

DVD 用赤色半導体レーザー

小 林 健 一

DVD に搭載される 600 nm 帯赤色半導体レーザーは、GaAs 基板に格子整合する AlGaInP 四元混晶を結晶材料とし、600~700 nm の赤色波長域で発振する、現在实用レベルにある最短波長の半導体レーザーである¹⁾。このレーザーの室温連続発振は 670 nm より長い波長で、1985 年に初めて達成され、1988 年にはバーコードリーダー、レーザーポインター、計測機器用光源として实用化された。その後、発振波長の短波長化や高出力化が積極的に押し進められ、室温連続発振から 10 年を経た今、DVD という新しい高密度光ディスクの登場により、まさに光ディスク応用が本格化しようとしている。赤色半導体レーザーは、DVD のなかで、高 NA 対物レンズと 0.6 mm 薄膜ディスク貼合わせ基板と組み合わせされることにより、集光スポットサイズの微小化に大きく寄与し、容量高密度化の重要な要素技術のひとつになっている。この DVD 用赤色半導体レーザーの現状と動向について説明する。

1. 素子基本構造と光源として求められる性能

DVD 用の AlGaInP 赤色半導体レーザーには、主に埋込みリッジ型屈折率導波構造と呼ばれる構造が採用されている²⁾。図 1 に 5.6 mm φ パッケージ化されたレーザーを、図 2 に内蔵されている素子の構造概略図を示す。発光層である活性層には GaInP/AlGaInP 歪量子井戸層を用いて、発振閾値電流の低減が図られている³⁾。この量子井戸構造のウェル厚や歪み量を変えることにより発振波長も調整される。活性層上部の p クラッド層には台形上のリッジ加工が施され、そのリッジは GaAs 半

NEC 光エレクトロニクス研究所 (〒305 つくば市御幸が丘 34)

導体層中に埋め込まれている。このリッジ部が光導波路を形成し、上下の電極間に電流を流すと、前端面と後端面を反射鏡として、歪量子井戸活性層で発光および光増幅が行われ、レーザー発振が得られる。そのとき、前面の透過光が素子の光出力光となる。DVD 装置に搭載されるには、主に、次のような特性がレーザー素子に要求される。

- (1) より短波長での発振：装置設計マージンを大きく確保できる、より短い発振波長。
- (2) 高温度動作：装置内は電子部品やモーターなどからの放熱により 60°C 前後の環境温度となるため、高温での良好な安定動作。
- (3) 低雑音動作：光ディスク板からの反射光に対して雑音誘発が小さい光出力特性。
- (4) 高信頼動作：装置として十分なライフサイクルを確保できる長期間安定動作。

このほかに、放射特性の等方化（低アスペクト比）、低非点隔差、小型パッケージ化もあげられる。これらの要求性能の間にはトレードオフの関係が多くある。要求を満足するように、レーザー構造においては、歪量子井戸構造やリッジ導波構造の最適化がなされている。さらに、結晶成長の観点からも AlGaInP 結晶の品質向上が図られてきた。

2. 搭載検討が進む 2 種類のレーザーとその特徴

DVD 用の赤色レーザーとして、1996 年 8 月の時点では 2 種類のものが主に搭載検討されている。ひとつは 635 nm 帯レーザー、もうひとつは 650 nm 帯レーザーと呼び分けられている。635 nm 帯レーザーはその波長数値が示すように、発振波長が短く、装置設計のマージ

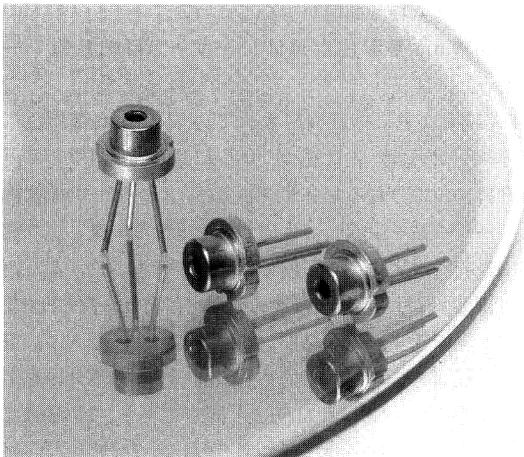


図1 DVD用赤色半導体レーザー(5.6φパッケージタイプ, NEC製NDL 3410 SU)。

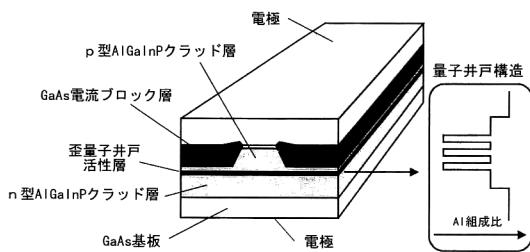


図2 DVD用赤色半導体レーザーの概略素子構造。

シが大きくとれるメリットをもっている。レーザーは温度が上昇すると約 $0.2\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ の割合で発振波長が長くなる。この温度に対する長波長化も考慮に入れて、要求性能(1)のより短い波長での発振を重視したいわゆるシングルモードレーザーである。一方、650 nm帯レーザーは、635 nmより波長は長いが、光ディスク板面からの戻り光に対して雑音が発生しにくい機構が付加されている。高周波重畠による雑音低減を行うモジュールが不要で、ピックアップの小型化や電磁輻射対策の上でメリットがある。このレーザーは要求性能(3)の低雑音特性(雑音低減用外部回路を不要とする)を重視した自励発振レーザーである。

2.1 635 nm 帯赤色半導体レーザー

635 nm 帯赤色半導体レーザーは、活性層内部へのキャリヤー(電子)閉込めが弱いため、温度が上昇するとキャリヤーがクラッド層へオーバーフローし⁴⁾、動作電流が著しく上昇し、高温動作が厳しいという課題があった。そのキャリヤーオーバーフローを図3に模式的に示

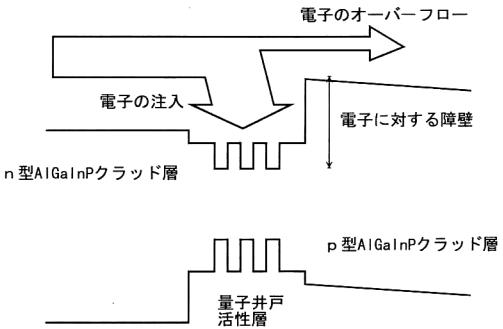


図3 キャリヤーオーバーフローの模式図:p型クラッド層にオーバーフローする電子は温度の増加とともに増え、かつ光に変換されない無効電流となる。

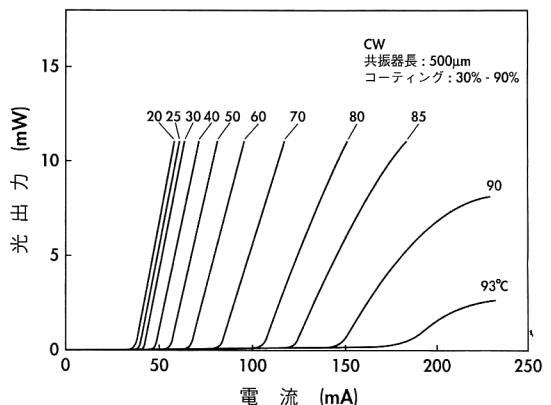


図4 電流-光出力特性。

した。キャリヤーは活性層とクラッド層とのポテンシャル障壁により活性層に閉じ込められるが、発振波長が短いレーザーほどその障壁が低くなり、温度特性が悪化する。この課題は、量子井戸に引っ張り歪みを導入した歪量子井戸構造の導入とその最適化や、オフ基板の導入によるその最適設計幅の拡大と多重量子井戸構造の高品質化により、動作キャリヤー密度を下げて解決されている^{5,6)}。図4に、動作温度を変えて測定した電流-光出力特性を示した。室温25°C、光出力5 mWにおける動作電流値は約50 mA、動作温度60°Cにおいても約80 mAに抑えられ、良好な高温度特性が実現されている。長期的にも、図5の信頼性試験結果が示すように1500時間以上の安定動作が得られており、寿命として約10,000時間が推定される。図6には、出射光の放射特性を示した。10 mWまで安定な基本横モード特性が得られる。この635 nm帯レーザーは、前述したように波長を重視したシングルモードレーザーである。そのため可干渉性が高く、光ディスクからの戻り光により雑音発生を抑え

るために、外部から高周波重畠（変調）し、マルチモード発振化させる必要がある。図7に、450 MHzの高周波重畠をかけたときの相対雑音強度（RIN）の戻り光量依存性を示した。光ディスク応用のなかで低雑音化の技術として確立されている高周波重畠と組み合わせることにより、戻り光量22%まで-135 dB/Hz以下と装置搭

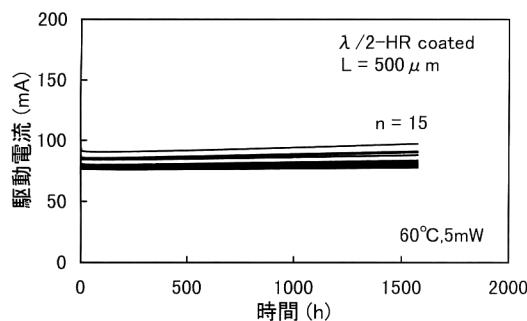


図5 信頼性試験結果。

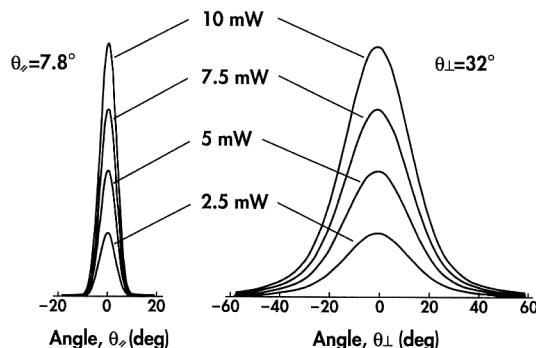


図6 出射光の放射パターン（ファーフィールドパターン）。

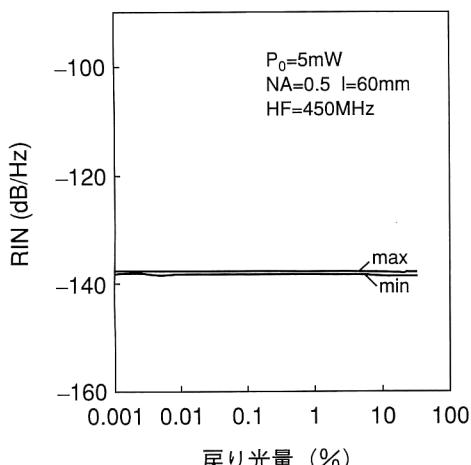


図7 相対雑音強度の戻り光量依存性。

載に十分な低雑音動作が得られている。

2.2 650 nm 帯赤色半導体レーザー（自励発振レーザー）

DVD用に主に搭載検討されている650 nm帯赤色半導体レーザーは、先に述べたように高周波重畠なしで低雑音特性が得られるレーザーである。レーザー共振器内にレーザー光を吸収して生成したキャリヤー量により利得（吸収）が変化する可飽和吸収層が導入され、あたかも外部変調がかけられたように数百MHz～数GHzで発振を繰り返す、自励発振レーザーである。図8に、可飽和吸収層を含めた素子構造概略図（リッジ部分）を示す。基本的な導波構造は図2と同じである。図8(a)はリッジ脇の多重量子井戸活性層そのものを可飽和吸収層とするもの⁷⁾、図8(b)は活性層に隣接して新たに可飽和吸収層となるものを導入したものである⁸⁾。この二つの構造が提案・採用されている。図9に自励発振時における、実時間光出力変動(a)、発振スペクトル(b)、コヒーレンス(c)の一例を示した。自励発振での活性層内キャリヤー密度の変動に伴い閾値利得波長幅の拡大とレーザー共振器の屈折率変動が生じ、マルチモード発振し、発振光の可干渉性の低下より戻り光に対して低雑音特性が得られる。図10に相対雑音強度（RIN）の戻り光量依存性を示した。高周波重畠回路なしで、戻り光量20%まで-130 dB/Hzの良好な低雑音特性が実現されている。

一方、可飽和吸収層は、その名前からわかるように、レーザー共振器からみると吸収損失を付加する層である。その損失を補って発振するため、可飽和吸収層がない場合に比べて発振キャリヤー密度や動作電流は高くなる。この課題に対して、ウェルへの圧縮歪（635 nm帯レーザーとは歪みの加え方が逆である）量子井戸活性層の導入により、発振キャリヤー密度を低く抑えて、低駆動電流化が図られている。室温での駆動電流は約80 mA前後で、60°Cでの動作電流は120 mA前後が一般的な特性である。635 nm帯レーザーに比べ、駆動電流自

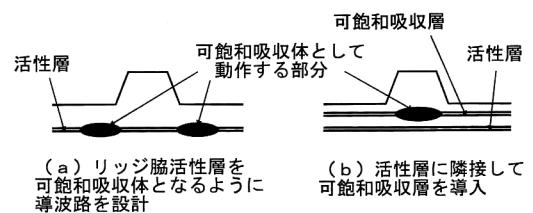


図8 自励発振レーザーの可飽和吸収体の導入位置（概略構造）。

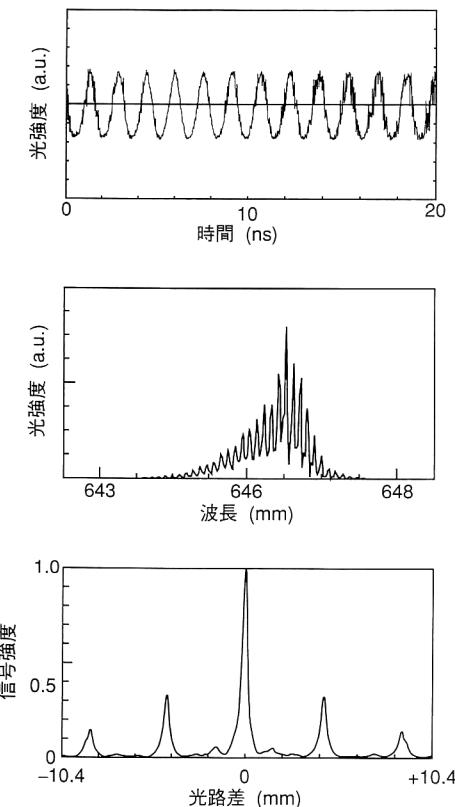


図9 自励発振時の実時間出力変動（パルセーション）とスペクトルとコヒーレンス。

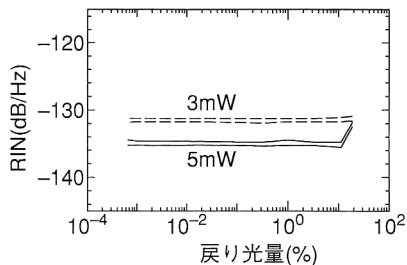


図10 相対雑音強度の戻り光量依存性。

体は大きいが、温度による変化の割合は発振波長が 650 nm であることと自励発振レーザー特有の振舞いから小さく、50~60°Cでの長期安定動作が実証されている^{8,9)}。650 nm 帯レーザーでは、635 nm との比較のうえでいうと、発振波長の差による有利な温度特性の余裕度を低雑音機能付加に割り当てているともいえる。

これらの2種類のレーザーは、そのもつ特徴からDVD装置の設計方針や要求に合わせて選び分けられている。

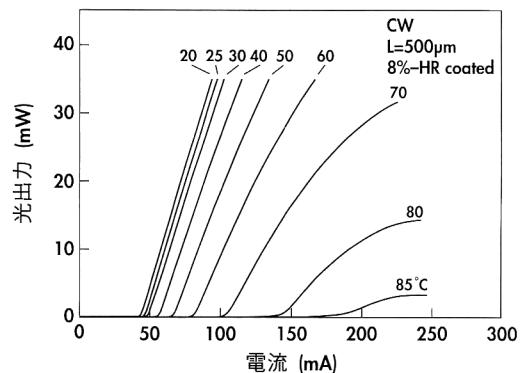


図11 高出力レーザーの電流-光出力特性の一例。

3. 今後の開発動向

DVDが映像（映画）対応のプレーヤーからパソコンやカーナビゲーション等へと応用範囲拡大が検討されていくなか、赤色半導体レーザーへの要求は高くなっている。さらに、記録が可能なDVD-RAM 対応の高出力赤色レーザーも強く求められている。赤色半導体レーザーにおける最近の開発の方向性は、

- (1) さらに高い温度（70°C）での安定動作
- (2) DVD-RAM 対応の高出力動作

と考えられる。高温70°C動作に関しては、650 nm 波長での温度特性メリットをそのまま高温動作特性に生かしたシングルモードレーザーで高信頼動作が実証され、サンプル配布も開始された。635 nm 帯レーザーでの70°C動作化も進められている。また、自励発振レーザーにおいても70°C動作を可能にする動きが、レーザー開発の底流でとらえられていくものと思われる。

DVD-RAM 対応では、現在、装置やディスクの初期評価が何とか可能なレベルのものができつつある状況かと考えられる。その評価に用いられたレーザーの電流-光出力特性の一例を図11に示した。室温での発振波長は 643 nm である。DVD-RAM 装置製品への搭載にむけて、主要課題は次の2つである。

- (1) 端面劣化の抑制
- (2) 高温高信頼動作の向上

高出力レーザーでは、COD (catastrophic optical damage) と呼ばれる端面劣化が問題のひとつである。端面での光密度がある値に達すると瞬時に素子破壊が起こる。通常の長期一定出力動作では、この破壊出力レベルが徐々に低下し動作出力に一致したときに、素子破壊

となる。このため、導波路構造で多重量子井戸活性層厚を薄くして、光の導波姿態を層厚方向に広く分布させ光密度を低減する設計がよくとられる。従来の高出力 AlGaAs レーザーや光磁気ディスク用 685 nm-30 mW レーザーは、主にこの方法で製品が達成してきた。

しかし、この COD 対応の手法は発振閾値電流の温度特性の悪化、高温での駆動電流の上昇、ひいては信頼性を悪化させてしまう方向にある。AlGaAs レーザーに比べ温度特性が悪い赤色半導体レーザーでは、特に短い波長帯でのこのトレードオフ関係が最大の克服課題となっている。そのために、ウインドウ構造や端面非注入構造等の COD 破壊光密度値そのものを向上する技術が積極的に検討され、赤色レーザーに導入されていくものと考えられる。また、レーザー導波路損失を低減して駆動電流をさげる方法も提案され、個別動作検証が進んでいる¹⁰⁾。これらの技術導入により、この数年で実用に耐えうるものが作られていくものと考えられる。

最後に、赤色半導体レーザーは、DVD 装置のキーデバイスのひとつである。DVD の牽引により、素子性能のさらなる向上がなされ、DVD の普及とともに、赤色半導体レーザーが GaAs レーザーのように身近なレーザーになることを期待したい。

文 献

- 1) 鈴木 徹: “AlGaInP (第 12 章)”, III-V 族化合物半導体, 赤崎勇編著 (培風館, 1994) p. 295.
- 2) M. Ishikawa, Y. Ohba, Y. Watanabe, H. Sugawara, M. Yamamoto and G. Hatakoshi: “Room temperature CW operation of transverse mode stabilized InGaAlP visible light laser diodes,” Trans. IECE Jpn., **69** (1986) 382.
- 3) A. Valster, C. J. van der Poel, C. J. Finke and M. J. B. Boermans: “Effect of strain on threshold current of GaInP/AlGaInP quantum well lasers emitting at 633 nm,” *13th IEEE Int. Semiconductor Laser Conf.* (1992) p. 152.
- 4) D. P. Bour, D. W. Treat, R. L. Thornton, R. S. Geels and D. F. Welch: “Drift leakage current in AlGaInP quantum-well lasers,” IEEE J. Quantum Electron., **29** (1993) 1337.
- 5) H. Hotta, A. Gomyo, F. Miyasaka, K. Tada, T. Suzuki and K. Kobayashi: “Anomalous photoluminescence behaviour for GaInP/AlGaInP quantum wells grown by MOVPE on misoriented (001) substrates,” Inst. Phys. Conf. Ser., **136** (1993) 631.
- 6) S. Honda, M. Shono, K. Yodoshi, T. Yamaguchi and T. Niina: “Strained quantum well AlGaInP visible laser diodes,” *Proceedings of LEOS '94*, Vol. 1 (1994) 311.
- 7) H. Adachi, I. Kidoguchi, S. Kamiyama and K. Ohnaka: “680 nm-Band self-sustained pulsating AlGaInP visible laser diodes,” *Proceedings of InP Related Materials Conf.* (1995) p. 468.
- 8) I. Kidoguchi, H. Adachi, T. Fukushima, M. Mannoh and A. Takamori: “Stable operation of self-sustained pulsation in 650-nm-band AlGaInP visible lasers with highly doped saturable absorbing layer,” Appl. Phys. Lett., **68** (1996) 3543.
- 9) 松村初美, 福岡和雄: “デジタルビデオディスク用赤色半導体レーザー”, 東芝レビュー, **50** (1995) 911.
- 10) R. Kobayashi, H. Hotta, F. Miyasaka, K. Hara and K. Kobayashi: “Low-threshold, highly reliable 630 nm-band AlGaInP visible laser diodes with AlInP buried waveguide,” Electron. Lett., **32** (1996) 894.

(1996 年 9 月 3 日受理)