

学位論文の要旨

論文題目 光熱磁気記録における高密度記録再生制御システムの開発

氏名 藤 寛

論文の要旨

背景

光記録システムはこれまでに様々な用途のものが製品化され、広く普及してきた。例えばデジタルオーディオ用のコンパクトディスク（CD）、ミニディスク（MD）は代表的な光記録システムである。またコンピュータのデータ用としてMO (Magneto-optical disk) も実用化され、最近、記録容量（録画時間）が著しく向上したDVDやブルーレイディスク（BD）はAV用およびコンピュータ用として定着している。

これらの光ディスクシステムは主に4つの記録方式に分かれる。①光熱磁気記録：光照射時の加熱によって熱磁気記録を行い、磁気光学効果により再生する（MDやMO）。②ピット記録：ディスク基板に物理的な凹凸ピットを成型して回折により再生する（CDやDVD）。③相変化記録：加熱後の冷却速度の違いによる結晶かアモルファスへの転移を利用して記録し、屈折率差を再生する（DVD-RW、DVD-RAM）。④有機色素系記録：有機色素の熱変性によって記録し、反射率の差を再生する（CD-R、DVD-R、BD-R）。本論文は①光熱磁気記録方式に関する。

課題

光熱磁気記録は、半導体レーザーの光エネルギーによって垂直磁化膜を加熱し、保持力が下がった部分を外部磁界によって磁化反転させる熱磁気記録である。この磁化反転部分（記録ピット）をマークと呼ぶ。集光ビームのスポット径は $1\sim 2\ \mu\text{m}$ であり、マークのサイズはサブミクロンとなる。なお、一般には光(熱)磁気記録の“熱”を省略して光磁気記録と呼ぶことが多い。再生時は、反射光の磁気光学効果（カー効果）を利用して、磁化反転部分における偏光の回転角（カー回転角）の差を検出する。光磁気記録を使ったディスク装置は、コンピュータ用外部記憶装置であるMOやオーディオ用記録装置MDとして広く普及してきた。これらのシステムにおいて高密度記録は重要な要素技術であるが、単に微小な磁化反転マークを記録するだけでは不十分である。システムの動作環境温度の変動、記録膜の熱特性偏差や、照射スポット内の光強度分布の変動は、熱記録のための温度プロファイル形成時に外乱となる。したがって常に微小なマークを安定して記録再生し、高い記録密度を維持するシステム技術が必要となる。

目的

本研究の目的は、常に微小な磁化反転マークを記録するために、たとえ上記の外乱が生じても照射スポット内の温度プロファイルを常に維持する制御技術の開発である。つまり外乱を計測し、これを集光スポット内の温度プロファイルの形成にフィードバックする必

要がある。そこで計測用の特殊なマークパターンを記録し、読み出した再生信号の波形から外乱を計測する。記録されたマークは温度プロファイルに依存するため、その再生信号の波形は外乱を反映したものとなる。したがって再生信号から上記の外乱を間接的に計測できる。この計測値をレーザーの駆動回路にフィードバックすれば、温度プロファイルを一定に維持するようにレーザー光のパワーが制御され、実用的なシステム技術が実現できる。以下には本研究で得られた具体的な成果を示す。

各章の内容

1. マルチパルス記録におけるレーザーパワーの最適化（第4章）

コンピュータ用外部記憶装置の規格である”MO”ディスクでは、記録時のレーザー光パルス方式“マルチパルス記録”が採用されている。このマルチパルス記録は、一つのマークを記録する時に複数のパルスを使用するためこのように名付けられており、温度プロファイルの改善によって記録密度が上がった。しかし複数の種類のディスクに適用すると、熱特性の違いによってマークの記録状態が変化し、安定した記録ができなかった。

マークの記録状態（サイズや形状）は再生信号の波形に如実に表れる。特にマーク部分で得られる波形のピーク値とスペース部分で得られるボトム値は容易に計測できるため、記録状態を知るには便利である。そこで、この2つの値を感度良く計測するために、新規なマークパターンを記録した。このマークパターンにおける再生波形のピーク値とボトム値は、マルチパルスを構成するバイアス部分のパワー P_b とパルス部分のパワー P_c に依存して変化する。したがってこのピーク値とボトム値が目標値に一致する時の記録パワーの組み合わせ(P_b, P_c)を最適値とした。その結果、良好な記録が可能となり、熱特性の異なる6種類のディスクにも適用できた。

2. 磁氣的超解像ディスクにおける開口サイズの維持（第5章）

磁氣的超解像 (Magnetically induced super-resolution: MSR) ディスクでは、再生層に集光したレーザースポット内の高温部が磁氣的な開口となり、記録層の微小マークを磁氣的に転写して読み出す。したがって回折限界を超えた記録再生ができる。しかし上述の外乱によって温度プロファイルが変動すると開口サイズに影響が表れる。例えば、開口サイズが大きすぎると解像度が悪くなり、さらに隣接するトラックのマークからの信号が混入してS/N比が低下する。逆に開口サイズが小さすぎると解像度は上がるが信号量が低くなるため同様にS/N比が低下する。

そこで、最短マークと最長マークからなる新規のマークパターンを記録して、それぞれのマークから読み出された信号振幅の比を計測した。この振幅比は開口サイズがもたらす解像度を反映する。したがって振幅比が一定となるようにレーザー光のパワーにフィードバックすれば、開口サイズを維持できる。例として、ラジアルチルト（レーザービームがディスク面に入射するときのラジアル方向の角度偏差）によって光学系の収差が発生し、集光スポットの強度分布が変化した場合に、この制御法を適用した。そうすると光ディスク規格における仕様値 $\pm 12 \text{ mrad}$ に対してビットエラーレートが 10^{-5} となる良好な再生ができ、規格値を満足する制御システムが実現できた。

3. 高密度トラックにおけるクロスライトの低減（第6章）

トラックを形成するグループ（溝）に記録するだけでなく、グループ間のランドにも

記録すると記録トラックの本数が実質 2 倍になり高密度記録ができる。しかしトラック間隔が狭くなるため、記録時の加熱領域がトラック境界を跨いで隣接トラックにまで広がってしまう。そうすると記録したマークが隣接トラックにはみ出す、いわゆるクロスライトが発生する。これは隣接トラックの再生時に、ビット誤り率を増加させる。

そこで、再生信号の変化からクロスライトを見積もるために、中央のトラックと両側の隣接トラックとでは互いにマークとスペースが反転する新規なパターン（チェック模様パターン）を記録した。このパターンを再生すると、両側の隣接トラックからはみ出した反転マークによって中央のトラックの信号振幅が大きく減衰し、クロスライトを感度良く計測できた。信号振幅が最大の時、クロスライトが最小となり、最適な記録パワー値が得られた。この方法を光ディスク規格で要求されるラジアルチルト範囲に適用したところ、クロスライト低減効果が十分に発揮できることがわかった。

4. ランド/グループ記録ディスクにおけるクロックの生成（第 7 章）

トラックに沿った方向の記録密度の向上や、上述の様々な記録パターンを正確に記録するには、物理的な記録位置の基準となるクロックマーク（クロック生成のための特殊なマーク）が必要である。このクロックマークはデータを記録したマークとは異なり、ディスク基板成型時に凹凸形状で刻印される。このクロックマークに同期したクロックを使用すると、ディスクの回転数の偏差等が起こってもマークの記録位置がずれないため、安定した記録ができる。

このクロックマークの形成方法として新たにグループの側壁を蛇行する方法を試みた。PLL (Phase locked loop) 回路にてクロックマークに同期したクロックを生成し、データの記録再生を行ったところ、従来のクロックに比べてビット誤り率が低減した。また、ラジアルチルトの発生に適用したところ、同様にビット誤り率が低減した。このクロックマークは凹凸形状で成型されるため、生成されるクロック信号は周囲温度やディスクの熱特性の変動などの影響を受けない。

まとめ

光熱磁気記録は、レーザー光による加熱と印加磁界とによってサブミクロンサイズの磁区を形成する、いわゆるヒートモード記録（熱記録）である。記録密度を上げるには、温度プロファイルを制御してマークの形状を整える必要がある。また、磁氣的超解像再生は、スポット内の昇温部に発生する微小な磁氣的開口によって再生する、いわばヒートモード再生である。再生時のビット誤り率を低減するには、開口サイズを形成する温度プロファイルの制御が必要である。これらの記録時と再生時の温度プロファイルは、熱的な環境の変動や集光部分の光強度分布の変動を受けやすい。レーザースポット径（1~2 μm ）に比べてマークのサイズ（0.24~0.7 μm ）はかなり小さいため、これらの外乱の影響は大きくなる。

常に安定した高密度記録を維持するために、本研究では①外乱計測用の特殊なマークパターンを記録し、②これを読み出して記録状態や再生状態を計測し、③計測値を基に外乱の影響を見積もり、④レーザー光のパワー調整にフィードバックした。その結果、再生されたビット誤り率は規定の 10^{-4} 以下となり、また光ディスク規格におけるチルト範囲（ $\pm 12 \text{ mrad}$ ）も満足し、記録密度は 4.6 Gbit/inch² に達した。なお、本研究の磁氣的超解像ディスクにおける開口の制御方式（第 5 章）は光ディスク規格 AS-MO に採用された。