

氏 名	まつ 松 塚 直 樹
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3891 号
学位授与の日付	平 成 18 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	X 線リソグラフィを用いた 3 次元微細加工技術に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 田 畑 修 教 授 小 寺 秀 俊 教 授 松 原 厚
--------	--

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、シンクロトロン放射光を利用した X 線リソグラフィにおいて、自由曲面を有する 3 次元微細加工方法を考案し、目標形状を実現するための手法についてまとめたものであり、7 章からなっている。

第 1 章では、研究の背景について概括し、問題点を明らかにした上で本研究の意義ならびに各章の位置付けを示している。

第 2 章では、X 線リソグラフィの加工自由度を高めるための手段として複合加工が可能なシステムをもつ露光装置の設計を行っている。まず、X 線リソグラフィに適した波長を利用できるビームラインの設計を行い、露光チャンバ内に 6 台のステージを組み合わせた 8 軸動作が可能なシステムを構築している。このステージシステムを用いた複合加工の一例として傾斜露光と移動マスク露光を組み合わせた加工を行い、従来の加工技術では困難であった自由曲面を有する傾斜構造の実現に成功し、新たな応用展開の可能性を示している。

第 3 章では、任意の自由曲面をもつ微細構造を実現する手法として移動マスク露光法に着目し、具体的な応用展開の一例としてマイクロレンズアレイの試作を取り上げて本技術の研究を行っている。移動マスク露光法においてマスク移動パターンを設定するためのツールとして、移動パターンを入力することによってレジスト表面に与えられる X 線照射量を計算し、X 線の照射量と加工深さの依存性を利用して加工形状を出力するプログラムを作成している。出力結果から移動パターンの修正を繰り返し、目標形状に適した移動パターンを見つけ出す手法を採用することによって、自由曲面をもつマイクロレンズアレイの作製に成功し、移動マスク露光法の有用性を示している。

第 4 章では、移動パターン設定の効率化を図るためにマスクパターンと目標形状から数学的にマスク移動パターンを導出する手法を考案し、そのアルゴリズムの構築を行っている。本アルゴリズムを用いることによって第 3 章で述べた方法に比べ効率的かつ高精度に目標形状に適した移動パターンを導くことに成功している。また、移動マスク露光法において高スループット化を実現するための最適マスクパターンについて述べており、そのマスクパターン決定に本アルゴリズムが有効であることを示している。

第 5 章では、移動マスク露光法において照射量と加工深さの依存性をそのまま利用した従来の変換方法が加工精度を低下させる原因になることを示している。現像時の溶解の仕組みについて検討し、経時変化するレジスト形状によって複雑に溶解界面が伝播することを見出し、従来の方法では照射量分布と加工形状の正確な変換ができないことを実験的に明らかにしている。そこで複雑な溶解界面伝播を考慮できるシミュレータを変換方法として採用することによって、移動マスク露光法の加工精度の向上が期待できることを示している。

第 6 章では、第 5 章における溶解界面伝播の知見を活かして、特別な装置や複雑な加工を必要とせず、容易に自由曲面を有する 3 次元微細構造体を実現するための新規な加工技術である二重露光法を考案している。この手法によってマイクロニードルの試作に成功し、本技術の 3 次元微細加工の有用性を示している。次に、実験条件設定のために必要となる加工形状の効率的な予測手法を確立するために、複雑な溶解界面伝播を垂直、水平方向に分解し、別々に計算した結果を合成することによって加工形状を予測する数値解析の手法を考案している。また、数値解析の手法に必要なレジスト内部の吸収エ

エネルギー分布および溶解速度の吸収エネルギー依存性を実験的に高精度に決定できる手法を新たに考案し、これらを組み合わせた予測手法を採用した結果、良好な精度で3次元形状を予測することに成功している。

第7章は本研究で得られた成果の総括である。

論文審査の結果の要旨

本論文は、シンクロトン放射光を利用したリソグラフィ技術によって、傾斜側壁や自由曲面からなる3次元微細構造を作製する手法の確立を目標として行った研究成果についてまとめたものである。得られた主な成果は以下の通りである。

1. 8自由度を有するX線露光システムを構築し、被加工材であるレジストに対して傾斜露光と移動マスク露光を組み合わせた照射を可能とした。これによって、一般的なX線リソグラフィでは困難であった3次元微細構造側壁の傾斜角度制御や自由曲面加工を実現し、X線リソグラフィの加工自由度を高めることに成功した。
2. 構築したX線露光システムの有用性を実証するために、移動マスク露光法を選択し、加工深さの照射量依存性を利用してマスク移動パターンから加工形状を予測するプログラムを用いて実験条件設定を行い、目標とするマイクロレンズの形状を高精度に実現することに成功した。
3. マスク移動パターンから加工形状を予測するプログラムでは実験条件の設定に試行錯誤が必要となるのに対し、新たにマスクパターンと目標形状から数学的にマスク移動パターンを導出する手法を考案し、効率的かつ高精度に目標形状に適したマスク移動パターンを導くことに成功した。
4. レジスト溶解メカニズムについて検討し、照射量分布から加工形状を導出する場合に加工深さの照射量依存性を利用する方法では側壁傾斜が急勾配になるに従って精度が悪化することを実験的に明らかにした。
5. 溶解界面伝播の知見を活かして、特別な装置や複雑な加工を必要とせず、容易に自由曲面を有する3次元微細構造体を実現するための新規な加工技術である二重露光法を考案し、マイクロニードルの製作によりその有用性を示した。
6. 数値解析的形状予測に必要なレジスト内部の吸収エネルギー分布および溶解速度の吸収エネルギー依存性を実験的に高精度に決定できる手法を新たに考案し、これらを組み合わせた予測手法を採用した結果、良好な精度で3次元形状を予測することに成功した。

本論文は、X線リソグラフィの加工自由度の向上を実現し、幅広い要求に応えることのできる技術および目標とする加工形状を実現するための方法論を作り上げたものであり、本論文は学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。また、平成18年2月20日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。