

令和3年12月3日

報道機関 各位

国立大学法人 電気通信大学

波長 2 μm 帯固体レーザーから世界最短のパルス発生に成功

【ポイント】

- * 波長 2 μm 帯ツリウム添加固体レーザーから最短パルスを発生させた
- * 複合利得媒質を導入し、レーザーの利得帯域を人工的に制御可能に

【概要】

電気通信大学レーザー新世代研究センター、および脳・医工学研究センターの戸倉川正樹准教授らは、ドイツの結晶成長研究所（IKZ）などの研究チームと共同で、波長 2 μm 帯のツリウムを添加した超短パルス固体レーザー^[1]において、世界最短となる 41 フェムト秒（1 fs = 10⁻¹⁵ 秒）のパルス発生に成功しました。

レーザー共振器内で異なる種類の利得媒質^[2]を同時に使用する「複合利得媒質」という新手法を用いることで、レーザー発振に使う利得帯域を拡大させる人工的な制御が可能になりました。これにより、現在までに報告されている波長 2 μm 帯のツリウム添加固体レーザーの中で最短となる超短パルスを発生させることができました。

複合利得媒質を使うことによって、共振器内の非線形光学や既存のレーザー増幅器、単一のレーザー媒質の限界を超えた新しいレーザーの開発につながると期待されます。

成果はアメリカ光学学会発行の「Optics Express」に掲載されました。

【背景】

波長 2 μm 超のレーザー光は、現在主流の波長 0.8 ~ 1 μm 帯の近赤外レーザー光にはない特徴をもっています。例えば、人の目に害を与えにくいアイセーフな光であり、分子の「指紋領域」と呼ばれる各種分子が吸収線をもつ波長帯域への波長変換も可能です。これを利用すると分子の励起・検出などが可能になることから、ガス分析やイメージング、レーザー加工などへの応用が注目されてきました。

この波長帯域のレーザー光を発生する方法として、これまで 0.8 μm 帯のチタンサファイア（Ti³⁺:Al₂O₃）レーザー光や 1 μm 帯のイッテルビウム（Yb）レーザー光を非線形波長変換する手法が多く用いられてきました。一方で、複雑な非線形波長変換が不要なツリウム（Tm）レーザーやホルミウム（Ho）レーザー、エルビウム（Er）レーザー、クロム（Cr²⁺）遷移金属レーザーなどは、高効率かつ高出力な直接発生ができるため、近年、特にその超短パルス化の研究が盛んに行われています。

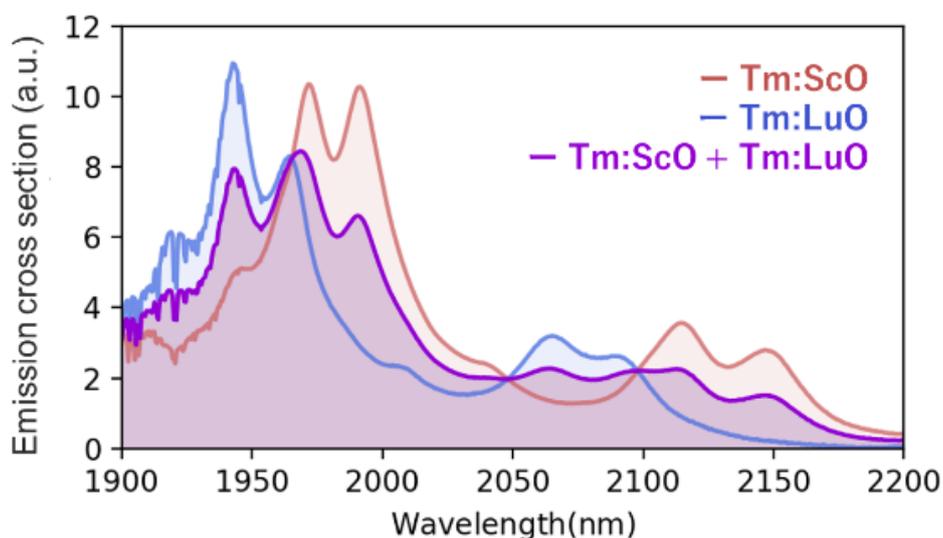
例えば、フェムト秒超短パルスレーザーは超高速現象の観測や超高光強度の照射が可能になるなど、パルス幅を短くすることによって新たな現象を観察できるようになります。そのため、より短いパルス光を発生できるレーザーの開発競争が世界中で繰り広げられているのです。

一般的に、超短パルスの幅は使用するレーザー結晶の利得帯域幅に依存するため、より短いパルスを得るためには、できるだけ広帯域の利得をもつレーザー結晶が必要になります。Tm 添加レー

ザーはレーザーダイオードによる直接励起が可能であり、とりわけ高効率かつ高出力なレーザー動作に向いていると言われますが、得られる超短パルス幅は従来、100フェムト秒以上に制限されてきました。近年では、(例えば $\text{Tm}:\text{Sc}_2\text{O}_3 + \text{Tm}:\text{Lu}_2\text{O}_3 = \text{Tm}:\text{ScLuO}_3$ など) 2種以上の物質を混ぜて一つの均一な結晶をつくる混晶によって広帯域の利得を得る新規のレーザー結晶が開発され、これによって100フェムト秒以下の超短パルスを発生させたという報告もありますが、混晶はレーザーの熱機械特性を悪化させてしまうというデメリットがありました。

【手法】

本研究では、複合利得媒質という複数の異種利得媒質を同一の共振器内で同時に使用し、それぞれの利得帯域を線形に加算することで、熱機械特性を悪化させずに単一の媒質を使う場合よりも広帯域な利得を得る手法を用いました。例えば、 $\text{Tm}:\text{Sc}_2\text{O}_3$ (酸化スカンジウム) と $\text{Tm}:\text{Lu}_2\text{O}_3$ (酸化ルテチウム) を同時に利用した複合利得媒質では、図1に示すように二つの利得帯域が加算され、単一の媒質を用いた場合に比べ、はるかに広帯域な利得を実現しています。その結果、100フェムト秒以下の超短パルスの発生を可能にしました。



Emission cross sections
Tm:ScOおよびTm:LuOを同時に利用することで
広帯域かつ平坦な利得帯域を得ている

図1 Tm添加複合利得媒質による利得帯域の広帯域化

【成果】

複合利得媒質を用い、単一の利得媒質の限界を超えた波長2μm帯の超短パルス固体レーザーにおいて、これまで報告されている中で最短となる41フェムト秒のパルス発生に成功しました。またこの際、共振器内での非線形ラマン散乱^[3]によるものと思われるスペクトル拡大も確認され、これをより精密に制御することができれば、パルスを複数に分割した30フェムト秒のサブパルスの発生も可能になることが分かりました。

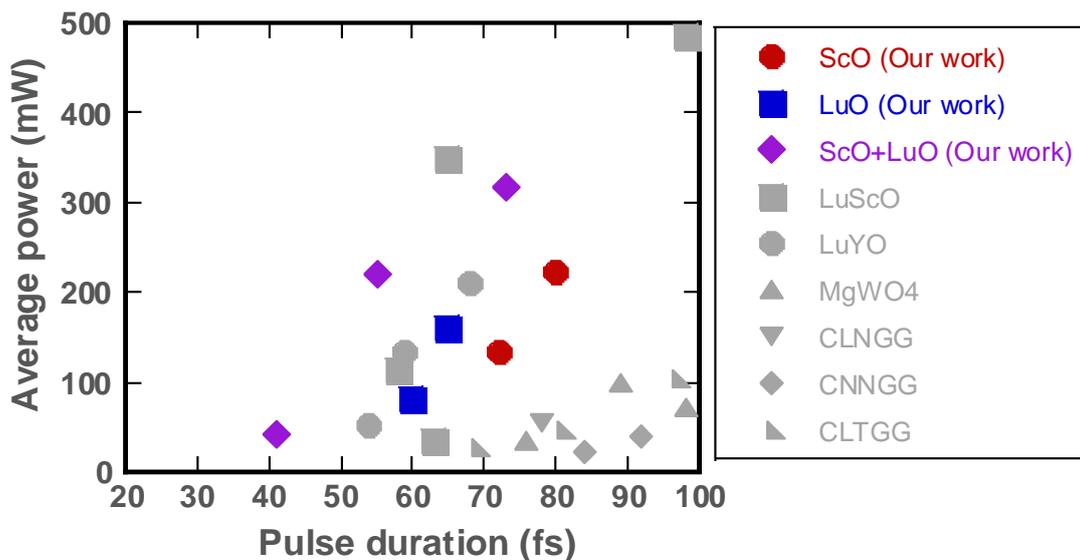


図2 これまでに報告されている波長2 μm 帯ツリウム添加固体レーザーのパルス幅と平均出力

【今後の期待】

複合利得媒質技術は、新規のレーザー結晶を用いることなく、レーザーの利得帯域の制御を可能にします。この技術を応用すれば、共振器内の非線形光学や既存のレーザー増幅器、単一レーザー媒質の限界を超えた新しいレーザーの開発につながると期待されます。

（論文情報）

雑誌名：「Optics Express」

論文タイトル：Sub-6 optical-cycle Kerr-lens mode-locked Tm:Lu₂O₃ and Tm:Sc₂O₃ combined gain media laser at 2.1 μm

著者：Anna Suzuki, Christian Kränkel, Masaki Tokurakawa

DOI 番号：10.1364/OE.428063

（用語説明）

[1]超短パルス固体レーザー：ピコ秒（1 ps=10⁻¹²秒）以下の非常に短い時間幅を持つパルスレーザー。カメラのフラッシュのように使うことによって、超高速現象の観測に用いられている。また時間的にエネルギーが圧縮されており、高い電界強度を得られることから、非線形光学現象の実現にも使用される

[2]利得媒質：レーザー光を増幅するために用いられ、固体レーザーでは母材となる固体媒質に希土類原子や遷移金属原子が添加された利得媒質が用いられる。母材に依存した各種原子固有の電子軌道間のエネルギー差に相当する光を増幅し、その利得形状、幅は各利得媒質固有となる

[3]非線形ラマン散乱：分子振動散乱に起因する非線形散乱過程の一種であり、入射した光の周波数を分子振動のエネルギー分シフトさせる。この周波数シフトによって波長変換などが可能になる

【連絡先】

<研究内容に関すること>

電気通信大学レーザー新世代研究センター、脳・医工学研究センター
准教授 戸倉川正樹

Tel : 042-443-5954 E-Mail : tokura@ils.uec.ac.jp

<報道に関すること>

電気通信大学 総務企画課 広報係

Tel : 042-443-5019 Fax : 042-443-5887

E-Mail : kouhou-k@office.uec.ac.jp