

氏 名	しも 下 間 やす 靖 ひこ 彦
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3871 号
学位授与の日付	平 成 17 年 7 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Nano-modification of Transparent Materials Using Ultrafast Pulse Laser (超短パルスレーザーを用いた透明材料のナノ改質)
論文調査委員	(主 査) 教 授 平 尾 一 之 教 授 横 尾 俊 信 教 授 田 中 勝 久

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、超短パルスレーザー光を用いて透明材料内部にナノメートルスケールの構造を形成する研究を行うとともに、超短パルスレーザー光と透明物質との相互作用を明らかにしている。また超短パルスレーザー光のシングルビームを透明物質内部に集光照射し、その集光部に発生するプラズマとレーザー光自身の相互作用により、自己組織的にナノ周期構造が形成されることを実証しており、光の回折限界を超えた新しい物理現象について発見した極めて興味深い研究をまとめたものである。本論文は、以下の6章から成っている。

第1章は序論であり、第2章では、レーザー光と物質との非線形相互作用について非線形光学に基づき、理論的に展開した内容について述べている。さらに第3章では、レーザー照射により発生する電子プラズマと物質および照射するレーザー光との相互作用についてプラズマ物理学に基づき、理論的に展開した内容について述べている。

第4章では、超短パルスレーザー光をガラス材料内部に集光照射し、誘起される構造変化を議論している。特にガラス材料にドーブした活性イオンの価数制御、Au および Ag ナノ粒子の形成に関して明らかにしている。 Mn^{2+} 及び Fe^{3+} イオンをドーブしたソーダライムガラス内部に超短パルスレーザー光を集光照射し、結果として $\text{Mn}^{2+} \rightarrow \text{Mn}^{3+}$ の価数変化（酸化）によって、空間選択的に着色する現象について明らかにしている。さらに Eu^{3+} イオンをドーブしたフッ化物ガラスに超短パルスレーザー光を集光照射し、結果として $\text{Eu}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{2+}$ の価数変化（還元）によって、空間選択的に発光波長が変化する現象について明らかにしている。さらに Au^{3+} イオンをドーブしたソーダライムガラスに超短パルスレーザー光を集光照射し、その後の熱処理によって、Au のナノ粒子が照射部のみに空間選択的に析出する現象についても調べている。析出する Au のナノ粒子は、レーザー光の照射条件、熱処理温度によって制御可能であることを実証している。

第5章では、超短パルスレーザー光により誘起される構造変化のモルフオロジーについて議論している。 Ag^+ イオンをドーブしたソーダライムガラス内部に高繰返し周波数の超短パルスレーザー光を集光照射すると、熱処理を行わなくても Ag のナノ粒子が析出することを明らかにし、超短パルスレーザー光が材料内部を伝搬するときのパルス繰返し間隔時間と材料の熱物性との関係を明らかにしている。またテルライトガラス内部に高繰返し周波数の超短パルスレーザー光を集光照射すると、同心円状に屈折率が異なる領域が形成することを実証し、そのメカニズムがレーザー光照射により発生する熱の拡散に由来することを明らかにしている。さらにテルライトガラスの場合、レーザー光の伝搬方向に誘起される構造の大きさは、超短パルスレーザー光の集光位置（試料表面からの深さ）に依存することを実証し、テルライトガラスの非線形光学感受率等の光学物性に基づき、誘起構造のサイズ変化について明らかにしている。

第6章では、超短パルスレーザー光をガラス内部に集光照射すると、照射レーザー光の偏光方向に依存した異方性の強い光の散乱及び反射現象について明らかにしている。さらに超短パルスレーザー光のシングルビームを石英ガラスや TeO_2 単結晶内部に集光照射すると、自己組織的にナノメートルサイズの酸素欠陥や空隙からなる周期構造が形成する現象について明らかにしている。また本メカニズムについて、集光部に発生する電子プラズマ波（プラズモン）と照射レーザー光（フォトン）が干渉するという新しい観点から解釈が可能であることを示している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、超短パルスレーザー光を用いて透明材料内部にナノメートルスケールの構造を形成するとともに、超短パルスレーザー光と透明物質との相互作用を明らかにし、新しい理論を構築している。また、超短パルスレーザー光のシングルビームを透明物質内部に集光照射し、その集光部に発生するプラズマとレーザー光自身の相互作用により、自己組織的にナノ周期構造が形成されることを実証しており、光の回折限界を超えた新しい物理現象を発見した極めて興味深い研究となっている。得られた主な成果は以下のとおりである。

1. Mn^{2+} 、及び Fe^{3+} イオンをドープしたソーダライムガラス内部に超短パルスレーザー光を集光照射し、 $\text{Mn}^{2+} \rightarrow \text{Mn}^{3+}$ の価数変化による空間選択的な着色現象について明らかにしている。
2. Au^{3+} イオンをドープしたソーダライムガラスに超短パルスレーザー光を集光照射し、その後の熱処理によって、Au のナノ粒子が照射部のみに空間選択的に析出する現象を明らかにするとともに、析出 Au ナノ粒子は、レーザー光の照射条件や熱処理温度によって制御可能であることを実証している。
3. Ag^+ イオンをドープしたソーダライムガラス内部に高繰返し周波数の超短パルスレーザー光を集光照射すると、熱処理を行わなくても Ag のナノ粒子が析出することを明らかにしている。さらに、超短パルスレーザー光が材料内部を伝搬するときのパルス繰返し間隔時間と材料の熱物性との関係を明らかにしている。
4. 超短パルスレーザー光のシングルビームを石英ガラスや TeO_2 単結晶内部に集光照射し、自己組織的に酸素欠陥や空隙からなるナノ周期構造が形成する現象について明らかにしている。また、その形成メカニズムとして集光部に発生する電子プラズマ波（プラズモン）とレーザー光（フォトン）が干渉するという新しい理論を構築している。

以上要するに、本論文は、超短パルスレーザー光を用いて透明材料内部にナノメートルスケールの構造を形成する研究を行うとともに、超短パルスレーザー光と透明物質との相互作用を理論的に明らかにしている。また、超短パルスレーザー光のシングルビームにより発生するプラズマとレーザー光自身の相互作用により、自己組織的にナノ周期構造が形成されることを実証している。また、これらの研究成果は光機能性材料の応用研究として重要な知見を数多く提供しており、学術上、実際に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17年6月21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。