

一滴のしずくから5ボルトを発電 ～ 雨滴などの流体からIoTの発電技術を開発 ～

名古屋大学未来材料・システム研究所の アジ・アドハ・スクマ 研究者 と 大野雄高 教授ら及び九州大学グローバルイノベーションセンターの 吾郷 浩樹 教授の研究グループは、一滴の水から5ボルト以上の発電をする技術を開発しました。この発電装置は、プラスチックフィルム上に成膜された原子レベルで薄い二硫化モリブデン^{注1)} から構成されており、その表面を水滴が滑り落ちる時に発電します。

従来、原子層材料の一種であるグラフェン^{注2)} を用いて同様の発電現象が報告されていましたが、出力電圧は0.1ボルト程度にとどまっていた。

本研究では、半導体の原子層材料である二硫化モリブデンを用いることで、センサデバイスを駆動するのに十分な高い出力電圧を得ることに成功しました。この技術は、工場排水のモニタリングのための自己給電型水質センサなどのIoTデバイスへの応用が期待されます。

本研究は、科学雑誌 Nano Energy (インパクトファクター 15.55) に2019年12月6日付でオンライン掲載されました。

なお、本研究は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業(CREST)「微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出」の支援のもとで行われたものです。

【ポイント】

- ・ 1層の二硫化モリブデンをプラスチックフィルム上に大面積に成膜する技術を開発
- ・ 一滴の水滴から5ボルト以上の高い電圧を発電
- ・ 流体の存在する環境における自己給電型IoTデバイスへの応用に期待

【研究背景】

IoT（モノのインターネット化）の推進において、多様な情報を得るためのセンサの需要が急激に伸びています。環境に存在する熱や振動などの微小なエネルギーからIoTセンサを駆動するための電力を得る環境発電（エネルギーハーベスティング）^(注3)技術は、電池に代わる交換不要な電源として注目されています。

水力はクリーンエネルギーの代表であり、従来より、水の流れのエネルギーから水車を用いて動力を発生させ、大規模な水力発電が行われてきました。一方で、工場の配管や微小流体デバイスなどにおいて、小さな流れのエネルギーは随所に存在しているにもかかわらず、これらの電力利用は未開発のままです。

本研究では、半導体原子層材料である二硫化モリブデンを用いて、水滴の運動から5ボルト以上の高い電圧を発生するエネルギーハーベスティング技術を開発しました。

【成果の内容と意義】

1. 1層の二硫化モリブデンをプラスチックフィルム上に大面積に成膜する技術を開発

二硫化モリブデンは層状物質であり、極限的に薄くすると1原子レベルまで薄くすることができます。発電装置の実現には、プラスチックフィルム上に、大面積かつ1層の二硫化モリブデンを成膜する技術が必要でした。従来、原料となる酸化モリブデンと硫黄を成長装置の上流側に設置し、高温に加熱した基板に供給する方法がとられていましたが、大面積の基板に均一に硫化モリブデンを成長させることは困難でした。

本研究では、酸化モリブデンを基板に対向して設置するとともに、均一に供給する工夫を行うことにより、大面積で1層の二硫化モリブデンを成膜することに成功しました（図1）。また、サファイア基板を用いることにより、高品質化も実現しました。

さらに、サファイア基板上に成長した二硫化モリブデンをプラスチックフィルム上に転写する技術も開発しました。転写工程において、極めて薄い二硫化モリブデンを支持するため、従来、PMMA（ポリメタクリル酸メチル樹脂）フィルムが用いられていましたが、大面積で転写するのは困難でした。本研究では、ポリスチレンフィルムを支持材料として用いることにより、表面エネルギーの違いを利用して、簡便に大面積の二硫化モリブデンを転写することに成功しました。

二硫化モリブデンは極めて薄い半導体材料であり、開発した成膜技術は発電装置のみならず、集積回路やフレキシブルエレクトロニクス^(注4)などへの半導体応用も期待できます。

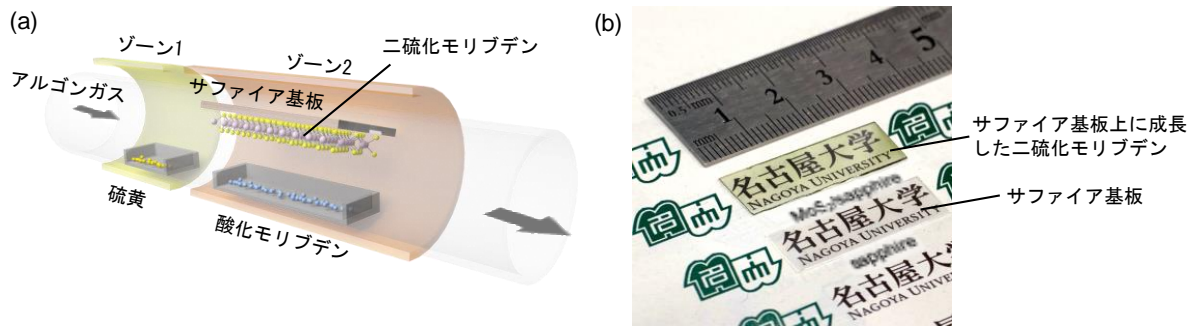


図 1 (a) 大面積二硫化モリブデン成長技術 (b) サファイア基板上に成長した大面積の二硫化モリブデン

2. 一滴の水滴から 5 ボルト以上の高い電圧を発電

プラスチックフィルム上に成膜した二硫化モリブデンを用いることにより、たった一滴の水滴から 5 ボルト以上の高い電圧を発生させることに成功しました。発電装置は、二硫化モリブデンの両端に電極を形成した単純な構造 (図 2(a)) です。発電装置を 45° に傾け、水滴を表面に落とし、二硫化モリブデンの表面を滑らすと、電圧が発生します (図 2(b))。1 滴の水滴を落とすごとに、パルス状の 5 ボルトから 8 ボルトの電圧が発生しました (図 2(c))。

従来、炭素の原子層材料であるグラフェンを用いることで同様の発電現象が知られていましたが、発電電圧は数十ミリボルトから数百ミリボルトにとどまっておりました。本研究では、半導体の原子層材料である二硫化モリブデンを用い、発電装置内で還流する電流を抑制することにより、センサ駆動に十分な高電圧化を実現しました。さらに、3 つの発電装置を直列接続し、3 滴の水滴を同時に滴下することにより、15 ボルトの発電にも成功しました。

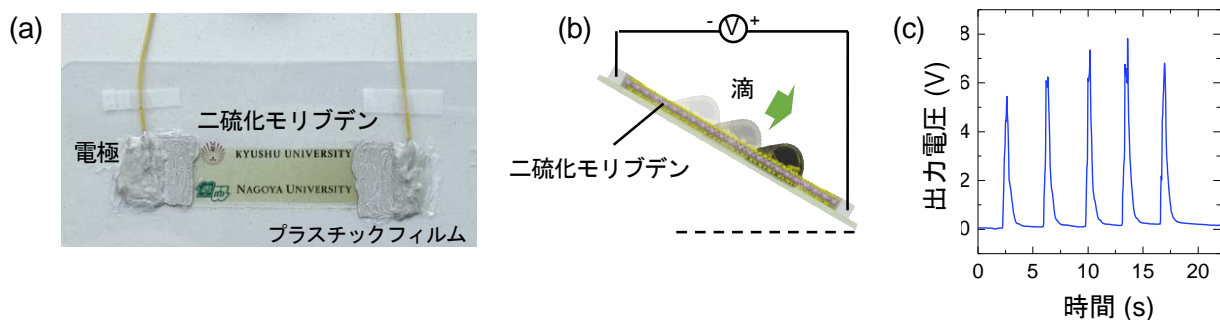


図 2 (a) 発電装置 (b) 滴から発電する様子 (c) 出力電圧の波形

3. 流体の存在する多様な環境における自己給電型 IoT デバイスへの応用に期待

この発電技術は、流体の存在する様々な環境において、自己給電型 IoT デバイスの電源として利用することが想定されます。発電装置はプラスチックフィルム上に形成されており、柔軟性があるため、配管の内側の曲面などに設置することも可能であり、高い設置自由度をもちます。例えば、雨滴から発電する自己給電型の雨量計や酸性雨モニタ、工場排水から発電し、同時に排水の水質モニタリングを行う自己給電型水質センサなどの IoT デバイスへの応用が考えられます。

【用語説明】

- 注1) 二硫化モリブデン: 層状の結晶構造を持ち、力が加わると容易に層間が滑るため、粉末は潤滑剤として用いられている。二硫化モリブデンを1層まで薄くすると半導体材料として用いることができる。
- 注2) グラフェン: 炭素の層状物質であるグラファイトを1層まで薄くしたもの。金属的な材料であり、電池や透明導電膜など、多様なエレクトロニクス応用が期待されている。
- 注3) 環境発電 (エネルギーハーベスティング): 身の回りに存在する微小なエネルギー (光、熱、振動など) を電力に変換する技術。身近なところでは、ソーラー腕時計などがある。
- 注4) フレキシブルエレクトロニクス: 柔軟性をもち、曲げられる電子デバイスを提供する技術。例えば、曲面に設置可能な IoT デバイスや人体に設置可能な電子デバイス (ウェアラブルデバイス) への応用が期待されている。

【論文情報】

雑誌名: Nano Energy

論文タイトル: High output voltage generation of over 5 V from liquid motion on single-layer MoS₂

著者: アジ・アザ・スクマ、西 涼平、吾郷 浩樹、大野 雄高

DOI: [10.1016/j.nanoen.2019.104370](https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.104370)