

広帯域中赤外レーザーの開発

Development of broadband mid-infrared lasers

京都大学 岡崎 大樹



中赤外光は、人の目には見えないが、多くの分子が固有の振動に対応して強く吸収するため、「分子の指紋」を読む手段となる。特に波長 $3\ \mu\text{m}$ 帯は、水や有機分子に含まれる O-H, N-H, C-H 結合の振動に関わり、環境中の微量ガス検出、医療・生命科学計測、燃焼・プラズマ診断に直結する領域である。さらに、中赤外フェムト秒レーザーは、広い波長幅、短い時間幅、鋭い指向性を同時に持つため、振動分光、超高速計測、材料加工、アト秒科学の基盤光源として重要である。一方、従来の中赤外パルス光源は近赤外レーザーと非線形波長変換に頼る場合が多く、装置の複雑さ、効率、長期安定性が課題である。

本研究の目的は、レーザーダイオード (LD) で直接励起できる高出力な波長 $3\ \mu\text{m}$ 帯ファイバーレーザーを実現することにある。ファイバーレーザーは、細い光ファイバー自体がレーザー媒質となるため、放熱性、ビーム品質、安定性に優れ、実用的な計測装置へ展開しやすい。レーザー材料には、 $3\ \mu\text{m}$ 帯に広い発光帯域をもつジスプロシウム (Dy) 添加フッ化物ガラスを用いた。申請者はこれまで、Cr:ZnS レーザーに単層カーボンナノチューブ素子を組み合わせ、中心波長 $2.3\ \mu\text{m}$, $36\ \text{fs}$, 4.7 サイクルのセルフスタート・モード同期レーザーを実証してきた。この中赤外超短パルス技術を、Dy ファイバーの利得評価と $3\ \mu\text{m}$ 帯光源開発へ接続する点も本研究の特色である。

まず、Dy 添加フッ化物材料の蛍光スペクトルと蛍光寿命を測定し、 $3\ \mu\text{m}$ 帯に広い発光帯域が存在することを確認した。Dy 濃度を $4\ \text{mol}\%$ まで高めても蛍光寿命の顕著な短縮は生じず、高濃度化で発光効率が落ちる濃度消光は大きな問題ではないと明らかにした。この結果は、短いファイバーで励起光を十分に吸収させる設計を可能にする重要な基礎である。次に、 $4\ \text{mol}\%$ Dy 添加ダブルクラッド・フッ化物ファイバーを作製し、波長 $1.28\ \mu\text{m}$ の LD 励起下でカットバック測定を行った。吸収係数は約 $0.73\ \text{m}^{-1}$ であり、必要なファイバー長と励起条件を定量的に決める指標を得た。さらに、ファイバー長 $1\text{--}3\ \text{m}$ の外部共振器型レーザーを構築して発振を試みた。明瞭なレーザー発振には至らなかったが、広帯域な中赤外蛍光を観測し、発振を妨げる要因が励起光の長手方向分布、ダブルクラッド形状、端面耐性にあることを特定した。今後は、別途開発した Cr:ZnS レーザー光源で Dy ファイバーの利得と損失を直接測定し、ファイバー構造、励起密度、端面保護を最適化する。本研究で得られた材料の光学特性は、分子振動分光に直接使える小型・高輝度な中赤外ファイバーレーザー実現の基盤である。

【キーワード】 中赤外, 超高速, レーザー

【参考文献】

- ・岡崎 大樹, 芦原 聡, “Cr:ZnS を用いた中赤外モード同期レーザーの開発”, レーザー研究 **49**, 390–395 (2021).
- ・時田 茂樹, 岡崎 大樹, 桐田 勇利, 安原 亮, “高出力中赤外レーザー技術の進展とその応用”, レーザー研究 **53**, 424–428 (2025).