

フォトニック結晶レーザーの連続駆動時の面内温度分布および発振モードの解析

Analysis of temperature distribution and oscillation mode of PCSEL for continuous driving

京大院工, °(M1)和泉 孝紀, (D)吉田 昌宏, De Zoysa Menaka, 井上 卓也, 石崎 賢司, 野田 進

Kyoto Univ., °K. Izumi, M. Yoshida, M. De Zoysa, T. Inoue, K. Ishizaki, S. Noda

E-mail: koki-izumi@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@qoe.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型半導体レーザーである。我々は、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]、極最近、1mm Φ の大面積デバイスにおいて、650MWcm⁻²sr⁻¹の高輝度動作に成功している[2]。今回、このような大面積PCSELを連続駆動する際の熱解析を行うと共に、デバイスの面内温度分布および、それが発振モードに与える影響について解析を行ったので報告する。

[解析結果] 図1に示すように、PCSELはサブマウントを介して、治具へと実装することで放熱を行うことを想定している。PCSELの層構造を考慮しつつ、有限要素法により、熱解析を行った。ここで、治具裏面を冷却することで、裏面全体を一定温度に保てるものと仮定する。また、電流注入領域に対応した発熱源を活性層付近に設けている。一例として、発熱30W(=発熱密度3.8kW/cm²)を与えた場合に、中熱伝導、高熱伝導のサブマウントを想定して、活性層近傍の温度の解析した結果を図2に示す。同図より、中熱伝導のサブマウントの場合でも活性層近傍の温度は~55°C(温度上昇~35°C)以下に抑えられていることが分かる。また、当然のことながら、熱伝導率が高いサブマウントほど、放熱効果は高いことが見て取れる。次に、面内温度分布に着目すると、中央部ほど温度が高くなる分布が生じており、1mm Φ の中央と端での温度差 ΔT は中熱伝導および高熱伝導のサブマウントのときに、それぞれ、 $\Delta T \sim 9.6^\circ\text{C}$ 、 $\Delta T \sim 4.1^\circ\text{C}$ であった。このような温度分布は材料の屈折率変化を生じ、共振器であるフォトニック結晶の格子定数が実効的に変化するため、発振モードに影響を及ぼすことが予想される。そこで、図2の温度分布をフォトニック結晶共振器面内での屈折率の分布として導入し、発振モード(=キャリア効果をも含む共振モード)解析を行った。図3に $I=3I_{th}$ 時の発振モード(バンド端A)の光子密度分布とその断面図を示す(温度分布が無い場合も参考のために示す)。なお、光子密度分布は最大値で規格化している。同図のように、面内温度分布が大きいほど、中央部の光子密度が減少している様子が分かる。これは、屈折率の変化がバンド端周波数の変化を起し、発振モードに対して中央部がバンドギャップとして働いたためと考えられる。発熱量や注入電流が異なる場合の解析など、詳細は当日報告する。[謝辞] 本研究の一部は、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)、NEDO 高輝度・高効率次世代レーザー技術開発の支援を受けた。[文献] [1] M. Yoshida, et al., Nat. Mater. **18**, 121 (2019), [2] 吉田他, 本応物。

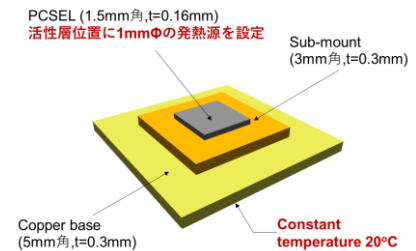


図1: 熱解析に用いたモデル。

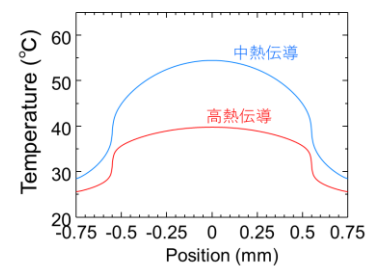


図2: 発熱30W時の活性層近傍の温度。

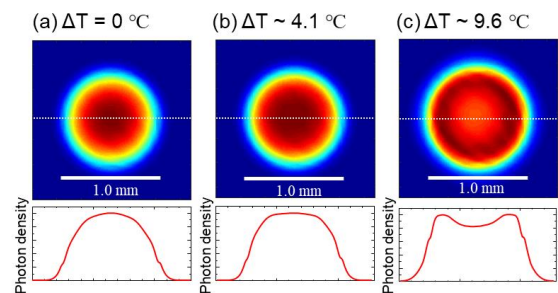


図3: (a) 温度分布が無い場合と (b) 高熱伝導, (c) 中熱伝導のサブマウントの場合の温度分布(発熱30W時)を想定したときの発振モードの光子密度分布。

最大値で規格化している。同図のように、面内温度分布が大きいほど、中央部の光子密度が減少している様子が分かる。これは、屈折率の変化がバンド端周波数の変化を起し、発振モードに対して中央部がバンドギャップとして働いたためと考えられる。発熱量や注入電流が異なる場合の解析など、詳細は当日報告する。[謝辞] 本研究の一部は、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)、NEDO 高輝度・高効率次世代レーザー技術開発の支援を受けた。[文献] [1] M. Yoshida, et al., Nat. Mater. **18**, 121 (2019), [2] 吉田他, 本応物。