

研究

680 nm 半導体レーザーを用いた 光磁気ディスク用分離光ヘッド

入江 満*・宇多小路雄*・唐木 盛裕*・有本 智**
山田 康一***・藤田 輝雄*・木目健治朗*

* 三菱電機(株)電子商品開発研究所 〒617 長岡京市馬場町 1

** 三菱電機(株)光・マイクロ波デバイス研究所 〒664 伊丹市瑞原 4-1

*** 三菱電機(株)産業システム研究所 〒661 尼崎市塚口本町 8-1-1

(1992年8月6日受付, 1992年10月26日受理)

A Split-Type Optical Head Using 680 nm Laser Diode for High-Density Magneto-Optical Disk Drives

Mitsuru IRIE,* Takeshi UTAKOUI,* Morihiko KARAKI,* Satoshi ARIMOTO,**
Kouichi YAMADA,*** Teruo FUJITA* and Kenjiro KIME*

* Consumer Electronics Laboratory, Mitsubishi Electric Corporation,
1, Babazusho, Nagaokakyo 617

** Optoelectronic & Microwave Devices Laboratory, Mitsubishi
Electric Corporation, 4-1, Mizuhara, Itami 664

*** Industrial Electronics & Systems Laboratory, Mitsubishi Electric
Corporation, 8-1-1, Tsukaguchi-Honmachi, Amagasaki 661

(Received August 6, 1992; Accepted October 26, 1992)

A split-type optical head equipped with a high-power visible laser diode has been developed for high-density 3.5" magneto-optical disks. A diffraction-limited optical spot whose diameter is $0.97 \mu\text{m}$ at the $1/e^2$ the maximum, about 20% smaller than that of present head, are obtained on the disk. Compatibility of read-out performance with the current magneto-optical disk designed for 780 nm optical heads, read-out characteristics in $1.2 \mu\text{m}$ narrow track pitch disk and read/write characteristics using 90 mm commercial-type optical disk drives were examined. In a result, Carrier to noise ratio of 47 dB or better was achieved at a $0.8 \mu\text{m}$ mark length.

1. はじめに

光ディスク装置の実用化が進むに伴い、記録密度の向上、データ転送速度の高速化を図った高機能・高性能光ディスク装置への要求が高まってきた。

光ディスクの記録密度を決定する基本的な要因は、光ディスク上に集光された光スポットの大きさ(径)であり、この径の小径化が高密度化の課題となる。光スポット径は、光源の波長(λ), 対物レンズの開口数(NA; numerical aperture)を用いるとおおよそ λ/NA で与えられる。対物レンズの NA を大きくすることは、サーボ性

能や機械的精度の維持が困難になるため、記録密度の向上を図るには光源の波長を短くすることが強く要求されている。

光源として半導体レーザー(laser diode 以下 LD と略す)を用いる場合、これまで用いられた III-V 族化合物半導体では物質のエネルギーギャップで決まる限界発振波長が 600 nm 程度(黄色)と言われており、それ以下の緑、青色帯域までの短波長化には広いバンドギャップを有する II-VI 族半導体等を用いた LD が必要となる。現在、基礎的な研究が推進され、液体窒素温度での発振($\lambda=490 \text{ nm}$)¹⁾の報告がなされているが、実用化ま

でははまだ、かなりの年月が必要とされている。一方、超高密度光ディスクの開発をめざし、光源波長の飛躍的な短波長化を達成するために非線形光学効果を用いた波長変換技術による SHG (second harmonic generation) 光源²⁾ を用いた検討も行われている^{3,4)}。

これらの背景のもと、2~4 倍の記録密度の向上を図ろうとする次世代光ディスク装置や、ハイビジョン・ビデオディスクの実用化に向けて、赤色可視光 LD を光源に用いた光ヘッドの開発が進められている⁵⁻⁷⁾。これらの光ヘッドでは、対物レンズの高 NA 化 (0.55~0.6) の併用により光スポット径 ($1/e^2$) 約 $1.0 \mu\text{m}$ を得ており、トラック幅の縮小化、ピットエッジ記録方式などと併せて 2~4 倍の記録面密度向上が実現できる。

われわれは、光源に高出力可視光 LD (680 nm, 30 mW) を使い、従来より光スポット径を約 20% 小径化した高密度 90 mm 光磁気ディスク装置に適用できる分離形光ヘッドを開発した⁸⁾。本報告では、光ヘッドの概要、現行 780 nm 仕様媒体との互換特性および狭トラックピッチディスクによる評価結果について述べる。さらに、本光ヘッドを搭載した 90 mm 光ディスク装置を試作して得られた記録・再生特性についても報告する。

2. 光ヘッドの構成⁹⁾

光ディスク装置の小型化、アクセス時間の高速化に対応するために対物レンズアクチュエータのみを駆動する分離形光ヘッド構成を採用した。Fig. 1 (a) に光ヘッドの外観写真を、(b) には光学系の概略構成図を示した。フォーカスセンサーにはフーコー法を、トラッキングセンサーにはプッシュプル法を用いている。また、高出力可視光 LD のアスペクト比 (LD 放射角 $\theta_H=9 \text{ deg}$, $\theta_A=22 \text{ deg}$) を 2.5 程度にまで低減し、開口数 0.145 のコリメートレンズを用いた直接集光系によって記録パ

ワー 9 mW の確保を実現した。

アクチュエータ分離形光ヘッドにおいては、可動部移動軸と光軸の位置ずれがセンサー特性に影響を与えることが広く知られているが、固定部光学系の光軸調整によりこの問題を解消している。Table 1 には光ヘッドの主な仕様を示した。

2.1 高出力可視光 LD¹⁰⁾

高出力可視光 LD は、高密度書換え型光ディスク装置用光源として開発中のものであり、「多重量子障壁 (MQW)」構造を採用して、90°C の高温時まで高出力 (40 mW 以上) 動作と基本横モードの発振を確保した。

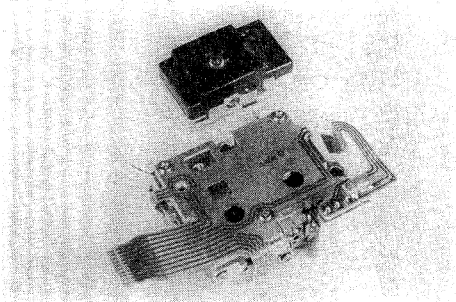
Fig. 2 に注入電流-光出力特性の環境温度依存性を示した。光出力に対する縦モードの変動は 0.1 nm/mW 、非点隔差は約 $5 \mu\text{m}$ 以下であり、書換え型光ディスク装置用光源として現行 780 nm LD と同等の特性を有している。

2.2 光スポット

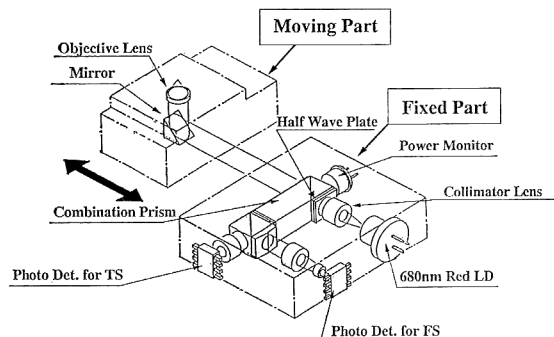
光ディスク記録面上に回折限界の光スポットを形成す

Table 1 Specifications of the developed head.

Item	Specification
Laser diode	Wavelength : 680 nm Max. power : 30 mW _{cw} Aspect ratio : 2.5
Objective lens	NA : 0.55 WD : 1.245 mm Aspherical molded glass
Optical spot	Size : $1.0 \mu\text{m}$ ($1/e^2$) Aberration : $0.04 \lambda_{\text{rms}}$
Output power	9 mW _{cw} (Max.)
Actuator	Sliding & Rotary



(a) external view



(b) optical path layout of the head

Fig. 1 Developed split-type optical head equipped with a high-power red laser diode.

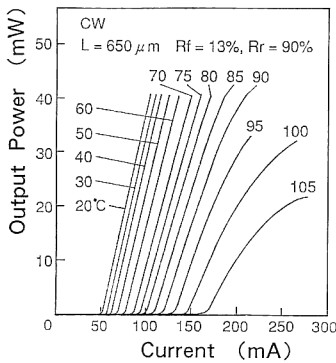


Fig. 2 Light output power versus injection current characteristics of the developed red laser diode in the continuous wave mode.

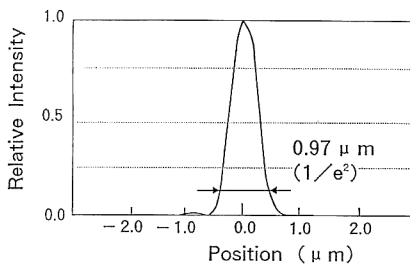


Fig. 3 Light-intensity profile of the focused spot in the tangential direction.

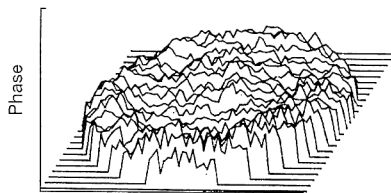


Fig. 4 Three-dimensional plot of the wave front aberration of the focused spot.

るためには、Marechal の criterion に従えば $0.07 \lambda_{rms}$ 以下の波面収差であることが要求される。この波面収差を光ディスク基板と光ヘッドが等分に寄与しているものとしてそれぞれに配分すると、光源と各種光学部品で構成される光ヘッドとしての許容波面収差は $0.05 \lambda_{rms}$ 以下となる。許容波面収差係数 0.05 は、波長には依存しないため短波長になるに従い許容精度は厳しいものとなり、680 nm 可視光 LD を用いた場合、従来の 780 nm LD を用いた光ヘッドに比べて 1 割以上の精度向上が要求される。

このため、われわれは、集光光学系の縦倍率を 14 倍以上として LD の非点収差を圧縮するとともに対物レ

ズ光軸傾きによって生じるコマ収差を $0.1 \lambda_{pv}$ 以下に調整した。この結果、本光ヘッドでは、波面収差 $0.029 \lambda_{rms}$ と十分な収差特性を確保し、光スポット径 ($1/e^2$) はジッタ方向 $0.97 \mu m$ 、ラジアル方向 $1.15 \mu m$ と回折限界の光スポットを実現している。

光スポットの断面強度分布を Fig. 3 に、光スポットの波面収差についてラテラルシェアリング干渉計で観測した結果を等位相波面の 3 次元表示で Fig. 4 に示した。

3. 現行光磁気ディスクの再生評価

3.1 再生信号レベルの検討

光磁気ディスクおよび光ヘッドの再生特性は光源の短波長化と対物レンズの高 NA 化に伴い、下記に示す特性が変動することが知られている。第 1 の点は、短波長化に伴い TbFeCo 系の光磁気ディスクにおいて信号成分であるカー回転角（磁気光学効果）が減少していくことであり^{11,12}、第 2 は信号検出を行う光検知器（Si フォトダイオード）の量子効率も低下することである。これらの 2 点は光源の短波長化に伴い特性値が単調に減少するため再生信号レベルを劣化させる。一方、3 点目は光ヘッド・再生光学系の周波数応答特性の向上による特性改善がある。これは、再生光学系を近似的にインコヒーレント光学系と考えた場合、対物レンズ NA と波長 (λ) で決まるカットオフ周波数 ($2 \cdot NA / \lambda$) が向上し、空間周波数特性が改善されることによるものである。特に高域の再生信号レベルの向上が期待できる。

光ヘッドの再生特性は、基本的に前述した 3 項目によって決定される。このため各項目の 680 nm LD 使用時の特性値と信号再生レベルに与える影響を検討した。まず、はじめに光磁気ディスクと光検知器の特性変化を調べ、光源波長が現行 780 nm から 680 nm に短波長化することにより、TbFeCo 系現行 90 mm 光磁気ディスクのカー回転角は約 12%、反射率は約 10%、また、光検知器の量子効率は約 8% 減少することを確認した。これらから再生信号 C/N 比に与える影響を見積ると差動再生方式を用いた再生信号の C/N 比が

$$C/N(\text{dB}) = 10 \log \{ (P \cdot T_p \cdot R \cdot \theta_k^2 \cdot R_s \cdot S) / (Q \cdot B) \} \quad (1)$$

P : 再生光出力

T_p, R_s : ビームスプリッタの P 偏光透過率および S 偏光反射率

R, θ_k : 光磁気ディスクの反射率およびカー回転角

S : 光検知器の放射感度

q : 電子の電荷

B : 雑音帯域

で与えられる¹³⁾ ことにより, 前述の特性値の変動は, C/N 比 1.9 dB の低減に相当する.

次に, 再生光学系の周波数応答特性の改善効果について検討する. 光ヘッド・再生光学系を近似的にインコヒーレント光学系¹⁴⁾とみなすと, その MTF 特性より記録ピット長 $0.8 \mu\text{m}$ におけるキャリアレベルは, 780 nm LD を搭載し対物レンズ NA 0.53 を用いた現行光ヘッド (以後 780 nm 光ヘッドと称す) に対して 680 nm LD を搭載し対物レンズ NA を 0.55 とした本光ヘッド (以後 680 nm 光ヘッドと称す) の場合, 1.6 dB 程度向上する.

これらの結果より, 本光ヘッドにおける現行光磁気デ

ィスクの再生特性は, 各変動要因がほぼ相殺され現行 780 nm 光ヘッドと同等であると推測される.

3.2 再生評価

現行光ディスク装置 ($\lambda=780 \text{ nm}$, $\text{NA}=0.53$) によって記録された 90 mm 光磁気ディスクの再生信号特性を評価した. 最内周 ($r=24 \text{ mm}$), 光ディスク回転数 3000 rpm, 記録信号 4.9 MHz (記録ピット長 $0.77 \mu\text{m}$) の再生信号スペクトルを Fig. 5 に示した. Fig. 5 (a), (b) は, それぞれ 680 nm LD, 780 nm LD 搭載光ヘッドによる結果を示している. 基板による複屈折の影響を除去するためガラス基板ディスクを用いた. C/N 比は, 両者ともほぼ同等な特性 (51.0 dB) が得られており, 理論的検討結果と一致する.

Fig. 6 には PC (poly carbonate) 基板光磁気ディス

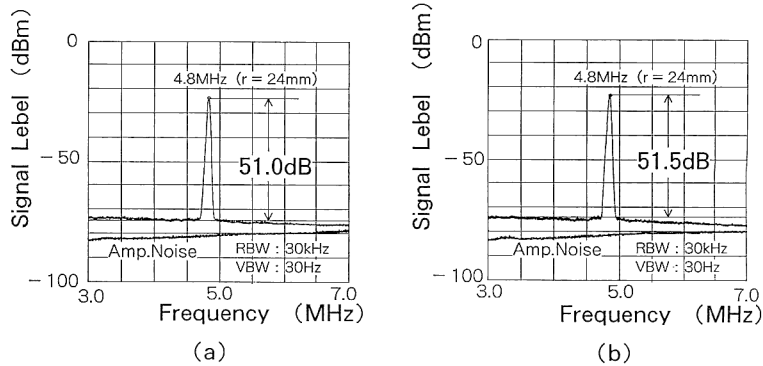


Fig. 5 Frequency spectrums of the read-out signals obtained from two kinds of heads. A glass disk was used and the mark length of the prerecorded signal on the disk was $0.77 \mu\text{m}$. (a) A developed head with a 680 nm laser diode and a 0.55 NA objective was used; (b) a conventional head with a 780 nm laser diode and 0.53 NA objective was used.

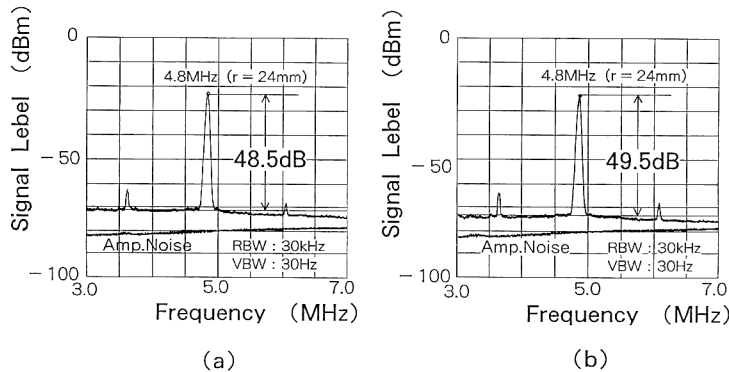


Fig. 6 Frequency spectrums of the read-out signals obtained from two kinds of the heads. A PC disk was used instead of the glass disk and the mark length of the prerecorded signal was $0.77 \mu\text{m}$. (a) A developed head with a 680 nm laser diode and a 0.55 NA objective was used; (b) a conventional one with a 780 nm laser diode and a 0.53 NA objective was used.

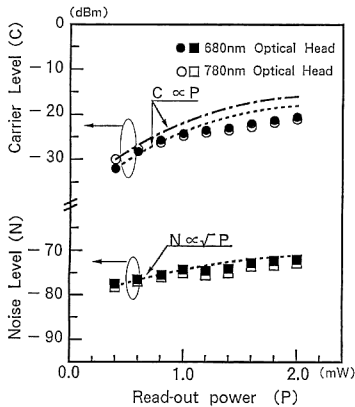


Fig. 7 Reproducing characteristics of the developed head. Carrier and noise levels as a function of the readout power are plotted and the reproducing characteristics of the conventional head is shown in comparison.

クを Fig. 5 と同一条件のもとで評価した結果を示した。C/N 比に 1 dB 程度の差が生じた原因として、光ディスク基板での成形条件や複屈折等の影響、記録時の条件違いなどが考えられる。以上の評価により再生信号の実用化 C/N 比レベルとされる 47 dB 以上を確保できることが明らかとなり、再生時における現行 780 nm 仕様媒体の互換性を確認することができる。

次に、再生信号のキャリアレベル、ノイズレベルの再生光出力依存性を調べた (Fig. 7)。一般に再生光出力 (P) により、キャリアレベルは $P \cdot \theta_k$ (カー回転角)、ショットノイズは \sqrt{P} に対して線形に変化することが知られている。図中の破線、鎖線は測定下限値を基準にしてキャリアレベルは P に、ノイズレベルでは \sqrt{P} に比例する計算値を示している。図においてキャリアレベルは、780 nm 光ヘッドでは 1.0 mW 以上で、680 nm 光ヘッドでは 0.8 mW 以上で計算値と実測値とに差が生じており、これらの領域では θ_k の低下がみられる。これは、記録膜面の温度上昇により θ_k が低下するためと考える。また、ノイズレベルは、両光ヘッドとも測定領域内で \sqrt{P} に比例した結果が得られておりショットノイズ限界の検出が確認できる。

4. 狭トラックピッチ光ディスクにおける再生特性評価

光ディスクの狭トラックピッチ化による高密度化への対応を検討するため、トラックピッチ 1.2 μm (ランド幅 0.6 μm , V 溝) の狭トラックピッチ光ディスクを試作した。記録には 780 nm 光ヘッドを用いた。最内周

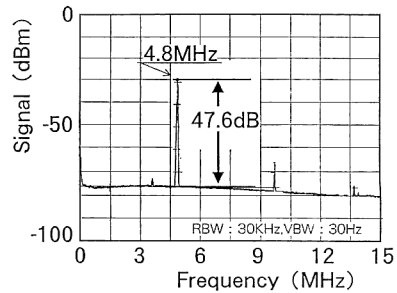


Fig. 8 Frequency spectrum of a readout signal obtained with the developed head and a narrow track-spacing disk. The track spacing was 1.2 μm and the mark length of the prerecorded signal was 0.77 μm .

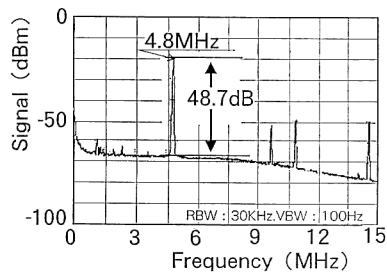


Fig. 9 Self recording-reproducing characteristics of the developed head. A conventional 90 mm disk with a 1.6 μm track pitch was used and 0.77 μm marks were recorded on the disk.

($r=24$ mm), 光ディスク回転数 3000 rpm, 記録信号 4.9 MHz (記録ピット長 0.77 μm) の再生信号スペクトルを Fig. 8 に示した。現行 1.6 μm 光ディスク再生信号レベルより 1 dB 程度低下しているが、これはトラックピッチ減少に伴うランド幅すなわち記録ピット幅の減少によるものと考えられる。

5. 90 mm 光ディスク装置での記録・再生特性評価

本光ヘッドを用いて 90 mm 光ディスク装置を試作し、記録・再生評価を実施した。Fig. 9 に記録ピット長 0.77 μm ($r=24$ mm, 3000 rpm, 4.9 MHz) の自己録再時の再生信号スペクトルを示した。自己録再特性として C/N 比 48.6 dB を実現した。クロストーク特性は -40 dB, 平均アクセス時間は 50 ms を確認した。

6. ま と め

光源に高出力可視光半導体レーザー (680 nm, 30 mW) を用い、高密度 90 mm 光磁気ディスク装置用分離形光

ヘッドを開発した。現行媒体を用いた再生特性評価を行い、最短ピットの再生信号 C/N 比 50 dB 以上の性能を確認した。また、本光ヘッドを搭載した 90 mm 光ディスク装置の試作を行い、現行光ディスクを用いた自己録再 (記録ピット長 $0.77 \mu\text{m}$) において C/N 比 48.6 dB を実現した。さらに、狭トラックピッチ光ディスク (トラックピッチ = $1.2 \mu\text{m}$) での再生特性の評価を行い、実用レベル 47 dB 以上を確保できることを確認した。

次世代光ディスク装置では、本光ヘッドと MCAV フォーマットやマークエッジ記録等の技術を併用することにより現行の 3~4 倍の高密度化が実現できる。

今後、高密度光ディスクの実用化にむけて高密度記録・再生特性の検討を行う予定である。

本研究を遂行するに当り有益なご指導をいただいた当研究所所長 大西良一博士、高田豊部長、国井郷志前部長に深謝いたします。高密度光磁気ディスクを試作いただいた当社材料デバイス研究所 堤博士、藤井氏、光磁気ディスク装置の試作をしていただいた当社産業システム研究所 古川博士および関係各位に感謝いたします。

文 献

- 1) M. A. Haase, J. Qiu, J. M. DePuydt and H. Cheng: "Blue-green laser diodes," *Appl. Phys. Lett.*, **59** (1991) 1272-1274.
- 2) A. Ishimori, T. Yamamoto, M. Irie, T. Uchiumi and A. Shima: "Pumping configuration for small-sized diode pumped Nd: YAG laser," *Advanced Solid-State Lasers* (Technical Digest TuC 3-1, SantaFe, 1992) pp. 183-186.
- 3) M. Oka, T. Kashiwagi and S. Kubota: "A triple-density optical disk system using a frequency-doubled Nd: YAG laser," *Optical Storage and Scanning Technology* (Proc. SPIE 1139, Paris, 1989) pp. 149-154.
- 4) 立野公男, 高橋正彦, 杉山久貴, 安藤哲生, 宮井 剛: "高効率, 小型 SHG レーザによる光磁気ディスクの高密度記録再生", 光メモリシンポジウム '92 論文集 (1992) pp. 7-8.
- 5) 佐藤裕治, 尾高敏則, 中野敏行: "60 分高精細ビデオディスク", 光メモリシンポジウム '90 論文集 (1990) pp. 55-56.
- 6) Y. Yamanaka, K. Kubota, H. Fujii, K. Kobayashi, T. Suzuki and H. Gokan: "High density magneto-optical recording using $0.67 \mu\text{m}$ band high power laser diode," *IEEE Trans. Mag.*, **MAG-24** (1988) 2300-2304.
- 7) H. Satoh, T. Taguchi, K. Shimura and T. Sugaya: "High density overwrite recording for a phase-change medium using a visible light laser diode," *Optical Data Storage Topical Meeting* (Technical Digest A 4/5, San Jose, 1992) pp. 135-138.
- 8) 入江 満, 宇多小路雄, 唐木盛裕, 藤井善夫, 有本 智, 木目健治朗: "高密度光磁気ディスク用分離形光ヘッド", 1992 年電子情報通信学会春季大会論文集 C-359 (1992) p. 4-401.
- 9) 唐木盛裕, 竹下伸夫, 入江 満, 藤田輝雄, 尾崎 寛, 田所通博, 木目健治朗: "90 mm 光磁気ディスク用分離形光ヘッドの開発", 信学技報, **MR 91-73** (1992) 7-12.
- 10) 有本 智, 渡辺 斉, 安田美香子, 門岩 薫, 元田 隆, 西村隆司, 上里 武, 大村悦司, 相賀正夫: "高出力 AlGaInP 可視光半導体レーザ", 信学技報, **OQE 92-24** (1992) 77-82.
- 11) R. Allen and G. A. N. Connell: "Magneto-optic properties of amorphous terbium-iron," *J. Appl. Phys.*, **53** (1982) 2353-2355.
- 12) 藤井善夫, 羽島一夫, 堤 和彦: "非晶質希土類遷移金属薄膜の短波長域でのカー楕円率の光学応答", 日本応用磁気学会誌, **16** (1991) 121-124.
- 13) 徳丸春樹: "光磁気ディスク用光学ヘッド", NHK 技研月報, 昭 62.2 (1987) 53-62.
- 14) G. Bouwhuis, J. Braat, A. Huijser, J. Pasman, G. van Rosmalen and K. Schouhamer Immink: *Principles of Optical Disc Systems* (Adam Hilger, Bristol, 1985).