## 連続駆動時のフォトニック結晶レーザーの自己無撞着動作解析(II)

Self-consistent operation analysis of PCSEL under continuous-wave condition (II) 京大院工, <sup>°</sup>勝野 峻平, 井上 卓也, 吉田 昌宏, De Zoysa Menaka, 石﨑 賢司, 野田 進 Kyoto Univ., <sup>°</sup>S. Katsuno, T. Inoue, M. Yoshida, M. De Zoysa, K. Ishizaki, S. Noda

E-mail: s.katsuno@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

[序]フォトニック結晶レーザー(PCSEL)は活性層近傍に設けた 2 次元フォトニック結晶のバンド端 共振効果を活用した大面積面発光半導体レーザーである. 我々は,これまで,PCSELの大面積・高 輝度動作に適した二重格子フォトニック結晶共振器を提案し[1],1mmΦの大面積デバイスにおいて, パルス駆動時に~650MWcm<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>の高輝度動作に成功している[2].前回,このような大面積 PCSEL の連続駆動時における電流注入による発熱分布や光子密度分布などを自己無撞着に解析する手法の 構築について報告した[3].今回,本解析手法を用いて,PCSELの連続駆動時の発振特性について解 析し,デバイス面内に生じる温度分布が発振モードに及ぼす影響について考察するとともに,その

ような温度分布の影響を補償可能な構造について検討したので報告する. (a) **[解析結果]** 自己無撞着解析を用いて,1mmΦ 二重格子 PCSEL の連続駆 動について、注入電流を変化させたときの温度分布と発振スペクトルを 計算した結果の一例を図 1(a), (b)に示す. 同図(a)のように, 注入電流の 増大に伴って、温度上昇およびデバイス面内での温度差が生じる.この ときの発振スペクトルから,9A以下ではバンド端Aでの単一の発振が得 られているが、それ以上の電流値では、短波長側にバンド端 B に起因す る複数のピークが現れる様子が見て取れる(図 1(b)). このような発振バン ド端の変化のメカニズムは、次のように理解できる。温度分布により屈 折率分布が生じることで、図2(a)に示すように、バンド端周波数に空間分 布が生じ,下に凸の形状となる.このため,バンド端Aに対して,中央 部分がフォトニックバンドギャップ(PBG)として働くことで,光子分布が 端部へ押し出され、中央部でキャリアが消費されにくくなる.一方で、バ ンド端 B に対しては、周囲が PBG として働き、面内に光が閉じ込めら れ、中央部に余ったキャリアにより利得が得られ、発振が誘起されたと 考えられる.また,バンド端Bは、キャリアとの相互作用により局所的<sup>(a)</sup> な不安定な発振が生じやすい特徴をもつため[4],図 1(b)に示したような 複数のピークが現れたと考えられる.

以上のように、デバイス面内に温度分布が生じることによって、バンド端Bでの不安定な発振が誘起される可能性が示唆された.連続駆動での高輝度動作のためには、温度上昇時においても、バンド端Aでの安定した発振を維持することが重要である.そこで、図2(b)に示すように、あらかじめ温度上昇時と逆向きのバンド端周波数分布を与え、温度上昇時に平坦化されることを狙った温度補償構造について検討した.フォトニック結晶空孔の大きさに意図的な面内分布を与えることで温度補償を導入し、その場合の解析結果の一例を図3に示す.同図より、注入電流の増大により温度分布が生じた場合においても、バンド端Aのみでの発振が維持されていることが分かる.さらに、遠視野像より、拡がり角は0.2°以下と狭く、高ビーム品質動作が期待出来ることが明らかとなった.光出力特性など、その他の解析結果も含め、詳細は当日報告する.[**謝辞**]本研究は戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の支援を受けた.[**文献**][1] M. Yoshida, *et al., Nat. Mater.* 18, 121 (2019), [2] 吉田他, 2019 年秋応物, 20a-E207-3, [3]勝野他, 2020 年春応物, 13p-PA7-9 (2020), [4] 井上他, 2017 秋応物, 6p-A405-9.



Position Position 図 2. 温度上昇時のバンド端周波数 の空間分布の変化の模式図. 温度補 償が(a)無い場合と(b)有る場合



図3. 温度補償構造を導入した場合の発振スペクトルと遠視野像 (15A時)の解析結果.