

ナノメカニカルセンサにおける感応膜の粘弾性効果と吸着動力学解析

Sorption kinetics with viscoelasticity of receptor materials on nanomechanical sensors

NIMS¹, 筑波大院数物², °南 皓輔¹, 周 映成^{1,2}, 柴 弘太¹, 吉川 元超^{1,2}

NIMS¹, Univ. of Tsukuba², °Kosuke Minami¹, Yingcheng Zhou^{1,2}, Kota Shiba¹, Genki Yoshikawa^{1,2}

E-mail: minami.kosuke@nims.go.jp

カンチレバーに代表されるナノメカニカルセンサは、センサ素子に塗布した感応膜に分子が吸脱着する際に生じる機械的変形により応答シグナルを得るため、感応膜材料としてあらゆる固体材料が利用可能であり、さまざまな応用が期待されている [1]. この応答シグナルは、ガスセンサにおいては、気体の吸脱着における動力学により記述されるものの、感応膜材料の示す粘弾性挙動により、吸着動力学に従わないことがある. Wenzel らは [2], 三要素固体モデルを組み込むことで、粘弾性効果を含めたナノメカニカルセンサ応答シグナルの理論式を報告した. しかしながら、Wenzel らのモデルでは、条件によって正確にフィッティングできない場合がある (Fig. 1a) [3].

本研究では、より正確にフィッティングを可能とする理論モデルを構築した. ガス測定においては、測定対象ガスとパージガスとを交互に導入して測定することが多い (Fig. 1b). そこで、我々はこの繰り返し測定における粘弾性効果を組み込んだ吸着動力学モデルを導出した [3]:

$$\sigma(t) = \begin{cases} 0, & t < t_0 \\ -\sigma_{\text{sat.}} + \sigma_{\text{sat.}} \alpha \sum_{i=0}^{2(n-1)} (-1)^i e^{-\frac{t-t_i}{\tau_s}} + \sigma_{\text{sat.}} (1-\alpha) \sum_{i=0}^{2(n-1)} (-1)^i e^{-\frac{t-t_i}{\tau_r}}, & t_{2(n-1)} \leq t < t_{2n-1}, \\ \sigma_{\text{sat.}} \alpha \sum_{i=0}^{2n-1} (-1)^i e^{-\frac{t-t_i}{\tau_s}} + \sigma_{\text{sat.}} (1-\alpha) \sum_{i=0}^{2n-1} (-1)^i e^{-\frac{t-t_i}{\tau_r}}, & t_{2n-1} \leq t < t_{2n} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $\alpha = \frac{1}{\tau_s} \left(\frac{E_U}{E_R} - \frac{\tau_s}{\tau_r} \right) \left(\frac{1}{\tau_s} - \frac{1}{\tau_r} \right)^{-1}$ であり、 τ_s は拡散の時定数、 τ_r は応力緩和の時定数、 $\sigma_{\text{sat.}}$ は応力すなわち応答強度、 E_U/E_R は応力緩和における弾性率の比である. ナノメカニカルセンサの一種である膜型表面応力センサ (Membrane-type Surface stress Sensor; MSS) を用いて、繰り返し測定を行った. 得られた応答シグナルから、導出した式(1)は、より正確にフィッティングできることを明らかにした (Fig. 1b) [3]. 本講演では、MSS に塗布した感応膜材料の示す動的粘弾性挙動についても報告する.

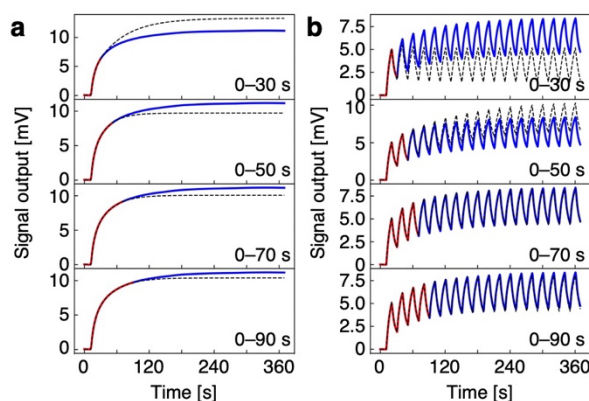


Figure 1. Comparison between a single injection and multiple injection-purge cycles. Signal responses of polycaprolactone-coated MSS to 1,2-dichlorobenzene vapor at the concentration of 30% for a single injection (a) and multiple injection-purge cycles (b). Red colored signal responses are used for optimizing each fitting curve. Black dashed lines are the corresponding fitting curves.

- [1] K. Minami, G. Imamura, R. Tamura, K. Shiba, G. Yoshikawa, *Biosensors* **12**, 762 (2022).
- [2] M. J. Wenzel, F. Josse, S. M. Heinrich, E. Yaz, P. G. Datskos, *J. Appl. Phys.* **103**, 064913 (2008).
- [3] K. Minami, K. Shiba, G. Yoshikawa, *J. Appl. Phys.* **129**, 124503 (2021).