

補助事業番号 2024M-507

補助事業名 2024年度超高感度なプラスチック製グラフェンセンサーの開発補助事業

補助事業者名 大阪大学 准教授 小野堯生

1 研究の概要

公衆衛生や環境モニタリングなど、社会のさまざまな場で高感度なバイオセンシング、センサー網のニーズが高まっている。そのためには、安価かつ高感度で、どこでも簡単に測定できるセンサーが必要となる。ナノ炭素材料であるグラフェンは、極めて表面敏感な性質を持ち、最高のセンサー材料となるポテンシャルを持っている。研究代表者は、様々なグラフェンバイオセンサーにより高感度検出を実証してきた。本研究では、このグラフェンバイオセンサーの性能を維持向上させつつ低廉化することで、社会実装可能な形態を実現する。そのための方策として、グラフェンセンサー素子を安価なプラスチック基板上に集積化したチップと、小型可搬で安価な計測装置を開発した。

2 研究の目的と背景

研究代表者は、極めて表面敏感なナノ材料「グラフェン」を用いた超高感度検出装置を開発してきた。グラフェンは、原子1個分の厚みの炭素超薄膜であり、全ての構成原子が表面に露出しているために極めて比表面積が大きく、その広い表面に検出対象である分子やウイルス・細菌等が吸着すると、それに応じてグラフェン内部の電子密度が変化する。グラフェン中の電子の速度(移動度)は既知の材料中で最高水準のため、微量の検出対象による僅かな電子密度変化を、大きな電流変化として検出できる。この検出機構が、グラフェンを最高のセンサー材料としている。研究代表者は、細菌一菌体以下の極微量の検出など、様々な超高感度グラフェンバイオセンサーの研究を展開してきた。

しかしこのグラフェンセンサーも、研究代表者による標準的なケースでの試算では、使い捨てのセンサーチップと、センサーチップを測定する装置本体が極めて高額であり、広く社会に配備するには課題が大きい。

本事業では、グラフェンセンサーチップと測定装置の価格を劇的に低減し、かつ測定素子数や可搬性等を向上させた、新たなチップと装置を開発した。

3 研究内容

(1) センサー加工プロセスの開発

プラスチック製基板にグラフェンを転写してチップに加工した。

グラフェンの様なナノ材料を加工するとき、シリコン半導体の微細加工技術がよく利用される。従来のグラフェンセンサーも、多くがシリコン上に作製されてきた。しかしグラフェンセンサーチップではシリコンではなくグラフェンが電流を流すため、本来シリコン上に作る必要はない。研究代表者はシリコンとは異なる材料上でのグラフェン加工の知見を蓄積してきた。

一方、近年スマートフォン向けに、プラスチック製プリント基板の配線が微細化し、グラフェンセンサーに適用可能な水準に到達してきている。本事業では、これを利用してグラフェンチップをプラスチック化し、大幅な低コスト化を試みた。そのために、従来のシリコンに対してプラスチックが有する複数の弱点を克服するための研究を行った。その結果、グラフェンの清浄性などのセンサーに必須の性質を保持したまま、プラスチック上にセンサーアレイを構築することができるようになった。

(2) センサーのパッケージング技術の開発

プラスチック製センサーチップを封止して、性能を維持しつつ耐久性を向上させた。

2024年度は透明なシリコン樹脂製のガス透過膜で封止したグラフェンセンサーチップについてPCT出願を行った(PCT/JP2024/019161「6 本研究にかかわる知財・発表論文等」参照)。また、センサーの性能を評価する基盤として、ガス透過膜中でのガス拡散のシミュレーションを行ったほか、新たな封止材料を選定し、検出ターゲットとセンサー上のレセプターの結合親和性を評価する基盤も構築した。

(3) 測定装置の開発

プラスチック製センサーチップに対応した、新たな小型かつ低価格の測定器を開発した。

PC等に用いられている市販の部品と、3Dプリンターによる筐体作製を駆使して、100以上の素子を同時並列に計測する小型可搬の計測器を開発した(図1)。本装置はノートPCから制御・給電することが可能であり、全体として可搬性の高いシステムとなっている。従来の計測システムに比べて大幅に安価だが、100以上の素子をミリ秒の時間分解能で計測することが可能である。

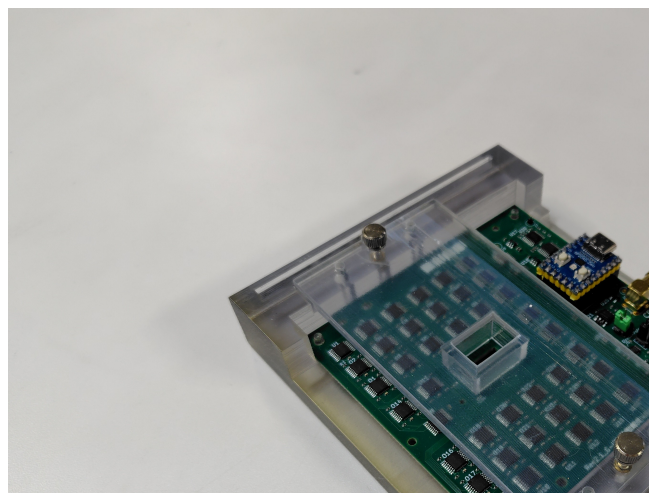


図1：小型安価なグラフェンバイオセンサー測定器。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

今後は、これまでに研究代表者が様々な研究で連携してきた大学・企業のネットワーク

を活用して実用化を目指す。2024年度は、アジア最大規模のバイオテクノロジー展示会であるBioJapan2024や大学見本市等に出展し、既に2024年度だけで10社以上と面談を行い、企業との共同研究を通じた実用化へ向けて強力に進めている。

手軽な超高感度検出が社会実装されれば、計測機器メーカー等もグラフェンセンサーに目を向けるようになり、環境中のPM2.5等の微量物質計測や食品製造時の安全管理など、さらに幅広い用途が開拓され、グラフェンを利用したセンサー産業が立ち上がっていく。研究代表者はその中心となる位置にいる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

研究代表者は2024年度に異動・昇進し、本研究の補助を活用して新天地での研究基盤を整えることができた。本研究で開発したシステムは小型で安価なため、多数作製することも容易である。システムを10セット以上配備して、先端研究を通じた学生教育を強力に推進する基盤を整えることができた。また、本研究の研究代表者を代表として、共同研究先と提案していた科研費・基盤(B)に採択され、チームとして初めての外部資金を獲得することとなった。より一層強力に教育・研究を推進するべく、思いを新たにしている。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

PCT/JP2024/019161「グラフェンバイオセンサー及びその使用方法」出願人：国立大学法人大阪大学、発明者：小野堯生

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの なし

(2)(1)以外で当事業において作成したもの なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名：大阪大学大学院基礎工学研究科

(オオサカダイガクダイガクインキソコウガクケンキュウカ)

住 所：〒560-0043

大阪府豊中市待兼山町1-3 大阪大学 大学院基礎工学研究科

担 当 者：准教授 小野堯生(オノタカオ)

担 当 部 署：機能創成専攻(キノウソウセイセンコウ)

E - m a i l: ono.takao.es(at)osaka-u.ac.jp

U R L: <https://sites.google.com/view/takao-ono/>