

研究速報

光ディスクにおけるアイパターンのジッター解析 III*

半導体レーザーの非点収差の影響とその補正法

久保田重夫・佐藤 邦宏・福本 敦

ソニー(株)MIPS 事業本部ディスク開発部 〒141 東京都品川区北品川 6-7-35

(1984年12月12日受理)

An Analysis of Eye Diagram Phase Jitter in Optical Disk Systems III

The Effect of Astigmatism in Laser Diode upon Jitter and Its Correction

Shigeo KUBOTA, Kunihiko SATOH and Atsushi FUKUMOTO

Disc Development Division, MIPS Group, Sony Corporation,
6-7-35, Kitashinagawa, Shinagawa-ku, Tokyo 141

A tilted parallel plane plate was employed to correct the astigmatism of a gain-guided laser diode, which was used as the light source of an optical disk pickup. Its thickness and tilt angle were designed so as to keep coma within a tolerable amount. Observed eye diagram phase jitter was 86 ns in the presence of astigmatism of 33 μm . After correction, it was reduced to 55 ns, which agreed well with the simulated value.

利得導波形の半導体レーザーは縦モード多重発振するので、高い時間的コヒーレンスが問題になる用途に適している。この種のレーザーは、ヘテロ接合に垂直な方向の導波が屈折率導波形で、接合面内では利得導波形であるため、非点収差を有する。出射光のビームウェストは、接合垂直方向では共振器端面上にあり、接合面内では共振器内にある。その間隔(非点隔差)は一般に10~数十 μm である¹⁾。非点収差の測定法に関して立野らの報告がある²⁾。利得導波形のレーザーを光ディスク用ピックアップの光源に用いる場合、非点収差が障害になるので、補正法が報告されている³⁾。なかでもレーザー出射光中に光学的平行平板を光軸に対して傾けて挿入し非点収差を補正する方法は簡便で良策である⁴⁾。しかし、この方法を実現するにあたっては、結合レンズの開口数によっては副次的に発生するコマが無視できなくなるので、対策が必要である⁵⁾。

著者らは、光ディスクにおけるアイパターンのジッター解析を行ない、収差のジッターに及ぼす影響について調べてきた⁶⁻⁸⁾。今回ソニーの開発した、MOCVD法を

用いて製造される tapered stripe (TAPS) 構造の利得導波形半導体レーザー^{9,10)} (Fig. 1) が光ディスク用ピックアップの光源として適しているか、再生信号のアイパターンのジッターをもって評価した。実際にコマの発生を十分抑制した非点収差補正板を設計し、レーザー・パッケージに装着して実験した。その結果、非点収差を補正した TAPS レーザーは、ジッターに関し屈折率導波形のレーザーとほぼ同等の性能をもつことを確認したので報告する。

収束光束が傾けられた平行平板を通過するとき、非点収差が発生する¹¹⁾。このとき非点隔差 Δz は、平板の厚さを t 、屈折率を N 、平板の法線と光軸のなす角を θ とすると、

$$\Delta z = -t \cdot \frac{(N^2 - 1) \sin^2 \theta}{(N^2 - \sin^2 \theta)^{3/2}} \quad (1)$$

で与えられる^{11,12)}。平板の法線と光軸で形成される子午面内の光線の収束点は、これに直交する球欠面内の光線の収束点の後方に行ける。したがって、 Δz の非点隔差をもつ半導体レーザーの接合面内のビームウェスト位置を、平板の子午光線の収束点位置に一致するように配置すれば、平板を通過したレーザー発散光の波面の非点収

* 前報: 文献 8) 参照。

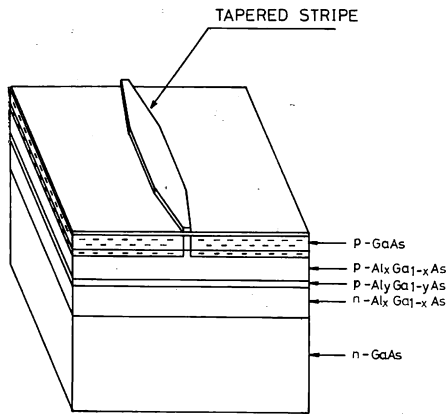


Fig. 1 A gain-guided laser diode with a tapered-stripe (TAPS) structure. Ga_{1-x}Al_xAs/Ga_{1-y}Al_yAs DH structure is grown by metalorganic chemical vapor deposition (MOCVD) on a n-GaAs substrate.

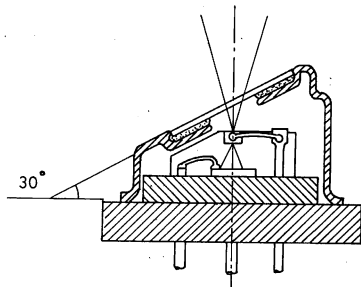


Fig. 2 A tilted window glass is hermetically sealed on the cap. Its thickness and tilt angle were designed so as to correct the astigmatism of a laser diode, keeping coma within a tolerable amount.

差は除去されるはずである。(1)式は結合レンズの開口数によらず成立する。

一方、収束光束が傾けられた平行平板を通過するとき、コマが発生することも知られている。光束の開口数を $\sin\alpha$ とすると、発生する3次のコマの波面収差係数は、

$$w_{31} = -\frac{t}{2} \cdot \frac{(N^2-1)N^2 \sin\theta \cos\theta}{(N^2 - \sin^2\theta)^{5/2}} \sin^3\alpha \quad (2)$$

で与えられる^{8,12)}。したがって、補正板を通過したレーザー光を開口数 $\sin\alpha$ のレンズと結合すると、 $-w_{31}$ のコマが発生することになる。このコマを考慮すると、(1)の補正式に使用できる補正板の厚さ t 、角度 θ に制限が課せられる。非点収差は θ^2 に比例して増加し、コマは θ に比例して増加するので、 t を小さくし θ を大きくするほうが同じ補正量でコマの発生を小さくできるため有

Table 1 Glass thickness, amount of a astigmatism corrected and amount of coma caused.

	Glass thickness (μm)	Astigmatism corrected (μm)	Coma* caused (λ)
I	200	22.0	0.007
II	250	27.5	0.009

* RMS wavefront aberration.

利である。

以上の指針にもとづき、20~30 μm の非点収差をもったレーザーを想定して、2種類の板厚の補正板を設計した (Table 1)。ここで、結合レンズの開口数を0.13、レーザー波長を780 nmとする。補正板の傾き角 θ は、I, IIとも30°とした。レーザーチップは通常パッケージに封入されるが、パッケージのキャップに設けた窓ガラスを傾けて補正板を兼ねるような構造のものを量産化した (Fig. 2)。補正板の材料は屈折率1.5、線膨張係数 $50 \times 10^{-7} \text{mm/mm}^\circ\text{C}$ の光学ガラスで、30°に成型されたキャップ窓取付け面に低融点ガラスを用いて封着される。Fig. 3に板厚200 μm と250 μm の補正板について、非点収差補正量とコマ発生量の傾き角依存性を示す。傾き角を大きくするほど、効果的に非点収差を補正できるが、あまり板厚が薄くなると、強度上、製造上の困難度が増すので、設計の板厚がほぼ最適と考える。

Fig. 4は、今回評価したTAPS構造の利得導波形半導体レーザーの遠視野像で、接合面内で18.5°、接合垂直方向に35°の半値全角の拡がり角をもつ。中心波長は777.5 nmで、光学顕微鏡で近視野像を観察したところ、約33 μm の非点隔差があった。これは最適像面位置で0.073 RMS λ のスポット波面収差に相当する。このレーザーを収差が良好に補正された(0.03 RMS λ)光ディスク

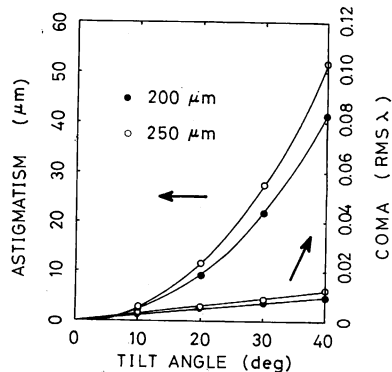


Fig. 3 The amount of astigmatism corrected and the amount of coma caused as functions of tilt angle of plate.

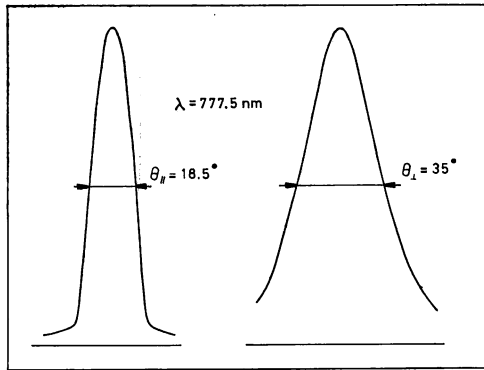


Fig. 4 Far-field pattern of a TAPS laser. For radiation in the plane of active layer (\parallel), and for radiation in the plane perpendicular to it (\perp).

ク用ピックアップの光源に用い、コンパクトディスクのアイパターンのジッターを測定した。

測定に先立ちシミュレーションにより符号間干渉にもとづくジッターを求めた。33 μm の非点隔差に相当する波面収差と遠視野像より光振幅分布を瞳関数に与えた。

Fig. 5 のようにジッター計算値はトラック垂直方向の焦線（第一焦線と呼ぶことにする）位置で最小値 60 ns をとる。横軸は像点移動量（デフォーカス）で、原点はトラック平行方向の焦線（第二焦線）位置にとった。第

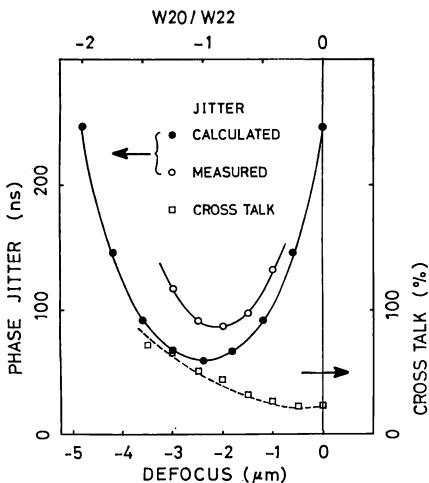


Fig. 5 Calculated and measured phase jitter (peak-to-peak) as functions of defocus. Cross-talk indicates the amplitude of the adjacent track signal detected by the spot scanning midway between the tracks, relative to the amplitude of the RF signal detected by the spot on the track.

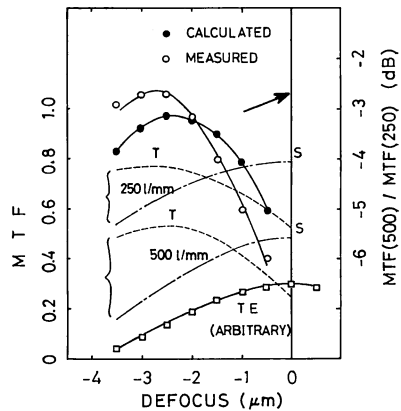


Fig. 6 Readout signal modulation (MTF) of pits at fundamental frequencies of 250 l/mm and 500 l/mm were calculated and measured. The amplitude of tracking error signal (TE) is also plotted.

一焦線は原点より、レーザーの非点隔差に光学系の縦倍率を乗じた $33 \mu\text{m} \times (4.6/17)^2 = 2.4 \mu\text{m}$ 前方（対物レンズ寄り）にある。一方、ジッター測定値（○）の最良点は原点の $2 \mu\text{m}$ 前方にでき、最小値は 86 ns であった。計算値と測定値の差は、像面を原点より前方に移動させるにしたがって増し、増加量はクロストーク（□）の増加量にほぼ一致する。ピット再生信号の、スポットがトラック上にあるときの RF 振幅と、トラック中間位置にあるときの RF 振幅の比をクロストーク値とした。像点移動に伴いスポット形状がトラック方向に長軸をもった楕円から、垂直方向に長軸をもつ楕円に変化するにしたがって、隣接トラックからのクロストークが増し、そのためジッターが増加すると考えられる。

上記のジッター測定におけるデフォーカス量に対応する像面位置を確認するため、等価な瞳関数を汎用光学設計プログラムに入力し、まずスポット回折像を計算し、次に、空間周波数 250 l/mm と 500 l/mm における MTF の対デフォーカス特性を計算した¹³⁾ (**Fig. 6**)。T はタンジェンシャル、S はサジタルを意味し、おのおの、ピット列の方向と、これに直交する方向をさす。Twin spots 法のトラッキング誤差信号の振幅 (TE) をデフォーカス量を変えて測定した (□)。TE の極大はサジタル方向の MTF の計算値の極大と一致すべきだから、両者を一致させてデフォーカス原点とした。一方、タンジェンシャル方向についてみると、250 l/mm における MTF で規格化した 500 l/mm における MTF の計算値 (●) は、デフォーカス量 $-2.4 \mu\text{m}$ で極大になる。次に対応する空間周波数を基本周波数とするピット列を再生しその変

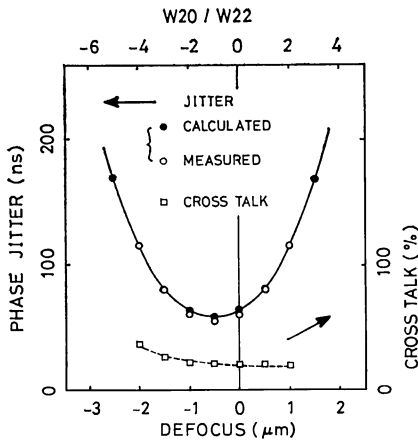


Fig. 7 Calculated and measured jitter (peak-to-peak) of astigmatism-corrected laser diode as functions of defocus. Their minima are very close to the ones obtained for index-guided laser diodes.

調度の比 (○) をとると、ほぼ等しいデフォーカス量 $-2.7 \mu\text{m}$ で極大になった。

Fig. 7 は厚さ $250 \mu\text{m}$ の補正板を用いて非点収差を補正したレーザーのジッター測定値 (○) である。 $0.5 \mu\text{m}$ の非点収差が残留している。これはレーザー光源換算で $6.8 \mu\text{m}$ の隔差に相当するので、実効補正量は $33 - 6.8 = 26.2 (\mu\text{m})$ となり、ほぼ目標補正量 $27.5 \mu\text{m}$ に一致する。像面移動したときのジッター測定値と計算値 (●) の対応はよい。最小値は、おのおの、 55 ns と 60 ns である。この結果は先に報告した屈折率導波形レーザーの

測定結果⁸⁾ にほぼ匹敵し、補正板の効果が十分確認された。

最後に、本シミュレーションは元来、一次元のレスポンス計算であり、隣接トラックからのクロストーク効果は考慮していないので、マレシャル・クライトリオン ($0.07 \text{ RMS } \lambda$) より収差が大きい系では誤差が大きい。しかし、非点収差が小さい系では計算値は測定値とよく一致することがわかった。

本研究の機会を与えていただいたソニー(株)MIPS 事業本部宮岡千里事業本部長と、ご指導賜りました東京大学生産技術研究所小倉磐夫教授に感謝いたします。

文 献

- 1) 伊藤良一: 光学, 13 (1984) 111.
- 2) K. Tatsuno and A. Arimoto: Appl. Opt., 20 (1981) 3520.
- 3) J. P. J. Heemskerk, W. J. Kleuters, W. H. Ophey, P. M. Asbeck, D. A. Cammack and D. Lou: Appl. Phys. Lett., 34 (1979) 835.
- 4) 立野公男, 有本 昭: 実開昭 56-45815.
- 5) 久保田重夫: 特開昭 58-143443.
- 6) S. Kubota: CLEO '82, FU-5 (Phoenix, Arizona, 1982).
- 7) 久保田重夫: 光学, 12 (1982) 437.
- 8) 久保田重夫, 岡美智雄, 大里 潔: 光学, 14 (1985) 137.
- 9) T. Mamine, T. Oda and O. Yoneyama: J. Appl. Phys., 54 (1983) 4302.
- 10) T. Mamine: J. Appl. Phys., 56 (1984) 3116.
- 11) 久保田広: 光学 (岩波書店, 1900) p. 130.
- 12) W. J. Smith: *Modern Optical Engineering* (McGraw-Hill Book Company, New York, 1966) Chap. 4.8.
- 13) CODE V, Optical Research Associates, Pasadena, California, U. S. A.