

氏 名	さか くら まさ あき 坂 倉 政 明
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2847 号
学位授与の日付	平 成 16 年 11 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	理 学 研 究 科 化 学 専 攻
学位論文題目	Studies on Dynamics of a Femtosecond Pulsed Laser Induced Bulk Modification in a Glass by a Transient Lens Method (過渡レンズ法によるフェムト秒レーザー誘起ガラス内部改質のダイナミク スの研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 寺 嶋 正 秀 教 授 梶 本 興 亜 教 授 花 田 禎 一

論 文 内 容 の 要 旨

フェムト秒レーザーをガラスなどの透明媒質内部に集光照射して構造変化を引き起こす現象は、近年、ガラスなどに三次元の構造を書き込む精密加工技術として注目されており、三次元光メモリー、光導波路、フォトニック結晶の加工などの応用研究が盛んにされている。レーザー集光部分に生じる構造は、密度が高い構造であることが知られているが、熱膨張から予想される構造と相反するものであり、その初期過程やメカニズムはいまだに明らかになっていない。本論文では、過渡レンズ法を用いて、レーザー集光領域での屈折率分布の時間変化を観測した。

まず、観測に用いた過渡レンズ法を発展させて、新しい測定法と解析方法を提案した。従来の過渡レンズ法では、レーザー照射によって生じた屈折率分布にプローブ光を入射し、プローブ光の広がりやピンホールの透過光強度として検出することで屈折率変化の情報を得る。しかし、このような方法では、「屈折率分布の形が既知である」または「屈折率分布の形が測定中に変化しない」といった制約が必要であった。そういった制約を取り払うために、プローブ光の強度分布を CCD カメラで観測する装置を開発し、その光強度分布から屈折率分布を計算する解析方法を提案した。解析方法は、円対称の強度分布から動径分布を計算し、動径分布を回折光学に基づいて導いた式で fitting するという方法で、fitting のアルゴリズムは非線形最小二乗法に基づいて構築した。この新しい解析法により、衝撃波の発生によって複雑な屈折率分布になるフェムト秒レーザー誘起構造変化にも過渡レンズ法を適用することが可能になった。

次に、過渡レンズ法をガラス内部のフェムト秒レーザー誘起構造変化のダイナミクス検出に適用した。観測された過渡レンズ信号は、1GHz の強度の振動を示した。この信号の時間変化の由来を明らかにするために、まず、レーザー照射領域で起こる現象の予測を行った。この予測では、レーザー照射によって微小領域が急激に温度上昇して構造変化が起こると仮定し、温度上昇による熱歪みの緩和過程を弾性力学に基づいて行った。この計算により、熱歪み緩和で孤立した圧力波が発生して伝播していくという現象が予測された。この構造変化の予測に基づいて過渡レンズ信号をシミュレーションした結果、観測された過渡レンズ信号の強度の振動が、予測された圧力波の伝播に由来することが明らかになった。

さらに、フェムト秒レーザー照射領域の屈折率分布変化を詳しく得るために、新しく開発した過渡レンズ法を適用した。その結果、(i)レーザー照射領域の温度と圧力が1ピコ秒以内に上昇していること、(ii)急激な温度上昇によって生じた熱歪み緩和の結果生じた圧力波の発生により、レーザー照射領域の中央の密度が過渡的に上昇することが明らかになった。ここで見出された現象は、フェムト秒レーザー照射に特有の現象であるので、最終的に生じる高密度構造を形成する要因となっている可能性がある。

本論文での研究は、これまでレーザーアブレーションとのアナロジーから推測するだけにとどまっていたフェムト秒レーザー集光照射部分のガラスの構造変化の初期過程を初めて明らかにし、圧力波が発生するような短い時間でのレーザー照射が最終的な構造変化を引き起こすのに重要であることを示した。

論文審査の結果の要旨

本論文では、近年急速に注目を集めている透明固体内部の三次元微細光加工の過程を解明する事を目的に、レーザーによって誘起される屈折率変化の時間変化を観測できる過渡レンズ法を用いて、ガラス内部のフェムト秒レーザー集光領域の構造変化の初期過程を観測している。

本論文における成果は主に二つであり、(i)任意の屈折率分布を観測する過渡レンズ法の測定法と解析法の開発と(ii)過渡レンズ法を用いたフェムト秒レーザー誘起ガラス内部改質の初期過程の観測である。

(i) 従来の過渡レンズ法は、主に光励起によって生じる熱エネルギーを測定する熱レンズ法として広く用いられているが、観測光のスポットサイズの変化のみを検出するという簡単な測定原理のため、いくつかの原理的な制約があり、測定対象が限られていた。申請者は、従来法での制約を取り払うために、観測光の光強度分布を画像として観測し、位相回復などの計算法により画像データを解析することで、任意の円対称屈折率分布の時間変化を得る手法を開発した。この新しい解析手法は、過渡レンズ法の応用範囲を格段に広げるものであると期待できる。

(ii) ガラス内部のフェムト秒レーザーを集光した領域で起こる屈折率の分布変化を、過渡レンズ法によりピコ秒の時間分解で観測した。申請者は、観測結果を説明するために、弾性力学に基づいた構造変化の予測を行い、観測光の強度分布変化がレーザー照射領域での急激な温度上昇に伴う熱歪み緩和と圧力波の発生によって説明できることが明らかにした。また、圧力波の発生を基にして、観測光の光強度分布の解析を行い、レーザー照射領域の屈折率分布の時間変化を初めて明らかにした。

この観測結果から、サブマイクロメートルの領域にレーザーを集光した時の圧力波の発生が、フェムト秒レーザーを用いた場合に特有の現象であることを示し、圧力波の効果がフェムト秒レーザーを用いた微細加工において重要な要素であることを示唆した。

本論文の視点は、これまでほとんど応用研究しかされていなかった固体内部での微細光加工を物理化学過程として捉えようとする点で、非常に独自性があり、また、論文中で申請者が提案した観測手法の新規性やその観測手法を用いて見出した現象の重要性は、微細加工のメカニズムの理解に大きな発展をもたらすものである。従って、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、論文内容とそれに関連した研究分野について試問を行った結果、合格と認めた。