

3mmΦ大面積フォトニック結晶レーザーの電気的特性の解析と電極構造設計

Analysis of electric characteristic of 3mmΦ large-area PCSELS and design of optimal structure

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

Kyoto Univ., [○]K. Izumi, M. Yoshida, S. Katsuno, M. De Zoysa, T. Inoue, K. Ishizaki and S. Noda

E-mail: koki-izumi@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特異点(Γ 点)における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。これまで、PCSEL の高輝度動作の実現に向けて、3 mmΦ の大面積 PCSEL を作製し、室温パルス動作において、閾値の僅か 6 倍程度の電流注入で、150 W を超える高ピーク出力かつ、0.1° (FWHM)以下の狭ビーム発散角動作に成功している[1]。また、このような大面積 PCSEL のさらなる高輝度化のために 2 重格子フォトニック結晶[2]の深化・最適化を進めており[3]、作製した 3 mmΦ フォトニック結晶共振器において、高輝度動作が期待される 2 重格子フォトニック結晶構造が実際に形成出来ていることを示唆する結果をも得ている[4]。今後、このようなフォトニック結晶を導入した大面積 PCSEL において高輝度動作を実現するためには、望まれる利得分布と温度分布を実現可能な電流分布を実現することが重要となる。そこで今回、大面積デバイスの 3 次元構造を考慮した電気特性の解析手法を検討し、実験結果と良く一致する結果を得ることが出来、望む電流分布を得るための電極構造設計が可能な段階まで来たので報告する。

[解析手法] 半導体デバイスの電気特性解析手法としては、Poisson 方程式と輸送方程式を自己無撞着的に解く方法がよく知られている。しかし、この手法を 3 次元構造の解析に適用すると、収束性が悪く、特に今回のような大面積かつ複雑な電極構造を有するデバイスの解析に適用するのは困難である。そこで、活性層 (p-n 接合) 近傍の非線形な電流密度

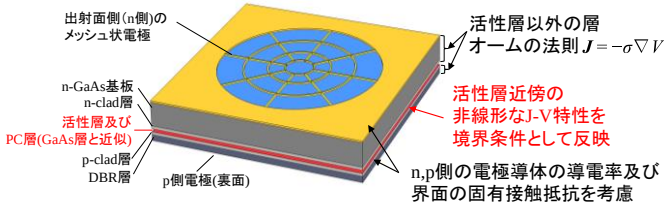


図 1. 検討した電気特性解析手法の概略図

ー電圧特性(J-V 特性)を境界条件として与え、その他の層を抵抗体と近似して扱う解析手法を検討した(図 1)。なお、この解析に必要な活性層の J-V 特性は、まず面内方向に無限の大きさをもつ一様な活性層について、Poisson 方程式と輸送方程式を用いた解析を行っておき、その結果を用いることとした。

[解析結果] 上記の解析手法を用いて、出射面側(n-GaAs 基板側)に、文献[1]に類似のメッシュ電極構造を導入した 3mmΦ PCSEL の電気特性を解析した結果の一例を図 2 に示す。また、実際のデバイスの電流-電圧特性(I-V 特性)および、自然放出時の近視野像の発光強度分布の実験結果も合わせて示す。なお、同図(b)の実験の近視野像において、発光領域内で強度が急峻に低くなっている箇所は、電極による遮蔽の影響である。図 2(a)より、I-V 特性について解析と実験が良く一致していることが分かる。さらに、自然放出時の近視野像の発光強度分布が、活性層への電流注入分布を反映していると考えられるため、図 2(b)より、電流密度分布の解析結果も実験結果を良く再現していることが分かる。本手法は、大面積 PCSEL における電流注入分布の最適化のための電極構造設計に利用可能であり、実際すでに、狙いとする電流分布を可能とする電極構造の設計にも成功しつつある。設計した電極構造の電気的特性や、ビーム品質に与える影響等を含め、詳細は当日報告する。

[謝辞] 本研究の一部は、SIP のもとで行われた。**[文献]** [1] 和泉他, 2020 年秋応物, 10p-Z18-5. [2] M.Yoshida, *et al.*, *Nat. Mater.* **18**, 121 (2019). [3] 井上他, 2021 年春応物, 17p-Z31-7. [4] 和泉他, 2021 年秋応物, 12p-N321-14.

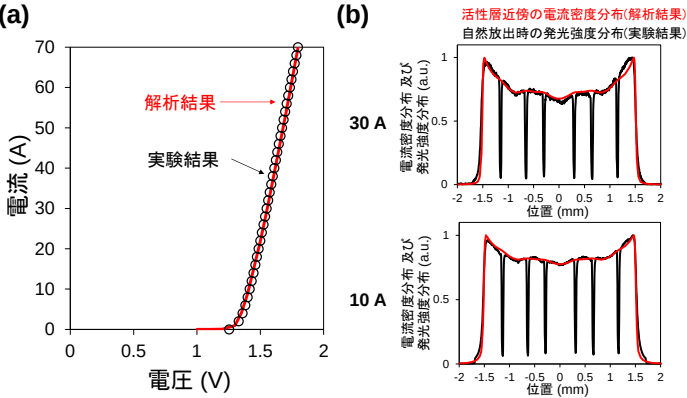


図 2. (a) 3mmΦPCSEL の I-V 特性の実験結果と解析結果の比較 (b) 10, 30 A 注入時の近視野像の発光強度分布 (実験結果)と活性層近傍の電流密度分布 (解析結果)の比較