

論文の内容の要旨

論文題目 青紫色半導体レーザーを光源に用いた
大容量再生専用光ディスクに関する研究
氏 名 樋口隆信

テレビ放送方式のアナログからデジタルへの移行は世界的潮流であり、日米欧の先進諸国を初めとして、各国でアナログ放送からデジタル放送への転換が起きている。光ディスク分野におけるデジタル化の経緯を辿ると、1996年に動画像など様々なデジタル情報の記録再生に活用することを目的としたDVDが開発されて以降、デジタルテレビ放送の進展にあわせて、HDTV品質をもつ動画像の記録再生に対応する次世代DVDの研究が進められてきた。本論文の筆者は、近年実用化された青紫色半導体レーザーを光源に用いた光ディスクシステムであるHD DVDおよびBlu-ray Discに先駆けて、これらの光ディスク規格の原型となる大容量光ディスクの実証研究を行っている。本論文では、主に再生専用光ディスクの大容量化技術に注目して、光ディスク原盤作製技術の高解像度化、大容量再生専用光ディスクの再生特性、基板表面の汚染物質の影響、光ディスク媒体のもつノイズに関する議論がなされている。

本論文は7章からなる。

第1章は本論文の序であり、研究の背景と本論文の構成について述べている。

第2章から第4章では、光ディスク原盤作製技術の高解像度化と大容量再生専用光ディスクの再生特性について述べている。

第2章「光ディスク原盤作製技術の高解像度化」では、光ディスク原盤作製技術の高解像度化に関する手法を比較し課題をまとめている。比較した高解像度化技術の中から、既存の光ディスク原盤記録装置を用いながらプロセス技術の改良によって高解像度化を達成

することを特徴とした有機色素の光退色性を利用する方法、および、レーザ光を光源とする原盤記録装置の解像限界を大きく改善する電子線を光源とした原盤記録装置を利用する方法に注目し、これらの高解像度化技術の特徴と課題について述べている。

第3章「DVDとの互換性を重視した大容量再生専用光ディスク」では、DVDとの互換性確保とHDTV品質のデジタル動画像の収録に対応することを目的とした大容量再生専用光ディスクについて述べている。はじめに、光退色性色素を用いた高解像度化技術について、ビーム径縮小効果を解析すると共に、微小ピットを記録し形状を観察することによって解像特性を評価し、光退色性色素を用いたときの解像度改善効果は15%から20%であることを明らかにしている。これを面密度に換算すると1.4倍から1.6倍の改善効果になる。次に、光退色性色素を用いてDVDと同じ厚さ0.6mmの基板を採用した大容量再生専用光ディスクを作製し、青紫色半導体レーザとNA0.6の対物レンズを搭載した評価装置を用いて再生評価を行った結果、DVDとの比較によって記録密度9.4 Gbit/in²、片面2層合計27 GBの記録容量をもつ再生専用光ディスクが実用水準の性能を示すことを初めて明らかにしている。本章に記された研究成果は、後に実用化されたHD DVDに至る最初の報告であり、HD DVD規格の原型となった。

第4章「薄型保護層をもつ大容量再生専用光ディスク」では、薄型保護層と高NA対物レンズを採用する光ディスクシステムの大容量化の可能性について述べている。解像特性の優れた電子線原盤記録装置を用いて厚さ0.1mmの薄型保護層をもつ再生専用2層光ディスク試料を作製し、青紫色半導体レーザとNA0.85の高NA対物レンズを採用した評価装置を用いて再生特性の評価を行っている。作製した2層光ディスクの記録密度は18.0 Gbit/in²であり、直径120mmの光ディスク媒体1枚あたりの記録容量50GBを初めて実現している。実験の結果、基板傾きや焦点位置ずれなどの外乱に対して実用的なマージンが得られ、薄型保護層と高NA対物レンズを採用した光ディスクシステムにおいて、2層50GBの記録容量は概ね実用可能な水準にあり、HDTV品質の動画像の記録再生が4時間以上可能になることを初めて明らかにしている。本章に記された研究成果は、後に実用化された再生専用Blu-ray 2層ディスクに至る最初の報告であり、Blu-ray Disc規格に大きな影響を与えた。

第5章「光ディスクの大容量化と保護層表面の汚染物質」では、薄型保護層の表面に付着する汚染物質の影響について述べている。薄型保護層と高NA対物レンズを採用する光ディスクシステムでは、従来の光ディスクシステムと比較して保護層表面に付着する汚染物質が光ディスクシステムの安定性に与える影響が格段に大きくなる。そこで、保護層表面に指紋汚れを付着させた光ディスク試料を用意し、指紋汚れによるサーボ信号の変動を測定している。測定の結果、光量で規格化したフォーカスエラー信号変動量の分散が概ね10%を超えた場合、また、光量で規格化したトラッキングエラー信号変動量の分散が概ね15%を超えた場合は、サーボが破綻する傾向が顕著になることを明らかにしている。一方、指紋汚れの形状とサーボの安定性に着目し、指紋汚れを構成する線の幅をピッチで除算し

た値、すなわち、指紋汚れの占有面積比率がサーボの安定性を見極める指標となることを見出し、指紋汚れの占有面積比率が 70%を超えるとサーボが不安定になることを明らかにしている。また、光線追跡法を用いて指紋汚れの影響を解析することにより、従来の光ディスクで用いられてきた遮光体で近似するモデルでは、光量の減衰を伴わずにフォーカスサーボやトラッキングサーボが破綻する現象を説明できないことを示している。これらの知見をもとに、矩形断面を持つ透明体によって近似する新たなモデルを提案し、指紋汚れに対する撥油性表面保護処理の有効性を実証している。本章で述べた研究成果は、Blu-ray Disc 規格の策定において活用された。撥油性表面保護処理の導入により汚染物質の付着によって発生する問題を回避する目処がたち、カートリッジをもたない第二世代 Blu-ray Disc が実用化された。また、本研究の応用として、光ディスク記録再生装置や記録媒体の開発に活用することを目的とした人工指紋について述べている。

第 6 章「光ディスク媒体の低ノイズ化」では、光ディスク媒体の大容量化と媒体ノイズの関連について述べている。短波長光源や高 NA 対物レンズの採用による光学系の解像度向上に伴い、光ディスク媒体のもつノイズの影響が増大している。また、従来の光ディスク媒体を構成する材料は、媒体ノイズ、コスト、環境負荷などの課題のすべてを満足する材料が無く、新たな材料が求められている。そこで、潤沢で安価であり環境負荷が低い物質であるアルミニウムを主原料として、結晶粒子を微細化かつ均一化することによって、媒体ノイズ、コスト、環境負荷などを満たす反射膜材料の実現を試みている。アルミニウムにパラジウムおよび酸化錫を添加して作製した反射膜は、従来のアルミニウム合金と比較して、表面粗さ、高低差、粒子径ともに約 1/3 を実現している。新規アルミニウム合金薄膜の性能確認として、Blu-ray Disc 規格に準じた追記型光ディスクと再生専用光ディスクを作製し、従来のアルミニウム合金を用いた場合よりも優れた記録再生特性を示すことを実証している。また、反射膜表面の平均表面粗さや最大高低差といった起伏の大きさを表す指標と媒体ノイズの間に相関があることを確認し、結晶粒子を微細化かつ均一化することによって媒体ノイズを低減する方法論が正しいことを示している。

第 7 章は結びで、本論文の研究成果を総括している。

以上を要約すると、本論文は、HDTV 品質のデジタル動画像の収録に対応する次世代光ディスクの実証研究に関する成果をまとめたものである。筆者は本論文において、実用水準の再生特性を有する、記録密度 9.4~18.0 Gbit/in²、27~50 GB の記録容量をもつ再生専用 2 層光ディスクを初めて実現した。本研究報告は後に実用化された HD DVD および Blu-ray Disc に至る最初の報告であり、これらの光ディスク規格の原型となった点で大きな意味をもつ。また、光ディスク媒体の保護層表面に付着する汚染物質に対する解析、媒体ノイズやコストおよび環境負荷の低減を両立する反射膜材料の開発において新しい成果をあげ、光ディスク分野の発展に多大の貢献を成し遂げている。