

DVD記録用赤色LDの高出力化への取り組み



技術解説

坂本善史*

Development of high power red LDs for DVD recording

Key Words : ・ LD ・ Red LD ・ Window-mirror structure
・ Dual-wavelength LD ・ DVD

1 はじめに

1980年代にCD (Compact Disc) が登場して以来、DVD (Digital Versatile Disc) BD (Blu-ray Disc) といった大記録容量メディアの出現とともに、光ディスク分野は成熟期を迎えている。光ディスクドライブ装置において、信号の読み書きを行うのに不可欠なデバイスが半導体レーザ (Laser Diode: LD) である。CDの記録・再生に用いられているLDはAlGaAs系で、発振波長780nm帯(赤外)。DVDでは、発振波長が異なるAlGaInP系の660nm帯LD(赤色)が、BD(Blu-ray Disc)では発振波長405nmのGaN系青紫色レーザが使用される。広く世界に普及している光ディスクドライブであるが、日本メーカーがそこに使われるLDのほぼ100%を供給し、この分野を支えているのである。

光ディスクドライブではディスク上の微小ピットからの反射光を利用して情報の読み出しが行われる。また、集光したレーザー光を光ディスク表面に照射することにより、色素系メディアでは有機色素層を熱分解させて、層変化メディアでは金属相変化層を急熱・急冷し多結晶から非晶質に転換させてピット形成(データ記録)を行っている⁽¹⁾。ディスク上の記録密度を高めるにはより小さなピット形成が必要となり、より小さなスポットに絞れる短波長が必要とされる。その為、CDよりもDVD、DVDより

もBDでより短波長のLDが利用されるのである。また、記録速度の向上とは一つのピットあたりに要する書き込み時間が短くなることを意味しており、光源のLDに求められる光出力は大きくなる(図1)。

本稿では、DVD記録に用いられる赤色LDの開発過程を振り返り、高出力化への取り組み事例を紹介する。

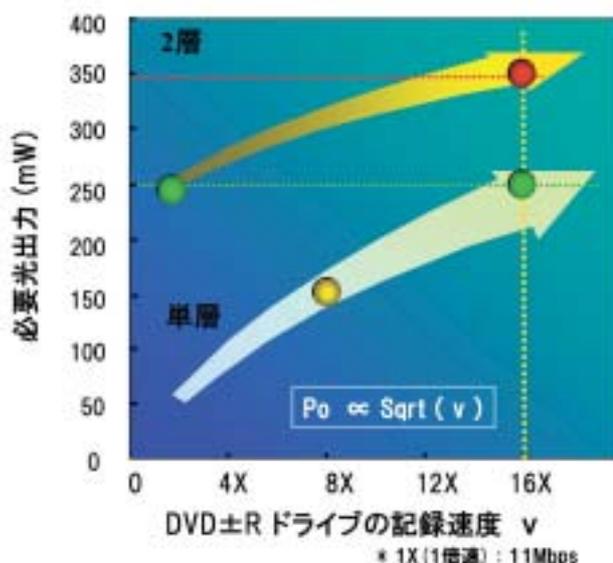


図1 DVD±Rドライブの記録速度と必要光出力

2 端面窓構造の適用による信頼性の改善

赤色LDでは永く高出力品の実用化が困難な時代があった。短波長のLDでは光出力を高くしていくと光出射端面が瞬時に劣化を起こすCOD (Catastrophic Optical Damage) が発生する場合があります、この問題が動作出力を制限してきた。また所望の光出力が得られた場合でも、長時間動作する事で徐々に端面が劣化して最後には発振不能に至らしめる事があった。端面破壊を防止するため、端面部活性層のバンドギャップを素子内部よりも相対的に大きく



*Yoshifumi SAKAMOTO

1968年11月生
大阪大学大学院 工学研究科 電気工学
専攻 博士後期過程修了(1996年)
現在、三菱電機株式会社 光デバイス部
短波高出力LD課 専任 博士 材料物性
TEL : 072-784-7240
FAX : 072-780-2663
E-mail : Sakamoto.Yoshifumi@
ap.MitsubishiElectric.co.jp

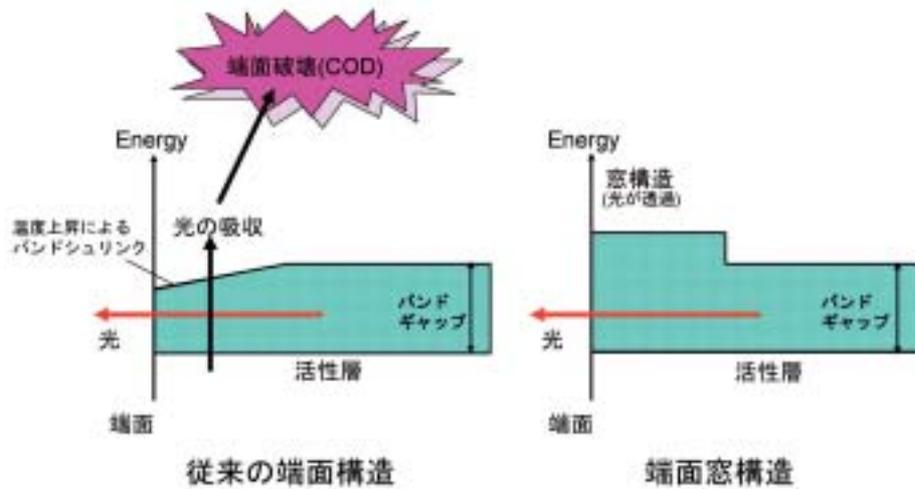


図2 端面窓構造の原理

してレーザー光に対して透明体にする事が有効である。この構造はレーザー光が端面で吸収されずに透過する事から端面窓構造と呼ばれる(図2)。

端面窓構造には数種類の例が報告されている^{(2)・(6)}が、作製フローが煩雑なものやプロセス制御が比較的困難なものが多かった。その中で、量産性等を考慮すると赤色LDに対しては、ウエハ表面から端面近傍に相当する箇所に垂鉛を固相拡散することで、秩序化したGaInP多重量子井戸構造を無秩序化する方法が有望と考えられる。無秩序化した量子井戸は活性層部分より相対的にバンドギャップが数10～数100 meV程度大きくなるため、上述した窓構造が得られる事になる。当社ではこの構造を世界に先駆けてDVD用LDに量産適用し、飛躍的な高

出力化、高信頼度化を実現した⁽⁷⁾。

3 実屈折率導波路構造と低電流動作化

光ディスク用途では微小スポット形成の為にビーム品質への要求が厳しく、横シングルモードである事が必要である。DVD記録用LD初期モデル(DVD±R 2.4倍速に対応した70mWクラスまで)では横モード制御性に優れたロスガイド型導波路が使われていたが、光吸収によってモードを安定化させるといふその特徴から、さらなる高出力化には大きな動作電流が障害となっていた。そのため、光吸収の少ない実屈折率ガイド型導波路構造を適用し、スロープ効率を高める事が不可欠となる。当時、AllnPブロック層埋め込みLDの研究が盛んに進められてい

表1 導波路構造とその特長

		ロスガイド型	実屈折率ガイド型
導波路構造			
導波機構		リッジ内外での等価屈折率差(虚部)による光の反射 (GaAsによるレーザー光の吸収)	リッジ内外での等価屈折率差(実部)による光の反射
特長	長所	<ul style="list-style-type: none"> 基本モード維持容易 加工寸法精度が緩やか (ex. リッジ幅: 3-5μm@660nmLD) 	<ul style="list-style-type: none"> 内部損失小さく、効率大 赤点収差が小さい。
	短所	<ul style="list-style-type: none"> 内部損失大きく、効率が小さい。 波面が湾曲し、非点収差が大きい。 	<ul style="list-style-type: none"> 高次モードが許容され易い。 基本モード維持の為に加工寸法/精度が厳しい (ex. リッジ幅: 1-3μm@660nmLD)

たが、当社はエピタキシャル結晶成長回数が一回で済むリッジ導波路型LDを採用。従来の3回成長ロスガイド型LD生産時に比べ、エピ成長回数が1/3となり生産性改善に大きく貢献する事になる。

リッジ導波路型では、リッジ部分と両脇の部分の屈折率差 n が原理的に大きくなるため、特に高出力時に高次横モードが立ちやすくなる。したがって、高出力まで横モードを基本モードで安定させるにはリッジ幅を狭小化しかつ高精度で制御する必要がある。従来はリッジ形成にウエットエッチングを用いるのが一般的であったが、高精度エッチングが可能なECRによるドライエッチングを採用。図3に示す構造のリッジ導波路型LDにおいて、横基本モードを維持しつつ、70 mW出力時で従来比40%減の低電流駆動が可能となった⁽⁸⁾。

4 高出力化へのアプローチ

低電流駆動の道筋がついた後は高出力化開発に軸足が移る。高出力化を実現するには、

1) CODレベルの向上

- 2) キンク (光出力・電流特性の非線形性) レベルの向上
- 3) 温度特性の改善が必要となる。

1) CODレベルの向上

前述の端面窓構造の最適化により解決

2) キンクレベルの向上

キンク発生メカニズムは、実屈折率型導波路内の屈折率分布変化に伴うモード不安定性が原因である。つまり、LDを駆動すると導波路中央部に電流が流れ、活性層の温度が上昇し結晶の屈折率が高くなるため、半導体結晶に比べて屈折率の温度依存性の低い絶縁膜、空気で囲まれる導波路内では屈折率分布が本来の設計値に対し不均一になってくる。光出力の増大、つまり電流密度の上昇によりこの傾向は顕著になってくるため、遂には導波モードの高次モードカットオフ条件から逸脱してしまい、キンクが発生する。

図4にリッジ部の模式図とカットオフ条件を示す。リッジ部分と両脇の部分の屈折率差 n とリッジ幅

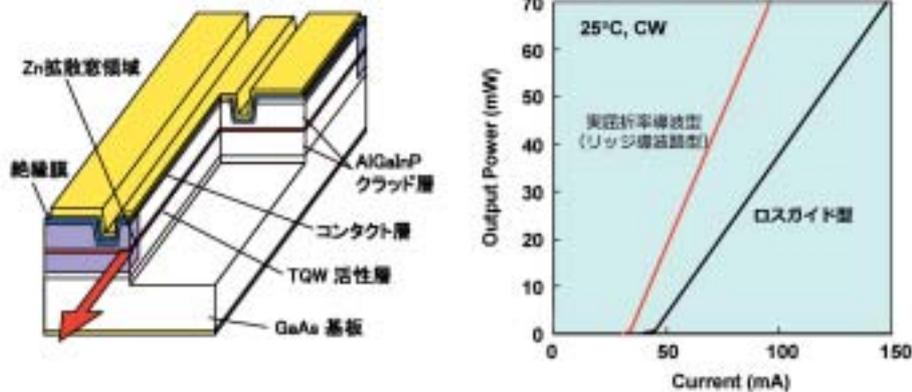


図3 リッジ導波路型LD構造図及び光出力-電流特性

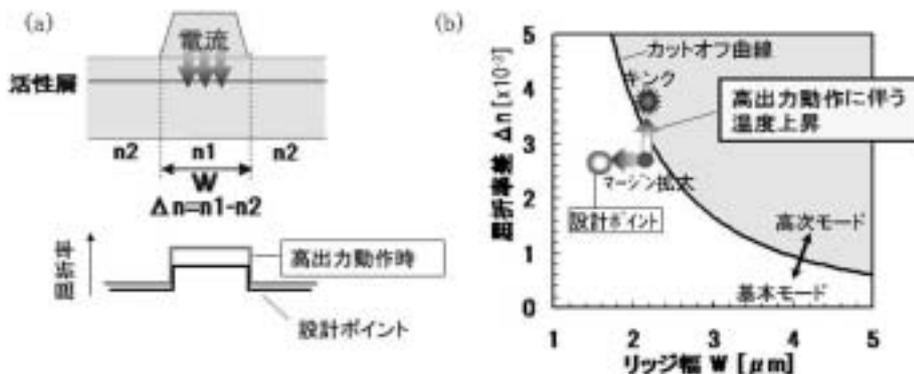


図4 (a)リッジ部の模式図 (b)カットオフ条件の説明図

をパラメータとした時、基本モードを得るためにはカットオフカーブより下の領域を設計ポイントに取る必要がある。高出力動作時の自己発熱による活性層の温度上昇を考慮したマージン設計を行う事で、リッジ幅は1 ~ 2 μm 程度に狭める必要がある事がわかる。

3) 温度特性の改善

LDの温度特性を改善する手法の一つに長共振器化がある。共振器長を長くすることで熱抵抗が下がり、温度特性は改善されるが、発光効率が低下するという問題が発生する。活性層構造を最適化する事で、長共振器化しても熱抵抗低減及びしきい電流(キャリア)密度の低減の両立が可能となる条件を見出した。図5は光出力・電流特性の共振器長依存性である。長共振器化により、最大出力の向上と高温・高出力時の効率低下の抑制を実現し、発熱によるキック現象とキャリアオーバーフローによる熱飽和現象を改善できた。共振器長を長くする事で1ウエハから確保できる理論チップ数減少の一面と、製品化

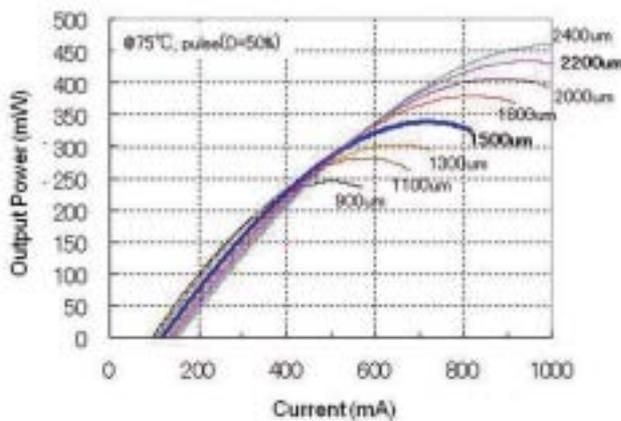


図5 光出力・電流特性の共振器長依存性

を実現する上での特性マージン確保の一面の双方を考慮しつつ、最適な共振器長を選択する必要がある。

上記1)3)の窓構造の適用、リッジ導波路型の適用、2.2mmの長共振器構造の適用を行う事で、DVD ± R 2層 16倍速記録に必要な350 mW出力の赤色高出力LDの実現を見る事となった。

5 集積化技術~2波長LDの実現~

PCやレコーダ用途のDVD記録ドライブ装置には情報資産の有効利用の観点から下位互換性が求められ、光ピックアップにはDVD系とCD系の2種類の光学系を組み込むことが必須である。光ピックアップの小型化、低コスト化が求められる中、部品点数削減という観点から自ずと2波長LD実現への期待が高まった(図6)。2波長LDには、DVD用光源となる660 nm帯LDチップとCD用光源となる780 nm帯LDチップをワンパッケージに組み込むタイプ(ハイブリッド型)もあるが、それらの機能をワンチップに集積化したモノリシック2波長LDは、光学系の調整が容易である事から脚光を浴びることとなる。図7にモノリシック2波長レーザのチップ構造概略図を示す。GaAs基板上に、CD活性層をエピ成長し、その後一部をエッチングで除去した後にDVD活性層をエピ成長し、2つの異なる波長発光層を形成する。単波長レーザに比べ、複雑な構造、高度なプロセス技術、高精度ダイボンド技術等が必要となるが、最近では技術の進歩により、DVD 350 mW/CD 350 mWクラスの高出力2波長レーザが実用化されるようになった。今では、多くのDVD記録ドライブに2波長LDが搭載される事になり、当該分野の市場成熟に大いに貢献している。



図6 光ピックアップ構成図

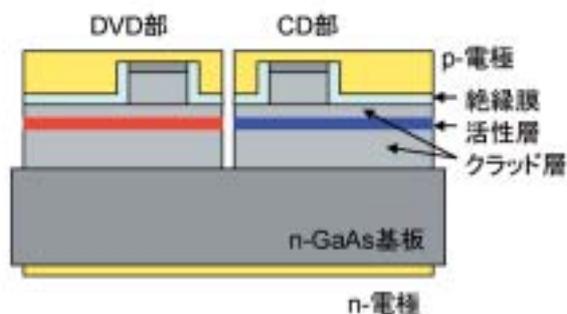


図7 モノリシック2波長レーザチップ構造概略図

6 さいごに

DVD 記録ドライブは登場から 10 年余りで技術面、価格面とも世界に広く普及するレベルに達した感があり、赤色高出力 LD 開発も一定の役割を果たしたものと考える。

光デバイスとしては、発光ダイオード (LED) が省エネ照明光源として大いに期待され、世間を賑わせている。LED フィーバーに比べ、半導体レーザはやや影が薄い存在になっているが、新たな応用分野も生まれつつある。赤色 LD は DVD 以外に可視光という特徴を活かし、青色、緑色との組み合わせで、ディスプレイ用 RGB 光源として今後を期待されている。この先も永きに渡り、明るく未来を照

らす発光デバイスとして繁栄する事を祈る。

< 参考文献 >

- (1) 朝枝剛：「光メモリの基礎知識」、オプトロニクス社 (2002)
- (2) D.Botez and J.Connolly : Electron Lett. 20 (1984) 530
- (3) H.YOnezu, M.Ueno, T.Kamejima and I.Hayashi : IEEE J.Quantum Electron. QE-15 (1979) 775
- (4) Y. Suzuki, Y. Horikoshi, M. Kobayashi and H.Okamoto : Electron Lett. 20 (1984) 383
- (5) R.Thornton, D.Welch, R.Burnham, T.Paoli and P.Cross : Appl.Phys.Lett. 49 (1986) 1572
- (6) M.Watanabe, K.Tani, K.Takahashi, K.Sasaki, H.Nakatsu, M.Hosoda, S.Matsui, O.Yamamoto and S.Yamamoto : IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron. 1 (1995) 728
- (7) A.Shima, H.Tada, K.Ono, M.Fujiwara, T.Utakouji, T.Kimura, M.Takemi and H.Higuchi : IEEE Photonics Tech.Lett. 9 (1997) 413
- (8) M. Miyashita, M. Sasaki, Y. Sakamoto, K. Ono, T. Yagi and E. Omura : Proc. OECC/IOOC, Sydney, NSW, Australia, (2001) 543

