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

Self-consistent operation analysis of PCSEL under continuous-wave condition

京大院工,[。]勝野 峻平,井上 卓也,吉田 昌宏,De Zoysa Menaka,石崎 賢司,野田 進

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

E-mail: s.katsuno@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@qoe.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, 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 650MWcm²sr¹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の連 続駆動時における電流注入による発熱分布および光子分布の変化を自己無撞着に解析する手法を 構築したので報告する.

[解析手法] 以下,連続駆動 PCSEL の解析手法について説明する.

- 初期温度分布 T(r) に対して,屈折率・利得の温度依存性を考慮して,時間依存3次元結合波 理論[3]により,PCSEL面内のキャリア密度分布 N(r) および光エネルギー密度分布 U(r) を 計算する.
- ② 発熱密度分布 P(r) を次式により計算する.

 $P(\mathbf{r}) = (V_{\text{ext}} - \hbar\omega/e) \times J(\mathbf{r}) + \hbar\omega N(\mathbf{r})/\tau_{\text{c}} + \alpha_{0}U(\mathbf{r})$ ただし、第1項は印加電圧 V_{ext} による静電ポテンシャルと光子エネル ギーの差に起因する発熱、第2項は活性層のキャリアの再結合による 発熱、第3項はレーザー光の内部吸収による発熱を表す.

 ③ ②で計算した発熱密度分布 P(r) を用いて定常状態の温度分布 T_{final}(r) を計算し,現在の温度分布 T(r) を T_{final}(r) に向けて,緩和 振動周期よりも十分長い時定数 τ_T で変化させる.

$$T_{\text{final}}(\mathbf{r}) = \int_{\Re m_0} P(\mathbf{r}_0) f(\mathbf{r} - \mathbf{r}_0) d\mathbf{r}_0$$

 $dT(\mathbf{r})/dt = -[T(\mathbf{r}) - T_{\text{final}}(\mathbf{r})]/\tau_T$

ただし, *f*(*r*) は点熱源に対する定常温度分布であり, 3 次元ポアソン 方程式のグリーン関数である分数関数 *C*/|*r*| で近似することができ る[4].

④ 温度分布 T(r) の変化に伴う屈折率・利得分布の変化を考慮してキャリ ア密度分布 N(r) および光エネルギー密度分布 U(r) の再計算を行 い,自己無撞着な解が得られるまで①から③を繰り返す.

[解析結果] 1mm の二重格子 PCSEL[2]の連続駆動に関して,注入電流を変

化させたときの温度分布・光出力および発振スペクトルを解析した結果の一例を Fig.1 ~ Fig.3 に 示す.ただし,発熱分布の計算においては作製光源の電流電圧特性を考慮し,温度分布の計算で は実際の動作時の放熱特性を想定して,分数関数 *f*(*r*)の係数 *C*を設定した.Fig.1 および Fig.2 より,中央温度が約 40℃ (電流 14A)まで上昇すると光出力の増加が少しずつ鈍り始めることがわ かる.一方,Fig.3 のスペクトルは,本 PCSEL は連続駆動時もほぼ単一モード発振を維持可能な ことを示唆しており,その波長が温度上昇による屈折率変化で徐々に長波長に移動することがわ かる.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]T. Inoue, *et al, Phys. Rev. B* 99, 035038 (2019), [4] G. Baffou, *et al., ACS Nano.* 2452-2458 (2012).

