

静岡大学の川田助教授が取り組む 超高密度光ディスクの研究

多層化による超高密度光ディスクの可能性を追求しているのが静岡大学工学部機械工学科の川田善正助教授である。川田研究室では現在、レーザー顕微鏡、3次元結像光学、3次元メモリ、ニアフィールド光学、非線形光学、フォトリフラクティブ光学、といった研究を行っている。これまでの手法による高密度化は限界を迎えつつある光メモリだが、可搬性に優れる、メディアを傷つけずに記録や再生が可能、といった点で磁気ディスクよりも使い勝手で勝っている(もっとも、転送レートについては、磁気ヘッドなどドライブが軽いことから、磁気ディスクが有利)ことから、川田研究室でも、新しいアプローチでの光ディスクの高密度化を研究している。

ここでもう一度、光ディスクの大容量化へのアプローチの現状について、川田助教授の言葉を借りながら振り返ってみることにする。

超高密度光ディスクの実現する方法として候補の1つとして挙げられるのが、ホログラムの応用である。ホログラムは、データを記録する時に、対象物に対して情報光と参照光という2つのレーザーを違う角度から入れて、このレーザーの干渉効果を利用して、結晶の中に3次元的に記録するのが特徴だ。

もっとも、ホログラムの歴史は古く、その原点は1960年代まで遡ることができる。我が国でも、ホログラムについてはCDが普及する前から研究されていた。前出のリコーも一時期、このホログラムを利用した光ディスクの研究を行っていたことがあるという。

しかし、我が国ではその後、CDのような1点式の記録がメリット多いということで、光メモリの流れはCDに向かった経緯がある。



静岡大学 工学部機械工学科
助教授 川田善正氏

このホログラムについて、ストレージへの応用を視野に国家プロジェクトとして取り組んでいたのが米國である。ただ、原理的に確認できて、商品化は難しいという結論の前に、米國でもその後、目立った成果は出ていなかった。

しかし、1990年代以降のエレクトロ

ニクスの急発展にともない、高性能な光源、検出器、スクリーンなどが人手できるようになり、結晶以外の記録材料の可能性も見えてきたことから、再び脚光を浴びつつあるのである。

ホログラムにはいくつかの方式があるが、我が国では、オプトウェア(コリニア方式)やNTT(ロム型)がそれぞれの方法で研究を進めている。

対物レンズのほかに、もう1つレンズを使用して、光をさらに絞り込むSIL(ソリッド・イマージョン・レンズ)を活用した方法もある。屈折率(n)が大きくなれば、波長(λ)は短くなるが、ガラスの場合、nは1.5で、最高でも2程度だ。2つレンズを使用すれば、波長は半分にはできるが、そのためには、レンズをディスクに限りなく近づけなければならない。ちなみに、スポットの大きさにもよるが、その距離は50nm程度だ。この距離を制御できるかどうかSILの課題となっている。

近接場(ニアフィールド)光学ヘッドを活用して、微小スポットをつくる方法もあらゆるところで研究されている。近接場光学ヘッドは、金属遮光膜で覆った先鋭化光ファイバから光を入れて、そこからしみ出す近接場光を活用するものだ。

しかし、入れた光に対して、出す光は小さいので、効率という意味では課題も多い。また、小さい穴から光を出すので、離すと光は拡散する。近接場光は物体表面から100nm程度しか広がらないという特性を持っている。従って、近接場光学ヘッドを活用する場合も、ヘッドをディスクに限りなく近づけなければならない。穴のサイズは10~100nm程度だ。この近接場光学ヘッドの活用については、前出の東京工業大学の天津教授などが国家プロジェクトとして研究中だ。

Super-RENSや磁区拡大方式といった方法も、超高密度光ディスク実現の手段として検討されている。

Super-RENSは、Super-Resolution Near-field Structure(超解像近接場構造)の略で、酸化銀膜の可逆分解過程で生じる銀粒子にプラズモン光を発生させて微小マーク信号を読み出すことを目的として開発された光ディスクである。

要するに、記録層の上に膜(アンチモンや酸化銀を使用)を重ねて、そこにレーザーを照射する。レーザーが当たると、膜の透過率が上がる(レーザーの穴より小さな穴が膜に開く)ことを利用して、小さなスポットをつくるのである。ただ、課題がないわけではない。赤色レーザーでは効果があるが、青色レーザーでは、それほどのパフォーマンスは出ない、ということも指摘されている。

磁区拡大方式は、MO(光磁気ディスク)の応用だ。磁気記録は、熱を加えて、その時に、NとSがどちら向きになるか、ということを利用してデータを記録するシステムだが、磁区拡大方式では、レーザーを当てて、温度が変わったところだ

けデータが読める、という仕組みになっている。MSR という技術を有するソニーは、すでにギガモ (1.3GBのMO) を市場に投入済みだ。

そして、最後に登場するのが、記録層を何層にも重ねて、平面だけでなく、垂直方向にもデータを記録することを目指した多層化技術だ。この多層化技術は、川田研究室の研究テーマにもなっており、川田助教授はすでに、記録層を10層重ねた光ディスクの実験にも成功している。

2光子励起を利用して多層記録層にデータを記録

多層化は、光メモリの利点を生かしつつ、今以上の大容量化を図る手段として注目されている技術だが、多層化のメリットは、DVDと同じ光学系、走査系が使用できることだ。アレンジすれば、そのままのシステムが使用可能で、さらには可搬性に優れる、ごみ、ほこりにも強い、といった利点がある。

それでは、何層にも重ねられた記録層に、どうやって情報を書き込むのかというと、2光子励起過程という作用を利用するのである。

ちなみに、励起とは、分子・原子・原子核などの量子力学的な系が外部からエネルギーを得て、初めより高いエネルギーをもつ定常状態(励起状態)に移ることだ。原子の最外殻の電子は、外部からエネルギーを与えられると、エネルギー準位の高い電子軌道に移動する。この状態になった原子または分子を励起状態にあるという。なお、励起された電子は、

10のマイナス6乗秒程度でもとの状態にもどるが、その時に光(エネルギー)を発する。

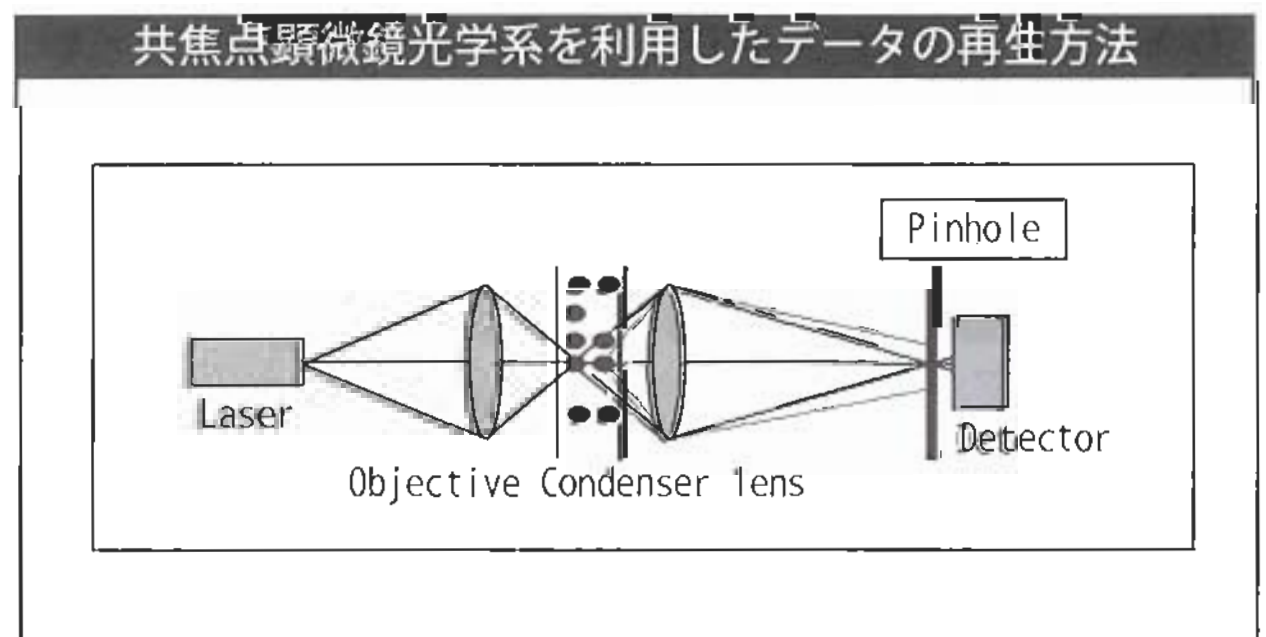
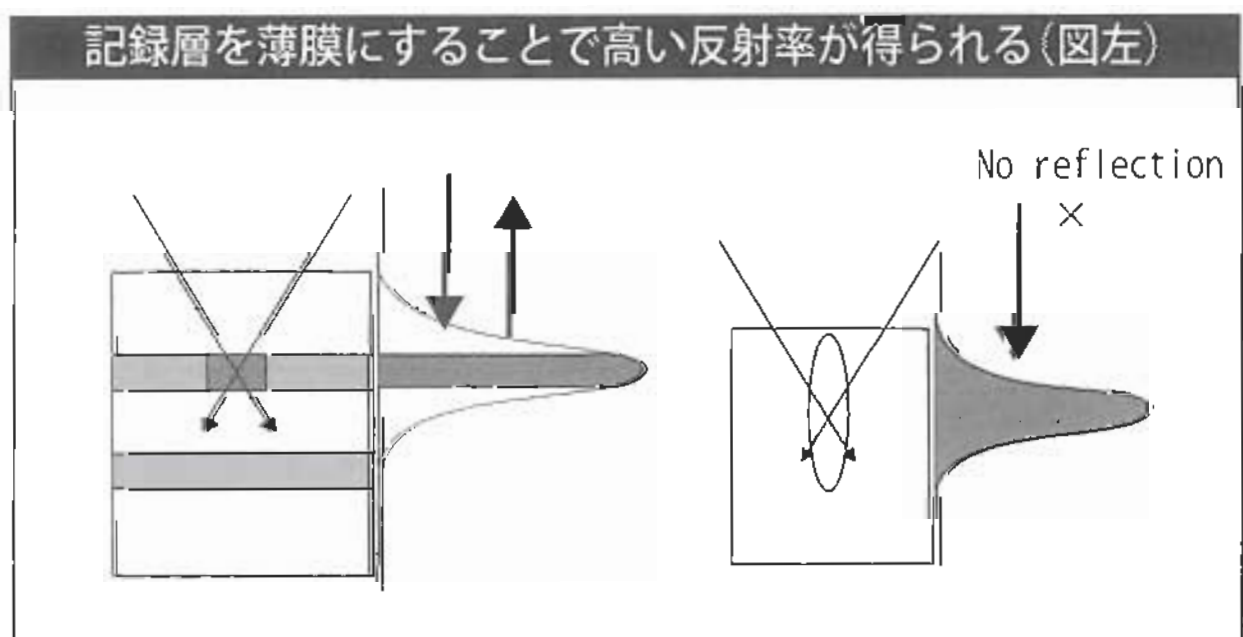
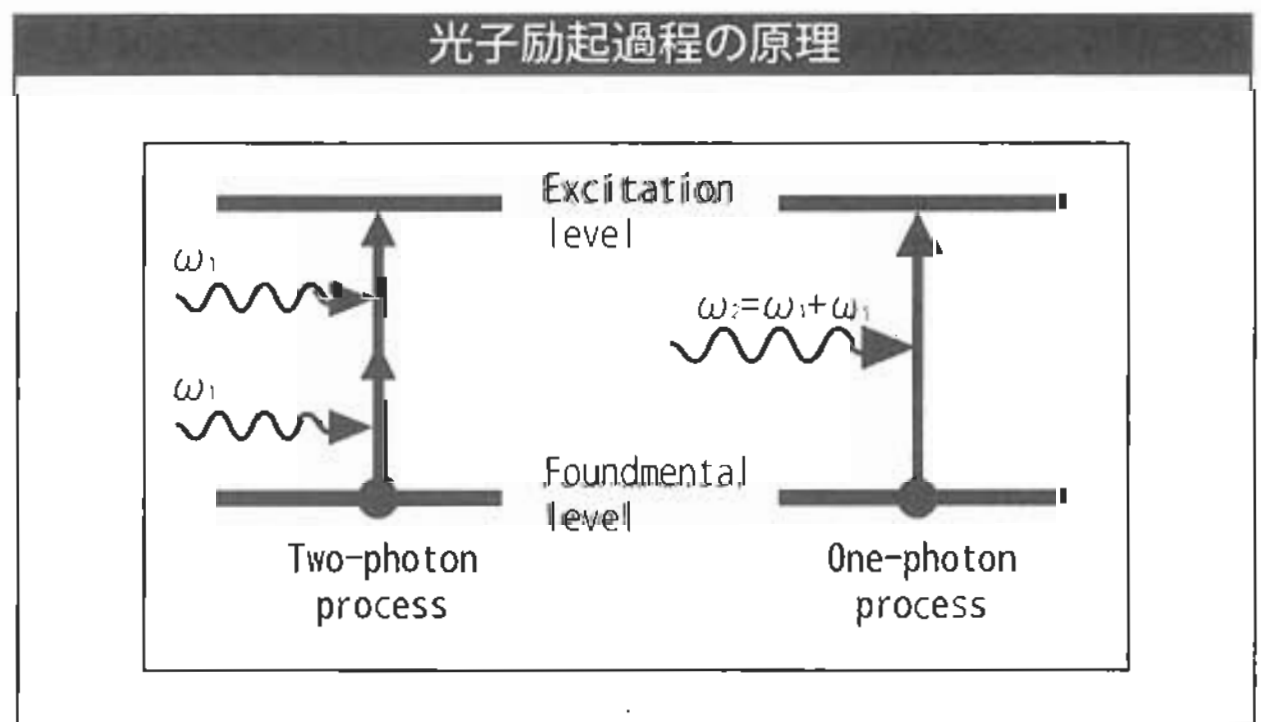
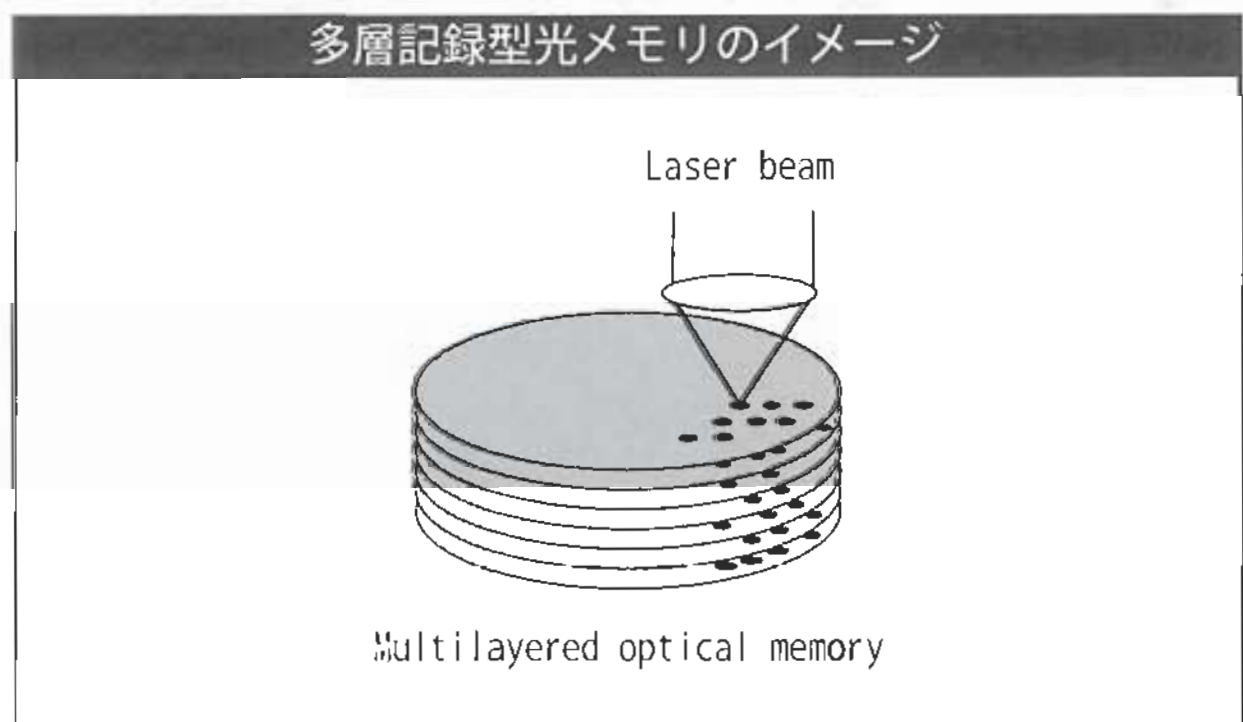
通常の1光子過程では、1つの電子が1つの光子を吸収して、励起され、熱緩和、発光、化学反応などが発生することになるが、2光子過程では、1つの電子が2つの光子を同時に吸収することによって励起される。電子の励起準位が同じ場合、2光子過程の励起光の波長は、1光子過程の倍の波長になる。そして、2光子励起過程を効率よく発生させるためには、尖頭出力の大きな短パルス光源が必要だ。2光子励起過程を利用すると、3次元観察、3次元加工が実現できるため、光学顕微鏡、光加工、バイオテクノロジーなどへの応用が展開されており、ナノフォトニクス分野で今後の展開が期待されている。

それでは、この2光子励起過程を活用すると、どのようなメリットがあるのか。簡単に言えば、波長の短い青色レーザー(波長は405nm)を使わなくても、長い波長のレーザーで、青色レーザーと同じ効果が得られるのである。

このように、2光子励起過程は、長波長の光を使用することによる吸収の低減、そして、可視光で紫外線と同じ記録密度を達成できる、長波長化でバックグラウンドノイズも低減できる、といった利点が多いのである。

そして、2光子励起では、多層ディスクであっても、記録済みの層に与える影響は少ないのである。

しかし、いくら波長の長い光源で十分とは言っても、通常のレーザーでは多層ディスクにデータを記録することはできない。使用するのはフェムト秒レーザーというパルスレーザー



一だ。1フェムト秒は10のマイナス15乗だが、ここで使用するフェムト秒レーザーは、100フェムト(10のマイナス13乗)である。フェムト秒レーザーを使えば、平均出力が同じであれば、10の5乗という高いピーク値を得ることができる。

フェムト秒レーザーと言えば、チタンサファイアレーザー(波長750~1000nm、500mv)が一般的だが、川田研究室では、フェムト秒ファイバーレーザー(同780nm、10mv)も使用している。

記録層を薄膜にすることで、読み取り感度をアップ

2光子励起過程を利用して、多層化された記録層にデータを記録することは確認された。次に問題になるのが、記録したデータをどうやって読むか、ということだ。

読み取り用のレーザーは、フェムト秒レーザーよりも波長の短い赤色レーザーを使用する。

多層の記録層に記録されたデータを読む方法は以下の通りである。赤色レーザーを対物レンズ(Objective)で絞ってビットデータを読み取り、集光レンズ(Condenser lens)を通して、検出器(Detector)で読み取ることになるが、検出器の前にピンホールを設けて、各層に記録されたビットデータを選択的に読み取るのである。これが共焦点再生光学系の仕組みだ。

川田助教授が記録層として使用した材料は、豊田中央研究

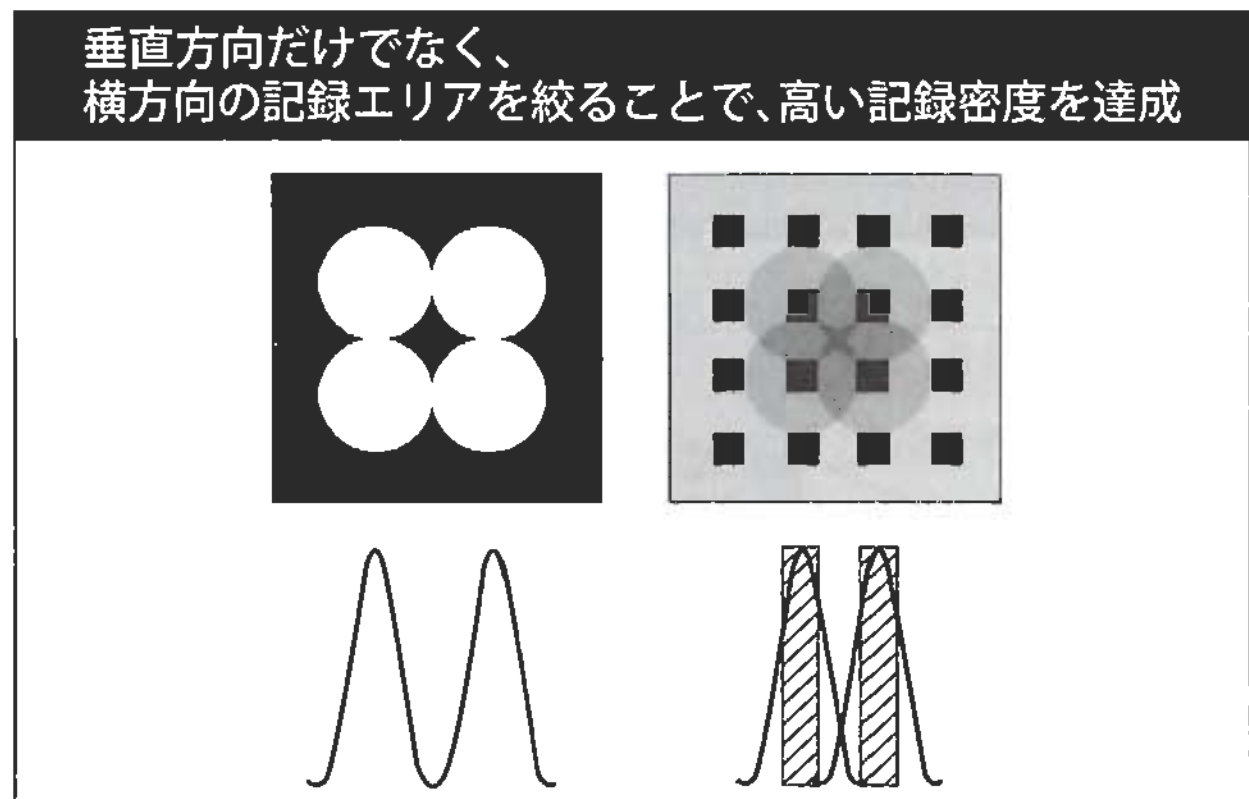
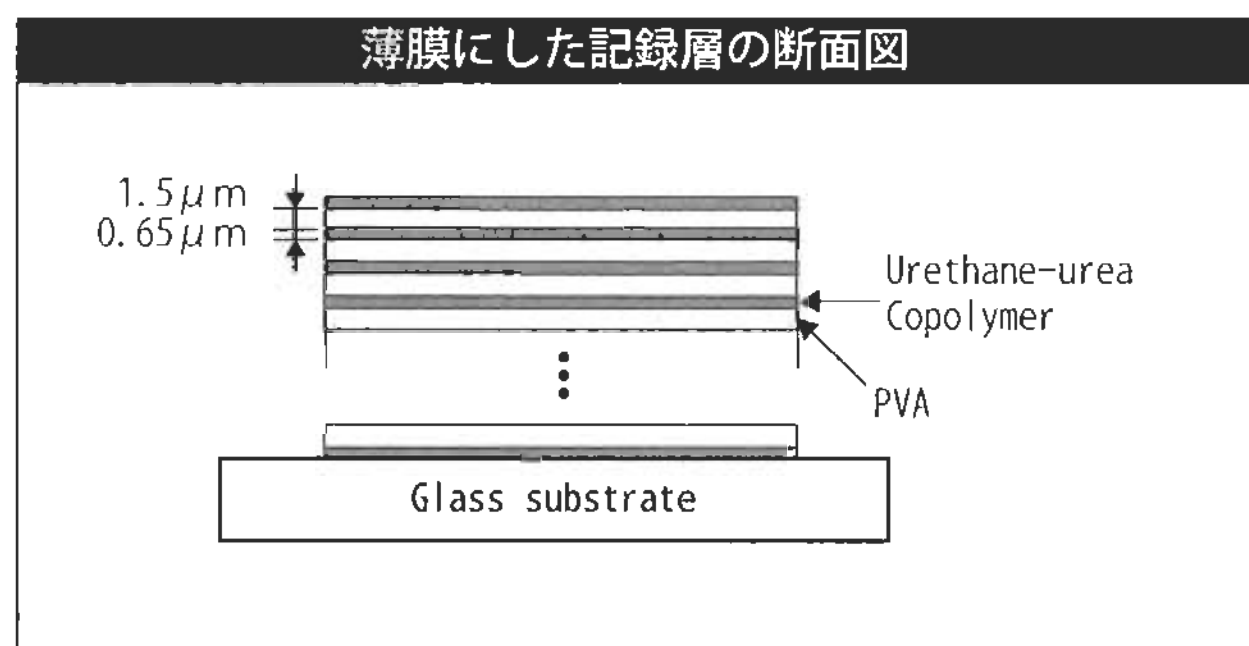
所が開発したウレタン・ウレアという材料である。各層の間隔は10μmで、当初はこれを単純に30枚重ねただけの記録層を作った。

しかし、レーザーによって刻まれたビットデータは、垂直方向に長くなるため、いくらパルスレーザーで記録するとはいつても、単純に記録層を重ねただけでは、上下の層に影響を及ぼす可能性がある。また、縦長のビットデータでは、反射率が低くなる、という弊害も出てくる。

そこで、考えたのが記録層を薄膜にするアイデアだ。記録層と記録層の間に、PVA(ポリビニールアルコール)と呼ばれる材料をサンドイッチし、記録層を0.65μmの厚さにすることで、レーザーで刻まれたビットに“エッジ”を利かせるのである。ちなみに、PVAの厚さは1.5μmだ。

記録層を薄膜にする目的は、反射率を高くして、読み取り易くするためだ。薄膜にして、記録層のピットをエッジを利かせた状態にしておくことで、高い反射率が得られ、より正確にデータを読み出すことができる。そして、レーザーで刻まれたビットデータの穴は、垂直方向に長くなるが、記録層の間にPVAを挟んでおけば、上下の記録層への影響はなくなる。

さらに、垂直方向だけでなく、面内についても、記録できる部分とできない部分を格子状に分けることで、縦方向だけでなく、横方向にもエッジを利かせている。こうすることで、コントラストが上がり、反射率が高くなる。その結果、正確にデータを読み出すことができるのである。



1～2年以内に100GB程度の試作品をつくるのが目標

2光子吸収と共焦点再生光学系を用いることで、多層記録型高密度光メモリが実現可能なことが示されているが、課題もある。フェムト秒ファイバーレーザーのファイバーの巻き方を工夫すれば、さらに小型化でき、ドライブに内蔵することも可能だが、コストは高い。

多層ディスクでは、記録層によって集光スポットのひずみが違ってくることから、補正が必要になるが、これは液晶フ

ィルターを使用したダイナミック補正で対応できる。

また、多層ディスクの作製方法についても検討が必要だ。10層程度であれば、スピコートで成膜できるが、例えば100層になると、とてもスピコートで作製するわけにはいかない。

実験では、各層の間隔(記録層とPVAを合わせて)は2μmだが、現実的には5μmぐらいが妥当だと川田助教授は言う。もっとも、この間隔でも100層で0.5mmという厚さなので、実際には何の問題もないだろう。

■群馬大学 保坂純男教授のアイデア 量子メモリデバイスによるストレージの未来

群馬大学大学院工学研究科ナノ材料システム工学専攻の保坂純男教授は、「ナノメートル計測」、「ナノメートル制御」の2つを研究テーマに掲げ、プローブ顕微鏡を使ったナノスケールの試料の観察・計測、近接場光を利用した光メモリの研究や量子メモリデバイスの研究などを行っている。

中でも、桐生・太田地区を中心とした都市エリア産官学連携促進事業(2003年度スタート)の主なテーマの一つとして研究推進しているのが、超高密度光メモリの研究開発で、現在のDVDよりも、さらに高密度な光ディスクの可能性を追求している。

保坂教授は、電子線を使用した微小ピットを形成することで、800GB～1TBの大容量光ディスクの開発を目指しているが、ディスクの高密度化を当面の目標として掲げる一方で、高密度化に伴う問題点も指摘する。

というのも、いくら小さなピットを刻んでも、それを早く、正確に読み出せなければ意味がないからである。さらに、光ディスクは、高密度化に比例して、ポジショニング(位置決め)が重要になってくるが、高速で回転するディスクには、常に「軸ぶれ」の問題が付きまとう。中心軸がぶれることで、小さなピットに記録されたデータの場所を正確

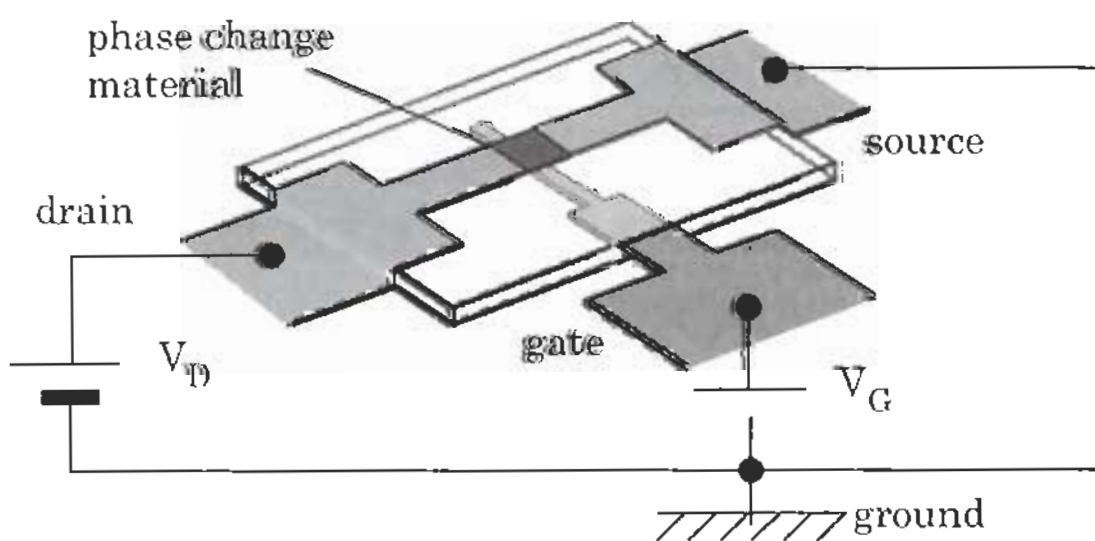
に探ることが困難になるというわけだ。

この位置決めの問題を解決する1つの方法として、保坂教授が提案しているのが、DRAMのような固体メモリ(デバイス)である。固体メモリは、データのアドレスを最初に決定するので、将来、ストレージデバイスで懸念される位置決めの問題からは開放されるという利点がある。



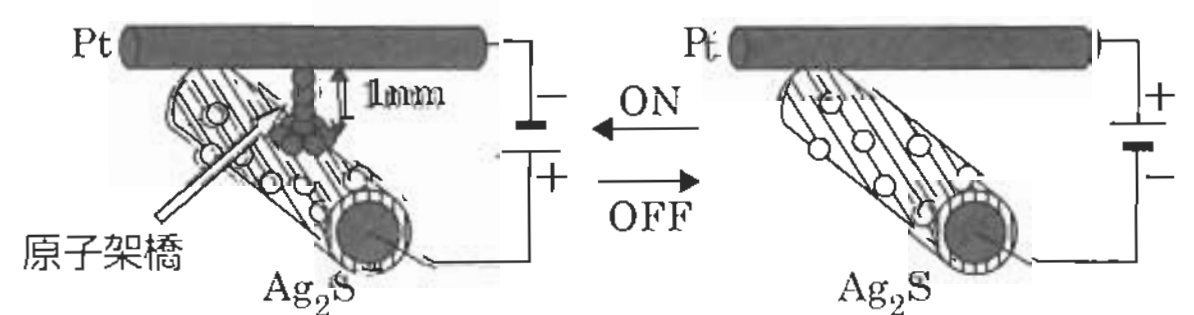
DRAMのメモリセルは、電流のオン/オフを行うトランジスタと電荷を蓄えるキャパシタあるいはメモリ素子で構成されている。通常は、微小化により超高密度化を推進しているが、保坂研究室では、不揮発性メモリを持ち、メモリセル構造の究極の簡素化を狙った「量子メモリデバイス」の研究も進めている。目標とするメモリセルはメモリ素子部分が不要になるので、セルの一層の微小化が期待できる。うまくいけば、従来の4倍程度の容量が確保できる計算で、2003年度になって様々な実証データも揃ってきているという。

(1) 量子メモリデバイスにおける相変化スイッチ・メモリ模式図



試作品のため、ゲート長は2μmに設定しているが、最終的にはこれを100nm以下まで微小化させる

(2) 量子化伝導原子スイッチの動作特性



相変化スイッチ・メモリのスイッチとして期待されている量子化伝導原子スイッチ。スイッチの面積部分は1辺が約10nm。白金がマイナスになると銀の原子が上に上ることを利用して、ON/OFFを切り替える。