

ホログラムを用いた光記録用超小型レーザー集積デバイス

中西 秀行

近年、音楽用途としての MD (mini disk) やコンピューターペリフェラルとしての CD-R/RW (compactdisk-recordable/rewritable), MO (magneto-optical recording), DVD-RAM (DVD-random access memory) などのディスクを中心に、記録可能な光ディスクドライブが市場を急激に拡大しつつある。今後も、さらなる大容量化を目指した 4.7 GB DVD-RAM, DVD-R/RW などのさまざまな高密度光ディスクの立ち上がり期待されている。このように光記録ディスクが急速に普及してきた背景として、機器の低コスト化ばかりでなく、ポータブル機器やノート PC 対応といった光ディスク装置の小型・薄型化により、音楽鑑賞や PC 利用におけるさまざまな場面に光記録ディスクが利用可能になったことが挙げられる。

通常、これらの小型・薄型機器に対応するためには、光ディスク装置の厚みを 10~15 mm 程度まで薄型化する必要がある。そのためには光ディスクとのインターフェースである光ピックアップの厚さは 5~6 mm 以下が要求される。さらに MD などの小径ディスクにおいてはディスクの大きさに合わせて、光ピックアップ自体の投影面積も小型化しなければならず、ピックアップの小型・薄型化技術が大きく問われる分野であるといえる。このような中、光ピックアップの光学部品を集積化したデバイスとして、光源である半導体レーザーを中心として微小光学素子を用いた集積型デバイスが各種提案されている¹⁻³⁾。筆者らのグループもそのひとつの方式 (以下ホログラムユニットと呼ぶ) を実現してきた⁴⁻⁶⁾。この方式は (1) マイクロミラー内蔵 Si プロセスによるレーザー (LD: laser diode) ・フォト IC (PDIC: photo detector IC) のハイブリッド集積化

技術、(2) ホログラム光学素子を用いた各種光学部品の集積化技術、により光ピックアップの構成を大幅に簡素化し、装置の小型・薄型化を実現するものである (図 1)。

本稿では、光記録用集積デバイスとして量産レベルにある CD-R/RW⁷⁾、MD 対応ホログラムユニット⁸⁻¹⁰⁾を紹介し、光記録デバイスの現状と将来について解説する。

1. CD-R/RW 対応ホログラムユニット

CD-R/RW は安定な記録動作をするためのサーボ方式に特徴があり、光ピックアップ光学系を集積化する上でより複雑な光学構成の集積化を必要とする。また、レーザー光源としても 100 mW 級の高出力が必要であり、小型化と同時に熱も集中するため、その放熱対策も重要な要素となる。図 2 に CD-R/RW 対応ホログラムユニットの基本構造を示す。

9.7° オフアングルした Si フォト IC 基板に異方性エッチング技術を用いて形成した 45° マイクロミラーが集積されており、LD と PDIC を光学的に結合し、LD/PDIC 集積化デバイスとして実質的に面発光・受光機能の集積化を実現している。さらにこの LD/PDIC 集積化デバイスを薄型プラスチックモールドパッケージに実装し、その上部にハイブリッドに配置された樹脂ホログラム光学素子で必要な光ピックアップ信号を得るべく光の入出力を制御することにより、光ピックアップの光機能の集積化を実現している。この構造の主要な特徴を以下にまとめる。

1.1 LD/PDIC 集積化デバイス

まず、搭載している半導体レーザーの構造および電流-光出力特性を図 3 に示す。本レーザーはわれわれ独自の実屈折率導波 (real refractive index guided self-aligned: RISA) 構造^{11,12)} を有する低動作電流タイプの半導体レーザーであり、活性層には高出力動作を可能とする多重量子

松下電子工業(株)半導体社ディスクリット事業部 (〒617-8520)
長岡京市神足焼町 1)
E-mail: nakanisi@eo.mec.mei.co.jp

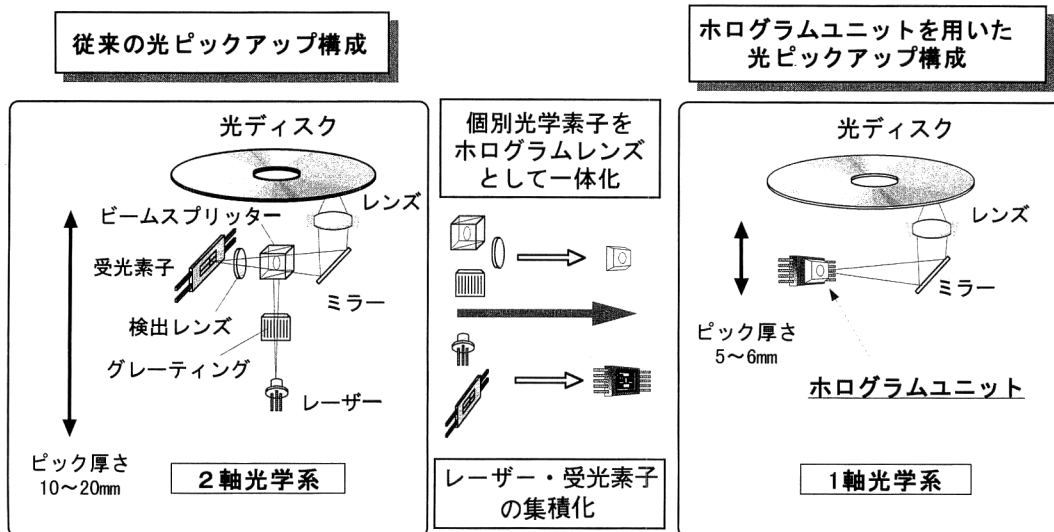


図1 ホログラムユニットを用いた光ピックアップ構成。

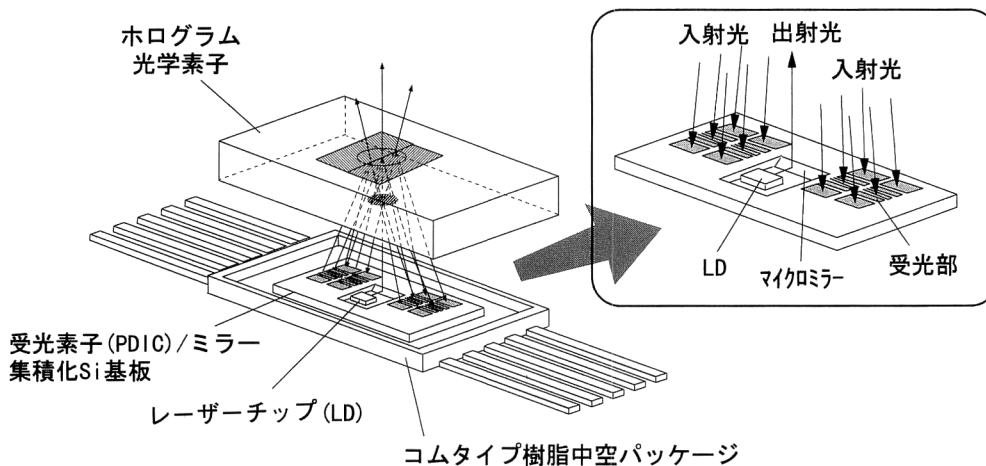


図2 CD-R/RW用ホログラムユニット基本構造。

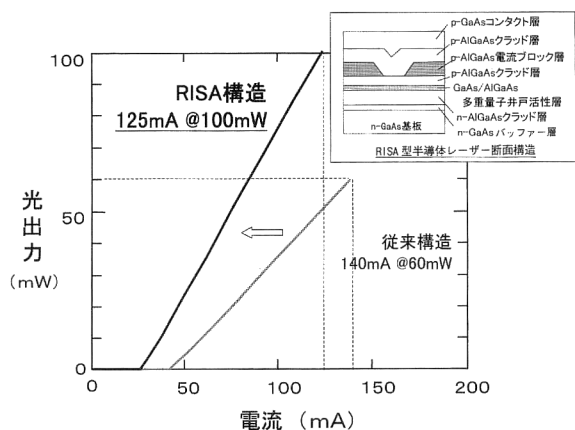


図3 RISA型高出力レーザーの構造と電流-光出力特性。

井戸構造，電流ブロック層には発振光波長に対してロスのない透明な材料であるAlGaAsを採用することにより導波路内部損失を大幅に低減し，閾電流値の低減・スロープ効率の向上を図っている。これにより，動作電流値は室温

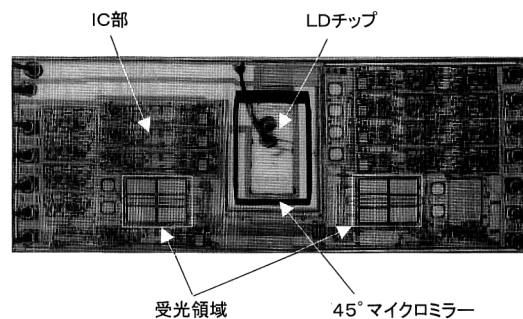


図4 LD/PDIC集積デバイス。

100 mW で 125 mA と低い動作電流を実現している。

また，本レーザーチップを搭載するPDICチップには，20エレメントの受光部，8チャンネルのオペアンプおよびレーザー出射光立ち上げ用マイクロミラーが集積されている(図4)。オペアンプの性能としては，CD-ROM用途の場合には高倍速再生のための高帯域特性の要求が中心である

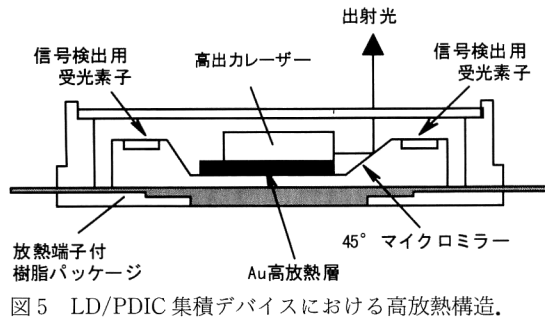


図5 LD/PDIC集積デバイスにおける高放熱構造。

が、CD-R/RW用途の場合はサーボ方式の特徴である記録時のパルス・パルス間でのフォーカス・トラッキングサーボを可能とするために記録状態から再生状態に復帰するまでの高速性も要求される。これらの必要特性を満たすため、3 dB劣化時の周波数特性としてフォーカス端子約70 MHz、トラッキング端子20 MHzと高帯域を実現するとともに、記録時PDIC飽和状態からPDIC出力ダイナミックレンジの1%までの復帰時間も30 nsのレベルを実現している。

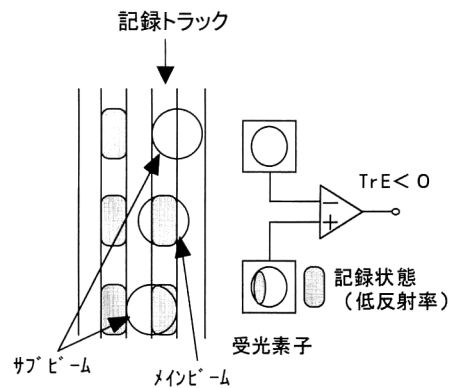
上記LDおよびPDICをハイブリッドに集積するにあたり、半導体レーザーの発熱が課題となる。搭載しているレーザーは低動作電流ではあるものの、その発熱は100 mWクラスであり、LD/PDIC集積デバイスサイズに比して大きな発熱である。この熱を効率よく放熱するために、PDICのLDチップ搭載部に図5に示す高放熱構造を採用している¹³⁾。従来のCD-ROM用においてはLDチップ搭載部はすべてPDIC材料であるSiで構成していたが、新たにSiの約2倍の熱伝導率を有するAu組成からなる高放熱LD搭載部を形成している。これにより従来LDチップからの放熱は主に基板垂直方向の熱拡散が中心であったが、LDチップ近傍で基板並行方向に拡散することにより放熱性を向上させ、金属パッケージレーザーと同等の熱抵抗特性を実現している。

以上のような特性・構造を半導体微細プロセスにより個々に集積した上で、LD・PDICをハイブリッドに集積することにより、縦1.3 mm横3.4 mmで、しかも信頼性の高い超小型光記録用LD/PDIC集積デバイスを実現している(図4)。

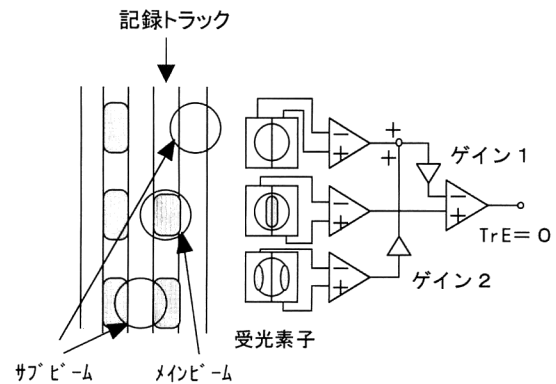
1.2 光学構成

CD-ROM対応とCD-R/RW対応のホログラムユニットとの大きな違いはサーボ検出方式にある。以下にCD-R対応ホログラムユニットに最適なサーボ検出方式を実現する新規光学設計について述べる。

CD-Rは色素材料をレーザー光による熱エネルギーで非可逆的に変質させ、反射率変化を生じさせることでデータ



(a) CD-ROM



(b) CD-R/RW

図6 CD-R/RWにおけるトラッキング方法。

の記録を行う追記型ディスクである。追記型ディスクの場合、記録前後で反射光量が変化するため、記録時には図6(a)に示すように先行サブビームと後行サブビームで反射光量が異なり、両サブビームの反射光量の差を検出する従来の3ビーム法ではトラッキングエラー信号にオフセットが生じ、トラッキング動作が不安定になる。上記課題を解決するために、通常追記型ディスクに対しては3ビームそれぞれのプッシュプル信号をとる方法が一般的に用いられている。図6(b)に示すように、この方法では2つのサブビームをそれぞれメインビームに対してトラックピッチの半分だけずらして配置する。この場合、3つのビームに対してそれぞれプッシュプル信号を検出し差動演算することで、上記オフセットの除去が可能となる。したがってCD-R/RWに対応するトラッキングエラー信号を得るためには、ディスクからの戻り光をトラック方向に沿って2分割して検出/差動演算する必要がある。

一方、従来のCD-ROM用ホログラムユニットではフォーカスエラー信号検出法として、ホログラムパターンにレンズ効果をもたせ、光束全体に対し±1次回折光に焦点距離差を発生させるSSD (spot size detection) 法を用いて

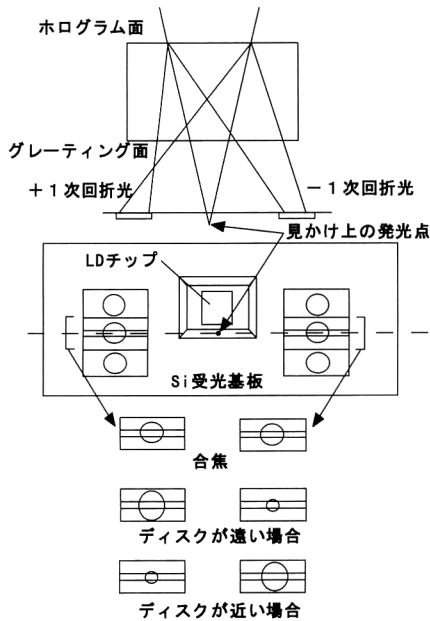


図7 SSD法の原理図。

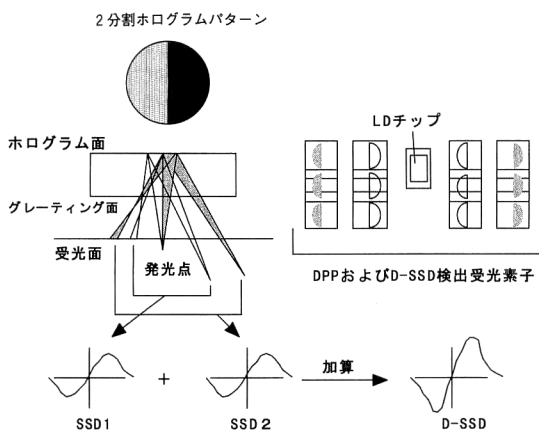


図8 CD-R/RW 対応ホログラムユニット光学構成。

きた (図7)。そこで従来からの SSD 法の技術を用いて CD-R/RW 対応トラッキングエラー信号検出法にも対応できる新規光学構成として、図8に示すようにホログラムパターンおよび受光素子パターンを2分割し、回折角の違いでビームを分離する double spot size detection (D-SSD) 法を開発した。D-SSD 法では、発光点に対して内側の ± 1 次回折光から得られるフォーカスエラー信号 (SSD1) と外側の ± 1 次回折光から得られるフォーカスエラー信号 (SSD2) とを加算することにより、全光束を利用したフォーカスエラー信号の検出を可能としている。この場合、レンズシフトによりデフォーカスや振幅劣化の非対称性等の発生が生じないように、SSD1・SSD2の設計にはその対称性が要求される。回折角の異なる (レンズ効果の異なる) ホログラムパターン回折光からこれらを実現可能とするため、ホログラム関数や受光パターンによる最

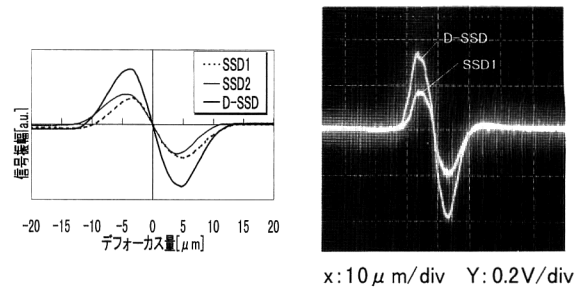


図9 フォーカスエラー信号計算結果および実測結果。

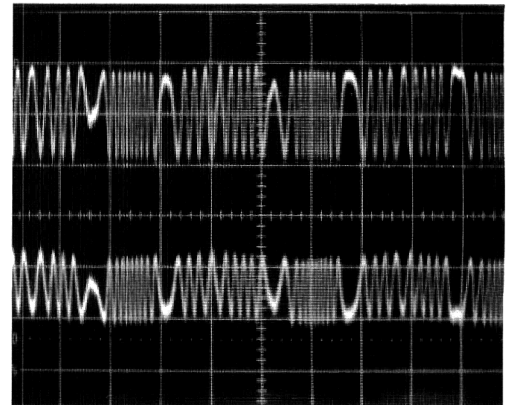


図10 トラッキング信号特性。

適設計が必要となる。

上記の通り2分割ホログラムによってD-SSD方式を構成することにより、ユニット内部で12本の光ビームの方向・スポットサイズを制御してサーボ信号を検出しているが、これらの光学占有体積はわずかに縦0.8mm、横1.4mm、光軸方向高さ3.4mm (0.004cc) であり、光ビームの回折角・ビームサイズなどを任意に設計・制御できるホログラム光学系の利点であるといえる。また、この光学系を先に述べたLD/PDIC集積デバイス上に集積するにあたっては、3ビーム発生用グレーティングパターンとD-SSD信号発生用ホログラムパターンを樹脂両面成型し、光学機能を1素子に集積化することにより、小型・薄型サイズでの集積化を実現している。

1.3 デバイス特性

図9にフォーカスエラー信号のシミュレーションおよび実測結果を示す。SSD1, 2のデフォーカスおよび感度特性差のない良好な信号が得られていることがわかる。また、図10にトラッキング信号としてメインビームプッシュアップ信号・サブビームプッシュアップ信号を測定した結果を示す。うねりのない良好な信号が得られている。実動作上も問題ないことを確認しており、RF信号も通常速ROM再生で11~13ns、自己記録再生で24nsと良好な結

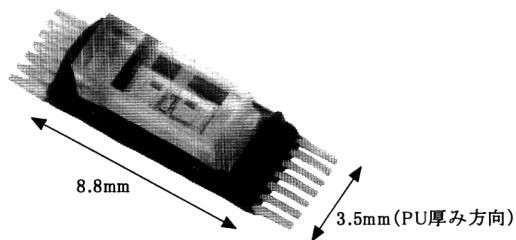


図11 CD-R/RW 対応ホログラムユニット外観。

果を確認している。このデバイス全体の外観写真を図11に示す。厚さ3.5mm、幅8.8mm、光軸方向高さ5.2mm (0.16 cc) と超小型・薄型サイズでのCD-R/RW記録対応高出力デバイスを実現している。

2. MD 対応ホログラムユニット

MDは光磁気ディスクであり、その検出には偏光分離光学系を必要とする。また、ポータブルオーディオ機器中心であることから、電池駆動の長寿命化すなわち省電力化も大きな要素になる。これらの観点を踏まえ、実現したMD対応ホログラムユニットの全体構成を図12に示す。LD/PDIC集積デバイスの基本構造はCD-R/RW対応と同様であり、ここでは説明を省略する。ホログラム光学素子の上部に偏光分離機能を有する複合マイクロプリズムをハイブリッド集積した構造となっており、MD用光ピックアップの対物レンズ以外の光機能をすべて集積している。以下にその偏光分離光学系の集積とホログラム光学系について説明する。

2.1 偏光分離光学系の集積

図12に示すように、この複合マイクロプリズムは、偏光ビームスプリッター（以下PBS: polarized beam splitter）およびウォラストンプリズム（以下WP: Wollaston prism）を反射ミラーで結合した構造を有している。光ディスクから戻ってきた光ビームは、まず複合マイクロプリズムのPBS部に到達し、その反射光はp波、s波の反射率の違いによりディスク変調におけるカー回転角が拡大される。次に反射ミラーで折り返された光ビームはWPへ入射し、45°対角成分に分離され、LD/PDIC集積デバイス上の受光素子によって検出される。これらの機能を縦2mm、横6mm、光軸方向高さ2.4mm (0.03 cc) に集積し、樹脂ホログラム光学素子に形成したプリズム搭載部上に直接実装している。

2.2 高効率1ビームホログラム光学系

光記録におけるピックアップでの省電力は光利用効率の向上が最も有効である。MDの分野でも最も一般的なトラッキング法はやはり3ビーム法であるが、この方式の場

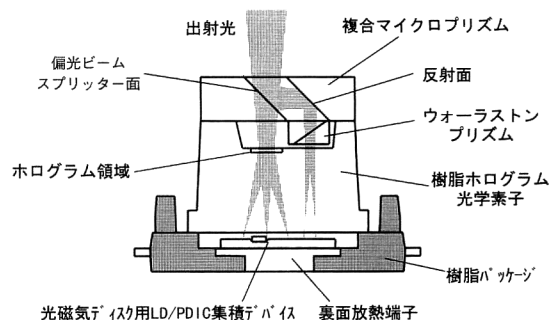


図12 MD用ホログラムユニット基本構造。

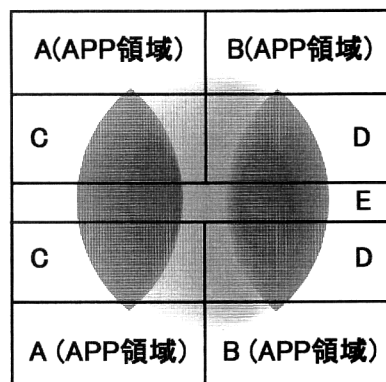
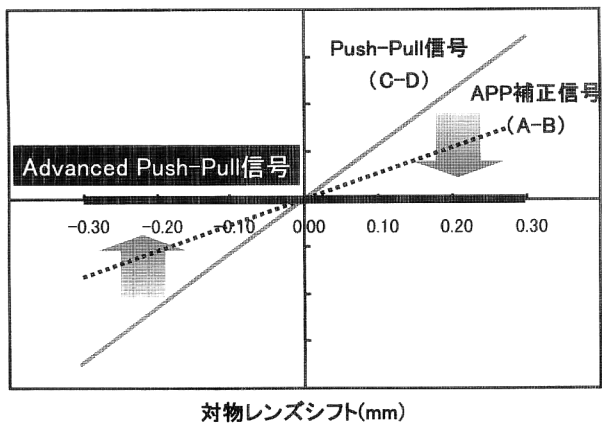


図13 ビーム内光強度分布とAPP法におけるホログラム分割。

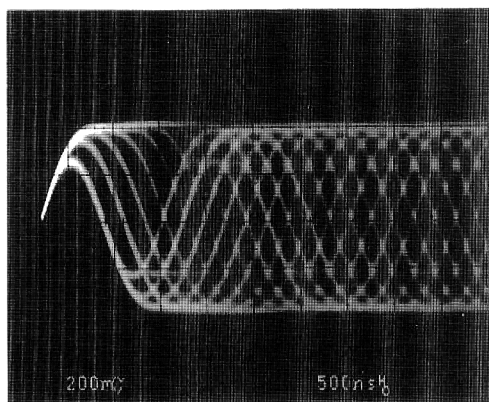
合、3ビーム発生用グレーティングにより約20~30%の光ロスが発生し、光記録に必要なパワーを得るためには、それだけ高い光源パワーを必要とする。したがって1ビーム方式を実現すれば上記のロスをなくすことができ、高効率光学系が可能となる。しかし、1ビーム法におけるトラッキングエラー検出方法であるプッシュプル法はレンズシフトによるオフセット発生という問題があり、1ビーム法を実現する上での大きな妨げになっていた。これを可能とした方法が図13、14に示すAPP (advanced push pull) 法である。この方式は図13に示すように1ビーム内のプッシュプル変調の位相分布を解析し、レンズシフトによりDC的に変化する図中のA、B領域を補正信号として扱い、通常のプッシュプル信号 (C、D領域) から差し引くことにより、レンズシフトに対して安定な動作をさせるものである (図14)。さらに図中のE領域をプッシュプル信号から除くことにより、ディスクチルトに対するデトラック成分も除去し、安定な1ビームトラッキング法を実現している。これにより1ビーム法を採用することが可能となり、高い光利用効率を実現している。また、このようにビーム内の空間分割を可能にできるのも、ホログラム光学素子の設計自由度の高さであるといえる。

2.3 デバイス特性

APPトラッキングサーボ時の再生信号波形を図15に示



APP信号 = (C-D) - k(A-B) k: 定数
 図14 APP法の原理.



X : 500ns/div Y : 200mV/div
 図15 Recordable Disk 再生信号.

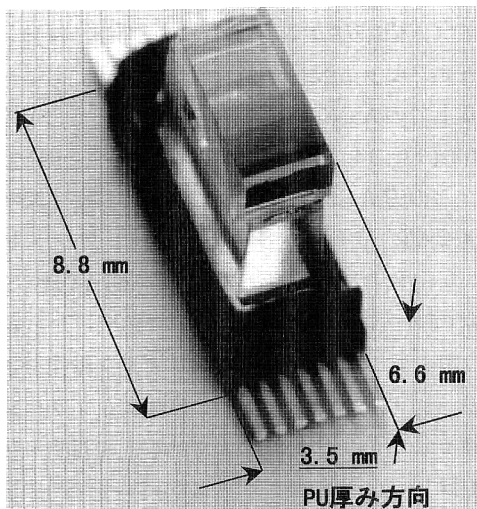


図16 MD対応プログラムユニット外観.

す。レンズシフトに対して安定なトラッキング信号を得るとともに、記録ディスクジッター値で20 nsと良好な値を得ており、APP方式・複合マイクロプリズム方式の有効性を確認できた。また、本デバイスの外形写真を図16に

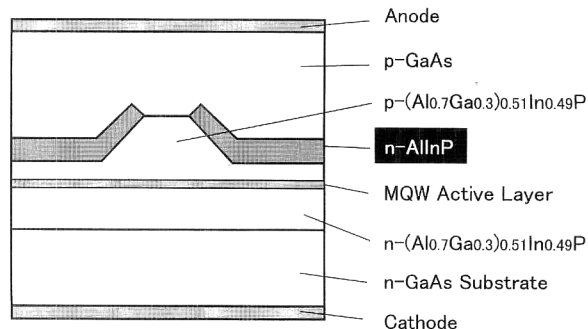


図17 実屈折率導波型赤色高出力半導体レーザー.

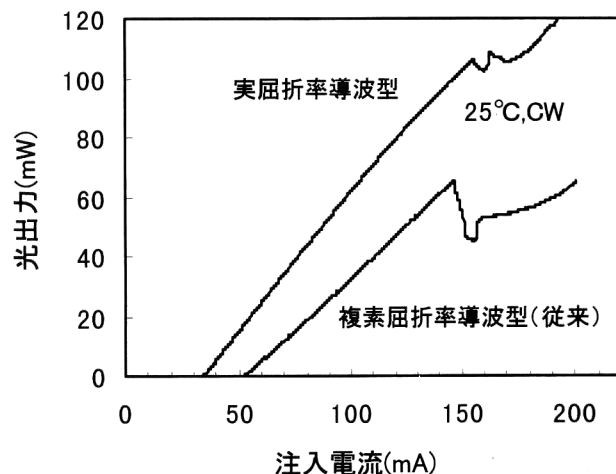


図18 電流-光出力特性.

示す。厚さ3.5 mm、幅8.8 mm、光軸方向高さ6.6 mm (0.21 cc) と偏光分離まで集積しつつ超小型・薄型化を実現している。

われわれは、集積方法の一方式としてマイクロミラーを用いたLD/PDIC集積デバイスとホログラム光学素子などの微小光学素子により、光ピックアップの対物レンズ以外の機能の小型・薄型集積化を実現し、記録用光ディスク機器のポータブル化・ノートPC対応化を実現してきた。また、最近ではこのような集積化形態を生かしたさらなる高密度ディスク対応として、4.7 GB/DVD-RAM対応レーザー集積ユニットも実現している。このデバイスは、実屈折率導波構造を有する低動作電流タイプの高出力赤色レーザー技術¹⁴⁾(図17, 18)により実現されたものであり、高密度記録ディスクにおいても集積型レーザーの展開が可能となってきている。

今後の高密度光記録ディスクにおいては、光ピックアップ自体の必要精度の向上や下位ディスク互換といった観点から構成がますます複雑になりつつあり、その小型・薄型サイズでの実現には光集積デバイスの必要性はますます高くなっていくものと考えられる。

また、その特性として一般的に期待されている内容は

- ・記録密度の向上 → 光源の短波長化
- ・記録速度の向上 → 光源の高出力化
- ・再生速度の向上 → 受光 PDIC の高速化
- ・ディスク互換対応 → 2 波長対応・光学系の集積化

といった点が挙げられるが、これらを実現する手段として、先に述べた低動作電流タイプの赤色高出力半導体レーザーや青色半導体レーザー¹⁵⁾ などの高性能チップの実現、モノリシック 2 波長レーザー¹⁶⁾ の登場、従来の単機能部品からモノリシック技術を用いた複合機能部品のアプローチ¹⁷⁾、など各種取り組まれており、今後は高性能チップによるハイブリッド技術とモノリシック技術の新たな融合という意味で、さらなる集積化を目指して技術革新が進んでいくものと考えられる。

文 献

- 1) M. Uchiyama, T. Ebihara, K. Omi, H. Kitano, I. Hoshino and K. Mori: "Development of optical pickup for digital versatile disc using two-wavelength-integrated laser diode," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **39** (2000) 1549-1553.
- 2) K. Minami, H. Yamamoto, A. Yoshimoto, Y. Yoshida and Y. Kurata: "Optical waveguide device for a magneto optical disk head," *MORIS/ISOM 97 Technical Digest* (1997) pp. 166-167.
- 3) 田中芳和, 島 顕洋, 山下光二, 相賀正夫, 中村 聡, 入江満: "DVD 用高効率 HOE ユニット", 第 45 回応用物理学関係連合講演会予稿集 No. 3 (1998) p. 1123.
- 4) A. Yoshikawa, H. Nakanishi, K. Itoh, T. Yamazaki, T. Komino and T. Musha: "LDH (laser detector hologram) unit for thin optical pick-up head of a CD player," *IEEE Trans. Compon. Packag. Manuf. Technol.*, **18** (1995) 245-249.
- 5) H. Nakanishi, A. Ueno, H. Nagai, A. Yoshikawa and K. Itoh: "On-silicon LD/PD hybrid module with etched mirror for hologram optical head," *CLEO-Pacific RIM 95 Tech. Digest* (1995) p. 88.
- 6) K. Ito, H. Nakanishi and A. Yoshikawa: "High power laser/detector unit for re-writable optical pick-up head," *Proceeding of IEEE LEOS '95* (1995) p. 224.
- 7) 高須賀祥一, 井島新一, 河内泰之, 中西秀行, 吉川昭男: "高速・高密度光ディスク用超薄型ホログラムユニット", 電子情報通信学会技術研究報告 (1998) pp. 7-12.
- 8) 荒井昭浩, 林 卓生, 中村 徹, 永田貴之: "新トラッキング検出を用いた光磁気ディスク用集積化光学ヘッド (1)", 第 58 回応用物理学学会学術講演会予稿集 No. 3 (1997) p. 1134.
- 9) 井島新一, 高須賀祥一, 中西秀行, 吉川昭男: "新トラッキング検出を用いた光磁気ディスク用集積化光学ヘッド (2)", 第 58 回応用物理学学会学術講演会予稿集 No. 3 (1997) p. 1135.
- 10) A. Arai, T. Hayashi, T. Nakamura, T. Nagata, M. Takashima, H. Aikoh, H. Tomita, H. Nakanishi, S. Ijima and A. Yoshikawa: "Integrated optical head with new one beam tracking detection for magneto-optical disk," *MORIS/ISOM 97 Technical Digest* (1997) p. 166.
- 11) O. Imafuji, T. Takayama, H. Sugiura, M. Yuri, H. Naito, M. Kume and K. Itoh: "600 mW CW single mode GaAlAs triple-quantum-well laser with a new index guided structure," *IEEE J. Quantum Electron.*, **29** (1993) 1889.
- 12) T. Takayama, O. Imafuji, M. Yuri, H. Naito, M. Kume, A. Yoshikawa and K. Itoh: "800 mW peak-power self-sustained pulsation GaAlAs laser diodes," *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, **1** (1995) 562-568.
- 13) 河内泰之, 吉村明夫, 上野 明, 中西秀行, 山本博明, 吉川明夫: "DVD 用ホログラムユニット", 第 58 回応用物理学学会学術講演会予稿集 No. 3 (1997) p. 1133.
- 14) 浅香 浩, 足立秀人, 河田敏也, 牧田幸治, 山根啓嗣, 谷口京子, 高森 晃: "実屈折率導波型 AlGaInP 高出力赤色半導体レーザー", 第 47 回応用物理学関係連合講演会予稿集 No. 3 (2000) p. 1148.
- 15) S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, Y. Sugimoto, T. Kozaki, H. Uemoto, M. Sano and K. Chocho: "InGaN/GaN/AlGaInP-based laser diodes with modulation-doped strained-layer superlattices," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **36** (1997) 1568-1571.
- 16) T. Ohnishi, O. Imafuji, T. Fukuhisa, A. Mochida, Y. Kobayashi, M. Yuri and K. Itoh: "Monolithically integrated dual-wavelength self-sustained pulsating laser diodes with real refractive index guided self-aligned structure," *Proceeding of Fifth Opto-Electronics and Communications Conference* (2000) pp. 532-533.
- 17) T. Mizuno and H. Narui: "A differential phase detection method for tracking-error signals using a monolithic confocal laser coupler," *Opt. Rev.*, **6** (1999) 308-313.

(2000 年 6 月 26 日受理)