

氏 名	ひら い よし かず 平 井 義 和
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2793 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 機 械 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	紫外線および放射 X 線を用いたレジストの三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、微小電気機械システム (MEMS: Micro Electro Mechanical Systems) 分野における基盤技術である三次元微細加工技術の新規な手法として「移動マスク露光法」を提案し、紫外線および X 線を用いた厚さ数十 μm の厚膜レジストの三次元微細加工技術として確立するための研究結果をまとめたもので、6 章からなっている。

第 1 章は緒言であり、本研究の背景、および MEMS の基盤技術であるリソグラフィ技術、レジストの三次元微細加工技術、およびリソグラフィプロセスシミュレーションに関連した先行研究を概括し、本研究の意義および目的について述べている。

第 2 章は、X 線リソグラフィ技術を応用して厚膜レジスト三次元微細構造体を加工する「移動マスク露光法」を詳細に検討し、従来の X 線リソグラフィ技術とは異なる三次元微細加工技術としての有用性を明らかにしている。移動マスク露光法でレジスト表面における X 線露光エネルギー分布とレジスト膜内部の X 線吸収エネルギー分布を制御することで、側壁に傾斜や曲率を有する三次元微細構造体の製作が可能であることを示し、レジストの三次元加工形状を制御するために重要な移動マスク露光法の加工パラメータを明らかにしている。

第 3 章は、X 線と紫外線を用いたリソグラフィ技術を比較し、紫外線領域におけるレジストの三次元微細加工技術の実現可能性とその有用性について検討している。厚膜レジストの三次元微細構造体が可能で「三次元微細加工用移動マスク紫外線露光装置」の設計項目を明らかにし、この検討結果に基づいて 4 インチシリコンウエハを移動マスク法で露光するフォトリソグラフィ装置を構築している。また厚膜紫外線レジストの最適プロセスについて述べている。最後に移動マスク露光法による三次元微細構造体の試作実験結果と考察から、紫外線を用いた厚膜レジストの三次元微細加工技術の可能性を示している。

第 4 章は、レジスト溶解速度から現像時の三次元微細構造体加工形状の経時変化を計算するプロセスシミュレーション手法について論じている。まず本研究が対象としている厚さ数十 μm のレジストの露光・現像は、従来の手法では十分な精度でシミュレーションできないことを実験的に示している。この問題を解決するためにレジスト—現像液界面の伝播解析に基づくプロセスシミュレーション手法として「Fast Marching Method」を用いた二次元および三次元空間で溶解界面の伝播を解析する手法を提案し、その詳細を論じている。

第 5 章は、現像シミュレーションに必要な「レジスト溶解速度の測定手法」と「レジスト膜内部の溶解速度分布の決定手法」について述べている。まず X 線リソグラフィ用厚膜レジストの溶解速度の測定で考慮しなければならない要因について検討した結果に基づき、シートレジストの特徴を利用した溶解速度データの測定手法を新規に提案している。測定した溶解速度データから「レジスト溶解速度の X 線吸収エネルギー依存性」をモデル化する手法を考案し、その有用性について論じている。さらに、紫外線リソグラフィ用厚膜レジストの溶解速度のモデル化手法を検討し、膜厚方向におけるレジスト特性の不均一性を考慮した溶解速度の測定手法と、溶解速度の紫外線露光量と深さ依存性を指数関数でモデル化する方法を

提案している。

第6章は、第4章で有用性を確認したシミュレーションアルゴリズム「Fast Marching Method」と第5章で提案した溶解速度の吸収エネルギー依存性データのモデル化手法を用いて構築した三次元微細加工形状に関するプロセスシミュレーションツールについて述べている。シミュレーション結果と実験結果の比較からその妥当性と有用性について論じている。また特別な装置や複雑な工程を必要とせずに三次元微細構造体が製作可能な加工技術である「X線二重露光法」を提案し、マイクロニードル形状製作への応用を例に、シミュレーションツールの有用性を検証すると共に、実験結果とシミュレーション結果の比較からX線二重露光法の加工パラメータや加工技術の有用性について述べている。

第7章は結論であり、本論文で得られた結果について総括している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、微小電気機械システム（MEMS: Micro Electro Mechanical Systems）分野における基盤技術である三次元微細加工技術の新規な手法として「移動マスク露光法」を提案し、紫外線およびX線を用いた厚さ数十 μm の厚膜レジストの三次元微細加工技術の確立を行っている。得られた主な成果は次のとおりである。

まず、X線を用いた移動マスク露光法において、レジスト内部の吸収エネルギー分布を制御することで自由曲面を有する三次元微細構造体が製作可能であることを示し、加工形状を制御するために重要な加工パラメータを明らかにしている。次に、より一般的な露光技術である紫外線を用いた移動マスク露光法における加工パラメータを明らかにし、紫外線領域における三次元微細加工の可能性を示している。またレジストの溶解速度から現像工程中の加工形状の経時変化を計算する厚膜レジスト加工形状シミュレーション手法について詳細に検討し、従来の手法では困難であった三次元微細構造体の加工形状シミュレーションが、レジスト内部の溶解速度分布と溶解速度ベクトルを考慮したレジストー現像液界面の伝播解析により可能であることを明らかにしている。これらの知見を統合し新規に「Fast Marching Method」により二次元および三次元空間における溶解界面の伝播解析が可能なシミュレーション手法を構築している。紫外線露光においては、回折現象と膜厚方向におけるレジスト特性の不均一性を考慮することにより加工形状シミュレーションが可能であることを実証している。さらに紫外線用厚膜レジストおよびX線用厚膜レジストの溶解速度データの吸収エネルギー依存性の測定手法の提案と、測定したレジスト溶解速度の露光パラメータ依存性のモデル化を行っている。最後にモデル化した溶解速度を適用した加工形状シミュレーションを行い、計算結果と実験結果の妥当性について議論している。

以上、本論文は「移動マスク露光法」を用いた厚さ数十 μm の紫外線およびX線用厚膜レジストの三次元微細加工技術の確立という課題に対し、種々の加工パラメータと三次元加工形状の関係を明らかにすると共に、レジストー現像液界面の伝播を考慮したシミュレーション技術の構築により、厚膜レジストの三次元微細加工に対する幅広い要求に応えることのできる方法論を作り上げたものであり、学術上、實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あるものと認める。また、平成19年2月2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。