

Title	Nonlinear Photopolymerization for Three-Dimensional Micro/Nano Fabrication
Author(s)	高田, 健治
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46900
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、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	高田健治
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 20297 号
学位授与年月日	平成 18 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科応用物理学専攻
学位論文名	Nonlinear Photopolymerization for Three-Dimensional Micro/Nano Fabrication (非線形光重合反応と 3 次元微細構造形成)
論文審査委員	(主査) 教授 河田 聡 (副査) 教授 増原 宏 教授 川上 則雄 助教授 影島 賢巳

論文内容の要旨

本研究は、フェムト秒パルスレーザー光を光硬化性樹脂に集光したときに生じる非線形光重合反応の時間的・空間的ダイナミクスを実験的に検証し、3次元微細構造形成へ応用することを目的とした。光と物質の非線形な相互作用に関する研究は、その原理、現象、材料などの観点から広く行われている。光に対する物質の非線形な応答過程を利用すると、その相互作用領域を光の回折限界以下の領域に閉じ込めることができる。

第1章では、非線形光重合反応を構成する2光子吸収とラジカル重合反応について述べた。3次元微細構造形成において非線形光重合反応を用いる利点について説明した。この分野における関連研究について、材料、光学分野における進展について説明し、本研究の位置づけを述べた。

第2章では、非線形光重合反応により3次元微細構造を形成するための光学系を設計、試作した。一点露光により作製した硬化スポット (voxel) の形状から、樹脂硬化の基本的な特性を評価した。入射光強度、露光時間、系の温度等のパラメータを変化させて voxel を作製し、各パラメータが voxel 形成に与える効果について述べた。

第3章では、ラジカル重合の特徴であるラジカルの失活反応について述べ、それと2光子吸収の非線形性が回折限界以下の加工を可能にすることを説明した。100 nm サイズの voxel を基板上に作製できることを示した。また、本手法で作製する構造はその構造形成過程において収縮するが、その収縮現象を利用して加工サイズを 65 nm まで小さくできることを示した。

第4章では、非線形光重合反応で作製した3次元微細構造の特性を評価した。原子間力顕微鏡で構造の表面を観察し、10 nm 程度の表面粗さで微細構造が形成されていることを示した。またサイズが 1 μ m 以下になると、現像・乾燥後に構造の変形が顕著になることを示した。

第5章では、作製した3次元微細構造に機能性を付加させることを提案し、実験で示した。外径 4 μ m、ワイヤー径 300 nm のバネをレーザーラッピング力によって制御し、バネが弾性変形することを確認した。収縮による微細構造の変形を防ぐために、事前に逆補正を形状に掛け構造を作製することを提案し、フォトニック結晶作製によってその有効性を示した。

総括では、本論分で得られた結果をまとめて考察し、本論分の結論および今後の展望について述べた。

論文審査の結果の要旨

光と物質の非線形な相互作用に関する研究は、その原理、現象、材料などの観点から広く行われている。光に対する物質の非線形な応答過程を利用すると、その相互作用領域を光の回折限界以下の領域に閉じこめることができる。本論文は、非線形光重合反応の時間的・空間的ダイナミクスの実験的検証、及びそれらを用いて行った3次元微細構造形成についてまとめたものである。以下に本論文の研究成果をまとめる。

本論文では、3次の非線形光学現象である2光子吸収とラジカル重合反応の非線形性によって、光重合反応をナノメートルオーダーの領域に局所化させることを提案している。近赤外パルスレーザー光を対物レンズで光硬化性樹脂内に集光し、2光子吸収を誘起することにより任意の1点で樹脂を硬化させる。ラジカルの失活反応について述べ、ラジカル重合反応の非線形性について述べている。一点露光により作製した硬化スポット (voxel) の形状から、樹脂硬化の基本的な特性を評価している。入射光強度、露光時間、系の温度等のパラメーターを変化させて voxel を作製し、各パラメーターが voxel 形成に与える効果について述べている。露光条件を最適化することにより、100 nm サイズの voxel をガラス基板上に作製している。また構造の収縮現象を利用して加工サイズを 65 nm まで小さくできることを示している。

非線形光重合反応を用いて3次元微細構造を形成する装置を設計・試作し、複雑な形状を有する構造を作製している。原子間力顕微鏡で構造の表面を観察し、10 nm 程度の表面粗さで微細構造が形成されていることを確認している。構造のサイズが 1 μ m 以下になると、現像・乾燥後に構造の変形が顕著になることを述べている。

また、作製した3次元微細構造に機能性を付加させることを提案し、実験で示している。ワイヤー径 300 nm のバネを光捕捉力によって制御し、バネが弾性変形することを確認している。量子光デバイスであるフォトニック結晶を作製し、その光学特性を評価することによって本手法の有効性を示している。

以上のように、本論文は非線形光学と光重合反応の非線形性を用いることにより、近赤外域の波長で 100 nm 以下の加工が可能であることを実証し、さらに、機能性を付加したマイクロ/ナノ構造形成を実現している。結果は応用物理学、特にナノフォトニクスに寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。