

光注入同期による利得スイッチ多モード半導体レーザーの ピーク強度揺らぎの抑制

Suppression of peak intensity fluctuation in gain-switched multimode laser diodes using optical injection locking

大阪府立大学 大学院工学研究科¹, 東北大学 未来科学技術共同研究センター²

○和田 健司^{1,2}, 横山 弘之²

Grad. School of Engineering, Osaka Prefecture University¹, NICHe, Tohoku University²

°Kenji Wada^{1,2} and Hiroyuki Yokoyama²

E-mail: wada@pe.osakafu-u.ac.jp

はじめに 前回, 利得スイッチ多モード半導体レーザー (GS-MMLD) からのピコ秒光パルス出力では, 時間ジッターが抑制される代わりに顕著なピーク強度揺らぎが発生することを報告した[1]. このピーク強度揺らぎは, 適切に光注入同期した GS-MMLD の実験では発生していない[2]. しかし, 元の光パルス幅を維持しつつ, ピーク強度揺らぎを抑制するための適切な光注入同期条件を明らかにする必要があると考えられ, 今回, その条件について多モードレート方程式を用いて数値計算により検討したので報告する.

数値計算 複素光電界 (161 モード) とキャリア密度を変数とし, ランジュバンノイズを含む多モードレート方程式を用いて数値計算を行った. レーザーパラメータには $1.55\ \mu\text{m}$ 半導体レーザーに適する値を代入し, 励起には $1\ \text{GHz}$ の正弦波電流を用いた. 外部 cw 光による注入同期の計算例を図 1 に示す. 達成されたサイドモード抑圧比が $10.0\ \text{dB}$ の場合(a), 中心モードのパルス波形は(b)となり, 顕著なピーク強度揺らぎが生じた. ピーク強度揺らぎの標準偏差 $\sigma_{\text{flu}} = 2.61$ (任意単位) を平均パルスのピーク値 $I_{\text{max}} = 10.1$ (任意単位) で除し, 相対ピーク強度揺らぎ $\sigma_{\text{flu}}/I_{\text{max}} = 0.26$ (任意単位) を定義した.

解析結果 図 2 に, サイドモード抑圧比に対する相対ピーク強度揺らぎ (赤線) と規格化パルス幅 (青線) の関係を示す. 規格化パルス幅は, 光注入時のパルス幅を注入光なしの場合のパルス幅 ($50.5\ \text{ps}$) で規格化して求めた. サイドモード抑圧比は, 注入光の結合係数の増加に伴い増大し, $20\ \text{dB}$ 以上では相対ピーク強度揺らぎは 3% 以下に抑制された. 一方, 規格化パルス幅は, サイドモード抑圧比 $20\ \text{dB}$ までは 5% 程度の増加に留まるが, $20\ \text{dB}$ 以上で急激な増加傾向を示し, $23\ \text{dB}$ 付近で不連続に変化した. パルス幅の拡大は, 光注入が光パルスの立ち上がりを早め, 低利得でパルス発振することによる. 不連続点の出現は, 余剰利得により光パルス後部に鞍状の波形変化が生じることによる. 今回の計算では, GS-MMLD に対して元のパルス幅をほぼ維持しつつ, ピーク強度揺らぎを効果的に抑制するためには, 光注入同期によりサイドモード抑圧比 $20\ \text{dB}$ を実現すればよいことがわかった.

謝辞 本研究は一部, 科研費 (20H05669) および AMED (課題番号 JP21dm0207078) の支援を受けた.

文献 [1] 和田, 横山: 第 50 回応物春季 19a-Z03-3 (2021). [2] J. -H. Hung, et al., Appl. Phys. Express **10**, 102701 (2017).

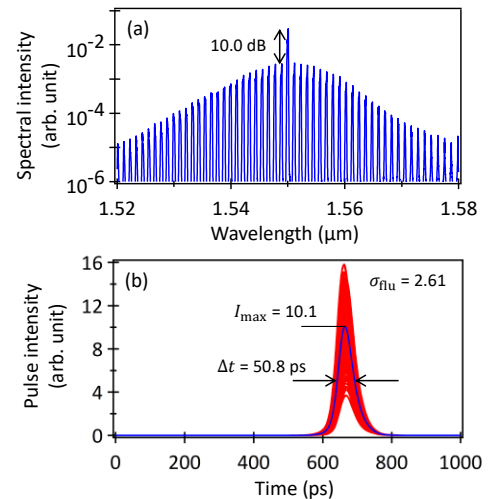


図 1. 光注入同期時の利得スイッチパルス出力の(a)強度スペクトルと(b)時間波形. (b)の青線は平均パルスの時間波形を示す.

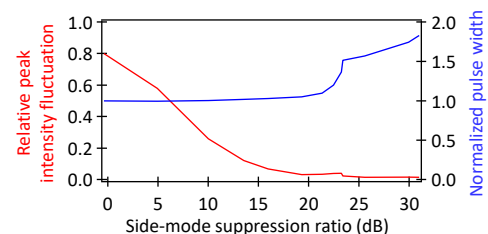


図 2. サイドモード抑圧比に対する相対強度揺らぎ (赤線) と規格化パルス幅 (青線) の関係.