微小円孔で構成された GaInAsP 蜂の巣構造型 フォトニック結晶レーザにおける pH 感度増大

Enhanced pH Sensitivity of GaInAsP Honeycomb Structure Photonic Crystal Laser Composed of Small Airholes

横国大院工　°渡邊　敬介，馬場　俊彦
Yokohama Nat'l Univ., °Keisuke Watanabe, Toshihiko Baba
E-mail: watanabe-keisuke-zx@ynu.jp

GaInAsP 半導体は溶液中でイオン感応性を表し，表面電荷に応じて表面再結合が増減することで，発光強度が変化する[1,2]．この特性を利用して，これまでに GaInAsP フォトニック結晶 (PC) ナノレーザを用いた DNA 検出[1]や，精神神経疾患関連バイオマーカタンパク質 CRMP2 の簡易な検出[3]を実証してきた．前回，表面積体積比 (SVR) が大きなデバイス構造を，表面再結合比率が大きくなる低キャリア密度 (=低励起条件) で動作させることで，表面電荷に対する高感度が期待できることを示し，図 1(a)のような微小円孔で構成された蜂の巣構造型 PC スラブの PL 強度において pH 感度の増大を確認した[4]．今回，この構造を初期構造としたバンドエッジレーザついて焦点を当て，さらなる pH 感度の増大を試みたので報告する．

円孔ピッチ a' = 450 nm の上記のレーザをしきい値パワー付近で動作させ，溶液の pH を変えて発振強度変化をリアルタイム測定した．図 1(b)にその結果を示す．このとき，pH 感度$|S_{pH}|$は 2.0 dB/pH，強度揺らぎ (3σ) は 0.092 dB であり，これらの比をとった SN 比は 22 /pH となった．この値は，前回報告した PL における 18 /pH と同程度の値であったものの，pH が 2 から 11 の変化で強度は約 20 dB 変化し，大きなシグナル増大が得られた．次に，レーザ発振における pH 感度を，キャリア密度とフォトン密度に対するレート方程式から理論計算した．結果を図 1(c)に示す．ここでは，自由キャリア吸収や水の吸収による損失を考慮した Q 値を変え，しきい値 P_{th} で規格化した励起強度 P_{in} をパラメータとした．そして pH の変化に伴う表面再結合速度の変化に関する過去の評価結果から，pH 感度を算出した．Q 値の増大に伴って pH 感度は増大し，特に Q = 2000~20,000 で感度が増大した．また P_{in} を P_{th} の近くに設定するほど，感度が増大した．したがって，レーザ発振時においては SVR の増大に加え，低励起パワーと Q 値の増大がイオン感応性の向上に寄与する．

本研究は科研費基盤(S)#16H06334 の援助を得て行われた．

参考文献 1) K. Watanabe et al., Appl. Phys. Lett., **106**, 021106 (2015). 2) M. Sakemoto et al., Opt. Express, **24**, 11232 (2016). 3) K. Watanabe et al., Biosens. Bioelectron., **117**, 161 (2018). 4) 渡邊他，春季応物，20p-C301-3, 2018.

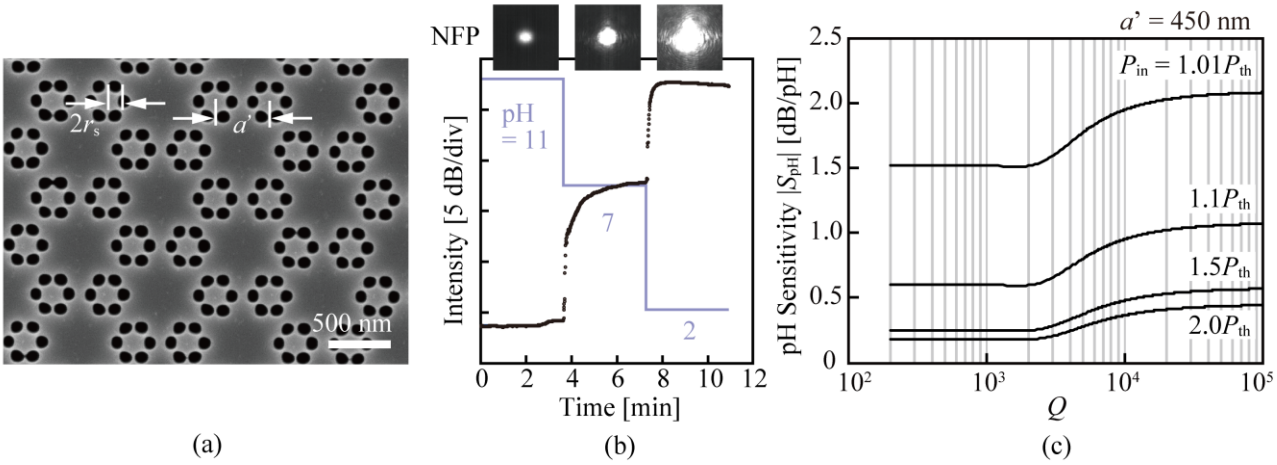

図 1 微小円孔で構成された GaInAsP 蜂の巣構造型 PC レーザ．(a) 製作したデバイス．(b) 異なる pH 溶液を注入したときの発振強度変化と発光近視野像 (NFP)．a' = 450 nm, $2r_s/a'$ = 0.22．(c) Q 値に対する pH 感度の計算結果．