The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Microfabrication of Three-dimensional Optical Devices inside Silica Glass by Femtosecond Laser Pulses
Author(s)	山田, 和宏
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44945
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【8】

氏　　名	山　田　和　宏（やま　だ　かず　ひろ）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　18659　号
学位授与年月日	平成16年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科物質・生命工学専攻
学　位　論　文　名	Microfabrication of Three-dimensional Optical Devices inside Silica Glass by Femtosecond Laser Pulses （フェムト秒レーザーパルスによるシリカガラス内部での3次元微小光学素子の作製）
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　伊東　一良 （副査） 教　授　金谷　茂則　教　授　福住　俊一　教　授　宮田　幹二 教　授　柳田　祥三　教　授　横山　正明　教　授　高井　義造 教　授　青野　正和　教　授　菅原　康弘

論　文　内　容　の　要　旨

本論文では、フェムト秒レーザーパルスを用いてシリカガラス内部の3次元空間内へ集積可能な微小光学素子の作製方法について研究を行っている。シリカガラス内部において発生するフェムト秒レーザーパルスの自己束縛フィラメント現象に着目し、低散乱性の永続的屈折率変化を安定的に誘起する方法について実験的に検討している。さらに、フィラメントをシリカガラス内部において走査することにより、3次元形状をもつ数百マイクロメートル程度の大きさの微小光学素子を作製可能であることを実証している。

第一章では、本論文における研究の背景および歴史について述べている。

第二章では、フェムト秒レーザパルスとシリカガラスの間に生じる線形および非線形な相互作用について概説している。まず、線形な相互作用である波長分散について述べ、フェムト秒レーザーパルスの高いピーク強度により引き起こされる第3次の非線形光学効果について概説している。次に、シリカガラス内部において構造変化を生じさせる要因となる非線形イオン化、および構造変化のメカニズムについて概説している。

第三章では、フェムト秒レーザーパルスの自己束縛フィラメントによる低散乱性屈折率変化の誘起方法を見出し、その形成条件の検討を行っている。シリカガラスにおいて、フェムト秒レーザーパルスの自己束縛フィラメントの長さは、集光レンズの開口数、入射エネルギー、露光時間、パルス幅に依存し、8～500 μm であり、直径は集光条件に依存せず、1.7 μm である。フィラメントの照射により、最大 0.8×10^{-2} の屈折率変化が得られている。フィラメントを光軸方向へ走査することにより、光導波路を形成し、波長 632.8 nm の光が伝播することを実証している。

第四章では、シリカガラス内部に誘起される構造変化のパルス幅依存性について検討している。約 190 fs 以下の時間幅をもつパルスにより、単一のフィラメントが形成し、低散乱性の屈折率変化が誘起されることを明らかにしている。

第五章では、屈折率変化領域の異方性について検討している。直線偏光のフェムト秒レーザーパルスにより誘起される屈折率変化領域の光軸方向の断面形状は、楕円形であることを実証している。また、屈折率変化領域の屈折率楕

円体は、フェムト秒レーザーパルスの伝播方向に光学軸をもつ１軸性の負結晶型であることを示している。

第六章では、フィラメントを２次元的に走査し、シリカガラス内部への体積型回折格子の作製実験を行い、その特性について解析している。大きさ 300μm×300μm、厚さ 150μm、周期 3μm の回折格子を作製し、波長 632.8 nm の光を入射し、最大の回折効率 74.8%を得、ガラス内部への反射鏡の作製を実証している。

第七章では、フィラメントを３次元的に走査し、シリカガラス内部へ４値で近似した位相型回折レンズの作製実験を行い、その特性について検討している。直径 400μm、厚さ 180μm の位相型回折レンズを作製し、波長 632.8 nm の光を入射した時の効率 56.9%、分解能 9.9μm を実現している。

第八章では、本研究により得られた成果をまとめ、総括している。

論文審査の結果の要旨

高度情報化社会の発展により、急激に増加する情報を処理する技術が求められおり、広帯域性、高速性を備えた光技術に期待が集まっている。全光型の情報処理システムの実用化において、困難な点として光学システムの大きさがあげられ、光学素子の微小化および光学素子の３次元集積技術が必要不可欠である。本論文では、フェムト秒レーザーパルスを用いてシリカガラス内部の３次元空間内へ集積可能な微小光学素子の作製方法について研究を行っている。フェムト秒レーザーパルスをシリカガラス内部へ集光することにより自己束縛フィラメントが形成されることに着目し、フィラメントを用いた屈折率変化の誘起方法を提案している。自己束縛フィラメントは、パルスの自己集束効果と集光領域におけるプラズマ生成による発散効果を主とする非線形光学過程が釣り合うことにより形成される。フィラメント内部のプラズマは、一定の密度に保つことができ、散乱性の損傷を引き起こすことなく屈折率変化を誘起できることを見出している。シリカガラス内部でのフェムト秒レーザーパルスの自己束縛フィラメントの形成条件について検討し、誘起される屈折率変化の特性を明らかにしている。フィラメントをシリカガラス内部において走査することにより、光導波路および回折光学素子の作製実験を行い、光学的特性の評価を行っている。これらの結果は、シリカガラス内部の３次元空間内へ微小光学素子の作製の可能性を示しており、全光型光情報処理システムの実現に有用であることを示唆している。得られた結果を要約すると以下のとおりである。

(1) フェムト秒レーザーパルスをシリカガラス内部へ集光し、自己束縛フィラメントを形成することにより、低散乱性の屈折率変化を誘起できることを見出している。屈折率変化を測定し、最大 0.8×10^{-2} の屈折率変化を得ている。フィラメントを光軸方向へ走査することにより、光導波路を作製し、その機能を実証するとともに光学的特性について解析している。

(2) シリカガラス内部に誘起される構造変化は、フェムト秒レーザーパルスの時間幅に依存することを見出している。210 fs 以上の時間幅をもつパルスにより、散乱性の損傷が形成され、190 fs 以下の時間幅をもつパルスにより、光学素子の作製に適した低散乱性の屈折率変化が誘起されることを明らかにしている。

(3) 直線偏光のフェムト秒レーザーパルスにより誘起される屈折率変化領域の光軸方向の断面形状を観察し、屈折率変化領域の屈折率楕円体について明らかにし、フェムト秒レーザーパルスの伝播方向に長軸をもつ楕円形であること、ならびに、フェムト秒レーザーパルスの伝播方向に光学軸をもつ１軸性の角結晶型であることを示している。

(4) フィラメントを２次元走査することにより、シリカガラス内部に体積型回折格子を作製している。フィラメントの長さを調節することにより、回折格子の厚さを大きくし、シリカガラス内部における回折格子として、最大 74.8%の回折効率を実現している。

(5) フィラメントを３次元走査することにより、シリカガラス内部に４値で近似した位相型回折レンズの作製し、効率は 56.9%を実現している。

以上のように、本論文では、フェムト秒レーザーパルスの自己束縛フィラメントを形成現象に着目し、低散乱性の屈折率変化を誘起することにより、シリカガラス内部の３次元空間内へ集積可能な微小光学素子の作製方法を確立している。今後、全光型情報処理システムをはじめとする光学システムを大幅に小型化する技術として期待できる。こ

れらの成果は、応用物理学、特にフォトニック情報工学の発展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。