

光子・光子共鳴に基づくフォトニック結晶レーザーの 直接変調帯域の広帯域化

Extension of direct modulation bandwidth of photonic-crystal lasers based on photon-photon resonance

京大院工 °森田遼平, 井上卓也, 仲野秀栄, De Zoysa Menaka, 石崎賢司, 野田進

Kyoto Univ. °R. Morita, T. Inoue, S. Nakano, M. De Zoysa, K. Ishizaki, S. Noda

E-mail: moritar@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、2次元フォトニック結晶の特異点 (Γ 点) における共振作用をレーザー共振器として用いた面発光型の半導体レーザーである¹⁾。PCSEL は、大面積でコヒーレントなレーザー発振が可能のため、従来の半導体レーザーに比べて高出力(>W)・高ビーム品質動作が実現可能である。この特長をそのままに、高速 (>GHz) な直接変調動作が可能となれば、衛星間通信を含む様々な自由空間光通信への展開が期待される²⁾。今回、PCSEL の変調帯域の広帯域化のために、光子・光子共鳴 (Photon-Photon Resonance : PPR)³⁾の原理を利用した新たなデバイス構造を考案し、変調帯域が増大することを数値計算により見出したので報告する。

[構造] 考案した PCSEL の構造例を Fig. 1(a)に示す。本構造では、フォトニック結晶共振器を格子定数の異なる2つの領域に分割する。このとき Fig. 1 (b)(c)に示すように、格子定数差 Δa により生じるモードギャップの差に起因して、基本モードの電界分布と高次モードの分布が異なるようになる。両方の領域にそれぞれバイアス電流を注入した状態で、高周波側の領域のみを変調させると、基本モードと高次モード間での結合がわずかに誘起され、その結果、両モードの共振周波数差付近で PPR が生じ、変調度が向上することが期待される。

[解析] 格子定数差を $\Delta a = 1.5 \times 10^{-4} a$ ($a = 276 \text{ nm}$) として、各領域にバイアス電流 $I_A = I_B = 1.0 \text{ A}$ を注入した状態で、高周波数側の領域へ振幅 $I_{\text{mod}} = 0.1 \text{ A}$ の正弦波信号を重畳した場合の周波数応答特性を Fig. 2 (a)に示す。同図の黒線に、通常の PCSEL (利得領域一辺 $300 \mu\text{m}$) の周波数応答特性を示しているが、それと比較すると、緩和振動に由来する共振ピークの高周波側 ($\sim 17.5 \text{ GHz}$) に、PPR による新たな共振ピークが生じており、3 dB 帯域幅が 9.0 GHz から 19.5 GHz へ大幅に向上することが確認できる。また、各領域に注入する電流 I_A, I_B の比を変化させることで、Fig. 2 (b)に示すように、PPR の共振ピーク周波数を制御出来ることも明らかとなった。これは、注入電流の比率によって各モードの電界分布の偏りが変化し、それに伴い2つのモードの共振周波数差が変化するためと考えられる。詳細は当日報告する。

[謝辞] 議論頂いた KDDI 総合研究所の石村、西村、高橋、釣谷、鈴木 (敬称略) の各位に感謝する。本研究の一部は科研費 (20H02655, 22H04915) の支援を受けた。

[文献] 1) M. Yoshida et al., *Nat. Mater.* **18**, 121 (2019). 2) S. Ishimura et al., *Proc. Eur. Conf. Opt. Commun.* 2022, Paper Th3A.7 PDP (2022). 3) O. Kjebon et al., *Electron. Lett.* **33**, 488 (1997).

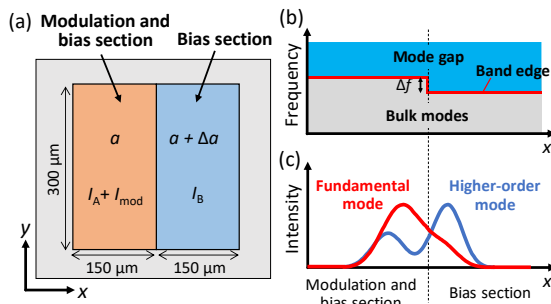


Fig. 1. (a) Schematic of the proposed photonic-crystal laser for photon-photon resonance. (b) Band-edge frequency distribution. (c) Schematic of photon-density distribution.

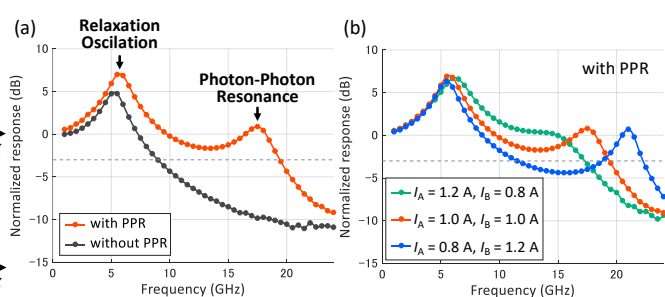


Fig. 2. (a) Calculated small-signal frequency responses of the PCSEL without and with PPR. (b) Calculated small-signal frequency responses of the PCSEL with PPR when the ratio of bias currents (I_A/I_B) are changed. The normalized response of -3dB is shown with a dashed gray line.