半導体マイクロリングレーザを用いた切り替え可能な全光インバータおよびフリップフロップ動作の理論解析

Theoretical analysis of switchable all-optical inverter and flip-flop operations in semiconductor microring laser

横国大院工，○青木 椋祐 [1]，荒川 太郎 [1]， 中部大，國分 泰雄 [2]

[1]Yokohama Nat'l Univ., [2]Chubu Univ. ○ Ryosuke Aoki[1], Taro Arakawa[1], and Yasuo Kokubun[2]

E-mail: aoki-ryosuke-yf@ynu.jp

【はじめに】 全光インバータ（INV）と全光フリップフロップ（FF）はフォトニックネットワークのノード用基幹デバイスである．我々は半導体マイクロリングレーザ（SMRL）の隣接発振波長間における注入同期を用いて，全光 INV/FF 動作を同一のデバイスで実現できることを実証し[1], その動作モデルの構築を行った[2].

本発表では，この動作モデルを SMRL の発振方向を区別したモデルに拡張し，バスライン導波路（BLW）の屈折率変化により両動作が周期的に切り替わり，この周期が実験結果と一致することを確認したので報告する．

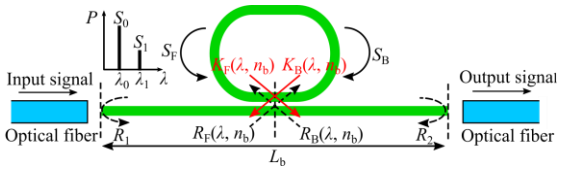

Fig.1. Analysis model for SMRL operations.

【バスライン端面反射を考慮した動作モデル】

Fig. 1 に SMRL の解析モデルを示す． BLW の端面反射により生じるファブリ・ペロー共振のため，注入波長と BLW の光路長に依存した強度の光が MRR に帰還する．これを考慮した正味の電力結合率 K_i（i=F or B, j=1 or 2）および SMRL 内の光子寿命 τ_{pi}（i=F or B）はそれぞれ次式で表される．

$$K_i(\lambda, n_b) = k - \frac{k^2 R_j}{1+(1-k)^2 R_1 R_2 - 2(1-k)\sqrt{R_1 R_2}\cos\left(\frac{2\pi n_b 2L_b}{\lambda}\right)}$$

$$\frac{1}{\tau_{pi}(\lambda, n_b)} = \frac{c}{n_r}\left[\alpha + \frac{1}{2L_r}\ln\left(\frac{1}{1-K_i(\lambda, n_b)}\right)\right]$$

ただし，k は結合率，L_r，n_r はそれぞれ MRR の周回長，等価屈折率，αは共振器内損失，添え字 F は反時計回り発振，添え字 B は時計回り発振を表す. Fig. 2 は BLW の屈折率 n_b に対する光子寿命 τ_{pF} を表し，n_b の変化に対して二つの発振波長λ_0, λ_1 に対する光子寿命の大小関係が周期的に切り替わることを示している．

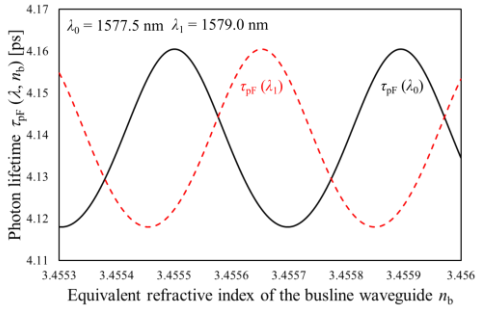

Fig. 2. Calculated photon lifetime τ_{pF} as functions of n_b.

今回，発振波長λ_0, λ_1 に対し，時計回り，反時計回り方向の発振を区別した計四つの光子密度 S_{0B}, S_{0F}, S_{1B}, S_{1F} を用いたマルチレート方程式を用いてシミュレーションを行った．その結果を Fig. 3 に示す． $\tau_p(\lambda_0) > \tau_p(\lambda_1)$ (n_b = 3.45588)の時に INV 動作，$\tau_p(\lambda_0) < \tau_p(\lambda_1)$ (n_b = 3.45567)の時に FF 動作となることを確認した．このモデルで計算した INV/FF 動作の切り替わりの波長周期は実験結果[3]とよく一致した．

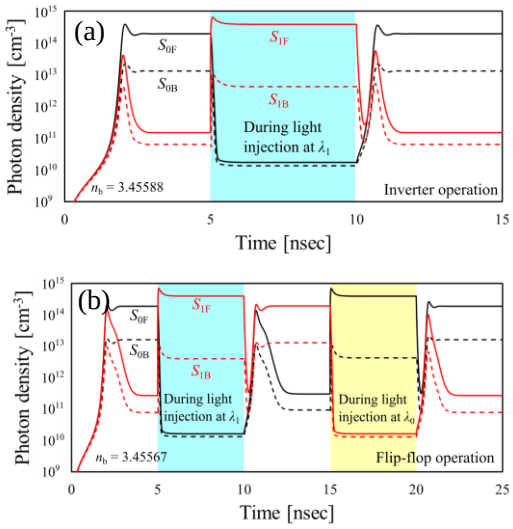

Fig. 3. Simulation results for (a) INV and (b) FF.

【参考文献】

[1] T. Miyamoto *et al*, JJAP, **53**, 8S2, 08MB04, (2014).
[2] N. Kobayashi *et al*, JJAP, **57**, 032201 (2018).
[3] 青木ほか，春季応物, 18p-B203-3, 2018 年 3 月

【謝辞】 本研究は文科省科研費・基盤研究 B (15H03578，18H01897)の補助を受けて行われた．