

面内ヘテロ構造を導入したフォトニック結晶レーザー (PCSEL) の解析

Analysis on photonic-crystal surface-emitting lasers introducing in-plane hetero-structures

京大院工, °井上卓也, 吉田昌宏, 田中良典, De Zoysa Menaka, 石崎賢司, 野田進

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

E-mail: t_inoue@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)¹⁾は、2次元フォトニック結晶の大面积バンド端共振作用を利用した半導体レーザーである。我々は、最近、二重格子フォトニック結晶構造の導入により、高ビーム品質(ビーム拡がり角 $\sim 0.3^\circ$)を維持しつつ10 W級の高出力動作に成功した²⁾。また、PCSELのさらなる高輝度化に向けて、電流注入による屈折率・ゲイン変化を考慮したPCSELの解析手法を確立している³⁾。今回、高電流注入時の屈折率変化の影響を補償するべく、共振器の活性部と端部の屈折率に差を設けた面内ヘテロ構造の導入を行い、高電流注入時($\sim 30\text{A}$)においても単一モード発振と極めて狭いビーム拡がり角($< 0.2^\circ$)を維持可能なことを報告する。

【原理】 高電流注入時において、共振器活性部(電極部)は、共振器端部よりもキャリア密度が増大し屈折率が低下する。このとき、Fig. 1(a)に示すように、活性部のバンド端周波数は端部と比較して上昇し、発振周波数 f_L において端部がバンドギャップ(PBG)として働くため、基本モードと高次モードの閾値利得差が減少し、多モード発振が生じ得る。上記のPBG効果を無くするため、

中央部の屈折率を端部よりも増大(=バンド端周波数を減少)させる面内ヘテロ構造(pop-down)を導入する[Fig. 1(b)]。このとき、電流注入時のバンド端周波数が一様となり、基本モードと高次モードの閾値利得差が維持されるため、単一モード発振可能と考えられる。

【解析結果】 埋め込み再成長法により作製した二重格子フォトニック結晶を有するPCSEL構造(電極 $\phi 500\ \mu\text{m}$)^{2,4)}において、面内ヘテロ構造の有無による発振スペクトルの変化を解析した結果をFig. 2に示す。ヘテロ構造を導入しない場合(a)は、電流の増加とともに発振モードが多モード化するのに対し、ヘテロ構造を導入した場合(屈折率変調量0.05%)は、注入電流30 Aでも単一モード発振が維持される。注入電流30 Aでの両構造の遠視野像の計算結果をFig. 3に示す。高電流注入時もビーム拡がり角(θ_{1/e^2}) 0.2° 以下の高ビーム品質動作が実現可能であると期待される。なお、上記とは逆に、中央部のバンド端周波数を増加させる設計

(pop-up)とすれば、PBGによる光閉じ込めが強まるため、極微小領域($< 10\ \mu\text{m}$)で発振するPCSELも実現可能と期待される。これらを含めた様々な面内ヘテロ構造の効果は当日報告する。

【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)および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. Imada et al., Appl. Phys. Lett. **75**, 316 (1999). 2) M. Yoshida et al., Nat. Mater. (2019). 3) 井上他, 2017年春応物 15a-E205-6. 4) 吉田他, 本応物.

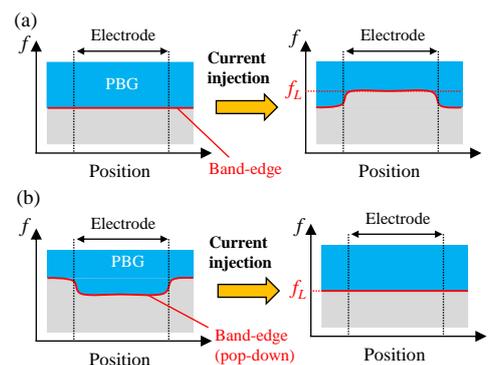


Fig.1. Band-edge frequency change by current injection in PCSELs without (a) and with (b) an in-plane hetero-structure.

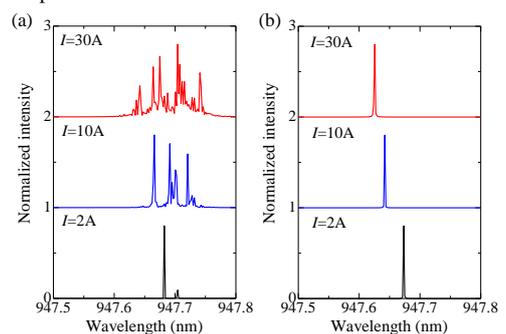


Fig.2. Calculated lasing spectra of PCSELs without (a) and with (b) an in-plane hetero-structure.

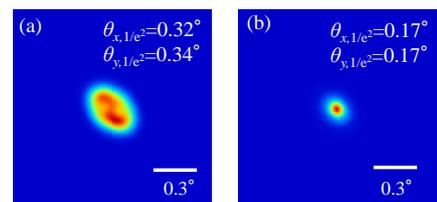


Fig.3. Calculated far-field beam pattern at $I=30\text{A}$ without (a) and with (b) an in-plane hetero-structure.