

審査の結果の要旨

氏名 増井 周造

本論文は、「レーザー干渉リソグラフィーによる次世代光学機能構造加工法の開発」と題するものであり、本質的に、加工構造の微細性を維持したまま大規模造形が可能な干渉リソグラフィーに着目し、次世代において特に期待されている多様な新規光学機能発現微細構造の加工法の開発を目指したものである。

本論文は、全7章で構成される。

第1章では、本研究の背景を整理し、研究目的が示されている。近年注目されている次世代光学機能構造の必要性ならびに、実現にむけた問題点が整理された後、それらを実現する加工法として干渉リソグラフィーに着目する理由、干渉リソグラフィーによる次世代光学機能構造加工法開発を目指す目的の意義が示され、論文の構造が示されている。

第2章「干渉リソグラフィーの基礎」では、本研究で着目した干渉リソグラフィーの基本的な理論、特性や関連研究を紹介し、その実践性を述べている。そして特に、次世代光学素子の加工に求められる、微細性、多重周期性を達成するための方法を比較して議論している。

第3章「サブ波長格子偏光フィルタの理論モデル構築と加工検討」では、従来動作メカニズムが完全には解明されていなかったサブ波長偏光ビームスプリッタの理論的なモデルの構築を行っている。偏光分離機能の原理として、導波モード共振と薄膜多重干渉を組み合わせた理論モデルを提案している。そして、有効媒質近似による理論値の誤差を修正するために、理論設計値を初期値として厳密な電磁波解析理論を適用する効率性の高い設計方法を実証している。また、動作原理を明らかにしたことによって、干渉リソグラフィーの加工時に想定される加工誤差が、光学機能に与える影響を定量的に明らかにしている。特に、格子部の形状誤差により、共振波長のシフトや薄膜多重干渉の反射防止条件からのずれが生じることで、偏光分離機能を示す消光比が大きく低下する様子を示している。これにより、第5章で議論されるインプロセス計測を用いた、加工形状の精密制御の必要性について明らかにしている。

第4章「二重周期回折格子のスカラー回折理論モデルの構築」では、多重露光干渉リソグラフィーにより加工が期待される二重周期回折格子の回折特性に

着目している。特に、加工形状のもつ回折特性を理論モデルにより明らかにすることで、新しい回折素子の開発だけでなく、干渉リソグラフィーのインプロセス計測への応用も見据えたアプローチとなっており、具体的な特徴として、①うなりを伴う二重周期回折格子と②整数倍周期を重ね合わせた二重周期回折格子を統一的に扱える理論モデルの構築を行っている。そして、回転ロイドミラー光学系を用いた多重露光干渉リソグラフィーで造形した二重周期回折格子の回折特性を計測し、理論モデルとの比較を行っている。スカラー回折理論では Fraunhofer 近似の仮定を用いるため、回折角の大きな回折光では誤差が発生する。しかし、重ね合わせた複数の正弦波の高さに応じた定性的な回折効率変化はよく一致しており、構築したモデルの有効性を示している。

第 5 章「多重露光干渉リソグラフィーの加工プロセス計測」では、うなりを伴う二重周期回折格子に対して、回折光のインプロセス計測を行うことで、その回折効率比を高精度に制御するための加工プロセス制御の実証を行っている。まず、現像前後のレジストを二重周期位相回折素子とみなしたモデルを構築し、インプロセス計測結果と現像後のポストプロセス計測結果との対応を初めて明らかにしている。簡略化したスカラーモデルにおいても回折効率比を良く予想可能であり、加工プロセス制御へ応用可能なことを示している。

第 6 章「多光束エバネッセント光干渉リソグラフィーの開発」では、3-5 章で得た知見を元に、次世代光学素子の加工に求められる多重周期性と微細性を兼ね備えた加工法として、エバネッセント光干渉リソグラフィーを提案、実証している。理論的に、エバネッセント光の干渉によって得られる強度分布を解析するとともに、複数光束エバネッセント光干渉リソグラフィー露光装置を開発している。4 光束エバネッセント光干渉露光実験では、従来の空気中での干渉縞の限界ピッチである $\lambda/2$ を大きく超えた $\lambda/3.5$ 、NA1.76 に相当する超微細加工を実証するとともに、多光束干渉によって、ナノ・マイクログレーティング構造、ナノグレーティングとマイクロドットパターンの複合一括造形に成功している。

以上のように、本研究は、レーザー干渉リソグラフィーにより次世代光学機能構造を加工するための基盤要素技術の開発をすることができたと認められる。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。