

Tm 添加 sesquioxide 媒質を用いたカーレンズモード同期レーザー

Kerr-lens mode-locked Tm-doped sesquioxide lasers

電気通信大学, レーザー新世代研究センター¹, Zentrum für Lasermaterialien, Leibniz-IKZ²

○鈴木 杏奈¹, Christian Kränkel², 戸倉川 正樹¹

University of Electro-Communications, Institute for Laser Science¹, Zentrum für Lasermaterialien, Leibniz-IKZ²

○Anna Suzuki¹, Christian Kränkel², Masaki Tokurakawa¹

E-mail: a_suzuki@ils.uec.ac.jp

波長 2 μm 帯モード同期レーザーは光コムや非線形波長変換による中赤外光発生、高次高調波発生などへの応用から近年需要を高めている。2 μm 帯で動作可能なレーザー媒質としては Tm や Ho、Cr などがあげられるが、中でも Tm は高出力な 800 nm 帯 LD 励起による、量子効率が 2 に迫るレーザー動作が可能で、高出力・高効率動作に特に優れる。さらに近年では広帯域な利得を示す Tm 添加媒質が次々と開発され、サブ 100 fs パルス発生が多数報告されるなど短パルス化にも大きな進歩が見られている。Tm:RE₂O₃ (RE=Lu, Y or Sc) は結晶場が強く基底準位のシュタルク分裂が大きいので、Tm 添加媒質の中で最も長波長の領域 (1.8-2.2 μm) に広帯域な利得を有する [1]。これにより 2000 nm 以下の領域に存在する水蒸気の吸収や再吸収の影響に妨げられず安定したレーザー動作が可能となる。また、高い熱伝導率や小さな熱光学定数など優れた熱機械特性を示し、高出力な超短パルスレーザーの利得媒質として優れた性質を示す。しかし Tm:RE₂O₃ は融点が高く、大型の高品質な結晶成長が困難である。よって近年では融点よりも低い焼結温度で作成が可能なセラミック材料がしばしば使用される。本研究では、Tm:Lu₂O₃ セラミック、Tm:Sc₂O₃ 単結晶を用いたカーレンズモード同期レーザーの開発を行った。さらに、これら両媒質を同時に使用しそれぞれの利得帯域を線形に結合させる複合利得媒質を用いたカーレンズモード同期レーザーを開発し、単一の媒質を用いたレーザーの限界を超える超短パルス発生に成功したので、これらの成果について報告を行う。

Table 1 に各利得媒質を用いて得られたモード同期パルスの出力特性を示す。Tm:Lu₂O₃ セラミックを用いた実験では、パルス幅 60 fs のモード同期パルスが繰り返し周波数 93.7 MHz、平均出力 81 mW において得られた。スペクトル幅は 74 nm、中心波長は 2100 nm であった。Tm:Sc₂O₃ 単結晶を用いた実験では Tm:Lu₂O₃ よりも長波長の中心波長 2108 nm においてスペクトル幅 67 nm、パルス幅 72 fs が平均出力 130 mW において得られた。さらにこれら両媒質からなる複合利得媒質を用いた実験では、両媒質の利得帯域を利用したスペクトルの広がりに加え、共振器内ラマン散乱によるスペクトル広帯域化を利用し [2]、1.90-2.35 μm に渡る広帯域なモード同期スペクトルを実現した。これにより Tm レーザーにおいて最短となる 41 fs のパルス幅が得られた。

Table 1. Output properties of Kerr-lens mode-locked Tm:RE₂O₃ lasers

Gain material	τ_p (fs)	λ_{center} (nm)	P_{out} (mW)	E_{pulse} (nJ)	P_{peak} (kW)
Tm:Lu ₂ O ₃ ceramic	60	2100	81	0.86	14.4
Tm:Sc ₂ O ₃ single crystal	72	2108	130	1.38	19.2
Combined gain media	41	2094	42	0.45	11.0

[1] C. Kränkel, "Rare-earth-doped sesquioxides for diode-pumped high-power lasers in the 1, 2, and 3 μm spectral range," IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. **21**, 1602013 (2015).

[2] S. Kimura, S. Tani, and Y. Kobayashi, "Raman-assisted broadband mode-locked laser," Sci. Rep. **9**, 3738 (2019).