

## 短共振器 AlGaInP LD の高出力化

住友 弘幸\*・梶山 訓・小栗 裕之  
 上田 誠・後藤 修・喜多 敏弘  
 天野 秀則・里吉 洋忠・山本 達  
 中尾 健誠・和泉 茂一

High-Power, Short-Cavity AlGaInP Laser Diodes — by Hiroyuki Sumitomo, Satoshi Kajiyama, Hiroyuki Oguri, Makoto Ueda, Syu Goto, Toshihiro Kita, Hidenori Amano, Hirofusa Satoyoshi, Toru Yamamoto, Kensei Nakao and Shigekazu Izumi — AlGaInP laser diodes are used in various digital equipment, such as MO/CD/DVD optical pick-up units, laser printers and barcode scanners. Recently, the lasers have been expected to expand their application to the next-generation hard disk drives (HDD) for a thermally-assisted magnetic recording system and mobile devices. In response to such expansion of the market, high-power, short-cavity lasers have turned out to be essential.

The authors have undertaken the development of higher-output and lower-power-consumption laser diodes and demonstrated 4-inch-wafer process for the first time in the world. By optimizing this advanced wafer process, the authors have obtained an output power per unit length of 100 mW/mm with a 660 nm short-cavity ( $L=300\ \mu\text{m}$ ) ridge-waveguide laser under CW operation at 25 - 80°C, which is greater than an output of 64 mW/mm with a high-power laser ( $L=2200\ \mu\text{m}$ ) designed for high-speed recordable DVD systems.

Keywords: laser diode, AlGaInP, short cavity, high power, HDD

### 1. 緒言

民生用 AlGaInP LD (Laser Diode、波長：630～690 nm) は、MO、CD、DVD 等の光学ドライブの光ピックアップをはじめとして、コピー機やプリンタ、バーコードリーダなど様々な情報機器に使われている。また、近年用途も広がりを見せており、プロジェクター、ディスプレイ、あるいは次世代ハードディスクなどへの応用も期待されており、これら LD の特性向上およびコスト低減に対する要求は年々高まっている。さらに、マイクロプロジェクタ、モバイル・バーコードなどモバイル用途の民生機器向けなどは、小型化の要求も強い。たとえば、ハードディスク (HDD) への応用を例にあげると、HDD は記録密度向上のため、次世代 HDD の記録には熱アシスト磁気記録方式が有望視されており、その熱源として LD 光が必要とされている<sup>(1)</sup>。その際、HDD 内に LD を内蔵する必要性があり、磁気ヘッドへの LD 実装も検討されている<sup>(2)</sup>。このようなアプリケーションにおいては、LD チップの小型化 (短共振器化) が必須になるとともに、高温環境における高い光出力も確保する必要がある。

これらの新しい市場ニーズに対しては、従来の DVD 等光学ドライブ用途の延長線上での開発ではなく、マーケットインの観点での開発が求められる。たとえば、LD チップの実装を例にあげると、従来から民生用途として一般的な CAN パッケージへの実装だけを考えれば良いのではな

く、顧客の製品ニーズに合わせた形態での実装対応がチップに求められる。我々は、市場ニーズに対応した、製品コンセプトの視点で LD の開発を進めてきた。

ここでは、波長 660 nm のリッジ導波路型短共振器 LD (共振器長  $L=300\ \mu\text{m}$ ) で、CW 駆動における単位共振器長あたりの光出力 100 mW/mm を達成し、高倍速 DVD 書き込み用高出力 LD ( $L=2200\ \mu\text{m}$ ) の 64 mW/mm 程度を上回る特性を 25～80°C の実用温度領域で実現することができたので報告する。

### 2. 民生用 AlGaInP LD 量産プロセス

民生用途のデバイスにおいては、性能向上に加えて、作製コストの低減も設計段階から考慮すべき重要な項目である。LD 構造は、結晶成長が一回で、シンプルなウエハプロセスで作製可能な、絶縁体埋め込み型のリッジ型 LD 構造を採用した<sup>(3)~(5)</sup>。本 LD 構造は、リッジ導波路の作製プロセスがキーポイントであり、単一横モードを維持し、ビーム広がり角度を安定に保つために、ウエハ面内で均一な寸法および形状のリッジ形成が求められる。我々は、ICP (Inductively Coupled Plasma) ドライエッチングを用い、制御性に優れたリッジ形成プロセスを立ち上げた。本技術を用い、従来リッジ型 LD では作製が困難であった

低アスペクト比のビーム形状を持つLDの量産化にも成功している<sup>(6)</sup>。

また、ICPエッチングプロセスの最適化によりドライエッチング面の低ダメージ化を図り、as Dryでのリッジ形成プロセスを可能としている。従来のリッジ形成プロセスにおいては、LDの信頼性を確保するために、ドライエッチングの後、ウェットエッチングによりドライエッチングのダメージ領域を除去する必要があった。しかし、ウェットエッチング処理は、リッジ形状制御の再現性に乏しく、量産化にはas Dry化が必須であった。

また、リッジ導波路を埋め込み、電流ブロック層として機能するSiN<sub>x</sub>絶縁膜の形成方法および膜質は、LDの信頼性に大きな影響を与える。写真1は、ドライエッチング面とSiN<sub>x</sub>膜の界面近傍のTEM (Transmission Electron Microscope) 写真である。SiN<sub>x</sub>膜質の制御により、界面近傍の半導体における歪コントラスト領域は10 nm程度と浅く、格子定数変化率は0.3 %程度以下と小さく抑えられており、LDの信頼性を向上させる一つの要因になっている。

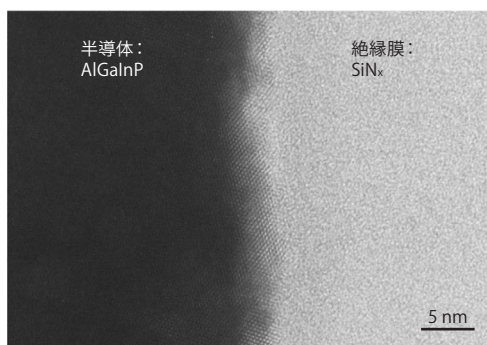


写真1 ドライエッチング面上へのSiN<sub>x</sub>絶縁膜形成部の界面TEM写真

その他、高出力LDの場合、LD端面部のCOD (Catastrophic Optical Damage)<sup>\*1</sup>破壊を防止するためにZn拡散による窓構造<sup>\*2</sup>を端面近傍に設けている。図1は、顕微PL (Photoluminescence) 評価による、窓領域近傍のPLプロファイルである。縦軸はLD端面 (0 μm位置) から共振器方向の距離を示している。図1 (a) は窓領域 (0~10 μm程度の領域) のPLピーク波長が短波側に良好にシフトしており、窓部がLD発振波長に対して透明に近い窓構造の場合である。一方で、図1 (b) は、PLピークシフトが不完全な窓構造を示している。4インチウエハ内で図1 (a) のような窓構造が得られるようZn拡散プロセスの最適化を行っている。

基板となるGaAsウエハは、φ3インチから4インチに大口径化し、4インチウエハに対応したLDエピ成長およびウエハプロセス技術を立ち上げ<sup>(3)</sup>、<sup>(4)</sup>、LDチップのコスト低

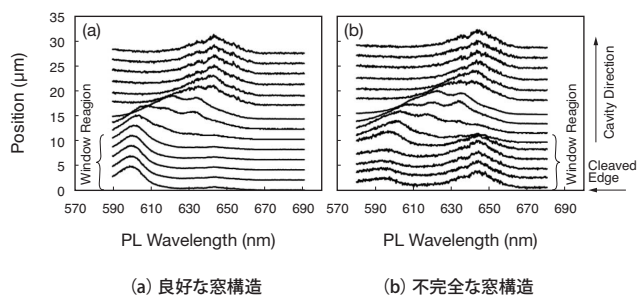


図1 窓領域近傍のPLプロファイル

減を図っている。さらに、良好な高温特性を得るために、p型ドーパントは、Znよりも低拡散でドーピング特性が安定しているMgを採用した<sup>(5)</sup>。FET (Field Effect Transistor) やHEMT (High Electron Mobility Transistor) などの電子デバイス用途のGaAsウエハは、現在6インチが実用化されているが、LD用途のGaAsウエハは、一般的な電子デバイス用ウエハに比べて、転位密度を2桁以上低減させる必要があり、大口径化が難しいところである。

以上の民生用LDの4インチ・ウエハプロセスの大部分は、当社の成熟したGaAs-ICラインを横展開する形で構築した。

### 3. 短共振器長化へのアプローチ

前述のLD量産プロセスを用いて、高出力LDの短共振器化を検討した。モバイル用小型機器などからの要請に基づき、80°Cにおいて30 mW以上の光出力を目標とした。

AlGaInP系LDは、InGaP活性層とAlGaInPクラッド層のバンドオフセットを大きくとれない材料系のため、特に、高温領域において、クラッド層へのキャリアリークが大きくなり出力を確保するのが困難となる。一方で、民生用LDは一般的に80°C程度の高温環境における動作が求められる。高温動作を確保するためには、活性層からのキャリアリークを防ぐ必要があり、それには、しきい値キャリア密度を可能な限り低減させることが肝要である。高倍速DVD書き込み用の高出力LDは、高温環境下においても安定した高出力が確保できるように最適化されており、発振波長660 nm、共振器長 $L=2200 \mu\text{m}$ のLDで、パルス駆動下において400 mW以上の業界最高レベルの出力が得られている<sup>(5)</sup>。

**3-1 単位共振器長あたりの光出力** 高出力な短共振器LDを考えるにあたって、本長共振器の高出力LDをベースに、まずは、共振器長 $L$ のみスケールダウンすることを想定してみる。高温特性の確保のため、 $L$ を短くしつつも、発振しきい値電流密度 $J_{th}$ を一定に保つように出射端面反射率 $R_r$ および後端面反射率 $R_r$ を最適化することを考える。その場合、注入キャリア1個につきLD外部に放出

される光子数を表す、全光出力に対する外部微分子効率  $\eta_d$  は一定となり、さらに注入電流密度  $J_0$  を一定とした場合、出射側端面からの光出力  $P_{out}$  は、出射面側に光が出る割合  $\eta_f$  を用いて、次のようになる。

$$P_{out} = \eta_f \cdot \eta_d \cdot W \cdot L \cdot (J_0 - J_{th}) = a \cdot \eta_f \cdot L$$

ここで、 $W$  : 電流注入ストライプ幅、 $a$  : 定数、

$$\eta_f = 1 / \left\{ 1 + (1 - R_r) / (1 - R_f) \sqrt{R_f / R_r} \right\}$$

であり、簡単のため自然放出光の寄与、窓領域および端面膜における損失は無視している。一般的には、出射端面より効率良く光を取りだすため、 $R_r$  は高く設定される。仮に  $R_r = 1$  とした場合は、 $P_{out} = a' L$  ( $a'$  : 定数) となるため、単位共振器長あたりの光出力は、 $L$  に依存せず一定となる。また、電流密度を一定とした場合、LD への投入電力は  $L$  に比例するが、一方で LD 自体の熱抵抗は  $1/L$  に比例して小さくなる<sup>(7)</sup>。そのため、熱容量の大きい理想的なヒートシンク上に LD を実装した場合は、電流注入による LD の自己発熱は  $L$  に依存しない形になる。以上より、電流密度を一定とするような共振器長変化のもとでは、単位共振器長あたりの光出力 ( $P_{out} / L$ ) は、温度依存性を含めて一定であるため、LD の実力を比較するパラメータとして有効と考える。

**3-2 試作結果** 実際には、 $L = 2200 \mu\text{m}$  の高出力 LD を  $25 \sim 80^\circ\text{C}$  の領域で CW 駆動させた際の電流-光出力 ( $I$ - $L$ ) 特性を図 2 に示す。80°C においては、光出力の熱飽和により 140 mW 程度が出力限界となっており、 $P_{out} / L = 64 \text{ mW/mm}$  程度である。

ここで、 $L = 2200 \mu\text{m}$  LD の端面反射率は、出射側  $R_f = 3\%$ 、後面側  $R_r = 95\%$  としている。共振器長に応じて出射側の端面反射率  $R_f$  を調整し、しきい値電流密度  $J_{th}$  を一

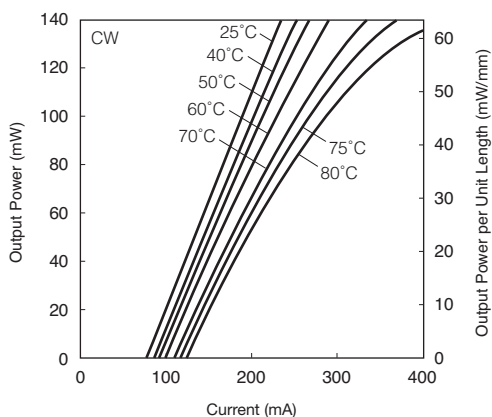


図2  $L = 2200 \mu\text{m}$  LD の電流-光出力温度特性

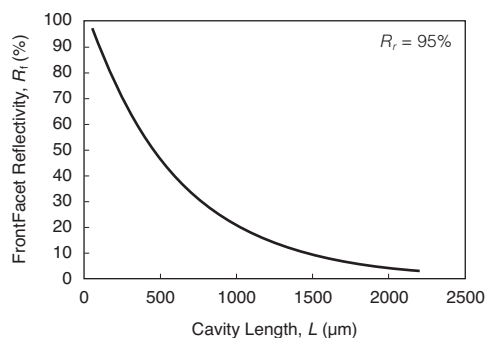


図3 出射側反射率  $R_f$  の共振器長  $L$  依存性 (しきい値電流密度一定の条件)

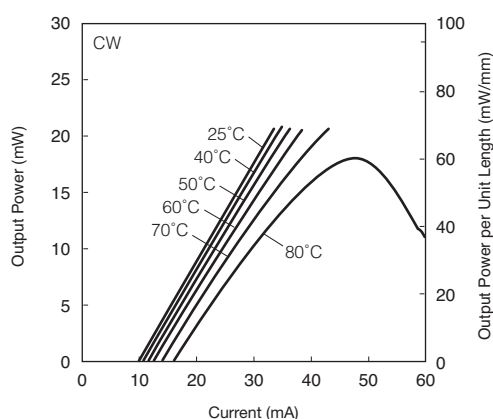


図4  $L = 300 \mu\text{m}$  LD の電流-光出力温度特性

定に保つとした場合、 $R_f$  の共振器長  $L$  依存性は、図 3 のようになる。

この結果を用いて端面反射率  $R_f$  および共振器長を変化させ、 $L = 300 \mu\text{m}$  とした波長  $660 \text{ nm}$  の LD を作製した。生産上、LD チップのハンドリングの安定性を考慮すると  $L = 300 \mu\text{m}$  程度が短共振器 LD として最適な値と考えられる。本 LD の  $I$ - $L$  温度依存性を  $25 \sim 80^\circ\text{C}$  において評価した結果が図 4 である。 $R_f$  は  $58\%$  としてある。80°C における光出力は、18 mW 程度で熱飽和しており、 $P_{out} / L$  は  $60 \text{ mW/mm}$  程度である。単純に、長共振器の高出力 LD を短共振器化するだけでは、30 mW クラスの出力を得ることはできない。

#### 4. 短共振器長 LD の高出力化

高温特性を向上させるために、バリア層厚およびガイド層厚などを光閉じ込めを大きくする方向で最適化し、さらに、バリアおよびクラッド層の Al 濃度を高め、キャリアークを低減させるように最適化した。これらのエピ構造

変更に加えて、窓構造の最適化を図った。

短共振器LDの場合、光出力自体は、長共振器LDに比べて低いですが、端面反射率を高めているため、反射面近傍の光密度は決して低くなく、30 mWクラスでは、窓構造は必須である。その際、長共振器の高出力LDで最適化された窓構造をそのまま短共振器に適用した場合、温度特性を含めた特性面において必ずしも良好な結果が得られるわけではない。従って、短共振器に合わせた窓作製プロセスの最適化が必要になる。

以上のような観点から、エビ構造とともに、窓構造の作製プロセスを短共振器長LD用に最適化した $L=300\ \mu\text{m}$ のLDの $I$ - $L$ 温度特性を図5に示す。発振波長は改善前LDと同様な660 nmに揃えてある。80°Cにおいても30 mW出力を実現し、単位共振器長あたりの光出力 $P_{\text{out}}/L$ は100 mW/mm超を達成できた。

図6に信頼性試験の結果を示す。評価条件は、CW駆動で、光出力 $P_0=20\ \text{mW}$ 、環境温度 $T_a=80^\circ\text{C}$ である。LDチップは、リッジ導波路形成面が反実装面となるJunction-side-up (J-up) の状態で実装しており、通常の

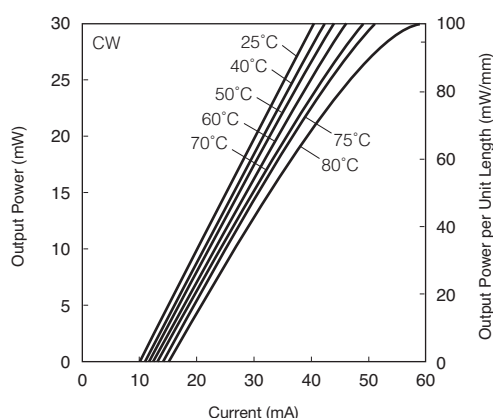


図5 高温特性を改善した、 $L=300\ \mu\text{m}$  LDの電流-光出力温度特性

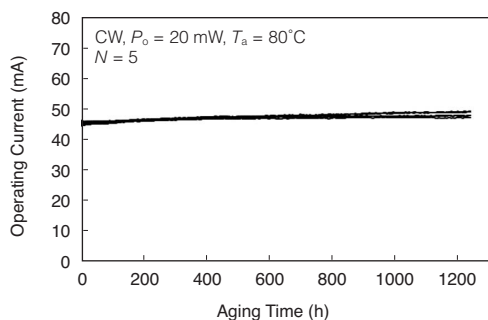


図6 信頼性試験結果

J-down実装よりも、チップの放熱性が悪く、自己発熱によるチップ温度上昇が大きい。このような厳しい試験条件においても、1000時間以上の安定した動作が確認できている。

## 5. 結 言

短共振器で高出力が得られるAlGaInP LDを大口径04インチの量産プロセスを用いて、市場ニーズに対応したマーケットインの観点で開発を行った。共振器長 $L=300\ \mu\text{m}$ の波長660 nm LDにおいて、CW駆動下で30 mW以上の光出力を25~80°Cの実用温度域において実現し、単位共振器長あたりの出力は100 mW/mmを超えた。これは、 $L=2200\ \mu\text{m}$ の高倍速DVD書き込み用高出力LDの64 mW/mmを大きく上回る値である。

## 用語集

### ※1 COD

Catastrophic Optical Damage：半導体レーザの光出射端面近傍において、レーザ光の光吸収による半導体の温度上昇によって、端面の半導体結晶が融解してしまう現象。本現象は、通常、回復できないcatastrophicな故障をレーザにもたらす。

### ※2 窓構造

半導体レーザの光出射端面近傍の光吸収を抑えるための構造。窓のように光をスムーズに取り出すことができる構造が備わっていることを意味している。

## 参 考 文 献

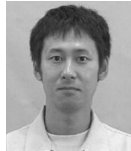
- (1) K. Matsumoto, A. Inomata, S. Hasegawa, "Thermally Assisted Magnetic Recording", FUJITSU Sci. Tech. J., vol. 42, No.1, pp.158-167 (Jan. 2006)
- (2) K. Hongo and T. Watanabe, "Lensless Surface Plasmon Head with 1 Tbit/in.2 Recording Density", Jpn. J. of Appl. Phys., Vol. 47, No. 7, pp.6000-6006 (2008)
- (3) 住友弘幸、梶山訓、小栗裕之、坂下武、堂本新一、中尾健誠、山本達、駒谷務、川久保弘史、小野将徳、前島俊昭、和泉茂一、「4インチ・ウエハプロセスによるDVD記録装置用高出力レーザ」、電子情報通信学会技報、OPE2006-5、pp.23-28、(2006-04)
- (4) H. Sumitomo, S. Kajiyama, H. Oguri, T. Sakashita, K. Nakao, Y. Yamamoto, T. Kita, T. Komatani, H. Kawakubo, M. Ono, and S. Izumi, "Uniform and High-Power Characteristics of AlGaInP-based Laser Diodes by 4-inch Wafer Process Technology for DVD-R/RW/RAM", Proc. International Semiconductor Laser Conference 2006, Kohala Coast, Hawaii, pp. 53-54.
- (5) H. Sumitomo, S. Kajiyama, H. Oguri, T. Sakashita, T. Yamamoto, K. Nakao, S. Domoto, M. Ueda, H. Amano, H. Satoyoshi, T. Kita, and S. Izumi, "Uniform and High-Power Characteristics of AlGaInP-Based Laser Diodes with 4-Inch-Wafer Process Technology", IEEE J. Sel. Topics in Quantum Electron., vol. 13, No. 5, pp. 1170-1175 (2007)

- (6) 上田誠、住友弘幸、後藤修、山本達、小栗裕之、梶山訓、中尾健誠、天野秀則、里吉洋忠、喜多敏弘、和泉茂一、「低消費電力・低アスペクト比半導体レーザ」、電子情報通信学会技報、OPE2008-4、pp.17-22、(2008-04)
- (7) O.J.F. Martin, G.-L. Bona, P. Wolf, "Thermal behavior of visible AlGaInP-GaInP ridge laser diodes", IEEE, J. of Quantum Electron., vol. 28, No. 11, pp. 2582-2588 (1992)
- 

執 筆 者

---

住友 弘幸\* : 住友電工デバイス・イノベーション(株)  
博士 (工学)  
可視光半導体レーザの設計・開発に従事



梶山 訓 : 生産技術部 テクニカルトレーニングセンター  
小栗 裕之 : 住友電工デバイス・イノベーション(株)  
上田 誠 : 住友電工デバイス・イノベーション(株)  
後藤 修 : 住友電工デバイス・イノベーション(株)  
喜多 敏弘 : 住友電工デバイス・イノベーション(株)  
天野 秀則 : 住友電工デバイス・イノベーション(株)  
里吉 洋忠 : 住友電工デバイス・イノベーション(株)  
山本 達 : 伝送デバイス研究所 高集積プロセス研究部  
中尾 健誠 : 伝送デバイス研究所 高集積プロセス研究部  
和泉 茂一 : 住友電工デバイス・イノベーション(株)  
電子デバイス事業部 部長代理 工学博士

---

\*主執筆者