

Title	光重合反応の非線形ダイナミクスと微細構造形成に関する研究
Author(s)	庄司, 暁
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/43432">https://hdl.handle.net/11094/43432</a>
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">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</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	庄司 暁
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 17003 号
学位授与年月日	平成14年3月25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	光重合反応の非線形ダイナミクスと微細構造形成に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 河田 聡  (副査) 教授 増原 宏 教授 笠井 秀明 助教授 谷田 純 講師 柏原 昭博

### 論文内容の要旨

本論文は、光硬化性樹脂について、レーザー光を回折限界で集光し照射したときの光重合反応のミクロンレベルでの時間的・空間的ダイナミクスと、光微細加工への応用に関してまとめられたもので、序論、本論6章、および総括から構成されている。

緒言では、本研究の背景、目的、および論文の概略について述べた。

第1章では、光硬化性樹脂中に収束レーザー光を照射すると生じる単一導波路構造の自己成長現象について述べた。入射光の照射時間と形成される導波路構造の形状の関係について示し、自己成長現象のメカニズムについて考察した。

第2章では、高い入射光強度や高い集光角(集光レンズのNA)によって、複数の導波路に分岐したほうき型の構造が自己成長する現象について述べた。入射光強度、集光レンズのNAと形成される導波路の本数、入射光の照射時間および光硬化性樹脂の濃度と形成される導波路の形状の関係について実験で検証した。

第3章では、自己成長する導波路同士が衝突したときの成長過程の変化について述べた。2本の導波路の間の衝突角が小さい場合、導波路同士が合流し単一導波路として成長を続けることを示した。入射光同士のコヒーレンス度の影響、強度比や入射の時間差による合流後の導波路の成長方向の変化について示した。

第4章では、光硬化性樹脂の光重合反応と屈折率変化の特性を示すモデルの提案を行った。光ラジカル重合反応特有の性質である、活性酸素やラジカル消光剤による重合反応阻害の効果を、しきい値型の非線形モデルで記述した。

第5章では、提案した非線形モデルと非線形シュレーディンガー型波動方程式を用いた光重合反応の時間的・空間的ダイナミクスのシミュレーションを行った。単一導波路の自己成長、導波路の合流現象は、光硬化性樹脂における光重合の光強度しきい値が不可欠な要素であることを明らかにした。導波路構造中を導波する入射光のモード解析の結果についても示した。

第6章では、光硬化性樹脂の光学特性を活かした、3次元フォトリソグラフィ結晶の作製法を提案した。3次元のレーザー光干渉パターンを用いた作製法と、作製した単純六方格子3次元フォトリソグラフィ結晶を示した。

緒言では、本論文で得られた結果を総括し、本論文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

光硬化性樹脂を用いた光微細加工は現在、マイクロ／ナノメートルレベルでの任意の3次元の微細構造の作製を可能にする唯一の方法であり、最も有力なマイクロマシーニング技術である。光硬化性樹脂の光反応プロセスをマイクロ／ナノメートル領域で明らかにすることは、光微細加工の加工精度と微細構造の力学的・光学的特性を制御する上で必要不可欠である。本研究では光硬化性樹脂における光重合反応のミクロンレベルでのダイナミクスを実験的および理論的に明らかにし、様々な導波路構造の自己成長現象と新たな光微細加工法を示した。主な成果を以下にまとめる。

(1)光硬化性樹脂中に回折限界で集光させたレーザー光を照射した時に生じる単一導波路、複数の導波路の集合構造の自己成長現象を発見している。この現象は、カー媒質やフォトリフラクティブ結晶などの非線形光学材料で見られる光空間ソリトン現象と類似する現象で、初めての実験である。

(2)光硬化性樹脂中で自己成長する複数の導波路同士の相互作用によって、合流現象が生じることを発見している。

(3)ラジカル重合に基づく光重合反応と光強度との関係を表すモデルを提案し、光硬化性樹脂の光重合反応のミクロンレベルでの時間的・空間的發展を理論的に解析している。その結果、光重合反応に基づく樹脂の屈折率変化と光伝搬との非線形フィードバックシステムによって導波路構造が自律的に形成される現象を理論的に説明することに成功している。また、この自己成長現象には、光ラジカル重合特有の性質である、活性酸素およびラジカル消光剤による光重合阻害が重要な要素であることを明らかにしている。

(4)3次元的な光干渉パターンを応用した3次元フォトニック結晶の新しい作製法を世界で初めて提案している。またそれによって3次元的に100層を越える層数のフォトニック結晶構造を、1  $\mu\text{m}$  の格子間隔で作製することに成功している。これは近赤外領域のフォトニックバンドギャップに相当する構造であり、全体のサイズはこれまでの報告例においては世界最大である。

以上のように、本論文は光硬化性樹脂の光重合反応に伴う様々なマイクロ構造の自己成長現象を初めて発見した。さらにこれらの自己成長現象が光空間ソリトンの一形態であると位置づけ、ラジカル重合に基づく光重合反応のマイクロ／ナノレベルでの基礎特性を明らかにした。また、この光重合反応の非線形特性を応用したマイクロ光造形法の提案を行っており、本研究で得られた成果は、応用物理学、特に非線形光学および光エレクトロ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。