

GaAs 基板上に貼り替えた GaN 系青色半導体レーザ

GaN-based laser diodes transferred onto a GaAs substrate

宮地 護, 伊藤 敦也, 木村 義則, 高橋 宏和

Mamoru Miyachi, Atsuya Ito, Yoshinori Kimura, Hirokazu Takahashi

渡辺 温, 太田 啓之, 竹間 清文

Atsushi Watanabe, Hiroyuki Ota, Kiyofumi Chikuma

要 旨 サファイア基板上に形成した GaN 系レーザ薄膜をレーザリフトオフ法を用いて GaAs 基板に貼り替える技術を検討した。この技術により共振器端面の品質は通常のサファイア基板上のデバイスと比較して改善され, その形成歩留まりも大幅に向上した。また, サファイアを剥がした n-GaN 側から放熱をとることにより, 良好な放熱特性が得られ, 60 において 30 mW 以上のハイパワー動作が可能となった。

Summary GaN-based laser diodes (LDs) grown on a sapphire substrate were successfully transferred onto a GaAs substrate using laser lift-off (LLO) technique. The LDs have excellent cavity mirrors formed by natural cleavage, which can afford a high process yield. Realizing good thermal contact between the n-GaN surface, where the sapphire substrate was removed, and a heatsink led to efficient thermal dissipation. Using this LLO technique, high-power laser operation with output power of 30mW or over up to 60 was achieved.

キーワード : 青色半導体レーザ, レーザリフトオフ, 窒化ガリウム, ガリウム砒素

1. まえがき

デジタル放送やブロードバンドの普及により, 大量のデジタルコンテンツが家庭にあふれる時代を目前に控え, さらなる情報記録の高密度化が求められている。そのなかで青色半導体レーザは次世代DVDをはじめとした高密度記録デバイスにおいて必要不可欠なものとなっている。青色半導体レーザとしては, GaN 系半導体を用いたもので寿命1万時間以上が実現されており^{(1),(2)}, この材料系が青色半導体レーザの大本命と見られている。

しかしながら GaN 系半導体は N_2 平衡分圧が非常に大きくバルク基板の作製が非常に困難であるために通常はサファイア基板上へのヘテロエピタキシャル成長となっており, このことが2つの大きなデメリットを生んでいる。1つは用いているサファイアC面基板に明確な劈開面がないために, 劈開による GaN 系半導体レーザの共振器端面形成が困難なことである。これは放射ビーム品質の低下, 歩留まりの低下を引き起こしてしまう。もう1つはサファイア基板に導電性がないために, p, n 両電極共にエピタキ

シャル膜側に形成し、エピタキシャル膜中を横方向に電流注入しなければならないことである。これはチップサイズの増大、直列抵抗の増加を引き起こしてしまう。

そこで我々はこれらの問題を解決するために、サファイア基板上に形成したGaN系薄膜を劈開性かつ導電性の基板に貼り替えてレーザーチップを作製する技術に関して検討を行った。

2. デバイス作製方法

まず、GaN系のレーザー構造薄膜をサファイア(0001)面基板上に有機金属化学気相成長(MOCVD)法を用いて作製した。具体的なレーザー構造、成膜方法に関しては文献(3)に詳細に記述してある。次にこのGaN系薄膜をレーザーリフトオフ(LLO)法を用いてサファイア基板から劈開性かつ導電性の基板であるp型GaAs(001)面基板への貼り替えを行った⁽⁴⁾。

図1にLLO法の詳細を示す。図に示すようにまず2つの基板を融着するための金属としてGaN薄膜側にAuを、GaAs基板側にSnを形成する(a)。この面を密着させた状態で300に加熱し、AuSn合金化することにより2つの基板の

貼り付けを行う(b)。サファイア基板側からNd-YAGレーザーの第4高調波(波長266nm)を照射すると、この光はサファイア/GaN界面で有効に吸収されるためここでのGaNはGaとN₂に分解される(c)。これを40程度に加熱するとGaは溶融状態になるためサファイア基板の除去を行うことができる(d)。2つの基板の貼り合わせ工程(b)において、(0001)GaNの劈開面である(1-100)面と(001)GaAsの劈開面である(110)面が一致するように貼り合わせると、(d)の素子は容易に劈開することができる(e)。

このようにして作製したレーザーチップの断面を図2に示す。図のようにGaAs基板側とサファイアを剥離したn型GaN面に電極を形成することによって、上下(縦)方向の電流注入によりレーザーチップを駆動することができる。

3. 特性評価

3.1 劈開端面状態

図3(a)に上述のようにして作製したレーザーチップ(LLOデバイス)の劈開端面の電子顕微鏡(SEM)像を示す。GaN系薄膜の全面にわたって非常に良好な劈開端面が形成されていることが

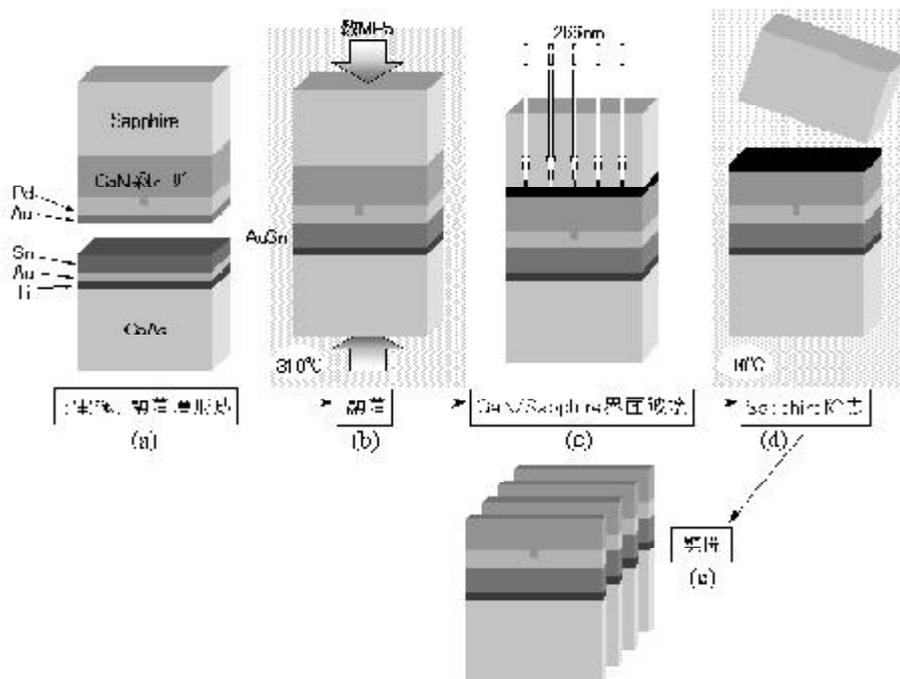


図1 基板貼り替え方法

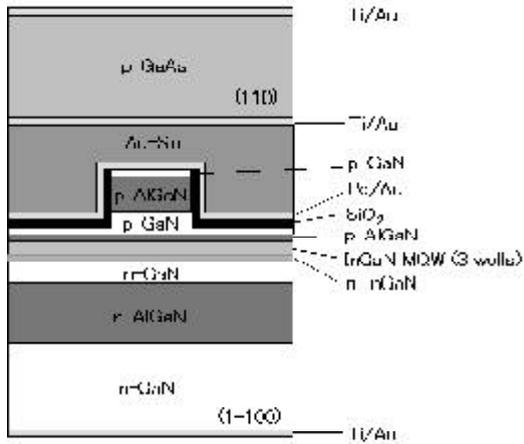


図2 LD素子構造図

わかる。比較のため、通常のC面サファイア基板上に作製したレーザチップの端面のSEM像を同図(b)に示す。C面サファイアは劈開性が非常に乏しいため、良好なGaN端面形成は難しく、リッジ内に図のような縦方向のストレーションがかなりの確率で入ってしまう。このような場合、出射光の遠視野像(FFP)は図4(b)のように横方向にビームが分離した形状になってしまい、光ディスク用の光源としては全く実用にならない。これに対しLL0デバイスの場合、良好な劈開端面が形成されていることを反映して、出射光のFFPは図4(a)のように1つのきれいな楕円となっている。

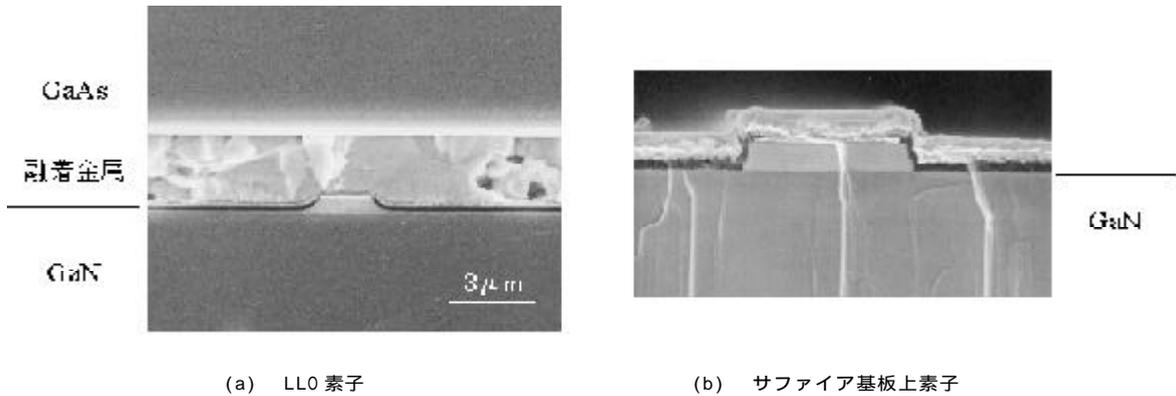


図3 LD素子の劈開端面のSEM像

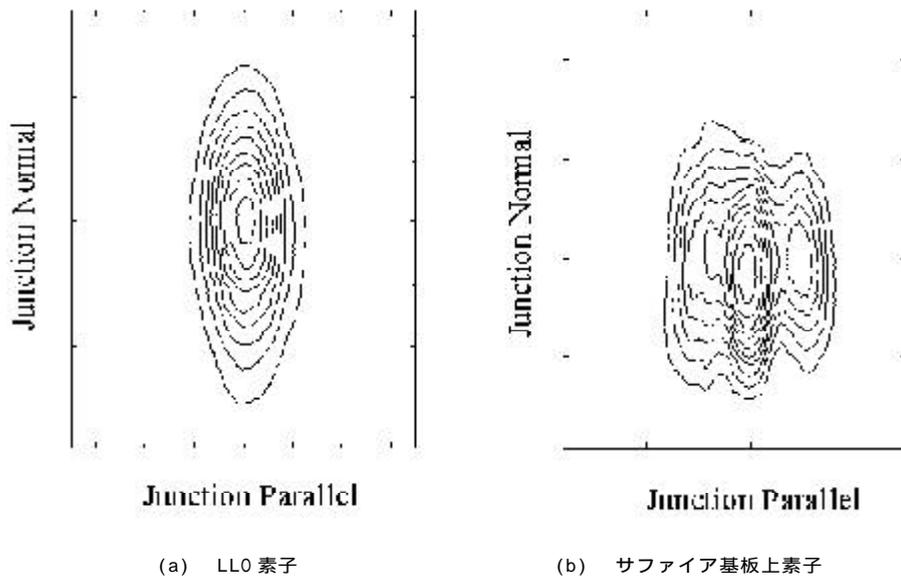


図4 LD素子の遠視野像

次にこのような出射ビーム形状の品質の定量化, その形成歩留まりの評価を行った。図5のように垂直, 水平方向のFFPをガウシアンでフィッティングし, これと実際のFFPとのズレの最大値を最大リップル値(最大ピーク強度で規格化)とし, これを評価の基準として用いた。図6(a)は垂直, 水平方向の最大リップル値の分布を示したものである。通常のサファイア基板上のデバイス(○)ではリップルの大きさがかなり大きいところまで分布してしまっているが, LL0デバイス(●)では垂直, 水平のどちらのリップル値ともほとんどが10%以内に集中している。同図(b)はその水平方向の最大リップル値のヒストグラムである。LL0デバイスで

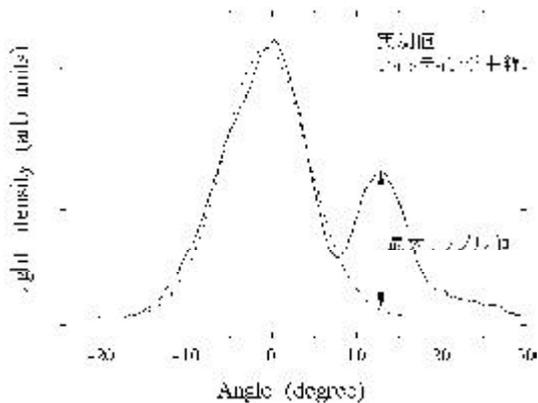


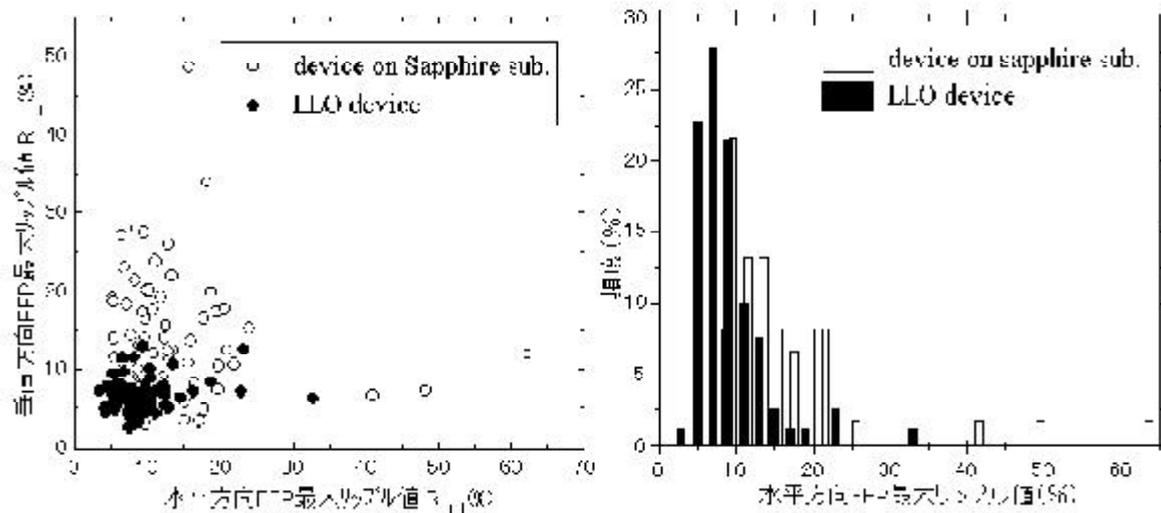
図5 遠視野像の最大リップル値の見積もり

リップルが小さくなっている様子がよくわかる。仮に最大リップル値が12%以内であることを劈開(共振器)端面の良否判定基準とすると, 劈開歩留まりはサファイア上のデバイスが5割以下であるのに対してLL0デバイスでは9割以上となり大きく改善されている。

3.2 ハイパワー駆動

青色レーザーを用いて相変化ディスクに書き込みを行う場合, 少なくとも30 mW以上の光強度が必要となるが, このようなハイパワー駆動を実現するためにはデバイスの良好な放熱特性を得ることが1つの鍵となる。LL0デバイスの場合, 熱伝導の悪いサファイア基板を除去しているために, 面積の大きなn型GaN側から放熱をとることができる。このため良好な放熱特性が安定して得られることが期待される。

LL0デバイスの熱抵抗を求めるために, まずパルス駆動(デューティー比:0.02%)における電流-光出力(I-L)特性の温度依存性を測定した。図7(a)に示すように80℃においても安定したレーザー発振が得られている。同図(b)は閾電流値の温度依存性であるが, パルス駆動における特性(○)の傾きからLL0デバイスの特性温度を見積もると125Kとなった。同図中にCW駆動での特性(●)もあわせて示してあるが, CW



(a) 垂直, 水平最大リップル値の分布

(b) 最大リップル値のヒストグラム

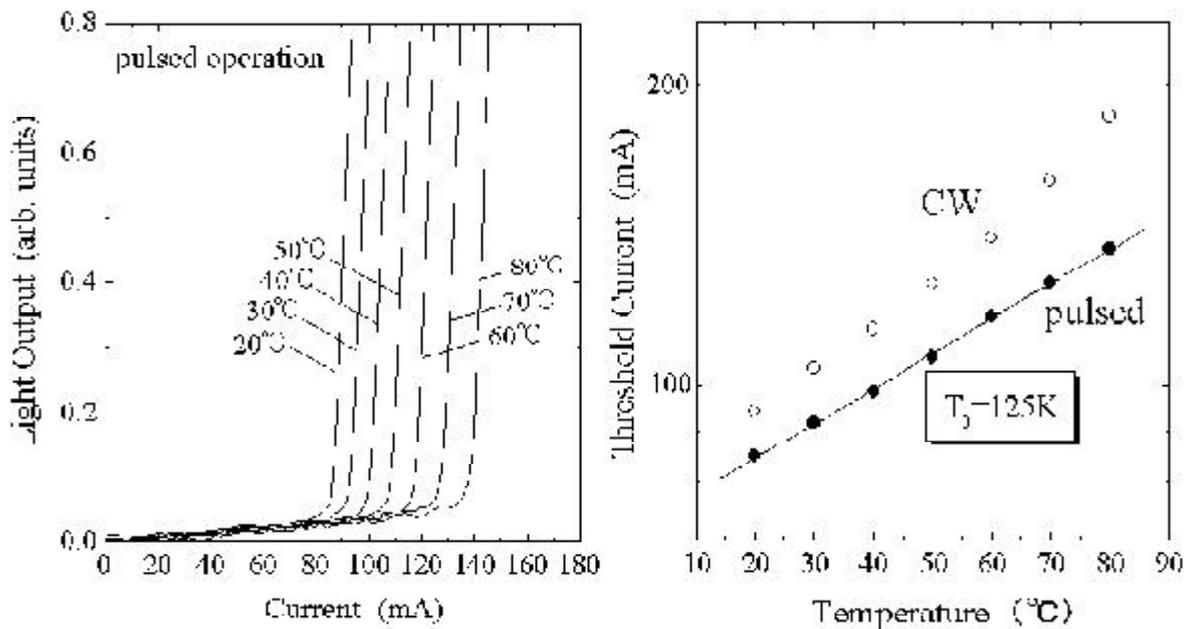
図6 劈開端面状態の定量評価

駆動においても測定を行った 80 mA まで安定したレーザ発振が得られている。パルス駆動における閾電流値と CW 駆動における閾電流値との比から熱抵抗を求めると約 20K/W という低い値が得られ、良好な放熱特性が得られていることがわかる。

図 8 は LLO デバイスの CW 駆動における I-L 特性の温度依存性であるが、放熱特性が良好であるため、60 mA においても光出力 30 mW 以上のハイパワー駆動が可能となっている。

4. まとめ

光ディスク用の光源として実用可能な青色半導体レーザを高い歩留まりで得るために、LLO 法を用いて GaAs 基板の上に貼り替えられた GaN 系半導体レーザを作製した。LLO デバイスでは劈開により共振器端面を形成可能であるため、良好な FFP をもつレーザチップを 9 割以上の歩留まりで得ることができた。LLO デバイスは熱伝導の悪いサファイアを除去しているために、面積の大きな n 型 GaN 側から放熱をとることが



(a) パルス駆動における I-L 特性の温度依存性

(b) 閾電流値の温度依存性

図 7 温度特性

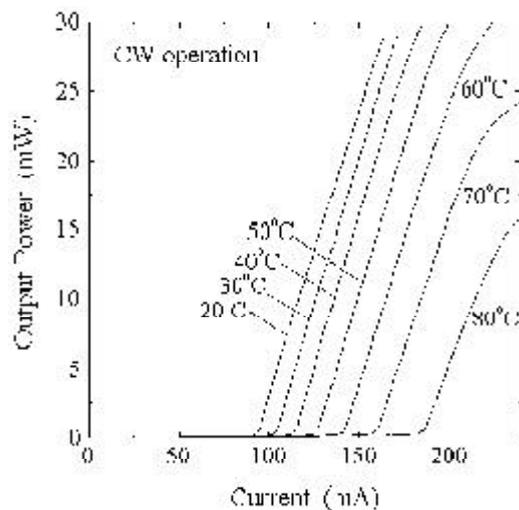


図 8 CW 駆動における I-L 特性の温度依存性

できる。このため良好な放熱特性となり、CW駆動において60 Wでも30 mW以上の光出力を得ることができ、測定を行った80 Wまでレーザー発振を観測することができた。

5. 謝辞

本内容に関し共同で研究を行っていただいたローム㈱光デバイス研究開発部の方々に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) SNakamura, N. Iwasa, M. Senoh, T. Matsushita, Y. Sugimoto, H. Kiyoku, T. Kozaki, M. Sano, H. Matsumura, H. Umemoto, K. ChoCho and T. Mukai: Jpn. J. Appl. Phys. Lett. 39 (2000) L647.
- (2) T. Tojyo, S. Uchida, T. Mizuno, T. Asano, M. Takeya, T. Hino, S. Kijima, S. Goto, Y. Yabuki and M. Ikeda: Jpn. J. Appl. Phys. 41 (2002) 1829.
- (3) Y. Kimura, M. Miyauchi, H. Takahashi, T. Tanaka, M. Nishitsuka, A. Watanabe, H. Ota and K. Chikuma: Jpn. J. Appl. Phys. 37 (1998) L1231.
- (4) 宮地護ほか: 第48回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集 28p-E-10 (2001)

筆 者

宮地 護 (みやち まもる)

- a. 総合研究所 開発統括部
- b. 1995年
- c. 入社以来、GaN系青紫色半導体レーザーの研究開発に従事

伊藤 敦也 (いとう あつや)

- a. HEC ディスプレイ事業統括部 技術統括部
- b. 1999年
- c. GaN系青紫色半導体レーザーの研究開発を経て、現在、PDPのプロセス開発に従事

木村 義則 (きむら よしのり)

- a. 総合研究所 開発統括部
- b. 1993年
- c. 入社以来、GaN系青紫色半導体レーザーの研究開発に従事

高橋 宏和 (たかはし ひろかず)

- a. 総合研究所 開発統括部
- b. 1992年
- c. 入社以来、GaN系青紫色半導体レーザーの研究開発に従事

渡辺 温 (わたなべ あつし)

- a. 総合研究所 開発統括部
- b. 1980年
- c. 磁気ヘッドの開発を経てGaN系青紫色半導体レーザーの研究開発に従事

太田 啓之 (おおた ひろゆき)

- a. 総合研究所 所長室
- b. 1977年
- c. 磁気記録技術の開発、磁気ヘッドの開発を経てGaN系青紫色半導体レーザーの研究開発に従事

竹間 清文 (ちくま きよふみ)

- a. 総合研究所 開発統括部
- b. 1980年
- c. 光ピックアップの光学系開発、波長変換素子の研究を経てGaN系青紫色半導体レーザーおよび光通信用DFBレーザーの研究開発に従事