DVD/CD-R再生互換光ピックアップ用ハイブリッド集積2波長半導体レーザ合波ユニット

石原 久寛^{***}, 斉藤 保典^{*}, 野村 彰夫^{*}

Hybrid Integrated Twin Laser-Diode Unit for Use in DVD/CD-R Compatible Optical Pickup Head

Hisahiro ISHIHARA^{***}, Yasunori SAITO^{*} and Akio NOMURA^{*}

*信州大学工学部 (〒380-8553 長野県長野市若里4-17-1)

**株式会社三協精機製作所技術要素開発部 (〒391-0106 長野県諏訪郡原村10801-2)

*Faculty of Engineering, Shinshu University (4-17-1 Wakasato, Nagano-shi, Nagano 380-8553)

**R&D Center, Sankyo Seiki Mfg. Co., Ltd. (10801-2 Hara-mura, Suwa-gun, Nagano 391-0106)

概要 CD-R(Compact Disc Recordable)再生互換DVD(Digital Versatile Disc)ピックアップ用に2つの半導体レーザ・チップをハイブリッド集積した新規構造の2波長LD(Laser Diode)合波ユニットを提案し、実用上十分な精度の光軸調整がチップ実装工程で簡便に実現できることを基礎実験により確認した。本ユニットでは、波長635nm帯のAlGaInP系LDチップと波長780nm帯のAlGaAs系LDチップを、マイクロPBS(Polarizing Beam-Splitter)プリズムの隣り合う入射面にレーザ出射端面が接する状態で実装している。この構成では、2つのレーザ出射光の光軸方向およびLDチップ高さ方向の光軸調整をチップ実装で半自動的に行うことができる。また、残されたLDチップ水平面方向の調整もパッシブアライメント手法により簡単に行える。試作ユニットに対して、ピックアップの基本特性であるSカーブを評価した結果、DVD再生とCD再生で同一の光検出器を共用するために必要な光軸調整精度 $\pm 5 \mu\text{m}$ がチップ実装工程での作り込みで簡便に実現できることを確認した。

Abstract

We present a novel hybrid-integrated twin laser-diode (LD) coupling function unit for use in CD-R (Compact Disc Recordable) read-compatible DVD (Digital Versatile Disc) optical pickup head. A 635nm-wavelength AlGaInP-LD chip and a 780nm-wavelength AlGaAs-LD chip are individually mounted in opposition to each inlet-surface of a micro prism. In this configuration, vertical and axial directional alignments are made semi-automatically. The remaining horizontal alignment can easily be made via a passive alignment procedure. As this unit emits two perpendicularly polarized laser beams, 635nm-wavelength TM-mode laser and 780nm-wavelength TE-mode laser, efficient light coupling can be achieved by using a PBS prism. Tentative fabrication and experimental efforts have been made, and good pickup servo behavior obtained.

Key Words: Hybrid Integration, Laser-Diode, Optical Pickup Head, DVD, CD-R

1. はじめに

種々の光ディスクシステムの中で最も普及したCD(Compact Disc)と同サイズで約7倍の記録容量をもつDVD(Digital Versatile Disc)が¹⁾, マルチメディア時代の大容量情報記録・配布メディアとして注目の的となっている。このDVDシステムでは、光学的分解能を向上させるために光源となる半導体レーザ (LD; Laser Diode) の波長がCD用の近赤外光 ($\lambda \sim 780\text{nm}$ 帯) から赤色光 ($\lambda \sim 635/650\text{nm}$ 帯) に短波長化された。しかしながらこの赤色光波長域は、追記型のCD系ディスクであるCD-R(CD-Recordable)メディアの吸収帯に相当し、CD-Rディスクから十分な反射光量が得られないため信号再生を行うことができないという問題が生じた。このため、CD-R再生互換性をもったDVDピックアップを実現するためには、赤色光および近赤外光の2つの光源を搭載することが必要とな

った¹⁾。

一方、光ディスクシステムの大容量・高速化という技術動向の中で、データ転送レートの向上を実現するために、光ピックアップにはフォーカシング／トラッキング動作の高速化という要求が常に寄せられている。このためには光ピックアップの小型軽量化が必須課題であり、また組み立て調整工程の簡素化によるコストダウンという目標と併せて、光ピックアップ部品の複合集積化が光記録システムの性能向上、およびその普及へのキーテクノロジーとなっている^{2)~7)}。

前述のCD-R再生互換DVDピックアップにおいても、2つの光源に対する光学系構成部品を共通化させ、部品点数の削減ならびに光ピックアップの小型軽量化を得るための検討が進められてきた。赤色および近赤外の2つのLDを1チップ上にモノリシック集積させた素子も開発されている⁸⁾⁹⁾が、2つの光源からのレーザ光は百 μm オーダの間隔

を隔てて平行に出射される。そのため受光素子を含む光ピックアップ光学系を共有化するためには、単一の光軸に2つの光路を合成するための光学素子を μm オーダの精度で調整して用いる必要がある⁹⁾。

本論文では、CD-R再生互換DVDピックアップの構造を簡素化するのに適した2つの半導体レーザーチップをハイブリッド集積した2波長LD合波ユニットを提案し、その特徴を述べるとともに、DVD再生とCD再生で同一の光検出器を共用するために必要な光軸調整精度（光軸方向および光軸に直交する2軸の3方向に対して $\pm 5 \mu\text{m}$ ）がチップ実装工程での作り込みで簡便に実現できることを基礎実験により確認した結果について報告する。

2. 2波長LD合波ユニットの基本コンセプト

提案する2LDチップハイブリッド集積合波ユニットの基本構造をFig. 1に示す。AlGaInP系赤色LDチップとAlGaAs系近赤外LDチップとが、マイクロPBS(Polarizing Beam-Splitter)プリズムの直交する2つの入射面に各々のLD出射端面が対向するように配置されている。DVD用のAlGaInP系LDにはTMモードで発振する635nm帯波長のものとTEモード発振の650nm帯波長のものがある。このうちの635nm帯LDを選択することで、CD用AlGaAs系近赤外LD出射光と互いに直交した偏波面の出射光が2LDチップを同一平面上に簡便に実装するだけで得られ、PBSによる高効率の合波が可能となる。ここで2つのLDの発光点それぞれの許容値は、共用する多エレメント受光素子のエレメント間隔やレンズ倍率などの光ピックアップ光学系設計仕様で決定され、今回の検討では3軸方向に $\pm 5 \mu\text{m}$ となった。

一般に、直角プリズムは精密研磨により角度誤差数十秒以下の高い精度で加工可能である。PBSプリズムは、このような直角プリズム一對の誘電体多層膜コーティングされた斜面を張り合わせて形成されるが、この際に張り合わせ面の端部となる一方の角の頂点合わせの管理を厳密に行えば、たとえ各々の直角プリズムの辺長にばらつきがあっても、PBSの直交した面から入射する2つのレーザービームのプリズム内での経路長は等しくなる。したがってこのハイブリッド実装構造では、LD光軸に沿った方向の光路長合わせは、各々のLDチップの出射端面をプリズム面に押し当てることによって容易に実現できる。ここで635nm、780nmの2波長に対するガラス母材屈折率の波長分散は2%程度であり、屈折率 n と幾何学的経路長 l との積である光路長 nl の差は辺長1mmのプリズムに対して $2 \mu\text{m}$ 程度となり、光ピックアップ光学系の設計から要求される光軸方向の位置精度 $5 \mu\text{m}$ に対して十分小さな値に収まる。さらにプリズム合波の場合、2つの入射光は各々の入射面に垂直入射するため、平板ミラーによる合波とは異なり焦点スポットに非対称性歪みを生じさせる非点収差、コマ収差を発生させ

Fig. 1 Schematic structure of the proposed twin LD coupling function unit

ることもない。またLDのエピタキシャル層は精密な層厚管理ができるため、LDチップのpn接合側を底面にして、放熱性に優れたpサイドダウン形態で実装する限り、同じ厚さのサブマウントを2つのLDチップに用いれば出射光軸の高さ調整も自動的に $\pm 1 \mu\text{m}$ 程度の精度で実現される。したがって3軸の光軸自由度のうち、LDチップ端面の水平線に沿った方向のみに光軸調整の必要が残るが、これもパッシブアライメントの手法により簡便に達成できる。すなわちプリズムの出射面側からCCD(Charged Couple Device)カメラでモニタすると両LDチップの出射端面像が同時に観察できるので、一方のLD端面像がもう一方の端面像に重なるように水平方向の相対位置を微調することにより行える。

このように本構成の2LDハイブリッド集積では、2つのLD発光点の位置合わせが非常に簡単に行えるという特徴がある。またハイブリッド集積ならではの利点として、記録型光ヘッドへの展開などさまざまな光ピックアップ製品バリエーションに応じて、各々に最適化された赤色LDおよび近赤外LDの自由な組み合わせに適用することが可能である。

3. 設計および試作

3.1 合波プリズム

まず2波長LD合波機能のキーポイントとなるPBS合波プリズム反射面の多層膜設計について述べる。薄膜光学の理論から、多層膜のうちの第 j 層目の振幅反射率 R_j は式(1)に示す一般式で求められる。

$$R_j = \frac{r_{j+1} + R_{j-1}e^{-2i\delta_j}}{1 + r_{j+1}R_{j-1}e^{-2i\delta_j}} \quad (1)$$

ここで r はフレネルの振幅反射係数であり、2媒質の屈折率および入射角と屈折角を各々 n_1 、 n_2 および θ_1 、 θ_2 とすると、P偏光、S偏光に対し、

$$\begin{cases} r_p = \frac{n_2 \cos \theta_1 - n_1 \cos \theta_2}{n_2 \cos \theta_1 + n_1 \cos \theta_2} \\ r_s = \frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} r_p = \frac{n_2 \cos \theta_1 - n_1 \cos \theta_2}{n_2 \cos \theta_1 + n_1 \cos \theta_2} \\ r_s = \frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \end{cases} \quad (3)$$

で与えられる。また、

$$\delta_j = \frac{2\pi}{\lambda} n_j d_j \cos \theta_{1j} \quad (4)$$

である (λ : 入射波長, n : 屈折率, d : 層厚を表し, 添え字 j は j 層目に関することを示す)。

式(1)を $j = 1$ から多層膜の層数 M まで繰り返し計算することで, M 層多層膜の反射率を算出することができる。なお, プリズムの反射面基準で入射光の偏波面を考える場合, TMモードのLD光がS(Senkrecht)偏光に, TEモードのLD光がP(Parallel)偏光に各々相当する。したがってFig. 1に示す光学レイアウトでの合波では, 635nm帯光をS偏光として反射, 780nm帯光をP偏光として透過させることになる。

635nm帯の反射断面外 (スキュー光線) におけるS偏光とP偏光の位相差を少なくするため, 1/4波長の繰り返し多層膜で構成することを設計指針として光学多層膜の設計を実施した。設計シミュレーションに用いた多層膜構造のモデルをFig. 2に示す。ガラス母材 (BK7) に $(\text{MgF}_2/\text{PbF}_2) \times N$ 層 / MgF_2 の多層膜構造を積層した構造となっている。この光学多層膜の反射率の角度依存性について, $(\text{MgF}_2/\text{PbF}_2)$ の繰り返し数 N をパラメータとしてシミュレーションした結果をFig. 3に示す。 N を8周期以上とすることで, $635\text{nm} \pm 40\text{nm}$ の波長範囲において高効率で平

坦なS偏光の反射率特性が得られることが示された。LDの発振波長ばらつき, および温度特性を考慮しても十分であり, N を8周期としたこの多層膜構造のPBSマイクロプリズムを試作した。

試作したPBSプリズムの反射率の波長依存性の測定結果をシミュレーション結果と比較してFig. 4に示す。実験値は反射損を除いた膜面特性を示すが, 全体的な特性パターンはシミュレーション結果とほぼ一致している。実験値の特性パターンの方が設計値シミュレーション結果に対して変動パターンの周期が短く, 短波長方向にシフトしている傾向が認められるが, 解析結果から試作時の各層の蒸着膜厚が設計値より8%程度薄かったためと推定された。

またFig. 5には, プリズム反射率の入射角度依存性の測定値とシミュレーション結果との比較を示す。測定波長641nmのS偏光 (Fig. 5 (a)), および784nmのP偏光 (Fig. 5 (b)) に対して, 実験値とシミュレーション結果に良い一致が確認できた。

3.2 ハイブリッドチップ実装

次に, ハイブリッドチップ実装による2波長LD合波ユニットの試作について述べる。試作ユニットのチップ実装外観SEM(Scanning Electron Micrograph)写真をFig. 6に示す。合波プリズムとして, 前節で設計した光学膜特性をもつPBSプリズムを1辺1mmに研磨し, 高さ1.5mmに切り出したものを用いた。また45°全反射ミラーには, ガラス母材の研磨斜面にAl蒸着で全反射面を形成し, 断面の直交する2辺を1mmに, 長さを1.2mmに加工したマイクロミラーを用いた。以下, このユニット試作の手順を述べる。

- (1) PBSプリズムと全反射ミラーのマイクロオプティクスをSi基板上に位置決めし, UV(Ultra-Violet)硬化接着剤で固定する。
- (2) サブマウント上に搭載したAlGaAs-LDの前方出射端面をPBSプリズム入射面に押し当てた状態でサブマウントをSiチップに融着固定する。

Fig.2 Model of multilayer-film used in the PBS simulation

Fig.3 Designed wavelength dependence of reflectance of the PBS prism with multilayer film structure as parameters

Fig.4 Simulated and measured wavelength dependence of reflectance of the PBS prism

Fig.5 Simulated and measured incident angle dependence of reflectance of the PBS prism

Fig.6 Scanning electron micrograph of the twin LD coupling function unit

- (3) サブマウント上に搭載したAlGaInP-LDの前方射出端面をPBSプリズムのもう一方の入射面に押し当てて保持する。
- (4) PBSプリズム出射面側から全反射ミラー経由でLD端面像を顕微鏡CCDカメラでモニタしながらAlGaInP-LDの位置調整を行い、2つのLD端面像の水平方向のオーバーラップ具合を最適化する。
- (5) この調整が完了した時点でAlGaInP-LDのサブマウントをSiチップに融着固定する。
- (6) ワイヤボンディングを実施。

Fig. 7 に、LD端面像の観察例を示す。この写真は、プ

Fig.7 Micrograph of the two LD facet images reflected to the mirror

ローブ通電で2つのLDをLED(Light Emitting Diode)モード発光させ、2つの発光点が識別できるようにAlGaInP-LDチップ/サブマウントをAgペーストを介してSi基板から浮かせた状態、かつ水平方向にもずれを残した状態で撮影した。実際の試作における手順(4)の位置調整ではプローブ通電は行わず、2つのLD端面像輪郭のオーバーラップ具合のみを調整して融着し、ワイヤボンディング後に発光点ずれを評価したが、水平方向のずれは $\pm 2\mu\text{m}$ 以下に収めることができた。

本実装形態での2LD発光点の高さ方向の位置合わせは、両LDに同一厚のサブマウントを用いることで自動的に $\pm 1\mu\text{m}$ 程度の精度で達成される。これは、放熱性に優れたジャンクションサイドダウン実装にて発光点高さを最終的に決定するエピタキシャル層厚が、LDウエハ製造プロセスにて厳密に制御できるからである。また光軸方向のアライメントは、両LDチップ端面をPBSプリズムに押し当てることで実現する。したがって、上述のようにプリズム面に沿った水平方向のパッシブアライメントのみを実施することで3軸の発光点位置合わせが完了できる。

4. 評価結果と考察

試作した2波長LD合波ユニットをFig. 8 に示す光学系の光ピックアップに搭載して、基本特性の評価を実施した。Fig. 8 にて、試作ユニットから射出されたレーザ光(DVD用LD, CD用LD切り替え駆動)はハーフミラーで反射され、さらに光軸を垂直に立ち上げるミラーで全反射された後、対物レンズで集光される。ここでは市販のDVD/CD用2波長レンズ(2焦点レンズ)を用いた。そして光ディスクで反射された戻り光は、ハーフミラーの透過光が非点

Fig.8 Optical configuration of experimental pickup head

Fig.9 Optical output through objective lens against LD bias current

(a) AlGaInP-LD for DVD

(b) AlGaAs-LD for CD

Fig.10 Measured focusing error signal

収差を生成するセンサーレンズを経て光検出器で受光される。対物レンズ先で評価したDVD用LDおよびCD用LDの電流-光出力特性をFig.9に示す。高効率の合波が得られていることが確認できる。

光ピックアップにおいて、集光スポットが常に光ディスクの情報記録面に焦点を結ぶように対物レンズを光軸方向に位置制御する際のフィードバック信号として用いる、フォーカシングエラー信号特性を測定した結果をFig.10に示す。この評価では、対物レンズを15Hzの正弦波で光軸方向に加振し、4分割PD(Photo Diode)を用いた通常の非点

収差法で検出した。Fig.10(a), (b)は、各々DVDとCDに対する測定結果を示す。図中、上側トレースは4分割PDエレメントの2つの対角成分出力の和をそれぞれ示し、下側トレースが2つの対角成分和の差で求まるフォーカシングエラー信号（通称Sカーブ特性）を示す。Sカーブ特性は、対物レンズが光軸方向に変位したときの焦点ずれ信号を示すもので、実使用時にはこのSカーブ中央直線部のゼロクロス点にサーボのロックがかかるように対物レンズのアクチュエータがフィードバック制御される。

この実験では、まず波長635nm帯のDVD用LDを駆動して、Sカーブ振幅が最大となるように光検出器（PD-IC）の3次元位置調整を実施し、光検出器を接着固定した（Fig.10(a)）。続いてその調整状態にて、レーザ駆動を波長780nm帯のCD用LDに切り替えた（Fig.10(b)）。DVD用およびCD用の両波長に対して各々ピーク間隔が $9.2\mu\text{m}$ 、 $7.5\mu\text{m}$ の、対称性および中央部直線性の良好なSカーブが得られた。この結果より、本チップ実装方式による2つのLD発光点の相対位置精度が、DVD再生とCD再生で同一の光検出器を共用するに足る十分なレベルであることが確認できた。

5. まとめ

CD-R再生互換DVDピックアップ用の、2つの半導体レーザをハイブリッド集積化した2波長LD合波ユニットを提案し、このユニットの特徴および基礎実験の結果について述べた。

波長635nm帯のAlGaInP系LDチップと波長780nm帯のAlGaAs系LDチップをマイクロPBSプリズムの入射面にレーザ出射端面が接する状態で実装することで、2つのレーザ出射光の高効率の合波が簡便な光軸調整にて行うことが可能となった。

この提案ユニットの試作を行い、ピックアップの基本特性であるSカーブを評価した結果、本LDチップ実装工法による2つの発光点位置調整が、チップ端面の水平方向 $\pm 2\mu\text{m}$ 、高さ方向 $\pm 1\mu\text{m}$ 、光軸方向 $\pm 2\mu\text{m}$ の精度で実現でき、DVD再生とCD再生に同一光検出器を共用するのに十分なレベルであることが確認された。

謝 辞

本研究を進めるにあたって有益なご助言をいただいた三協精機製作所技術本部 宮崎清史本部長、竹村政夫部長、光ピックアップ光学系に関するご教示をいただいた林 善雄担当部長に深謝申し上げます。

(2001.5.1-受理)

文 献

- 1) 内山峰春, 福田勝司, 高村康久: "10.9mmH-DVD用光ピックアップTPU1010", 東芝レビュー, Vol.53, No.2, pp.27-

- 30, 1998
- 2) S.Ura, T.Suhara, H.Nishihara and J.Koyama : "An Integrated-Optic Disk Pickup Device", J.Lightwave Tech., Vol.4, No.7, pp.913-918, 1986
 - 3) Y.Kurata, H.Yamaoka, T.Ishikawa, P.Coops, A.Duijvestijn and P.Zoeten : "CD Optical Pickup Using a Computer Generated Holographic Optical Element", Proc. of Optical Storage and Scanning Technology, SPIE1139, pp.161-168, 1989
 - 4) T.Nagano, E.Ueda, S.Onayama, R.Katayama, H.Hamada and Y.Ono : "Thin Optical Head with Flip-Chip Bonded Module for Compact Disc Read Only Memory Drives", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.32, No.11B, pp.5263-5268, 1993
 - 5) 吉川明男, 中西秀行, 上野 明, 永井秀男, 岩元伸行, 伊藤国雄 : "超薄型光ピックアップ用LDH (レーザ・受光素子・ホログラム) ユニット", 回路実装学会誌, Vol.10, No.5, pp.336-340, 1995
 - 6) L.Y.Lin, J.L.Shen, S.S.Lee and M.C.Wu : "Realization of Novel Monolithic Free-Space Optical Disk Pickup Heads by Surface Micromachining", Opt. Lett., Vol.21, No.2, pp.155-157, 1996
 - 7) 後藤顕也 : "光ディスクヘッドの実装技術と将来技術動向", エレクトロニクス実装学会誌, Vol.2, No.5, pp.354-360, 1999
 - 8) K.Nemoto and K.Miura : "A Laser Coupler for DVD/CD Playback", JSAP International, No.3, pp.9-14, 2001
 - 9) 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., Vol.39, No.3B, pp.1549-1553, 2000