

原子単層膜の振動を用いた「質量」と「個数」の同時計測に成功

(夾雑物の誤検知に強い、超高感度なウイルス検出 IoT バイオセンサの実現へ)

<概要>

豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系、産業技術総合研究所、東洋大学の合同研究チーム（代表者：豊橋技術科学大学電気・電子情報工学系 高橋一浩教授）は、半導体マイクロマシン技術(MEMS)を用いて、基板上に自立させた原子の単層膜・グラフェン上に吸着したウイルスの「総質量」と「粒子個数」を同時に計測可能なマルチモーダル・バイオセンサを開発しました。従来の非標識（蛍光試薬などの特別な標識剤を用いない簡易計測チップ）型バイオセンサでは困難であった夾雑物タンパク質と標的ウイルスの識別を、グラフェン膜の振動の周波数と振動振幅(又は電気抵抗)の同時測定によって実現しました。数ミリ角のチップで構成されるこの技術は、唾液中に含まれる高濃度の夾雑物による誤検知を防ぎ、将来的に家庭で高精度なウイルス検出を可能にする IoT バイオセンサとして、感染症診断や遠隔医療への貢献が期待されます。

<詳細>

唾液などの複雑な体液検体から、標的となるウイルス粒子を迅速かつ正確に検出する技術は、感染症の早期診断において極めて重要です。半導体技術を用いて作製したバイオマイクロチップ技術は、専門的な知識を必要とせずに使用できる検査技術として研究されていますが、検体中に含まれる夾雑物(他のタンパク質など)が非特異的にチップに吸着すると、それがノイズとなり、標的物質のみを正確に定量することが難しいという課題がありました。

電気・電子情報工学系の高橋一浩教授、Pham Viet Khoa (博士後期課程)らの研究チームは、原子一層の厚みを持つ究極のナノ材料「グラフェン」を使用し、これを微小なキャビティの上に架橋した「共振型センサ」を開発しました。このセンサは自立グラフェン層に流した電流による熱で加振され、以下の 2 つの物理量を同時に測定する独自の「マルチモーダル検出」を実現しています。

1. 振動周波数の変化: 膜に吸着した物質の「総質量」を検出(zeptogram: 10^{-21} g オーダーの感度)。
2. 振動振幅(又は電気抵抗)の変化: 膜に吸着した「粒子の個数」を検出(吸着粒子による 2D 膜のフォノン散乱現象を利用)。

今回の研究では、このセンサを用いて新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)の検出実験を行いました。高濃度の夾雑物タンパク質が存在する環境下においても、質量と個数の相関関係

を解析することで、夾雑物による信号と区別することができ、標的ウイルスのみを特異的に検出することに成功しました。また、グラフェン膜表面への分子修飾プロセスを最適化することで、1 ミリリットル中に含まれる 10^5 コピー相当のウイルス粒子を捉えることに成功し、実験的な質量検出限界(23 アトグラム : アトは 10^{-18})としてウイルス 1 個の質量でも計測可能な性能を達成しました。

本センサは、電気的な信号で駆動するため、装置の小型化・低コスト化が容易です。将来的には、スマートフォン等と連携した携帯型の検査デバイスとして、自宅での迅速なウイルス検査や、公共の場での環境モニタリングなど、安全・安心な社会を実現するためのコア技術として展開を目指します。

<今後の展望>

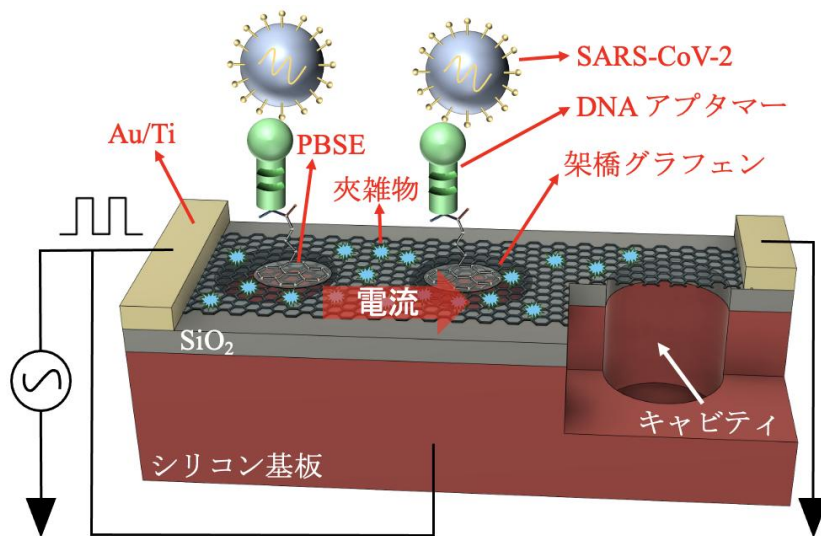
研究チームは今後、本センサの適用範囲をさらに拡大し、唾液などの液体検体のみならず、空気中に浮遊する「エアロゾル状態」の SARS-CoV-2 をリアルタイムで直接検出する技術の確立を目指します。また、グラフェン表面に修飾する受容体(抗体や DNA などのプローブ分子)を付け替えることで、インフルエンザウイルスをはじめとする多様な感染症ウイルスや、特定の疾患に関連する様々なバイオマーカーの検出にも対応可能です。

本技術をベースとした、小型・安価かつ超高精度な「IoT バイオセンサ」が社会実装されることで、将来的には自宅にいながら専門医と同等の検査結果に基づいた診察を受けられる「次世代の遠隔医療」の実現が期待されます。パンデミックの早期封じ込めや、日常生活における健康モニタリングを支える基盤技術として、安全・安心な社会の構築に貢献していきます。

<論文情報>

Viet Khoa Pham, Homare Yoshida, Sachiko Sakai, Ippei Akita, Yuki Imaizumi, Tatsuro Goda, Yong-Joon Choi, Toshihiko Noda, Kazuaki Sawada, and Kazuhiro Takahashi, Multimodal Detection of Molecular Mass and Particle Number Using an Electrothermally Driven Graphene Resonant Sensor, *Sensors and Actuators B: Chemical*, DOI: 10.1016/j.snb.2026.139924

本研究の一部は、文部科学省次世代 X-nics 半導体創生拠点形成事業 JPJ011438、JSPS 科研費 23H01466、JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2171、および防衛装備庁安全保障技術研究推進制度(JPJ004596)の助成を受けたものです。



質量・粒子数を同時に計測する電流駆動型グラフェン共振センサ

【問い合わせ先】

国立大学法人 豊橋技術科学大学
 総務課 広報・地域連携室 広報係
 TEL: 0532-44-6506
 Email: kouho@office.tut.ac.jp

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
 ブランディング・広報部 報道室
 Email: hodo-ml@aist.go.jp

学校法人 東洋大学
 総務部 広報課
 TEL : 03-3945-7571
 E-mai: mlkoho@toyo.jp