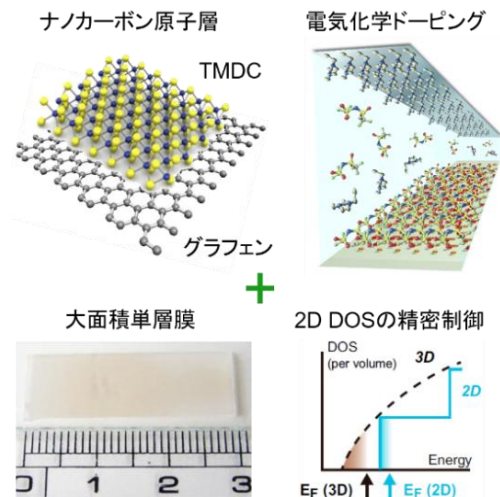


大面積二次元半導体による高機能・高性能熱電変換デバイスの開発

東京科学大学 理学院 物理学系 准教授 蒲江

近年、半導体デバイスの軽量化・小型化に伴い、様々な機器をインターネットにつなぐ試みが急速に進展しており、これらの電力源確保が重要課題である。特に、人体に身に着ける機器では柔軟性と安全性が求められ、その電源技術として熱電変換デバイスが期待されている。例えば、既存の熱電変換デバイスは無機半導体により構成されており、高い発電効率が実現されているが機械的変形に脆く毒性を有する欠点がある。これに対し最近、柔軟な熱電材料として有機半導体が盛んに研究されているが、低い発電性能に留まっている。そこで本研究では、可塑性と発電性能を兼ね備えた新たな熱電材料として二次元半導体、グラフェン及び遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDC)に着目した(下図)。熱を電気に変換する指標となるゼーベック係数は物質の電子構造に強く依存する。特に、二次元の状態密度を有する TMDC では、高い熱電変換効率が期待されている。また、TMDC は 1 ナノメートル以下の厚みにも関わらず、鉄を超える機械的強度と優れた電気伝導特性も併せ持つ。

本研究では、化学合成した大面積単層膜に電解質を用いたトランジスタ構造を組み合わせることで、電気化学ドーピングによる広範囲なキャリア数制御と熱電変換測定を行う。特に、熱電変換デバイスの効率はゼーベック係数と電気伝導率の積で決まるが、両物理量はキャリア数に対しトレードオフの関係にある。つまり、高性能化に向けてはキャリア数の精密制御が必須であり、電解質デバイスは最適な選択となる。また、電解質によるデバイス作製は機械的変形に対しても堅牢であり、柔軟性・伸縮性を有するデバイスが実現できる。したがって、二次元電子物性と電解質によるトランジスタの組み合わせを基軸に、キャリア数が精密制御された熱電変換デバイスをフレキシブル基板上に作製し、高出力・高効率(高性能)と高柔軟性・高伸縮性(高機能)の同時達成を目指す。



【実用化が期待される分野】

本研究を通して、高度情報化社会を下支えする電源技術に対して材料物性・デバイス技術両面のベンチマークになることが期待される。特に、TMDC の二次元物性による高性能化と優れた機械的強度を活かした柔軟性・伸縮性に注目し、電気化学的なドーピング手法により機能化する新しい手法が構築され、二次元半導体のエネルギー変換研究に、工学応用展開の一石を投じることを期待する。

研究の現状と将来

近年、半導体デバイスの軽量化・小型化に伴い、様々な機器をインターネットにつなぐ試み Internet of Things (IoT) が急速に進展しており、これらの電力源確保が最重要課題である。特に、人体に身に着ける機器では柔軟性と安全性が求められ、その電源技術として熱電変換デバイスが期待されている。例えば、既存の熱電変換デバイスは無機半導体により

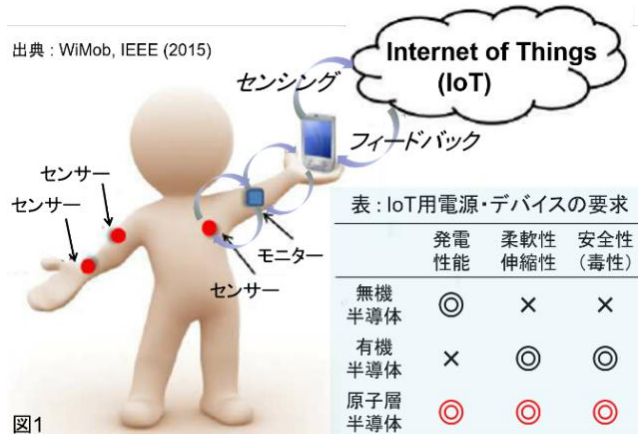


図1

構成されており、高い発電効率が実現されているが機械的変形に脆く毒性を有する欠点がある。これに対し最近、柔軟な熱電材料として有機半導体が盛んに研究されているが、低い発電性能に留まっている(図 1)。したがって、これら既存材料の欠点を補完する新材料を用い、高性能かつ高機能な熱電変換デバイスの創出が、高度情報化社会を下支えするエネルギーハーベスティング技術の至上命題である。

従来の熱電変換材料に多用されているビスマス系(無機)材料は毒性があり機械的にも脆い。これに対し近年、柔軟かつ安全な熱電材料として、有機高分子材料を利用する試みが進んでいるがその発電性能は未だ極めて低い。そこで本研究では、新奇二次元半導体の二次元物性による高性能化と優れた機械的強度を活かした柔軟性・伸縮性に注目し、電気化学的なドーピング手法により機能化する新しい手法を構築する。つまり、新材料新手法の高次融合により、高性能・高機能な熱電変換デバイスの実現が期待できる(図 2)。

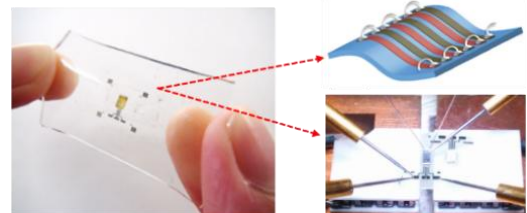


図 2 高性能・高機能な原子層熱電変換デバイス