

論文の内容の要旨

論文題目 高密度光ディスクに関する研究

氏 名 渡辺 哲

本論文は、ファーフィールド光ディスクシステムにおいて高密度化を実現する上で、課題の解析から、その具体的方法として新記録再生方式や新デバイスに関する研究をまとめたものである。

筆者が本研究に始めて従事したのが1988年であった。既に光ディスクシステムとしては、デジタルオーディオ用コンパクトディスク（CD）が、1982年に発売され普及しており、データ記録用として、ISO(International Organization for Standardization) 130mm (5.25”)の光磁気（MO: Magnetic Optical）ディスクシステムが発売され始めていた。これらの光ドライブシステムの記録再生や制御の原理は、たとえば“Principles of optical systems”等で説明されていた。

一方、光ディスクシステムに対する要求は、さらなる高密度記録化やドライブの小型化であり、その位置づけは重要かつ緊急な研究テーマであった。記録密度を増大させるには、対物レンズで絞られるビーム径を小型化することと、ビーム径に依存せず高密度記録や高密度再生する手法を創案することである。また、小型化を実現するには、光学部品の小型化と新たな光学系構成の創案が必要であった。

本論文では、高密度化を目指して3つのアプローチから検討した研究結果について述べる。1) 第1の研究として「ビームスポット径小型化による高密度化研究」を取り上げ、本方式による高密度化技術は、“コマ収差の法則”に則って媒体基板厚（透明カバーコート厚）が薄くなることを述べる。さらに、カバーコート厚みの薄型化にともないゴミ・キズによりRF信号レベルが低下し、データエラーが増加することを指摘した上で、これらの課題に対して、ゴミのサイズとカバーコート厚とデータエラー長との関係を定量的に解析できる手法を述べる。2) 第2の研究としては、光磁気媒体を用いる記録方式において、レーザをパルス発光し、それと同期した変調磁界を供給することによりビーム径に依存せず書き込みピット長を詰められる新記録方式について論ずる。また、再生検出能力を向上させる方法として、信号処理技術について言及し、さらに再生分解能を改善する方法として磁氣的超解像方式等について述べる。3) 第3の研究としては、高密度記録とともにドライブの小型化を実現するために新たな光デバイスや光ヘッド構成を提案することにより、解決を図った結果を述べる。

(1) 「ビームスポット径小型化による高密度化研究」

光ディスクシステムは、原則的に、光ビームスポットの大きさが、記録再生の分解能を決定する。記録媒体面上の光ビームスポット径は、光の波長と、光束の絞り込みの角度で決定され、この角度の正弦が開口数 (NA) である。短波長レーザと高 NA 対物レンズを用いる方法は、高密度記録における第 1 の手法といえる。本方式による高密度化技術は、一般的な方法といえるが、反面課題も生じる。筆者は、“コマ収差の法則” に則って媒体のカバーコート厚みが薄型化することと、それにともないゴミ・キズにより RF 信号レベルが低下し、データエラーが増加することが重要な課題になることを指摘した。これらの課題に対する研究にいち早く着手し、ゴミのサイズとカバーコート厚とデータエラー長との関係を定量的に解析できる手法を考案した。具体的には、擬似ダストを作製し、エラーレートを測定することによりドライブのダストに対する強さを示す指数を算出した。本研究の主な部分は、1989 年から 1992 年にかけて検討され論文発表されるとともに、基本特許としても出願されている。本研究においては、次の事項を確立した。

- 1) 短波長レーザと高 NA 対物レンズを用いる光システムは、“コマ収差の法則” に従いカバーコート厚が薄くなることを予測した。“コマ収差の法則” とは、筆者が定義したもので、「CD の仕様に対して新たな光システムの NA 比率の三乗の逆数分とレーザ波長比率分カバーコート厚を薄くし、ディスクの傾きによるコマ収差を CD 並みに抑える」ことをいう。
- 2) ドライブシステムのダスト等に対する強さを示す指標を定義し解析をおこない、各カバーコート厚におけるデータエラー分布を把握できる手法を確立した。
- 3) 本エラー分布の解析手法を用いて、ECC(Error-Correcting Code)とエラー訂正結果との関係等を論じ、本方式の有効性を示した。

その後の短波長レーザと高 NA 対物レンズを用いる高密度光ディスクシステムにおいて、“コマ収差の法則” に則って、1996 年には Digital Versatile Disc (DVD) の透明カバーコート厚 0.6mm、2003 年には Blu-ray Disc (BD) の 0.1mm、2004 年には Universal Media Disc (UMD) の 0.4mm がそれぞれ商品化された。

(2) 「光磁気記録再生における高密度化技術」と「磁氣的超解像再生と磁区拡大再生技術」では、光磁気記録媒体を用いることを前提として、筆者創案のレーザパルス発光磁界変調記録の原理を説明し、書き込みピット長がビーム径に依存せずに詰められる画期的な方法であることを論ずる。次に、再生検出能力を向上させる方法として、信号処理技術について述べる。具体的研究内容としては、変調符号の最適化や PRML (パーシャルレスポンスと最尤複合) 技術を付加することにより高密度再生が実現できることを示す。さらに再生分解能を改善する方法として磁氣的超解像 (MSR) のなかから特に CAD(Central

Aperture Detection)-MSR 技術をとり上げ、再生原理、媒体特性、記録再生評価結果等について論じる。また、光ディスクシステムにおける各種変動に対する課題については、光ビームプロファイルから推測した動作マージンを研究し、その上でレーザパワー制御をおこなう信号処理技術を加えることにより動作マージンを広げられることを述べる。また、磁氣的超解像に合わせて高密度化を進める上で、光の回折現象を利用するアドレス信号再生方式や、トラッキングサーボ信号検出方式についても言及する。以上、これらの要素技術を組み合わせて互いの長所を生すことで高密度化が成立していることを説明する。なお、本研究結果は、数種の光ディスク規格（HS : Hyper Storage、AS-MO : Advanced Storage Magneto-Optical disk、Hi-MD : Hi-MiniDisc 等）としてまとまっている。代表例としては、AS-MO 規格として結実しており、光磁気ディスクの持つ高密度記録のポテンシャルを最大限発揮させ、記録密度 4.7Gbit/inch^2 を達成し、直径 120mm 厚さ 0.6mm の基板片面に 6GB の容量を実現した。これは、DVD と同じ光学パラメータを用いながら、DVD の記録密度 3.3Gbit/inch^2 、容量 4.7GB を上回っている。本研究で、史上初めて記録型の光ディスクが再生専用の記録密度を上回ったことになる。さらに、2004 年には、レーザパルス発光磁界変調記録と磁区拡大媒体との組み合わせにより、Hi-MD 規格が策定され商品化をされた。本研究では、次の事項を確立した。

- 1) レーザパルス発光磁界変調記録の原理と優位性
- 2) 信号処理技術（変調方式の最適化と PRML 検出）による高密度再生
- 3) 実用的な磁氣的超解像媒体と再生動作制御技術
- 4) HS、AS-MO、Hi-MD 規格

(3) 「光ディスクにおける新記録方式の研究」では、高密度化そのものを実現する手段の研究というより高密度化を実現することにより生じる各種課題（特に光学的な劣化）に対して着目し、それらを低減させるまったく新しい光ピックアップ構成について考案した結果を論じる。さらに、光学ヘッドの簡素化と小型化もあわせて実現した。本研究内容は、従来の光ディスクシステムとは違った新しい原理に基づくものであり、各種高密度化技術との組合せで実用化されることが期待される。本研究では、次の事項を確立した。

- 1) 量産性の高い超小型高 NA レンズ等新たな光学デバイスの考案と作製
- 2) 上記レンズ付き光ディスク用フライングヘッドの要素開発
- 3) 3つの収差（コマ収差、球面収差、フォーカス誤差）補正が可能な光ヘッド構成の考案と実証

最後に、各研究における要素技術をまとめるとともに、高性能の光ディスクシステムがこれらの要素技術を組み合わせて、互いの長所を生すことで成立していることを述べる。