Osaka University Knowledge Archive

Title	非線形光学効果を導入した半導体プロセスによる立体表面形成と微小光学素子への応用
Author(s)	溝尻, 瑞枝
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/57512
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

【108】

氏　　名	溝　尻　瑞　枝（みぞ しり みず え）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　２３８２６　号
学位授与年月日	平成22年３月23日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学　位　論　文　名	非線形光学効果を導入した半導体プロセスによる立体表面形成と微小光学素子への応用 （Three-dimensional surfaces fabricated by semiconductor technology using nonlinear optical effects and their application to the fabrication of micro optical elements）
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　平田　好則 （副査） 教　授　藤本　公三　　教　授　大村　悦二　　教　授　伊東　一良

論　文　内　容　の　要　旨

本研究では，非線形光学効果を半導体プロセスに導入したフェムト秒レーザリソグラフィ支援マイクロマシニング（Femtosecond laser lithography-assisted micromachining : FLAM）を提案し，シリコンやシリカガラスなど汎用無機材料による微細自由曲面構造の作製を可能にした．本論文は6章で構成されている．以下に各章の概要を示す．

第1章では，微細自由曲面構造の作製の重要性を述べ，従来の研究内容を示してその課題を明らかにするとともに，本研究の意義と目的を記した．

第2章では，微細自由曲面構造の作製のために，非線形光学効果を半導体プロセスに適用したFLAMを提案し，非線形リソグラフィにおける光吸収特性とパターニング特性，プラズマエッチングおける転写構造の表面粗さについて評価した．前者では，化学増幅型ネガレジストの光吸収が2光子吸収であることを明らかにした．また，高繰返しレーザパルスの照射により，非線形光吸収時に熱が蓄積される可能性を示した．後者では，CHF_3（トリフルオロメタン）にO_2（酸素）を混合したプラズマを用いることで，転写構造の表面粗さを非混合の場合の1/4に低減できることを示した．

第3章では，化学増幅型ネガレジストの非線形光吸収において，熱蓄積がパターン形状に与える影響を検討した．熱蓄積に誘起されたと考えられる露光領域の屈折率増大量は0.008となった．レーザを走査させずにレジストの同じ位置に繰返しレーザパルスを照射した場合，高屈折率領域を光ファイバのコアとしたモデルから，後続パルスの結合による更なる非線形光吸収を予測し，実験的に光軸方向に焦点の前後で非対称なパターンが形成されることを示した．

第4章では，FLAMをシリカガラス製の微小光学素子作製への応用について記した．曲面を有するフレネルレンズアレイの作製では，焦点距離は設計値2800 μmに対し，2790 μmでスポットが観察され，おおよそ設計値通りの特性が得られた．マイクロレンズ上へ回折レンズを形成した屈折回折複合レンズの作製においても，作製した複合レンズの焦点距離の設計値との誤差は12 μmとなり，FLAMが平面上への曲面構造の形成や非平面上への構造形成に有用であった．

第5章では，非線形光吸収領域の制御を目的として，回折光学素子を用いたフェムト秒レーザビーム成形について検討した．対物レンズによる集光よりも小さな単一スポットを得るため，高速フーリエ変換を用いた強度分布計算から，フレネルレンズの中心部を排除した素子を設計した．FLAMで作製した素子を用いて，集光スポット径が小さくなることを実験的に示した．

第6章では，本研究における結果の総括と今後の展望について示した．

論　文　審　査　の　結　果　の　要　旨

本論文は，非線形光学効果を半導体プロセスに導入したフェムト秒レーザリソグラフィ支援マイクロマシニング（Femtosecond laser lithography-assisted micromachining : FLAM）の提案により，シリコンやシリカガラスなど汎用無機材料による微細自由曲面構造の作製を可能にし，それを応用した微小光学素子の作製についての研究成果をまとめたものである．

主な研究成果を要約すると以下のようになる．

(1) 微細自由曲面構造の作製を目的として，非線形光学効果を半導体プロセスに導入した FLAM を提案し，非線形リソグラフィにおける光吸収特性とパターニング特性，プラズマエッチングにおける転写構造の表面粗さについて評価している．前者では化学増幅型ネガレジストの光吸収が 2 光子吸収によるものであることを明らかにしている．さらに，高繰返しレーザパルスの照射により，非線形光吸収時に熱が蓄積される可能性を示している．後者では，CHF_3（トリフルオロメタン）に O_2（酸素）を混合したプラズマを用いることで，転写構造の表面粗さを非混合場合の 4 分の 1 に低減できることを示している．

(2) 化学増幅型ネガレジストの非線形光吸収において，熱蓄積がパターン形状に与える影響を検討している．熱蓄積に誘起されたと考えられる露光領域の屈折率増大量は 0.008 となり，レーザ走査なしでレジストの同じ位置に繰返しレーザパルスを入射した場合，高屈折領域を光ファイバーに近似したモデルから，後続パルスの結合による更なる非線形光吸収を予測している．また，実験的に，予測通りの光軸方向に焦点の前後で非対称なパターンが形成されることを示している．

(3) 曲面を有するフレネルレンズやマイクロレンズ上へ回折レンズを形成したシリカガラス製の微小光学素子を作製し，いずれの素子においても焦点距離の設計値との誤差は 10 μm 程度であることを示して，FLAM がおおよそ設計値通りの加工が可能であることを明らかにしている．

以上のように，本研究では従来法で困難とされてきた汎用無機材料による微細な立体表面形成を可能にしている．さらに，非線形リソグラフィにおける熱影響に起因する非線形光吸収特性を明らかにするとともに，さまざまな機能を付与できる微小光学素子を試作しており，新しい微細加工技術につながる基礎的研究として学術的に重要な成果である．

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める．