

小型プロジェクタ用638nm, 1W LD

西口晴美*
元田 隆*
島田尚往**

High-power 638nm Semiconductor Laser Diode for Small Color Projectors

Harumi Nishiguchi, Takashi Motoda, Naoyuki Shimada

要 旨

ディスプレイやプロジェクタ機器で、ランプや気体レーザを光源とした機器は比較的大型で消費電力が大きかったが、発光ダイオード(Light Emitting Diode: LED)光源の採用で小型化されるものも現れた。さらに、波長変換技術や空間変調素子(Spatial Light Modulator: SLM)技術、半導体レーザなどの著しい発展によって、レーザディスプレイも実現されるようになってきた。

ランプやLEDなどの既存光源と比べて、半導体レーザには小エタンデュ(光束の面積と放射立体角の積で小さいほど小さなSLMが使えるため機器が小型化できる)や高い電力変換効率、優れた色再現性を実現できるなどの特長がある。その特長を最大限生かすことができるディスプレイ用光源として、現在、小型プロジェクタ、テレビ、ヘッドアップディスプレイ、映画用大型プロジェクタなど各種デ

ィスプレイへの応用に向けた研究開発が盛んに行われている。

広い色再現性や低消費電力などの特長をもつレーザディスプレイの赤色光源には、AlGaInP系の半導体レーザが用いられる。発振波長が短いほど低い出力でディスプレイが実現できるため、波長640nm以下の半導体レーザが要望されるが、この材料系の半導体レーザは短波長になるほど高出力動作や高温動作が困難であった。三菱電機は独自の結晶成長技術や端面窓構造技術を用いてこの課題を解決し、発振波長が638nmの横マルチモードLD(Laser Diode)を開発した。5～50℃の広い動作保証温度範囲で1W以上の出力が得られ、通電試験では1,200時間以上の安定動作を確認しており、使用環境の厳しい小型プロジェクタにも適した世界最高レベルのパルス光出力1Wの638nm半導体レーザを実現した。

LDを使うことによって

フォーカスフリー／優れた色再現性／低消費電力を実現へ !!



携帯ディスプレイ

車載用ヘッドアップ
ディスプレイ



レーザーテレビ

ヘッドマウントディスプレイ

モバイルプロジェクタ

LASERVUE

大型プロジェクタ



レーザディスプレイ応用製品と光源に必要な出力

モバイル機器に接続又は内蔵する小型プロジェクタの開発が盛んに行われている。半導体レーザは電力変換効率が高く、消費電力を抑えられるほか、表示色範囲の拡大による画質の向上、焦点調整の不要なプロジェクタを構成できる等の利点がある。

1. ま え が き

1980年代にCD(Compact Disc)用光源(波長780nm)として始まった半導体レーザー(LD)の民生用機器応用は、1990年代半ば以降のDVD(Digital Versatile Disc)(波長660nm)を経て、近年ではBlu-ray^(注1)(波長405nm)へと用途が拡大してきている。また、1.3~1.6 μ mの波長を用いる光通信応用も1980年代に始まり、遠距離通信では大陸間海底ケーブルから近距離ではLAN(Local Area Network)にまでLDが使用されるようになってきた。これらの用途はすべて同一応用分野に関するものであり、アプリケーションの機能進化に対応した動きである。その意味で、1980年代に敷かれた路線の延長線上での進化であるとも言える。

一方、LDはランプや発光ダイオードなどの既存光源と比べて、高い電力変換効率や小エタンデュなどの特長があることから、その特長を最大限生かすことができるディスプレイ用光源に適しているものと考えられる⁽¹⁾。空間変調素子、RGB各色LDなどレーザーディスプレイ実現に必要な要素技術が出揃(そろ)ってきたことから⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾、近年レーザーディスプレイの研究開発が活発となってきた。現在、小型プロジェクタ、テレビ、ヘッドアップディスプレイ、映画用超大型プロジェクタなど各種ディスプレイへの応用に向けた研究開発が盛んに行われている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。一部メーカーからはすでに製品が市場に投入され始めており、レーザーディスプレイは先に述べた応用分野とは全く異なったLDの応用先になる可能性が高い。

本稿ではこれらのプロジェクタの赤色光源用に設計された638nm帯横マルチモード高出力LDの特長について述べる。

(注1) Blu-rayは、Blu-ray Disc Associationの登録商標である。

2. レーザディスプレイと光源用レーザー

2.1 レーザディスプレイ用赤色LDの波長選択

人の眼が認識する動画又は静止画を表示するディスプレイ用途では、光源であるレーザーの発振波長が非常に大きな意味合いを持つ。赤色領域では、人間の目の感度は波長が長くなるにつれて低くなる。図1に赤色領域の明所視における視感度曲線を示す。既に赤色領域のLDとしては、DVD用LDが実用化されているが、視感度が低く所定の明るさを確保するには高出力が必要となり、消費電力のみならず安全性の面からも推奨できるものではない。波長を638nmまで短波長化することで、視感度はおおむね3倍になる(所定の明るさを波長660nmの1/3の出力で実現できる)。

赤色帯域で発光するLDは主にAlGaInP系材料で構成される。しかしながら、この材料系で構成されたヘテロ接合は伝導帯のバンドオフセットが小さく、活性層からクラッ

ド層への電子のオーバフローが生じやすく、高出力動作や高温動作が困難となる本質的な原因となっている。クラッド層禁止帯幅の上限は材料で決まっているので、LDの発振波長が短くなるほど(換言すれば活性層のバンドギャップを大きくするほど)オーバフローは生じやすくなり、LDの特性が悪化する⁽⁶⁾。

このように、視感度とLDの特性にはトレードオフの関係があるが、我々は温度特性を加味しつつ、発振波長として638nmを選択した。

2.2 レーザディスプレイ用赤色LDの高出力化

通常のプロジェクタで用いられている画像デバイスと同様の二次元空間変調素子を用いるイルミネーション方式の小型ディスプレイの場合には高出力なLDが望ましく、通常横マルチモードLDが用いられる。横シングルモードLDの場合は端面窓構造を設けるのが一般的であるが、横マルチモードLDの構造として一般的なブロードエリア型構造は活性層が広く、横方向単位長さあたりの光密度を容易に下げることができるため、GaAs活性層構造をベースとした800~980nmの赤外発光領域帯レーザーでは非窓構造で500mWクラスが容易に実現されている⁽⁸⁾。しかしながらAlGaInPで構成される赤色LDは比較的低い光密度で劣化してしまう傾向がある。図2に窓構造のないブロードエリア型LDの光出力-電流特性(P-I特性)を示す。初期のCOD(Catastrophic Optical Degradation)は600mW程度であるが、150mW、170時間の比較的低出力の通電を実施するだけでも300mWに低下することがわかる。したがって、ブロードエリア型でも信頼性の高い赤色LDを実現するには端面窓構造が不可欠である⁽⁵⁾。

3. デバイス構造

赤色ブロードエリアLDの構造を図3に示す。活性層への光閉じ込め係数 Γ を大きくすることを念頭に、クラッド層には屈折率の小さなAlInPを採用した。一般的にはAlInPクラッド層の採用はキャリア閉じ込めに不利に働くと考えられているが⁽⁹⁾、我々は活性層とAlInPクラッド層の

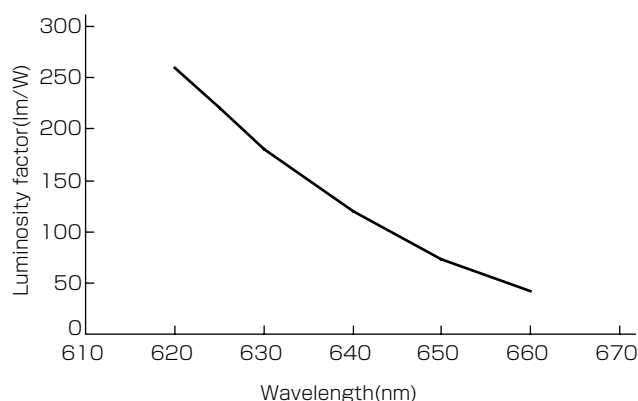


図1. 赤色の波長と視感度の関係

組合せによって得られる閉じ込め係数 Γ を増大させ、低閾値(しきいち)電流密度となる効果の方がデバイスには有利であると考えた。

ストライプ構造はブロードエリアLDでは一般的な絶縁膜ストライプとし、ストライプ幅は $40\mu\text{m}$ とした。LD端面にはCODを避けるためにZn拡散による端面窓構造を挿入している⁽¹⁰⁾。また、前・後端面には高出力動作に対応するため、各々AR(Anti-Reflection)/HR(High-Reflection)コーティングを施してある。共振器長は 1.5mm とし、放熱の良い $\phi 5.6\text{mm}$ のオープンパッケージにAlNサブマウントを介してジャンクションダウンで組み立てた。

4. レーザの特性

図4及び図5に横マルチモードLDのパルスにおけるP-I特性の温度依存性、及び発振スペクトルを示す。 $T_c = 50^\circ\text{C}$ まで1W以上の出力が得られており、 60°C でも800mWの光出力が得られた。なお、電力変換効率は 25°C

では1Wの光出力時(Continuous Wave: CW)で35%であった。

このLDの発振波長は 25°C 、500mW、CW時で638.3nmであった。人の眼を対象とするディスプレイ用光源では物理量であるW単位よりも光束(単位:ルーメン)が用いられ

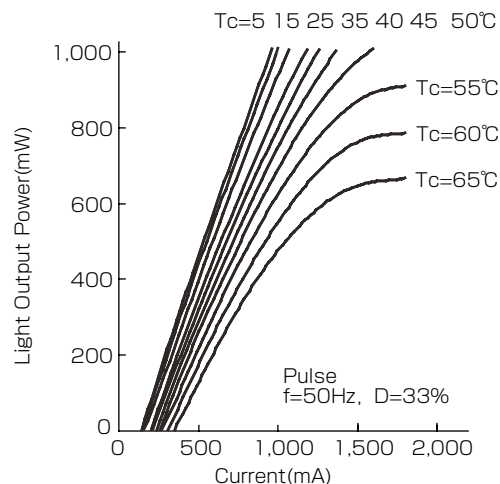


図4. 電流-光出力特性(P-I特性)の温度依存性

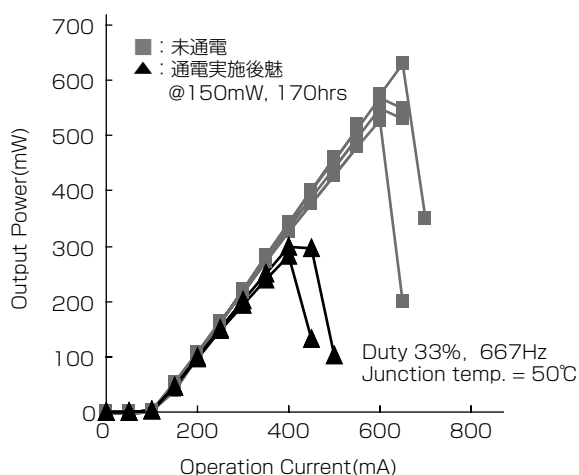


図2. 窓構造のないマルチモードLDのCODレベル

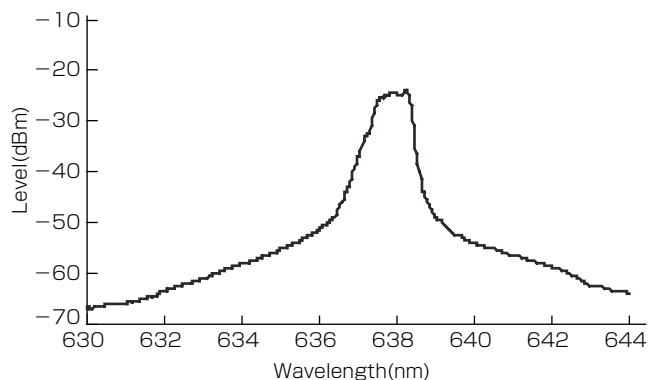


図5. 発振スペクトル

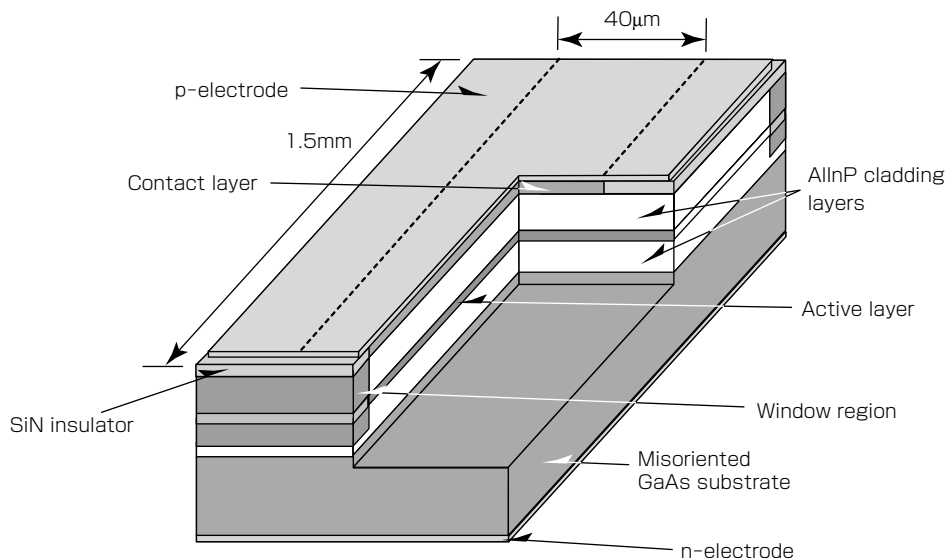


図3. 赤色ブロードエリアLDの構造

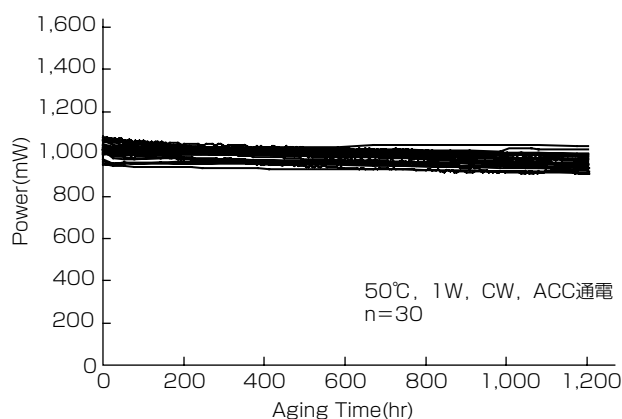


図 6. 通電試験結果

る。図 1 を用いて光束に換算すると、638nm、1 W の出力は、120ルーメンを超える値となる。なお、遠視野像 (Far Field Pattern : FFP) の半値全角は水平方向で 5 度、垂直方向で 35 度である。

図 6 に $T_c = 50^\circ\text{C}$ 、動作電流 1.5 A (CW)、定電流駆動 (Automatic Current Control : ACC) での通電試験結果を示す。初期の光出力として約 1 W となるように動作電流を調整している。1,200 時間を経過して光出力の低下は 10% 以下と非常に小さく、COD に由来するような瞬時劣化を含めて明確な劣化は確認されていない。

レーザディスプレイ用赤色 638nm 半導体レーザで、 50°C までの広い動作保証温度範囲で 1 W 以上の出力が得られ、約 35% の高い電力変換効率 (ケース温度 : 25°C 、1 W パルス駆動時) を実現した光源は我々の知る限りでは世界最高レベルである。視感度の高い 638nm の発光によって、約 120 ルーメン相当の明るい光源の構成が可能であり、使用環境の厳しい小型プロジェクタタイプのレーザディスプレイでの使用に最適であると言える。

5. む す び

ノートパソコンやモバイル機器に接続又は内蔵して使用される小型レーザプロジェクタは、これまでの LD 応用分野とは異なる用途であり、更なる展開が期待されている。このタイプのレーザディスプレイの表示方式の 1 つであるイルミネーション方式向けに、発振波長が 638nm の横マルチモード LD を開発した。5~ 50°C の広い動作保証温度範囲で 1 W 以上の出力が得られ、この方式で十分な明るさとなることを確認した。ACC での通電試験では 1,200 時間以上

の安定動作を確認しており、プロジェクタタイプのレーザディスプレイに最適である。

参 考 文 献

- (1) 山本和久：レーザ・LED 技術とディスプレイへの今後の展開，応用物理，**78**，No.11，1021 (2009)
- (2) 山本和久：レーザプロジェクション技術，レーザ研究，**36**，173 (2008)
- (3) Nakamura, S., et al. : Blue InGaN-based laser diodes with an emission wavelength of 450 nm, Appl. Phys. Lett., **76**, No.1, 22 (2000)
- (4) Enya, Y., et al. : 531nm Green Lasing of InGaN Based Laser Diodes on Semi-Polar {2021} Free-Standing GaN Substrates, Appl. Phys. Express **2**, 082101 (2009)
- (5) Nishida, T., et al. : Highly reliable 637-639nm red high-power LDs for displays, Proc. SPIE, **7583**, 758303-1 (2010)
- (6) Sugiura, H., et al. : 65-inch, Super Slim, Laser TV with Newly Developed Laser Light Sources, SID Symposium Digest of Technical Papers, **39**, Issue 1, 854 (2008)
- (7) Mizushima, T., et al. : Laser Projection Display with Low Electric Consumption and Wide Color Gamut by Using Efficient Green SHG Laser and New Illumination Optics, SID Symposium Digest of Technical Papers, 1681 (2006)
- (8) Nagai, Y., et al. : High-Power Operation of AlGaAs SQW-SCH Broad-Area Laser Diodes for Nd : YAG Solid-State Laser Pumping, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, **3**, No.2, 97 (1991)
- (9) Mowbray, D. J., et al. : Electronic band structure of AlGaInP grown by solid-source molecular-beam epitaxy, Appl. Phys. Lett., **65**, No.2, 213~215 (1994)
- (10) Kaneko, Y., et al. : Refractive Indices measurement of (GaInP)_m/(AlInP)_n quasi-quaternaries and GaInP/AlInP multiple quantum wells, J. Appl. Phys., **76**, No.3, 1809~1818 (1994)