

1 μm 帯利得スイッチング半導体レーザピコ秒光パルスの 光増幅における自然放出光ノイズの入力光パワー依存性

Input optical power dependence of spontaneous emission noise in the amplification of optical pulses generated from a 1- μm -band gain-switched laser diode

東北大院工¹, 東北大学未来研 (NICHe)²

○茶木 智大^{1,2}, 草間 裕太², 房宜 激^{1,2}, 山田 博仁^{1,2}, 横山 弘之^{1,2}

Grad. School of Eng., Tohoku Univ.¹, NICHe, Tohoku Univ.²

○Tomohiro Chaki^{1,2}, Yuta Kusama², Yi-Cheng Fang^{1,2}, Hirohito Yamada^{1,2}, and Hiroyuki Yokoyama^{1,2}

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

はじめに 近年, 多光子イメージングや材料加工用の光源として, 小型・高安定で実用的な高ピークパワー超短パルスレーザ光源が求められている. 我々は, 1 μm 帯利得スイッチング半導体レーザ (GS-LD) から得られたピコ秒光パルスを複数の Yb 添加光ファイバ増幅器 (YDFA) を用いて増幅し, ピークパワーを 1 kW レベル以上に増幅することで, 2 光子蛍光イメージングにおいてその高い応用機能を実証してきた[1]. また, さらに 2-3 桁高いピークパワーが実現できれば, マイクロ・ナノ加工への応用も可能になると期待される. YDFA の出力平均光パワー一定のもとでは, 光パルスの繰り返し周波数 (f_r) を低減することで, f_r に反比例してピークパワーを高めることができるが, 低速繰り返し光パルスの増幅では, パルス間に蓄積する自然放出光 (ASE) ノイズが問題となる. 特に, GS-LD から得られたパルスエネルギー (E_p) が 1 pJ レベルの微弱な光パルスを増幅する初段の増幅において ASE ノイズを低減することは増幅系全体のノイズを抑制する上で重要である. 今回, 単一モード YDFA を用いた初段の光増幅器において, 入力光パルスの E_p および f_r を変化させるのに対応して, ASE ノイズがどのように変化するかを調べたので報告する.

実験および結果 波長 1 μm 帯の分布帰還型半導体レーザ (DFB-LD) の GS 動作によって時間幅約 40 ps, E_p 約 2 pJ の光パルスを発生させた. また, GS 動作の f_r を 1, 10, 100 MHz の 3 通りに設定することによって平均光パワーを 2 桁変化させた. この光パルスをコア径 6 μm の単一モード YDFA によって増幅し, 半値全幅が 1.1 nm のバンドパス光フィルタ (BPF) を用いてスペクトルフィルタリングを行うことにより, 光パルスの帯域以外の光スペクトル成分を除去した. また, 光減衰器を用いて, YDFA に入力する光パルスの E_p を変化させた. 光増幅およびスペクトルフィルタリングを行った後, 高速オシロスコープによって光パルスの時間波形を観測する方法により, ASE ノイズの割合を評価した[2]. 図 1 に増幅後の光出力全体に対する ASE ノイズの割合の E_p 依存性を示す. f_r 100 MHz では E_p が 0.02 pJ のとき, ASE ノイズの割合は約 10% である. 一方, f_r が 2 桁低い 1 MHz においても E_p が 2 pJ であれば, ASE ノイズは約 10% にまで抑制される. これより, 現状の初段の光増幅過程では, ASE の割合は入力する平均光パワーによってほぼ決まると考えられる. そこで, 入力平均光パワーを横軸にとり ASE ノイズの割合をプロットした結果を図 2 に示す. この結果から, 初段の光増幅器においては, f_r と E_p 各々の値よりもその積である平均光パワーを大きくすることが, ASE ノイズ低減の上で有効であることがわかる.

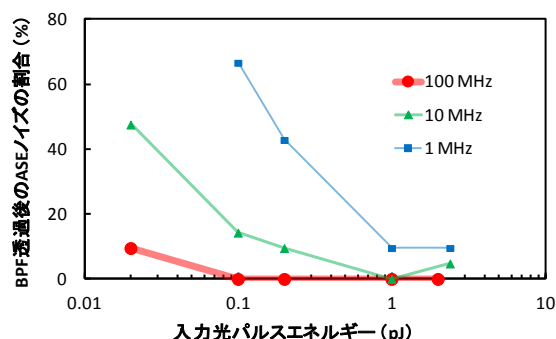


図 1 ASE ノイズの割合の入力光パルスエネルギー依存性

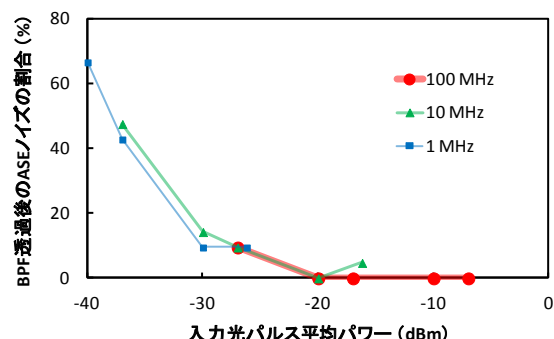


図 2 ASE ノイズの割合の入力平均光パワー依存性

References

[1] Y. Kusama et al., Optics Express **22**, 5746 (2014).

[2] 茶木智大, 他, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 19p-C8-7, 北海道大学 (2014).