

## 近接場光記録技術

後藤 顕也

東海大学 開発工学部情報通信工学科 (〒410-0395 静岡県沼津市西野317)

### Near-Field Optical Storage Technology

Kenya GOTO

*School of High-Technology for Human Welfare, Tokai University, 317 Nishino, Numazu, Shizuoka 410-0395*

( Received August 31, 2003 )

Higher density optical disks with higher data rate and technological capability of super parallel optical heads using VCSEL (vertical cavity surface emitting laser) array are described. Optical heads using the VCSEL array and microlens array to get higher evanescent light from narrow apertures play a key role in supporting optical disks, which are coated with lubricant and protective film on their flat surfaces in order to keep the gap between the super parallel optical head and the disk surface within several 10 nano meter. Higher throughput efficiency in the near-field semiconductor optical probe array has been obtained in our optical head. However, the obtained evanescent light power is  $10 \mu\text{W}$  from the 100 nm probe aperture, which is one tenth of the power needed to write a bit on the phase change optical disk surface. One solution to get ten times the power is to develop special nano fabricated optical probes of higher throughput efficiency. A metal fine grating fabrication method to get evanescent light wave resonant enhancement is planned after good 2D-FDTD simulation results.

**Key Words:** Near-field optical disk, Optical head, VCSEL array, Microlens array, Fine gold grating

#### 1. まえがき

パソコン搭載用の磁気ハードディスクドライブ(HDD)のメモリ容量が年々倍増している。個人用のノートパソコンにも40ギガバイト(Giga byte:以後GBで略称する)以上のメモリ容量を持つHDDが内蔵されているのが普通になってきている。この調子でゆけば2年後にはノートパソコンに、容量が100 GB以上のHDDが搭載されるものと思われる。光ディスクドライブ(ODD)もCD/DVD-ROMの読み出し専用だけでなく、書き込みも可能なCD/DVD-RWドライブがノート型パソコンに数多く搭載されている。その容量は片面4.7~9 GBであり、次世代形DVD(すでにソニーから市販開始されているいわゆるBlu-rayディスクなど青色半導体レーザー搭載の高密度タイプ)が市場に数多く出回る数年後には、片面40 GB(東芝・NEC方式)のCD/DVD/次世代DVD互換型ODDが実現される見通しである。しかしながら、これらが本格的に実用化されても、また、これまで躍進を続けていた磁気ディスクでも、いまのところ最高20 Gbit/in<sup>2</sup>から40 Gbit/in<sup>2</sup>程度の記録密度が限界であると思われる。本稿ではこの限界についての説明、およびこれをうち破る近接場光ディスクメモリ技術概要を述べる。

#### 2. 大容量化メモリ時代の光ディスクへの要請

光ファイバ通信時代やデジタル衛星放送時代を迎えて、伝送だけでなく、メモリにおいてもデータ転送レートの高速化がますます必要となってきた。磁気ディスクのデータ転送速度は800 Mbps程度にまで高速化されているが、現在の光ディスクでは記録・再生光源として一個の端面発光LD(半導体レーザー)を用いている限り、精々300 Mbps程度までしか速くならない。これを打開する一方法として、垂直共振器表面発光半導体レーザー(VCSEL)の多素子アレイを用いる方式が提案されている<sup>1)</sup>。先ごろ日本学術振興会の未来開拓学術研究による基礎研究の大方を終了しているがあと少しの研究が必要である。成功すれば、連続した記録・再生のデータ転送速度が10 Gbpsから60 Gbpsにまで高速化できる可能性がある<sup>2)</sup>。

経済産業省の外郭団体である(財)光産業技術振興協会が毎年発表している光産業の国内生産額は光ディスク関連が2002年度の総生産額の三分の一程度を占めている。その内容はCDやDVDなど光ディスク技術に関連している機器やディスク媒体そのものであり、おおよそ2.5兆円である。CDプレーヤは今では大量消費財の一つであり、国内の月間生産台数が2,000万台にも達している。DVD-

ROMドライブの生産量は21世紀に入って、かつての1990年代のCDプレーヤの生産量に近い伸びを示すことが期待されている。

光産業は日本が得意とする半導体レーザー技術が無くては成立しない。半導体レーザーの量的最大応用が光ディスクヘッドである。媒体交換可能な光ディスクの特徴は従来のフロッピーディスクに比べて、記録容量が大きいこと、記録媒体の交換や携帯が容易にできること、データが破壊されなく、機密性も高いことなどが挙げられる。本稿では、まず、光ディスクの代表としてのCDやDVD用光ヘッド技術の概要を述べ、今後の技術動向についても述べてみたい。

波長が650 nmで、対物レンズの開口数が0.6である市販DVDの記録容量は、片面が2層構造の場合で18 GBである。前述したようにすでに市販開始されているBlu-rayディスクは、波長が405 nmの青紫色半導体レーザーを光源に用いて、開口数が0.85の対物レンズを採用している。直径120 mmのディスク片面で25 GBの記録容量が達成されている。ランド/グループ(溝上ならびに溝間記録)記録技術の採用や、層間約30ミクロンの片面二層構造方式を採用することによって究極にはディスク一枚で100 GBの記録容量を達成することができる<sup>3)</sup>。この場合、わずかな層間の違いを応用して、どちらかの層に直径が0.3ミクロン程度のビーム・ウエストサイズを用いて、自動焦点制御を行う。他方の層では直径が約30ミクロンの太いビームとなって通過するので、層面に刻まれている直径0.38 μm程度のピットの影響を4桁(1/10,000)以上も低くできる。しかしながら、記録容量が直径120 mmサイズディスクで100 GBのこの壁を乗り越え、かつ、高データレート化するには、前述したVCSELの二次元アレイヘッドを利用する近接場光記録・再生用の高効率プローブアレイに頼らざるを得ないと思われる。

### 3. 光ディスクメモリの基本

光ディスク記録面にできる限り小さなピットを書込み(記録)、それを読取る(再生)方式が光ディスクメモリであり<sup>4)</sup>、このような光ディスク方式が光産業市場における生産高の大部分を形成している。光メモリ装置の仲間としては市場としてまだあまり大きくないが、レーザーなどコヒーレンスの良い光波を三次元物体へ照射して、その物体からのいろいろな方向への回折光の一部をきれいな平面波(参照光波)と干渉させ、その干渉縞を光記録媒体上に記録させたものがホログラム<sup>5)</sup>であり、光メモリの大事なひとつを形成している。波長400 nmを光源とする次世代DVDにも二方式があり、すでに市販されているBlu-rayディスクはカバープラスチック厚が0.1 mmである。したがって、ディスクはジャケット(塵埃対策としてカートリッジの中に収めてある)に挿入されている。つまり、従来のように裸のディスクを素手で扱うことはできない。これに対して、まだ市販されていないが、東芝・NECの方式は従来のDVDとの互換性を保つ目的のために、対物レンズと記録面との間のカバープラスチックはDVDと同

じ厚さの0.6 mmであり、CDやDVDと同じくディスクを裸のままの状態で使用できる方式である。ただし、片面で二層の記録膜を持っている。以上から想像できるように、100 GB以上の超高記録密度の光ディスクとなると、HDDと光ディスクとの境界がほとんどなくなって、表面記録型の光ディスクとなることは必定であるように思われる。前述したように、従来型の対物レンズを用いる方式の光ディスク記録容量限界が直径120 mmディスク片面二層タイプで40~50 GB、両面で80~100 GB程度であろう。この限界はHDDの記録密度の限界とほぼ同じ値となる。磁気ディスクの記録ビットサイズが100 nm以下になると室温では自然に磁化の反転が起こり、ビット記憶が維持できなくなるからである。

#### 3.1 高密度化に必須な高NA対物レンズ

光ディスクにおける高密度化の本質は、対物レンズの開口数(Numerical Aperture:  $NA = n \sin \theta$ )を顕微鏡の対物レンズ並みに大きくして、レンズとレーザー波長で規定されるビームウエストサイズ(Fig. 1参照)をできるだけ小さくしたレーザービームを用いてディスクの情報記録面にビット記録を行い、また記録されたビットを高いSNで検出できることにある。したがって、レーザー光の波長を短くするとともに、用いる光ヘッドの対物レンズのNAをできる限り大きくした方が良いことが理解できる<sup>4)</sup>。しかし、ディスク媒体と非接触的に記録再生できるということは光ディスク面に塵や埃や指紋が付着していても記録・再生ができることを意味している。そのためには、かなり厚いディスク基板を通して非接触的に情報の出し入れをしている点を活用しなければ光ディスクの大きな特徴を失うことになる。具体的にCDでは1.2 mm ± 100 μm、DVDでは0.6 mm ± 10 μmのディスク基板を経由して光記録や再生を行っている。Fig. 2に示すようにディスク表面に塵埃があってもディスク情報記録面における光ビームサイズが1 μm前後に絞ることができる。なぜならば、ディスクへの光ビーム入射面におけるビーム断面直径(2d)は約800 μmもあるからであり、この面は結像面ではないので、数10 μmの塵埃が存在しても、通過するビーム光量にすこし影響を与えるのみで、再生信号にはほと

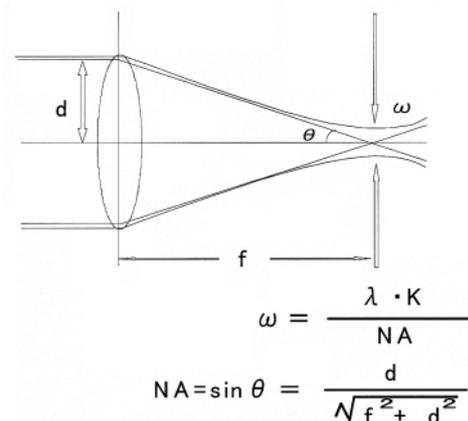


Fig. 1 Definition of Numerical Aperture and Beam Waist size focused by a lens.

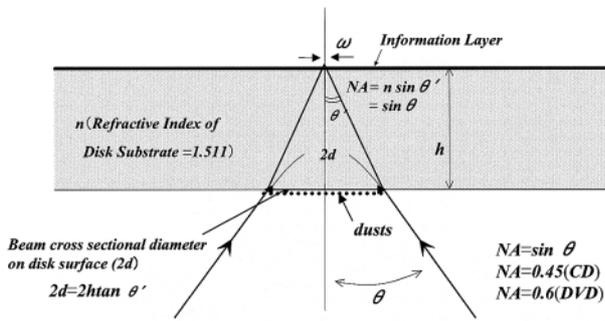


Fig. 2 Relation between a laser beam cross sectional size and dust sizes on the disk surface.

んど影響しないからである。

しかし、基板厚さが厚ければ使用する対物レンズのNAの大きさに制約が加わる。なぜならば、光ビームの光軸がディスク面(法線)に対して傾くと、コマ収差<sup>4)</sup>が発生するからである。ディスクの厚さが厚くなるにしたがってコマ収差の量がMaréchalの基準<sup>4)</sup>(次節参照)よりも大きくなる傾斜角度はかなり小さくなってしまふ。CDの場合には厚さ1.2 mmのカバープラスチックのために、対物レンズのNAをあまり大きくできず0.45に決定された。DVDの場合には基板厚が薄い分だけコマ収差許容度が増えるので、その分だけNAを大きくでき、0.6となっている。ちなみに、CD用のレーザー波長は、開発時の生産技術的レベルから780 nm ± 10 nmとされ、CDが市場に現れてから14年後に市場化されたDVD用の波長は650 nm ± 20 nmと短くなった。次世代DVDではディスク基板用プラスチックの透過最短波長の限界に近い405 nm(青紫色)の半導体レーザーであり、NAの大きな0.6~0.85の対物レンズが使われている。ただし、この対物レンズに対応する前述カバープラスチック厚がDVDの場合と同じ0.6 mm(東芝・NEC方式)の場合と、さらに厚さが6分の1(100 μm)に減少させた(ソニー・松下・パイオニア等10社方式)とがある。後者の場合には高精度な対物レンズのフォーカス制御技術がポイントになる。前者の場合の記録密度低下対策としては信号処理技術やMPEG半導体に工夫を凝らし、微妙な違いの二層構成とすることによって補っており、ディスク片面で40 GBを保つような工夫をしている。

### 3.2 回折限界にまで光ビームを絞込む光学系条件

対物レンズへ、Fig. 1のように波長λの光波平行ビームを入射させる。レンズの焦点距離をfとし、レンズの瞳径を2dとすると、ピーク光強度の1/e<sup>2</sup>に減衰する全幅ビームウエストサイズwは、

$$w = \lambda k / NA \quad (1)$$

で表される<sup>4)</sup>。ここで、kは入射ビームの半径方向の光強度プロファイルにかかわる定数であって、ビーム断面全面にわたって均一な強度のときはk = 0.96であり、ガウスビームのときはk = 1.34の値をとる<sup>4)</sup>。NAはレンズの開口数(Numerical Aperture)と呼ばれ、レンズの光軸と収束ビームとのなす角をθとすると、NA = n sin θで表される<sup>4)</sup>。nは媒体(空気やガラス等の固体や液体)の屈折率である。Fig.

1から

$$NA = n \sin \theta = nd / \sqrt{f^2 + d^2} \quad (2)$$

で与えられる。したがって、wは

$$w = \lambda nk / NA = \lambda k \sqrt{f^2 + d^2} / d \quad (3)$$

で表される。この式からビームウエストサイズはどんなに大きな開口数のレンズを用いても、空气中(n = 1)ではλkの値よりも小さくなることは無いことがわかる。

### 3.3 波面収差とMaréchalの基準

上述したように半値全幅ではなく、1/e<sup>2</sup>における全幅wは前提条件として光波の波面が乱れていない場合としている。波面の乱れの度合いを波面収差で表す<sup>4)</sup>。波面収差にはPV値とRMS値とがある。波面収差がないか、または、収差があっても極めて小さいレーザー光を波面収差の極めて少ないビーム・スプリッタを用いて、二つのビームに分け、一方を波面収差がほとんどゼロのミラーで反射させ、もう一方のビームを平面度の悪いミラーで反射させて両反射光を干渉させれば干渉縞が見られる。干渉縞のピッチサイズをSとし、一本の縞に見られるうねりの山と谷間の大きさをΔSで表せば、波面収差のPV値(ω<sub>PV</sub>)は面の中のある一点での波面収差であり、

$$\omega_{PV} = \Delta S / S \quad (4)$$

で表される<sup>6)</sup>。面全体のrms波面収差(ω<sub>RMS</sub>)を求めるには、被検査面内の各点のPV値を、ω<sub>PV1</sub>, ω<sub>PV2</sub>, ω<sub>PV3</sub>, ω<sub>PV4</sub>, ... ω<sub>PVn</sub>とすると、

$$\omega_{RMS} = \left\{ (\omega_{PV1})^2 + (\omega_{PV2})^2 + \dots + (\omega_{PVn})^2 \right\}^{1/2} \quad (5)$$

で表される。すなわちRMS値というのはPV値の根二乗平均値のことである<sup>4,6,7)</sup>。

さて、光ディスク用の記録再生光学ヘッドのレーザービームは、半導体レーザーの出力端面からヘッド内の各種光学部品を経て、光ディスク基板を通して光ディスク記録面に至るまでいろいろな光学部品を通過する。半導体レーザーの窓、レーザービームを3本に分けるための回折格子、ビームを分けるとともに光ディスクの方へ折り曲げる役をするハーフミラー(半分を反射させ半分を透過させる役目を行う)、半導体レーザーからの広がった出力ビームを平行ビームに変換するコリメータレンズ、小さなビームウエストをつくるためのNAの大きな対物レンズ、Fig. 2で述べた薄い記録面へ到達する前に必ず経由する厚いプラスチック基板など、いずれの光学部品も完全なものはないので、それぞれを透過や反射する毎に必ずレーザービームの波面を劣化させる(光ビームの空間位相波面の劣化)。この劣化の度合いを規定しているのがMaréchal基準である。この基準はrms値でλ/14以下の値でなければビームウエストサイズは上式で表されるよりもっと大きなサイズとなることを意味している。

#### 4. 近接場光を利用する高密度光メモリ

これまで述べてきた方法では、対物レンズのNAもソリッドイマージョンレンズ<sup>9)</sup>(SIL)を使用した限界値に到達しており、半導体レーザーの発振波長も光学部品や光ディスク材料の光透過率限界である400 nmの短波長化にまで到達しており、既述したように100 GBを超える記録容量を得ることはできないと思われる。そこで、この限界値を突破できる候補として、近接場光記録技術について述べる。相変化記録媒体の上面にわずかな距離(約10 nm)を隔てて酸化銀を含む薄い膜を形成しておく、レンズで絞られた光ビームを照射すると、そのガウスビームの頂点のパワーにて酸化銀膜が熱分解を起し、銀(Ag)の粒子が発生する。この銀粒子群の直径は照射レーザービームより、はるかに狭い200 nm以下であることが多い。したがって、次に照射されるレーザービームはこの小さなアパーチャに遮られて通過できないが、エバネッセント波のみ通過、約10 nm離れた記録媒体上に200 nm前後の記録ビットを形成することができる<sup>10)</sup>。この方式は信号再生もこのアパーチャを通して読み出すため、従来のディスクドライブやディスク基板が使える。将来の超高密度光記録が実現する前段階として非常にすぐれた方式(Super-Rens)と思われる<sup>10)</sup>。

##### 4.1 VCSEL応用超パラレル二次元アレイヘッドによる転送レートの超高速化

光ファイバ通信では10~40 Gbpsの超高速ビットレート情報をリアルタイムで記録したり再生したりするメモリ装置が必要とされる。そこで、1998年頃から垂直共振器表面発光半導体レーザー(Vertical Cavity Surface Emitting Laser, : VCSEL)の二次元アレイと一体化した高効率近接場プローブアレイを用いた超高速・超小型・超高密度光記録・再生用光ヘッドの研究が続けられている<sup>1,8)</sup>。日本で発明(伊賀 健一学振理事<sup>11)</sup>)された垂直共振器半導体レーザー(VCSEL)を応用することと、近接場光プローブの高効率化がこの技術のポイントである。実用化させるには現在欧米にて小規模生産しかされていないVCSELアレイの国内での大規模生産が開始される必要がある。大量生産を促すには本稿のような民生への大規模応用装置開発が引き金になるかもしれない。

##### 4.2 エバネッセント波を利用する超高密度光メモリ

近接場光学(Near-Field Optics)という分野が光学研究者の関心を集めている<sup>12)</sup>。従来からの遠視野光学(Far-Field Optics)では、レンズなどの収束光学素子を用いて光波ビームをできる限り小さなスポットサイズに集光しようとしても光波による回折効果の影響のため、光ビーム断面中心パワーの $1/e^2$ に低下するビーム周辺サイズで測定して、波長サイズ程度までしか絞れない。一方、光ファイバのコアとクラッドとの境界にて生じているコア中を伝搬している光波の全反射現象を詳しく調べると、光波の進行方向とは直角の方向にわずかに漏れて、急速に減衰する非伝搬波成分(エバネッセント波)があることが古くか

らわかっていた。ここでは、回折限界を超えて光を小さく絞るには通常のFar-Field光波を用いずにエバネッセント波を利用しようとする試みである。ところが、エバネッセント波は発生後に伝播距離に対して指数関数的に光強度が減衰するので、光波長のおおよそ $\lambda/4$ 程度以内の至近距離に記録媒体を近づけ、かつ、保たなければならないことが、エバネッセント波を利用する側の応用ポイントである。そのために、ヘッドとディスク間のインターフェースにはハードディスクの場合と同じように浮上ヘッドやコンタクトヘッドが採用されている。ディスクとしては表面記録媒体が用いられる<sup>1)</sup>。

##### 4.3 VCSEL二次元アレイを用いた高効率プローブの研究

VCSEL二次元アレイにおける多数の構成素子が決して重ならないように光ディスクの回転の接線方向に少し傾けて使用するので、アレイの構成素子の数だけ光ディスク面上に同時並列記録ができる点が特徴である。Fig. 3に示す一素子を1 Mbpsで変調した場合でも $100 \times 100$ アレイで10 Gbpsのデータ転送レートとなり、10 Mbpsで変調した場合には $10 \times 10$ アレイのヘッドを使用した場合でも1 Gbpsのスピードで記録・再生ができる。すなわち、高速時系列信号を低速な空間光変調信号に変換している。一般にエバネッセント波の発生効率はきわめて低い。この低い効率を10000倍以上に増大させる手段として、高屈折率半導体材料で構成するプローブアレイを開発した(Fig. 4)、プローブ先端にレーザー光を集中させる目的で特殊マイクロレンズアレイを前述プローブアレイと一体成形する方法を開発し、レンズの焦点位置と開口先端位置とをナノメータ精度で自動的に合致させるセルフ・アライメント技術も開発した<sup>13)</sup>。実際のマイクロレンズ直径は $5 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$ <sup>14)</sup>、アレイピッチは $10 \mu\text{m} \sim 25 \mu\text{m}$ である。各レーザーの出力は $50 \sim 100 \mu\text{W}$ に設定する。本技術の第二のポイントは、半導体プローブと表面プラズモン・ポラリトンを利用して、この効率をさらに $10 \sim 10^2$ 倍ほど向上させるための研究である<sup>8,14-16)</sup>。近接場光プローブの先端開口径サイズを30 nmとし、VCSELから射出したレーザー光ビームをマイクロレンズで収束させる位置がこの30 nm以下のサイズの開口部である。第三の技術として、二次元アレイによる近接場プローブからの出力エバネッセント波を相互結合させる回折と干渉効果とを応用した微小金

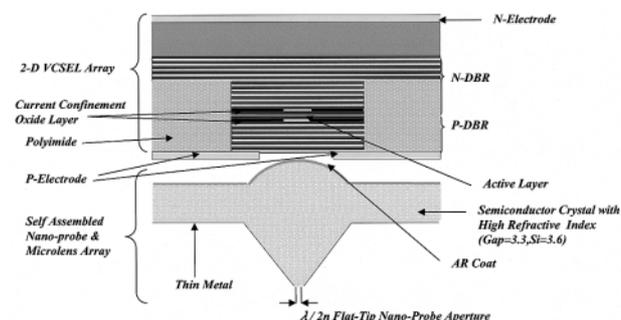


Fig. 3 This figure shows only one unit out of two dimensional optical array device head.

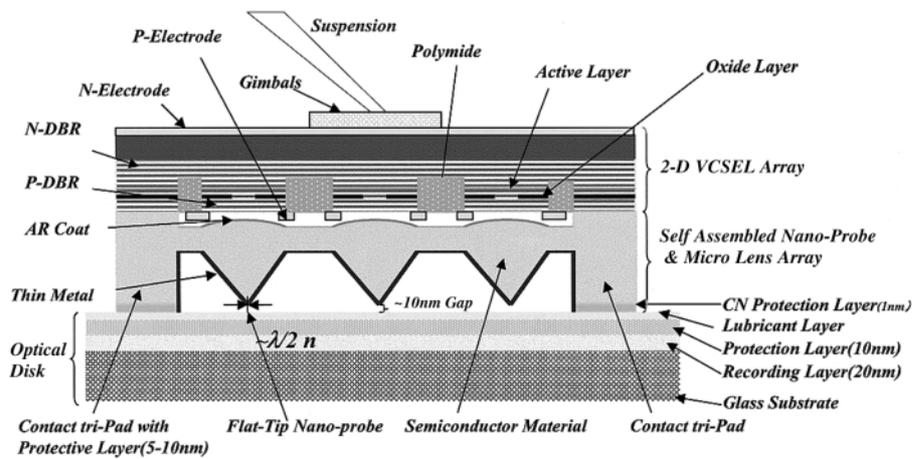


Fig. 4 This figure shows only three units out of two dimensional integrated optical head.

属粒子あるいは微小金属(銀か金)線を効率よく共鳴励起してエバネッセント波の出力増大化を計っている点である。本方式の半導体材料と金薄膜ならびに超微細金線で構成される光ヘッドに対して、マクスウェル方程式を立て、時間領域差分(FDTD)法による数値解析を行ったところ、レーザー光は線幅10 nm前後の銀や金など金属材料の誘電率のリアルパートが負を示す金属の周期構造に強く共鳴し、表面プラズモン・ポラリトン(SPP)が効率よく励振されることがわかった。SPPが再びエバネッセント光に変換され、狭い開口から増強されたエバネッセント光波が射出されるのがわかった。Fig. 5, 6に示すように、非常に有望<sup>16)</sup>であり、ナノテクノロジー応用(ナノ加工)技術とあいまって、今後の研究に期待できる。

#### 4.4 ナノ加工技術の研究

上述したナノ加工の超微細金属細線の実現が当面の課題である。まず、幅10 nmで深さ30 nmの溝を半導体表面に周期構造のナノ加工(グレーティング)を行う方法を研究する。最初にEBリソグラフィ技術を活用して上記ナノ加工周期構造の溝を作製する。もう一つの方法として、カーボンナノチューブを先端に持つカンチレバーでAFM(原子間力顕微鏡)を改良した方法を模索する。後者は、金蒸着を施したGaP表面に高分解能リソグラフィ材料を薄く塗布し、前述カーボンナノチューブを先端に持つカンチレバーとの間に電流を流す。これにより、モノマーがポリマーになるのを利用してナノフォトグラフィーマスクを形成する。形成された幅10 nmで深さ30 nmの周期構造溝(狭いアスペクト比)に銀や金を埋めることは現有技術では、ほとんど不可能である。

そこで、直径数 nmφの金属ナノ粒子を内蔵するコロイド溶液を合成し、流動性と選択的な化学結合(例えば硫黄と金の化学結合)との組合せを利用して前述半導体に設けられた溝に金属ナノ粒子で埋めていく方式を採用する。前述ナノ粒子が溝の中によく納まるようにするため、さらにナノ粒子中心にニッケルやコバルトなどの磁性粒子を金などの金属でコートされたナノ粒子を用いる。そして、半導体ウェーハの反対側に磁石を設置することにより、強制的に銀や金のナノ粒子を溝の中に閉じ込める方

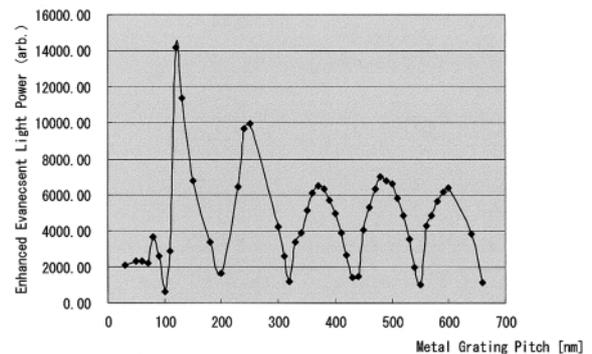


Fig. 5 Resonantly enhanced evanescent optical power calculated by 2D-FDTD simulation. The resonance is stimulated by nanometer gold grating engraved in GaP material with filling.

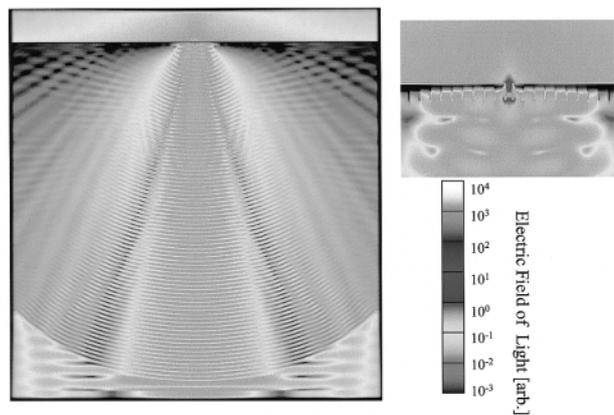


Fig. 6 Power enhancement simulation by finite differentiation time domain method.

式を採用する。Fig. 7に改善された光ヘッドの完成予想図を示す。

また、VCSELエピ・ウェーハをメーカーから購入し自らVCSELアレイを製作する必要がある。VCSELアレイの各素子と我々の研究室にて技術開発済みのマイクロレンズアレイとをセルフ・アライメントするためである。ここで述べたエピウェーハとはMBEやMOCVDなどにより多層膜の結晶成長済みのウェーハである。現在は米国から購入できる。今後、アジア品や国産品が大量に生産され

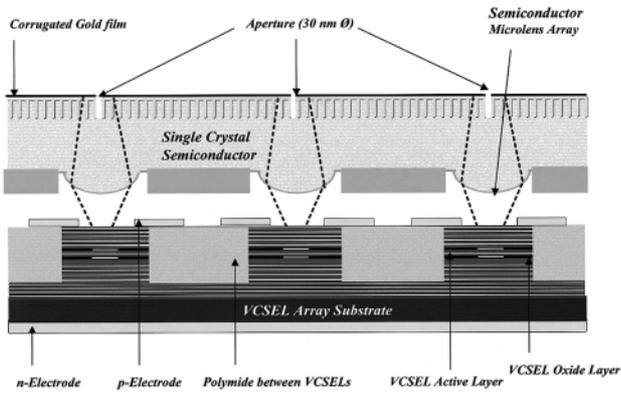


Fig. 7 A new flat type optical head covered with nano-structured grating thin gold film for resonantly enhancing evanescent light generation.

るものと思われる．現在ではAlGaAsなどIII-V族化合物半導体基板上に，多層のP-DBR (P型分布ブラッグ反射)，アルミニウム (Al) を多く含んだ層，レーザー活性層，N型分布ブラッグ多層反射膜を気相成長させたウェーハを用いることが多い．このエピウェーハをFig. 4に示してあるようにまず，RIE装置やICP装置を使って幅が広い深い溝を穿孔し，水蒸気を導入してFig. 4, 7に見られるOxide Layer (酸化膜による電流の閉じこめ層) を形成する．すなわち，Alを多く含む層は水蒸気によって周りからジワジワと酸化が進み， $Al_2O_3$  (アルミナ) が形成される．この酸化プロセスの後で，この溝へFig. 4に示すようにポリイミドを流し込み，n側とp側に電極を付けてVCSELアレイが完成する．今後の研究は $100 \times 100$ あるいは $50 \times 50$ 素子および

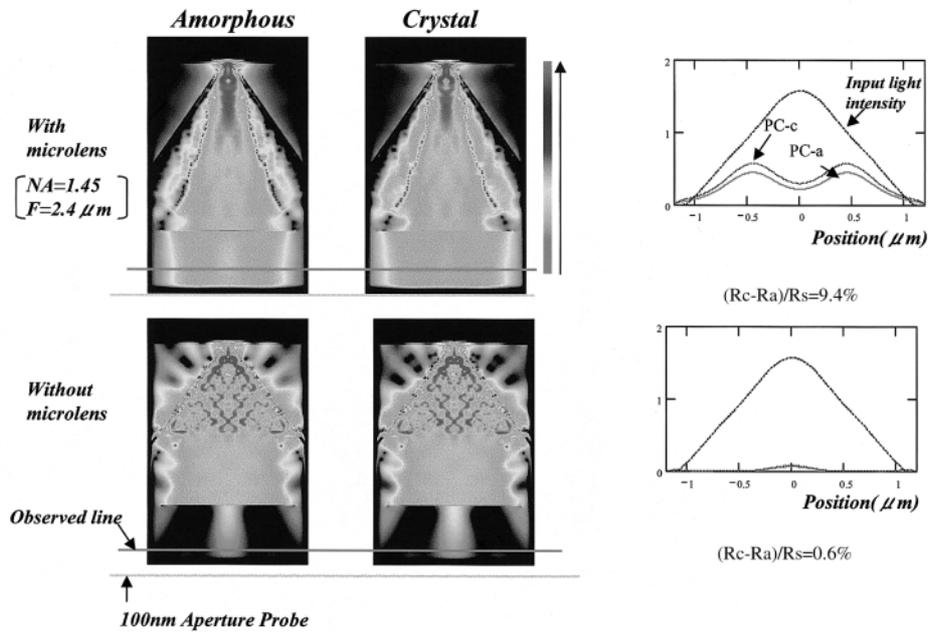


Fig. 8 Signal detection from optical disk surface by feedback light induced inner impedance variation in VCSEL.

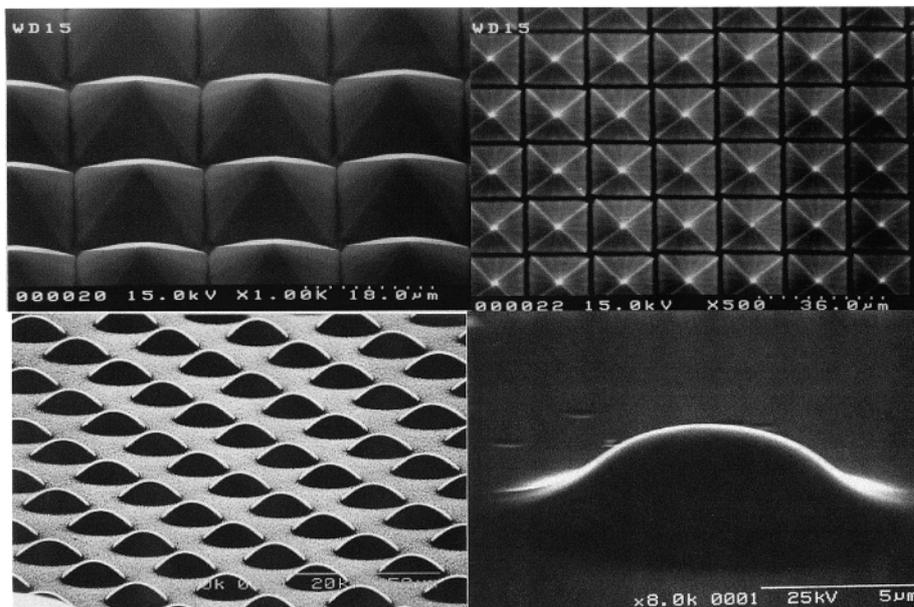


Fig. 9 SEM photo-pictures for both microlens and semiconductor probe array.

VCSELアレイに同軸的に配置したレンズアレイ + プロローブアレイをノンドープGaP半導体やノンドープSiで試作し、実際の表面が数nmでフラットな光ディスクへ記録・再生実験することにある。

#### 4.5 信号再生技術への新アプローチ

相変化光ディスクへFig. 4で示す光アレイヘッドを用いて平行記録後に反射した光が再び一体化したマイクロレンズアレイを持つ近接場光プローブからVCSELへ戻る光量を調べると、記録ビット(アモルファス)からの光は結晶面からの反射とは異なる現象を呈することがわかった。わずかな変化反射強度の違いが増幅され、VCSELの内部インピーダンス変化となって現れる。このVCSELの端子電圧の変化は理論的にも実験的にも確かめてある<sup>17)</sup>(Fig. 8)。今後は実際のディスク再生信号として検出する必要がある。Fig. 9は研究で試作し、基礎実験に使用したマイクロレンズアレイと半導体近接場プローブアレイのSEM写真である。近接場光を利用する高密度光記録はこれからが楽しみな分野である。

#### 5. おわりに

レーザー素子を射出した1 mWの光が100 nmφの開口径からエバネッセント光波に変換。それまでの効率(スループット)の100倍も向上し、100 nmの開口径からエバネッセント光パワーを10 μW得ることができた。すなわち1%のスループットを達成(2002年までに)できた。しかしながら、この成果で得られたエバネッセント光波でも光ディスクに記録することはできない。パワー密度として100 μW/100 nmが必要である。つまり、レーザー出力が一桁パワー不足のためである。

そこで本研究では今後の数年間で、VCSEL光のパワーアップではなく、画期的方法によるエバネッセント光の10倍パワー発生効率向上を目指す。パワー増強手段として、表面プラズモン・ポラリトンの新機軸発生法を研究

する。それは金属微粒子を応用した超微細周期構造を創製し、グレーティング周期と共鳴させる。光波への10倍増強再変換だけでなく、困難な記録ビットサイズの超微小化も狙う。その結果、従来の数分の一から10分の一(30 nm ~ 10 nm)の超微小ビットサイズで記録するものである。将来日本でVCSELが本格的に量産化されれば素子サイズが直径3 μm程度にできるうえ、入力電力対出力レーザーパワー比が50%を超すという極めて効率のよいVCSELの二次元アレイを用いて、超高速・超高密度光ディスクの研究を完成させたい。このような日本独自の超高速データレート光ディスクメモリの研究を今後とも続けられることを願っている。

#### 参考文献

- 1) K. Goto: Jpn. J. Appl. Phys. **37**(1998)2274.
- 2) K. Goto, Y. J. Kim, S. Mitsugi, K. Suzuki, K. Kurihara, and T. Horibe: Jpn. J. Appl. Phys. **41**(2002)4835.
- 3) B. Stek, R. Otte, T. Jansen, and D. Modrie: ISOM/ODS 2002 Technical Digest, Hawaii(2002)263.
- 4) 後藤 顕也: オブエレクトロニクス入門(改訂2版)1991オーム社.
- 5) J. F. Heanue, M. C. Bashaw, and L. Hesselink: Science **265**(1994)749.
- 6) 後藤 顕也: エレクトロニクス実装学会誌 **2**(1999)18.
- 7) 後藤 顕也: 応用物理 **68**(1999)11.
- 8) 後藤 顕也, 三木 聡, 栗原 一真, 鈴木 和拓, 山口 徹, 堀部 貴之, 金 泳珠: O plus E **24**(2002)60.
- 9) K. Yamamoto, K. Osato, I. Ichimura, F. Maeda, and T. Watanabe: Jpn. J. Appl. Phys. **36**(1997)456.
- 10) J. Tominaga, T. Nakano, and N. Atoda: SPIE, **3457**, San Diego(1998)282.
- 11) K. Iga: IEEE JSTQE **6**(2000)1201.
- 12) M. Ohtsu, K. Kobayashi, H. Ito, and G. H. Lee: Proc. IEEE **88**(2000)1499.
- 13) K. Goto, H. Maruyama, K. Suzuki, and Y. J. Kim: ISOM/ODS 2002 Technical Digest, Hawaii(2002)293.
- 14) 後藤 顕也, 栗原 一真: O plus E **24**(2002)737.
- 15) S. Mitsugi, Y. J. Kim, and K. Goto: Opt. Rev. **8**(2001)120.
- 16) K. Goto, T. Kirigaya, and Y. Masuda: TuD4, Techn. Digest of Opt. Data Stor. 2003, Vancouver(2003)129.
- 17) S. Y. Ye, S. Mitsugi, Y. J. Kim, and K. Goto: Jpn. J. Appl. Phys. **41**(2002)1636.