

氏名	すがや さとし
授与学歴	菅谷 諭
学位授与年月日	博士(工学)
学位授与の根拠法規	平成 9年12月10日
最終学歴	学位規則第4条第2項
学位論文題目	昭和60年3月
論文審査委員	東北大学大学院工学研究科電子工学専攻前期課程 修了
	光磁気ディスクメモリの高密度化と高速化に関する研究
	主査 東北大学教授 川上 彰二郎 東北大学教授 中村 慶久
	東北大学教授 宮城 光信 東北大学教授 高橋 研

論文内容要旨

1. 序論

従来、計算機用データや文書データなどの情報の蓄積には、磁気ディスクや磁気テープが用いられてきた。しかし、情報化時代の進展に伴い、画像データなどの膨大な量の情報が扱われるようになり、大容量のメモリが必要となってきた。光ディスクは、これら大量の情報に対応しうるメモリとして期待されている。今後、光ディスクをさらに広い応用分野へ展開するためには、より高密度化、高速化を実現することが最重要課題である。本研究の目的は、光ディスクをマルチメディアの中核とするために、1枚で2時間以上のMPEG2動画像が記録再生できる高密度化と高速化を実現することである。

2. 光ヘッドの収束光ビーム形状評価技術

光ディスクは、レーザー光をレンズで波長オーダーの微小スポットに絞り込み、記録媒体面上に照射して記録再生を行うため、磁気ディスクと比べて記録密度を高くできる。この光ディスクの高密度記録再生を安定して実現するためには、光ヘッドから出射する光ビームの収束状態を精度良く定量的に評価し、調整することが重要な課題である。

集光した光ビーム形状の測定方法として、従来はその簡便さからナイフエッジ法が用いられていた。ナイフエッジ法とは、光軸に対して直交する方向に移動するナイフエッジ(遮光部)によって光ビームを遮光していき、透過光量を検出する。この検出光量の微分波形とナイフエッジの移動量から、光ビーム形状を求める方法である。

一般に光ヘッドから出射する光ビームの断面形状は必ずしも円形ではない。また、直交する2軸におけるビームウェストの位置が異なるという非点収差も生じる。このため、光ビーム形状を直交する2軸方向に関して測定し、さらに光軸方向における変化を測定して、3次的に評価する必要がある。1軸方向のみ測定する従来方式では、3次的

な光ビーム形状や非点収差を高精度に測定することは非常に困難である。

そこで、二つのナイフエッジを互いに直角に設ける方法を考案した。これを円運動させることで、互いに直交する方向で交互に光ビームを遮光する構成である。その結果、同一断面における直交する2軸方向の光ビーム形状を同時に測定できる。さらに、このナイフエッジを光軸方向に移動させて連続的に測定することにより、光ビームの3次元的な形状の変化の測定が容易にできる。光軸方向の位置検出にレーザ測長器を用いたため、非点収差を $0.16 \mu\text{m}$ の精度で測定可能となった。また、測定データをコンピュータに取り込んで処理することにより、光ビーム形状の3次元的な表示も可能となった。

開発した光ビーム形状測定装置は、製造工程における光ヘッドの調整、検査装置として実用可能となった。光学系の調整も容易になり、光ヘッドの品質と、高密度化を実現する光ヘッドの歩留まりを向上させることにもつながり、コスト削減も実現した。また、光学系の最適設計を行う強力なツールとしても利用可能となった。

3. 光ディスク基板の複屈折

光ディスクでは、基板を通して情報の記録再生が行われる。樹脂基板は、射出成形の際熱による歪が残る。一般的に使われているポリカーボネイト (PC) 基板の場合、その歪が複屈折となって現れる。複屈折とは、偏光方向により屈折率が異なることであり、複屈折による偏光に依存した位相シフトは、光ディスクの再生特性を悪化させる。光ディスクの高密度化、短波長化を進めるためには、基板複屈折の低減が重要な課題である。

基板複屈折を低減するために、光ディスク基板入射部にガラス半球を用いた入射角度可変複屈折測定装置を開発した。これにより、 70° 程度までの入射角度依存性の測定が可能となり、従来よりも測定精度が格段に向上した。測定結果とシミュレーションとの照合から、PC 基板の屈折率差は、垂直方向が面内方向よりも 40 倍程度大きいことを確認した。また、アモルファスポレオレフィン基板の複屈折は、PC 基板と比較して1桁程度小さいことが確認できた。さらに、PC 基板では複屈折の楕円体に傾きがあり、傾き角は深さ方向に 10° 以内で変化しているとすると、測定値とよく一致することが分かった。

また、波長可変の複屈折測定装置を開発した。PC 基板は短波長化によって屈折率差が増大し、波長が 860 から 360nm になると 1.5 倍程度上昇することを確認した。このことが、短波長化により光磁気ディスクのノイズレベルが上昇する原因の一つであることを明らかにした。光ディスク作製時に、開発した複屈折測定装置で測定を行い、その測定データを元に成形機、成膜機の条件を設定することで、光ディスク基板の複屈折を抑えることができ、高密度化を阻害する要因を軽減することができる。

次に、プリフォーマットピットの隣接トラックへの影響の検討を行った。ISO 標準2倍容量光磁気ディスクでは、ZCAV (Zone Constant Angular Velocity) 方式が採用されている。ZCAV 方式では、記録トラックの隣にプリフォーマットピットが存在する場合がある。このとき、隣のプリフォーマットピットの影響を受けて、光磁気再生信号のエンベロープが変動するという問題が生じる。

この原因としては、プリフォーマットピット周辺の複屈折が考えられた。まず、プリ

フォーマットピット周辺の複屈折の存在を確認した。そして、複屈折楕円体が傾いている場合、光磁気再生信号にレベルシフトが生じることを数値解析により明らかにした。また、光ヘッド内のプリズムなどで生じる位相シフト量に依存して、このレベルシフト量が増加することを確認し、同じ光ディスクに対しても光ヘッドにより影響が異なることの原因を考察した。そして、光ディスク基板の複屈折楕円体の傾き量に応じて光ヘッド内の位相シフト量を調節することにより、複屈折の影響を低減できることを確認した。

4. 光磁気ディスクの磁界変調オーバーライト

光ディスクは、可換媒体であるために物理的な記録密度などはISOで標準化されている。このような協調的競争の中で差別化するためには、スループットなどの高速化を図る必要がある。特に光磁気ディスク装置は、磁気ディスク装置と比較すると、データ転送速度やアクセス速度が遅く、高速化の観点で劣っている。光磁気ディスク装置でデータを書き換える速度が遅い理由は、通常の光変調記録の場合、一度プリデータを消去してから記録するためである。これに対して、消去しながら記録すること（オーバーライト）を可能にする方法として磁界変調記録方式がある。本研究では、磁界変調記録方式を用いて、高性能でオーバーライト可能な光磁気ディスク装置に関する検討を行った。

磁界変調方式は、高いレーザーパワーを照射し、記録データに応じて印加する磁界の極性をスイッチングさせて記録する方式である。磁界変調用磁気ヘッドは、ヘッドクラッシュを回避し、ディスク可換性を保つために、バルク型磁気ヘッドを検討した。有限要素法による磁界解析などを用いて磁気ヘッドの設計方法を確立した。磁界変調方式では、磁界反転時に過渡状態があり、飽和磁界に達するまでの低磁界記録におけるノイズの影響を受ける。そこで、スイッチングの高速化を実現する磁気ヘッドの駆動方式を開発した。さらに、レーザーパワーをパルス状に照射するマルチパルス方式を開発した。以上の技術により、低磁界記録によるノイズの影響を低減し、良好な記録再生特性を実現した。

また、磁気ヘッドと光磁気ディスクの間隔を一定に保つアクティブスペーシング制御方式を提案した。光ディスクの反射率変動や傾きの影響を受けにくいスペーシング検出方式を開発した。これにより、面振れの大きい光ディスクでも、安定で、高性能で、ヘッドクラッシュの危険性がなく、媒体交換可能な磁界変調によるオーバーライトを実現した。光磁気ディスクのオーバーライトが可能となり、データを書き換える際に、消去・記録の2回転必要だった動作が1回で済み、データ書き換え時間を半分以下に短縮した。

以上検討した磁界変調記録方式を用いて、光磁気コンパクトディスクレコーダを開発した。磁界変調記録がマークエッジ記録に適することを確認し、面振れの大きな光ディスクに対しても一様な記録特性が得られ、エラーレートが規格値より1桁以上下回るオーバーライトが可能となり、書き換え時のデータ転送速度の高速化を実現した。

5. 短波長光源とマークエッジ記録による光ディスクの高密度化

光ディスクの高密度化を実現する方法として、記録再生に用いる光源の短波長化と、記録ピットのエッジに情報を持たせるマークエッジ記録方式が以前から検討されている。

本研究では、波長 680nm 帯の高出力 LD を用いて、短波長化とマークエッジ記録再生技術による、光磁気ディスクと相変化光ディスクの高密度化の実証を行った。

波長 680nm 帯 LD を用いて集光ビーム径の微小化を実現した。従来の波長 780nm 光ヘッドと比較して、クロストークが低減し、トラックピッチ 1.2 μm の可能性を確認した。また、線方向に対する分解能向上も確認したが、光磁気ディスクでは、短波長化により媒体の性能指数の低下、フォトデテクタの変換効率の低下、複屈折の増大などが生じて CNR が低下するため、集光ビーム径を微小化しても、線方向に高密度化が実現できなかった。そこで、プリアンプ内蔵フォトデテクタを用いることにより、ノイズを低減させ、必要な CNR を実現し、短波長化による記録面密度向上を実証した。

さらに、マークエッジ記録方式による高密度化の検討を行った。従来は、ピット中心にデータを対応させるマークポジション記録が用いられている。マークエッジ記録は、ピットの前後のエッジにデータを対応させる方式であり、マークポジション記録よりも記録密度を高くできる。しかし、マークエッジ記録は、エッジ位置を高精度に制御する必要がある。そこで、ピットを整形するための記録補償方式を開発した。また、高密度化に適した変調方式の検討を行い、(1,7)RLL (Run Length Limited) 変調方式がマークエッジ記録には適していることを確認した。さらに、符号間干渉の影響を軽減する再生等化方式の開発を行った。また、直流変動の影響を受けにくく、簡単にパルス化できる 2 階微分検出方式の検討を行った。

波長 680nm 帯 LD を用いた光源の短波長化とマークエッジ記録再生技術により、光磁気ディスクに対して、トラックピッチ 1.2 μm で記録ビット長 0.5 μm の記録再生の可能性を実証した。さらに、相変化光ディスクに対しても同様に、波長 680nm 帯 LD を用いた光源の短波長化とマークエッジ記録再生方式により、トラックピッチ 1.2 μm で記録ビット長 0.7 μm の記録密度の可能性を実証した。以上の結果から、ZCAV 方式、ランド/グループ記録、および 0.6mm 厚基板などを組み合わせることにより、120mm ϕ 光ディスク 1 枚で MPEG2 相当の動画像 2 時間を記録することが可能となる。本研究で開発した技術は、書き換え可能な DVD (Digital Video Disk) の開発に活かされている。

6. 結論

本研究では、以下の検討を行い、光ディスク 1 枚あたり 2 時間の MPEG2 動画像を記録再生できる高密度化、高速化の可能性を実証し、DVD 開発の基礎技術を確立した。

- ①新規のナイフエッジを用いた光ビーム形状評価技術の検討を行い、高精度な光ビーム形状測定を可能とし、高密度化を実現する光ヘッドの歩留まりを向上させた。
- ②光ディスク基板の複屈折の高精度な計測と詳細な検討を行い、短波長化による複屈折の増大と、プリフォーマットピットの光磁気再生信号への影響を明らかにした。
- ③光磁気ディスクの磁界変調オーバーライトの検討を行い、スペーシング制御方式やマルチパルス方式などを考案して、高性能なオーバーライトによる高速化を実現した。
- ④光源の短波長化とマークエッジ記録再生方式の検討を行い、光磁気ディスク、および相変化光ディスクに対して、2 時間の MPEG2 動画像を記録する可能性を確認した。

審査結果の要旨

光ディスクは画像データなどの大量の情報用大容量メモリとして期待されている。本研究は大容量、かつ高速なスループットを実現する上の諸課題にとりくんだ成果のまとめであって、全編6章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では光ヘッド出力ビーム形状評価技術を論じている。著者はレーザ光ヘッドから出射する光ビームの非点収差を高精度に測定するため、二つのナイフエッジを直角に設け、全体を円運動させる構成を考案し、簡便かつ高精度な測定を可能にした。開発した装置は実用されている。

第3章では基板の複屈折の測定法および測定結果について述べている。光ディスクでは、透明な基板を通して情報の記録再生が行われる。その樹脂基板には、射出成形の際熱による歪が残り、複屈折（屈折率楕円体の主軸長の間の差）となって現れ、光ディスクのビームの偏光状態を乱す。著者は光ディスク基板入射部にガラス半球を用いた入射角度可変波長可変複屈折測定装置を開発した。これにより、70°程度までの入射角度依存性の測定が可能となり、測定精度が格段に向上した。種々の材料の三つの主軸間の複屈折やその波長依存性など新たに開発した装置によって材料に関する多くの有用な知見を得ている。本章の成果は独自性と実用上の意義の両面から高く評価される。

第4章では、オーバーライトが可能な光磁気ディスクの磁界変調方式について述べている。光変調記録の場合、古いデータを消去してから記録しなければならないため、書替えが遅くなる。磁界変調記録方式では、レーザ光を照射して媒体をキュリー温度まで高め、磁気ヘッドの極性をスイッチしてデータを記録するために、以前書き込まれたデータの消去と新データの書き込みが同時に行なえる。しかし、この方式では電流の向きを高速反転できないため、飽和磁界に達するまでにノイズが生じ易い。これに対処するため、十分な印加磁界が得られる時だけレーザ照射を記録状態にできる様に、レーザパワーを温度上昇部と保温部にマルチパルス化する方式を開発した。また、磁気ヘッドと光磁気ディスクの間隔を一定に保つ制御方式を提案、開発し、これらによって、低雑音でヘッドクラッシュのないオーバーライト記録方式を実現した。

第5章では、光源の短波長化とマークエッジ記録による光ディスクの高密度化を論じている。光ディスクの高密度化には光源の短波長化が必須の要件である。本研究では、波長780nmから680nmへの短波長化を図っているが、それに伴う再生時のCN比の低下を防ぐため、基板複屈折の改善、フォトディテクタの性能改善などにより、所望の性能が確保できることを実証している。さらに、媒体への記録効率が高いマークエッジ記録方式を採用するにあたって、情報を持たせるエッジの位置を高精度に制御するため、ピット形状を補正する記録補償方式を開発した。さらに、符号化方式の検討や、符号間干渉の影響を軽減する波形等化方式の開発などによって、光磁気ディスクにおいてトラックピッチ1.2 μm 、記録ビット長0.5 μm の記録再生が可能であることを実証した。これによって、120mm ϕ 光ディスクの片面で1.2GB、ISO標準第1世代の4倍の大容量化を実現した。これらの技術は、光ディスク1枚にMPEG2動画像2時間以上を記録できる可能性を与えるものであり、書換え可能なDVDの開発にも活かされている。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、光磁気記録の高密度・高速化に際し重要な諸問題に対処し実用化に貢献した研究成果の集成であって、情報記録工学および光工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。