

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：82502

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15200

研究課題名（和文）レーザー微細加工を用いた新しい寄生発振抑制手法の研究

研究課題名（英文）Study of a new parasitic oscillation suppression method by laser nano processing

研究代表者

宮坂 泰弘（Miyasaka, Yasuhiro）

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究所 光量子科学研究部・主任研究員

研究者番号：20761464

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：レーザー結晶の表面にレーザー微細加工を施すことで、結晶端面での透過率を高めてクラディングを用いずに寄生発振を抑制することができることを見だし、チタンサファイア結晶の加工特性に関する研究を行った。波長532nmのサブナノ秒レーザーと波長800nmのフェムト秒レーザーを集光照射した結果、フェムト秒レーザーを照射した場合にはレーザー波長と同程度の周期間隔を持つ溝状構造が照射痕内部に形成されることなどが明らかになった。いずれのレーザーにおいても照射パルス数による加工深さの変化が大きいこと、加工閾値がレーザーによって大きく異なることなど、チタンサファイア結晶のレーザー加工特性を初めて明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

チタンサファイアレーザーは高エネルギーのフェムト秒パルスと比較的作りやすいことから、学術研究から工業、医療などの応用研究にまで幅広く用いられている。効率的なレーザー増幅を阻害する寄生発振を抑制するために現在は液体クラディングが用いられているが、レーザー微細加工で実現することができれば、極低温での大型レーザー増幅器を実現することが可能となる。高繰り返し動作の高強度レーザーが実現することで、応用研究や学術研究の効率化が一層促進され、応用技術の実用化に貢献することが期待される。

研究成果の概要（英文）：I focused on the laser processing on the surface of laser crystals to suppress parasitic oscillation by increasing the transmittance at the crystal edge surface without cladding material. Nanosecond laser pulses with a wavelength of 532 nm and femtosecond laser pulses with a wavelength of 800 nm were irradiated on Ti:sapphire crystal to investigate laser processing characterization. Laser induced periodic surface structures were formed in the irradiated area by irradiating the femtosecond laser pulses. The pitch of the groove was almost the same as the laser wavelength. The depth of processing is highly dependent on the number of irradiated pulses for both lasers, and the processing threshold is very different for each laser. The laser processing properties of Ti:sapphire crystals were investigated for the first time.

研究分野：量子ビーム科学

キーワード：レーザー微細加工 レーザー開発 寄生発振抑制

1. 研究開始当初の背景

レーザー技術の発達にともない、世界各地で大型の超高強度レーザーが建設され、レーザー出力の高エネルギー化が進む一方で、効率的な実験や応用利用の観点から、高繰り返し化の重要性が高まっている。レーザーを高繰り返しで動作させるためには、熱負荷による影響を抑制することが重要となる。レーザー媒質の発熱がビーム品質に与える悪影響を抑えつつ高エネルギー化と高繰り返し化を両立するには、大口径で薄くイオン濃度の高いレーザー媒質を用いることが有効である。しかし、大口径でイオン濃度の高いレーザー媒質を励起すると、径方向の利得が高くなるため、増幅率の低下やレーザー媒質損傷の原因となる寄生発振の抑制が重要な課題となる。寄生発振を抑制する手法として、屈折率が近い吸収材料をレーザー媒質の周囲に配置するクラディングが一般的に用いられる。超高強度レーザーに使用されているチタンサファイア結晶では液体の有機物や色素をクラディング材料に用いるが、有毒であり、万一液漏れすると復旧にコストや時間がかかるなど扱いが難しい。また、チタンサファイア結晶は極低温に冷却すると熱伝導率が数十倍以上になるため熱負荷に非常に強くなるが、液体クラディングは極低温では凝固してしまうため使用には制限がある。クラディングを必要としない新しい寄生発振抑制手法が求められている。

モスアイ構造に代表される波長以下のサイズの微細構造には反射防止機能があり、テレビパネルやカメラレンズの反射防止膜として活用されている。金属やガラスなどにレーザーを照射すると、波長以下の間隔の微細周期構造が形成されることが知られており、微細構造の周期やサイズはレーザーのフルエンスやパルス幅、照射回数、偏光、入射角度、ターゲットの温度など、多くのパラメータに依存する。一方で、チタンサファイア結晶に微細加工を目的としてレーザーを照射した報告はないのが現状であり、ダメージ閾値の測定に関する報告にとどまる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、クラディングを用いず寄生発振を抑制するために、レーザー微細加工を用いて反射率の低い微細構造をレーザー媒質表面に修飾する手法を確立することである。

3. 研究の方法

低反射率が得られる微細構造の例として、チタンサファイア結晶の表面に底面が1辺400nmで高さの異なる四角錐を周期的に配置し、結晶内部から外部に向けて波長800nmの光を伝搬させた場合の反射率を計算した結果、微細構造の形状を最適化することでクラディングを使用せずに0.1%~0.01%以下の極めて低い反射率を得られることが明らかになった。波長以下の周期間隔を持つ微細構造を形成する条件を明らかにするために、鏡面研磨を施した厚さ1mmのチタンサファイア結晶に、波長532nmのサブナノ秒レーザーと波長800nmのフェムト秒レーザーをそれぞれ、レンズを用いて集光照射した。偏光ビームスプリッターと半波長板で構成したエネルギー減衰器を用いてパルスエネルギーを調整することで照射フルエンスの制御を行った。チタンサファイア結晶は並進ステージに取り付けられ、一つの箇所複数パルスを照射して照射痕を形成した後は、ステージを動かすことで未照射面に移動してから次の照射を行った。レーザーの集光プロファイルはガウシアン形状で、照射痕の測定には共焦点レーザー顕微鏡を用いた。

4. 研究成果

フェムト秒レーザーとサブナノ秒レーザーを照射した際に形成された照射痕の中央部のアブレーション率(レーザー1照射あたりに掘れる深さ)のレーザーフルエンス依存性を図1に示す。532nmのレーザーはチタンサファイア結晶に吸収があるが、チタンサファイア結晶の濃度は0.05wt%と低いためパルス幅の影響が強く表れていると考えられる。同じレーザーフルエンスでアブレーション率が複数プロットされているのは、異なる照射回数で照射痕を形成した結果を示している。アブレーション率が0になっている点は、表面に照射痕が形成されなかったことを示している。いずれのパルス幅の照射結果においても、加工閾値は過去の文献で報告されているダメージ閾値やダメージ発生確率の結果と同じ傾向を示していた。サブナノ秒レーザーでは、加工閾値付近でも1照射あたりのアブレーション

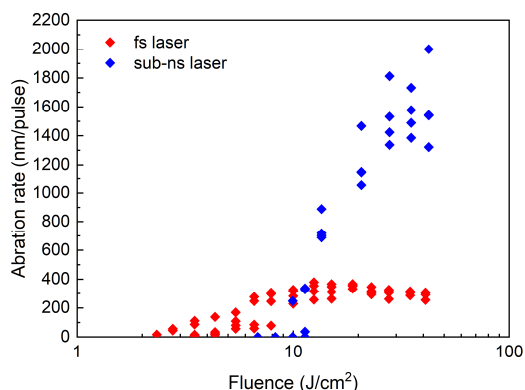


図1 チタンサファイア結晶にフェムト秒レーザーとサブナノ秒レーザーをそれぞれ照射したときのアブレーション率のフルエンス依存性

オン率が数百 nm と大きいことや、レーザーフルエンスの増加に対して急激にアブレーション率が大きくなることが明らかになった。一方で、フェムト秒レーザーの場合は 100 nm 以下のアブレーション率での加工が可能で、加工閾値の 4 倍程度のレーザーフルエンスで照射した場合は図 2 に示すような周期的溝状構造が形成されることが明らかになった。この溝はレーザーの偏光に対して垂直方向を向いており、溝の周期間隔はレーザー波長と同程度 (~ 800 nm) であった。金属などでよく形成される周期構造は波長以下の周期間隔を有するものが多いため、チタンサファイア結晶でも同様に波長以下の構造が形成されることを期待していたが、今回の実験条件では波長以下の周期間隔の周期構造を作ることはできなかった。また、照射痕全面に構造を形成することは難しく、照射痕内部の一部が掘れすぎて欠けているような構造となるか、欠けがなくきれいに掘れているが周期構造が形成されていないかであった。形成された照射痕それぞれに低出力のチタンサファイアレーザーを照射して透過率を測定した結果、未照射の面に比べて透過率の向上は認められなかった。本研究ではチタンサファイア結晶について、これまでダメージ閾値のみが調べられていたが、レーザー加工特性を初めて明らかにした。本研究成果を生かして、異なる照射条件を模索し、透過率向上のための微細構造形成条件を明らかにして寄生発振の抑制を目指したい。

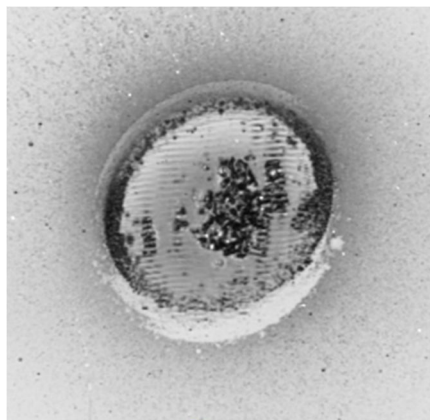


図 2 チタンサファイア結晶にフェムト秒レーザーを照射したときの照射痕。内部に波長と同程度の間隔の溝状周期構造が形成された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 宮坂泰弘、桐山博光
2. 発表標題 チタンサファイア結晶におけるレーザーアブレーション率のフルーエンス依存性
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------