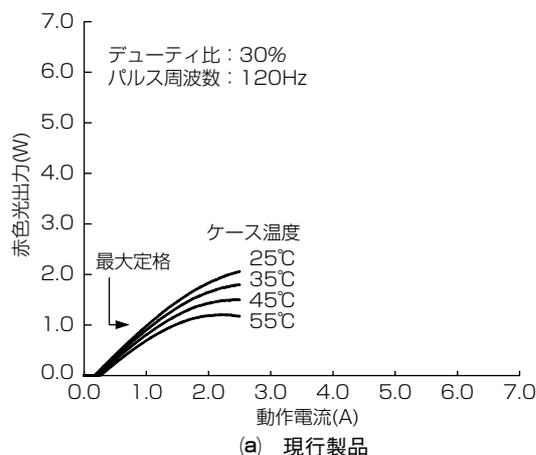


図4. 光出力-電流特性

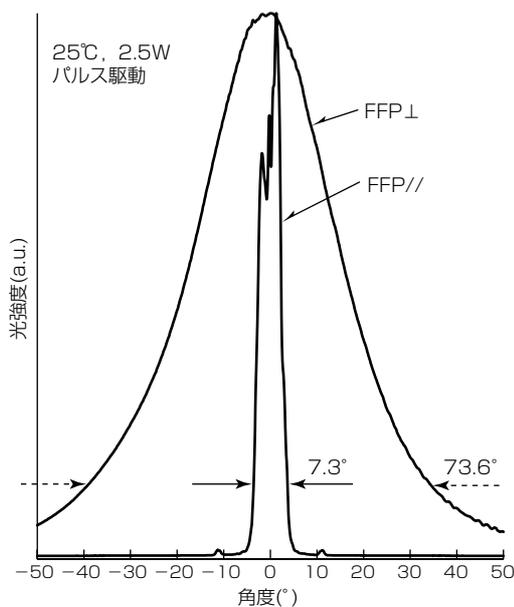


図5. 開発品の遠視野像

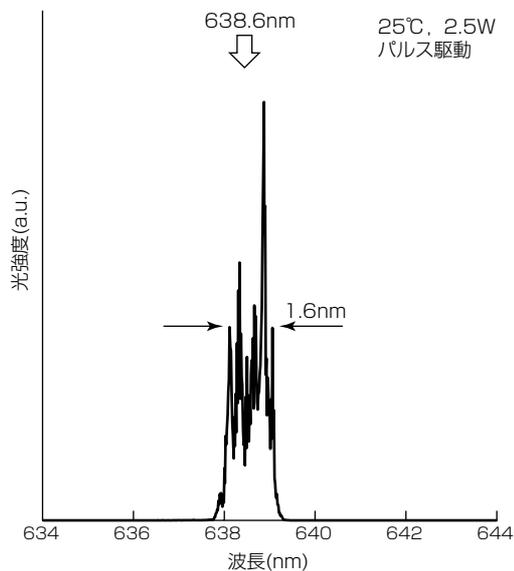


図6. 開発品の波長スペクトル

出力がピーク値の $1/e^2$ となるときの全幅は、それぞれ 7.3° 、 73.6° である。これらの形状は、現行製品とほぼ同等となっている。この放射角とレーザー光の出射サイズから見積もったエタンデュ(Etendu)は、 $0.0004\text{mm}^2 \cdot \text{Sr}$ である。

図6は、開発品を 25°C 、 2.5W でパルス駆動したときの波長スペクトルである。ピーク波長は 638.6nm 、スペクトルの半値全幅は約 1.6nm となっている。

この開発品では、従来製品に対し発光点数が3倍になっている。ここで、照射画像上の斑点模様の程度を示すスペックルコントラストは、発光点数の平方根に反比例することを考えると、この開発品のスペックルコントラストは従来品の6割程度になっていると考えられる。

図7に、この開発品をCW動作で定電流駆動したときの寿命試験結果を示す。光出力は 3.4W で、活性層温度が

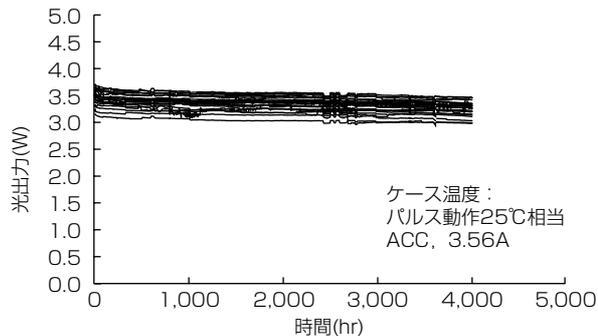


図7. 寿命試験結果(25°C 、 3.4W)

25°C のパルス動作時と同じになるようにケース温度を設定した。4,000時間を経過しても故障の発生はなく、安定動作している。このLDを 2.5W 、デューティ比30%で動作させる場合を考えると、この試験の光出力加速係数は式(1)から $(3.4\text{W}/2.5\text{W})3.2=2.68$ となる。この加速係数と、パルス駆動における実動作時間が30%であることを考慮すると、図7の試験は $4,000(\text{時間}) \times 2.68/0.3=35,700$ 時間無故障に相当することになり、このLDが高い信頼性を持っていることが分かる。この 2.5W パルス動作は、TO-CANパッケージタイプの 638nm 帯赤色LDで、世界最高出力の動作である。

4. む す び

プロジェクタ光源用赤色LDの普及のためのキーポイントである高光出力化の要求に応えるため、 2.5W 動作が可能な高光出力赤色LDを開発した。発光点幅増大によるCOD耐性の向上に加え、 $\phi 9.0\text{mm}$ TO-CANパッケージと3発光点構造の採用による熱抵抗低減によって、現行製品よりも大きな光出力を実現した。さらに、 25°C 、 2.5W のパルス動作で、35,000時間以上相当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、更なる高光出力化を進めている。また、CW動作品の開発も進める予定である。

参 考 文 献

- (1) Kuramoto, K., et al.: High Power AlGaInP Red Laser Diode, The 1st Laser Display Conference, LDCp7-1 (2012)
- (2) Tada, H., et al.: Uniform fabrication of highly reliable, 50-60mW-class, 685nm, window-mirror lasers for optical data storage, Jpn. J. Appl. Phys., **36**, No.5A, 2666~2670 (1997)
- (3) Mitsuyama, H, et al.: Reliability Study on High-Power 638nm Broad Stripe Laser Diode, Opt. Rev., **21**, No. 1, 43~47 (2014)
- (4) Kuramoto, K., et al.: High Power AlGaInP Red Laser Diode for Display Applications, The 21st International Display Workshop, PRJ1-2 (2014)