

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

H29 年度 実績報告書

野田 進

国立大学法人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. 研究実施体制

(1) 「野田」グループ

- 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。

§ 2. 研究実施の概要

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、ビーム出射方向を 2 次元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 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 つのステップで研究を進め、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

本年度の研究では、上記のステップ 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—)において、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い、安定な高出力動作に向けた第一歩とした。

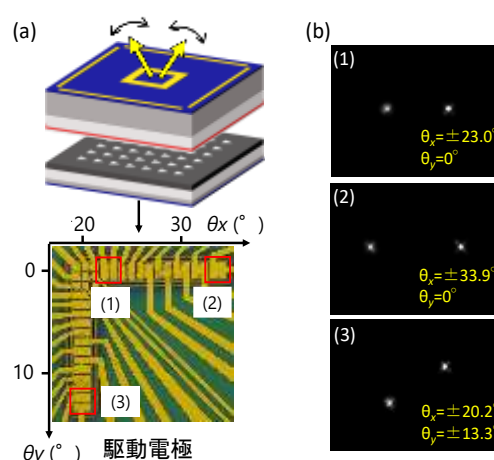


図 1: 変調フォトニック結晶レーザーの初期実証結果。(a)作製したレーザーの模式図と電極形状 (b)得られたビームの出射パターン

不安定な発振の原因として、面内の 2 次元的な光の結合、すなわち M 点における 4 つの基本波の相互の結合が不十分であることが考えられる。そこで、まず、斜め方向に出射する M 点動作変調フォトニック結晶レーザーの解析を可能とする、3 次元結合波理論による解析手法を開発した。続いて、本理論により、初期実証デバイスの格子点形状における動作特性を分析し、面内の 2 次元的な光の結合係数(κ_{2D})が、 $\sim 60\text{cm}^{-1}$ 程度の小さい値であることなどを見出した。そこで、2 次元的な結合を強めるために、さまざまな格子点形状および格子点のサイズに対して光の結合係数を解析した。この結果、

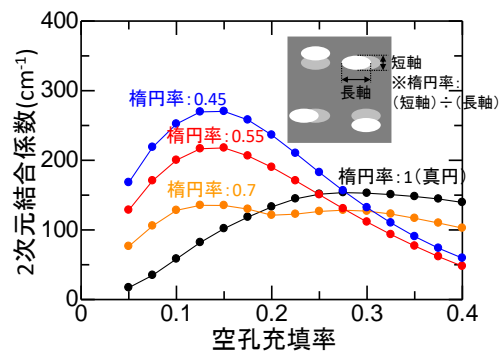


図 2: 楕円格子点変調フォトニック結晶レーザーにおける κ_{2D} の計算結果。

図 2 に示すように、楕円率 0.5 程度の楕円状の格子点において、2 次元結合係数 κ_{2D} を初期実証デバイスの数倍へと増大させることが可能であり、安定した発振が期待できることを明らかにした。

さらに、実験においても、楕円形状の格子点の有用性の検証を行った。初期デバイスと同様に、ウエハ融着法を用いて、楕円状のフォトニック結晶空孔を活性層近傍に内蔵したデバイスを作製し、評価を行った。作製したデバイスの変調フォトニック結晶構造の一例を、図 3(a) に示す。同図のように、楕円率 ~ 0.55 、空孔充填率 6% 程度の孔が形成でき、図 2 から、このときの κ_{2D} は 160cm^{-1} 程度と、初期デバイスの 3 倍程度へと増大するものと見積もられる。図 3(b) には、電極サイズ、すなわちレーザー発振面積を、50, 100, 200 $\mu\text{m}\Phi$ としたデバイスにおいて、遠視野像を測定した結果を示す。同図より、いずれの電極面積の場合においても、単峰のビームパターンでの発振が得られていることがわかる。以上により、W 級の動作に適した直径 $\sim 100\mu\text{m}\Phi$ 程度のデバイスサイズにおいて、M 点における 4 つの基本波が互いに適切に結合させ、安定した発振を実現するための指針が得られたと言える。

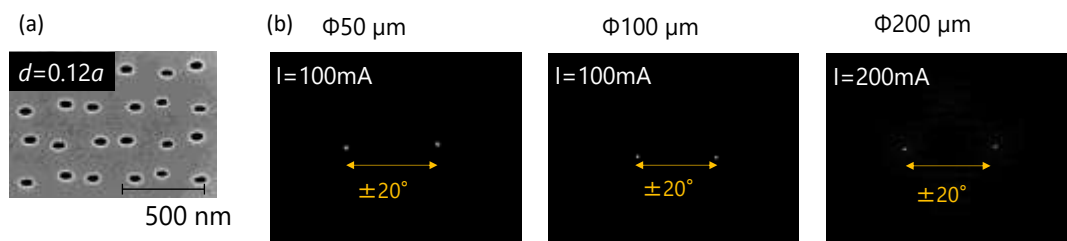


図 3: (a) 作製した楕円空孔フォトニック結晶レーザーの、フォトニック結晶構造の融着前の SEM 像 (b) 作製したデバイスからの遠視野像の測定結果。電極面積を 200 $\mu\text{m}\Phi$ まで拡大しても、単峰のビームが得られていることがわかる、

以上、安定な高出力動作の実現に向けた変調フォトニック結晶の本質的・体系的な理解の、重要な第一歩を踏み出すことが出来た。

上記の技術的な検討に加え、社会実装へ向けた素早い展開と、デバイス開発の方向性や仕様を明確にすることを意識し、CREST 研究開発期間中に得られる中間の成果物も活用した技術移

転や実用化に向けた先行的な展開の検討を開始した。現在、3次元センサへの変調フォトニック結晶レーザーの応用に関して、外部企業との連携の可能性の議論をすでに開始している段階にある。

Y. Tanaka, A. Nishigo, K. Kitamura, J. Gellea and S. Noda, “Modulated Photonic-Crystal Surface-Emitting Laser with Elliptical Lattice Points for Two-Dimensional Coupling Enhancement” (to be submitted).