

ZBLAN ファイバーを用いた Cr:ZnS レーザーパルスの周波数変換

Frequency conversion of mode-locked Cr:ZnS laser pulses with ZBLAN fibers

東大生研¹, 上海大学², [○](D)岡崎 大樹¹, He Yang², Zeng Xianglong², 芦原 聡¹

IIS, UTokyo¹, Shanghai University², Daiki Okazaki¹, Yang He², Xianglong Zeng², Satoshi Ashihara¹

E-mail: dokazaki@iis.u-tokyo.ac.jp

中赤外域 ($\lambda = 2 - 25 \mu\text{m}$) の超短パルス光源は光電場駆動現象や長波長光通信、難加工性樹脂の光加工に代表される多くの分野で高いポテンシャルを秘めており、その需要が急速に高まっている。特に、波長 $3 \mu\text{m}$ を超えた領域には様々な分子振動の基本共鳴が存在するため、古くから“分子の指紋領域”と称され、現在も先進的な分子振動分光法の開拓が盛んに進められている¹。

本研究ではこれまでに、Cr:ZnS をレーザー媒質に用いることで、中赤外域 (波長 $2.3 \mu\text{m}$) における時間幅 36 fs のモード同期発振や、平均出力 3.2 W (80 nJ) の増幅に成功している^{2,4}。Cr:ZnS レーザーは、非線形光学効果を用いた周波数下方変換を伴う従来型の中赤外超短パルス光源に比べて、高い電力-光変換効率・優れたビーム品質・高い繰返し周波数を有するため、“中赤外域のチタンサファイア”と称され、中赤外超高速光科学の新たなプラットフォームとして有望視される。一方で、 $\mu\text{J} \sim \text{mJ}$ レベルへの増幅手法や、分子の指紋領域へアクセスするための周波数変換手法は、世界的にも開拓途上にあり、今後の展開への注目が高まっている。

今回我々は、ZBLAN ファイバーを用いた白色光発生とソリトン自己周波数シフトに注目した。ZBLAN ファイバーは波長 $1 - 4 \mu\text{m}$ で低損失であり、商用の典型的なファイバーの NA 値、コア・クラッド径ではゼロ分散波長が $2 - 3 \mu\text{m}$ に位置する。故に波長 $2.3 \mu\text{m}$ のパルス光を入射すると、僅かなファイバーパラメータの差で多彩な周波数変換を生じることが知られている⁵。

本研究では最初に、NA=0.26, コア径 $6.0 \mu\text{m}$, クラッド径 $123 \mu\text{m}$, 長さ 10 cm のステップインデックスファイバーを用いて白色光発生を行った。時間幅 60 fs, 8.2 nJ のパルスを入射した際のファイバー出射スペクトル(Fig.1)から 3 オクターブの白色光が得られていることが分かる。出力は 4.8 nJ (191 mW) であり、広帯域な赤外周波数コムとしての応用が有望視される。

次にコア径と長さを $6.7 \mu\text{m}$, 200 cm に変更し、ソリトン自己周波数シフトを行った。時間幅 60 fs のパルスを 6.6 nJ, 8.1 nJ, 15 nJ で入射した際のファイバー出射スペクトル(Fig.2)から、 $3.2 \mu\text{m}$, $3.5 \mu\text{m}$, $4.0 \mu\text{m}$ への周波数シフトが確認され、 $3.2 \mu\text{m}$ パルスに関しては実験的に時間幅 130 fs が確認された。続いて、波長が $3.4 \mu\text{m}$ にシフトする状況下において、入射強度雑音と出射パルスの相対タイムジッターとの関係を、非線形シュレディンガー方程式を用いた数値計算によって考察した。入射強度雑音は波長シフト量の変化を介して群遅延の差異を生じ、 200 cm のファイバーでは 97 fs/%の相対タイムジッターをもたらす。 85 cm のファイバーでは群遅延が小さく、タイムジッターは 25 fs/%と抑制される。

今後は、ファイバー長の短縮によるタイムジッター低減の実験的検証により、非線形分子振動分光における本光源の有用性を実証し、実際の実験系への適用を目指す。

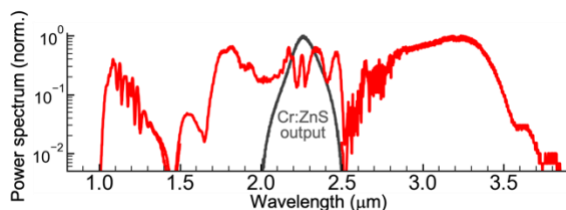


Fig. 1 Measured power spectrum of SPM using ZBLAN fibers.

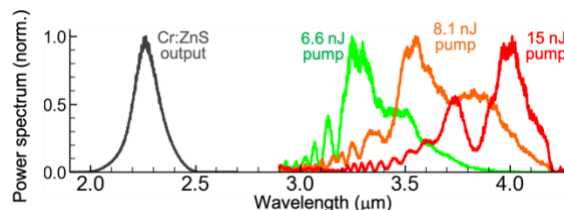


Fig. 2 Measured power spectrum of soliton self-frequency shift using ZBLAN fibers.

- 【参考文献】 1) I. Morichika, *et al.*, *Journal of Phys. Chem. C*, **121**, 21, 11643 (2017). 2) D. Okazaki *et al.*, *Opt. Lett.* **44**, 7, 1750 (2019).
3) D. Okazaki *et al.*, *Opt. Express*, **28**, 14, 19997 (2020). 4) 岡崎 他, 第 81 回応物秋季学術講演会, 10p-Z19-14 (2020).
5) N. Nagl, *et al.*, *Opt. Lett.* **44**, 10, 2390 (2019).