

氏 名	こん とう ゆう き 近 藤 裕 己
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2277 号
学位授与の日付	平 成 15 年 3 月 24 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 分 子 工 学 専 攻
学位論文題目	Studies on nonlinear optical properties of oxide glasses by using short-pulse lasers (短パルスレーザーを用いた酸化物ガラスの非線形光学特性に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 横 尾 俊 信 教 授 川 崎 昌 博 教 授 平 尾 一 之

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、短パルスレーザーを用いて、① CuCl 微粒子分散ガラスの非線形光学特性をさらに向上させるための新規な提案及び実験的証明、②非線形光学特性の低い材料に対し、尖頭値の極めて大きなフェムト秒パルスレーザー光の照射により誘発した新規な現象の発見、そのメカニズムの解明、ならびに応用に関する研究についてまとめたものであり、2章からなっている。

第1章では、過去の非線形光学材料の抱える課題を整理し、その結果に基づき CuCl 微粒子分散ガラスの3次非線形光学特性を向上させるための方法について提案している。第1節では、CuCl 微粒子を高濃度を含むガラスを作製し、その非線形光学特性を調べている。CuCl 励起子の共鳴波長において、従来に比べ3桁も大きな 10^{-3}esu の非線形感受率 $\chi^{(3)}$ を示すことを報告している。第2節では、半導体微粒子分散ガラスの抱える課題(吸収波長では $\chi^{(3)}$ は高いが吸収係数 α も高い、吸収波長から外れると $\chi^{(3)}$ も α も小さくなるというトレードオフ)を解消すべく非縮退4光波混合を提唱し、その手法を用いて非線形光学特性を調べている。非縮退4光波混合により吸収波長から外れても比較的高い $\chi^{(3)}$ を維持することができ、従来の縮退4光波混合に比べ性能指数である $|\chi^{(3)}|/\alpha$ を1桁以上高くできることを報告している。第3節では、CuCl 微粒子分散ガラスに紫外線を照射した場合の非線形光学特性の変化について調べている。紫外線照射することにより、応答時間 τ を短くでき、総合的性能指数である $\chi^{(3)}/(\alpha\cdot\tau)$ の低下を生じさせないことを報告している。ガラスマトリクスと CuCl 微粒子の界面に生成した欠陥によってこのメカニズムを考察した。

第2章では、フェムト秒レーザーをガラスに照射することにより多光子反応を誘起できることに着目し、紫外線に反応する感光性ガラスに可視光のフェムト秒レーザーを照射し、紫外線照射時と同様に Ag^+ イオンの還元反応が起こるかについて調べている。第1節では、フェムト秒レーザーを照射することにより Ag^+ イオンの還元を引き起こすことができ、これに基づく3次元結晶配列構造について報告している。可視光レーザーを用いても紫外線照射時と同様の Ag^+ イオンの還元反応が起こること及びガラス中に結晶構造を3次元的に配列できることを報告した例はこれ以前になく、世界で初めての報告である。また、光還元反応は、光強度の非常に高い($10^{12}\text{W}/\text{cm}^2$)レーザー光の集光照射により生じるフィラメンテーションと関連があることを報告している。第2節では、この多光子反応で生じている Ag^+ イオンの光還元反応の照射波長依存性について調べている。フェムト秒レーザーの照射波長を変化させることにより多光子反応のメカニズムを考察している。光還元反応は照射パワーに閾値を有しており、閾値に波長依存性があることを線形屈折率及び非線形屈折率を考慮することによりアバランシェイオン化が主原因であると説明している。第3節では、前節までに見出した多光子反応を利用して化学エッチングと組み合わせることによりガラスを3次元的に穴あけ加工することに応用できないか検討したものである。紫外線照射により、マトリクスガラスに比べ化学的耐久性の劣る結晶を析出させる感光性ガラスを用いている。このガラスに可視光のフェムト秒レーザーを照射し、直線状の穴とY分岐の穴を作製し、それらをガラス内部で3次元的に配列できることを示している。この技術は、微小光学やマイクロエレクトロニクスなどの分野に応用できるのではないかと提案

を行っている。

以上のように本研究では、短パルスレーザーを用いて、①CuCl 微粒子分散ガラスの特性をさらに向上させるための新規な提案及び実施、②非線形光学特性の低い材料に対し光強度の高い光を入射することにより、新規な現象を誘発し、そのメカニズムに関する考察を行っている。非線形光学材料の課題を解決すべく提案された各手法は、光機能性ガラスの実用化を大きく前進させるものであり、またフェムト秒レーザーを利用したガラスの微細加工は新たな技術分野を切り拓くことが期待される技術である。

論文審査の結果の要旨

本論文は、短パルスレーザーを用いて、①CuCl 微粒子分散ガラスの非線形光学特性をさらに向上させるための新規な提案及び実験的証明、②非線形光学特性の低い材料に対し、尖頭値の極めて大きなフェムト秒パルスレーザー光の照射により誘発した新規な現象の発見、そのメカニズムの解明、ならびに応用に関する研究についてまとめたものであり、得られた主な成果は以下の通りである。

1. 過去に非線形光学材料の抱える課題を整理し、その結果に基づき非線形性の性能指数を大幅に改善するための新規な3種類の提案を行った。
2. 非線形感受率 $\chi^{(3)}$ をさらに向上させるために、スパッタ法により高濃度にCuCl 微粒子をガラス中に分散させ、その物性及び構造を調べた。従来に比べて $\chi^{(3)}$ を3桁も向上させることができた。
3. 吸収波長領域外での $\chi^{(3)}$ を向上させるために、新規に非縮退4光波混合を考案した。従来の縮退4光波混合では吸収波長から外れるに従い、非線形光学特性が急激に減少するのに対し、非縮退4光波混合では特性の減少を抑制することができ、従来に比べて1桁以上高い $\chi^{(3)}$ を得た。
4. CuCl 微粒子分散ガラスの非線形応答時間を短くするために、紫外線照射の検討を行った。CuCl 微粒子の吸収波長の光を照射して界面に欠陥準位を形成させることにより、従来の1/10まで応答時間を短くすることができた。
5. 紫外線にしか反応しない Ag^+ 含有感光性ガラスを用いて、可視光のフェムト秒パルスレーザー光を照射することにより、紫外線照射と同様の反応である $\text{Ag}^+ + e^- \rightarrow \text{Ag}^0$ を起こすことに成功した。また、そのメカニズムの解明を行い、アバランシェイオン化であることを提唱した。

以上、要するに本論文は、短パルスレーザーを用いた酸化物ガラスの非線形光学特性について、新規な現象を誘発し、そのメカニズムに関する貴重な知見を提供したもので、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14年10月22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。