光ヘッド用モノリシック2波長レーザー

油利 正昭, 今藤 修*, 小林 康宏*, 福久 敏哉*, 大西 俊一,
持田 篤範, 伊藤 国雄*, 清水 裕一

松下電器産業(株) 半導体社 半導体デバイス研究センター (〒569-1193 大阪府高槻市幸町1-1)

*松下電器産業(株) 半導体社 ディスクリット事業部 (〒617-8520 京都府長岡京市神足焼町1)

Monolithically-Integrated Dual-Wavelength Laser Diodes for Optical Pickups

Masaaki YURI, Osamu IMAFUJI,* Yasuhiro KOBAYASHI,* Toshiya FUKUHISA,*
Toshikazu OHNISHI, Atsunori MOCHIDA, Kunio ITOH,* and Hirokazu SHIMIZU

Semiconductor Devices Research Center, Semiconductor Company, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.

1-1, Saiwai-cho, Takatsuki, Osaka 569-1193

*Discrete Device Division, Semiconductor Company, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.

1, Kotari-Yakemachi, Nagaokakyo, Kyoto 617-8520

(Received August 13, 2001)

780 nm-band AlGaAs and 650 nm-band AlGaInP laser diodes are monolithically integrated on a GaAs substrate as the light source in DVD/CD optical pickups. In order to reduce internal losses for improved characteristics and to ensure better flexibility of device design, real-refractive index-guided self-aligned (RISA) structure is employed for both 780 nm and 650 nm-band LDs. As a result, low noise characteristics due to self-sustained pulsation in the both wavelength bands have been achieved. A dual-wavelength laser with a high power (> 100 mW) 780 nm-band LD has also been developed for recording of CD-R/RW disks.

Key Words: Real refractive-index-guided self-aligned structure, Self-sustained pulsation, DVD, CD-R, CD-RW

1. はじめに

近年DVDシステムは、ビデオプレーヤ、パソコン、カーナビゲーションシステム等の分野で、急速に普及している。これらDVDシステムにおいては、DVDの再生はもちろんのこと、CD、CD-R、CD-RW等CD系の従来ディスクも再生できる必要がある。しかしながらCD系ディスクの中で、近年普及の著しいCD-Rディスクはその記憶材料に波長選択性の強い有機色素を用いているために、DVD用の650 nm帯半導体レーザーでは再生することができない。このため、一般にDVDシステムの光ヘッドには、650 nm帯半導体レーザーに加え780 nm帯半導体レーザーが併用されている。この結果、光学部品点数が増え、光ヘッドの小型・軽量化さらにはコストダウンの妨げとなっていた。このような背景から、一つの半導体レーザーパッケージから650 nm帯赤色レーザー光と780 nm帯赤外レーザー光の両方を出射することのできる2波長レーザーの開発が盛んに行われ、一部実用化されるに至っている¹⁻⁵⁾。

2波長レーザーを実現する方法には、2個の半導体レーザーチップを一つのサブマウント上に実装する「ハイブ

リッド方式」と、同一の半導体基板上に650 nm帯と780 nm帯の半導体レーザーを作り込む「モノリシック方式」の2種類がある。2波長レーザーを用いた光ヘッドにおいては、650 nm帯と780 nm帯のレーザー光が一つの光学系を共有するために、それぞれの発光点間の距離(以下、発光点間隔)が光学設計上重要なパラメータとなる。この発光点間隔は一般には100~300 μm の間で選ばれるが、 ± 1 μm 程度の絶対精度が要求されることが多い。このような観点から、発光点間隔がフォトリソグラフィ工程によって容易に制御できるモノリシック型の方が有利であると考えられる。

一方、個々のレーザーの性能に関しては、戻り光誘起雑音を低減するために用いられる高周波重畳回路を不要として、さらに部品点数を減らすために自励発振型2波長レーザーへの要望が高まっている。さらには、再生専用のみならず、記録にも対応した高出力2波長レーザーへの要望も高まりつつある。

以上のような背景から、我々は自励発振や高出力動作への展開が容易な導波路構造として実屈折率導波 (Real-refractive Index-guided Self-aligned; RISA) 構造を650 nm帯と

780 nm帯の両方に採用したモノリシック2波長レーザーの開発に取り組んできた。本報告では、実屈折率導波型2波長レーザーの基本構造と作製プロセスを示した後、本構造を採用した自励発振型2波長レーザー、さらには100 mW級の高出力赤外レーザーを搭載したCD-R/RW記録対応型2波長レーザーについて述べる。

2. 実屈折率導波型2波長レーザー

2.1 実屈折率導波構造

まず、実屈折率導波(Real-refractive Index-guided Self-aligned; RISA)型半導体レーザー⁶⁾についてAlGaAs系赤外半導体レーザーを例に説明する。

Fig. 1 (a)に従来の損失導波型レーザーの断面構造を示す⁷⁾。この構造では、電流ブロック層としてGaAsが用いられているが、GaAsの禁制帯幅は発振波長のエネルギーよりも小さいので大きな光吸収を生じる。このため、レーザー光はブロック層部分にあまりしみだすことが出来ず、ストライプ中央部に閉じ込められる。適当なストライプ幅のもとでは、この光閉じ込め効果により、単一モード発振ができる。

これに対し、Fig. 1 (b)に示すように、電流ブロック層を

Fig. 1 Schematic drawings of laser structure and corresponding profile of effective refractive index for (a) complex refractive index-guided structure and (b) real refractive index-guided structure, respectively.

発振波長に対して透明な材料、すなわちAlGaAsで構成した構造が、実屈折率導波構造である⁸⁾。この構造では、レーザー光が電流ブロック層でほとんど吸収されない。しかも、電流ブロック層の屈折率を第2pクラッド層(埋め込みクラッド層)の屈折率よりも小さくすることで、水平方向に実屈折率ステップ Δn が形成され、これにより水平方向の光閉じ込めが行われる。なお、AlGaInP系赤色半導体レーザーの場合は、電流ブロック層として650 nmの発振波長に対して透明なAlInPを用いることで、同様の実屈折率導波構造を構成することが出来る⁹⁾。

従来の損失導波構造と比べると、実屈折率導波構造では電流ブロック層での光吸収に起因する内部損失がほとんど無視できるので、しきい値電流密度が低減でき、低電流動作・高温動作・高出力動作に適している^{10,11)}。また、損失導波構造ではストライプ幅を変化させると電流分布と光分布が同時に大きく変化するのに対し、本構造では、ストライプ幅を固定して電流分布を決定した上で、電流ブロック層と埋め込みクラッド層の屈折率を変えることにより光分布のみを独立に制御することが可能となる⁴⁾。このことにより、構造設計の自由度を飛躍的に高めることができる。例えば、電流分布を狭くし光分布を広くすることにより、いわゆる自励発振型レーザーの設計マージンを大きくすることが可能である^{5,12)}。

2.2 モノリシック2波長レーザーへの適用

Fig. 2に今回作製した実屈折率導波型モノリシック2波長レーザーの基本構造を示す³⁾。GaAs基板上に、AlGaAs系で構成した780 nm帯赤外レーザーとAlGaInP系で構成した650 nm帯赤色レーザーとをモノリシックに形成している。両レーザーともに前述の実屈折率導波型レーザー構造を採用した。

Fig. 2に示した実屈折率導波型モノリシック2波長レーザーの作製プロセスは以下の通りである。まず第1のMOCVD工程でn-GaAs(001)基板上に780 nm帯レーザーのn-AlGaAsクラッド層、AlGaAs多重量子井戸活性層、p-AlGaAsクラッド層(I)、n-AlGaAs電流ブロック層を成長する。次に、ウェットエッチングにより電流ストライプ(幅 W_1)を形成した後、第2のMOCVD工程によりp-AlGaAsクラッド層(II)とp-GaAsコンタクト層を順次形成する。次に、上記780 nm帯レーザー構造の一部をn-GaAs基板までエッチングにより除去した後、第3のMOCVD工程により650 nm帯

Fig. 2 Schematic drawing of monolithically-integrated dual-wavelength laser diodes with real refractive index-guided self-aligned structure.

レーザーのn-AlGaInPクラッド層、InGaP多重量子井戸活性層、p-AlGaInPクラッド層(I)、n-AlInP電流ブロック層を形成する。次いで、ウエットエッチングにより電流ストライプ(幅 W_2)を形成した上で、第4のMOCVD工程により、p-AlGaInPクラッド層(II)とp-GaAsコンタクト層を順次形成する。なお、p-AlGaInPクラッド層(II)は段差形状のストライプ上に再成長されることになるが、その際格子不整合に起因する結晶欠陥の発生を抑止するように成長条件を選択することが重要である¹³⁾。最後に両素子間にエッチングにより溝(分離溝)を形成した。なお、発光点間隔は120 μm とした。

素子特性を決定する上で重要なパラメータは、ストライプ幅ならびに、横方向の実効屈折率ステップであるが、これらはそれぞれの素子の目標特性に合わせて個別に設定される。ただし、モノリシック2波長レーザーにおいては、両素子が共振器と端面を共有するという制約のもとで最適設計を行う必要がある。

3. 光ヘッド用実屈折率導波型モノリシック2波長レーザー

3.1 再生用自励発振型2波長レーザー(低雑音化)

通常の単一縦モード型半導体レーザーを光ヘッドに用いる場合、戻り光誘起雑音を低減するために一般に高周波重畳回路が用いられる。この場合、780 nm帯レーザーと650 nm帯レーザーでは電氣的等価回路のインピーダンスが異なるため、最適な重畳特性を得るためにはそれぞれのレーザーに適した2つの重畳回路を用いる必要が生じる場合もある。このことは、光ヘッドの小型化・低コスト化を制約する要因となっていた。これを解決するために、自励発振によって低雑音化が図られた2波長レーザーが求められている。

自励発振は、電流ストライプ幅に対して光分布を水平方向に十分広げることにより可飽和吸収体を活性層内部に作り込むことによって発生させることが出来る¹⁴⁾。前述のように、実屈折率導波型構造ではストライプ幅で電流広がり方を決定した上で、埋め込みクラッド層の屈折率を調整することにより光分布を決定する Δn を独立に制御できるので、自励発振を得るための設計マージンを大きく取ることができる⁶⁾。また、高温まで安定した自励発振を維持するためには、電流密度を低減させキャリアのオーバーフローを抑制することが重要であるが、電流ブロック層での光吸収損失の無視できる実屈折率導波型構造は、この低電流密度化にも適した構造である。このことは、伝導帯のバンドオフセットがAlGaAs系と比べて小さいAlGaInP系赤色半導体レーザーにおいて特に重要である。

本報告では Δn の値を780 nm帯/650 nm帯ともに 3×10^{-3} 台に低減させ、光分布を水平方向に広げた³⁾。共振器長は500 μm とし、反射率は出射面・裏面共に約30%とした。

Fig. 3に代表的な電流-光出力特性を示す。780 nm帯/650 nm帯ともに80°Cまで安定した動作をしている。拡がり角は780 nm帯レーザーが水平10.5°、垂直33°、650 nm帯レーザーが水平12°、垂直30°である。Fig. 4は直流駆動時(平均

Fig. 3 Temperature dependence of L-I curves for (a) 780 nm-band AlGaAs and (b) 650 nm-band AlGaInP self-pulsating laser diodes, respectively.

光出力5 mW)の光出力時間変化を示したものである。ともに安定した自励発振が得られていることが分かる。また、Fig. 5に示すように相対雑音強度は780 nm帯レーザーでは90°C以上まで、650 nm帯レーザーでは84°Cまでともに高周波重畳なしで-130 dB/Hz以下の良好なレベルを維持することが出来た。

3.2 CD-R/RW記録対応2波長レーザー(高出力化)

近年、DVDの再生機能とCD-R/RW記録・再生機能を兼ね備えたドライブへの要望が高まりつつある。これを実現するためには780 nm帯レーザー部の高出力化が必要となる。高出力化の最大のポイントは、高出力動作時の空間的ホールバーニングを抑制してキンクの発生を防止することと、端面光密度の低減により端面劣化を抑制することである。共に精密な光分布制御が必要であり、実屈折率導波型構造の特徴を活かすことができる。

(a)

(b)

Fig. 4 Pulse trains of (a) 780 nm-band AlGaAs and (b) 650 nm-band AlGaInP self-pulsating laser diodes, respectively. Each laser is operated at an average output power of 5 mW at 25 °C.

(a)

(b)

Fig. 5 Temperature dependence of relative intensity noise (RIN) for (a) 780 nm-band AlGaAs and (b) 650 nm-band AlGaInP self-pulsating laser diodes, respectively. Both lasers are operated at 5 mW with the optical feedback ratio of 5.0 %. Measurement frequency is 2 MHz and resolution band width (RBW) is 30 KHz. Optical path length is 40 mm.

作製したデバイスは、 Δn の値を780 nm帯については約 4×10^{-3} とした。650 nm帯レーザーについては、低出力シングルモード型としたので Δn は約 5×10^{-3} とした。共振器長は800 μm とし、端面反射率は780 nmに対して出射面を10 %、裏面を90 %とした。

Fig. 6に代表的な電流光出力特性を示す。特に780 nm帯レーザーにおいては、CW100 mW, 80 °Cまで直線性の良好な特性を得ることが出来た¹⁵⁾。拡がり角は780 nm帯レーザーが水平8.2°, 垂直17°, 650 nm帯レーザーが水平9°, 垂直27°である。また, Fig. 7に示すように, 780 nm帯レーザーにおいては, 100 mWまで安定した基本横モードが維持されており, 空間的ホールバーニングが効果的に抑制されていることが確認できた。Fig. 8はこのレーザーの信頼性評価結果である。780 nm帯レーザーは70 °C, 100 mWパルス駆動(パルス幅500 ns, 周期1 μs)にて, 650 nm帯レーザーは70 °C, 7 mW CW駆動にてともに1000時間までの安定した動作を確認できた。

4. おわりに

DVD/CD用光ヘッドの小型化・軽量化さらには低コスト化に対応したモノリシック2波長半導体レーザーについて

(a)

(b)

Fig. 6 Temperature dependence of L-I curves for (a) 780 nm-band high-power AlGaAs laser diode and (b) 650 nm-band low-power single-mode AlGaInP laser diode, respectively.

Fig. 7 Power dependence of far-field pattern in 780 nm-band high-power AlGaAs laser diode.

説明した。

内部損失を低減してレーザー特性を向上させると共に設計自由度を拡大するために、基本構造として780 nm帯/650 nm帯ともに実屈折率導波構造を採用した。これによって、780 nm帯/650 nm帯ともに自励発振型レーザーとしたモノリシック2波長レーザーを作製し、高周波重畳回路なしで80 °C以上までの低雑音特性を確認した。さらには、高出力780 nm帯レーザーを搭載したCD-R/RW記録対応モノリシック2波長レーザーを作製し、100 mW 80 °Cまでの安定した動作と良好な信頼性を実現することができた。

参考文献

- 1) 塩澤 秀夫, 岡田 真琴, 渡邊 実, 伊藤 義行, 田中 明, 河本 聡, 角田 和哉, 飯田 清次, 玄永康一, 島田 直弘, 奥田 肇, 内崎 一郎, 福岡 和雄: 電子通信情報学会 信学技報 ED99-197 CPM99-108 (1999) p. 41.
- 2) 根本 和彦, 美濃野 靖, 山田 雄次, 成井 啓修, 樋口 慶信, 亀井 正文, 今西 大介, 岩本 浩治, 平田 照二: 第60回応用物理学学会 学術講演会 (1999年秋) 3a-Zc-10.
- 3) 小林 康宏, 今藤 修, 大西 俊一, 福久 敏哉, 油利 正昭, 伊藤 国雄: 第47回応用物理学関係連合講演会予稿集 (2000年春) 29a-N-4.
- 4) 河本 聡, 塩澤 秀夫, 岡田 真琴, 渡邊 実, 伊藤 義行, 田中 明, 角田 和哉, 飯田 清次, 玄永康一, 島田 直弘, 奥田 肇, 内崎 一郎, 福岡 和雄: 第47回応用物理学関係連合講演会 (2000年春) 29a-N-5.
- 5) T. Ohnishi, O. Imafuji, T. Fukuhisa, A. Mochida, Y. Kobayashi, M. Yuri, and K. Itoh: *Technical Digest of the 5th Optoelectronics and Communications Conference (OECC 2000)* (2000) 532 14C2-3.
- 6) 油利 正昭, 今藤 修, 高山 徹: レーザー研究 **25** (1997) 547.
- 7) J. J. Coleman and P. D. Dapkus: *Appl. Phys. Lett.* **37** (1980) 262.
- 8) O. Imafuji, T. Takayama, H. Sugiura, M. Yuri, H. Naito, M. Kume, and K. Itoh: *IEEE J. Quantum Electron.* **QE-29** (1993) 1889.

(a)

(b)

Fig. 8 Aging test results of (a) 780 nm-band high-power AlGaAs laser diode operated at 100mW /70 °C under pulsed condition (pulse width is 500 nsec and period is 1 μsec) and (b) 650 nm-band low-power single-mode AlGaInP laser diode operated at 7 mW/70 °C under CW condition, respectively.

- 9) O. Imafuji, T. Fukuhisa, M. Yuri, M. Mannoh, A. Yoshikawa, and K. Itoh: *IEEE J. Selected Topics Quantum Electron.* **15** (1999) 721.
- 10) T. Ohnishi, O. Imafuji, T. Fukuhisa, Y. Kobayashi, M. Yuri, M. Mannoh, A. Yoshikawa, and K. Itoh: *Electron. Lett.* **35** (1999) 2208.
- 11) O. Imafuji, M. Yuri, T. Hashimoto, M. Ishida, M. Mannoh, T. Kawata, H. Ogawa, A. Yoshikawa, and K. Itoh: *Electron. Lett.* **33** (1997) 1223.
- 12) T. Takayama, O. Imafuji, T. Hashimoto, M. Yuri, A. Yoshikawa, and K. Itoh: *Appl. Phys. Lett.* **69** (1996) 3656.
- 13) T. Fukuhisa, O. Imafuji, M. Mannoh, M. Yuri, and K. Itoh: *J. Crystal Growth* **221** (2000) 208.
- 14) M. Yuri, J. S. Harris, Jr., T. Takayama, O. Imafuji, H. Naito, M. Kume, K. Itoh, and T. Baba: *IEEE J. Selected Topics Quantum Electron.* **1** (1995) 473.
- 15) 持田 篤範, 大西 俊一, 小林 康宏, 福久 敏哉, 今藤 修, 油利 正昭, 伊藤 国雄: 第61回応用物理学学会学術講演会 (2000年秋) 6a-R-6.

レーザーワード

2波長レーザー (dual-wavelength laser diode)

波長の異なる2種類のレーザー光を個別に出射することのできる半導体レーザー。2つの発光部が同一材料系からなり比較的小さい波長差 (数 nm) を有するタイプと、異なる材料系で構成され大きな波長差 (百 nm 以上) を有するタイプとがある。近年、特に後者のタイプにおいて、AlGaInP

系の赤色発光部 (約650 nm) と AlGaAs 系の赤外発光部 (約780 nm) を集積化した2波長レーザーの開発が盛んに行われており、これを用いることにより、従来赤色、赤外2つの個別半導体レーザーを用いていたDVD/CD互換ピックアップを大幅に小型化、簡素化することができる。(油利 正昭)