

# 光アシスト磁気記録用微小開口レーザ

A Very Small Aperture Laser for Laser-Assisted Recording

鈴木 一平* <sup>1</sup> Ippei Suzuki	大野 智輝* <sup>2</sup> Tomoki Ohno	北澤 田鶴子* <sup>1</sup> Tazuko Kitazawa
村上 善照* <sup>1</sup> Yoshiteru Murakami	小嶋 邦男* <sup>1</sup> Kunio Kojima	高橋 明* <sup>3</sup> Akira Takahashi

## 要 旨

光アシスト磁気記録方式は磁気ディスクの更なる高密度化を図る記録技術として期待されている。その実用化のためには、近接場光生成デバイスと磁気ヘッドを一体化した複合ヘッドが必要となる。微小開口レーザは近接場光生成用の小型デバイスとして有効である。本論文では、微小開口レーザの試作結果を、近接場光測定装置による近接場光発光状態の観測結果と併せて報告する。

Laser-assisted magnetic recording is one of promising technologies for achieving a higher density magnetic disk drive system. For practical use, a hybrid head with a near field generator and a recording magnet field generator is required. A very small aperture laser (VSAL) is effective as a small near field generator. In this paper, the results on the evaluation of a prototype VSAL device and the observation of near field distribution with the use of a newly constructed scanning near field optical microscope are described.

## まえがき

光アシスト磁気記録方式は、現行の磁気ディスク装置（HDD）の記録密度限界を打ち破る記録方式として、国内外での研究開発が活発に進められている。磁気ディスク装置において、より高密度に記録された磁気ビットを長期間、安定して保存するためには、高い保磁力を有する記録媒体が必要となるが、一方で記録の際には、より大きな記録磁界を必要とする。記録用の磁気ヘッドはこの記録磁界の点で材料限界に近づきつつあり、大幅な密度改善が望めないのが現状である。

光アシスト磁気記録方式はこの問題を解決するために提案された記録方式である<sup>1)~3)</sup>。本稿では、光アシスト磁気記録方式について説明し、その実用化に有効なデバイスのひとつである微小開口レーザ<sup>4) 5)</sup>について試作・評価結果を報告する。

## 1. 光アシスト磁気記録方式

同方式の特徴は、記録時に記録媒体を加熱昇温し保

磁力が小さくなった状態で記録を行うものである。そのため記録磁界を大きくする必要が無く、一方で加熱昇温（記録）部を通り過ぎて温度が降下した部分の保磁力は高保磁力状態に戻るため、記録された磁気マークは熱的に安定保存されることになる。

記録媒体を局所的に加熱昇温させる方法としては、例えば光ディスクで採用されている光スポット照射による加熱方法がある。その概略説明図を図1に示す。半導体レーザ（図示無し）から出射された光は対物レンズで記録媒体上に集光され、光吸収により媒体の温度が局所的に昇温する。昇温した部位は保磁力が小さくなり、記録ヘッドが発生する記録磁界よりも保磁力が小さければ、記録磁界の方向（図では下向き）に従った磁気ビットが形成される。記録媒体は高速で回転しているため、集光スポット位置を通過した後は急速に温度降下し記録媒体は高保磁力状態に戻る。そのため記録された磁気ビット情報（上向き若しくは下向きの2値）は、熱揺らぎや周辺環境温度の変化の影響を受けにくくなり、記録情報は長期間安定して保存される。

\*<sup>1</sup> 技術本部 デバイス技術研究所 第3研究室

\*<sup>2</sup> Sharp Laboratories of America, Inc.

\*<sup>3</sup> 技術本部 デバイス技術研究所

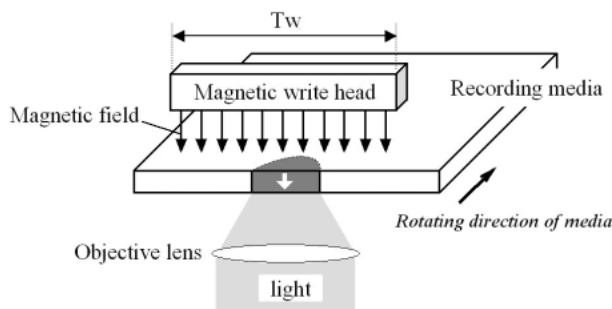


図1 光アシスト磁気記録の原理

Fig. 1 Principle of laser-assisted magnetic recording.

我々が光アシスト磁気記録方式を提案した当初<sup>1)</sup>は、記録磁気ヘッドのトラック幅(図1のTw)が約 $5\ \mu\text{m}$ 、媒体に集光された光ビームスポットの直径(以下、Sdと呼ぶ)は約 $1.3\ \mu\text{m}$ であり、トラック幅方向の記録密度はSdが支配する状況であった。光ビームスポットは、当時一般的であった発振波長 $780\ \text{nm}$ の半導体レーザと、開口数=0.6の対物レンズを主部品として構成された光磁気記録用の光ヘッドを、図1に示すように記録磁気ヘッドに対し、記録媒体を挟んで対向させる形で配して生成させていた。

その後、磁気ディスクの急速な密度増加に伴い記録ヘッドのトラック幅Twは急激に狭まり、現在では $150\sim 200\ \text{nm}$ に達している。一方で光ビームスポット径は、市販レベルで最大容量を有し商品の市場投入が既に開始されているブルーレイディスク(Blu-ray Disc)の光学系での値が $400\ \text{nm}$ 程度(波長 $405\ \text{nm}$ 、対物レンズ開口数0.85)であり、 $Tw < Sd$ となっているのが現状である。

光アシスト磁気記録の実用化のためには、光ビームスポットサイズをTwと同等もしくは、より小さくすることが好ましい。しかしながらレーザ光をレンズで集光する場合、その回折限界により、大幅なスポット径の低減は困難である。また、実用化においては、集光光学系と磁気ヘッドを一体・軽量化し、記録媒体上の同一サイドに配し、現行の磁気ディスク装置と同程度の装置サイズにすることが求められる。対物レンズなどの集光光学系を磁気ヘッドスライダ上に設けることは重量並びにそれに伴うアクセスやシークタイムの増加の点で好ましくなく、新たな微小光生成デバイスが求められる。

回折限界を超える微小スポットを生成するために、近接場光<sup>6)</sup>を利用する方法がある。近接場光とは物質に光を照射したときに、物質表面に生じる光のことで、伝播せず物質表面のごく限られた近傍にのみ局在する。これを利用することで集光光学系を必要としない微小スポット生成デバイスが提供できる。

本稿で紹介する微小開口レーザはこの近接場光を生成するデバイスであり、その構造・大きさは半導体レーザチップとほぼ同じである。このため重量の点でも既存の集光光学系に比べ大幅な低減が見込まれ、磁気ヘッドスライダへの搭載が容易になる。

## 2. 微小開口レーザ

### 2.1 近接場光

図2は微小開口により発生した近接場光を説明するための模式図である。波長より小さいサイズの開口に光を照射すると、伝播光(図中のFar field)はほとんど透過せず近接場光(図中のNear field)が発生する。近接場光は光源波長によらず開口と同程度のサイズの電場分布を持ち、開口から離れるに従い指数関数的に強度が減少する。近接場光領域(図中Z方向)は概ね開口サイズと同程度となる。また、開口サイズを小さくすればするほど、発生する近接場光の分布は狭くなる。

近接場光を実際の記録媒体昇温のための熱源として用いる場合には、開口と媒体の距離を $10\sim 20\ \text{nm}$ 程度に近づけ、近接場光の電界強度の強い領域を用いる必要がある。これは現行の磁気ディスク装置におけるフライングハイト(記録媒体面とスライダ面とのギャップ)と同オーダーの値であり、近接場光生成デバイスが磁気ヘッド程度に小型軽量化できれば磁気ヘッドと同様の機構で実現できるオーダーである。

### 2.2 試作微小開口レーザ

試作した微小開口レーザの概略構成図を図3に示す。微小開口レーザは、半導体レーザの出射端面に微小開口を設けて開口近傍で近接場光を発生させる素子である。通常の半導体レーザと異なり、活性層(図中Ridge waveguide)の出射端面から伝播光が漏れない

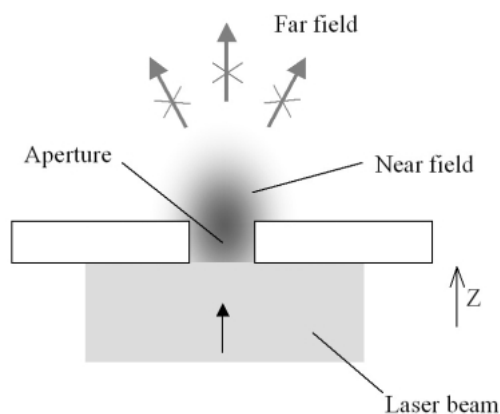


図2 微小開口により生成した近接場光(説明図)

Fig. 2 Near field from aperture.

ように厚めの金属層 (Metal layer) を設けている。そして活性層端面の中心に開口 (Aperture) を加工している。

通常の半導体レーザでは、活性層の出射端面はヘキ開面あるいは誘電体低反射膜に覆われており、出射端面より伝播光が出射される。一方、微小開口レーザは出射端面上に設けられた開口部のみで近接場光を発生する。

今回作製した微小開口レーザは、波長 658 nm の半導体レーザの出射端面にアルミ薄膜を 50 nm 積層し、100 nm × 200 nm 程度の矩形の微小開口を設けたものである。開口の原子間力顕微鏡 (AFM) 観察結果を 図 4 に示す。設計通り、開口は金属膜を貫通して形製されており、ほぼ矩形に近い形状の開口であることが確認できた。

### 3. 近接場光の測定

#### 3・1 測定方法

上述の微小開口レーザから発生する近接場光を測定する装置の概略構成図を 図 5 に示す。汎用の AFM 装

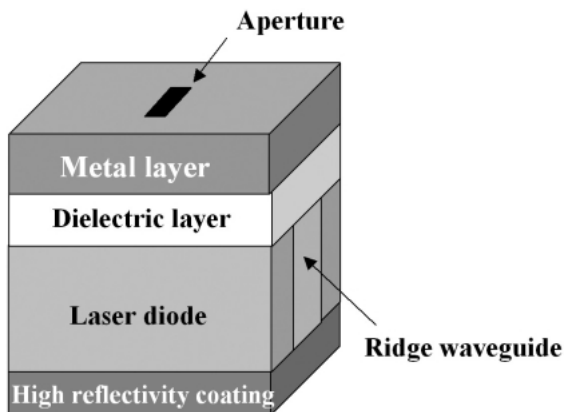


図 3 微小開口レーザの概略構成図  
Fig. 3 Configuration of very small aperture laser.

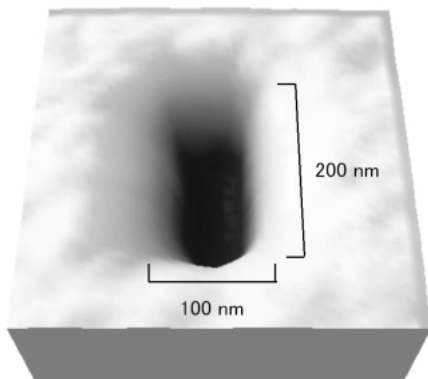


図 4 開口形状  
Fig. 4 AFM image of aperture.

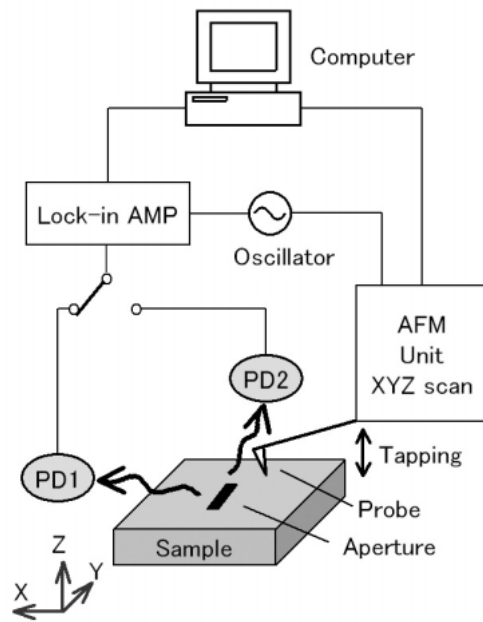


図 5 微小開口レーザ評価装置システム図  
Fig. 5 Schematic diagram of scattering SNOM.

置に散乱光測定用の光検出系を組込んだ散乱型 SNOM (Scanning near field optical microscopy) 装置<sup>7)</sup>となっている。散乱体として AFM 用探針 (図中 Probe) を用い、開口周辺の表面形状の測定と同時に、近接場光の強度分布を測定することができる。

AFM 探針の先端 (先端曲率半径約 10 nm) が開口周辺の近接場光領域に近づくと、近接場光が乱され散乱光が生じる。この散乱光の強度は探針先端での近接場光強度に依存するため、探針走査時の散乱光強度分布を測定することで近接場光の強度分布を知ることができる。

散乱光の強度は微弱であるため、散乱光以外のノイズ光 (伝播光や測定系で生じる外乱光) と区別して検出しなければならない。このため、特定の周波数成分の信号を取り出しノイズ除去を行う Lock-in アンプを用い、信号検出を行っている。散乱光強度を特定周波数で変調する必要があるため、本装置では、探針を一定周波数で Z 方向に振動させるタッピング方式で測定を行っている。近接場光は開口から離れるに従い強度が減少するので、探針を Z 方向に振動することで、散乱光強度をその周波数で変調することができ、ノイズ光と区別することができる。散乱光強度の検出は光検出器 (PD1・PD2) を用いて行う。2 個の光検出器をそれぞれ X, Y 方向に配することで、近接場光の特定方向の電場分布を検出することができるシステムとなっている。近接場光が探針先端により乱される場合、その散乱光の伝播方向は近接場光の電場方向に

よって異なる特徴がある。光の伝播方向と電場方向は互いに垂直であるため、X方向に振動する電場 $E_x$ を散乱させると散乱光はX方向には伝播しない。本装置は、微小開口レーザの偏光方向をX方向（開口の短辺方向）に合わせており（偏光方向がX方向であるため $E_y$ 成分は生じないが、開口の構造により $E_z$ 成分は生じる）、光検出器PD1をX方向、光検出器PD2をY方向に設けることで、PD1では $E_z$ 成分が、PD2では $E_x + E_z$ 成分が検出できる。

近接場光の測定は間接的な測定となるため、考察を行うにはシミュレーション結果との比較が不可欠である。近接場光のシミュレーションにはFDTD法（Finite Difference Time Domain）が良く用いられている。FDTD法とは、電磁波の伝播を記述するMaxwell方程式を差分化し、時間領域で解く方法である。今回の検討においても、FDTDシミュレーションの計算結果と実験データを比較することで、近接場光の確認を行った。

### 3・2 測定結果

微小開口レーザより近接場光が正常に出力されていることを確認するため、開口面内（XY面内）での強度分布の測定と、高さ方向（Z）に離れたときの強度変化についての測定を行った。

図6に、開口面内の分布について、2つの光検出器（PD1, PD2）で測定した結果とFDTDシミュレーション結果との比較を示す。図中の破線は開口位置を表している。a)はPD1での、b)はPD2での測定結果であり、明るい箇所ほど電場強度が強いことを表している。c)は $E_z$ 成分の、d)は $E_x + E_z$ 成分の分布のFDTDシミュレーションの計算結果を示しており、線が密なほど強度が強いことを表している。

光検出器PD1は図5に示すようにX軸上に設置しており、 $E_z$ 成分の分布を検出している。a)に示すように、開口の左側面近傍の強度が強くなっており、30 nm程度の幅に電場が集中している様子が観察できた。これは開口の短辺長さ約100 nmよりも小さい値である。

c)に示す $E_z$ 成分の分布の計算結果では、電場が開口の左右両側の側面部近傍に集中している様子が確認できる。実測結果a)で左側面の電場しか観測できなかった理由は、測定においてAFM探針が散乱光を遮ってしまったためであると考えている。PD1は開口左側に設置しているため、右側面で生じた散乱光は探針に遮られPD1に到達しない。これが左側面近傍の電場集中しか観測できなかった原因と考えている。

光検出器PD2はY軸に設置しており、 $E_x + E_z$ 成分の分布を検出している。b)に示すように開口内部に

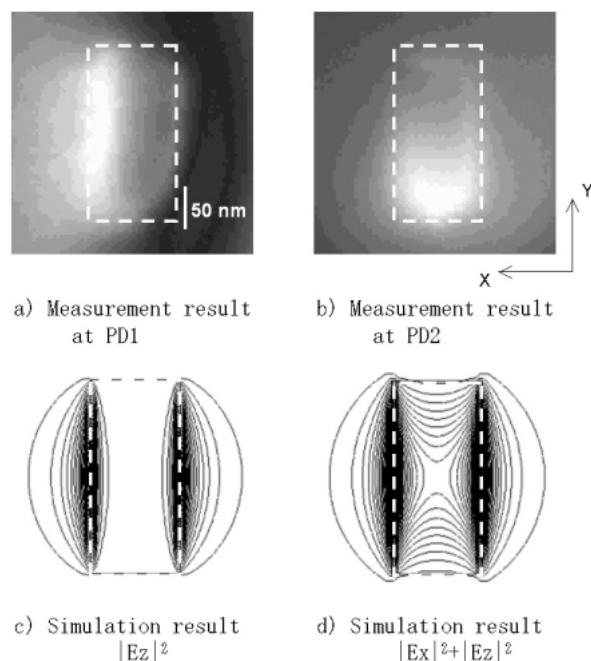


図6 近接場光の測定及び計算結果

Fig. 6 Measurement and simulation results of near field.

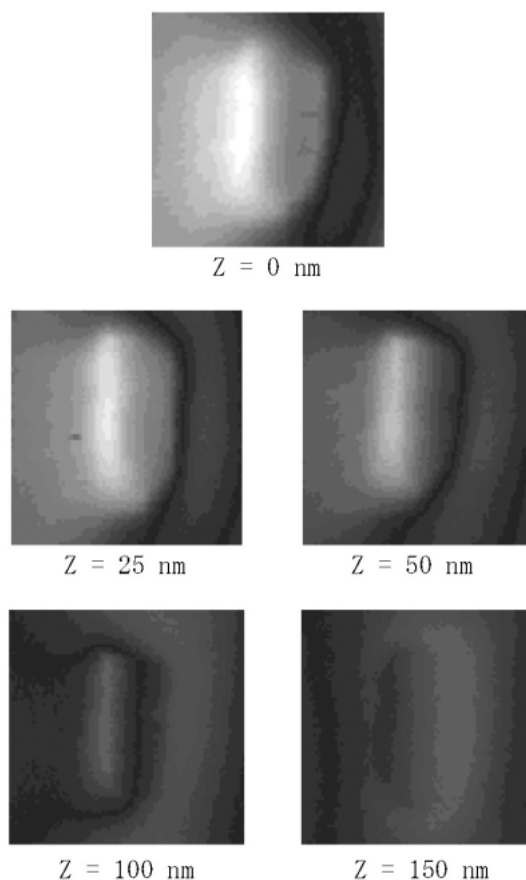


図7 近接場光分布のZ方向依存性

Fig. 7 Dependence of near field distribution on Z height.

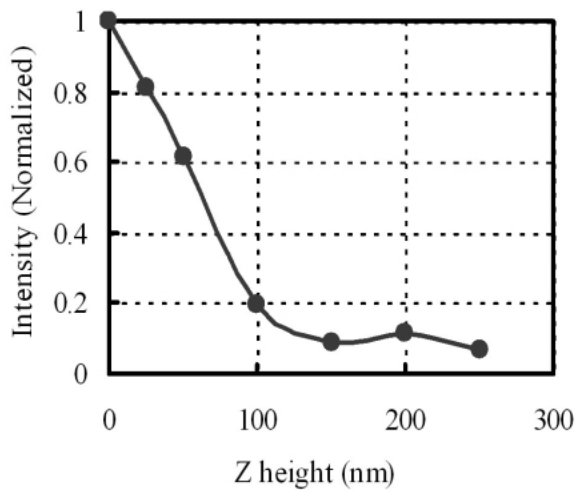


図8 近接場強度の高さ依存  
Fig. 8 Dependence of near field intensity on Z height.

も電場が存在している様子が観察できた。d) に示す  $E_x + E_z$  成分の分布の計算結果でも、開口内部に電場が存在する様子が確認できている。b) では開口の下部の強度が強くなっており、上部での電場集中は確認できないが、前述の a,c) における比較結果と同様に、開口上部に出現するはずの電場集中は散乱光が探針に遮られるために観測されなかったと考えられる。

波長以下の領域に電場が集中していること、測定結果と計算結果の傾向がほぼ合致していることから、近接場光の特徴のひとつである、開口周辺における電場の局在性を確認できた。

図7にサンプルと探針間の距離 (Z) を変化させたときの近接場光測定結果 (PD1) を示す。開口から離れるに従い強度が弱くなっていく様子が確認できた。図8は図7の測定結果をグラフ化したものである。開口左側面上のある一点での強度を抽出し、 $Z = 0 \text{ nm}$  での値で規格化してプロットしている。図8から、近接場光強度がZに対し (指数関数的に) 急激に変化して

いることがわかる。これら結果より、近接場光の特徴のひとつである、開口から離れるに従い強度が急激に減少する様子が確認できた。

以上の測定結果より、微小開口レーザより近接場光が正常に出力されていることを確認できた。

尚、本装置では絶対強度は測定できていない。しかしながら、大野らの発表<sup>8)</sup>にあるように、近接場光強度は開口からの伝播光の数倍程度と見積もられている。伝播光の強度は、駆動電流 30 mA 時で約  $10 \mu \text{ W}$ 、50 mA 時で約  $83 \mu \text{ W}$  となっており、近接場光強度はこの数倍と考えている。

むすび

本研究では、光アシスト磁気記録用微小開口レーザの開発の第一歩として、開口が  $100 \times 200 \text{ nm}$  の微小開口レーザとその評価装置を作製し、近接場光が正常に出力されていることを確認した。今後は、光アシスト磁気記録に必要なパワーが得られるかなど、実用化のための検証を進める予定である。

参考文献

- 1) H. Katayama, S. Sawamura, Y. Ogimoto, K. Kojima, and K. Ohta: J. Magn. Soc. Jpn., 23 (S1), pp.233 (1999).
- 2) H. Saga, H. Nemoto, H. Sueda, and M. Takahashi: Jpn. J. Apply. Phys., 38 (Pt. 1, No. 3B), pp.1839 (1999).
- 3) 小嶋, 宮西, 佐藤, 高山, 藤, 村上, 高橋, “光アシスト型高密度ディスクメモリ”, シャープ技報, 第87号, p.32 (2003).
- 4) Afsin Partovi et al, Appl.Phys.Lett.75, pp.1515 (1999).
- 5) Fang Chen et al, SPIE.5069, pp.312 (2003).
- 6) 大津元一, 河田聡, “近接場ナノフォトニクスハンドブック”, p.7, オプトロニクス社 (1998).
- 7) N. F. van Hulst et al, SPIE.1639, pp.36 (1992).
- 8) Tomoki Ohno et al, SPIE.5380, pp.393 (2004).

(2005年1月26日受理)