

消去可能光ディスク技術

Erasable Optical Disk Technologies

大容量，媒体交換可能でしかも書換えのできる光ディスクファイルメモリへの応用を目指して，第一世代及び将来にわたる消去可能光ディスク技術を開発した。

光磁気ディスクの第一世代実用化に向けては，高SN比偏光回転検出光ヘッド・高SN比ディスク媒体を開発し，信頼性の高いデータ再生を可能とした。また，磁性記録媒体の耐酸化性を向上させて，10年以上の寿命を達成した。

将来の，オーバーライト(重ね書き)可能な統合ファイルを実現する基本技術として，空気浮上磁気ヘッドを用いた磁界変調形の光磁気ディスク，及び0.1 μ s以下で高速結晶化するInSeTI系記録膜を採用した単一光ビームオーバーライト相変化光ディスクの2方式について原理確認した。

尾島正啓* Masahiro Ojima
 重松和男** Kazuo Shigematsu
 太田憲雄** Norio Ôta
 寺尾元康* Motoyasu Terao

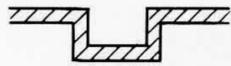
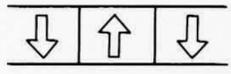
1 緒 言

オフィスオートメーションをはじめとして，社会の情報化が急速に進展している現在，文書や画像などの大量データを蓄積できる光ディスクファイルへの期待が高まっている。光ディスクは，光の波長と同程度の直径約1 μ mの光点に，レーザー光を絞って記録するので，現在のメモリ技術の中では最高の記録密度を実現している。

表1は，光ディスクファイルの分類を記したもので，3種類に大別される。CD-ROM(Compact Disc-Read Only Memory)に代表される再生専用光ディスクは，既に一般家庭

に普及しているオーディオのコンパクトディスクの技術を応用したファイルである¹⁾。1枚のディスク原盤から大量の複製ディスクが生産できるので，大量頒布データベースとして使われ始めた。追記形光ディスクは，ユーザーが記録できる永久保存用ファイルとして，文書・画像ファイルや計算機用コードデータファイルに用いられている^{2),3)}。直径5inの追記形光ディスク1枚に1万7,000枚の文書が登録でき，スピーディな検索が可能な光ディスクファイルシステムHitfile650は，その例である。再生専用光ディスクや追記形光ディスクは，各々

表1 光ディスクファイルの分類と用途 消去可能光ディスクは，磁気ディスク，フロッピーディスク，磁気テープなどを置換する統合ファイルとして用いられることが期待される。

	記録形態	磁気メモリとの関係	用途	応用例	製品名
再生専用光ディスク	 凹凸位相ビット	相補的	大量頒布データベース	CD-ROM CD-I	CDR-1002S CDR-2000
追記形光ディスク	 穴形成	相補的	アーカイバルファイル	文書ファイル 医用画像ファイル 保管コードデータファイル	Hitfile60 Hitfile650 OD301A-1 OD101-1
消去可能光ディスク	光磁気  磁化の上・下向き	置換的	統合ファイル	ワークステーション用ファイル パーソナルコンピュータ用ファイル	—
	相変化  結晶相・非晶質相				

注：略語説明 CD-ROM(Compact Disc-Read Only Memory)，CD-I(Compact Disc-Interactive)

* 日立製作所中央研究所 工学博士 ** 日立製作所中央研究所 理学博士

大量複製容易，優れた永久保存性という，磁気メモリにはない特徴があり，かつ単位情報当たりの媒体価格がけた違いに安いので，磁気メモリとは相補的に使われている。

しかし，CD-ROMやHitfile650に使用されている光ディスクは情報の消去・再書込みはできない。磁気メモリと同様に，書換えのできる光ディスクが実現されれば，磁気メモリを置換して，大容量ファイルの中心的媒体となる可能性がある。本稿では，消去可能光ディスクとして注目されている光磁気ディスク，相変化光ディスクの2方式について技術の現状を紹介する。まず，消去可能光ディスクのファイルメモリでの位置づけと開発のねらいに触れ，次に，標準化を進められる段階に達している第一世代光磁気ディスクの主要技術について述べる。更に，次世代を目指したオーバーライト(重ね書き)可能な，光磁気あるいは相変化ディスクの研究開発状況を紹介する。第一世代の光磁気ディスクでは，情報を書き換えるためにまず消去してから記録するのに対し，オーバーライト可能光ディスクでは，記録するだけで書換えが実現できる。最後に将来技術の発展方向について述べる。

2 消去可能光ディスクの位置づけと開発のねらい

図1は，各種のファイルメモリを記憶容量と記録時データ転送速度に着目して比較したものである。光ディスクでは，磁気記録メモリに対して記録密度が1~2けた高い。また，レーザ光を絞り込むレンズとディスクとの間は広くとれるので，磁気ディスクで問題となる磁気ヘッドとディスクの摩耗・衝突の心配は全くない。ディスクは交換可能である。更に，レーザ光は厚さ1mmの透明なディスク基板を通過して記録膜上に集光されるので，ディスク基板表面の小さなごみの影響がない，などの特長がある。

しかし，固定磁気ディスクと比べると，記録時のデータ転送速度やアクセス時間などの面で劣っている。記録時のデー

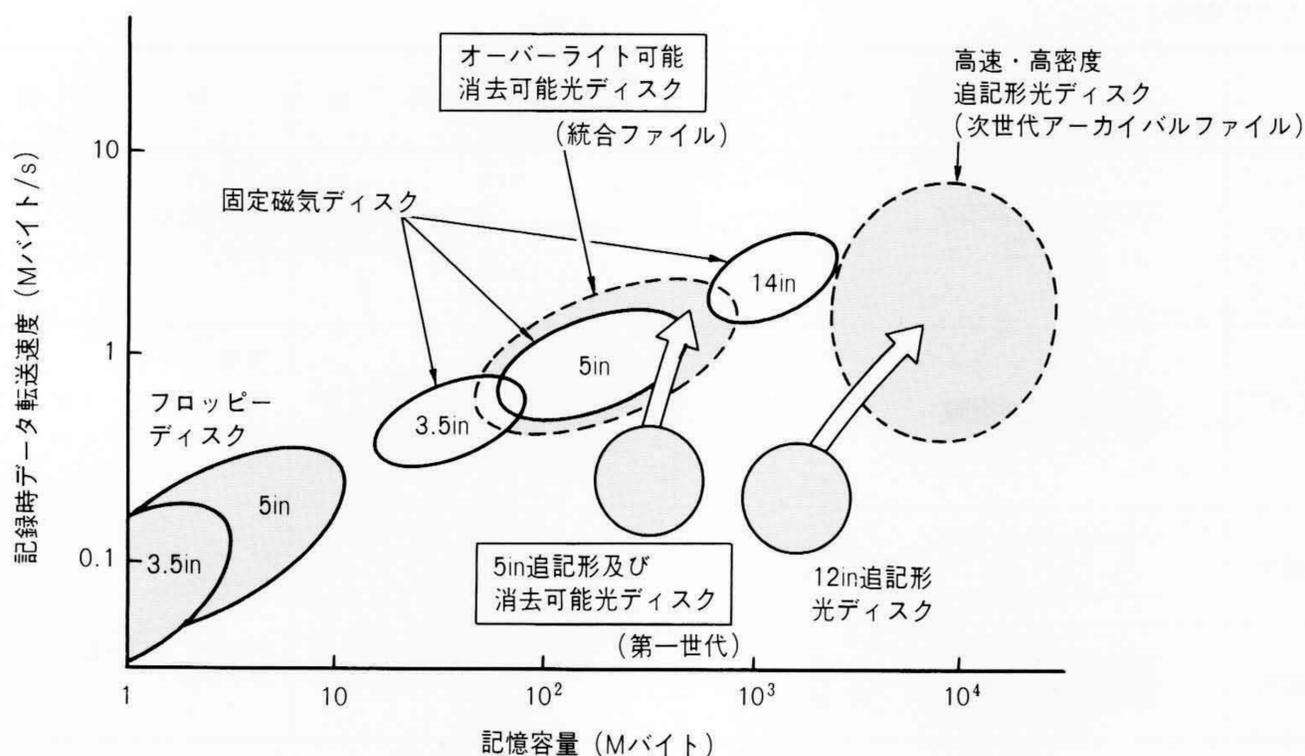
タ転送が遅い要因の一つは，記録した次のディスク回転でデータを再生して記録状態をチェックするためである。消去可能な光磁気ディスクは，追記形とほぼ同じ仕様であり，更に記録する前に既記録データを消去しておく分だけ遅くなる。

図1で，消去可能光ディスクの各種ファイルでの位置づけをしてみると，まず5in消去可能光ディスクの第一世代機は，媒体可換な大容量ファイルとして，フロッピーディスクの大容量版ファイルあるいは小形固定ディスクのバックアップファイルなどに用いられる。追記形光ディスクが永久保存ファイルとして，磁気ファイルと共存，相補的關係にあるのと同様，消去可能光ディスクは新ファイルとして位置づけられる。更に，オーバーライト技術をはじめとする次世代に向けた高速化技術の開発によって，磁気ディスク・フロッピーディスク・磁気テープを置換し，それら三つの役割を同時に兼ねる統合ファイルとして発展することが期待される⁴⁾。現在，ワークステーションやパーソナルコンピュータには，プログラムローディング用のフロッピーディスク，ワーキングデータファイル用の磁気ディスク，バックアップ用の磁気テープなど，複数の外部メモリ装置が使用されているが，将来は，光ディスク装置1台で，各種の外部メモリ機能を統合して実現することを開発のねらいとした。

3 光磁気ディスク

3.1 原理と技術課題

光磁気ディスクでは，垂直磁化膜での磁化の上向き・下向きとして情報が記憶される。記憶の形態としては磁気メモリであるが，記録や読出しはレーザ光で行う。図2に記録・再生の原理を示す。記録時には，レーザ光は熱源として用いられる。垂直磁化膜の磁化の向きを，初めに一様に上向きにそろえておく。そこへレーザ光パルス照射し，膜の温度を局部的に上昇させる。キュリー温度近くまで昇温すると，膜の



注：○は，媒体交換可能。

図1 光ディスクの各種ファイルにおける位置づけ 第一世代の消去可能光ディスクは，磁気ディスクと相補的關係にある媒体可換な大容量ファイルとして位置づけられる。将来のオーバーライト可能光ディスクは，小形磁気ディスクを置換する統合ファイルへ発展するものとして位置づけられる。

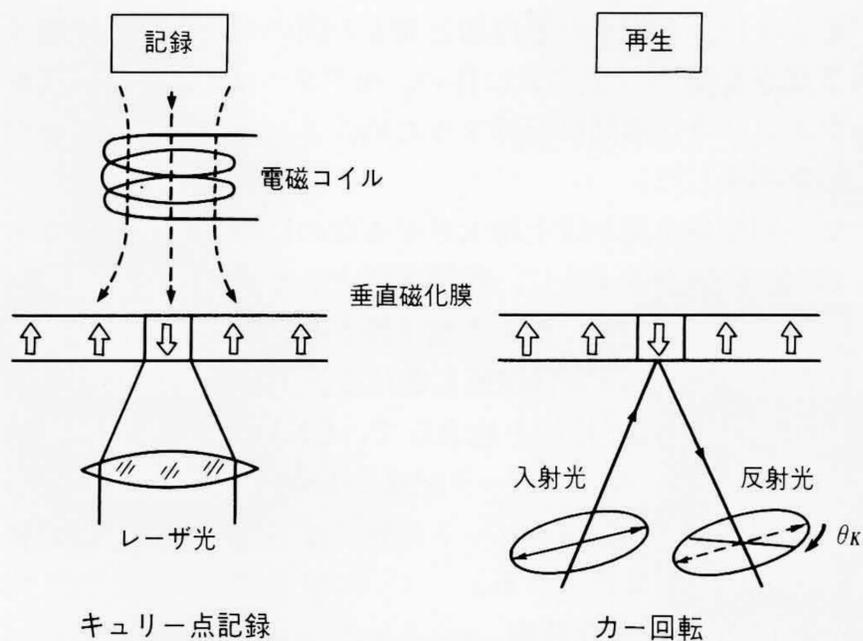


図2 光磁気ディスクの記録・再生原理 記録・消去時には、レーザー光は熱源として作用する。再生時は、磁気光学効果で生じる偏光面の回転を検出する。

保磁力が減少し、外部の電磁コイルで発生した下向きの磁界によって磁化が反転する。消去は、磁界の向きを逆にしておいて、レーザー光を連続的に照射すれば、記録と同じ原理で磁化が元の向きに戻ることで達成される。磁化の向きを読み出すには、カー効果と呼ばれる磁気光学現象が利用される。カー効果とは、直線偏光のレーザー光を垂直磁化膜に入射させると、反射光の偏光面が磁化の向きに従って、左又は右にわずかに回転する現象である。この回転を検光子によって光量変化に変換して、情報が再生される。

ところが、偏光面の回転角は1度以下で、極めて小さい。これは、磁性膜原子の内殻電子と光との高次の相互作用によってカー効果が生じているからである。したがって、信号光量は追記形光ディスクの $\frac{1}{100}$ 程度しかとれない。信頼性高く情報再生するためには、SN比(信号対雑音比)を十分なレベルに確保する必要がある。

また、記録媒体の寿命としては、10年以上が目標である。しかし、記録磁性膜は希土類元素を含んでいるため酸化されやすい性質を持っており、実用化にとって一つのネックとなっていた。そこで、これら二つが光磁気ディスクの重要課題となった。

3.2 装置におけるSN比向上技術

図3は、光磁気ディスク装置の基本構成を示したものである。光学ヘッドは、半導体レーザー、ビームスプリッタ、絞り込みレンズ、 $\frac{1}{2}$ 波長板、光検出器などから構成されるのが一般的である。このような装置で、SN比がどんな要因に支配されているかを詳細に分析した^{5),6)}。信号は、カー回転角に比例するが、ディスク基板や光学部品の光学的異方性によって小さくなってしまふ。雑音は、ディスク表面雑音、変調性雑音、レーザー雑音、光検出器ショット雑音、増幅回路の熱雑音などから成る。

まず、光学部品の異方性はSN比に悪影響を及ぼさないように、十分小さく抑えた。図4は、異方性のない理想的な場合(a)と、絞り込みレンズにわずかな異方性がある場合(b)につい

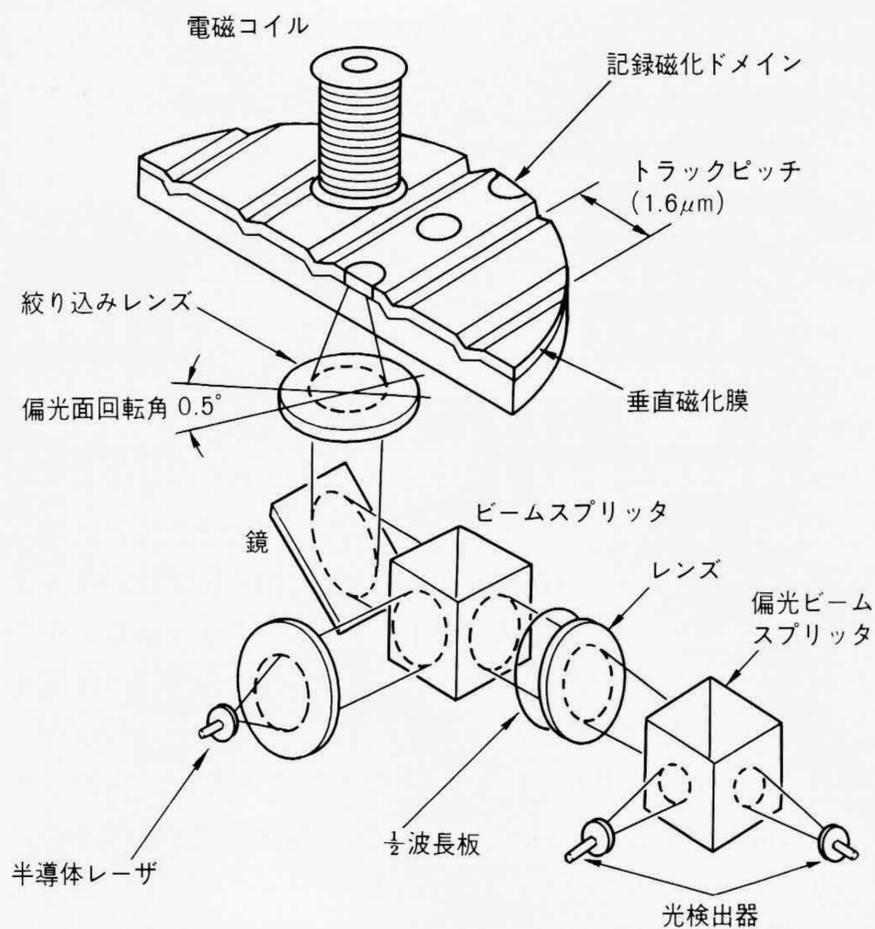


図3 光磁気ディスク装置の基本構成 ディスクの一部、光ヘッドの基本要素だけを描いた。焦点ずれ検出やトラックずれ検出の光学系は省略してある。

	(1) ↑磁化からの反射光	(2) ↓磁化からの反射光
(a)		
(b)		

注：y軸はx軸に対し、20倍に拡大してある。

図4 光学部品の偏光特性が信号検出に与える影響 (a)は、光学部品の偏光異方性がない場合で、(a-1)が上向き磁化からの反射光、(a-2)が下向き磁化からの反射光の偏光状態である。ただし、レーザー出射光の偏光方向をx軸にとってある。(b)は絞り込みレンズにわずかな偏光異方性がある場合の一例である。

て、上向き磁化(1)・下向き磁化(2)からの反射光の偏光状態を計算した一例である。ここで、x-y平面は、レーザービームに対して垂直な面であり、半導体レーザーから出射される光の偏光方向をx軸にとってある。絞り込みレンズの異方性の軸がレーザー偏光方向からずれている場合には、直線偏光であるべきなのが長円偏光になったり、カー回転の左右対称性が崩れたりするので、SN比が低下する。したがって、レンズ、ビームスプリッタなどの偏光特性を厳しく管理した。

レーザー雑音は、ディスクからの反射光の一部が半導体レー

ザに戻ることによって発生している。これは、レーザ光の干渉性が高いために、戻り光と半導体レーザ内部の光とが干渉して、レーザ発振が不安定になることに起因している。そこで、半導体レーザを500MHz程度の高周波電流で駆動し、光出力を高速にオン・オフさせ、可干渉性を低下させて、レーザ雑音を抑止する方法を開発した⁷⁾。

レーザ雑音やディスク表面雑音は、レーザ光量に比例する雑音なので、**図3**に描かれた差動検出によって抑圧することができる。偏光ビームスプリッタで2分割された検出光を、二つの光検出器で受光すると、カー回転による再生信号は互いに逆相、レーザ雑音・ディスク雑音は同相で検出される。したがって、それらの差動をとれば、雑音成分だけがキャンセルされる。特に、ディスク基板としてポリカーボネートのような二軸異方性^{*}の大きなプラスチック基板を用いた場合には、差動検出の効果が大きく、大幅にSN比が改善された⁶⁾。これは、ディスク基板の異方性の影響によって光検出器への入射光量が増加し、それに伴って雑音が増大してしまうのを、差動でキャンセルできるからである。

3.3 媒体におけるSN比向上技術

高SN比媒体を実現するために、記録膜及び基板の表面雑音、変調性雑音、カー回転エンハンス膜などを検討した。

記録膜としては、TbFeCoアモルファス合金膜を採用した⁸⁾。アモルファスであるために表面雑音が小さく、かつカー回転角が0.35度と比較的大きいからである。更に、3元素の組成比を最適化することによって、変調性雑音の発生を抑え、**図5(a)**に示したような輪郭のきれいなミクロン幅の記録磁化ドメインを得た。これは、光スポット照射内で温度分布に対応して磁化の反転を生じさせ、形状の良好な磁区とするために、保磁力が温度に対して急激に変化するような組成を見いだしたからである⁹⁾。

ディスク基板の表面雑音の影響を避けるために、**図3**に描

いたように、トラック案内溝と溝との間の平坦な部に記録する方式を考案した⁵⁾。これに伴い、セクタヘッド情報も原盤カッティング時に溝間に記録するため、2ビームレーザカッタ装置を開発した。

カー回転角を見かけ上増大させるために、**図6(a)**のディスク断面構造にあるように、屈折率の大きな透明膜を記録膜と基板との間に挿入し、光を多重干渉させる。この膜は、記録膜を酸化から保護する保護膜も兼ねるように、窒化膜とした。

以上のSN比向上技術を総合して、CN比(キャリア対雑音比)50dB以上と、コードデータ記録に十分な値を得た。この場合、雑音の主な要因はショット雑音になっており、他の雑音成分は十分抑止されている。

3.4 媒体の長寿命化技術

TbFeCo膜の耐酸化性を向上させるために、保護膜、基板及び第四元素の記録膜への添加の三つの面から検討した。保護膜としては、**図6(a)**に描いたように、窒化膜で磁性膜をサンドイッチのように挟んだ。

基板としては、高耐熱プラスチック材料を新たに開発し、トラック案内溝を基板と一体成型する方法を確立した。

更に、TbFeCoに第四の元素を加えることによって、**図6(b)**の加速テストに示したように寿命を著しく向上させることができた。この結果から、室温環境下での寿命は、10年以上と推定される。

4 光磁気ディスクの将来技術

4.1 次世代消去可能光ディスクの技術課題

消去可能光ディスクが磁気ファイルを置換して統合ファイルとして機能するためには、消去と記録とが同時に行えるオーバーライトの実現が一つの条件になる。磁気ファイルでは、既記録データの上に新データをオーバーライトすれば、自動的に旧データは消去されている。すなわち、オーバーライト

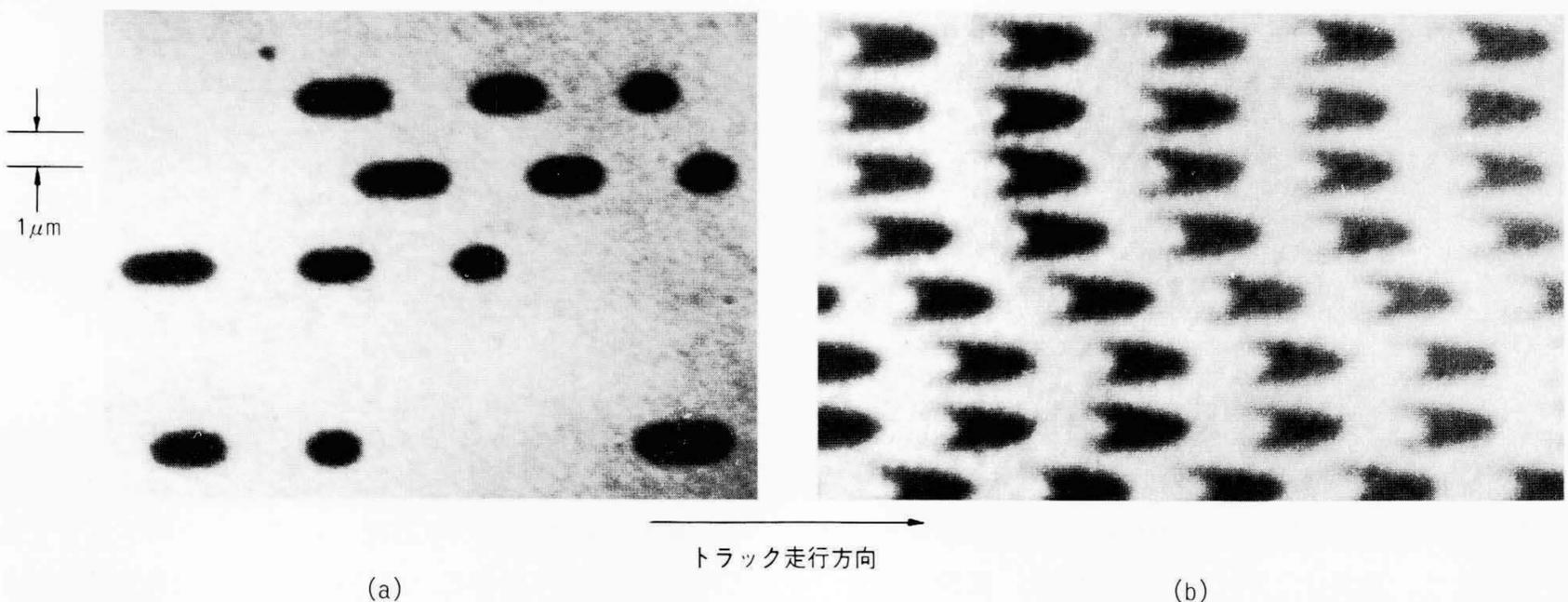
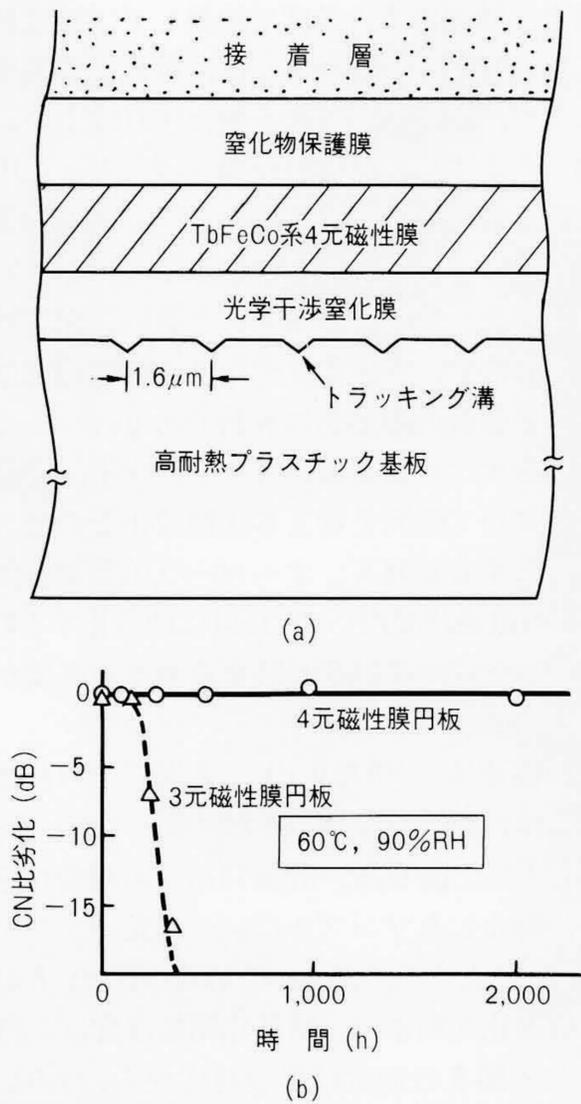


図5 記録磁化ドメイン形状 (a)は光変調記録した場合の、(b)は磁界変調記録した場合の磁化ドメインを、偏光顕微鏡で観察したものである。

^{*} 屈折率が、x, y, zの三つの偏光方向に対して各々異なる性質を言う。



注：略語説明 CN比(キャリア対雑音比)

図6 光磁気ディスクの断面構造と寿命試験結果 (a)は、ディスク断面構造である。記録磁性膜は窒化物保護膜で挟まれている。(b)は、高温・高湿環境下でのCN比劣化試験の結果である。TbFeCo系に第4元素を添加することで保護膜・基板の効果と合わせて、高寿命化される。

しているからである。オーバーライトは、記録時のデータ転送速度を上げるためにも、また、磁気ファイルと同様なディスク操作ソフトウェアを使えるようにするためにも必要である。

第一世代の光磁気ディスクでは、光変調記録しているため消去と記録に各々ディスク1回転、合計2回転が必要であった。磁界変調記録すればオーバーライトできるが、磁気ヘッドをディスクから0.5mmほど離して非接触記録しようとする、1MHz以上の高速記録が困難であった¹⁰⁾。したがって、データ転送速度の高いオーバーライトを実現することが、次世代技術の中心的課題になっている。

4.2 磁界変調による高速オーバーライト技術

空気浮上形磁気ヘッドを用いて、5MHz以上で高速磁界変調オーバーライトする技術に見通しを得た¹¹⁾。図7(a)に、本方式の基本構成を示した。レーザ光を連続的に照射しながら、磁界の向きを記録すべきデータに対応して反転させる。磁界に従って磁化が反転する領域は、光スポットが当たって温度が上昇した部分だけであるので、記録密度は光スポット径で決まる。変調磁界の印加面積は、光スポットとの位置合わせが容易に維持できるように広くとった。

磁界反転時間を短くするために、インダクタンスの小さなコイルを空気浮上スライダに載せて記録膜に近づける。磁気ヘッドと媒体とのスペーシングは2~5μmと、磁気ディスクでのスペーシングより一けた広くとり、かつ記録膜の上に磁気ヘッド衝突から記録膜を保護する役割を持った5~10μm厚の保護層を設ける。これらにより、磁気ディスクが直面している狭スペーシングの問題は避けられる。

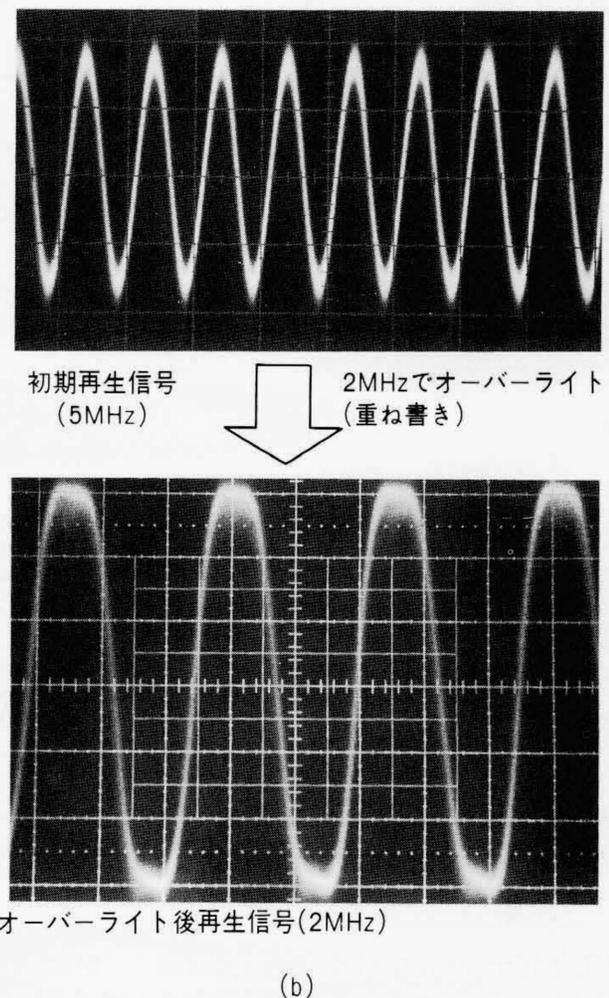
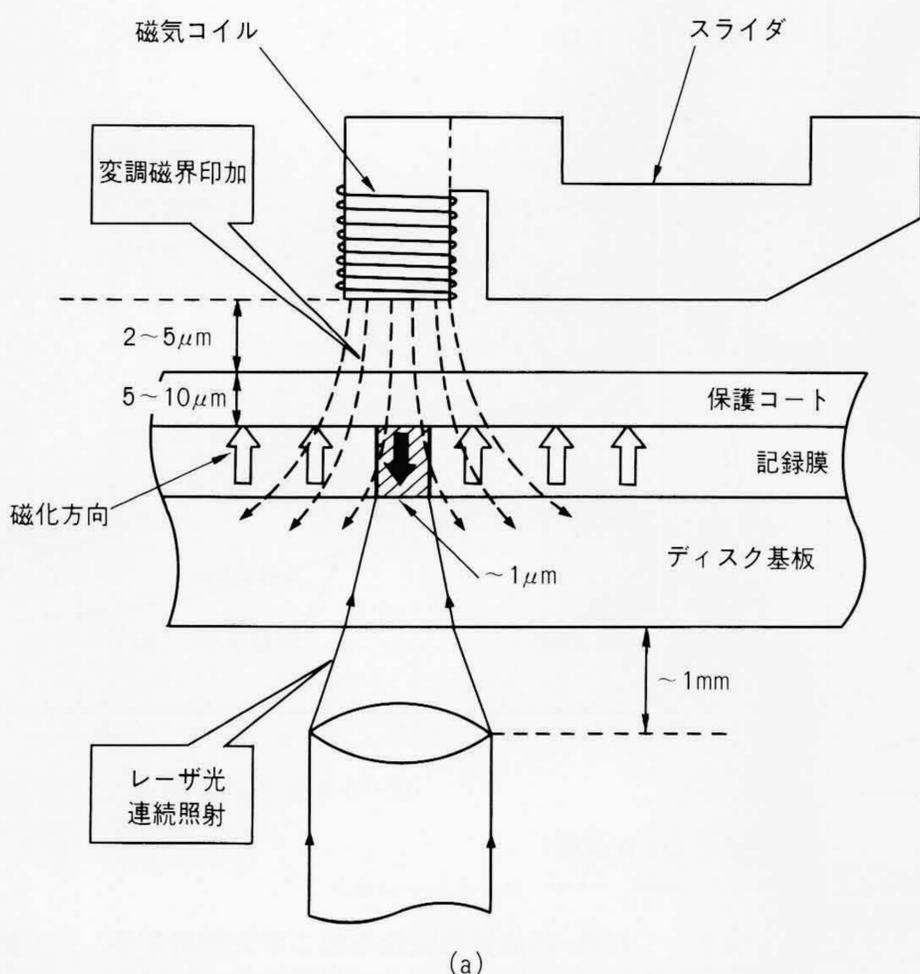


図7 磁界変調による光磁気ディスクのオーバーライト (a)に装置・円板の基本構成を示す。(b)は、5MHzで記録した情報トラックの上に、2MHzの信号をオーバーライトしたときの再生信号である。

図7(b)は、5 MHzで記録されたトラックの上に、2 MHzの信号をオーバーライトしたときの再生信号である。消し残りの成分は全く検出されなかった。図5(b)は、磁界変調記録した磁化ドメインである。ドメイン形状は、光照射による温度上昇の等温度線を反映して、矢羽形をしている。なお、10⁶回のしゅう動テストにかけても、記録再生特性に異常はなかった。

以上の結果から、片面記録ではあるが、ディスク交換可能な高速オーバーライト光磁気ディスクのフィービリティが確認された。

5 相変化光ディスク

オーバーライト可能な光ディスクの第二のアプローチとして、相変化光ディスクがある。以下にその技術の現状と可能性について触れる。

5.1 原理と技術課題

カルコゲン元素を含む多元素物質では、結晶相と非晶質相とが可逆的に変化するものがある。これを光記録に応用したものが、消去可能な相変化光ディスクである。記録の原理を図8に示す。記録は、光パルスで短時間照射して融点以上に急熱・急冷して、非晶質になることに対応させる。消去は結

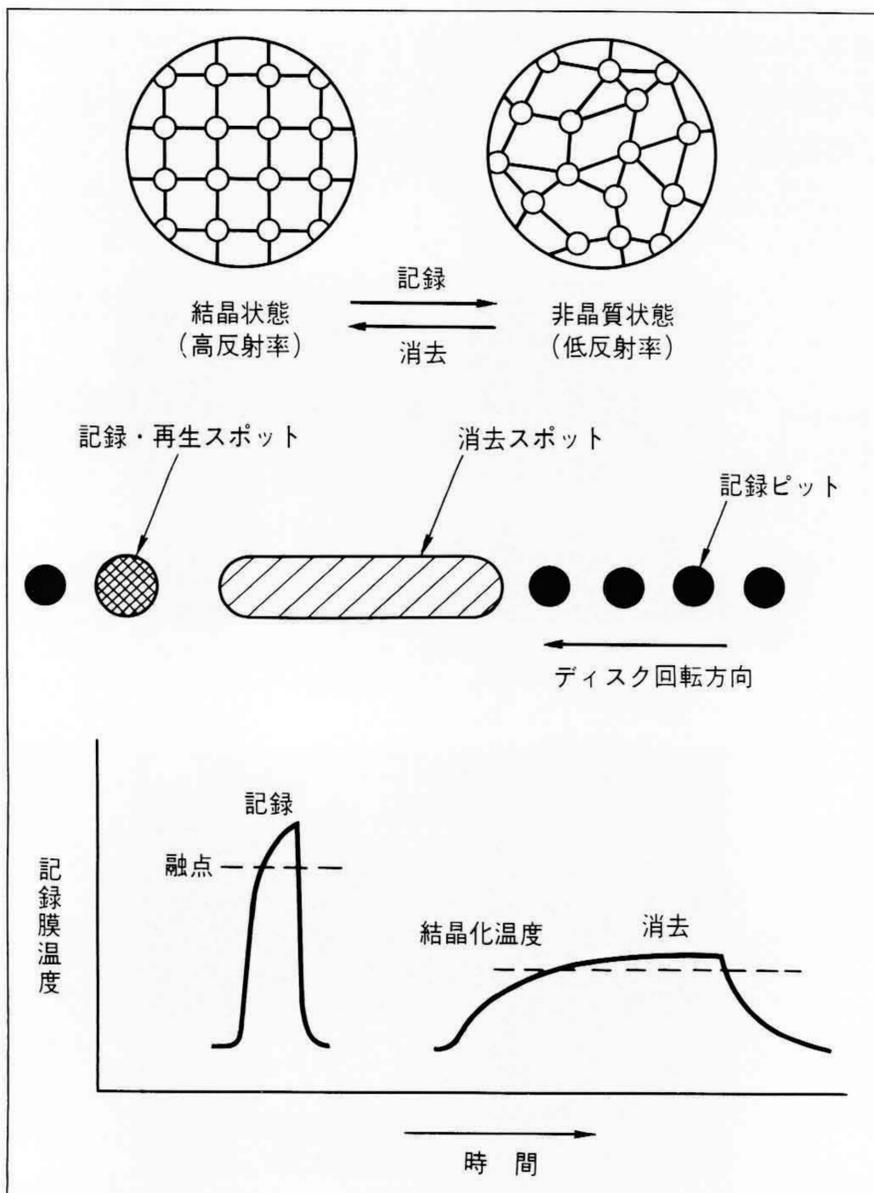


図8 相変化光ディスクの記録・消去原理 記録では融点以上に急熱・急冷して、原子配列が乱れたまま固体化し非晶質状態を得る。消去では結晶化温度以上に徐熱・徐冷し、原子配列を結晶状態に再配列させる。

晶化温度以上、融点以下の温度で徐熱して、結晶状態に戻すことに対応させる。情報の読出しは、結晶と非晶質とで反射率が異なるので、反射光量変化を検出すればよい。

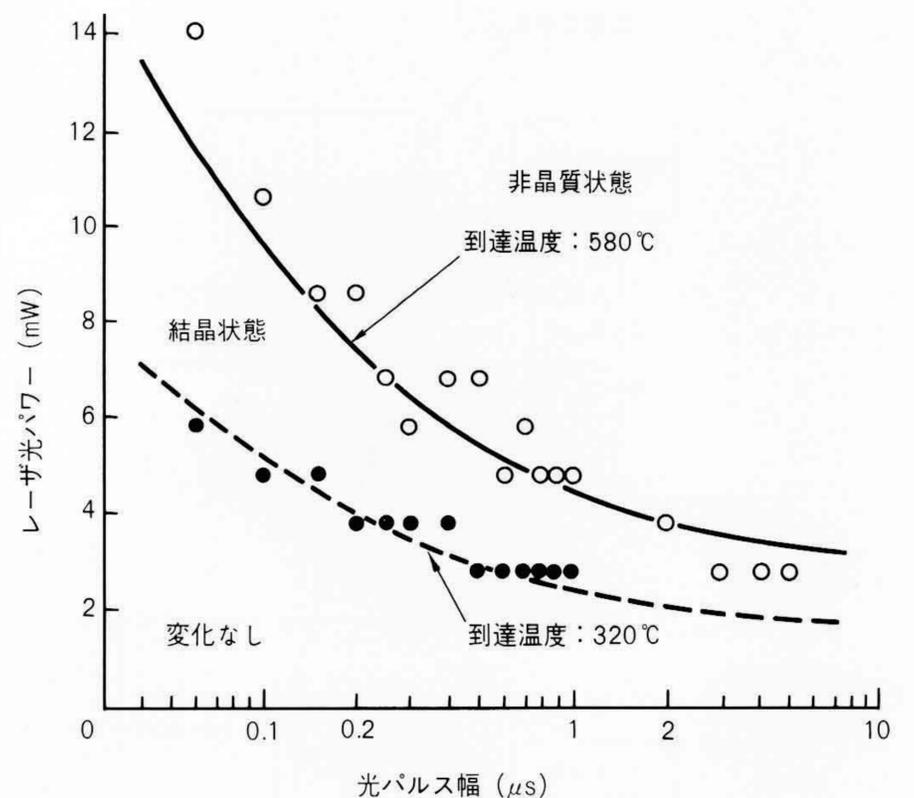
図8に描いたように、円形の記録スポットと長円形の消去スポットを組み合わせると疑似オーバーライトができる¹²⁾。あるいは以下に記述するように、1ビームでオーバーライトできる可能性も出てきた。光磁気ディスクと違い、光だけでオーバーライトできるので、ヘッドはディスクの片側だけにあり、高速アクセスや装置の薄形化に有利である。

しかし、解決すべき技術課題も多い。まず、書換えごとに原子の位置が動いて配列を変える状態変化なので、消し残りや書換え回数に不安が残る。オーバーライトするためには、円形スポットの通過時間内(~0.2μs)に結晶化する材料で、かつ非晶質状態が安定な長寿命材料を探索する必要がある。

5.2 高速結晶化材料

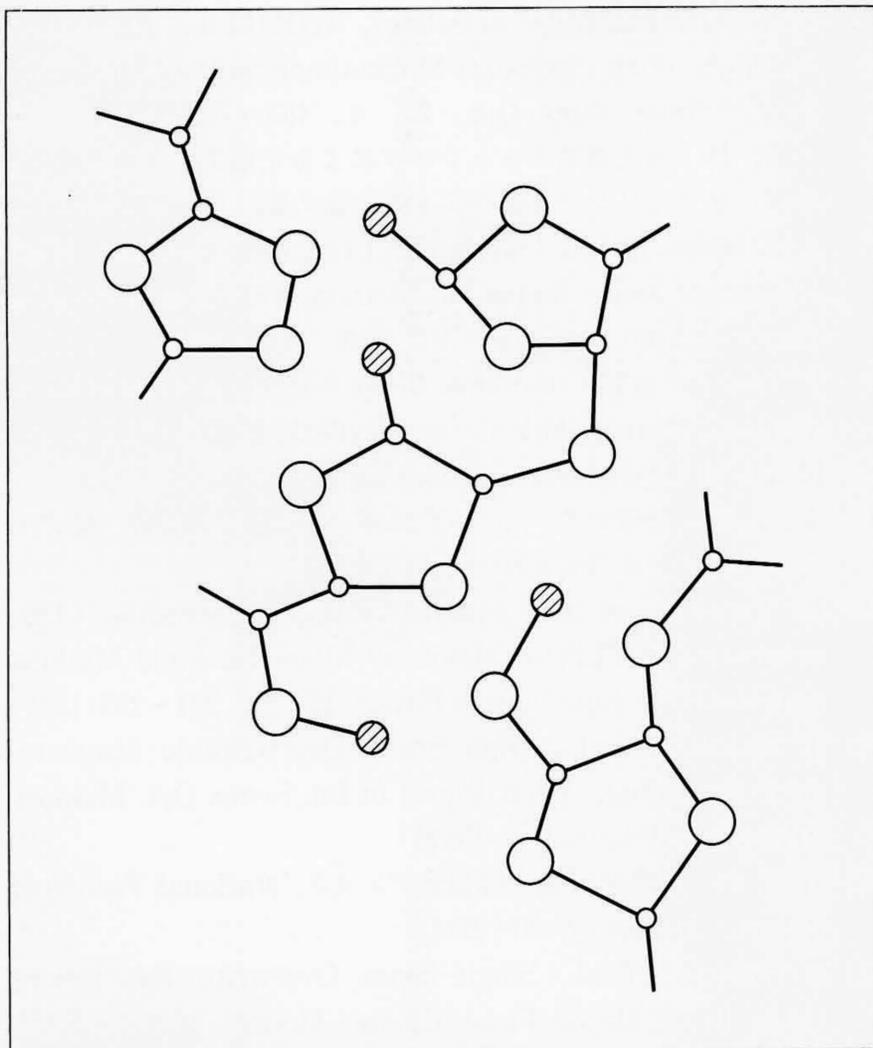
高温下での高速消去(結晶化)と、常温下での非晶質の安定性という、二つの条件を兼ね備えた材料として、InSeTl系記録膜を開発した¹³⁾。図9は、InSeTl系での相変化を起こす光照射条件を、静止したサンプルにレーザー光パルス当てて測定した結果を示したものである。0.1μs以下でも6 mW以上の光パルスで結晶化が始まる。結晶化開始温度は、熱解析シミュレーションと図9の測定結果の対応から、320℃と求められた¹⁴⁾。この値や結晶化の活性化エネルギーの測定結果(2.6eV)から、非晶質状態の安定性は60℃でも約10年と推定される。なお、InSeTl系では、耐酸化性は優れているので、媒体の寿命は非晶質状態の安定性で決まる。

結晶化速度は、Tlの添加によって一けた速くなっている。



注：○，● 実験
—，- - - シミュレーション

図9 結晶-非晶質相変化を起こす光照射条件 InSeTl系での測定結果の一例を示した。0.1μs以下の光パルスによっても高速に結晶化する。結晶化開始温度は、熱解析シミュレーションから320℃と推定される。



注：○ In, ○ Se, ⊗ Tl

図10 InSeTl系アモルファス記録膜のネットワーク構造 Tlの原子価は1価であり、ネットワーク構造を切断する。Tlの添加は原子配列を動かしやすくするので、結晶化を速める。

その理由は、図10に描いたように、Tlが+1価の元素として、InSeの網目状原子配列を切断し、原子を動かしやすくしているものと考えられる。

5.3 単一光ビームオーバーライト

InSeTlのような高速結晶化材料に対しては、円形スポットの単一レーザービームだけでオーバーライトできる可能性が出てくる。例えば、図9で、パルス幅 $0.1\mu\text{s}$ でレーザーパワーを7mWから14mWの間で変調すれば、結晶と非晶質の間を可逆的に変化させることができる。

ところが、実際に回転ディスクに対してパワーを長方形的に変調したレーザを照射してオーバーライトしたところ、記録条件によっては消し残りが大きいという問題が生じた。その原因は、完全な結晶あるいは完全な非晶質にならないで、それらの中間状態になっていること、結晶化する度合いが光照射前の相状態に依存すること、などにあった。

そこで、図11に示したような消し残りの少ない、単一ビームオーバーライト方式を考案した¹⁴⁾。本方式では、レーザ光をほとんどの時間で高パワーレベルに保ち、記録データに対応する瞬間だけ低パワーレベルに落として記録する。高パワーから低パワーへ立ち下がる部分では急冷されるので非晶質化が進み、低パワーから高パワーへ立ち上がる部分では結晶化速度が最も大きい温度を通過するので、結晶化が速く進行する。したがって、再生信号は同図のような微分波形になる。高パワーレベルに対応する消去状態は、記録前の相状態にか

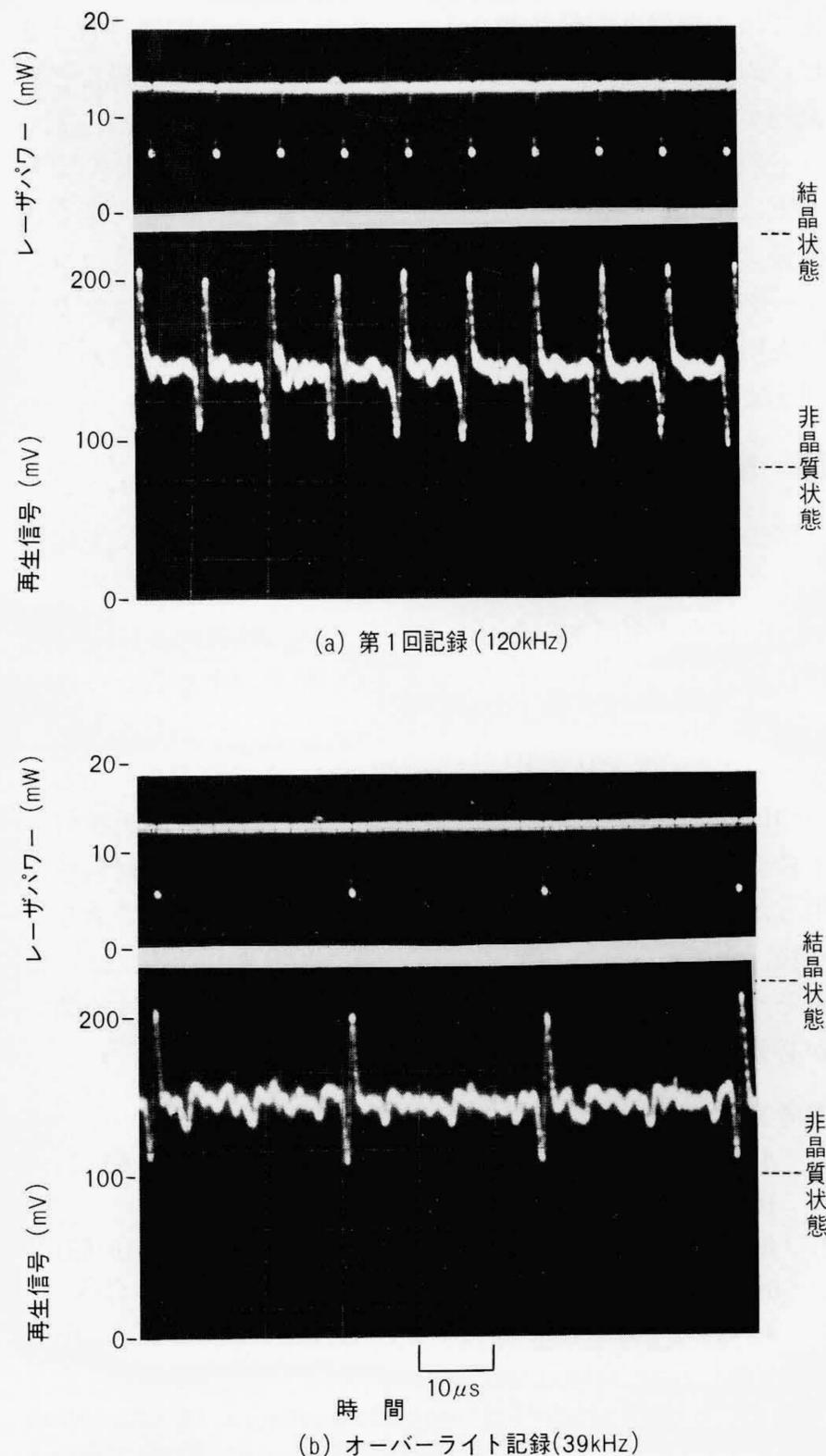


図11 相変化光ディスクでの単一ビームオーバーライト (a)は120kHzで第1回目の記録をしたときの、(b)は同じ情報トラックの上に39kHzで単一ビームオーバーライトしたときの、記録レーザ波形(上)と再生信号(下)を示す。

かわらず融点以上の温度を経て、結晶と非晶質の中間状態になる。

図11(b)は、InSeTl系の相変化光ディスクに対して120kHzで記録した同じトラックの上に、39kHzの信号を単一ビームオーバーライトした結果を示したものである。消し残りはまだ少しあるが、高速結晶化材料を用いた単一ビームオーバーライトの実現に向けて大きく前進した。

6 消去可能光ディスクの将来方向

追記形光ディスクと共通して、高密度化・高速化が統合ファイルとして今後大きく発展するかぎとなる。高密度化技術では、ピットエッジ記録による線記録密度向上¹⁵⁾、短波長レーザなどが技術の核となる。更に将来的には、ホールバーニング現象を利用した波長多重記録が期待されている¹⁶⁾。高速化技

術では、記録と記録状態をチェックする再生を同時に行う2ビーム光ヘッド、レーザアレーを用いたパラレル記録などが高速データ転送に有効である。アクセスの高速化には、光ヘッドの小形・軽量化、特に薄膜光ヘッドへの期待が大きい¹⁷⁾。

更に、記録媒体の低コスト化技術によって、交換可能な大容量ファイルの普及が促進されるであろう。来るべきコンピューター一人一台の時代には、だれもが消去可能光ディスクを個人用の統合データファイルとして、ノート・手帳代わりに使うようになるであろう。

7 結 言

消去可能光ディスクファイルの第一世代機として、光磁気ディスクの実用化技術を開発した。磁化による微少偏光回転を信頼性高く検出するための、装置・媒体にわたるSN比向上技術、記録磁性媒体の長寿命化技術が開発の中心となった。また、将来の統合ファイルを目指して、オーバーライト可能光ディスクの基本技術を、二つのアプローチで開発中である。一つは、空気浮上磁気ヘッドを用いた高速磁界変調光磁気ディスクであり、他の一つは、InSeTl系の高速結晶化材料を採用した単一ビームオーバーライト相変化光ディスクである。今後、新ファイルとしての応用を更に拡大するためには、いっそうの高密度・高速化や媒体の低コスト化などの技術開発が必要である。

参考文献

- 1) 小松, 外: CD-ROMとその応用システム, 日立評論, **69**, 11, 1051~1058(昭62-11)
- 2) 角田, 外: 大容量光ディスクファイル, 日立評論, **65**, 10, 691~696(昭58-10)
- 3) 岡崎, 外: 追記形光ビデオディスクレコーダ, 日立評論, **69**, 11, 1065~1072(昭62-11)
- 4) Tsunoda, et al.: Advanced Technologies for the Next Generation Optical Disks, Tech.Digest of Top. Meet. on Optical Data Storage(Stateline), WD1(Mar., 1987)
- 5) M.Ojima, et al.: Compact Magneto-optical Disk for Coded Data Storage, Appl. Opt., **25**, 4, 483~489(1986)
- 6) 戸田, 外: 偏光解析シミュレータによる光磁気ディスクのSN解析, 光メモリシンポジウム '86, 論文集, 19~26(昭61-12)
- 7) A.Arimoto, et al.: Optimum Conditions for the High Frequency Noise Reduction Method in Optical Videodisc Players, Appl. Opt., **25**, 9, 1398~1403(1986)
- 8) F.Tanaka, et al.: Dynamic Read/Write Characteristics of Magneto-Optical TbFeCo and DyFeCo Disk, IEEE Trans. Magn. MAG-20, 1033~1035(1984)
- 9) 高橋, 外: 光磁気ディスクの記録時ノイズと磁気特性, 光メモリシンポジウム '86, 39~44(昭61-12)
- 10) F. Tanaka, et al.: Magneto-Optical Recording Characteristics of TbFeCo Media by Magnetic Field Modulation Method, Jap. J. Appl. Phys., **26**, 2, 231~235(1987)
- 11) T. Nakao, et al.: High Speed Overwritable Magneto-optic Recording, Tech. Digest of Int. Symp. Opt. Memory (Tokyo), WA2(Sept., 1987)
- 12) 竹永, 外: 書換え可能大容量光ディスク, National Technical Report, **29**, 5, 82~87(1983)
- 13) T.Nishida, et al.: Single-beam Overwrite Experiment Using In-Se Based Phase-Change Optical Media, Appl. Phys. Lett. **50**, 11, 667~669(1987)
- 14) H.Yasuoka, et al.: Novel 1-Beam-Overwriting Method for Phase-Change Erasable Disk, Tech. Digest of Int. Symp. Opt. Memory (Tokyo), WA6(Sept., 1987)
- 15) A.Saito, et al.: High Storage Density Optical Disks Using Pit Edge Recording on Pb-Te-Se Thin Film, Tech. Digest of Top. Meet. on Opt. Data Storage, WD2(Mar., 1987)
- 16) F.Schellenberg, et al.: Technological Aspects of Frequency Domain Data Storage Using Persistent Spectral Hole Burning, Appl. Opt. **25**, 3207~3216(1986)
- 17) 裏, 外: 光ディスクピックアップの光集積回路化, 光メモリシンポジウム '85, 論文集, 113~120(1985)