

刺激応答性ハイドロゲルからなる誘電体共振器による生体成分濃度定量手法の検討

Quantitative analysis of biological species by responsive-hydrogel-based dielectric resonators

日本電信電話株式会社 NTT 先端集積デバイス研究所¹, NTT 物性科学基礎研究所²

○池田 あゆみ¹, 中村 昌人¹, 高橋 陸², 田島 卓郎¹, 林 勝義¹

NTT Device Technology Labs.¹, NTT Basic Research Labs.², NTT Corporation

○Ayumi Ikeda, Masahito Nakamura, Riku Takahashi, Takuro Tajima, Katsuyoshi Hayashi

【序論】

近年、在宅医療や個別化医療の発展にむけ、生体成分の簡易かつ迅速な定量分析は重要性を増している。マイクロ波を用いたセンシングは非破壊的な測定が可能であることから生体成分分析への応用について報告されているが、生理学的な濃度範囲での測定に向けた高感度化が課題である^[1,2]。本稿では、刺激応答性ハイドロゲルからなるマイクロ波帯誘電体共振器を用いた高感度な成分濃度測定手法を提案し、グルコースを対象として定量性を評価したので報告する。

【提案手法・原理検証】

刺激応答性ハイドロゲルは特定の分子との相互作用によりその形状や電気、機械特性が変化するという性質を持つ^[3]。定常状態においてゲルの誘電率は一樣であるため、円筒状のゲルは式(1)に示される TEM_{01δ} モードの共振が生じる誘電体共振器とみなすことができる^[4]。

$$f_{TM_{01\delta}} = \frac{c \sqrt{3.83^2 + \left(\frac{\pi r}{2h}\right)^2}}{2\pi r \sqrt{\epsilon_r + 2}} \quad \dots(1)$$

ここで r, h, ϵ_r はそれぞれゲルの半径、高さ、比誘電率である。ゲル内部の分子濃度が変化したとき、濃度変化に応じてゲルの形状および誘電率の変化が生じ、複数の特性変化に起因する共振周波数のシフトが生じる。

本手法の原理検証のため、グルコース認識能を有するフェニルボロン酸を含んだアクリルアミドゲルからなる誘電体共振器を作製した。0~1800 mg/dl の範囲で変化させたグルコース水溶液に作製したゲルを浸漬させ刺激応答を生じさせた。その後、ベクトルネットワークアナライザ(VNA)(N5245A, Keysight)に接続された同軸プローブ(High temperature probe, Keysight)に設置し、

反射係数 S_{11} を測定した。

【結果・考察】

S_{11} の実測値と電磁界解析の結果の一例を Fig.1(a)に示す。6.7 GHz 付近のなだらかなピークは電磁界解析の結果より共振に由来するものであると考えられ、実測でも解析とよく一致する結果が得られた。次に、グルコース濃度を变化させたときのピーク周波数の変化を Fig.1(b)に示す。グルコース濃度の上昇に伴い、共振周波数が高周波側へとシフトしていることがわかる。これは誘電体共振器の形状(r, h)および誘電率(ϵ_r)が小さくなる変化に起因していると考えられる。このときピーク周波数の変化量は 16.5 MHz/(mg/dl)であり、既報のマイクロ波帯センサと比して高いセンサ感度が得られた^[2]。また、血中のグルコース濃度は 36-720 mg/dl であることから^[5]、本手法はグルコースの濃度定量に適用可能と考えられる。

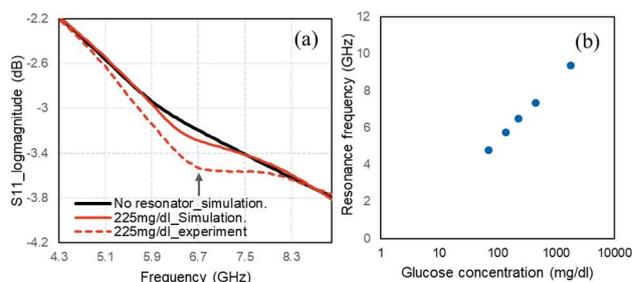


Fig.1 (a) The measured and simulated S-parameter
(b) Glucose concentration dependence of resonance frequency

【結論】

刺激応答性ハイドロゲルからなる誘電体共振器を用いた濃度定量手法により、様々な生体分子に対して高感度な濃度定量が可能となる。

【参考文献】

- [1] Choi, H., et al, *Sensors* **2022**, 22, 9527.
- [2] Omer, A.E., et al, *Sci Rep.* **2020**, 10, 15200.
- [3] Shi, Q., et al, *NPG Asia Mater.* **2019**, 11(64)
- [4] Yang, N., et al, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **2019**, 67(11), 6778.
- [5] Pullano, S.A. et al, *Theranostics.* **2022**, 12(2), 493.