

半導体レーザーによる高ピークパワー狭線幅光パルス発生機の動的機構 Narrow-bandwidth high-peak-power optical pulse generation from semiconductor lasers

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

○横山 弘之¹, 和田 健司^{1,2}

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

○Hiroyuki Yokoyama¹ and Kenji Wada^{1,2}

E-mail: hiroyuki.yokoyama.b6@tohoku.ac.jp

はじめに 柔軟に波形制御可能なサブ ns～サブ μ s 光パルスを発生できる光源は、バイオメディカルイメージングや微細レーザー加工を始めとして応用範囲が広く、早期の技術確立が求められている。我々は利得スイッチング半導体レーザー (GS-LD) の制御に基づいてその研究開発を進め、外部から光注入を行う GS-LD が大きな可能性を持っていることを示してきた[1-3]。応用の視点からは、GS-LD への光注入同期 (IL) 動作に基づく、狭線幅の発振スペクトルと同時に高ピークパワーでかつスムーズな形状の光パルス発生機能に特に注目している。しかし、ILGS-LD の動作条件を変化させた場合に、バースト状光パルス (BOP) の発生やカオスの動作も観測されたことから[2, 3]、一連の動作の機構とそれらの安定性について理解を深める必要が高まっている。今回、実験および理論の両面から ILGS-LD の動作機構に関して調べたので報告する。

実験および理論解析 実験では波長 $1.3\mu\text{m}$ 帯および波長 $1.06\mu\text{m}$ 帯のファブリー・ペロー型 LD に外部から単一モードのレーザー光を注入した状態で LD をナノ秒時間幅の電気パルスで励起して GS 動作させた。通常の GS 動作では発振初期に緩和発振に起因するピコ秒の光パルスが発生するが、理想的な ILGS 動作では全体がスムーズなナノ秒幅の光パルスとなり、光スペクトルも注入光に同期して単一モード発振になった。しかし、入力光の強度や波長を変えると、ナノ秒の包絡線中に数 GHz 周波数の BOP が含まれる形態や、非周期的なカオスの形態に変化する様子も観測された[2, 3]。また、ILGS 動作時には、長時間非常に安定に動作することもわかった。

これらの動的振る舞いを理論的に調べるために、半古典的レーザー方程式を基盤として、レート方程式近似を用い、また LD を特徴付けるパラメータを導入して数値計算による解析を行った。図 1 に、文献 3 の実験結果 (Fig. 2) と対応する光パルスの時間波形を数値計算で得た結果を示す。時間波形とともに発振光スペクトルの計算も行っておりそれらの動作の計算パラメータ変化に対する依存性を調べたところ、IL 動作は光注入動作における安定的な最終形態であることがわかった。また、BOP の形態も比較的安定であり、初期の緩和発振状態からサブナノ秒程度の時間内に BOP (定常的には period-one 状態) に移行していると考えられる。さらに、GS の励起強度を増すと、理想的な IL 動作形態を得るための注入光強度も増やす必要があることがわかった。

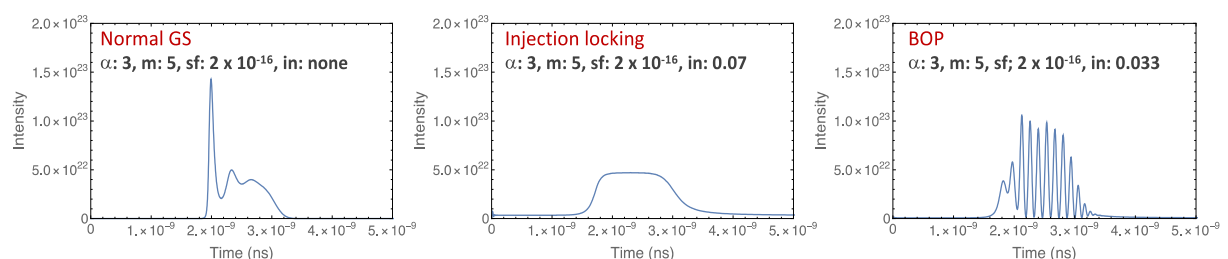


図 1 ILGS-LD の光パルス出力波形の理論計算結果。 α : LD の線幅増大係数, m : 励起パルス強度 (閾値強度の倍数), in : 注入光の電場強度を示す係数 (1 がほぼ 10-100mW の光パワーに対応), sf : 非線形利得飽和係数。解析では、被注入 LD が単体では単一モード発振すると仮定した。

謝辞 本研究の一部は、国立研究開発法人日本医療研究開発機構 (AMED) 「革新的技術による脳機能ネットワークの全容解明プロジェクト (Brain/MINDS)」の支援を得た。

文献 [1] J. -H. Hung, et al., Appl. Phys. Express **10**, 102701 (2017). [2] J. -H. Hung, et al., Appl. Phys. Express **12**, 082002 (2019). [3] H. Yokoyama, NOLTA 2019, PaperID 9069, Kuala Lumpur, Dec. 2019.