記録型光ディスク用半導体レーザの開発動向

正 員 八木 哲哉*

Trend of High-Power Laser Diodes for Recordable Optical Disc Drive

Tetsuya Yagi*, Member

Historical development trend of high-power laser diodes for recordable optical disc as CD-R and DVD-R is explained in a view point of not only how to realize highly reliable high-power operation but also how to adopt laser diodes into optical disc drives.

キーワード：半導体レーザ，光ディスク装置

Keywords：laser diode, optical disc drive

1. はじめに

1980 年のコンパクトディスク (CD) 規格のリリース以降、短波長半導体レーザ (LD : Laser Diode) は光ディスク装置 (ODD : Optical Disc Drive) 用光源として用いられてきた。ODD は情報の可搬性、低コスト媒体など、他の情報記録装置にはない特徴を有することから、その応用分野を拡大してきた。記録型光ディスクはユーザが自分で情報を光ディスクに記録できるという従来にない特徴を持ち、パーソナルコンピュータ (PC) の外部記憶装置として標準装備化されるとともに、ビデオテープレコーダ (VTR) に代替する DVD レコーダなどにも広く普及し、巨大なマーケットとなってきた。本稿では、これらの記録型光ディスク装置に光源として用いられる CD-R および DVD-R 用高出力 LD の動向について紹介する。

2. 記録型光ディスク装置の動向と LD への要求

記録型 ODD に対するユーザの要求は、①大容量の情報を、②高速に、③小さな装置で、記録したいの 3 点に集約できる。光ディスクの大容量化は CD : 650MB, DVD : 4.7GB (2 層 : 8.5GB) と進んできたが、これは光学系の開口数の拡大と LD 発振波長の短波長化 (CD : 780nm, DVD : 660nm) によるところが大きい (図 1)。媒体の低価格化が進んだ現在、記録型装置の主流となっている追記型装置は、アゾ系色素などで形成される記録層に高密度レーザ光を照射して熱分解することによりピットを形成して記録を行う。記録速度を高速化すると、ピット形成に要する時間が短くなるために、光源の LD に必要とされる光出力は大きくなる。

図 1 光ピックアップの構成と LD への要求
Fig. 1. Requirement for LD of Optical Disc Drive

図 2 追記型光ディスクの記録速度と必要 LD 出力
Fig. 2. Writing Speed vs. LD Output Power

* 三菱電機 (株) 高周波光デバイス製作所
〒664-8641 兵庫県伊丹市瑞原 4-1
Mitsubishi Electric Corporation, HF& Optical Device Works
4-1 Mizuhara, Itami-shi, Hyogo-ken, 664-8641

図 2 に示すように、経験的には、記録速度の平方根にほぼ比例する LD 出力が要求される⁽¹⁾。また、DVD 系では大容

量化のため記録層を2層化する規格もリリースされているが、2層目への照射光強度が小さくなるために、同じ記録速度では単層記録の数倍程度の光出力が必要とされる。また、ODDの小型化（ハーフハイト⇒スリム⇒ウルTRASリム）に伴い、装置内の熱環境は厳しくなる一方で、LDには動作電流の低減とともに75～80℃での高温下での高信頼度動作が求められている。また、ODDで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、DVD系とCD系の2種類の光学系を組み込むことが必須となっている。低コスト化のために、部品点数・調整箇所削減が可能となるLDの2波長化が強く求められている。

3. 記録型光ディスク用LDの開発動向

新規材料開発による発振波長の短波長化を別にすれば、記録型ODD用LD開発の要点は高速記録のための高出力化開発となる。ODD用LDはディスク上で小さなスポットにレーザ光を集光する必要があるため、横シングルモードである必要があり、一般に高出力LDに用いられる横マルチモードLDとは異なる難しさがある。

1980年代に開発されたAlGaAs系（発振波長：785nm：CD用）およびAlGaInP系（同：690nm, 660nm：DVD用）のODD用LDは、CSP型LD⁽²⁾やSAS型LD⁽³⁾などのGaAs層での光の吸収を水平横シングルモードの安定化に利用するロスガイド型導波機構を有するものが主流であった。この構造のLDは当時のエピ・プロセス技術でも十分な横モード安定性を高歩留で得ることが出来る特長があるが、LDの内部損失が数十 cm^{-1} と大きく、動作電流の点から高出力化には不適な構造であった。90年代に入り、水平横モードを垂直横モードと同じ実屈折率差で閉じ込め安定化する実屈折率導波機構を有するLD^{(4)~(6)}が開発され、しきい値電流が約70%に、スロープ効率が約1.5倍と大幅に改善された。実屈折率導波型LDにはリッジ埋込型LD⁽⁴⁾⁽⁵⁾とリッジ導波路型LD⁽⁶⁾の2種があるが、エピ成長回数が1回であることなどの点から、リッジ導波路型が主流となりつつある。

図3 光ディスク用LD高出力化の阻害要因

Fig. 3. Output Power Limit Factors in LDs for Optical Disc

ODD用LDの高出力化阻害要因は大別して、LD端面の熔融破壊（COD：Catastrophic Optical Degradation）、電流-光出力特性の直線性からの逸脱（キンク、熱飽和など）がある（図3）。前者の原因は、GaAs系LDの共振器端面に多数存在する表面準位を介した非発光再結合によるキャリアの消費による端面近傍領域での吸収領域の形成であるとされている⁽⁷⁾。高COD化のためには、端面近傍にLD内部より禁止帯幅の大きな半導体層を設ける端面窓構造が非常に有効であり、種々の端面窓構造LDが開発されてきた^{(8)~(10)}。窓構造を作成する方法として現在一般的であるものは、量子井戸構造を有する活性層の一部（LD端面近傍）を不純物拡散やイオン注入などにより無秩序化する手法である⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。図4にAlGaAs系LDにおける窓構造の効果を示す⁽⁹⁾。窓構造がないLDでは180mW程度の光出力でCODが生じているのに対し、窓構造LDではCODは生じず最大出力は460mWで電流-光出力特性の熱的飽和により規定されている。なお、AlGaInP系LDでは非窓構造のCOD出力が比較的低いので、開発当初から窓構造が採用されている⁽¹¹⁾。

AlGaAs系LDでは図4に示すように電流-光出力特性の直線性からの逸脱（キンクなど）はあまり問題とならないが、AlGaInP系LDでは基本モードで発振するように設計しているにもかかわらず、図5に示すように比較的低出力で水平方向の遠視野像（FFP）のステアリングを伴うキンクが生じる。光ディスク装置ではFFPのステアリングはディスク上に集光されたスポット位置の移動を招くため、実質的にキンクがLDの使用可能な最高出力を規定するものとなる。このキンクが生じる原因は、高出力動作時の導波路中央部における温度上昇により導波路中央部での屈折率の上昇が起これ、結果としてカットオフ条件を満足するように設計さ

図4 AlGaAs系LDにおける窓構造の効果

Fig. 4. AlGaAs LD with Window-Mirror Structure

図5 AlGaInP系LDの高出力化阻害要因

Fig. 5. Output Power Limit of AlGaInP LD

図6 AlGaInP系LDにおける長共振器化の効果

Fig. 6. AlGaInP LD with Long Cavity Length

れていたLDが同条件を満足し得なくなることにあるものと理解されている⁽¹²⁾。高出力動作時においてもカットオフ条件を満足させるためにはLDの温度特性を改善する必要があるが、最も簡便な手法としてLDの共振器長を長くする方法がある⁽¹³⁾。共振器長を900μmから2200μmまで長くした時の75℃における電流-光出力特性を図6に示す。共振器長900μmのLDでは130mW程度でキンクが生じていたが、2200μmと長くすることにより熱飽和はあるものの490mWまでキンクフリー動作が可能であることが確認された。

CD系、DVD系の高出力LDは、現在は上述のように単体LDとしてはほぼ完成の域にあるが、光ディスク装置の低コ

スト化・小型化のため、1つのパッケージから785nmと660nmの2波長が射出可能な2波長LDが求められており、現在開発・量産化が積極的に進められつつある。開発当初にはハイブリッド実装構造⁽¹⁴⁾も検討の俎上にあったが、現在では発光点位置精度などの観点からモノリシック型⁽¹⁵⁾が本命となっており、特性も単体とほぼ同じものが得られるようになってきている。BDやHD-DVDにおいてはDVD/CD系の光利用効率が低下するために、更なる高出力化が要求されており、それに向けた開発が行われている。

(平成19年8月23日受付)

文 献

- (1) B. Bartholomeusz : "Thermal modeling studies of organic compact disk-writable media", *Appl. Opt.*, Vol.31, pp.909-918 (1992)
- (2) K. Aiki, M. Nakamura, T. Kuroda, J. Umeda, R. Ito, N. Chinone, and M. Maeda : "Transverse mode stabilized $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ injection lasers with channeled-substrate-planar structure", *IEEE J. Quantum Electron.*, Vol.QE-14, No.2, pp.89-94 (1978)
- (3) J. J. Coleman and P. D. Dapkus : "Single-longitudinal-mode metalorganic chemical-vapor-deposition self-aligned GaAlAs-GaAs double-heterostructure lasers", *Appl. Phys. Lett.*, Vol.37, pp.262-264 (1980)
- (4) T. Takayama, O. Imafuji, H. Sugiura, M. Yuri, H. Naitoh, M. Kume, and K. Itoh : "Low-Noise and High-Power GaAlAs Laser Diodes with a New Real Refractive Index Guided Structure", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.34, No.7A, pp.3533-3542 (1995)
- (5) R. Hiroshima, D. Inoue, Y. Nomura, Y. Ueda, M. Shono, and M. Sawada : "Reduction in Operating Current of High-Power 660 nm Laser Diodes Using a Transparent AlGaAs Cap Layer", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.41, No.4B, pp.2559-2562 (2002)
- (6) M. Kato, M. Miyashita, A. Shima, K. Ono, T. Yagi, and Y. Kokubo : "Low-Operating-Current, High-Power, 660 nm Laser Diodes for DVD-RAM", in *Proc. OECC2000*, Chiba, pp.534-535 (2000)
- (7) 米津宏雄 : 「光通信素子工学」, 工学図書, pp.283-287 (1984)
- (8) K. Sasaki, M. Matsumoto, M. Kondo, T. Ishizumi, T. Takeoka, S. Yamamoto, and T. Hijikata : "Highly Reliable 150 mW CW Operation of Single-Stripe AlGaAs Lasers with Window Grown on Facets", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.30, pp.L904-L906 (1991)
- (9) T. Yagi, Y. Tashiro, Y. Ohkura, S. Abe, H. Nishiguchi, and Y. Mitsui : "Thermal Rollover around 460mW Observation in Single-Lateral Mode 780nm Laser Diodes with Window-Mirror Structure", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.42, No.4, pp.2316-2319 (2003)
- (10) A. Shima, H. Tada, T. Motoda, M. Tsugami, T. Utakoji, and H. Higuchi : "Reliability study on 50-100-mW CW operation of 680-nm visible laser diodes with a window-mirror structure", *IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron.*, Vol.3, pp.443-449 (1997)
- (11) Y. Ueno, H. Fujii, K. Kobayashi, K. Endo, A. Gomyo, K. Hara, S. Kawata, T. Yuasa, and T. Suzuki : "Novel Window-Structure AlGaInP Visible-Light Laser Diodes with Non-Absorbing Facets Fabricated by Utilizing GaInP Natural Superlattice Disorder", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Pt.2, Vol.29, No.9 pp.L1666-L1668 (1990)
- (12) T. Yagi, H. Nishiguchi, Y. Yoshida, M. Miyashita, M. Sasaki, Y. Sakamoto, K. Ono, and Y. Mitsui : "High-Power High-Efficiency 660-nm Laser Diodes for DVD-R/RW", *IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron.*, Vol.9, No.5, pp.1260-1264 (2003)
- (13) 柴田公隆・吉田保明・佐々木素子・川津善平・小野健一・八木哲哉・西村隆司 : 「記録型DVD用赤色LDの高出力化」, *電学論 C*, Vol.125, No.2, pp.212-215 (2005-2)

- (14) 長崎洋樹・伏見 悟・半澤康成・鈴木康彦・木村美保子・八巻早苗・橋津敏宏・内田史朗・山本 直：「ハイブリッド実装による高出力2波長レーザ」，2003 年秋季応用物理学会予稿集 31a-YC-9 (2003)
- (15) S. Agatsuma, N. Hoshi, K. Tannno, H. Iki, S. Yoshida, K. Sahara, S. Uchida, and T. Yamamoto : “Monolithic Dual-Wavelength Lasers for CD-R/DVD±RW/R/RAM”, in Proc. ISLC2004, Shimane, p.123 (2004)

八 木 哲 哉

(正員) 1960 年 2 月 2 日生。1982 年大阪大学基礎工学部電気工学科卒業。1984 年同大学院物理系博士前期課程修了。同年三菱電機（株）入社。短波長高出力半導体レーザの開発・生産に従事。博士（工学）。大阪大学大学院工学研究科非常勤講師。