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低減の検討

Reduction of spontaneous emission noise in the amplification of picosecond optical pulses generated from a gain-switched laser diode

東北大院工 [1]，東北大未来研（NICHe）[2]
○茶木 智大 [1,2]，房宜澂 [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], 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　多光子生体イメージングの光源として，小型・安定な超短パルスレーザ光源が求められている．我々は，1μm 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 Yb 添加光ファイバ増幅器（YDFA）の多段増幅によって kW レベル以上のピークパワーに増幅し，2 光子蛍光イメージングに適用してきた[1]．ピークパワーをさらに 2-3 桁高めることができれば，ピコ秒光パルスによるマイクロ・ナノ加工への応用も期待される．YDFA による光増幅では，光パルスの繰り返し周波数を低減した場合も，平均出力光パワーがほぼ一定に保たれることから，高ピークパワー化が可能である．一方で，パルス間に蓄積する自然放出光（ASE）ノイズ成分の割合も大きくなる．その低減の上では，光増幅器による多段増幅の初段で発生する ASE ノイズを極力低減することが重要である．前回の報告[2]では，初段の単一モード YDFA において，平均入力光パワーを高めることで飽和増幅時に ASE ノイズを低減できることを示した．しかし，低繰り返しの光パルスでは平均入力光パワーが小さくなるため飽和増幅を行うことが難しくなる．今回，光増幅器として半導体レーザ光増幅器（SOA）を用いて ASE ノイズを低減する増幅方法について検討したので報告する．

実験結果および考察　波長 1μm 帯の分布帰還型半導体レーザ（DFB-LD）の GS 動作によって，中心波長 1061nm，時間幅約 30ps，繰り返し周波数 100MHz の光パルスを発生させた．SOA による光増幅において，光減衰器を用いて平均入力光パワー（P_{in}）を 0.5-50μW の範囲で変化させ，半値全幅 1.1nm のバンドパス光フィルタ（BPF）を用いて光パルスの波長成分を選択して測定評価を行った．また，CW 光入力時においても光パルスと同様の光増幅実験を行い，CW 光および光パルスの増幅時の比較を行った．図 1（a）に CW 光増幅時の ASE ノイズおよび信号光（BPF 透過後）の光パワーと増幅利得の P_{in} 依存性を示す．CW 光の P_{in} が-20dBm 以上では，増幅利得が減少するのに伴って ASE ノイズが減少する様子が見られた．一方，光パルスの増幅時は，図 1（b）に示すように飽和増幅の特徴が顕著に現れ，P_{in} によらず ASE ノイズのパワーは一定であった．これは，光パルスの増幅により SOA のキャリアをパルス幅程度の時間内に消費するが，キャリア寿命が約 1ns オーダーと短いために，パルスのインターバル時間内にキャリア密度が十分に回復するためであると考えられる．一方，この物理的特性を効果的に利用して，SOA をパルス励起することで時間ゲート的な増幅機能が実現できれば，パルス間の ASE ノイズの蓄積を抑制できる．この増幅方式は，これまでモード同期半導体レーザの光パルスの分周光ゲート機能を兼ねた光増幅で利用したが[3]，今後低繰り返しの GS-LD 光パルスの増幅において ASE ノイズ低減のための有効な手段になると期待される．

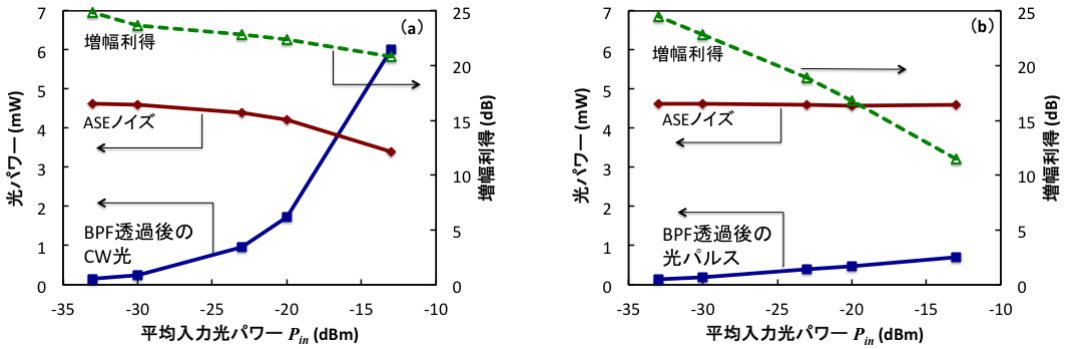

図 1. ASE ノイズおよび信号光（BPF 透過後）の光パワーと増幅利得の平均入力光パワー依存性（a）CW 光増幅時（b）光パルス増幅時

References

[1]Y.Kusama et al., Optics Express **22**, 5746 (2014).
[2]茶木智大，他，第 62 回応用物理学会春季学術講演会，13p-A13-4，東海大学（2015).
[3]H.Yokoyama et al., Optics Express **16**, 17752 (2008).

© 2015年 応用物理学会