

中赤外レーザー媒質利用のための Dy:CaF₂ セラミックスの光学特性評価

Mid-IR Laser-related Spectroscopy of Dy-doped CaF₂ Transparent Ceramics

核融合研¹, (株)ワールドラボ²

上原 日和¹, CHEN Hengjun¹, 池末 明生², 能登 裕之¹, 菱沼 良光¹, 室賀 健夫¹, 安原 亮¹

E-mail: uehara.hiyori@nifs.ac.jp

希土類金属イオンの直接発振を利用した中赤外レーザーは、非線形波長変換レーザーと比較して安定性が高く、高効率・高平均出力化が可能である。中でも、2 μm 帯の Tm³⁺・Ho³⁺系、波長 2.7~2.9 μm 並びに 3.5 μm で発振する Er³⁺系レーザーは研究が盛んに行われている。一方で、空白となっている波長 3~3.5 μm 及び 4 μm 帯については、それぞれ波長 2.8 μm と 1.7 μm で励起した Dy³⁺からこの波長域の発光が得られることが知られている。特に 3~5 μm 帯は大気吸収が比較的小さく、CO 基や CH 基の吸収線が存在するため、この波長のレーザーが実現すると、高分子材料の加工や微量ガスのセンシングなど多様な応用が期待できる。しかし、中赤外域特有の技術的難度や、励起用の高出力 2.8 μm 光源の希少性等が障壁となり、Dy³⁺系中赤外レーザーの研究はごく一部のグループで行われているに過ぎず、未だ高出力な発振は実証されていない。著者らのグループは、これまでに、2.8 μm 帯 Er:ZBLAN ファイバーレーザーの 35 W 出力下における安定動作を世界で初めて実証するとともに、2.8 μm 帯 Er:Lu₂O₃ セラミックスレーザーの世界最高出力を達成した実績を有している。これらレーザーは、Dy³⁺系レーザーの励起光源として最適であることから、今回、Dy³⁺系レーザー研究への着手に至った。

本研究では、熱間等方圧加圧 (HIP) を用いた固相反応法によって作製した Dy³⁺添加 CaF₂ 透明セラミックス (添加濃度 1, 2, 3 at.%) の各種光学特性を評価し、中赤外レーザー媒質としての応用可能性や今後の展望について考察を行った。図 1 に厚さ 3 mm の Dy:CaF₂ セラミックスの可視~中赤外波長域における透過スペクトルを示す。Dy³⁺に起因する複数の吸収ピークが観測され、その吸収係数は添加濃度にほぼ比例して増加することを確認した。濃度 3 at.% における吸収係数は、2.8 μm 帯で 2.4 cm⁻¹、1.7 μm 帯で 1.2 cm⁻¹ であり、厚さ 3 mm で 50% 以上の励起光吸収率を確保できることが示唆された。また、波長 2.2 μm 以上の中赤外域における散乱損失は 2% 未満と低く、中赤外レーザー媒質として有望である。最近、著者らが同様の手法で作製した Nd:CaF₂ セラミックスを用いて、同セラミックス材料では世界初となるレーザー発振を実証しており、その高い光学品質が裏付けられている。セラミックス材料は単結晶と比較して安価で容易に作製可能であり、高い機械強度や成形性などの利点も有するため、セラミックスを用いた中赤外固体レーザーは産業的に優位性が高い。続いて、3 μm 波長帯の発光スペクトルを測定した。図 2 上段は波長 450 nm の半導体レーザー、下段は 2800 nm の Er:ZBLAN ファイバーレーザーでの励起によって得られた発光スペクトルである。450 nm 励起によって 2700~3200 nm の広い波長範囲にわたって連続的な蛍光を呈し、2900 nm よりも短波長側には大気吸収による無数の吸収線が観測された。規格化したスペクトル上で、添加濃度の増加に従って長波長側の蛍光強度比が増加しているが、これは、短波長における再吸収の影響と推測される。蛍光寿命は 1, 2, 3 at.% でそれぞれ 340, 290, 210 μs であり、顕著な濃度消光現象が確認された。図 2 下段の Er:ZBLAN ファイバーレーザー励起においても、同様の蛍光スペクトルが観測され、2.8 μm 励起 3 μm 帯レーザーとしての応用可能性が示唆された。図 1, 2 に示すような広帯域な吸収・発光はホスト材料である CaF₂ に特長的な不均一広がりに起因している。本発表では、波長 1.7 μm での励起による 4 μm 帯発光特性についても報告する。

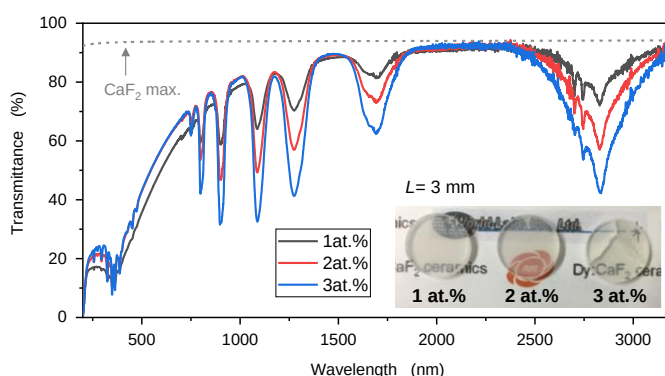


Fig. 1 Transmission spectra of 1, 2, and 3 at.% Dy-doped CaF₂ ceramics with length of 3 mm.

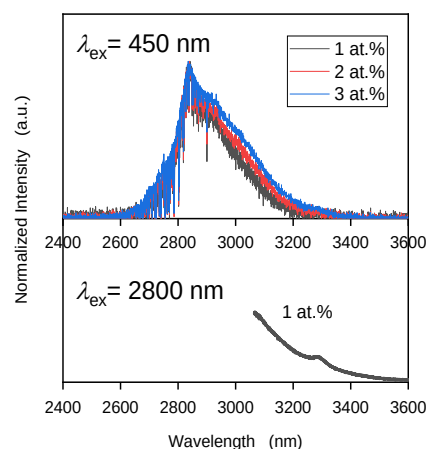


Fig. 2 Emission spectra of the Dy-doped CaF₂ ceramics under excitation with (upper) 450 nm laser diode, and (bottom) 2800 nm Er:ZBLAN fiber laser.