

フォトニック結晶ナノレーザバイオセンサにおける デバイ遮蔽効果の検証

Verification of Debye Screening Effect in Photonic Crystal Nanolaser Bio-Sensors

横国大・院工, °渡部工, 渡邊敬介, 羽中田祥司, 高橋大智, 西島喜明, 馬場俊彦

Yokohama Nat'l Univ., °T. Watanabe, K. Watanabe, S. Hachuda, D. Takahashi, Y. Nishijima and T. Baba

E-mail: watanabe-takumi-dk@ynu.jp

高精度なバイオマーカー検査など, 医療・バイオ応用に向けて, 様々なフォトニックセンサが研究されている. 我々は GaInAsP フォトニック結晶ナノレーザセンサを提案し¹⁾, タンパク質の高感度検出を実証してきた²⁾. また, 原子層堆積法 (Atomic Layer Deposition: ALD) によりナノレーザに厚さ数 nm の ZrO_2 を被膜することで, 電気・化学的に安定な表面を形成してきた³⁾. ALD により GaInAsP の化学変化が抑制されたことで, 血中などの高い塩濃度環境でも測定が可能になった. しかし, 溶液の塩濃度を変えるとセンシング特性が大きく変化することが観測された. 前回, アルツハイマー病の因子の一つと考えられる CRMP2 を細胞強制発現させ, それを PBS バッファー中で検出したが, その際も, PBS バッファーを水で希釈した方が検出感度が向上した⁴⁾. 今回は Fig. 1 に示すように, ビオチン-streptavidin (SA) 結合モデルを用いて, SA 吸着によるナノレーザの波長シフト量に対する塩の影響を考察した.

Fig. 2 はデバイス表面にビオチンを修飾し, 様々な濃度の塩 (KCl) と $1 \mu\text{M}$ の SA を含む試料液を浸漬したときの波長シフト量を表している. KCl が 10^{-4} M のとき波長シフト量が最大になり, それより低濃度でも高濃度でも急激にシフト量が落ち込む. この原因には Fig. 3 のようなメカニズムが考えられる. ZrO_2 の等電点はほぼ 7 なので, 水中で負に帯電している. 塩濃度が低いとカウンターイオンの数が少なく, 表面近くの静電ポテンシャルの影響がファンデルワールス力が働く距離よりも遠方に及ぶため, 同じく負に帯電した SA の吸着が阻害される. 一方, 塩濃度が高いと, 多数のカウンターイオンによりポテンシャルの距離が短くなり, 吸着は阻害されない反面, 表面にイオンが密集して局所的に屈折率が上昇し, SA 吸着による屈折率変化のシグナルが相対的に小さくなる. よって, 両者の影響が釣り合った濃度で波長シフト量が最大となる. 以上の実験と理論より, ナノレーザのような屈折率センサにおいても, FET センサに見られるようなデバイ遮蔽効果の影響が生じることが示唆された. 本研究は文科省科研費基盤(S)の援助を得て行われた.

参考文献 1) S. Kita et al., Opt. Express, **97**, 161108 (2011). 2) S. Hachuda et al., Opt. Express, **21** (2013) 12815. 3) K. Watanabe, et al., CLEO-PR & OECC/PS (2013) TuJ2-2, 2013. 4) 磯野ら, 応物春季講演会 (2014) 19p-E15-10.

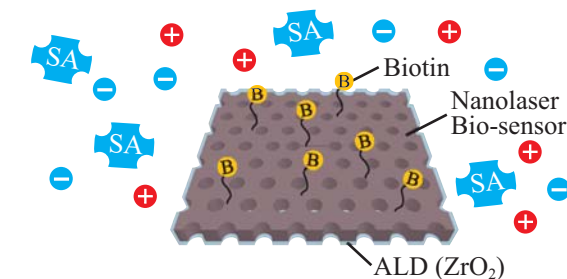


Fig. 1. Schematic of SA sensing with photonic crystal nanolaser bio-sensor in salt solution.

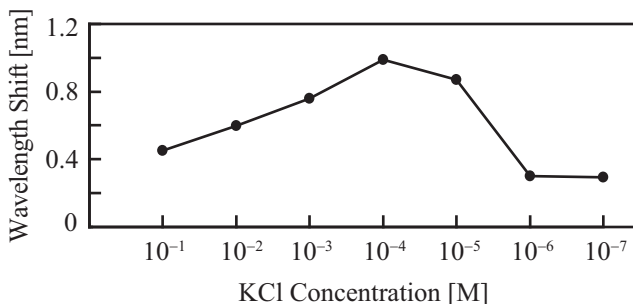


Fig. 2. Salt concentration dependence of wavelength shift in biotin-SA ($1 \mu\text{M}$) binding.

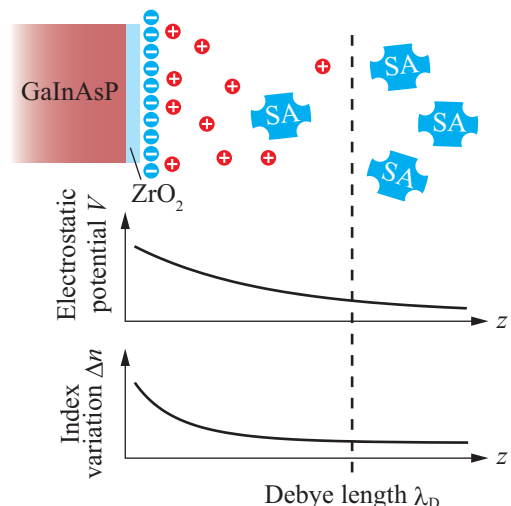


Fig. 3. Mechanism of Debye screening effect on photonic crystal nanolaser bio-sensor with ZrO_2 ALD coating.