

2022 年度
創発的研究支援事業 年次報告書

研究担当者	張 慧
研究機関名	群馬大学
所属部署名	大学院理工学府電子情報部門
役職名	助教
研究課題名	計算科学とナノ微細加工技術を駆使した超高感度 Si ナノワイヤバイオセンサシステムの創製
研究実施期間	2022 年 4 月 1 日～2023 年 3 月 31 日

研究成果の概要

2022 年度は感染初期段階で微量なウイルスを高感度かつ迅速に検出するため、計算科学及びナノ微細加工技術を用いて最適な Si ナノワイヤ (NW) バイオセンサ構造の予測、作製及び電気特性評価を中心に行い、以下の成果を得た。

(1)有限要素解析法による SiNW バイオセンサの最適な構造の予測

COMSOL Multiphysics を用いた有限要素解析法によって 3 次元 SiNW バイオセンサモデルを構築し、表面電荷密度におけるセンサの電気特性及び電子密度分布を計算した。NW 内部の不純物濃度、幅、高さ、本数等のパラメータを変更し、各構造の検出感度依存性を計算した。その結果、高感度検出が可能なセンサの構造を予測した。

(2) ナノ微細加工技術を用いた SiNW バイオセンサの作製と検出感度評価

1) 幅 10 nm 以下の SiNW の形成を目標として、電子線描画と反応性イオンエッチング条件を最適化した結果、幅約 10.8 nm の SiNW が形成できた。また、卵白アルブミンと抗卵白アルブミングロブリン G (IgG) の特異的結合を測定し、濃度 6 aM (10^{-18} mol/L) の超低濃度 IgG 検出に成功した。さらに、異なる幅の SiNW バイオセンサを用いた IgG 分子検出結果に基づき、SiNW の初期空乏層厚さと IgG 分子付着による NW 内部の空乏層変化を解析した。この結果から高感度検出可能な SiNW の限界幅は 8 nm であることを予測した[1]。この研究結果は先例がない新しい知見である。

2) 熱拡散法及びイオン注入法を用い、不純物濃度が異なる Si 層形成条件を確立した。また、不純物濃度が異なる同じ幅の SiNW センサで IgG 分子の特異的検出を行い、濃度 600 aM から 60 pM の範囲で低不純物濃度の NW が高い抵抗変化率を示すことを確認した。この結果は理論解析結果と一致するものである。

参考文献：[1] Hui Zhang et. al., ACS Appl. Mater. Interfaces. 15, (2023) 19892–19903