

フォトニック結晶レーザにおける空間ホールバーニング現象の理論解析

Theoretical analysis of spatial hole-burning in Photonic-Crystal Surface-Emitting Lasers

京大院工¹、ACCEL JST² ○北川 均^{1,2}、梁 永^{1,2}、中川 翔太^{1,2}、J. Gelleta^{1,2}、野田 進^{1,2}
Kyoto Univ. ○H. Kitagawa^{1,2}、Y. Liang^{1,2}、S. Nakagawa^{1,2}、J. Gelleta^{1,2} and S. Noda^{1,2}
kitagawa@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

【序】我々はこれまでに、フォトニック結晶レーザ(PCSEL)において、発光面積 $200\mu\text{m}$ 角、CW駆動で光出力 1.5W (単一モード出力 0.5W) を達成している¹⁾。このPCSELは、3次元結合波理論²⁾を用いることで、モード選択性や、上方回折効果や空間分布をもつ利得分布を与えた場合のモード選択性に関する解析³⁾が可能である。今回、さらなる単一モード高出力化を目指すため、レーザ閾値以上の高電流注入時に発生する空間ホールバーニング(SHB)の影響を取り入れた3次元結合波理論の拡張を行ったので報告する。【解析手法】レーザの出力が増すとフォトン密度の空間分布の影響を受けキャリア密度の空間分布も変化(SHB効果)し、基本モードと高次モードとの閾値利得差が小さくなり単一モード動作が不安定化する。このSHBの影響を、空間的な利得分布に対応させることにより、下記の式(1),(2),(3)のように結合波方程式を書くことができる。ここで R_x, S_x, R_y, S_y は結合波振幅、 $\delta, \alpha, \mathbf{I}$ はそれぞれ波数 $2\pi/a$ (a はフォトニック結晶の格子定数)からの波数離調、実効閾値利得、単位行列を表し、 \mathbf{C} は回折効果を表す行列であり、面内1次元、2次元回折および面外への放射の項を含んでいる。また $\Delta g(x,y)$ は均一ポンピング利得からの差分利得($\bar{\Delta g}$ はその空間平均)を表す。この $\Delta g(x,y)$ は不均一ポンピング項 ($\Delta g^{(0)}(x,y)$)³⁾とSHB項 ($\Delta g^{(SHB)}(x,y)$)の和で表される。 $P(x,y)$ は共振器内のフォトン密度分布を表し、 P_s^{-1} はSHB効果の強さを表すパラメータ(P_s はSHBが顕在化するフォトン密度)である。【結果】上記の理論を用い、 $\Delta g^{(0)}(x,y)=0$ (均一ポンピング)の条件下で計算した発光面積 $200\mu\text{m}$ 角のPCSELの基本モードと(一次の)高次モードとの実効利得差 $\Delta\alpha$ を、出力パワーを横軸にとりFig.1に示す。 $\Delta\alpha=0$ が安定モードの変化する点を表す。 $P_s^{-1}=1.3\times 10^{-16}\text{cm}^3$ を用いた場合がCW駆動における単一モード駆動の結果と一致する。なお、上記の解析では、キャリア密度変化(及び温度変化)による屈折率変化の影響を考慮していないため、これらの影響が P_s^{-1} に丸め込まれている可能性がある。また、不均一ポンピングの効果を取り込んで、自己無撞着的に解析したところ、SHBが存在しても、単一モードで 10W 以上の動作も可能となることが示唆される。詳細は当日報告する。【謝辞】本研究の一部は、ACCEL JSTならびに文科省光拠点の援助を受けた。【文献】1) K. Hirose, *et al.*, *Nat. Photon.* **8**, 406 (2014). 2) Y. Liang, *et al.*, *Opt. Express* **20**, 15945 (2012). 3) 北川, 他, 2014年秋応物17p-PA2-3.

$$(\delta + i\alpha) \begin{bmatrix} R_x \\ S_x \\ R_y \\ S_y \end{bmatrix} = (\mathbf{C} - i(\Delta g(x,y) - \overline{\Delta g(x,y)})\mathbf{I}) \begin{bmatrix} R_x \\ S_x \\ R_y \\ S_y \end{bmatrix} + i \begin{bmatrix} \partial_x R_x \\ -\partial_x S_x \\ \partial_y R_y \\ -\partial_y S_y \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\Delta g(x,y) = \Delta g^{(0)}(x,y) + \Delta g^{(SHB)}(x,y) \quad (2)$$

$$\Delta g^{(SHB)}(x,y) = -\frac{[\alpha + \Delta g^{(0)}(x,y) - \overline{\Delta g^{(0)}(x,y)}]P_s^{-1}P(x,y)}{1 + P_s^{-1}P(x,y)} \quad (3)$$

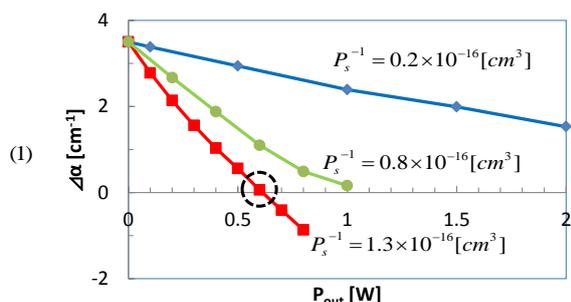


Fig.1: 出力と基本モード、(一次の)高次モード間の実効利得差