

申請者	学科名	情報通信工学科	職名	准教授	氏名	福嶋 文浩
調査研究課題	二次元半導体レーザにおける高速ビームスイッチ動作のシミュレーション					
調査研究組織	氏名	所属・職		専門分野	役割分担	
	代表	福嶋文浩	情報通信工学科・准教授	光エレクトロニクス	企画・立案, プログラムの作成, 数値計算, 総括	
	分担者	皿田貴寛	情報系工学研究科システム工学専攻博士前期課程・大学院学生	光エレクトロニクス	数値計算	
調査研究実績の概要	<p><b>1. はじめに</b> 半導体プロセス技術の進歩により, 今日では任意の二次元形状を有する微小共振器半導体レーザを製作することが技術的に可能である. 二次元共振器に閉じ込められる光線と波動の対応関係を調べることは, 学術的な観点のみならず, 応用の観点から見ても大変興味深い研究課題である[1]. 本研究では, 二次元共振器半導体レーザに現れる2つのモード間の利得競合を利用したナノ秒オーダーの高速なビームスイッチ動作を提案するとともに, レート方程式に基づく数値シミュレーションにより動作解析を行った.</p> <p><b>2. 高速ビームスイッチ動作の提案</b> 図1に高速ビームスイッチ動作に用いる二次元共振器半導体レーザの素子構造を示す. 光を閉じ込めるレーザ共振器は, 2つの曲面ミラーと2つの側面ミラーで構成されている. この共振器には, 軸に沿ってビームが伝搬する軸軌道モードと菱形の軌道に沿ってビームが伝搬する菱形軌道モードが存在する. 軸軌道モードでレーザが発振すると共振器の軸に沿って1方向にビームが出力される. 一方, 菱形軌道モードでレーザが発振すると菱形軌道に対応する2方向にビームが出力される. したがって, これら2つのモードの発振を切り替えることにより, 出力ビームのスイッチ動作が可能になる. 本レーザは, これらのモードを個別に励起できるように菱形電極の中に短い軸電極が設けられている. 高速ビームスイッチ動作を行うには, まず, 菱形電極の注入電流を菱形軌道モードの発振しきい値電流より僅かに高く設定して菱形軌道モードを発振させる. 一方, 軸電極の注入電流は, 軸軌道モードの発振しきい値電流より僅かに低く設定する. この状態で軸電極の注入電流を変調して, 軸軌道モードの発振と非発振の状態を高速に切り換える. 軸軌道モードが発振すると, 2つのモードの光分布が重なる共振器の両端部分で利得競合が起こり, 菱形軌道モードの発振が抑制される. その結果, 軸軌道モードと菱形軌道モードの発振が切り換わり, 出力ビームのスイッチ動作が得られると予想される.</p> <p><b>3. 解析方法</b> 軸軌道モードと菱形軌道モードの光子密度を<math>S_a, S_b</math>, 軸電極を設けた領域のキャリア密度を<math>n_1</math>, 菱形電極を設けた領域を菱形軌道モードのみが存在する領域と菱形軌道モードと軸軌道モードが重なる領域に分けて, それぞれの領域のキャリア密度を<math>n_2, n_3</math>とした. これら5つの変数の時間変化を記述したレート方程式で半導体レーザの動作を表した[2]. 利得定数, キャリア寿命, 透明キャリア密度, 自然放出光係数は, AlGaAs系半導体レーザの典型的な値を用いた. 一方, 光子寿命と活性領域の体積は, これまでに試作した二次元半導体レーザの素子構造やしきい値電流を基に設定した. 半導体レーザの時間応答は, レート方程式を4次のルンゲクッタ法を用いて数値積分することにより求めた.</p>					

<p>調査研究実績の概要</p>	<p><b>4. 解析結果</b></p> <p>一例として、菱形電極の注入電流を菱形軌道モードのしきい値電流（130 mA）をわずかに超える135 mAに、軸電極の注入電流を軸軌道モードのしきい値電流（55 mA）を下回る40 mAにバイアスして、定常状態に達した後、時刻 <math>t</math> が20~40 nsの間だけ軸電極の注入電流をステップ関数で80 mAに上げた。このときの各モードの光子密度 <math>S_a</math>、<math>S_o</math> の時間変化を計算した結果を図2に示す。注入電流の上昇から少し遅れて、軸軌道モードの光子密度が急速に立ち上がり、同時に菱形軌道モードの光子密度が低下した。注入電流が再び低いレベルに下がると、軸軌道モードの光子密度が減少し、2 ns程度遅れて菱形軌道モードの光子密度が高いレベルに回復した。レーザの構造や動作条件を適切に設定することで、2 ns程度の高速なビームスイッチ動作が期待できることを数値計算で示した。</p> <p><b>参考文献</b></p> <p>[1] 福嶋文浩, 砂田哲, “二次元微小共振器レーザにおける空間モードの選択励起”, レーザ研究, vol.43, pp. 347-352, 2015.</p> <p>[2] T. Fukushima, K. Sakaguchi, and Y. Tokuda, “Fast beam switching operation of two-dimensional microcavity laser diode,” Proc. of International Conference on Transparent Optical Networks, Paper We. A6.4, 2016 (Trento)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="375 745 906 1003"> </div> <div data-bbox="943 745 1481 1003"> </div> </div> <p>図1 2次元共振器半導体レーザの素子構造。 図2 高速ビームスイッチ動作の計算例。</p>
<p>成果資料目録</p>	<p><b>【国際会議発表】</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. T. Fukushima, K. Sakaguchi, and Y. Tokuda, “Fast beam switching operation of two-dimensional microcavity laser diode,” Proc. of International Conference on Transparent Optical Networks, Paper We. A6.4, 2016 (Trento) (招待講演).</li> <li>2. T. Fukushima, T. Sarata, K. Sakaguchi, and Y. Tokuda, “Analysis of resonator modes in a Penrose unilluminable room,” Proc. of 2016 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, Paper C1L-B2, 2016 (Atami).</li> <li>3. T. Fukushima, “Lasing modes in chaotic microcavity laser diodes,” Abstracts of EMN Meeting on Quantum Matter, A37, 2016 (Port Louis) (招待講演).</li> <li>4. T. Fukushima, “Resonator modes in a Penrose Unilluminable room chaotic microcavity,” Abstracts of Workshop on Asymmetric Microcavity and Wave Chaos, 2016 (Beijing) (招待講演). 3月発表予定</li> </ol> <p><b>【口頭発表】</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 福嶋文浩, 坂口浩一郎, 徳田安紀, “2次元共振器半導体レーザによる高速ビームスイッチ動作の提案”, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 20p-S321-13, 2016.</li> <li>2. 福嶋文浩, 坂口浩一郎, 徳田安紀, “Penrose共振器における波動カオスモード”, 第77回応用物理学会秋季学術講演会, 16p-A35-7, 2016.</li> <li>3. 皿田貴寛, 福嶋文浩, 坂口浩一郎, 徳田安紀, “2次元微小共振器における周期軌道の安定性解析”, 平成28年度(第67回)電気・情報関連学会中国支部連合大会, R16-08-03, 2016.</li> <li>4. 福嶋文浩, 石原幸奈, “ガウシアンビーム光学を用いた共振器モード近似解の精度”, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 16a-422-4, 2017. 3月発表予定</li> </ol>