



光磁気ヘッド用高密度デュアルグレーティング

前田 英男・大内田 茂・北林 淳一・井口 敏之

(株)リコー中央研究所 〒223 横浜市港北区新栄町 16-1

(1991年2月13日受付, 1991年5月13日受理)

A High Density Dual Grating for Magneto-Optical Disk Head

Hideo MAEDA, Shigeru OHUCHIDA, Junichi KITABAYASHI and Toshiyuki INOKUCH

Research and Development Center, Ricoh Co., Ltd.,
16-1, Shinei-cho, Kohoku-ku, Yokohama 223

(Received February 13, 1991; Accepted May 13, 1991)

A high density dual grating (DG) has been proposed and fabricated. DG combines three signal detection functions and miniaturize magneto-optical disk heads. DG is a holographic optical element composed of two types of pitch on both sides of a transparent substrate. In particular, DG exhibits wavelength independence of diffracted angle. Magneto-optical signal can be detected by high density gratings. Focusing error signal can be detected by a modulation-pitched grating. Tracking error signal can be detected using push-pull method. In DG fabrication, two beam interference method and 2P duplication method were used. As results, light efficiency of 83.0% and extinction ratio of 16.5 dB for polarization separation were obtained. This allows detection of magneto-optical signal. In focusing error signal detection characteristics, dynamic range was $49.1 \mu\text{m}$. Focus offset is evaluated to be about $0.4 \mu\text{m}$ for 5 nm change in wavelength. This allows stable detection of focusing error signal. It has been confirmed that tracking error signal can also detected.

1. ま え が き

書換え可能な光磁気ディスクシステムに用いる光磁気ヘッドは、従来の再生専用の光ヘッドに比べ、部品点数が多く、より小型化、高速化、信頼性の向上が望まれている。ホログラム光学素子を用いると所望の波面の形成が可能であり、従来の再生専用の光ヘッド光学部品の機能を複合化することで、光ヘッドの構成部品点数を削減し、小型軽量化を図った例が報告されている¹⁻³⁾。また、ホログラムの偏光分離特性を利用して光磁気ヘッドの光磁気信号検出部を構成した例が報告されている^{4,5)}。ホログラム光学素子を用いて光磁気ヘッドの機能を複合化するには、さらに幾つかの課題を達成しなければならない。第1に光磁気信号を検出するに十分な高消光比の偏光分離特性、第2にホログラム光学素子の高い光利用効率の確保、第3に光源の半導体レーザー特有の大きな波長変化が原因となる回折角変化(回折角分散)の抑制で

ある。

本報告においては、これらの課題を達成するとともに、光磁気ヘッドの3信号検出機能(光磁気信号検出機能、フォーカス誤差信号検出機能、トラック誤差信号検出機能)を複合化できる新しいホログラム光学素子、デュアルグレーティング(dual grating 略して DG)について述べる。

さらに、DGを用いた信号検出系を試作し、その基本特性を明らかにする。

2. DG の構成と機能

一般に、光磁気ヘッドの信号検出機能としては光磁気信号検出、フォーカス誤差信号検出、トラック誤差信号検出の三つがある。

従来、これらの信号を検出するために、ディスクからの情報を含んだ反射光は、個別の光学部品を用いて構成された検出系に分割されている。光磁気信号検出系では

ウォラストンプリズムや偏光ビームスプリッタなどの偏光分離素子が用いられている。フォーカス誤差信号検出系においては非点収差から信号を検出する方法が代表的であり、光学部品としてレンズとシリンドリカルレンズが組み合わされて用いられている。トラック誤差信号検出系においては、高速な応答を示す2分割のフォトダイオード (PD) を用いたプッシュプル法が用いられているが、PD の受光面積が小さいため、集光用にレンズを用いている。これら三つの信号検出機能を一つの光学素子に複合化し、小型化を図るため、DG を採用することとした。

DG は、Fig. 1 に示すように透明基板の表面 (光の入射面) と裏面 (光の出射面) にそれぞれ高密度な表面レリーフグレーティングを形成したホログラム光学素子である。表面には等ピッチグレーティングを形成し、裏面にはピッチの分布を単調に変化させたグレーティング (変調ピッチグレーティング) を形成する。

DG における3信号検出機能は基本的には片面のグレーティング (single grating 略して SG) の特性で実現できる。

光磁気信号検出とは光磁気ディスクからの反射光の偏光のカー回転を読みだすものであり、偏光分離性が要求される。これは、グレーティングを高密度化し⁶⁾、回折効率の偏光依存性を高めることで実現できる。

フォーカス誤差信号検出に必要なシリンドリカルレンズと同様の集束作用はグレーティングを変調ピッチ化することで得られる。

プッシュプル法によるトラック誤差信号は別個に用意した検出レンズによる集束光をグレーティングの透過光として検出することで得られる。光利用効率はグレーティングを深溝化することで向上できる。

DG を用いて信号検出系を構成すると SG に比べ四つの利点がある。

第1に、偏光分離素子としての消光比が2回の回折お

よび透過により向上する。

第2に、2回の回折により回折光は透過光と同方向に出射されるため、検出系が占める空間が小さくなり小型化が図られる。

第3に、回折光用 PD と透過光用 PD を同一平面上に集積化できる。

第4に、従来ホログラム光学素子を応用する際に問題となっていた回折角分散が軽減される (4項参照)。

3. DG を用いた光磁気ヘッド構成と信号検出原理

DG を用いた光磁気ヘッドの構成例を Fig. 2 に示す。Fig. 2 に示した構成例にもとづき DG を用いた光磁気ヘッドの動作を説明する。光源の半導体レーザー (LD) からの出射光は発散光なので、コリメートレンズで平行光に変換される。また、その発光パターンが楕円型なのでプリズムでビーム整形し円形にする。ビームスプリッタを通った LD 光は対物レンズでディスク上に集光される。ディスクからの情報を含んだ反射光は同様の経路を経たのちビームスプリッタで反射され、検出レンズ以下の信号検出系 (Fig. 3) に導かれる。

以下、Fig. 3 にもとづき説明する。信号検出系は検出レンズ、DG、集積化された PD から構成される。ディスクからの反射光は検出レンズにより集束され、DG に入射する。入射角 θ_1 は表面のグレーティングのブラッグ角に設定する。DG はディスクからの反射光の P 偏光成分 (格子ベクトルを含む偏光面を持つ偏光成分) と S 偏光成分 (P 偏光成分と垂直な偏光面を持つ偏光成分) の光強度が等しくなるように設定する。S 偏光は2回回折し、P 偏光は2回透過する。回折光と透過光は同方向に出射され、集積化された PD で検知される。透過光 (P 偏光) 強度と回折光 (S 偏光) 強度はディスク

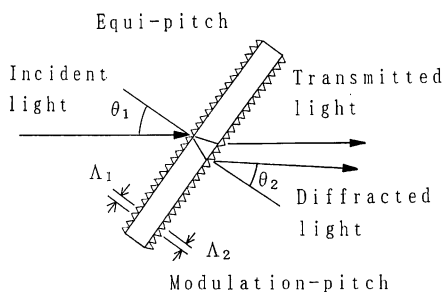


Fig. 1 Schematic view of DG.

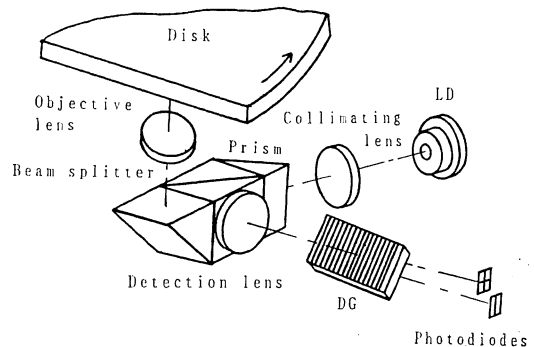


Fig. 2 Schematic view of magneto-optical disk head using DG.

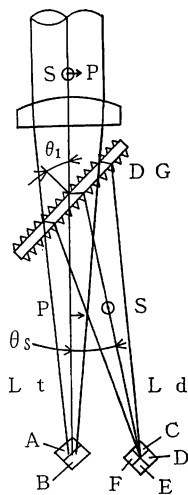


Fig. 3 Diagram of the signal detection system where θ_s is separation angle, θ_1 is incident angle, L_t is transmitted light, and L_d is diffracted light.

からの信号に応じて差を生じるので、透過光用 PD の出力と回折光用 PD の出力の差が光磁気信号となる。すなわち、光磁気信号を M_o (magneto-optical signal) とすると

$$M_o = (A+B) - (C+D+E+F) \quad (1)$$

回折光には、裏面の変調ピッチグレーティングがもつシリンダリカルレンズと同様の集束作用により非点収差が生じるため、非点収差法によりフォーカス誤差信号の検出を行うことができる。すなわち、フォーカス誤差信号を F_o (focusing error signal) とすると

$$F_o = (C+E) - (D+F) \quad (2)$$

透過光からはプッシュプル法によりトラック誤差信号が得られる。すなわち、トラック誤差信号を Tr (tracking error signal) とすると

$$Tr = A - B \quad (3)$$

以上のように DG を用いて光磁気ヘッドの3信号検出機能を複合化できる。

4. DG を用いた信号検出系の諸元の設定

信号検出系の諸元は光線追跡法により、また DG の諸元は光波結合理論によってシミュレーションを行い設定する。ここでは特に DG が二つのグレーティングで構成されている点に注目して回折角分散の解析を行うこととし、両面のグレーティングをともに等ピッチであるとする。DG の回折条件式は(4)式で表される。

$$\sin \theta_1 - \sin \theta_2(\lambda) = \lambda(1/A_1 - 1/A_2) \quad (4)$$

ここで、 θ_1 : 入射角, $\theta_2(\lambda)$: 回折角, λ : 波長, A_1 : 表面のグレーティングのピッチ, A_2 : 裏面のグレーティングのピッチ。

回折角分散は(4)式を λ で微分することにより得られ、(5)式のように表される。

$$d\theta_2(\lambda)/d\lambda = -(1/A_1 - 1/A_2)/K \quad (5)$$

ただし、

$$K = [1 - \{\sin \theta_1 - \lambda(1/A_1 - 1/A_2)\}^2]^{1/2} \quad (6)$$

A_1 と A_2 を近い値にとると、(5)式右辺の分子はゼロに近づき、一方分母の K は $\cos \theta_1$ に近づくので、全体として $d\theta_2(\lambda)/d\lambda$ はゼロに近づく。すなわち、回折角分散は小さくなる。ここで裏面のグレーティングのピッチは、以下の理由から、表面のグレーティングのピッチより小さくする。波長変化が生じた場合、表裏面のグレーティングで生じる回折角変化は、ピッチが同じであれば、打ち消しあう。しかし、表面のグレーティングの回折角変化によって裏面のグレーティング上での光軸位置が変化する。したがって、PD 上でもスポット位置変化が生じることになる。そこで、裏面のグレーティングのピッチをわずかに小さくすることにより回折角変化を生じさせ、スポット位置変化を小さくする。

波長が変化した場合の PD 上でのスポット位置変化のシミュレーション結果を **Fig. 4** に示す。スポット位置変化は、DG の場合、SG の場合に比べ2桁近く小さくなる。また、同じ DG においても、スポット位置変化は、分離角 $\theta_s=0^\circ$ の場合よりも、 $\theta_s=4.7^\circ$ の場合の方がわずかに小さい値となる。通常のオフィス環境温度

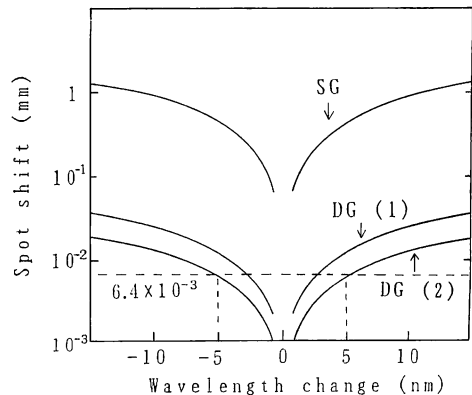


Fig. 4 Calculated spot shift vs. wavelength change for SG, separation angle $\theta_s=91.6^\circ$ ($A_1=0.554 \mu\text{m}$) and for DG (1) $\theta_s=0^\circ$ ($A_1=0.544 \mu\text{m}$, $A_2=0.544 \mu\text{m}$), (2) $\theta_s=4.7^\circ$ ($A_1=0.544 \mu\text{m}$, $A_2=0.524 \mu\text{m}$), while distance between DG and PD is 32 mm, substrate thickness is 1 mm and λ is 775.5 nm.

Table 1 Design parameters of the signal detection system using DG.

Wavelength	775.5 nm
Focal length of the detection lens	55 mm
Pitch of equi-pitched grating	0.544 μm
Pitch of modulation-pitched grating at optical axis	0.524 μm
Refractive index of gratings	1.484
Incident angle	45.8°
Uni-directional focal length of modulation-pitch grating	60 mm

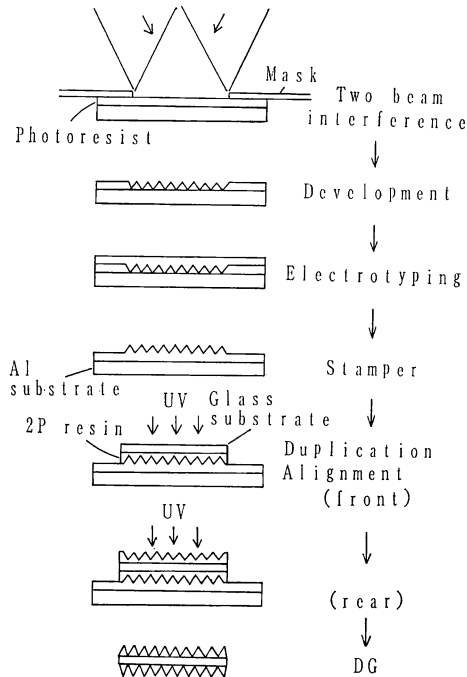
変化約 20°C の場合に生じる波長変化 5 nm に対して、 $\theta_s=4.7^\circ$ の場合のスポット位置変化は 6.4 μm である。

以上のようなシミュレーションを行い DG を用いた信号検出系の諸元を **Table 1** のように設定した。

5. DG の作製

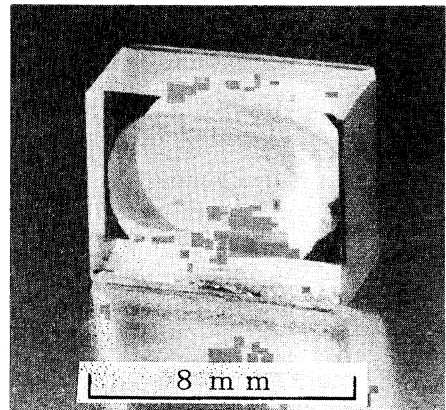
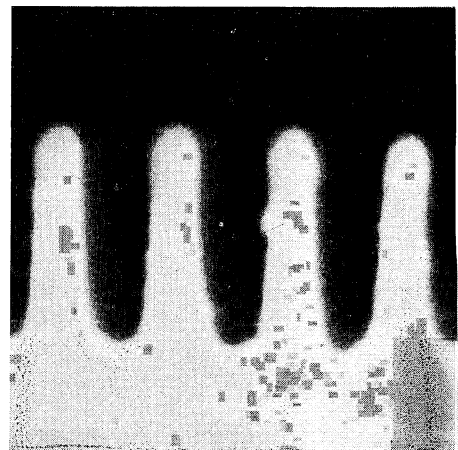
DG の作製工程は原板作製、スタンプ作製、複製に分けられる。原板とスタンプは両面のグレーティングについて各々作製する。DG の作製フローダイアグラムを **Fig. 5** に示す。

原板は二光束干渉露光法により作製する⁷⁾。二光束干渉露光法は、高い回折効率と複製を容易に実現する正弦波状断面グレーティングを記録材料であるフォトレジス

**Fig. 5** Process flow diagram of DG.

トの広い領域に作製できる露光法である。等ピッチグレーティング作製の露光系においては平行な物体光と参照光を用いる。一方、裏面の変調ピッチグレーティング作製の露光系においてはシリンジカルレンズと同様の集束作用をもつ物体光と平行な参照光を用いる。二光束干渉露光系の諸元については光線追跡法により最適設計を行った。グレーティング溝深さと露光量の関係は実験により求め、最適な溝深さを得るための露光量を決定した。

スタンプは、表面の等ピッチグレーティング用、および裏面の変調ピッチグレーティング用の各々に対応した原板により作製する。電極膜としてニッケルを原板上にスパッタしたのちニッケル電鍍を行いさらに Al 基板を裏打ちしてスタンプを得る。複製は 2P 法により行う。最初に等ピッチグレーティングスタンプ表面上に一定量のモノマーを滴下し、所定の洗浄を終えたガラス基

**Fig. 6** Actual photograph of DG, shown to scale.**Fig. 7** SEM profile of equi-pitched grating. Pitch · 0.544 μm , Depth : 1.05 μm .

板を所定位置に密着させる。紫外線照射によるモノマー重合後、基板を剥離する。変調ピッチグレーティングも同様な過程を経て基板裏面に複製する。

得られた DG の外観写真を Fig. 6 に示す。縦 5 mm 横 8 mm のガラス板の両面に 2P 複製格子が形成されている。Fig. 7 に複製等ピッチグレーティングの断面形状 SEM 写真を示す。原板の断面形状が忠実に再現されている。

6. DG を用いた信号検出系の諸特性

作製した DG を用いて信号検出系を構成し、各信号検出特性を評価した。

6.1 偏光分離特性

DG の偏光分離特性を Fig. 8 に示す。光利用効率として 83.0% (入射偏光角は 45°), 消光比としては S 偏光と P 偏光で同じ 16.5 dB を得た。このことより、従来実用に供されているウォラストンプリズム (集束光入力時、光利用効率約 94%, 消光比 20 dB を仮定) を用いた場合に比べ、読み出し C/N は約 0.55 dB 劣化すると予測されるが、DG への入射光強度を約 13% 増加させることなどで補償できる (付録参照)。

6.2 フォーカス誤差信号検出特性

デフォーカス量はディスク基板をモーターで振動させて制御した。フォーカス誤差信号検出特性を Fig. 9 に示す。図の中央付近の線形領域上にある変曲点は、二光束干渉露光系を構成する光学部品の収差等の影響で回折光に重畳されるノイズ成分によるものと考えられる。ダイナミックレンジは 49.1 μm と実用的な値を得た。

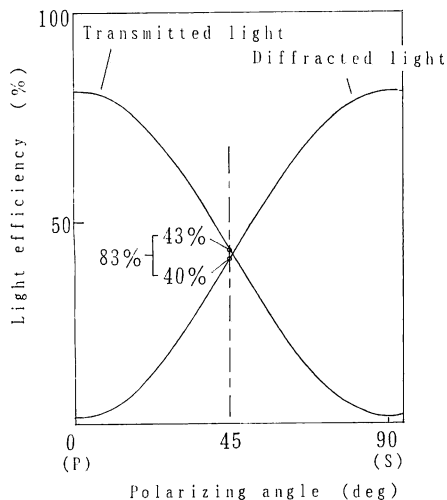


Fig. 8 Measured polarization separation characteristics of DG.

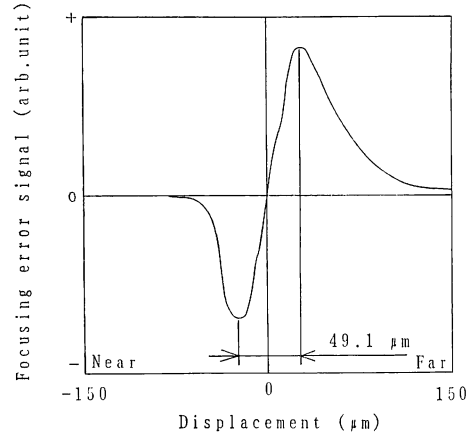


Fig. 9 Measured focusing error signal of DG.

6.3 トラック誤差信号検出特性

トラックずれ量はピエゾを用いて制御した。トラック誤差信号検出特性を Fig. 10 に示す。ディスクの振動に追従して安定な信号が得られた。

6.4 波長安定性

温度を変えることにより LD 波長を変化させ、SG と DG のスポット位置変化を調べた。スポット位置変化の様子を Fig. 11 に示す。5 nm の波長変化に対し、DG の場合、PD 上でのスポット位置変化は、シミュレーション値とほぼ同じ 8 μm であった。この値は、光磁気ヘッドに一般に用いられている N. A. 約 0.5 の対物レンズのフォーカスずれ約 0.4 μm に相当し、例えばその焦点深度約 1.4 μm に比較して小さいため十分許容範囲内にある。また、SG の場合の PD 上でのスポット位置変化は 300 μm であり、デュアル構造の効果の大きいことを示している。さらに、スポットプロファイルは、SG の場合大きく変化するのに対し、DG の場合ほとんど

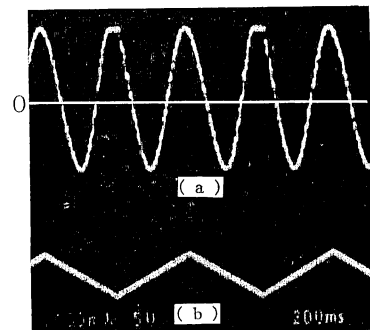


Fig. 10 Measured tracking error signal of DG. (a) Tracking error signal, (b) Voltage for driving the piezo.

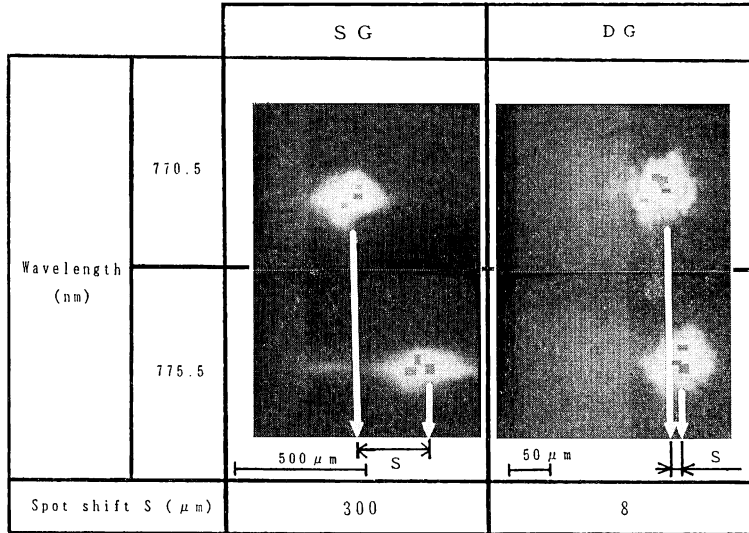


Fig. 11 Measured spot shift vs. wavelength change.

ど変化が見られない。以上のことから DG により、安定な検出特性が得られることがわかる。

7. ま と め

従来独立に設けられていた三つの信号検出系を一つに複合化でき、光磁気ヘッドの小型軽量化を実現する新しい光学素子 DG を提案し、試作評価によりその基本特性を明らかにした。すなわち、

- i) 光磁気信号検出に必要な高消光比の偏光分離特性と光利用効率の向上を図る方法として、グレーティングを深溝化するとともに、ピッチを波長 775.5 nm に対して 0.54 μm 程度に高密度化することで、光利用効率 83.0%、消光比 16.5 dB を得た。
- ii) フォーカス誤差信号を得る方法として変調ピッチ化したグレーティングと検出レンズの組合せにより非点収差を発生させ、ダイナミックレンジ 49.1 μm を得た。
- iii) トラック誤差信号は透過光にプッシュプル法を用いて得られることを確認した。
- iv) 波長変化による回折角変化は 2 回の回折により相殺され、安定となることを確認した。

今後、DG を用いた光磁気ヘッドの実装評価を検討するとともに、DG の生産面での検討を行っていく。また、光ディスクの大容量化に伴う LD の短波長化に対応できる DG の検討を行っていく。

文 献

1) Y. Kimura, S. Sugama and Y. Ono: "High perfor-

mance optical head using optimized holographic optical element," *Proceedings of the International Symposium on Optical Memory*, Tokyo (1987), Jpn. J. Appl. Phys., **26**, Suppl. 26-4 (1987) 131-134.

- 2) K. Tatsumi, T. Matsushita and S. Ito: "A multi-functional reflection type grating lens for the CD optical head," *Proceedings of the International Symposium on Optical Memory*, Tokyo (1987), Jpn. J. Appl. Phys., **26**, Suppl. 26-4 (1987) 127-130.
- 3) 吉田圭男, 倉田幸夫, 山岡秀嘉, 石川俊夫: "ホログラムを用いた CD 用ピックアップ", 微小光学研究グループ機関誌, **7** (1989) 102-107.
- 4) N. Kawatsuki and M. Uetsuki: "Crossed grating beam splitter for magneto-optical pickup head," Jpn. J. Appl. Phys., **29** (1990) 2420-2423.
- 5) Y. Kimura and Y. Ono: "Polarizing holographic optical element," *Technical Digest of 1st MICRO-OPTICS Conference*, F.8, 162 (1987).
- 6) K. Yokomori: "Dielectric surface-relief gratings with high diffraction efficiency," *Appl. Opt.*, **23** (1984) 2303-2310.
- 7) H. Maeda, Y. Sumi, S. Ohuchida, J. Kitabayashi and T. Inokuchi: "A high density dual type grating for magneto-optical disk head," *Proceedings of the International Symposium on Optical Memory*, Kobe (1989), Jpn. J. Appl. Phys., **28**, Suppl. 28-3 (1989) 193-195.
- 8) 松林宣秀: "光学ヘッドの開発 (II)", 光磁気ディスク, 今村修武監修 (トリケップス, 東京, 1986) pp. 205-227.

付 録

光磁気ディスクの C/N は (a) 式で表される⁹⁾。

$$C/N = 20 \log \{ Q(1 - E^2) / (1 + E^2)^{1/2} I^{1/2} \sin \theta_k \}$$

(a)

ここで、Q は比例定数、I は偏光分離素子の光利用効率、E は偏光分離素子の消光比、θ_k はカー回転角であ

る. ウォラストンプリズムの表示を添字 w を用いて表し, DG の表示を添字 d を用いて表すと, ウォラストンプリズムと DG の C/N の相違は (b) 式で表される.

$$\begin{aligned} (C/N)_w - (C/N)_d \\ = 20 \log \{ (1 - E_w^2)(1 + E_d^2)^{1/2} / (1 - E_d^2)(1 + E_w^2)^{1/2} \} \\ + 10 \log(I_w/I_d) \end{aligned} \quad (b)$$

(b) 式を用いて, DG (光利用効率 83.0%, 消光比

16.5 dB) と, ウォラストンプリズム (光利用効率約 94%, 消光比 20 dB) の C/N の相違は約 0.55 dB と求められる. また, DG に入射させる光強度をウォラストンプリズムに入射させる光強度に比べ約 13% 増加させることで, DG においても, ウォラストンプリズムの場合と同じ C/N が得られる.