

低アスペクト比ナノポアを用いた 1 粒子質量測定

Single-particle mass spectrometry using a low-aspect-ratio nanopore

阪大¹ 中国科技大² °筒井真楠¹, 横田一道¹, 有馬彰秀¹, ハーユフイ², 川合知二¹

Osaka Univ.¹, °M. Tsutsui¹, K. Yokota¹, A. Arima¹, Yuhui He², Tomoji Kawai¹

E-mail: tsutsui@sanken.osaka-u.ac.jp

固体ナノポアセンサは、細胞からゲノムまで実に様々なスケールの粒子や分子を、単一レベルで迅速・簡便に検出・識別することができる優れたデバイスである。構造としては、Si ウエハ上に形成された 10 nm 程度の厚さを有する固体メンブレンと、その中に掘削された一つの細孔で構成される。センサを用いる際は、この細孔を電解質溶液で満たし、メンブレン間に直流電圧を印加する。すると、細孔内のイオン輸送が電極間に生じるイオン電流として観測される。その際、液中に分散された 1 個の粒子が電気泳動力や流体抗力によって当該細孔を通過すると、細孔内のイオン輸送が一瞬妨げられ、その事象はパルス状の電流変化として記録される。こうして得られるパルス電流の波形は、特に細孔の深さが直径に比して極めて薄く作られた低アスペクト比ポアにおいては、細孔を通過した 1 個 1 個の検体の大きさ、形状、表面タンパクや表面電荷密度といった様々な物理パラメータを反映したものになることから、例えば波形の違いを見分けることで、粒子種の識別を 1 粒子レベルで実現できる。本研究では、この低アスペクト比ポアセンサの粒子検出原理をさらに探求し、パルス信号から 1 粒子の質量が導出可能であることを明らかにしたので、その内容を報告する[1]。

固体ナノポアの作製には、両面が厚さ約 50 nm の窒化膜で覆われた Si ウエハを基板として用いた。厚さ約 40 nm の SiN_x メンブレンを形成し、その中に電子線描画法と反応性イオンエッチングによって直径約 600 nm のナノポアを貫通させた。電解質溶液としてリン酸バッファを用い、検出対象粒子としては、直径が 500 nm から 200 nm で種々の材料で作られた合成粒子を用いた。

粒子の分散液中におけるイオン電流測定時に、パルス状の電流変化が観測された。各種粒子について 100 個以上のパルス信号を取得した。そして、COMSOL によるイオン電流シミュレーションを実施し、得られた電流波形と実験結果を照合することで、粒子のナノポア脱出過程における速度の経時変化を導出した。その結果、粘性抵抗による当該速度の減衰速度は、粒子質量の対数に反比例することが分かった。以上の結果は、低アスペクト比ポアセンサを用いた TOF 型 1 粒子質量分析の実現可能性を示唆している。

参考文献：[1] M. Tsutsui et al., ACS Sens. 4, 2974 (2019).

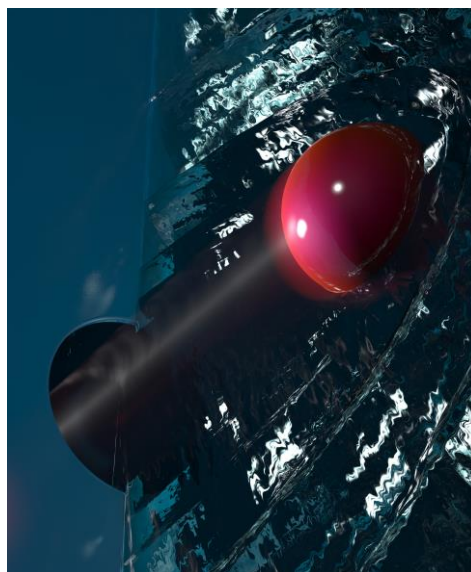


図 1. 低アスペクト比ナノポアを脱出する粒子。