

シリコンナノワイヤを用いた超高感度バイオセンサの創製

人間医工学およびその関連分野

研究者所属・職名 : 大学院理工学府・准教授

ふりがな ちょう え

氏名 : 張 慧

主な採択課題 :

- [若手研究「Siナノワイヤの細線化とアスペクト比調整によるウイルス感染超早期診断の実現」\(2021-2023\)](#)
- [研究活動スタート支援「感染症早期診断のためのSiナノワイヤを用いたサブaM感度バイオセンサの創製」\(2019-2021\)](#)

分野 : 電気電子工学、ナノマイクロ科学

キーワード : ナノ微細加工・計測、医用工学バイオセンサ、電子デバイス、電子線モンテカルロシミュレーション、有限要素解析

課題

●なぜこの研究をおこなったのか？(研究の背景・目的)

ウイルスなどによる感染症の蔓延を防ぐためには、感染の初期段階で判定し早期に治療することが必要である。そのため、ウイルスなどを高感度・高精度に、簡便に検出できる検査方法が求められている。そこで、ナノ微細加工技術によって作製可能なシリコンのナノワイヤを用いて、小型で超高感度のバイオセンサの創製を目指している。

●研究するにあたっての苦労や工夫(研究の手法)

シリコンナノワイヤは、電界効果トランジスタの原理を利用して低濃度の生体分子を短時間で検出できることが知られていたが、感染初期の極微量な生体分子を検出するにはさらに高感度化する必要があった。そこで、ナノワイヤを細線化するとともに、理論計算と実験の両面からセンサ構造と検出感度の関係性を精査し、センサ構造を最適化した。シリコンナノワイヤの表面には、ターゲットと結合する分子(抗原など)を化学修飾により固定した。そこに、ターゲット(抗体など)を含む溶液を滴下し、ターゲットの結合を電流値の変化として検出した。

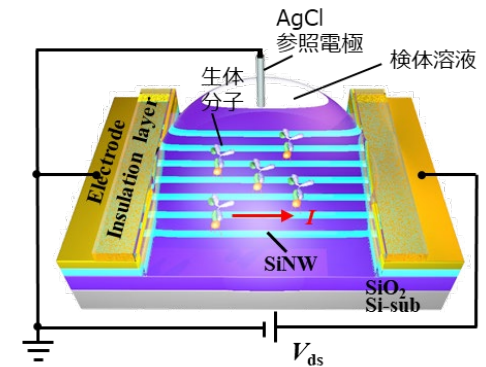


図1 生体分子を検出するシリコンナノワイヤバイオセンサの模式図

シリコンナノワイヤを用いた超高感度バイオセンサの創製

人間医工学およびその関連分野

研究成果

●どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

電子線リソグラフィと反応性エッチングの条件を最適化することで、幅10.8 nmの極微細シリコンナノワイヤを作製することができた。このシリコンナノワイヤ表面にタンパク質（OVA）を修飾し、OVAに結合する抗体（抗OVA抗体）を含む溶液を滴下して抗OVA抗体の検出を行ったところ、6 aMという超低濃度でも検出することができた（図2）。

さらに、インフルエンザウイルスの特異的検出を行うため、インフルエンザウイルス抗原HA1を修飾したナノワイヤバイオセンサを作製した。このセンサは抗HA1抗体に特異的に反応し、低濃度の抗HA1抗体を検出することができた（図3）。

H. Zhang et. al, ACS Appl. Mater. Interfaces, 12, 51808–51819, (2020)
H. Zhang et. al, ACS Appl. Mater. Interfaces, 15, 19892–19903, (2023)

H. Zhang et. al, ACS Appl. Bio Mater., 8, 1038-1049, (2025)

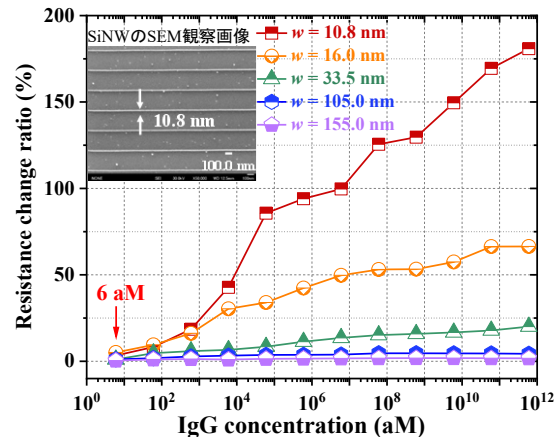


図2 幅10.8 nmのシリコンナノワイヤの電子顕微鏡写真と、バイオセンサを用いた抗OVA抗体の検出。ナノワイヤの幅が狭いほど検出感度が高くなった。

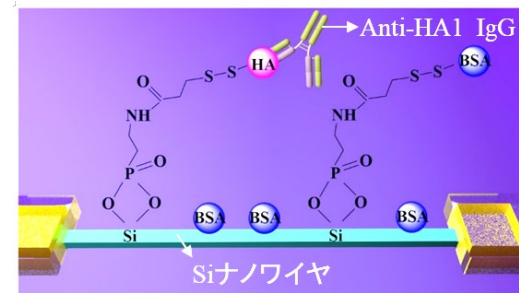


図3 シリコンナノワイヤを用いた抗インフルエンザウイルスHA1抗体（anti-HA1 IgG）検出の模式図。抗原HA1を修飾したシリコンナノワイヤは、anti-HA1 IgGを特異的に検出し、他のタンパク質（Control IgG）には反応しない。

今後の展望

●今後の展望・期待される効果

シリコン材料は、半導体プロセスによって、ワイヤの細線化、センサ構造、電気特性、表面状態を制御することができる。計算科学との連携によってこれらを最適化することで、特定の物質を迅速かつ高感度に検出可能なバイオセンサの実現が期待できる。また、小型のナノワイヤセンサを複数並べて、1回の検体溶液で複数の生体分子を同時に検出する検査チップに展開できる可能性があり、患者と医療者双方の負担軽減につながる。ウイルスだけでなく、がんなどの疾患の特異的バイオマーカーを高感度かつ高特異的に検出することができれば、疾病の早期診断・早期治療に役立つことが期待でき、医療・健康分野の高度化を通じて、超スマート社会の創出に貢献できる。