

新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする
次世代フォトニクスの中盤技術
平成29年度採択研究代表者

2018年度 実績報告書

野田 進

京都大学大学院工学研究科
教授

変調フォトニック結晶レーザーによる2次元ビーム走査技術の開発

§ 1. 研究成果の概要

近年、自動運転、セキュリティセンシング、ロボットの自動走行などへの関心が、世界的に高まり、LiDAR (Light Detection and Ranging) と呼ばれる、レーザーパルスを用いた障害物や不審物(者)のセンシング技術の開発が急務となっている。その中でもキーデバイスとして開発が望まれているのが、ビーム射出方向を2次元のかつ広範囲に走査可能な小型半導体レーザー光源である。本研究は、研究代表者独自のフォトニック結晶レーザーに、同じく研究代表者が、極最近、発明した「変調フォトニック結晶」という新たな概念を導入し、電氣的に高速かつ広範囲に2次元ビーム走査を可能とするチップを開発し、レーザービーム走査技術の新たな潮流を生み出すことを目指すものである。

本CREST研究開始直前の段階において、図1-1に示すように、変調フォトニック結晶による2次元ビーム走査の原理実証に成功していた。ただし、初期実証デバイスにはいくつかの重要な課題が存在していた。その1つは、光出力がmWレベルに留まり、かつ出力を上げるために面積を拡大した際に、モードが乱れ、不安定となることである。各種LiDAR応用へと展開するためには、数W以上の高出力かつ安定動作が望まれるため、変調フォトニック結晶の本質的・体系的理解を深め、高出力・高安定動作を可能とする変調フォトニック結晶構造を探索する必要がある。また、初期実証デバイスの角度走査はL字状に限られ、2次元面内のより広範囲の走査を実現することが不可欠であり、望む角度ステップで、必要個数、マトリクス状にアレイ化したデバイスへと発展させていくことが重要である。そこで、以下の4項目について研究を進め、さらに、社会実装に向けた検討をも進めていくことを目指している。

- I. 変調フォトニック結晶の本質的・体系的理解と安定な高出力動作の実現 —理論—
- II. 変調フォトニック結晶の本質的・体系的理解と安定な高出力動作の実現 —実験—
- III. アレイ化2次元ビーム走査デバイスの作製
- IV. アレイ化2次元ビーム走査デバイスの特性評価

初年度となる前年度(2017年度)の研究では、上記の項目IおよびII(すなわち、変調フォトニック結晶の本質的・体系的理解と安定な高出力動作の実現 —理論—、および—実験—)に関する検討に着手し、高出力・高安定動作を可能とする変調フォトニック結晶構造について、基礎となる理論検討およびその実験検証を行った。これにより、従来の正三角形や円形の空孔から、楕円空孔へと変化させることで、2次元結合性を高めることが、安定発振に有効である可能性を示し、安定な高出力動作に向けた第一歩とした。

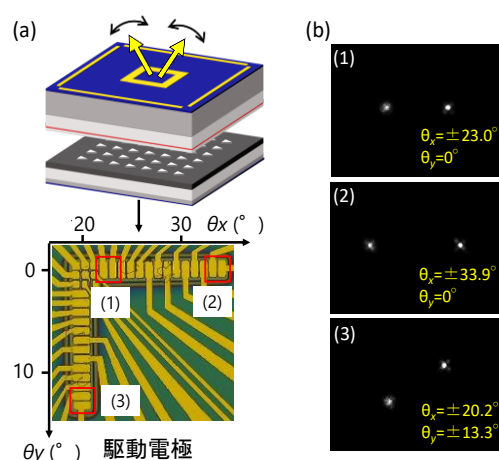
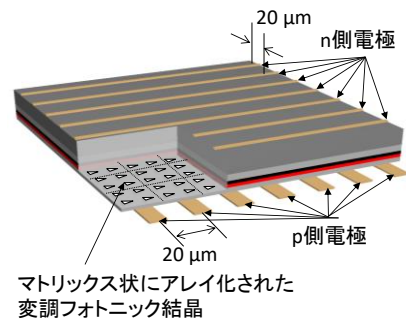


図 1-1: 変調フォトニック結晶レーザーの初期実証結果。(a) 作製したレーザーの模式図と電極形状、(b) 得られたビームの出射パターン。

本年度(2018年度)の研究では、まず、安定動作の実現と並ぶもう1つの課題、すなわち、これまで L 字状のビーム走査しか達成していなかったことに対して、2次元全面に渡る走査のためのマトリクス化の検討を行った(項目 III, IV)。ここでは、2次元面内のより広範囲の走査の可能性を示す第一次の試作として、図 1-1 の L 字走査の実証と同様の、安定動作の検討前の変調フォトニック結晶構造を用いて、2次元アレイ構造の検討と試作・評価を行った。図 1-2 に示すような、電極を、基板を挟んで直交して配置し、マトリクスの駆動を可能とする構造を考案し、作製法を構築した。試作・評価を行った結果、駆動領域の2次元多チャンネル化を実現し、5mm 角サイズのチップで約 25°範囲の2次元ビーム走査を実証することに成功した。



マトリクス状にアレイ化された変調フォトニック結晶
図 1-2：試作したマトリクスアレイ素子構造の模式図。

第二に、安定な動作が可能な変調フォトニック結晶に関する理論(項目 I)において、2017年度に引き続いて、詳細な理論解析へと発展させた。2017年度においては、楕円形状の採用が安定動作に有用である可能性を示していたが、本年度は、安定性を定量的に解析し、より深く議論するために、M点のみならず、意図しない発振点であるフラットバンドモードも解析可能な、有限系結合波方程式を新たに構築し、本手法を用いて、正三角形や円形の空孔と、楕円空孔(楕円率 0.45)に対して、M点バンド端と、フラットバンドにおける閾値利得の差 $\Delta\alpha$ を計算した。この結果、正三角形や円形空孔の場合、 $\Delta\alpha$ が 0.2cm^{-1} であるのに対して、楕円空孔とすることにより $\Delta\alpha$ が 5.1cm^{-1} まで増大することを明らかにするなど、理論的に、楕円空孔により M 点バンド端での安定発振が可能となることを、示すことに成功した。さらに、同じ楕円空孔においても、励振領域の形状(すなわち電極の形状)を制御することで、M 点バンド端とフラットバンドの閾値利得差を増大させることが可能であることをも見出し、安定な発振のための重要な知見を得ることができた。

さらに、安定な動作が可能な変調フォトニック結晶に関する実験(項目 II)に関しては、融着界面における発熱や不要な光吸収を抑えつつ、電流注入を増大させ、高出力動作を実現していくのに適した作製法の検討を行った。具体的には、MOCVD 法を用いた空孔埋め込み再成長法を用いたレーザー作製の検討を、本格化させた。この際、埋め込み再成長により、孔の形・サイズが変化するため、再成長後の形状変化を見越したパターン調整・設計が必要となる。理論検討でその優位性を明確化した楕円空孔を、埋め込み成長法により実現することを検討した結果、従来の空

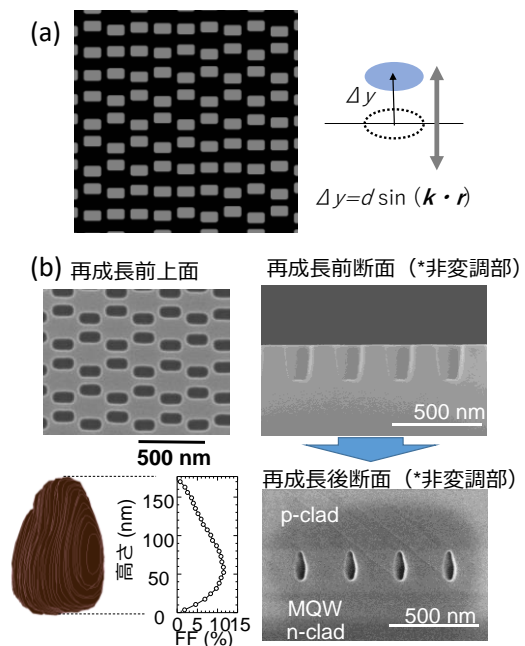


図 1-3：(a) 新たに検討した1軸射影変調フォトニック結晶構造の模式図。(b) 埋め込み再成長による作製の検討。

孔位置を初期位置のまわりで回転させる 2 次元変調では、空孔にオーバーラップを生じ、作製に適していないことが判明したため、新たな変調方式である、1 軸射影変調(図 1-3)を提案した。本方式を用いて、埋め込み再成長法による楕円空孔変調フォトニック結晶デバイスを試作し、設計方向へのレーザー出射を実証することに成功した。

併せて、フォトニック結晶レーザーの社会実装へ向け、当初計画より前倒しし、フォトニック結晶レーザーの応用に関心をもつ企業との試料提供を含む情報交換を実施した。製品化に必要な仕様や提供時期、競合デバイスに関する情報の交換を行うとともに、フォトニック結晶レーザーの技術的な情報とサンプル・デバイスの提供を行うなど、具体的な検討に着手した。

代表的な原著論文

K. Kitamura, D. Yasuda, and S. Noda, "400-channel beam steering by modulated photonic-crystal lasers." (submitted to IEEE Photonics Technology Letters)

§ 2. 研究実施体制

(1) 総合研究推進グループ: (京大+ローム+三菱電機)

① 研究代表者: 野田 進 (京都大学大学院工学研究科 教授)

② 研究項目

・本総合研究推進グループにより、2次元ビーム走査可能なフォトニック結晶レーザーチップの実現に向け、理論検討および試料作製・評価を含めた本プロジェクト全体を遂行する。