

WGM 微小共振器を用いた水中イオン含有率評価 Ion-concentration measurement in water using a WGM microcavity

慶應義塾大学, °西村治郎¹, 田邊孝純¹

Keio Univ.¹, °Jiro Nishimura¹, Takasumi Tanabe¹

E-mail: takasumi@elec.keio.ac.jp

Whispering-gallery mode(WGM)共振器は表面に粒子が付着すると誘電率が変化し共振波長がシフトするので、小型、高感度という特徴を有するラベルフリーセンサーとして用いることができ[1], 5 aM の極低濃度のタンパク質の検出に成功した例も報告されている[2]. 前回行われた春の応物では、シリカ微小球共振器を用いて超純水の汚染評価を試みた。超純水、市水の場合でシフト量の違いは観測されたものの精度上の問題を残していた。今回我々はシリカトロイド共振器を用いることで、波長シフト量に高い再現性を得たと同時に、シリカ微小球共振器を用いた際に高い精度が得られなかった原因を明らかにしたので報告する。

Fig. 1(a), (b) はそれぞれシリカ微小球共振器, シリカトロイド共振器の透過スペクトルを示しており, シリカ微小球共振器の場合トロイド共振器に比べて非常に多くの共振モードが励振されていることがわかる。これはシリカ微小球共振器では方位角のモードが多く励振されることに起因する。しかし, 異なる共振モードにおいては共振器の壁側外への光の染み出し(エバネッセント波)の量が異なり, 波長シフト量も各モードで異なるため, 共振モードの多い微小球共振器では実験的に波長シフト量に再現性を得るのは困難である。

以上のような理由から共振モードの少ないシリカトロイド共振器を用いたところ Fig. 2 を得た。Fig. 2 はシリカトロイド共振器に超純水, 0.025 M, 0.05 M の NaCl aq を浸した後の共振波長シフト量を示している。横軸は共振器の半径の逆数を取っており, 縦軸はシフト量を示している。図より明らかなように NaCl の濃度が高い程, また共振器の半径が小さい程, 共振波長が大きくシフトしており, 比例の関係を示している。これは理論式[1]

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\alpha_{ex}\sigma}{\epsilon_0(n_s^2 - n_0^2)R_0} \quad (1)$$

と合致しており, 今回の実験結果が妥当であることを意味している。Fig.2 において共振器の半径を 36 μm とし NaCl の濃度を横軸に, 共振波長シフト量を縦軸にとった場合の結果を Fig. 3 に示す。こちらの結果も理論式(1)に示されるように NaCl の濃度と共振波長シフト量が比例する結果を得た。Fig. 3 より検出限界を計算したところ潜在的に 1.2 mM まで検出可能で, 必要な最小サンプル量が 0.1 nL であることがわかり, 微小光共振器を用いることで小型かつ高感度なセンサーを作製できることが示せた。

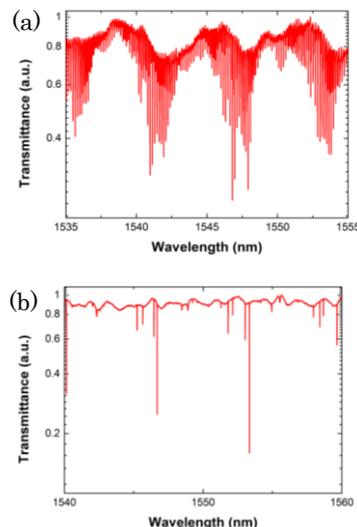


Fig. 1: Transmittance spectra of a silica microsphere (a) and a silica toroid cavity (b).

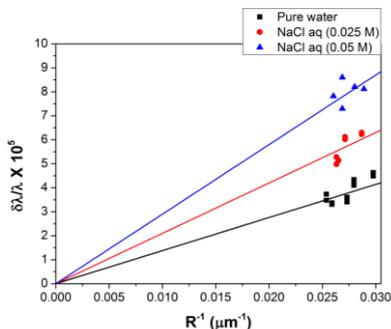


Fig. 2: Black, red and blue dots are results for pure water, water with 0.025 M and 0.05 M NaCl respectively. Horizontal axis represents the inverse of the cavity radius and vertical axis represents wavelength shift.

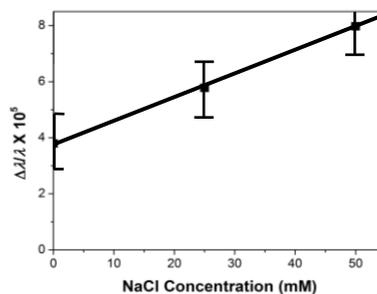


Fig. 3: wavelength shift with different NaCl concentration for a cavity with radius of 36 μm .

[1] F. Vollmer and S. Arnold, Nature Method, **5**, 591 (2008).

[2] A. M. Armani, R. P. Kulkarni, S. E. Fraser, R. C. Flagan, and K. J. Vahala, Science, **317**, 783 (2007).