

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 II*

タンジェンシャル・コマ, ラディアル・コマ, デフォーカスの効果

久保田重夫・岡 美智雄・大里 潔

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11月28日受理)

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

The Effect of Tangential Coma, Radial Coma and Defocusing on Jitter

Shigeo KUBOTA, Michio OKA and Kiyoshi OHSATO

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

Eye diagram phase jitter in the compact disk system was studied under the influence of the following three aberrations: (1) coma parallel to pits (tangential coma), (2) coma perpendicular to pits (radial coma) and (3) defocusing. It was found that jitter increased as the quadratic function of the aberration, but that second-order derivatives varied aberration to aberration. It follows, therefore that to evaluate the effect of an aberration on jitter, one must compare the variance of wavefront aberration multiplied by its second-order derivative. Using a well-corrected pickup device, the jitter was measured and these values agreed well with the simulated values.

再生専用から追記型そして消去可能型にいたる光ディスクの応用のうちで、デジタル信号を扱うデジタルディスクの占める割合は大きい。デジタルディスクは記録されたピットとピット間隔が離散長をとる点で、ビデオディスクのように連続長をとるアナログディスクと異なる。デジタルディスクでは、とくに信号の0→1の変換点が高い位置精度で再現されることが必要である。したがって、信号のビットクロックに同期をかけ、オシロスコープ上に信号表示する、いわゆるアイパターン評価が典型的な信号評価法になっている¹⁾。

著者は光ディスクのアイパターンの近似計算法を考案し、符号間干渉にもとづくジッターを求めて報告した^{2,3)}。この計算法は、光ディスクの記録から再生にいたる過程を信号の伝送路とみたととき、その伝達関数を再生光学系のインコヒーレント照明下におけるOTFで近似する。入力信号にコンパクトディスクの変調方式に従う擬似ランダムデータを用いた。コンパクトディスクの

情報の記録密度は光ディスクの応用のうちでもとくに高く、最短ピット長は約0.9 μm である。再生光学系のレーザー波長を780nm、集光レンズの開口数を0.45とすると、読取りスポットの半径は約0.9 μm になる。したがって、スポット中心が信号の変換点上にあるとき、Airyの第1輪帯は隣接する変換点にかかる確率が存在する。そのため無収差光学系でも符号間干渉によるジッターが発生する。符号間干渉によるジッターは収差の摂動を与えると増加する。とくにディスクが傾いて、情報トラックの方向にコマが発生したときのジッターの増加を調べ、傾き角に対してほぼ2次関数的に変化することを見いだした。

今回、収差が良好に補正された再生光学系を用いて、(1)トラック接線方向のコマ(タンジェンシャル・コマ)、(2)トラック垂直方向のコマ(ラディアル・コマ)および、(3)デフォーカスのジッターに及ぼす影響を調べ、計算値とよい一致を得たので報告する。

Fig. 1は再生光学系の光路図である。集光レンズの開口数は0.47である。Fig. 2は使用した波長784nm

* 前報: 文献 3) 参照。

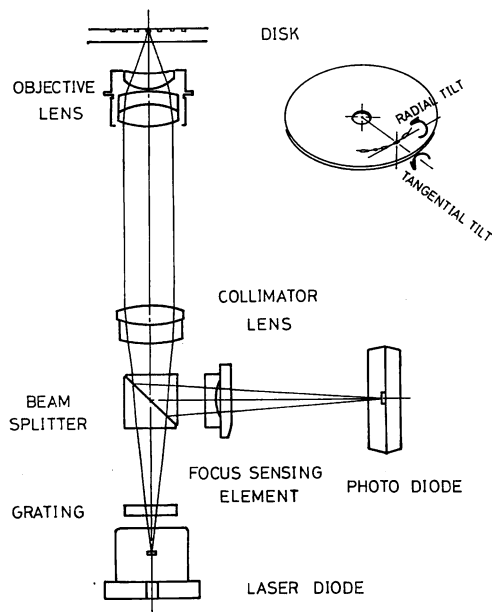


Fig. 1 Jitter measurement pickup system. Disk can be tilted in tangential and radial direction.

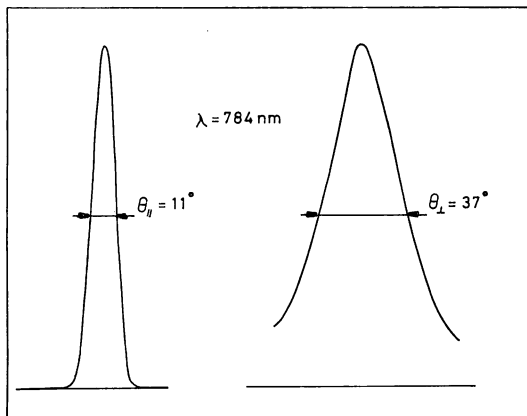


Fig. 2 Far-field pattern of laser diode.

のインデックスガイド型の半導体レーザーの遠視野像で、レーザーの接合平行方向、垂直方向におおの 11° 、 37° の半値全角の放射角分布をもつ。結合するコリメートレンズの実効開口数は0.127で、これらより集光レンズの瞳関数の振幅項が計算できる。具体的な数値は**Fig. 4**で与えるが、一様入射よりも適度な Gaussian apodization があるほうが、符号間干渉によるジッターが低減する。**Fig. 3**は組み上げられた再生光学系の波面収差で、最良像面位置での RMS 波面収差は 0.03λ であった。ただし、測定にはヘテロダイン型の T-G レーザー干渉計を用いた。光源には単一縦モードのヘリウム

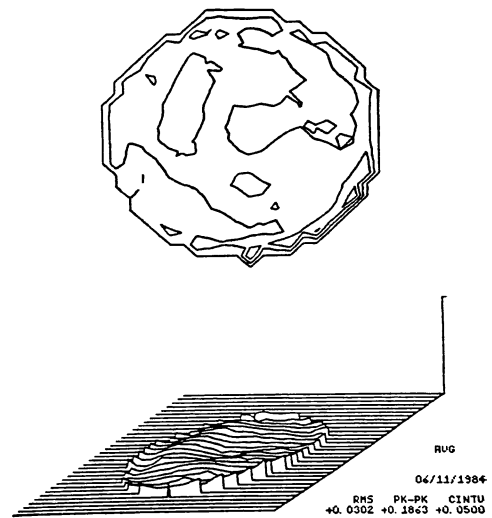


Fig. 3 Wavefront aberration of pickup system. RMS error of 0.03λ is shown, where $\lambda=633\text{ nm}$.

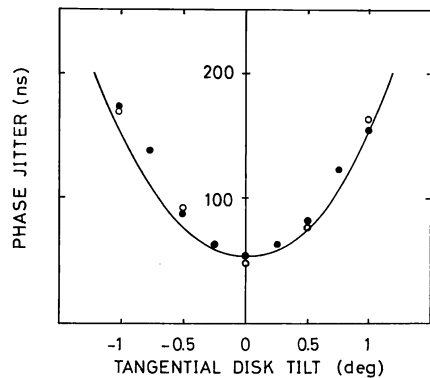


Fig. 4 Phase jitter (peak-to-peak) as a function of tangential tilt angle. Solid line is simulated jitter curve. O: Jitter obtained by a versatile wavefront digitizer. ●: Jitter obtained by the newly developed measuring system.

ネオンレーザーを用いているので、 $\lambda=0.633\mu\text{m}$ である。

この再生光学系においてコンパクトディスクをトラック接線方向にやや傾け、コマを発生させたときの符号間干渉にもとづくジッターの増加を**Fig. 4**に示す。使用したコンパクトディスクの屈折率は1.49、厚さは1.2 mmである。解析的には、板厚 t 、屈折率 N の平行平板中を、開口数 $\sin\alpha$ に相当する収束光束が通過するとき発生する3次のコマの波面収差係数は、平板の法線が光軸となす角を θ とすると、

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

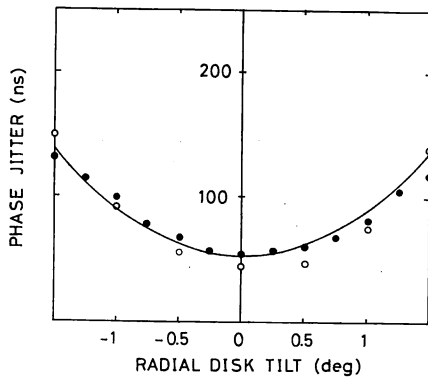


Fig. 5 Phase jitter (peak-to-peak) as a function of radial tilt angle.

で与えられ⁴⁾, θ が小さいとき w_{31} は θ に比例する。像点の最適横移動量を $w_{11} = -(2/3)w_{31}$ で与え、瞳関数の位相項を計算し、瞳関数をフーリエ変換して光ディスク伝送系のインパルス応答と仮定した線像強度分布を求めた。図の実線は、入力信号の擬似ランダムデータと線像強度分布のコンボリューションより計算したアイパターンジッターの p-p 値で、傾き角、したがって w_{31} に対して2次関数的に増加している。無収差時の符号間干渉によるジッターは 54 ns で、開口数 0.45 の集光レンズに一樣入射光を仮定した、先の報告^{2,3)} のジッター値 70 ns よりかなり低減している。図中の白丸は汎用波形解析装置を用いた従来のジッター測定器によるもの、黒丸は今回開発した専用測定器による測定値である。新測定器はデータの取込み、後処理がハードウェア化され、リアルタイムで、約 0.2 s 間の非常に多数の変換点におけるジッターをヒストグラム表示することができる。汎用解析装置では後処理をソフトウェアで行なうため、長い処理時間を要した。精度上は両者はほぼ同等と考えられる。測定値と計算値はよい一致を示している。

Fig. 5 はディスクをトラック垂直方向に傾け、コマを発生させたときの符号間干渉によるジッターの増加を表す。計算上は(1)の瞳関数を用いて、サジタル方向に線像強度分布を計算し、インパルス応答としている。ジッター増加曲線は、傾き角、したがって w_{31} に対して2次関数的に変化し、測定値とよく対応している。**Fig. 4** と **Fig. 5** を比較すると、タンジェンシャル・コマとラディアル・コマによるジッター曲線の2次微係数の比は、ほぼ 2:1 である。

Fig. 6 に集光レンズの駆動回路に電氣的にバイアスを与え、デフォーカスを発生させたときの符号間干渉に

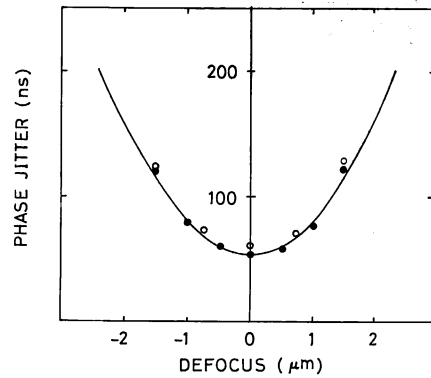


Fig. 6 Phase jitter (peak-to-peak) as a function of defocusing.

よるジッターの増加を示す。ここで、焦点深度は $w_{20} = (1/2)NA^2\Delta z = \lambda/4$ より計算すると、 $\Delta z = 1.77 \mu\text{m}$ である。ジッターはデフォーカス量、 Δz あるいは w_{20} に対して2次関数的に変化する。

以上、収差によるアイパターンのジッターの影響を調べた。収差として、(1)タンジェンシャル・コマ、(2)ラディアル・コマ、(3)デフォーカスを考えた。ジッターは各波面収差に対して2次関数的に変化する。しかし、収差の種類・方向によって、ジッター曲線の2次微係数は異なる。したがって、収差によるジッターの影響を評価する場合、波面収差の variance にジッター曲線の2次微係数を係数として乗じて大小を比較することが必要である。収差が良好に補正された再生光学系を用いてジッターを測定した。測定値は計算値とよく一致した。

今後の課題として、他の3次収差(球面収差、非点収差)のジッターへの影響を調べ、今回のコマ、デフォーカスに対する結果と対比したい。

おわりにあたり、本研究の機会を与您えいただきましたソニー(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) J.P.J. Heemskerk and K.A.S. Immink: Philips Tech. Rev., **40** (1982) 157.
- 2) S. Kubota: CLEO '82, FU-5 (Phoenix, Arizona, 1982).
- 3) 久保田重夫: 光学, **12** (1983) 437.
- 4) W.J. Smith: *Modern Optical Engineering* (McGraw-Hill Book Company, New York, 1966) Chap. 4.8.