

審査の結果の要旨

論文提出者： 武田 実

光ディスクの特長の一つに、ROMディスクを安価で大量に生産できることがある。ROMディスクは、マスター原盤からスタンピングにより複製する。ところが、型となる原盤の作成装置には、ROMディスクの再生装置よりも高い分解能が要求される。本論文の著者は、この原盤の作成装置の開発を行ってきた。

原盤の作成には、半導体の微細加工と同じように、フォトレジストの露光によるリソグラフィ技術が用いられる。本論文の著者は、はじめ紫外レーザーを用いCDサイズで記録密度25ギガバイトまでのディスクの作成に成功した。さらに、固体浸対物レンズを導入し40ギガバイトまで高密度化を進めた。

これ以上の高密度化を実現するためには、光を用いていたのでは分解能が不足し、電子ビーム露光の採用が避けられない。著者は、電子ビーム露光の常識を打ち破り、記録するディスクを空気中におき、露光部分だけを局所的に排気する局所真空方式を導入した。この方式により、全真空方式に比べ記録速度を大幅に改善した。この結果、実用的な速度で、100から150ギガバイト密度のディスクのカッティングに成功した。

本論文の内容は以下の通りである。

第1章「序」には、研究の背景と目的、および、本論文の構成がまとめられている。

第2章「全固体 Deep UV レーザーとその応用」では、本研究の前半で用いられる紫外レーザーの概要と、著者が原盤露光装置の開発の前に行っていた半導体露光装置への応用の研究成果が述べられる。本論文で用いられる紫外レーザーは、半導体レーザーを励起光源とする1.064 μ mの波長で発振するNd:YAGレーザーを基に、非線形光学素子を用い第4高調波を発生させるもので、波長266 nmにおいて最大1.5 Wの出力が得られている。著者はこのレーザーを用い半導体露光装置の開発を行った。この開発研究は製品化には至らなかったが、フォトレジストの最適化などの研究成果は、原盤露光装置の開発へ活かされた。

第3章「全固体 266 nm レーザーを用いた光ディスク原盤露光装置」では、紫外レーザーを光源とする原盤露光装置の詳細が述べられている。電気光学素子を用いたノイズを低減装置、および、音響光学素子を用いた変調器を通過した紫外レーザー光は、露光装置へ導入される。露光装置は、開口数が0.9の対物レンズを用いた主光学系、原盤の回転台、680 nmの半導体レーザーを用いたオートフォーカス光学系からなる。また、対物レンズの波面収差の評価のためにフィゾー型干渉計を作成した。

第4章「Deep UV マスタリングによる高密度光ディスクの開発」では、前章で述べた原盤露光装置を使い実際に原盤を作成し、光ディスクの評価を行っている。とくにフォトレジストの最適化について、詳細に述べられている。

さまざまな作成プロセスの改良を加えた後、最終的に、CDサイズで15~30ギガバイトに

相当する密度の ROM ディスクの製作評価を行った。20 ギガバイト密度では実用化レベルの信号を得ることが出来た。25 ギガバイト密度でも満足出来るクリアな信号再生アイパターンが得られた。

続いて、Blu-ray ディスクフォーマットに基づいた記録再生型ディスク用のグルーブ基板の作成を行った。ここでは、トラックピッチ変動を十分小さな値に抑え 0.32 μ m トラックピッチのグルーブパターンを良好に形成できることを確認した。

本技術をさらに発展させ、近接場光学系による固体浸型対物レンズをカットニング光学系に適用した。合成石英レンズと非球面モールドレンズから成る 2 群方式レンズを用いて対物レンズの開口数を 1.35 まで拡大し、40 ギガバイト密度相当のピットパターン形成を実現した。

第 5 章「局所真空電子ビーム方式による超高密度ディスク原盤露光装置」では、著者の開発した局所真空方式電子ビーム露光装置について述べられている。この装置では、エアスピンドルやエアスライドなどの精密機構制御系は大気中に配置される。従来の全真空方式ではこれら機構系が真空中で動作するため空気力学を使った制御ができなかった。局所真空方式の採用により、全真空方式の問題点を解決し、高速かつ高精度な駆動を可能にした。

第 6 章「電子ビームマスタリングによる 100 GB 密度光ディスクの開発」では、上記装置を用いて Si ウェハ上にカットニング形成されたレジストパターンをマスクとして、Si 基板をエッチングしディスクを形成した。このディスクを、開口数が 1.85~2.05、レーザー波長が 405nm の近接場光学方式ピックアップにより基板表面から直接再生して 50~150 ギガバイト密度の再生信号を評価した。

50 ギガバイト密度（トラックピッチ 226nm、最短ピット長 105nm）においては、開口数 1.85 の対物レンズを用い、良好な再生信号アイパターンが得られた。150 ギガバイト密度（トラックピッチ 130nm、最短ピット長 71nm）においても、開口数 2.36 のダイヤモンド製対物レンズにより、再生信号アイパターンが確認された。

第 7 章「結び」では、本論文の成果のまとめと、今後の展望が述べられている。

以上を要するに、本論文は、光ディスクマスター原盤露光装置の研究開発の成果をまとめたものである。その主要な成果は次の 2 つにまとめられる。第 1 は波長 266 nm の紫外レーザー光を用いた露光装置の開発で、Blu-ray ディスクに相当する 25 ギガバイトのディスクの製作を可能にした。第 2 は、電子ビーム露光装置の開発で、局所真空方式という画期的な方式の導入により高速、高精度化を図り、最大 150 ギガバイトまでの密度でディスク作成が可能であることを実証した。本研究は、レーザー露光装置と電子ビーム露光装置において多くの新しい成果を挙げ、光記録および微細加工の分野に多大の貢献を成し遂げた。よって、本論文は物理工学に対し寄与するところ大であり、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。