

## 利得スイッチング半導体レーザピコ秒光パルスの 光増幅による 100 kW 高ピークパワー化

### 100-kW peak-power amplification of picosecond optical pulses generated from a gain-switched laser diode

東北大院工<sup>1</sup>, 東北大学未来研 (NICHe)<sup>2</sup>

◎茶木 智大<sup>1,2</sup>, 草間 裕太<sup>2</sup>, 房宜激<sup>1,2</sup>, 山田 博仁<sup>1,2</sup>, 横山 弘之<sup>1,2</sup>

Grad. School of Eng., Tohoku Univ.<sup>1</sup>, NICHe, Tohoku Univ.<sup>2</sup>

◎Tomohiro Chaki<sup>1,2</sup>, Yuta Kusama<sup>2</sup>, Yi-Cheng Fang<sup>1,2</sup>, Hirohito Yamada<sup>1,2</sup>, and Hiroyuki Yokoyama<sup>1,2</sup>

E-mail: chaki@ecei.tohoku.ac.jp

はじめに ナノメートル分解能の多光子イメージングや材料加工が注目される中で、小型で安定性に優れた実用的な超短パルス光源の実現が強く求められている。これまで我々は、波長 1  $\mu\text{m}$  帯の利得スイッチング半導体レーザ (GSLD) をベースとしたピコ秒パルス光源の開発を進め、10 kW レベルのピークパワーを実現して、2 光子イメージングへの応用が可能であることを実証してきた[1]。もし、さらに 1 桁以上高いピークパワーが得られれば、マイクロ・ナノ加工への応用も可能になると期待される[2]。GSLD からのピコ秒光パルスのピークパワーを高める上では、Yb 添加光ファイバ増幅器 (YDFA) による光増幅を行っているが、平均パワー一定のもとで光パルスの繰り返し周波数 ( $f_r$ ) を低減すれば、原理的には  $f_r$  に反比例してピークパワーを高めることができる。しかし、 $f_r$  の低減に伴って、YDFA における増幅自然放出光 (ASE) ノイズと光パルス増幅との競合、および高ピークパワー光パルスによるファイバ内での非線形光学効果 (主に自己位相変調: SPM) が大きな問題となることが予想される。今回、 $f_r$  を 1 MHz まで低減して YDFA における光パルスの増幅特性を詳細に調べ、さらに、SPM を低減するための大口径 YDFA を構築することにより 100 kW 超のピークパワーの光パルスを得たので報告する。

**実験および結果** YDFA における光パルス増幅の基礎特性を調べるために、まず、 $f_r$  を 1 MHz にして、DFB-LD の GS 動作によって時間幅約 40 ps の光パルスを発生させた。このときの平均パワーは 2  $\mu\text{W}$  であり、この光パルス出力をコア径 6  $\mu\text{m}$  の単一モード光ファイバ (SMF) による YDFA で増幅した。平均パワーや光スペクトルの観測からだけでは、光パルスと ASE の分離が困難であるが、高速オシロスコープによる時間波形の精密な測定を行うことにより、1 MHz の  $f_r$  においても光パルスを 3 桁以上増幅できることが明らかになった (図 1)。この結果から、さらに増幅段数を増やすことで、光パルスを ASE に埋もれることなく高ピークパワーまで増幅できることが期待される。そこで、次段増幅器として大口径単一モード光ファイバ (LMA-SMF) による YDFA を、さらに主増幅器としてコア径 40  $\mu\text{m}$  のフォトニック結晶ファイバ (PCF) による YDFA を用いた増幅系を構築した。また、平均パワー一定の場合、光パルスのピークパワーは時間幅に反比例することから、より高いピークパワーを得るために時間幅 5 ps の光パルスを信号光とした[3]。その結果、最終的な増幅光パルスの平均パワーとして、0.77 W を得た。光スペクトルにおいては、図 2 に示すように、SPM による広がり・歪みが見られたが、一般的な LMA-YDFA を用いた場合と比較するとスペクトルの広がりや歪みは 1/2 以下に低減されることがわかった[4]。また、増幅光パルスの時間幅は約 7 ps に広がったが、このときピークパワーは 100 kW 超に達している。

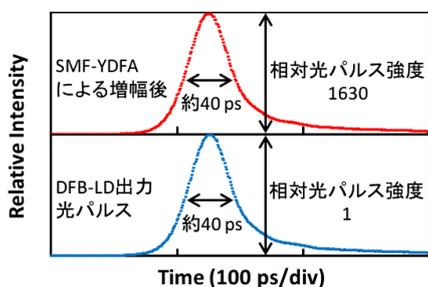


図 1 オシロスコープによる 40 ps 光パルスの観測波形

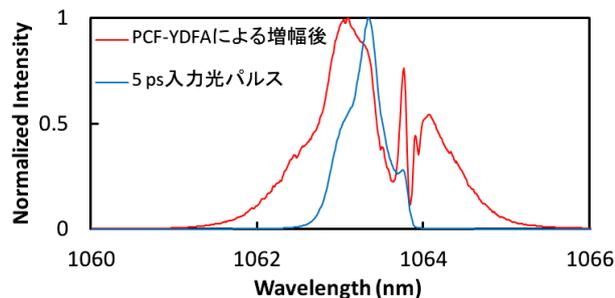


図 2 5 ps 入力光パルスと PCF-YDFA による増幅後の光スペクトルの比較

**謝辞** 本研究の一部は、文部科学省大学発新産業創出拠点プロジェクト (START) 「超高機能光源の開発と先端バイオメディカル応用」の支援を得た。

#### References

- [1] Y. Kusama et al., *Optics Express* **22**, 5746 (2014).
- [2] J. Bovatsek et al., *Proc. SPIE* **5662**, 661 (2004).
- [3] 房宜激, 草間裕太, 横山弘之, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 発表予定, 北海道大学 (2014).
- [4] 草間裕太, 他, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 発表予定, 北海道大学 (2014).