

解説

光スイッチング作用を利用した超小形光ヘッド

浮田 宏生

NTT 電子応用研究所 〒180 武蔵野市緑町 3-9-11

(1989年12月5日受理)

A Super-Small Optical Head Based on Laser Switching with Optical Feedback

Hiroo UKITA

NTT Applied Electronics Laboratories, 3-9-11, Midori-cho, Musashino 180

1. まえがき

光ヘッドはディスク、カード、テープ、フロッピ等、各種形態のもとで使用される。ディスク形態に限定しても、装置や媒体により光ヘッドの種類は多岐にわたっている。ここでは情報処理用の光ヘッドに着目し、高速、小形、低価格を狙いに考案した超小型光ヘッドについて述べる。本光ヘッドは信号検出に反射媒体からの帰還光の大小による半導体レーザー(LD)のスイッチング作用を利用してるので optically switched laser (OSL) ヘッドと呼ばれている。

類似のセンサーに磁気ヘッドがある。リング状の磁性体に巻線があるだけのきわめて簡単な構成である。これに比べ従来の光ヘッドは光学構成・機構構成とも複雑で、大きく、かつ重い。この主たる原因是後述するように光ディスクの媒体可換性を実現するためにあった。

媒体可換形光ディスクは、CD-ROM のほかパソコン用、文書ファイル(データベース)用として広く利用されると思われる。しかしこの媒体可換形態を踏襲する限り、装置性能が飽和値に近づいていることも事実であり、磁気ディスク装置に対抗して大型計算機のオンライン用に使用することは難しいと考えられる。

光ディスク装置には2種類の形態があつてもよいというのが著者の見解である。一つはデータベース用の遠隔記録形(従来形、媒体可換)、もう一つはオンライン用の近接記録形(本提案、媒体非可換)である。なお、近接形光ヘッドを使用した光ディスク装置は浮上型、使用形態によっては媒体可換もありうる(媒体可換形ウイン

チエスタ磁気ディスクが数社で販売されている)が、ここで便宜上非可換とした。

2. OSL ヘッドの構造と特徴

従来の媒体可換形光ディスク¹⁾は図1に示すように記録面から対物レンズまでの距離が約2.5mmある。これは基板厚み1.2mmとレンズのワーキングディスタンス1.3mmの合計である。したがって、集光レンズの開口数を0.55とすれば、集光レンズ入射光ビーム径が3mm程度になり、十数個ある光学部品、機構部品はすべてそれ以上の大きさが必要で、必然的に重厚長大になる。光導波路技術・光集積技術を適用した先駆的光ピックアップ²⁾も光学部品数の低減には有効であるが、上記寸法制約は依然として残る。このため、小形光ヘッドを実現する有効な方法は記録面とレンズの距離を短くすることにある。図1右欄の近接形光ヘッドはこれを極限まで近づけた形態になっている。LD出射光ビームは直近での広がりが小さいので距離を1μm以下にする必要はない。このため本光ヘッドは磁気ヘッド(スペーシングは現在0.2μm、将来0.1μm以下)に比べ装置信頼性上有利である。また、従来光ディスク同様記録密度も高い。

図2は超小形光ヘッドの使用状態図である³⁾。スライダ上に一体形成の半導体レーザー(LD)と光検出器(PD)を搭載しており、きわめて簡単な構成である。ディスクの回転による空気浮上力とバネの押付け力が釣り合った位置にスライダが固定され、自動焦点調節が行われる。

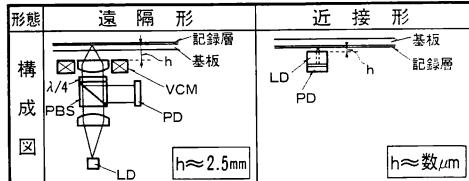
形態	遠隔形	近接形
構成図		
特徴	重厚長大 (数10gr, 10×20×30mm ³) 媒体可換 データベース用	軽薄短小 (1gr以下, 1×4×5mm ³) 媒体非可換 オンラインファイル用
	$h \approx 2.5\text{mm}$	$h \approx \text{数}\mu\text{m}$

図1 遠隔形光ヘッドと近接形光ヘッドの比較

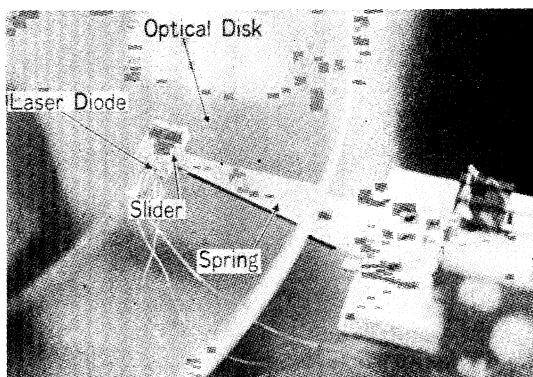


図2 超小形 OSL ヘッドの使用状態

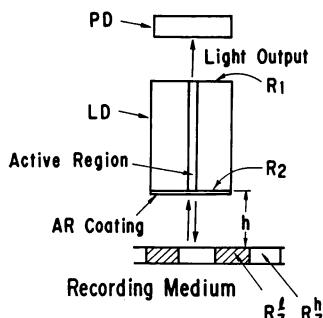


図3 OSL ヘッドの構成

信号検出には LD のスイッチング作用を利用する。図3に示すように、LD の両端面とスペーシング h をおいて配置された光ディスク面が複合共振系を構成し、光ディスク面の反射率の大小で LD をスイッチングさせ、その光出力を光ディスクと反対側の PD で受光する。反射率の大小に対応した閾値電流の差分が大きいほど信号振幅が大きくなる。このため、光ディスク側の LD 端面に反射防止膜 (ARC)⁴⁾ を付与し光帰還率を高める。また、この反射防止膜は後述するようにスペーシング変化 (帰還光位相変化) に起因する信号振幅変動の抑圧、SN

比の向上にきわめて有効である。

媒体としては信号検出に反射率変化を利用できる相変化材料⁵⁾を使用する。また記録密度を高めるため LD 出射端面部に先細リッジ導波路を有する半導体レーザー⁶⁾を開発し、ニアフィールド領域で直径 0.8 μm (FWHM) の微小スポットを実現している。

光帰還形信号検出法としては、かつて SCOOP が検討^{7,8)}された。しかし遠隔形光ヘッドであったため、①光帰還率、電流閾値変化が少なく、各種レーザーノイズが大きい、②焦点制御、トラック制御のためのウォーブル信号 (数 10~100 kHz) が再生信号に漏れ込み SN 比が低い等の理由で研究が中断されたと思われる。

これに対し近接形の本 OSL ヘッドは、①光帰還率、電流閾値変化が大きいため、信号検出に信号振幅の大きいスイッチング作用を利用できる。②外部共振器長(スペーシング)がきわめて短く (数 μm)，かつ強光帰還系なのでレーザーノイズが小さい^{9,10)}，③焦点制御に空気浮上スライダ、トラック制御にサンプルサーボ方式¹¹⁾を使用しているので、制御信号の漏込みがなく、信号 SN 比が高い等の特長を有する。

以下ではまず本方式による信号検出メカニズム³⁾、次に外部共振器 (媒体) の位置変動、温度変動に起因するレーザーノイズの抑圧と SN 比改善法^{11,12)}について述べる。

3. OSL ヘッドの信号検出メカニズム

3.1 レート方程式による理論解析

OSL ヘッドの光出力特性 (IL 特性) は複合共振系 LD にレート方程式を適用し解析できる³⁾。解析には各種ヘッド条件 (スペーシング、反射率、バイアス電流等) における帰還光量を正確に求める必要がある。ここでは橿円ガウスビームを仮定し、光帰還率を以下のように定義する。

$$\eta = \int_{-w_{p0}}^{w_{p0}} \int_{-w_{s0}}^{w_{s0}} I(2h) dx dy / \int_{-w_p}^{w_p} \int_{-w_s}^{w_s} I(0) dx dy \quad (1)$$

ここで $I(z)$ は光ビームのエネルギー分布、 w_{p0} , w_{s0} は LD 出射口での橿円ビームの径、 w_p , w_s は $z=2h$ (h はスペーシング) での橿円ビームの径である (いずれも $1/e^2$ 半径)。つまり帰還光のうち、出射口のビーム径内に含まれるエネルギー比で定義する。

図4は $2w_{p0}=2.54\text{ }\mu\text{m}$, $2w_{s0}=1.38\text{ }\mu\text{m}$ (FFP の放射角はそれぞれ 10, 25°) の場合の計算値である。光記録媒体の反射率を無視すれば、 $h=1\text{ }\mu\text{m}$ で $\eta=0.75$ と

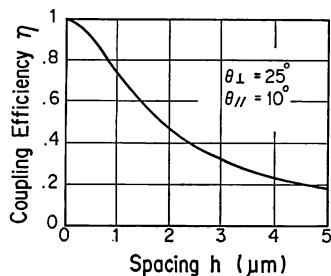


図 4 光帰還率のスペーシング依存性

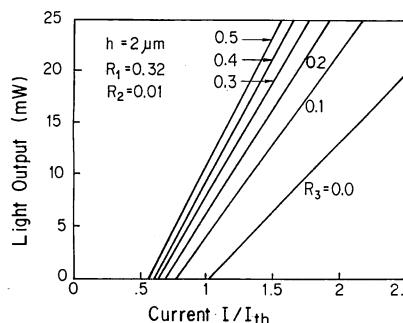


図 5 光帰還率を導入したレート方程式による複合共振形 LD の IL 特性

なり光帰還率がきわめて高い。この光帰還率を導入したレート方程式より得た IL 特性を図 5 に示す。パラメータは媒体反射率 R_3 である。ここで LD 端面反射率は媒体側で $R_2 = 0.01$ 、光検出器側で $R_1 = 0.32$ である。この IL 特性により OSL ヘッド信号振幅、信号変調度、媒体互換性等の解析が可能であり、実験値ともよく一致する³⁾。

3.2 光ディスクによる実験解析

図 6 は実際の OSL ヘッドの IL 特性で $R_1 = 0.32$, $R_2 = 0.06$ である。媒体反射率 $R_3^h = 0.04$, $R_3^l = 0.35$ に対し、閾値電流はそれぞれ 60 mA, 42 mA であり、予想どおりその差分が大きいことがわかる。

図 7 は OSL ヘッドのトラック追従のために使用するサンプリングサーボマークの再生信号である。上段がオフトラック、下段がオントラック信号である。実際のトラック誤差信号は t_1 , t_2 の信号振幅差より得られ¹¹⁾、これを用いてトラック追従動作を確認している。

バイアス電流は 55 mA で両閾値電流の間にあり。 P^h が高反射率部の誘導放出光 (LD 発振) レベル、 P^l が低反射率部の自然放出光 (LD 非発振) レベルに相当する信号である。なお、この信号は PD に直接接続した負荷抵抗 50 Ω の端子電圧である。本 OSL ヘッドは LD 自身の增幅作用を利用するので、電気アンプが不用になる

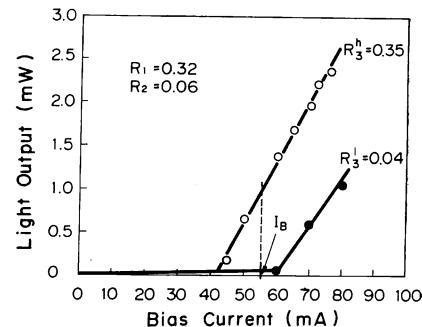
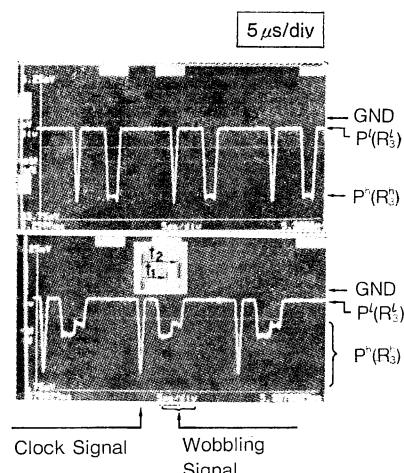
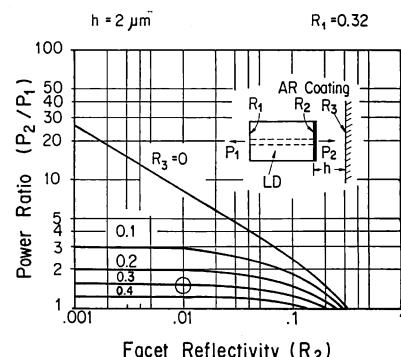


図 6 OSL ヘッドの IL 特性

図 7 サンプリングサーボマークの再生例
上段がオフトラック、下段がオントラックの場合図 8 媒体側 LD 端面反射率 R_2 と光出力比 (P_2/P_1) の関係

可能性が高い。

3.3 LD 端面、媒体の反射率の影響

LD 端面、媒体の反射率は OSL ヘッド光出力特性、SN 比のほか、記録性能 (閾値電流、媒体感度、記録バ

ワーマージン)への影響が大きいので総合的に設計する必要がある。詳細は別論文にゆずることにするが、OSL ヘッドの基本動作を理解するため必要と思われる所以、媒体反射率 R_3 をパラメータとした LD の反射率 R_2 と LD 両端面の光出力比 (P_2/P_1) の関係を図 8 に示す。 $h=2 \mu\text{m}$, $R_1=0.32$, $R_2=0.01$, $R_3=0.3$ の場合(同図○印、代表例)には $P_2/P_1=1.5$ 程度になることがわかる。

4. OSL 信号の SN 比改善法^{11,12)}

4.1 劣化要因と対処法

複合共振形 LD による信号検出では、当初、光帰還によるレーザーノイズの大幅増加が予想された。しかし微小スペーシング、強光帰還系では光帰還そのものに起因するレーザーノイズの増加は少なく⁹⁾。縦モードは安定である¹⁰⁾ことがわかった。したがって、近接形複合共振系を構成する OSL ヘッドの SN 比改善法としては、動作条件最適化による内部レーザーノイズ(高周波)の実効的低減とスペーシング変化(帰還光位相変化)、温度変化による光出力変動(低周波)抑圧が重要になる。

4.2 バイアス電流最適化によるレーザーノイズの低減

OSL ヘッドのレーザーノイズは両閾値近傍に鋭いピークを有する。一方、スイッチング動作を行うためバイアス電流は両閾値の間にある。したがって、閾値差を広げることによりレーザーノイズを実効的に減少できる。このためには、媒体側 LD 端面に反射防止膜(ARC 膜)を付与して光帰還率を高める必要である。これは同時に信号振幅を増大させることになる。

図 9 は ARC 膜の反射率(R_2)低減による SN 比増加

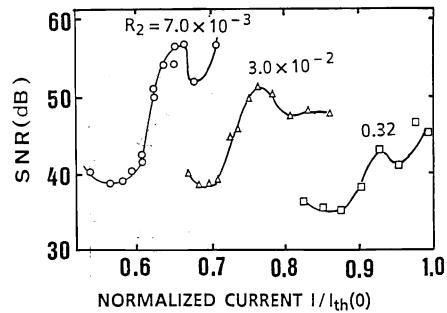


図 9 ARC 膜の反射率(R_2)低減による SN 比の增加

効果である。横軸は光帰還がない場合の閾値電流で規格化したバイアス電流である。 R_2 の減少により N_{rms} の極小値に対応した SN 比の極大が顕著になり、SN 比最大値は 56 dB(静止系, $R_2=0.007$)に達している。以上の実験条件は $h=1.2 \mu\text{m}$, $R_1=0.32$, $R_3^l=0.15$, $R_3^h=0.30$, 測定帯域は 20 MHz, パラメータは R_2 である。

4.3 信号出力変動抑圧法

(1) スペーシング変動

ARC 膜は光ディスク内外周の媒体速度差に起因するスペーシング(外部共振器長)変動による光出力変動の抑圧にも有効である。図 10 は光出力のスペーシング依存性である。(a)の $R_2=0.32$, $R_3=0.30$ の場合に比べ、(b)の $R_2=0.000068$, $R_3=0.30$ の場合には干渉光出力変動がきわめて小さいことがわかる。これは内部反射光(R_2)と外部反射光(R_3)の光量差が増大し、干渉効果が弱められた結果である。この抑圧効果は $R_2 < 0.05$ で顕著である¹¹⁾。

(2) 温度変動

温度上昇に伴い LD の閾値電流が増加するが、最適バ

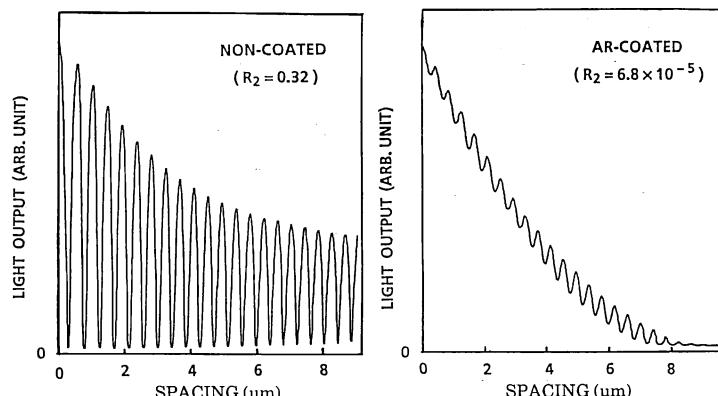


図 10 OSL ヘッド光出力のスペーシング依存性
(a) $R_2=0.32$, $R_3=0.30$, (b) $R_2=0.000068$, $R_3=0.30$

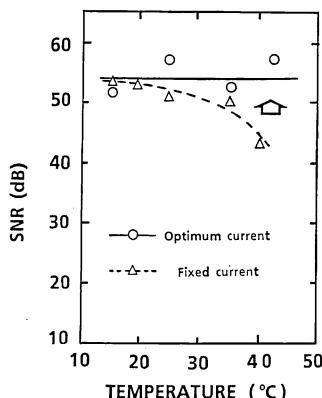


図 11 電流制御の有無による SN 比の温度依存性

イアス電流 (SN 比最大) は温度に対しリニアに変化しているのでバイアス電流の線形制御により SN 比劣化を防止できる¹²⁾。図 11 は電流制御の有無による SN 比の温度依存性である。広い温度範囲にわたって SN 比を最高値に保持できることがわかる。

5. 相変化光ディスク媒体による動特性

OSL ヘッドの各種動作条件における再生信号の性質が明らかになったので、SbTe 相変化光ディスク媒体により SN 比の動特性を評価した。図 12 は測定帯域 20 MHz のノイズであり、光出力 1 mW, $R_3=0.25$ である。主たるノイズは電気ノイズ、レーザーノイズ、媒体ノイズである。媒体ノイズ中には媒体反射率変動ノイズ、スペーシング変動ノイズも含まれている。図 13 はスペーシングによる SNR の変化である。 R_2 が大きい (0.06) ので前述 (図 10) の干渉光出力変化が残存しているが、SN 比は 36 dB に達しており、装置設計 (26 dB) に十分な値である。なお、図 10 に示したように R_2 を 0.01 以下にすることにより SN 比はさらに大きく、スペーシング依存性はさらに小さくすることが可能である。

6. む　す　び

本文では、超小形 OSL ヘッドの研究を始めた理由と同ヘッドの形態、動作原理、再生特性を要約して述べた。この結果、本光ヘッドは、① きわめて簡単な光学系、機構系、電気系で構成でき、② 再生信号の SN 比が高い等が実証された。このことは、本光ヘッドを使用した光ディスク装置が小形・高性能になり、光ディスクの応用範囲が従来の文書ファイル (データベース) 用から新たにオンライン用にまで拡大する可能性を示している。紙面の都合で高密度記録再生のための集光形半導体

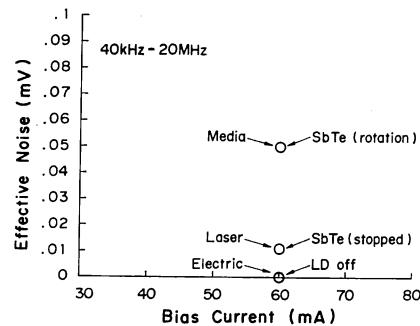


図 12 OSL ヘッドのノイズレベル
測定帯域 20 MHz, 光出力 1 mW, $R_3=0.25$

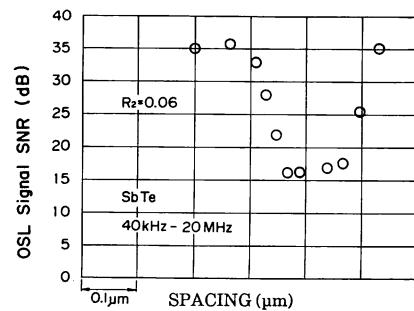


図 13 スペーシングによる SN 比の変化 (ARC 不十分)

レーザー、サンプルサーボによるトラッキング、記録特性等については記述できなかった。これらについては文献 6, 11, 13) を参照願いたい。

なお本超小形ヘッドをさらに有用にするには、① 信頼性の高いヘッド・媒体構成、② マルチビーム化、③ マイクロアクチュエータ等の研究が必要である。

本着想を具体化するにあたっては、NTT 電子応用研究所戸島知之、片桐祥雅、上西祐司、磯村嘉伯、沢田廉士、中田宏、田中秀尚各位の協力を得た。また、相変化媒体の作製に関しては同所藤森進、杉山泰之、浮上ヘッドスライダの設計に関しては大久保俊文、岸上順一、半導体レーザーの構造討議、チップの提供に関しては NTT 光エレクトロニクス研究所車田克彦、都築信頼、岩村英俊各位のお世話をになりました。お礼申し上げます。さらに、本研究遂行を終始励ましていただいた前所長鈴木敏正、現所長高田久夫、記憶装置研究部長板生清の各位に感謝します。

文 献

- 1) G. Bouwhuis, J. Braat, A. Huijser, J. Pasman, G. van Rosmalen and K.S. Immink: *Principle of Optical Disc System* (Adam Hilger, Bristol and

- Boston, 1985) chaps. 2 and 8.
- 2) S. Ura, T. Suhara, H. Nishihara and J. Koyama: "An integrated-optic disk pickup device," *J. Light-wave Technol., LT-4* (1988) 913-918.
 - 3) H. Ukita, Y. Katagiri and Y. Uenishi: "Readout characteristics of micro-optical head operated in bi-stable mode," *Proc. Int. Symp. on Optical Memory, Jpn. J. Appl. Phys., Suppl.* **26-4** (1987) 111-116.
 - 4) Y. Katagiri and H. Ukita: "Ion beam sputtered $(\text{SiO}_2)_x(\text{Si}_3\text{N}_4)_{1-x}$ antireflection coatings on laser facets using $\text{O}_2\text{-N}_2$ discharges," *MOC/GRIN '89 Technical Digest* (1989) pp. 78-81.
 - 5) S. Fujimori, S. Yagi, H. Yamazaki and N. Funakoshi: "Crystallization process of Sb-Te alloy films for optical storage," *J. Appl. Phys.*, **64** (1988) 1000-1004.
 - 6) Y. Uenishi, Y. Isomura, R. Sawada, H. Ukita and T. Toshima: "Beam converging laser diode by taper ridged waveguide," *Electron. Lett.*, **24** (1988) 623-624.
 - 7) Y. Mitsuhashi, T. Morikawa, K. Sakurai, A. Seko and J. Shimada: "Self-coupled optical pickup," *Opt. Commun.*, **17** (1976) 95-97.
 - 8) K. Okada, W. Susaki, M. Kondo, K. Kime, K. Hirasawa, T. Miyazawa and T. Sato: "A compact PCM audio disc pickup employing semiconductor laser," *AES: An Audio Engineering Society Preprint* (1978).
 - 9) 片桐祥雅, 浮田宏生: “近接形複合共振作用によるデータ信号検出の実験的・理論的検討”, *信学技報, OQE 86-187* (1987) 15-22.
 - 10) H. Rong-Qing and T. Shang-Ping: "Improved rate equations for external cavity semiconductor lasers," *IEEE J. Quantum Electron., QE-25*, 6 (1989) 1580-1584.
 - 11) H. Ukita, Y. Katagiri and S. Fujimori: "Supersmall flying optical head for phase change recording media," *Appl. Opt.*, **28** (1989) 4360-4365.
 - 12) Y. Katagiri and H. Ukita: "Improvement in signal-to-noise ratio of longitudinally-coupled cavity laser by internal facet reflectivity reduction," *Proc. Int. Symp. on Optical Memory, Jpn. J. Appl. Phys., Suppl.* **28-3** (1989) 177-182.
 - 13) 浮田宏生, 藤森進, 中田宏: “超小形 OSL ヘッドによる記録の一実験”, 平2信学全大, C-436 (1990) p. 4-491.