

# プロジェクタ用レンズ付き 638nm高出力赤色半導体レーザ

正田史生\* 岩井裕次\*\*  
蔵本恭介\*\* 柳澤隆行\*  
酒井浩平\*

High-Power 638nm Red Laser Diode with Built-in Lens for Display Applications

Fumio Shohda, Kyosuke Kuramoto, Kohei Sakai, Yuji Iwai, Takayuki Yanagisawa

## 要旨

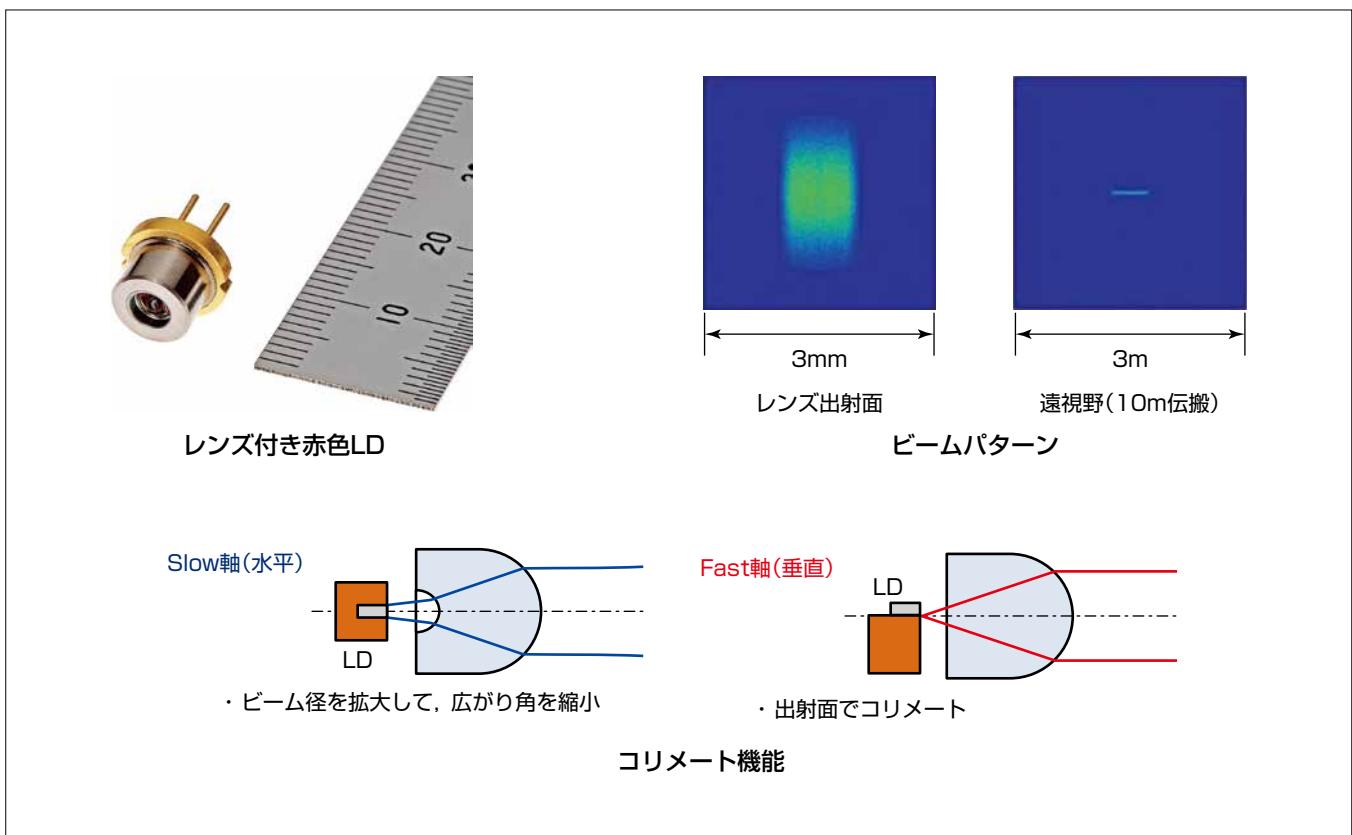
プロジェクタ用の光源として、現在広く用いられている高圧水銀ランプに対して、高効率・低消費電力・高輝度で、色再現性が良好な半導体レーザ(Laser Diode: LD)が注目されている。

これまで三菱電機では、プロジェクタ等の光源用途に、高出力赤色LD“ML562G84(パルス駆動光出力2.5W)”を製品化している。

ML562G84では、LD素子の出力レーザ光の広がり角が大きく、レーザ光を効率的に表示素子に照射するために、コリメートレンズを外付けで組み込む必要がある。しかし、Fast軸方向の広がり角が大きく、1個のLDチップの中に3エミッタ(発光点)を配置した構成のため、光学設計が難しく、適用範囲が制限されるという課題があった。

そこで、3エミッタの並ぶ方向であるSlow軸方向に対してビームを拡大することで広がり角を小さくする、拡大系の原理を適用したレンズを内蔵した発光波長638nmでパルス駆動光出力2.5W高出力赤色LD“ML562H84”を開発した。また、キャップと一体に構成することによって、プロジェクタ光学系に適した小型化を実現した。その結果、光出力がピーク値の $1/e^2$ となる広がり角全幅(FW1/e<sup>2</sup>M)は、LDから出力されるレーザ光の $8.0^\circ \times 69.0^\circ$  (Typ.値)に対し、この製品では $3.6^\circ \times 0.5^\circ$  (Typ.値)の平行光を実現した。

ML562H84によって、大きな広がり角を持つLDに対して高い精度で設置することが必要な外付けレンズが不要となり、プロジェクタの光学設計の簡素化や、光学機器の小型・低コスト化が可能になった。



## レンズ付き赤色LDのコリメート機能とビームパターン

開発したレンズ付き赤色LDの外観と、コリメート機能の説明図と、レンズ出射面/遠視野でのビームパターンを示す。3エミッタ方向であるSlow軸方向に対して、ビーム径を拡大することで広がり角を小さくする、拡大系の原理を適用した。これによって、従来のレンズ構成では困難であった、マルチエミッタLDでの、レンズの小型化と高集光性を実現した。

## 1. ま え が き

レーザは、集光性の良さやスペクトル純度の高さから、レーザ加工機を始めとする産業用途や、精密な分光測定が要求される理化学用途に用いられている。また、最近では、民生用途で、プロジェクタ等の照明用光源への適用が拡大している。現在、プロジェクタ用の光源は、超高圧水銀ランプやキセノンランプが用いられている。ランプは、寿命が短く消費電力が大きいことから、LED(Light Emitting Diode)や蛍光体、LD等の固体光源への置き換えが検討されている。この中でも、LD光源は、高効率で消費電力が低く、高輝度でかつ色再現性が良好であることから、近年注目されている。

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“ML562G84(パルス駆動光出力2.5W)”<sup>(1)</sup>を製品化している。プロジェクタの光学系で、レーザ光を効率良く表示素子に照射するには、複数のLDから出力された光を平行光にして並べて、一つのレンズで小さなスポットサイズに集光可能な光学系が必要とされる(ロッドインテグレータを使用した場合)。ML562G84では、LD素子から出力されるレーザ光の広がり角が大きいいため、収差を抑制した非球面レンズを精度良く設置する必要がある。

さらに、1個のLDチップの中に三つのエミッタを持つため、光学設計が難しく、適用範囲が制限されるという課題があった。

そこで、3エミッタの並ぶ方向であるSlow軸(水平)方向に対してビームを拡大することで広がり角を小さくする、拡大系の原理を適用したレンズを開発した。また、キャップと一体に構成することによって、外部に高い精度で設置することが必要なコリメートレンズを不要とし、プロジェクタ光学系に適した小型化を実現した。

本稿では、レンズ付き赤色LDの設計と、製品の諸特性について述べる。

## 2. 赤色LD向けレンズの設計

### 2.1 赤色LDの素子構造と遠視野特性

図1にパルス駆動光出力2.5Wの赤色LD製品の素子構造を示す。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BS(Broad Stripe)LD構造を持つ。

この製品のエミッタの構造設計を実施するにあたって、光出力特性と、信頼性に関する検討を実施した。ここで、

赤色LDの光出力が高温時に低下する主な要因は、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、発振に寄与しなくなる、キャリアオーバーフローを生じるためである。また、赤色LDでの主な高出力化の阻害要因は、前端面での光学損傷(Catastrophic Optical Damage: COD)の発生であり、高い信頼性を確保するためには、エミッタ幅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。

そこで、キャリアオーバーフローを抑制し<sup>(2)</sup>、光出力の高温特性の安定化を実現するとともに、端面での光密度の低減による、信頼性の向上<sup>(3)</sup>を目的として、幅が60 $\mu\text{m}$ のエミッタを三つ並べたマルチエミッタ構造を導入している。各エミッタの幅は広く、横モードはマルチモードで発振している。活性層からの熱を効率良く放熱するため、LD素子は、J/D(Junction Down)でサブマウントにダイボンドし、直径9.0mmのTO(Transistor Outline)-CANパッケージに搭載した。

図2は25 $^{\circ}\text{C}$ 、2.5Wでパルス駆動したときの、水平方向

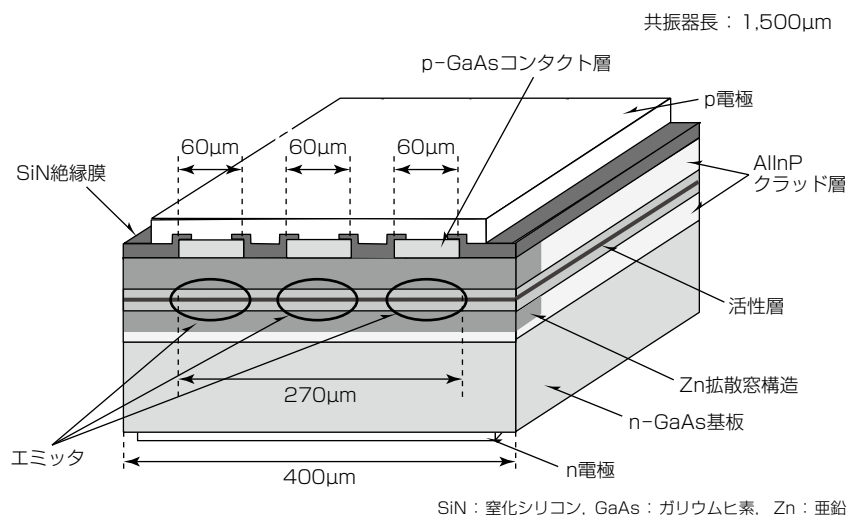


図1. 赤色LDの素子構造

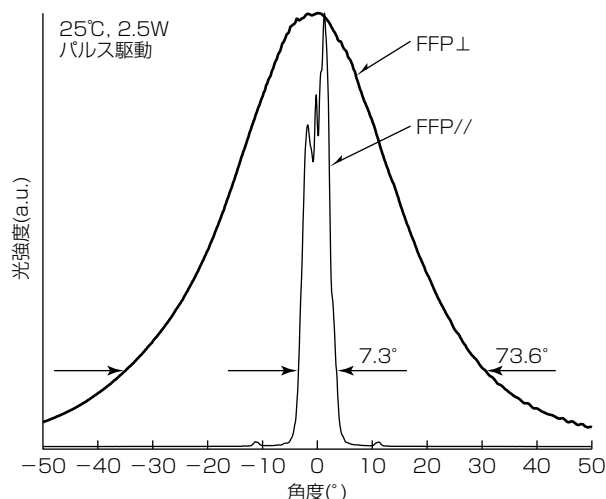


図2. 赤色LDの遠視野像

(FFP(Far Field Pattern) //)及び垂直方向(FFP⊥)の遠視野像の一例を示す。光出力がピーク値の1/e<sup>2</sup>となる、広がり角全幅(FW1/e<sup>2</sup>M)は、それぞれ7.3°、73.6°であり、特に垂直方向は大きな広がりを持っている。

2.2 コリメートレンズの設計

ここまで述べた当社赤色LDの素子構造と遠視野特性をもとに、これに適用できるコリメートレンズの設計では、次のような技術的課題に直面する。

- (1) LDの水平方向の三つのエミッタ幅が、実効的に270μmと広く、広がり角を小さくするには、レンズの焦点距離を長くする必要がある。
- (2) レンズの焦点距離を長くすると、LDの垂直方向の広がり角が大きいため、光の利用効率を高めるには、レンズの有効開口も大きくする必要がある。

この技術的課題は、一般的によく用いられる軸対称のレンズでは、所望のレンズ性能と、レンズの小型化は両立しないことを意味している。

そこで、今回、3エミッタの並ぶ方向である水平方向側に対して、ビームを拡大することで広がり角を小さくする、拡大系の原理を適用したレンズ設計を行った。図3に、各方向に対するコリメート機能を模式的に示す。

ここで、拡大系の原理を簡単に述べる。焦点距離 $f_1$ と $f_2$ のレンズが、間隔 $d$ の距離に配置された場合、焦点距離の比率で決まる倍率 $m(= -f_2/f_1)$ でビームが拡大される。入射したビーム(広がり角 $\theta_0$ 、ビーム径 $\omega_0$ )と、出射されたビーム(広がり角 $\theta_1$ 、ビーム径 $\omega_1$ )との関係、また、間隔 $d$ と焦点距離 $f_1$ と $f_2$ の関係は以下のように表される。

$$\omega_1 = -\frac{f_2}{f_1} \omega_0 = m \omega_0 \dots\dots\dots (1)$$

$$\theta_1 = -\frac{f_1}{f_2} \theta_0 = \frac{1}{m} \theta_0 \dots\dots\dots (2)$$

$$d = f_1 + f_2 \dots\dots\dots (3)$$

今回、ここでの原理を水平方向に適用し、レンズ製造制限を考慮した上で、各レンズパラメータを最適化した。

一方で、垂直方向は、通常のコリメート系であり、レンズ出射面からは、コリメート化されたビームが出力される。

LDに対するレンズの位置は、水平方向は距離によらずに一定の広がり角となるため、垂直方向の焦点距離となる位置にレンズを配置している。

レンズを理想位置に配置した場合の設計結果を表1に、レンズ出射後の各位置でのビームパターンの計算結果を図4に示す。レンズから出力された直後のビーム直径は、水平方向で1.0mm、垂直方向で1.7mmであり、遠視野の広がり角(FW1/e<sup>2</sup>M)は、水平方向3.5°、垂直方向0.2°である。

表2に従来製品(軸対称)のレンズ構成と、開発製品で採用したレンズ構成との比較を示す。今回、水平方向へ拡大

表1. レンズ設計結果(組立て公差なし)

	水平方向(Slow軸)	垂直方向(Fast軸)
ビーム直径(レンズ直後)	1.0 mm	1.7 mm
遠視野広がり角(FW1/e <sup>2</sup> M)	3.5°	0.2°

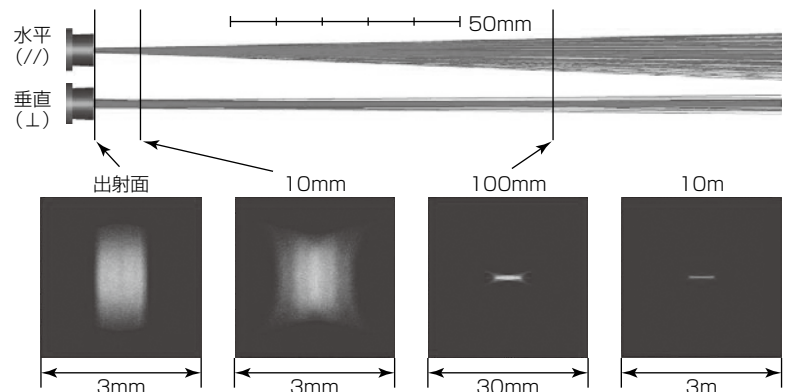
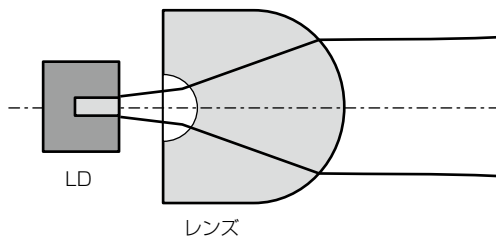
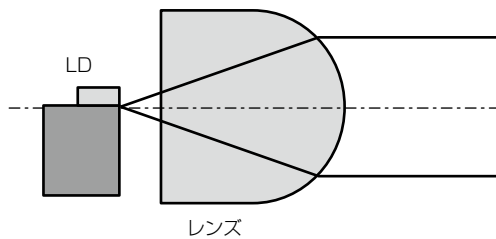


図4. ビームパターンの計算結果



ビーム径を拡大し、広がり角を縮小  
(a) 水平方向(Slow軸)



出射面でコリメート  
(b) 垂直方向(Fast軸)

図3. 各方向のコリメート機能

表2. レンズ構成の比較  
(Slow軸方向の広がり角を一定にした場合)

項目	従来製品(軸対称)	開発製品
構成		
サイズ	大	小
Slow軸方向の広がり角	○	○
コスト	○	○
要求組立精度	垂直:○ 水平:○	垂直:○ 水平:◎

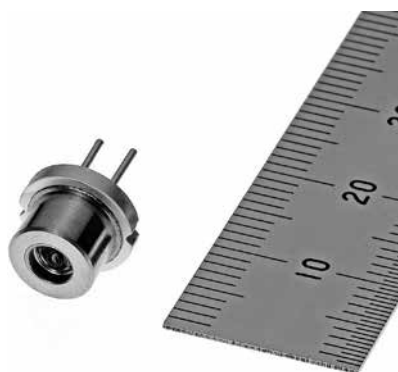


図5. レンズ付き赤色LD

系の原理を適用してキャップと一体化することで、プロジェクタ光学系に適した小型化を実現した。また、レンズ製造条件を踏まえた設計の最適化と、レンズの小口径化によって、通常のレンズと同等のコストで実現した。さらに、LDのレンズ実装での要求組立て精度は、LDチップに対するエミッタ部の位置を製造上、細かく管理するのが難しい水平方向に対しては、組立て精度を緩くできるため、組立ての容易化に貢献している。

図5に、開発製品の外観を示す。大型のφ9.0mmのTO-CANパッケージを採用し、これにレンズ付きキャップが接合されている。この構成では、広がり角の性能に比べてレンズを小型にできるので、レンズとキャップの一体化が実現できている。

### 3. レーザ特性

開発したレンズ付き赤色LDの光出力-電流特性の例を図6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でのケース温度である。

この製品の25℃及び45℃での2.5W出力時の動作電流は、それぞれ2.77A、3.52A、動作電圧はそれぞれ2.35V、2.41Vであった。25℃でのスロープ効率 $\eta_{\text{slope}}$ は、1.17W/Aであった。開発したレンズのレーザ光の利用効率は98%以上であり、従来のパルス品とほぼ同等の動作電流で、パルス駆動光出力2.5Wを実現した。また、放熱性の高い大型パッケージの導入によって、0～45℃の範囲で動作することを確認した。

図7は、この製品を25℃、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、638.8nm、スペクトルの半値全幅(Full Width at Half Maximum: FWHM)は約1.0nmである。

図8は、この製品を25℃、2.5Wでパルス駆動したときの水平方向(FFP//)及び垂直方向(FFP⊥)の遠視野像である。これは、レンズ付きキャップのキャッピング後の製品特性の一例を示しており、光出力がピーク値の $1/e^2$ となるとき全幅は、それぞれ水平方向3.6°、垂直方向0.4°で

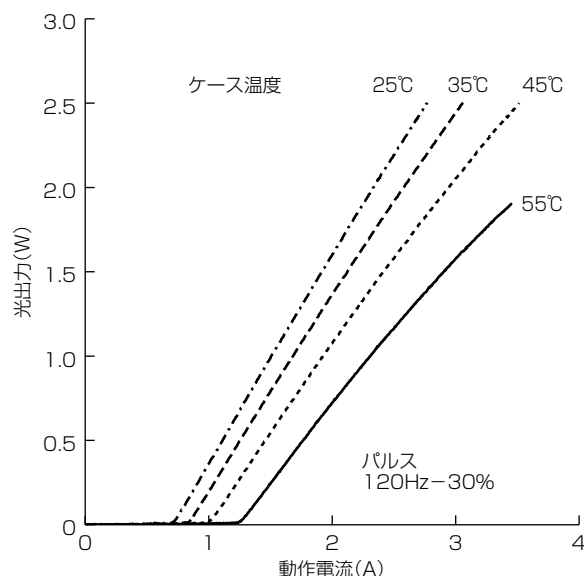


図6. 光出力-電流特性

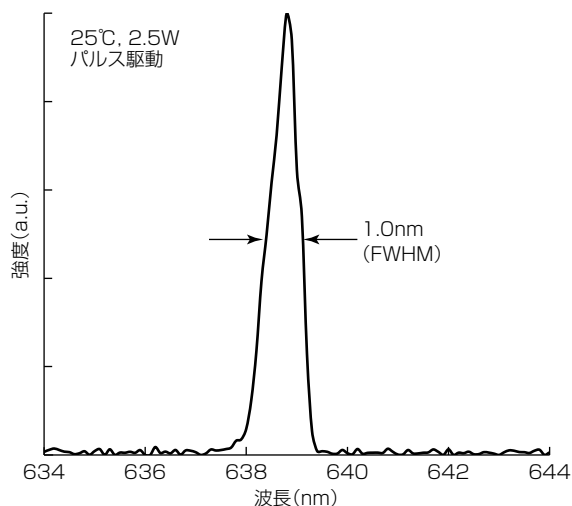


図7. 波長スペクトル

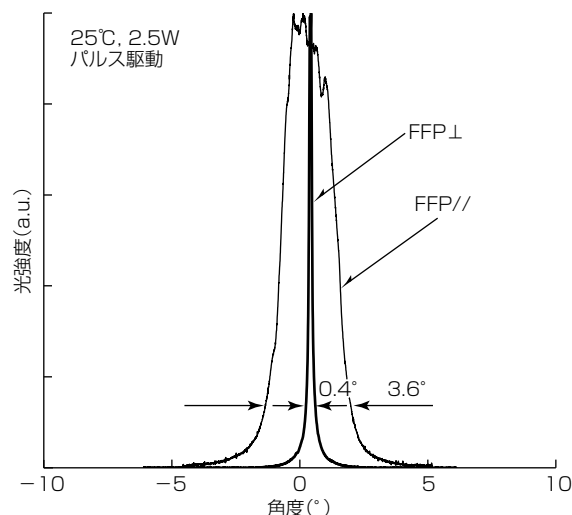
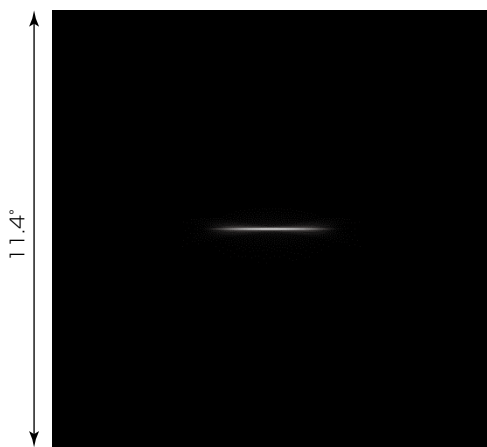
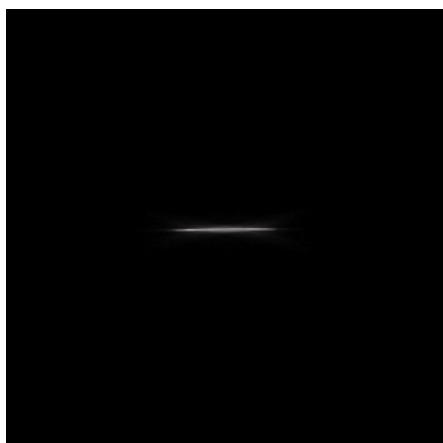


図8. 開発製品の遠視野像



(a) 設計結果



(b) 測定結果

図9. 遠視野のビームパターン

ある。キャッピングの組立て公差を考慮すると、設計結果に対して妥当な広がり角が得られている。

図9は、この製品の遠視野でのビームパターンの設計結果と測定結果を示している。通常は、マルチエミッタLDを単純にコリメートした場合、空間的な均一性は低くなるが、このレンズは、エミッタから出射されたビームが、拡大系を通過して重ね合わされるため、空間的に均一なビームを得ることができる。図から、ビームパターンの測定結果が設計結果とよく一致していることを確認できる。

また、これまでも述べた<sup>(1)</sup>ように、当社パルス品は、25℃、2.5Wのパルス動作で、35,000時間以上相当の安定

動作を確認しており、このレンズ付きLDでも同等の信頼性を実現している。

以上のように、発光波長638nmのプロジェクタ用高出力赤色LDとして、キャップ一体型のレンズ付き製品を開発し、パルス駆動光出力2.5Wの業界最高<sup>(注1)</sup>の動作を実現した。なお、本稿で述べた製品に加えて、発光波長だけを長波長化(発光波長：642nm)した製品もラインアップしており、ユーザー側のシステム要求に対して、柔軟に対応できる。

(注1) 2017年7月5日現在、当社調べ

#### 4. む す び

プロジェクタ光源用赤色LDの普及促進のため、プロジェクタシステムへ容易に適用できるレンズ付き高出力赤色LDを開発した。Slow軸方向側に対してビームを拡大することで広がり角を小さくする拡大系の原理を適用し、キャップと一体に構成することによって、プロジェクタ光学系に適した小型化を実現した。その結果、光出力がピーク値の $1/e^2$ となる広がり角全幅(FW $1/e^2$ M)は、LDから出力されるレーザー光の $8.0^\circ \times 69.0^\circ$  (Typ.値)に対して、この製品では $3.6^\circ \times 0.5^\circ$  (Typ.値)の平行光を実現した。

この製品によって、大きな広がり角を持つLDに対して高い精度での設置が必要な外付けレンズが不要になり、プロジェクタの光学設計の簡素化や、光学機器の小型・低コスト化が可能になった。

#### 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ー, 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) Mitsuyama, H., et al.: Reliability Study on High-Power 638nm Broad Stripe Laser Diode, Optical Review, **21**, No.1, 43~47 (2014)