

論文

窒化ガリウム基板を用いた青紫色半導体レーザー素子

Violet Laser Diode on a GaN Substrate

種谷元隆*1 Mototaka Taneya 湯浅貴之*1 Takayuki Yuasa 小河淳*1 Atsushi Ogawa 銅田裕哉*2 Hiroya Akada 石田真也*1 Masaya Ishida

要旨

次世代光ディスク:BD(Blu-ray Disk)用の基幹デバイスである青紫色半導体レーザーについて述べる。特に、高温動作や高出力動作に適した窒化ガリウム(GaN)基板を用いた青紫色半導体レーザーについて、素子構造や特性例について詳細に説明する。

We describe an INGaAlN violet laser diode as a key device for Blu-ray Disk (BD) and show a device structure fabricated on a GaN substrate and its characteristics in detail.

まえがき

民生用光ディスク商品は1980年代始めに音楽用CDプレーヤが商品化されて以来、今年で20年の歴史が経過しようとしている。その間に、応用範囲も当初の音楽から、データ、静止画、動画へと広がり、用途もAV機器からPC用、そして車用と拡大している。現在は赤色レーザー(波長約650nm)を応用したDVDが再生専用機から録再機へと展開が図られ大きな市場を形成しつつあるが、このような光ディスク市場の発展は光ディスクの大容量化技術の進展に負うところが大きい。光ディスクを大容量化するためには、情報を記録したり読み出したりする際に用いるレーザー光のディスク上に集光するスポット径を小さくすれば良いことは容易に理解できる。ここで、光ディスク上での光スポットの直径は、

$$\lambda / 2NA$$

(ただし、 λ : 半導体レーザーの波長, NA : 光ディスク上にレーザー光を集光するための対物レンズの特性を表すパラメータで Numerical Aperture の略) で記述できる。この式からも分かるように、光ディスクの大容量化の基幹技術は、半導体レーザーの短波長化と、対物レンズの高NA化の2つである。

今年6月、次世代の民生用大容量光ディスクとしてBD(Blu-ray Disk)が規格化されたが、BDでは半導体レーザーの波長を405nmに、対物レンズのNAを0.85に

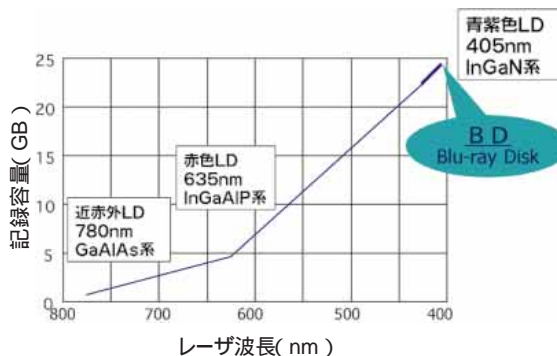


図1 半導体レーザーの波長と光ディスクの記録容量の関係
Fig. 1 Relationship between the wavelength of laser diodes and the storage capacities in optical disks with 120mm diameter.

することにより、120mm直径のディスクに1層当たり23.3GB~27GBのデータを記録・再生することを可能としている。図1にCD、DVDなどの従来の光ディスクに対するBDの記録容量を、半導体レーザーの波長を横軸としてまとめた。BDはこのような大容量化技術により、高品位画像を2時間録画・再生できる新たな光ディスク規格として、今後の普及が期待されている。

BD用の光源として用いられる半導体レーザーは、窒化ガリウム系材料から構成されており、1996年に初

*1 技術本部 基盤技術研究所 *2 電子部品事業本部 IT推進室

めてのレーザ発振が報告されて以来¹⁾ 駆動電流および駆動電圧の低減や半導体レーザを構成する半導体結晶の欠陥低減などにより寿命改善がなされてきた。最近では60 の雰囲気中で3000時間以上の寿命を有するレーザの報告もなされており²⁾ 実用化に向けレーザ雑音の低減など 実用化に向けた開発が活発となっている。ここでは、次世代光ディスク用光源である窒化ガリウム(GaN)基板を用いた青紫色半導体レーザの構造および特性例を述べる。

1. GaN 基板上に作製した窒化物半導体レーザの放熱特性の解析

GaN はサファイアに比べて室温近傍での熱伝導率が約4倍大きいという特徴がある。窒化物半導体レーザの場合、レーザの寿命は、レーザに加える電力(～発光層付近で発生する発熱量)と大きな相関があることが報告されている事もあり、GaN基板ではその点では大きな優位性を示すと考えられる。ここでは基板の違いにより、活性層から発生する熱が、基板を通じてマウント台に拡散し、発光層に蓄積される状態を計算した結果について報告する。

計算に用いたレーザの模式図を図2に示す。また、計算に用いた材料の熱伝導率を表1に示す。

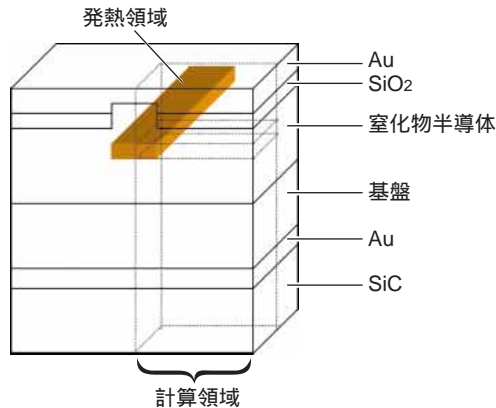


図2 計算に用いたレーザ素子の模式図

Fig. 2 Schematics of the laser structure used for the calculations.

表1 計算に用いた各層の熱伝導率

Table 1 Thermal conductivity of every layers of the LD used for the calculation.

材料	熱伝導率(W/mmK)
Au	0.315
SiO ₂	0.130
GaN	0.130
サファイア	0.042
SiC	0.300

実際のレーザ素子はリッジ構造をしているが本計算に用いた構造ではリッジを省略している。また、InGa_N発光層や、AlGa_Nクラッド層の熱伝導率は、それぞれIn, Alの組成が小さいことからGaNの熱伝導率を用いて計算している。図中、InGa_Nよりなる発光層の幅2 μm、長さ500 μmの領域において、総量で0.5Wの熱が発生している状況を仮定し(図中、黄色で示した領域)、この領域で発生した熱が、GaNガイド層、AlGa_Nクラッド層、GaNコンタクト層、基板を介して、SiCサブマウントからマウント台へ熱が拡散していく様子と発熱時の発光層の定常状態における温度を計算している。上記計算では、サブマウントからマウント台を経て放出される熱の拡散量が実際の発光層の温度を決定するために重要な要素になっている。そのために、レーザ素子が、実際に0.5Wの投入電力で発振している際の発光層の温度上昇量と同じになるようにシミュレーション上での発光層の温度を合わせ込む必要がある。

ここでは、0.5W投入時のレーザ素子の発光層の温度上昇量を測定するために、GaN基板上に作製したレーザにおいて異なる環境温度でパルス駆動させた際のレーザ素子の波長の温度依存性(温度特性)を測定し(パルス駆動では注入電流による発光層の温度上昇は無いと仮定)、測定した温度特性と0.5W投入時の室温連続発振時のレーザの発振波長より実際発振している状態での発光層の温度上昇量を算出した。本実験で測定した0.5W投入時のGaN基板上レーザの発光層での温度上昇は約15 °Cであった。

環境温度を20 °Cとし、図2に示す破線で囲まれた領域(実際の体積の1/4にあたる領域)での温度分布を、それぞれレーザに用いる基板をGaN基板、及びサファイア基板として計算した結果を図3に示す。図3において、GaN基板上に作製したレーザの0.5W投入時の温度分布を(a)に、また、その拡大図を(b)にそれぞれ示す。また、同様の投入電力におけるサファイア基板上レーザの温度分布を(c)、同拡大図を(d)に示す。

図3からわかるように、GaN基板上のレーザの発振時における発光層の温度上昇を約15 °Cとした場合に(発光層温度は35 °C)、同発熱時のサファイア基板上レーザの発光層の温度上昇は約25 °Cまで上昇(発光層温度は45 °C)していることがシミュレーションの結果よりわかる。これは、同量の発熱量で発振している発光層に蓄積される熱量が基板の熱伝導の違いにより、約10 °Cも異なっている事を示している。このように発光層の熱によるダメージを軽減する意味でGaN基板の使用は大いに有効であることを示している。

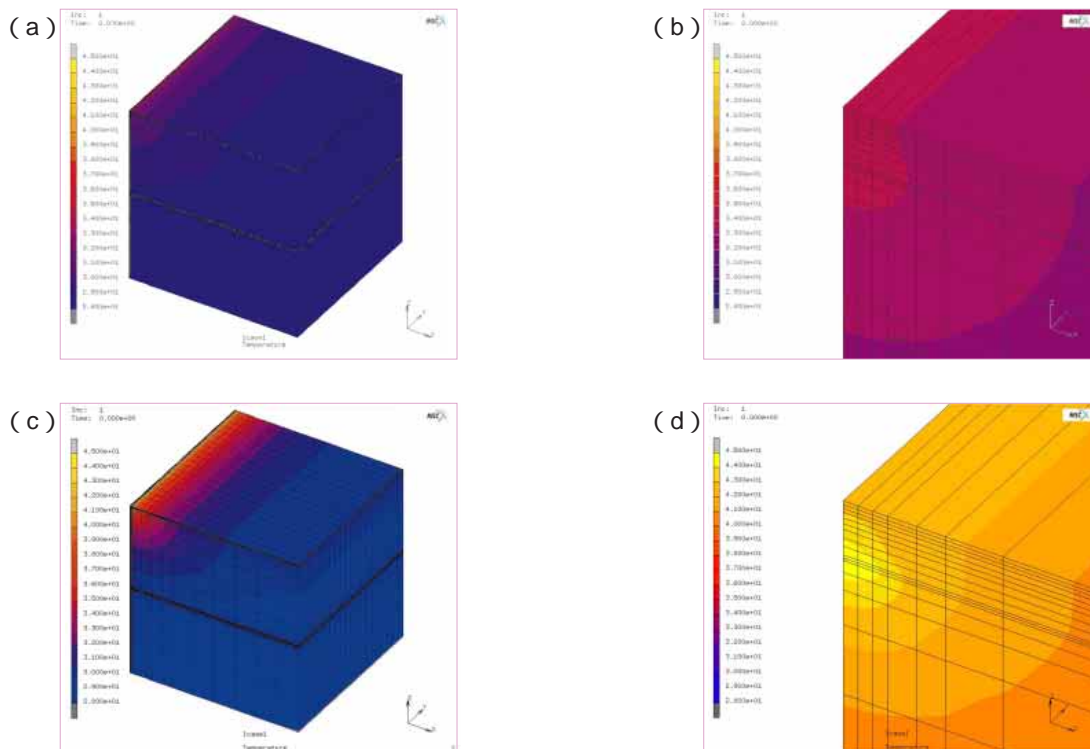


図3 シミュレーションにより計算した GaN 基板及びサファイア基板上に作製したレーザ発振時の温度分布
 (a) GaN 基板上に作製したレーザの温度分布 (0.5W 投入時)
 (b) 発光層近傍の拡大図
 (c) サファイア基板上に作製したレーザの温度分布 (0.5W 投入時)
 (d) 発光層近傍の拡大図

Fig. 3 The thermal distributions of the LD fabricated on both the GaN substrate and sapphire substrate.
 (a)In case of the GaN substrate (0.5W power supply)
 (b)Enlargement of the active region on a
 (c)In case of the sapphire substrate (0.5W power supply)
 (d)Enlargement of the active region on b

2. 素子構造

図4に開発した青紫色半導体レーザの基本的な断面構造を示す。ここでは、上記の検討結果より望ましい基板としてGaN基板(住友電工製)を使用した。GaN基板上には、n-AlGaInクラッド層、n-GaNガイド層、InGaIn量子井戸層を有する多重量子井戸活性層、p-AlGaIn保護層、p-GaNガイド層、p-AlGaInクラッド層、p-GaNコンタクト層を有機金属気相成長(MOCVD)法を用いて積層した。

InGaIn量子井戸層のIn混晶比を制御することによりレーザ発振波長はBD規格である405nmに合致するようにした。また、活性層上方のp-GaNコンタクト層とp-AlGaInクラッド層をドライエッチングで除去して共振器方向に延びた約2μm幅のストライプ状のリッジ構造を形成し、基板面に平行方向の光導波を構成した。リッジストライプ上にはPd/Auからなるp型電極、GaN基板裏面にはHf/Alからなるn型電極を形

成し、レーザ共振器ミラーは、GaN基板をへき開することにより得られる各層に垂直な結晶面を利用した。作製した半導体レーザ素子の共振器長は500~650μmとし、光を取り出さない共振器後面には誘電体多層膜からなる高反射膜(反射率=95%)を形成した。

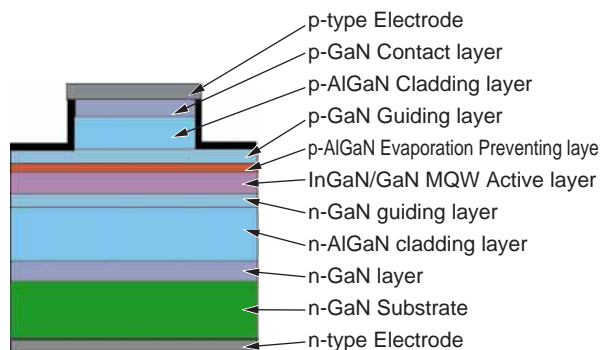


図4 GaN基板を用いた青紫色半導体レーザの断面構造図
 Fig. 4 Schematic cross section structure of violet LD on a GaN substrate.

3. 素子特性

上記の構造を有する青紫色半導体レーザーの電流 - 光出力特性と電流 - 電圧特性を図5に示す。

しきい値電流は45mA、30mW光出力時の動作電流は81mA、同動作電圧は5.1Vであり、いずれも光ディスク用光源として問題のない値が得られた。図6にレー

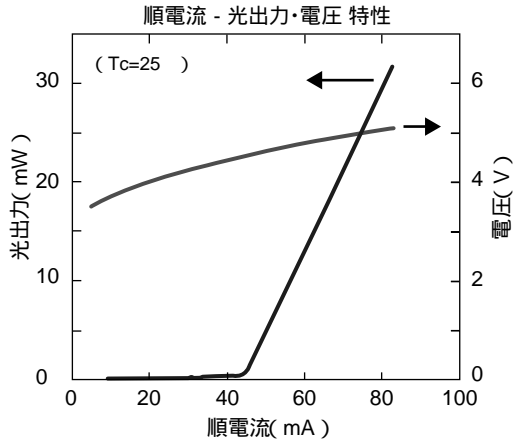


図5 試作した素子の電流に対する光出力および電圧特性
Fig. 5 I-L-V characteristics of the violet LD on a GaN substrate.

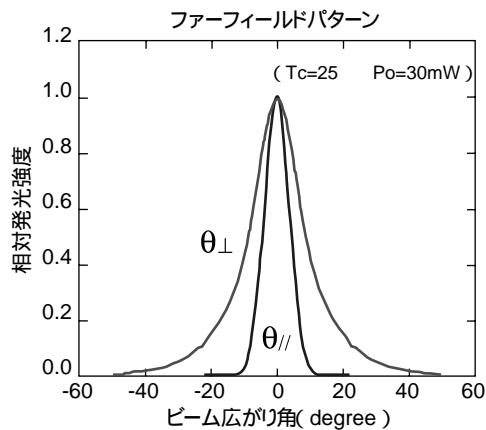


図6 遠視野像
Fig. 6 Far field patterns.

ザ光放射パターン(FFP)の一例を示す。結晶成長層に平行方向の放射パターンの半値全幅は 9.5° 、垂直方向は 19° であり、楕円率(放射パターンの垂直方向と平行方向の角度比)は2.0であった。

この低楕円率特性は、光ディスク用ピックアップの光学系との結合効率を向上させる観点や、ピックアップのビーム整形光学系を簡素化する観点より望ましい特性であり、今後のBDの2層化や倍速記録、さらには小型薄型ピックアップの実現において重要となる。

むすび

次世代光ディスクとして注目されているBD用の光源として、GaN基板を用いた青紫色半導体レーザーについて説明した。GaN基板は従来のサファイア基板に比べ放熱特性に優れており、半導体レーザーの高出力化や高温動作の実現には最も望ましい基板であることを熱シミュレーションを用いて定量的に確認した。GaN基板上に試作した青紫色半導体レーザーでは、30mW光出力時の動作電流は81mA、同動作電圧は5.1Vと良好な特性を得た。さらに試作した素子では、今後の2層ディスクや倍速記録、小型ピックアップ実現に望ましい低楕円率(=2.0)特性を確認した。

今後は、BD商品の展開に必要な青紫色半導体レーザーのさらなる高出力化・低雑音化のためのデバイス開発の推進すると共に、結晶成長技術として本検討での素子試作に活用したMOCVD法に加え、原料利用効率が高い分子線エピタキシャル法(MBE)による青紫色半導体レーザーの実現についても技術検討を推進する。

参考文献

- 1) S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, and Y. Sugimoto, Jpn. J. Appl. Phys., vol.35, pp. L74-76(1996)
- 2) 例えば, S. Nagahama, N. Iwasa, M. Senoh, T. Matsushita, Y. Sugimoto, H. Kiyoku, T. Kozaki, M. Sano, H. Matsumura, and H. Umemoto, Jpn. J. Appl. Phys., vol.39, pp.L647-L649(2000)
(2002年9月30日受理)