

氏名(本籍)	ばら だ だい すけ 茨 田 大 輔 (東京都)		
学位の種類	博 士 (工 学)		
学位記番号	博 甲 第 3666 号		
学位授与年月日	平成 17 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	アゾベンゼンポリマーにおける光誘起物質移動の解析		
主 査	筑波大学教授	工学博士	谷田貝 豊 彦
副 査	筑波大学教授	理学博士	青 木 貞 雄
副 査	筑波大学教授	工学博士	浅 川 潔
副 査	筑波大学助教授	工学博士	伊 藤 雅 英
副 査	独立行政法人産業技術総合研究所 主任研究員	博士(工学)	福 田 隆 史

## 論 文 の 内 容 の 要 旨

アゾベンゼンポリマー薄膜上に、青緑色レーザー光の二光束干渉縞を照射すると、照射光強度や偏光パターンに応じた表面凹凸構造(表面レリーフグレーティング)が形成されることが知られている。さらにその表面レリーフは、近接場光照射によっても形成可能であることが報告されている。このような表面レリーフは、ポリマーをガラス転移温度以上に加熱するか、一様な光照射によって、消去することが可能であり、消去後の膜上に再びパターン書き込むこともできる。従って、この現象は、書き換え可能なホログラフィック記録、能動光学素子、微細加工技術などへの応用が期待されている。また、アゾベンゼン膜上に形成された表面レリーフは、加熱しながらコロナ帯電することによって、レリーフ深さを増大することもでき、電気的に変調することも可能である。さらに、最近では、光照射によって、アゾベンゼンポリマー膜を折り曲げるという実験も行なわれており、モーターを必要としない光駆動のナノマシーンへの応用なども期待されている。

本研究では、電磁場解析と流れ解析を同時に行なうことができる粒子法の開発を行ない、それを用いて、アゾベンゼンポリマー膜上に光照射することによって表面レリーフが形成される現象の数値解析を行った。

プッシュプル型のアゾベンゼンは、光を吸収すると安定なトランス体からシス体に異性化し、すぐにトランス体に戻り、これが繰り返し起こることが知られている。トランス体とシス体の有効体積は異なるため、このトランス・シスの光異性化サイクルによって、アゾベンゼンを含む物質は流動性をもつことが考えられる。そこで、物質を柔軟な連続体とみなして解析を行なった。連続体の運動を、流れの速度ベクトル、物質の密度、応力テンソル、外力ベクトルに対するコーシーの運動方程式によって記述した。アゾベンゼンポリマーは、十分に強い光照射下では、非圧縮性の粘性流体のように振る舞うことから応力テンソルの表式を決定した。粘性率は、照射光強度に依存して変化すると考えられるので、定数ではなく、位置の関数とした。コーシーの運動方程式の外力ベクトルの項に物質移動の駆動力をいれることによって、運動の時間発展を解析した。

光電磁場から受ける力を計算するために、マクスウェル方程式を使って光電磁場解析を行ない、光速より

もずっと遅い物質の流れを扱うので、時間に依存しない定常状態を対象とした。アゾベンゼンポリマーは、光照射によって可塑性するので、その粘性率は、光強度に依存し、強度が強いほど粘性率が小さくなると考え、この点を考慮して粘性率と光強度の関係を仮定した。アゾベンゼンポリマーにおける光誘起物質移動の駆動力の起源については、さまざまなモデルが提案されているが、ここでは、光電場によって物質中に誘起される電気双極子が光電磁場から受ける力を考慮した。

流れの数値解析法として、本研究では、非圧縮性流れの解析で使われる Moving-Particle Semi-implicit (MPS) 法の手法を取り入れ、光誘起物質移動解析に適応できるような粒子法の開発をした。粒子法は、空間を微小な粒子で離散化する方法である。この粒子は移動することができ、ラグランジュ記法で表現された式を直接解くのに適している。しかし、この方法では、通常の微分演算法を用いることができず、微分演算は、ある粒子とそのまわりの粒子との相互作用で表現する。ある粒子は、すべての粒子と相互作用すると考えられるが、距離が遠くなるほどその影響は小さくなるので、適当な重み関数を導入することによって、相互作用する粒子を近傍粒子に制限することとした。

提案したモデルを用いて数値解析することにより、従来は解析的には説明することができなかった、SRG 形成速度の偏光依存性や一様照射による SRG 消去を説明することに成功し、実験結果とも極めて良い一致を得た。アゾベンゼンポリマーに書き込まれた表面レリーフは、加熱しながらコロナ帯電させると、表面レリーフ深さを増大させることが観測されているが、この現象についても数値モデルによって解析し、比較的低電圧で表面形状の制御が可能であることを示した。また、実験で観察される一次元ガウスビーム照射によって形成された表面レリーフの形状についても、数値実験で再現することができた。物質移動の駆動力として、物質中に誘起された電気双極子が光電磁場から受ける力が支配的であると考えて数値解析を行ったが、静電場から受ける力によっても物質移動が起こることも確認された。

## 審査の結果の要旨

本研究では、光照射によってアゾベンゼンポリマー上に形成される表面レリーフ構造の形成機構に関し、照射光の電磁場解析と材料の移動解析を同時に行うことができる詳細な数値モデルを構築し、数値解析により、表面レリーフ形成速度の偏光依存性、一様照射によるレリーフ構造の消去現象の定量的な説明に成功した。また、形成された表面レリーフ構造の深さをコロナ帯電によって増大させる現象の解析や近接場光による表面形状の加工法についても定量的な解析ができることを示した。このように、本論文では、数値的手法により電磁場と物質移動の競合現象の解析法を開発し、材料物質の移動による加工現象の定量的な解析に成功し、光メモリーや光デバイスなどに応用が期待されている微小光学素子の加工プロセスに重要な知見を与えた点が高く評価される。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。