

2025 年 10 月 23 日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

加熱下の固体電解質で光駆動の電圧発生 — 酸素の出し入れを伴う高温光起電力の仕組みを解明 —

【発表のポイント】

- 固体電解質^(注1)である Gd 添加 $\text{CeO}_{2-\delta}$ と Pt の界面に紫外線を照射すると、300-400°C の加熱下で電圧が発生することを観測しました。
- この高温での光電圧は、紫外線照射によって生じる酸素の取り込み（酸素不定比の変化）が寄与することを解明しました。
- この発見により、高温で作動する新しいタイプの光電気化学デバイスの創出が期待されます。

【概要】

近年、再生可能エネルギーの有効利用に向けて、光を使って化学反応や発電を行う光電気化学デバイスが注目されています。従来の光電気化学デバイスは室温付近での利用に限られ、高温での研究はまだ数少なく、未解明な点が多く残されていました。

東北大学大学院環境科学研究科の川田達也教授、倉田真樹大学院生（在籍当時）、山口実奈助教らの研究グループは、固体電解質として知られるガドリニウム添加セリア（CGO）^(注2)と白金の界面に紫外線を照射し、300-400°C の高温環境で電圧が発生することを明らかにしました。紫外線照射により CGO に酸素が取り込まれ、それによって CGO 表面での酸素のエネルギー（化学ポテンシャル）が増大することが電圧発生に寄与していることを、世界で初めて実験的に確認しました。このような光による固体中酸素のエネルギーの制御は、従来の太陽電池とは異なる新原理に基づいて光から電気・化学エネルギーへの変換を可能にする高温光電気化学デバイスの開発につながると期待されます。

本研究成果は 2025 年 10 月 17 日に学術誌 Advanced Optical Materials に掲載されました。

【詳細な説明】

背景

従来の光デバイスは、高温では電子と正孔がすぐに再結合してしまうため効率が低下する、という課題がありました。ところが近年、酸化物材料である SrTiO₃（ストロンチウムチタネート）を用いると、室温付近だけでなく 400°C 程度までの高温環境でも紫外線に反応して電圧が生じることが報告されてきました。これまでの研究では、この電圧には「すぐに立ち上がる速い応答」と「時間をかけて現れる遅い応答」があり、特に遅い応答には材料中への酸素の取り込みが関係していると考えられてきました。

研究グループでも SrTiO₃ の紫外線反応を研究していましたが、その過程で、固体電解質として用いた Gd 添加セリア（CGO）単体でも電圧が発生することを偶然発見しました。これは新しい現象であり、この CGO の紫外線反応の特徴やその起源を明らかにするために、本研究に取り組みました。

今回の取り組み

本研究では、ガドリニウムを添加したセリア（CGO）のペレットを用い、片側に紫外線を照射した際の電圧変化を調べました（図 1）。まず、照射面に白金電極を取り付け、雰囲気中の酸素濃度による影響を確認しました。その結果、水素雰囲気では電圧の変化は見られませんでした。酸化雰囲気では、紫外線照射によって電圧が生じ、その大きさは酸素濃度に応じて増加しました。

さらに、紫外線を照射した面で酸素が取り込まれることで、材料内部に「酸素のエネルギー差」が生じ、これが電圧の起源であることを実験的に確認しました。この実験的検証には、CGO にごくわずかに存在する電子性のキャリア（正孔）により、紫外線照射時に酸素が反対側へ透過する現象を利用しました。

また、電流-電圧測定では、紫外線照射下で酸素を取り込む反応が進み、より大きな電流が得られることを確認しました。加えて、交流インピーダンス測定の結果、紫外線照射により電極反応の抵抗が小さくなり、酸素の表面吸着量に対応すると考えられる「化学容量」が増大することも分かりました。

これら一連の実験や温度依存性、紫外線強度依存性、光源波長依存性、照射時間依存性評価の結果はすべて、紫外線が材料表面で酸素の取り込みを促進し、その効果が電圧として観測される、という新しい仕組みを裏付けています。

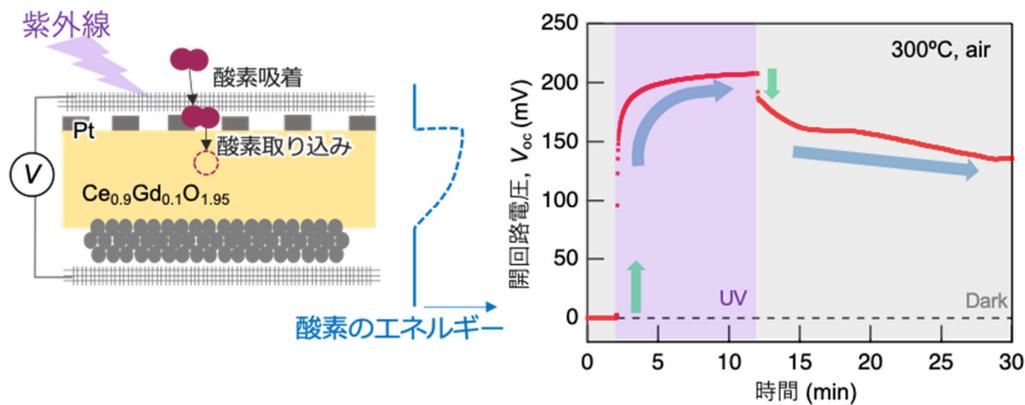


図 1. (左) 開回路電圧試験に用いた CGO の模式図と (右) UV 照射時/非照射時の開回路電圧の時間変化。

今後の展開

本研究により、酸化物材料において紫外線照射が酸素の出し入れを引き起こし、それが電圧として現れる仕組みが実験的に示されました。これは「高温で作動する光電気化学デバイス」の新しい原理を提示するものです。今後は、この成果を基盤として、より高効率に光で酸素を制御する材料設計や、光と酸素イオン伝導を組み合わせた新型デバイスの開発につなげていくことが期待されます。たとえば、高温環境下で作動する次世代型の水素製造システムや、持続可能なエネルギー変換デバイスへの応用が視野に入ります。なお、本研究で提唱した電圧発生メカニズムは、光照射が酸素の取り込み・放出に関与するという仮説に基づいています。これは、イオン伝導度^(注3)や酸化物中の酸素の欠損量を光で制御する光イオニクスという新しい研究分野の発展にも寄与すると期待されます。

【謝辞】

本研究は、日本学術振興会 (JSPS) の科研費「研究活動スタート支援」(JP23K19260) および「若手研究」(JP24K17515) の助成を受けて実施されました。

【用語説明】

注1. 固体電解質：イオンの拡散によって電気伝導が生じる固体。材料中で電荷を運ぶ担体は、電子・正孔などの電子性キャリアと、 $\text{Li}^+/\text{Na}^+/\text{O}^{2-}$ などのイオン性キャリアに大別されるが、固体電解質では電流の大部分をイオンが担う。電子伝導は極めて小さいことが望ましい。

注2. ガドリニウム添加セリア (Gd-doped $\text{CeO}_{2-\delta}$, CGO)：酸化物イオン (O^{2-}) 伝導性を示す材料。酸化雰囲気では主要な電荷キャリアが酸素空

孔 (V_0^*) で電子やホールによる伝導をほとんど無視できるため固体電解質として機能するが、還元雰囲気では電子伝導の寄与が大きくなり O^{2-} と電子の混合導電体となる。室温でのバンドギャップは 3.2-3.4 eV 程度であり、本研究で用いている LED 光源 (中心波長 365nm) を吸収する。

注3. イオン伝導度：イオンが運ぶ電流の通しやすさを表す物性値。単位は、オームの逆数であるジーメンズ (S) を長さで割った次元の $S \cdot m^{-1}$ や $S \cdot cm^{-1}$ で表される。

【論文情報】

タイトル：Origin of Ultraviolet-Induced High-Temperature Photovoltaic Response at Pt/Gd-Doped CeO_2 Interface

著者：Mina Yamaguchi*, Masaki Kurata, Yuki Morita, Ryosuke Iwata, Shogo Fuwa, Akihiro Ishii, Hitoshi Takamura, Keiji Yashiro, Tatsuya Kawada

*責任著者：東北大学大学院環境科学研究科 助教 山口実奈

掲載誌：Advanced Optical Materials

DOI：10.1002/adom.202501971

URL：http://doi.org/10.1002/adom.202501971

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学大学院環境科学研究科

助教 山口実奈

TEL: 022-795-6976

Email: mina.yamaguchi.e3@tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学大学院環境科学研究科

情報広報室

TEL: 022-752-2241

Email: kankyo.koho@grp.tohoku.ac.jp