

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：12301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2021

課題番号：19K23598

研究課題名（和文）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

研究課題名（英文）Creation of Silicon Nanowire Biosensor with Attomolar(aM) Sensitivity for Early Diagnosis of Infectious Disease

研究代表者

張 慧 (Zhang, Hui)

群馬大学・大学院理工学府・助教

研究者番号：80794586

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ウイルス感染初期段階での微量な生体分子を高感度に検出するため、理論解析と実験の両面でSiナノワイヤ（NW）の細線化効果および不純物濃度の感度依存性を調査した。電子線リソグラフィおよび反応性イオンエッチングの精密制御によって、幅11 nmの極微細SiNWを作製し、抗原抗体特異的結合による6 aMの免疫グロブリンG（IgG）の検出に成功した。そして、異なる幅のSiNWを用いたIgG検出実験結果からNWの細線化に伴って検出感度が大幅に向上することが確認できた。また、SiNW内部の不純物濃度を低減することで検出感度を高められることが確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ウイルス感染症の広がりにより、感染初期段階での極微量な生体分子を高感度かつ迅速に検出できる診断法の開発が渴望されている。PCR法は低濃度物質の高精度検出が可能だが、測定に時間と労力がかかってしまう。本研究では、理論解析にて高感度化につながる要素を分析し、ナノ微細加工技術で細線化と不純物濃度を低減したSiNWバイオセンサを作製することで濃度6 aMの免疫グロブリンG（IgG）の特異的検出に成功した。極微量な生体分子の検出が可能となったこの研究成果により、将来、画期的な疾病の早期診断技術を社会に提供できると考えている。

研究成果の概要（英文）：To detect biomolecules with high sensitivity in the early stage of virus infection, we investigated the sensitivity dependence of width and impurity concentration of Si nanowires (NW) in both theoretical analysis and experiments. By controlling the conditions of electron beam lithography and reactive ion etching, ultra-thin SiNW with a width of 11 nm was fabricated and succeeded in detecting immunoglobulin G(IgG) with a concentration of 6 aM by antigen-antibody specific binding. From the results of IgG detection using SiNWs of different widths, it was demonstrated that the detection sensitivity was significantly improved associated with the thinning of NW. In addition, it was confirmed that the detection sensitivity was increased by reducing the impurity concentration of SiNW.

研究分野：ナノ電子デバイス、医用システム関連

キーワード：シリコンナノワイヤ バイオセンサ 細線化 電子線描画 高感度 医用システム

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

インフルエンザウイルスなどの感染症の出現に対して、感染初期段階での早期判定により重篤化や感染蔓延を抑えることが求められている。既存の抗原抗体診断キットは簡便であるが、検出感度が低いため、感染初期には陽性反応が出ない場合が多い。核酸増幅法である PCR 法は高精度であるが、測定に時間と労力がかかるという問題点がある。Si ナノワイヤ (NW) バイオセンサ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可能である。近年 SiNW バイオセンサを用いた生体分子の検出報告例では、生体分子の検出限界濃度は 2 fM ( $1 \text{ fM} = 10^{-15} \text{ mol/L}$ ) [1] レベルであるが、ウイルス感染初期のバイオマーカーの血中濃度は 10 粒子/mL [2] であるため、報告された SiNW バイオセンサは感染や疾病の早期診断には感度が不十分である。そこで申請者は SiNW の細線化に着目し、細線化した SiNW バイオセンサを用いて生体分子検出実験を行ったところ、SiNW の細線化に伴う検出感度の向上が確認できた。ウイルス感染初期のごく微量な生体分子を検出するためには、SiNW 幅を 10 nm レベルに低減することが必要である。しかし、SiNW の細線化によって SiNW 内部の電子密度が減るとともにフォノン散乱による移動度の劣化が大きくなり、SiNW に流れる電流が大幅に減少することが予想される。そのため、SiNW 内部の不純物濃度の制御が必要と考えた。以上から、SiNW 幅の低減に加え、不純物濃度の制御に基づいた超高感度バイオセンサの創製について研究することを着想した。

### 2. 研究の目的

本研究ではウイルス感染初期のごく微量な生体分子を高感度かつ迅速に検出するため、有限要素解析を用いて高感度化につながる要素を分析し、電子線リソグラフィおよび反応性イオンエッチング (RIE) を用いて幅 10 nm レベルの SiNW バイオセンサを作製する。そして、SiNW 表面修飾法を確立し、感染症の早期診断のための SiNW を用いた超高感度バイオセンサシステムの創製を目的とする。

### 3. 研究の方法

生体分子の微量電荷に高感度かつ迅速に応答するために、有限要素解析と実験の両面で SiNW 幅及び不純物濃度が検出感度に及ぼす影響を分析し、超高感度ナノワイヤバイオセンサの実現を目指した。下記の内容を中心に行い、研究を推進した。

#### (a) SiNW の細線化によるセンサ検出感度の向上

電子線リソグラフィ及び反応性イオンエッチングの条件を最適化し、幅 11 nm の SiNW 形成条件を確立した。また、SiNW 表面修飾法を確立し、抗原抗体特異的結合による SiNW チャネルの電流変化を測定することで、センサの検出感度を評価した。さらに、幅 11 nm~155 nm の異なる幅の SiNW を用いて生体分子検出実験を行い、SiNW 幅の感度依存性を評価した。

#### (b) SiNW 内部の不純物濃度制御による検出感度の評価

有限要素解析法を用いた理論解析では、異なる不純物濃度を持つ SiNW における表面電位による SiNW 空乏層の変化を計算し、不純物濃度の検出感度依存性を解析した。実験では、ドーパント剤の希釈濃度、基板上にコーティングしたドーパントの膜厚及び熱拡散温度を検討し、Silicon on insulator (SOI) 基板の表面活性層にドーピングされた不純物濃度を制御した。さらに、同じ幅、異なる不純物濃度を持つ SiNW センサを用い、生体分子の検出実験を実施することで、センサの検出感度を比較した。

### 4. 研究成果

#### (a) SiNW の細線化によるセンサ検出感度の向上

##### (a-1) 電子線リソグラフィ及び反応性イオンエッチング条件の最適化による SiNW の細線化

本研究で提案した SiNW バイオセンサの構造図は図 1 (a) に示す。SOI 基板の上に作製した電極間に複数本の SiNW が架橋されており、電極の上に絶縁膜を被覆して SiNW を検出チャネルとして検体溶液が触れる構造である。図 1(a) の検出模式図に示すように生体分子が SiNW 表面に付着すると、生体分子の微量電荷とチャネルのキャリアが薄い絶縁膜と空乏層を挟んで静電的に相互作用し、空乏層の厚みが増加することで SiNW チャネルの電流変化として生体分子が検出される。

SiNW 作製プロセスとしては、電子線リソグラフィを用いて電極間にレジスト NW を作製し、その後反応性イオンエッチングを用いてレジスト NW を SOI 基板の表面 Si 層へ転写することで SiNW を作製する。NW の細線化を実現するためには電子線リソグラフィおよび反応性イオンエッチングの両者の加工条件を検討する必要がある。電子線リソグラフィでは、ネガ型 HSQ レジストと高解像度が得られる TMAH/NaCl 現像液を使用した。電子線が HSQ レジストに入射する際に電子線の散乱範囲を抑えるため、NW の設計幅、レジストの膜厚、露光量などの条件

を変更させ、走査電子顕微鏡 (SEM) を用いて描画した NW の形状を観察し、最適な露光条件を調査した。反応性イオンエッチングでは反応ガス種、ガス流量、高周波パワーを変更することでレジスト NW と Si 層のエッチング速度比を制御し、最適なエッチング条件を確立した。

実験結果として、HSQ の膜厚を 27 nm に制御、露光量 35 mC/cm<sup>2</sup> に設定することで、ソースとドレイン電極間に幅 25 nm の HSQ NW が形成できた。(図 1 (b))。そして、HSQ NW 列をマスクとして RIE による SiNW を形成した。エッチングガスの導入量、高周波電力等を調整した結果、電極間に幅 11 nm の SiNW が形成できた(図 1 (c))。RIE 前後の SiNW 幅を比較すると、RIE による NW の幅が約 14 nm 細くなったことが確認できた。その後、SiNW と電極との接触抵抗を低減するためにアルゴン雰囲気中で 30 min 間のアニール処理を行った。アニール処理前後のセンサの電気特性を確認したところ、アニール処理による電流電圧特性が改善され、良好なオーミック特性が確認できた。

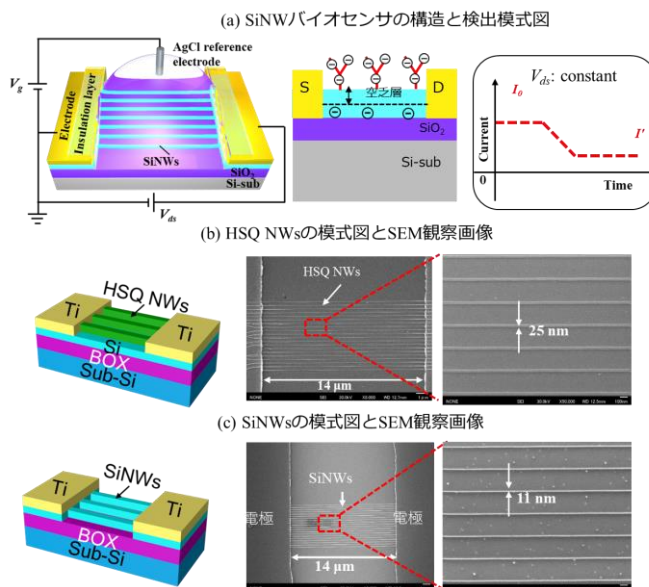


図 1 (a) SiNW バイオセンサの構造と生体分子検出模式図、(b-c) HSQ NW と SiNW の SEM 観察画像

#### (a-2) 抗原抗体特異的結合によるセンサの検出感度評価

幅 11 nm まで細線化した SiNW センサを用い、抗原抗体特異的結合によるセンサの検出感度を評価した。SiNW の表面処理と生体分子検出の模式図は図 2 (a) に示す。まず、無機物である SiNW の表面に有機分子である生体分子を結合させるため、ホスホン酸処理を行った。それにより、ホスホン酸がシランカップリングによって SiNW の表面に高密度な自己組織化単分子膜を形成させる。本研究での検出対象の抗体は抗卵白アルブミン (OVA) の IgG (IgG fraction of rabbit anti-chicken albumin, INTER-CELL THECH.) である。IgG を特異的に検出するため、抗原である卵白アルブミン (OVA、Wako) の高濃度溶液を SiNW 表面に導入し、SiNW 表面のアミノ基と結合させる。その後、卵白アルブミンが結合していない SiNW 表面へ IgG が非特異的に結合するのを防止するため、ウシ血清アルブミンを用いて非特異的結合部位をブロッキングする。続いて、コントロール実験としてウサギ血清由来の IgG (IgG from rabbit serum, SIGMA-ALDRICH) を導入し、電流の変化がないかを確認する。最後に、PBS で希釈した濃度 6 aM (1 aM=10<sup>-18</sup> mol/L)~600 nM の抗 OVA-IgG 溶液を低濃度から順番にセンサ部に導入して 15 分間反応させ、チャンネル電流の変化を測定する。

抗原抗体特異的結合による生体分子検出の電流モニタリング結果を図 2(b) に示す。PBS 溶液中の電流モニタリング結果を見ると、電流が安定していたことが確認できた。濃度 10 μM の OVA 溶液中では、PBS 溶液中で測定した電流より減少した。これは、NW 表面に OVA が付着したこ

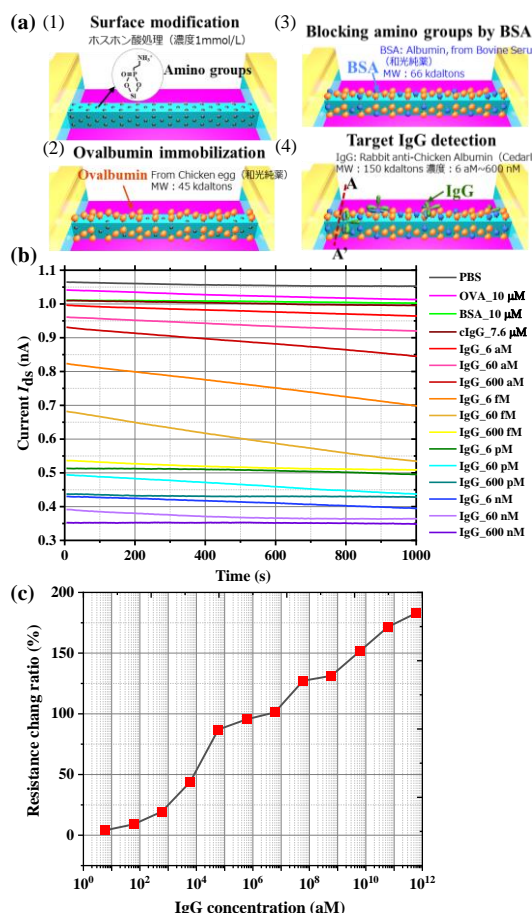


図 2 (a) 抗原抗体特異的結合による生体分子検出の模式図、(b) 電流モニタリング結果、(c) 抵抗変化率の IgG 濃度依存性

とにより SiNW 内部の空乏層領域が広がり、電流の減少を生じたと考える。続いて BSA 溶液を反応させた結果、電流の減少が確認できた。これは OVA によって被覆されていない結合部位が BSA 分子によってブロッキングされたと考える。続いて、コントロール実験では、濃度 7.6  $\mu\text{M}$  の control-IgG を導入して 15 分間反応させた結果、図 2(b)に示すように電流の変化が殆どなかった。これにより、control-IgG が OVA と BSA のいずれにも結合しないことを示すとともに、NW 表面が OVA と BSA によって完全に被覆されていることが確認できた。その後、超低濃度 6 aM の抗 OVA IgG 溶液を導入して、電流が大幅に減少したことが確認できた。抗 OVA IgG 濃度が control-IgG より  $10^{12}$  倍程度薄いにもかかわらず、大きな電流変化が得られたのは、OVA と IgG の特異的結合が生じたためであると考えられる。また、IgG 濃度の増加に伴って電流の連続減少が確認できた。抗 OVA の IgG を特異的に検出することに成功したことを示す。15 分間の電流モニタリングを測定した後、SiNW センサの  $I$ - $V$  特性を測定し、各溶液中でのセンサの  $I$ - $V$  特性から抵抗変化率を算出した。抵抗変化率の IgG 濃度依存性を図 2(c)に示す。IgG 濃度 6 aM の超低濃度溶液でも約 4%の抵抗変化率が得られ、IgG 濃度 600 nM までの増加に伴って抵抗変化率が約 182%まで連続的に増加することが確認できた。この高感度化の要因としては、①SiNW の細線化、②ホスホン酸表面処理による高密度なアミノ基の自己組織化単分子膜が形成されることによる生体分子の付着率向上、③OVA と IgG の特異的結合の高い親和性によるものと考えている。

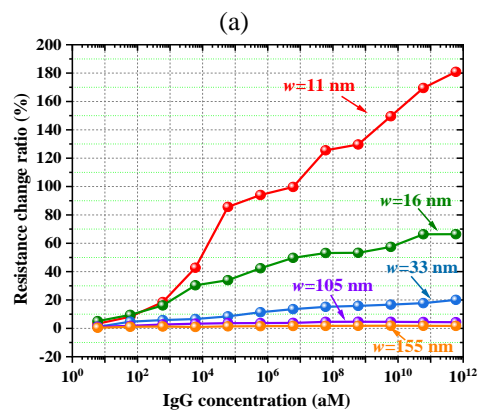
### (a-3) SiNW 幅と検出感度の依存性

SiNW の細線化効果を検証するため、幅 11~155 nm の SiNW を用いた IgG 検出実験を行い、検出結果を比較して分析した。SiNW 幅と検出感度の依存性結果は図 3 (a)に示す。6~60 aM の低濃度領域では、幅 11 nm と 16 nm の SiNW センサの抵抗変化率に差が見られなかった。その原因としては、生体分子数が少ない溶液中で NW 幅が細くなると、生体分子との結合確率が減少するためであると考えられる。濃度 600 aM~600 nM の領域では、SiNW の幅をサブ 20 nm へ細線化すると、抵抗変化率が急激に増大することが確認できた。この実験結果を図 3 (b)に記載の SiNW 抵抗変化率の理論式とフィッティングすることで、SiNW 周囲の自然酸化膜の厚さが約 3.2 nm と求まった。さらに、結合する生体分子の濃度の増加に伴って空乏層の厚さが徐々に厚くなり、600 nM の高濃度領域で最大 1.38 nm 変化する結果が得られた。この解析結果から、SiNW の細線化による空乏層変化量がチャンネル全体に占める割合が大きくなるため、比表面積が大きい極細線 SiNW 構造で検出感度の著しい向上が発現したと考えられる。

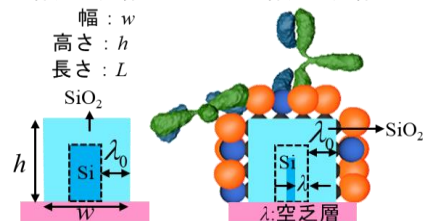
### (b) SiNW 内部の不純物濃度の制御によるセンサ検出感度の評価

#### (b-1) 有限要素解析による不純物濃度と検出感度の依存性の解析

SiNW 内部の不純物濃度がセンサの検出感度に及ぼす影響を明らかにするため、COMSOL Multiphysics 有限要素解析法を用いて不純物濃度の感度依存性を調査した。図 4 (a)に示すような 1 本の SiNW (幅 20 nm、高さ 30 nm、長さ 14  $\mu\text{m}$ ) をモデル化し、SiNW 内部の不純物濃度を  $10^{16}$ ~ $10^{20}$  atom/cm<sup>3</sup> に設定することで異なる表面電荷密度における NW 電気特性の変化を計算した。ここでは SiNW 表面の電荷密度が  $-1 \times 10^{-22}$  C/nm<sup>2</sup> に指定された場合の不純物濃度と NW 抵抗変化率の依存性解析結果を図 4(b)に示す。この電荷密度は SiNW 表面に電子 175 個分の電荷が付着することに相当する。図 4(b)の横軸は SiNW 内部の不純物濃度、縦軸は表面電荷密度変化前後 (0 C/nm<sup>2</sup> から  $-1 \times 10^{-22}$



(b)



生体分子付着前後のSiNW抵抗変化率

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{R_0} = \frac{(w - 2\lambda_0)(h - \lambda_0)}{[w - 2(\lambda_0 + \lambda)][h - (\lambda_0 + \lambda)]} - 1$$

図 3 (a) SiNW 幅と検出感度の依存性、  
(b) 生体分子付着前後の SiNW 抵抗変化率

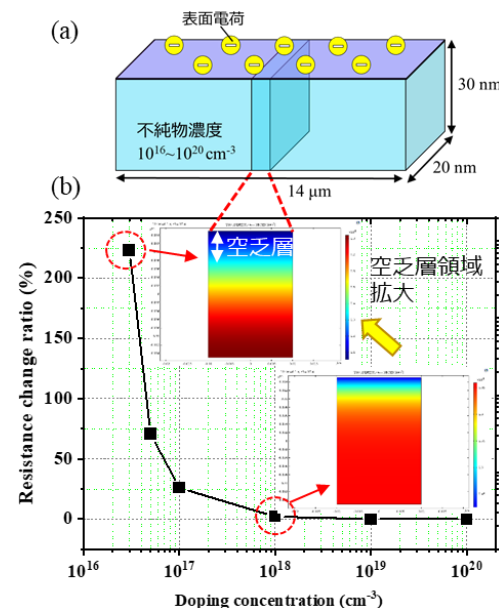


図 4 (a) SiNW 計算モデル、(b)不純物濃度の抵抗変化率依存、(inset)SiNW 内部電子密度分布の断面図

C/nm<sup>2</sup>に変化)のSiNWの抵抗変化率である。このシミュレーション解析の結果から、不純物濃度の低下と共にSiNWの抵抗変化率が大きくなる傾向が見られた。そして、SiNW内部の電子密度分布の断面図を見ると、不純物濃度の低下に伴い、負電荷が付着することでNW内部の空乏層領域が広がることが示された。すなわち、不純物濃度の低下によって、空乏層の変化量のSiNW断面に占める割合が大きくなることは高感度化につながる要因であると考えられる。

(b-2) リン不純物熱拡散条件の変更によるSiNW内部の不純物濃度制御

前述の研究からSiNW内部の不純物濃度を低減することで検出感度を向上させる可能性があることが分かったため、後述の実験を設けて検証した。まずは、ドーパント剤(OCD T-1 P-59230、東京応化)の希釈濃度、SOI基板上にコーティングしたドーパントの膜厚及び熱拡散温度を検討し、SOI基板の表面活性層にドーピングされた不純物濃度を制御し、異なる不純物濃度を持つSOI基板を作製した。不純物濃度の測定では、4端子測定法を用いて活性層の抵抗率を測定し、抵抗率の値をアービンカーブに代入して不純物濃度を推測した。不純物濃度と拡散温度の関係図を図5に示す。拡散温度の上昇に伴い、不純物濃度が高くなる傾向を確認した。また、拡散温度を制御することで活性層内部の不純物濃度を一定の領域で制御可能であることが確認できた。

その後、不純物濃度を制御したSOI基板の上に電極、SiNW、絶縁膜を形成し、デバイス化をした。不純物濃度の依存性を評価するために、同じ幅、異なる不純物濃度のSiNWバイオセンサを用いてIgG生体分子の特異的検出を行った。図6に幅35nm、不純物濃度 $2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ のSiNWバイオセンサと不純物濃度 $7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ のSiNWバイオセンサの抗原抗体反応による抵抗変化率のIgG濃度依存性を示す。低濃度IgGの領域では、高不純物濃度の方は若干抵抗変化率が大きかったが、6fM~60pMの濃度では、いずれのセンサでも濃度の増加に伴う抵抗変化率の連続的な増加が確認でき、不純物濃度 $2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ のセンサの抵抗変化率が不純物濃度 $7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ のセンサより大きいことも確認できた。高濃度IgGの領域では、不純物濃度 $2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ のセンサにおいて抵抗変化率が不安定であるが、不純物濃度が低いため、生体分子の付着によるNWの電流変化が飽和状態になっていることが考えられる。

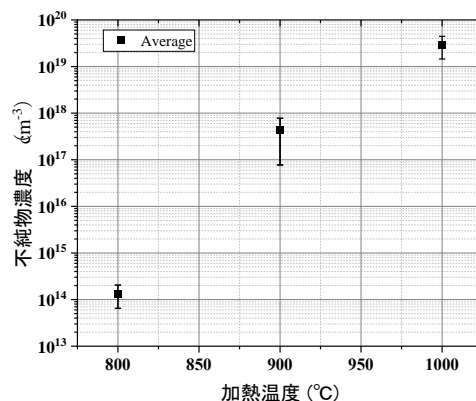


図5 不純物濃度と拡散温度の関係

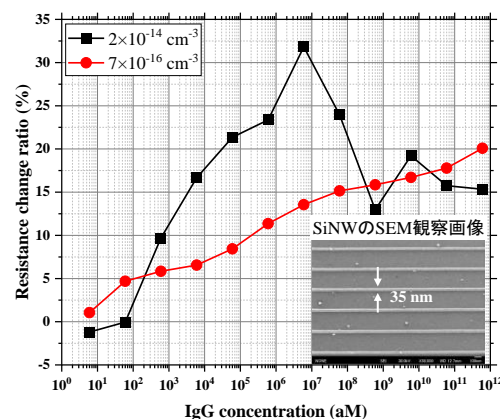


図6 各不純物濃度におけるIgG濃度に対する抵抗変化率

本研究で有限要素解析法を用いてSiNW幅および不純物濃度がセンサの検出感度に及ぼす影響を分析し、実験でSiNW細線化効果および不純物濃度の低減による感度の向上が確認できた。幅11nmのSiNWセンサを用いて抗原抗体特異的結合による6aMのIgGの検出に成功した。検出に用いた試料溶液は10μLなので、そこに含まれる僅か36分子が検出できたことに相当する。当初目標とするaMレベルの検出感度が実現できたと考える。コロナ禍で一定期間中に東京大学の装置が利用できなく、センサの作製と条件だしが遅れている部分があったため、当初予定であるインフルエンザウイルスの検出には至らなかった。今後の研究では、センサ感度につながる要素をさらに最適化することで、超高感度に検出できるセンサ構造の探求およびウイルスの検出実験を行う予定である。

【参考文献】

[1] M. Nuzaihan M. N, et al Biosensors and Bioelectronics, **83**, 106-114, (2016).  
 [2] 飯野亮太、1分子デジタルELISAによる感染・疾病バイオマーカーの超高感度検出、超精密、**19**, 34-37, (2013).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Zhang Hui, Kikuchi Naoki, Ohshima Noriyasu, Kajisa Taira, Sakata Toshiya, Izumi Takashi, Sone Hayato	4. 巻 12
2. 論文標題 Design and Fabrication of Silicon Nanowire-Based Biosensors with Integration of Critical Factors: Toward Ultrasensitive Specific Detection of Biomolecules	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 51808 ~ 51819
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsami.0c13984	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sumio Hosaka, Takashi Akahane, Kazumasa Ohyama, Hui Zhang, You Yin, and Hayato Sone	4. 巻 3
2. 論文標題 Formation of 7-nm-wide Line&Spaces in Half Pitch by 3 Dimensional Self-assembly of Nano-dots Using Sphere Type PS-PDMS	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 European Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 84-90
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24018/ejphysics.2021.3.6.141	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Hui Zhang, Kei Okabe, Naoki Kikuchi, Noriyasu Ohshima, Taira Kajisa, Toshiya Sakata, Takashi Izumi, Hayato Sone	4. 巻 -
2. 論文標題 Fabrication of Ultrahigh-Sensitivity Silicon Nanowire Biosensor by CMOS-Compatible Process for Detecting Biomolecules at Low Concentrations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of International Conference on Mechanical, Electrical and Medical Intelligent System 2019 (ICMEMIS2019)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 H. Zhang, K. Okabe, N. Kikuchi, N. Ohshima, T. Kajisa, T. Sakata, T. Izumi and H. Sone
2. 発表標題 Fabrication of Ultrahigh-Sensitivity Silicon Nanowire Biosensor by CMOS-Compatible Process for Detecting Biomolecules at Low Concentrations
3. 学会等名 Inter. Conf. on Mechanical, Electrical and Medical Intelligent System 2019（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 張慧, 岡部圭, 菊池直樹, 大嶋紀安, 加治佐平, 坂田利弥, 和泉孝志, 曾根逸人
2. 発表標題 シリコンナノワイヤ細線化によるバイオセンサ検出感度の評価
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 邱 亜威, 新井 出海, 板橋 芽比子, 大澤 郁弥, 大嶋 紀安, 和泉 孝志, 張 慧, 曾根 逸人
2. 発表標題 電子線描画法を用いた超高感度 Siナノワイヤバイオセンサの作製と特性評価
3. 学会等名 量子生命科学先端フォーラム 2021冬の研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新井 出海, 邱 亜威, 板橋 芽比子, 大澤 郁弥, 大嶋 紀安, 和泉 孝志, 張 慧, 曾根 逸人
2. 発表標題 高感度Siナノワイヤバイオセンサ作製のための最適なドーピング濃度の探求
3. 学会等名 量子生命科学先端フォーラム 2021冬の研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Research map <a href="https://researchmap.jp/huizhang/presentations">https://researchmap.jp/huizhang/presentations</a> 群馬大学理工学府ニュースに掲載された記事 <a href="https://www.st.gunma-u.ac.jp/20201203-eisonezhang/">https://www.st.gunma-u.ac.jp/20201203-eisonezhang/</a> <a href="https://researchmap.jp/huizhang/presentations">https://researchmap.jp/huizhang/presentations</a> <a href="http://research.st.gunma-u.ac.jp/ei_cho_e/">http://research.st.gunma-u.ac.jp/ei_cho_e/</a>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	曾根 逸人  (Sone Hayato)	群馬大学・大学院理工学府・教授  (12301)	
研究協力者	大嶋 紀安  (Ohshima Noriyasu)	群馬大学・大学院医学系研究科・助教  (12301)	
研究協力者	和泉 孝志  (Izumi Takashi)	帝京平成大学・ヒューマンケア学部・教授  (32511)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関