

2025年8月20日

新潟大学

高効率・高安定性を有する光透過性メソポーラス 酸化タングステン薄膜の開発に成功 ー 太陽光水分解によるグリーン水素製造へ大きく前進 ー

持続可能なカーボンニュートラルな社会の実現に向けた取り組みが世界的に進む中、太陽光水分解によるグリーン水素製造¹⁾に多くの関心が集まっています。半導体電極を用いた光電気化学的（PEC）水分解は有力なグリーン水素製造技術の一つとして期待されていますが、高効率・高安定性を有する光酸素発生アノード²⁾の開発が重要な課題です。さらに、タンデム型 PEC 水分解システム³⁾を構築するためには、光透過性の優れた光酸素発生アノードの開発が必要です。新潟大学工学部の Debraj Chandra 特任准教授、坪ノ内優太准教授、Zaki N. Zahran 外国人客員研究員、八木政行教授らの研究チームは、高効率・高安定性を有し、光透過性に優れたメソポーラス酸化タングステン（ WO_3 ）光酸素発生アノードの開発に成功しました。これにより、PEC 水分解による高効率グリーン水素製造のための重要なブレークスルーが得られたとともに、高効率タンデム型 PEC 水分解システムの開発への道筋が得られました。

【本研究成果のポイント】

- 高効率な光電気化学（PEC）酸素発生のための、光透過性の優れたメソポーラス酸化タングステン（ WO_3 ）光酸素発生アノードを開発しました。
- 本 WO_3 光酸素発生アノードは優れた安定性と高いファラデー効率⁴⁾を実現しました。
- タンデム型 PEC 水分解デバイスに向けて、光透過性に優れた WO_3 光酸素発生アノードの合成戦略を確立しました。

1. 研究の背景

エネルギー・環境に対する世界的な関心が高まる中、水素は将来のクリーン燃料として注目されており、太陽光を利用した水分解によるグリーン水素製造技術の開発が望まれています。PEC 水分解は、半導体電極に太陽光を照射して水を酸素（ O_2 ）と水素（ H_2 ）に分解する反応です。 WO_3 は可視光駆動型の PEC 水分解における代表的な半導体光酸素発生アノードですが、不活性な表面過酸化物の生成が酸素発生反応と競合するため、PEC 水分解の安定性が低く、酸素発生におけるファラデー効率（ FE_{O_2} ）が約 70%程度と低い点に課題があります。特に中性 pH

条件下で、安定した PEC 水分解と $\text{FE}_{\text{O}_2} \approx 100\%$ を実現することは、実用的な太陽光水分解に重要です。さらに、次世代のタンデム型 PEC 水分解デバイスにおいて、光酸素発生アノードで吸収されない光を透過させて対極の光水素発生カソード⁵⁾で利用するために、光透過性の優れた光アノードの開発が求められています。しかし、これまで PEC 水分解において高い性能と長期安定性を兼ね備え、光透過性に優れた WO_3 光アノードは報告されていませんでした。

II. 研究の概要・成果

本研究グループは、界面活性剤を用いたテンプレート法⁶⁾と、独自の *in situ* テンプレート炭化技術⁷⁾を組み合わせることで、フッ素ドープ酸化スズ (FTO) 電極上に WO_3 膜を直接作製しました。得られた WO_3 膜は、高比表面積 ($124 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$)、表面反応におけるキャリア移動を容易にする超薄細孔壁 (約 10 nm)、および水酸化反応に活性な結晶面の優先的成長という特徴を有することを明らかにしました (図 1A)。この独自構造により、光アノード表面で水からの酸素発生反応が効率的に進行します。その結果、酸化コバルト (CoO_x) 助触媒を担持した WO_3 膜は、従来型 WO_3 の約 3 倍の光電流変換効率を示し、 FE_{O_2} 93% で 30 時間後もその活性を 98% 維持する、優れた性能を実証しました (図 1B)。高性能・長期安定性を有する光透過性 WO_3 光アノードを開発した本研究成果は、PEC 水分解による持続可能なグリーン水素製造の実現に向けた重要なブレイクスルーです。

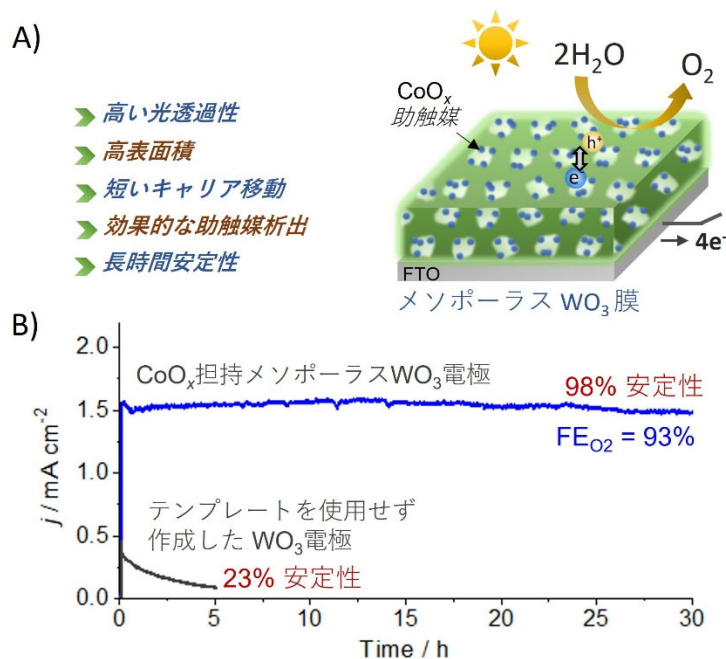


図 1. (A) メソポーラス WO_3 光アノード表面上における効果的な PEC 酸素発生 の 模 式 図、(B) メソポーラス WO_3 光アノードの PEC 酸素発生 の 安 定 性 評 価。

III. 今後の展開

今後、本メソポーラス WO_3 膜を用いて、高効率タンデム型 PEC 水分解デバイスの開発を目指します。

IV. 研究成果の公表

本研究成果は、2025 年 7 月 25 日、科学誌「Applied Catalysis B: Environment and Energy」(2024 年 IF: 21.1) に掲載されました。

論文タイトル : Optically transparent WO₃ films with organized mesopores and oriented crystallinity: An efficient and robust photoanode for visible-light-driven water oxidation at neutral pH

著者 : Debraj Chandra, Kosei Ouchi, Yuta Tsubonouchi, Zaki N. Zahran, Masayuki Yagi

doi : <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2025.125733>

VI. 謝辞

本研究は、文部科学省 科学研究費助成事業 基盤研究 (A) (24H00377) により支援されたものです。

【用語解説】

(注 1) グリーン水素製造 : 二酸化炭素を排出しない水素製造

(注 2) 光酸素発生アノード : 光照射により、水が酸化され酸素が発生する電極

(注 3) タンデム型 PEC 水分解システム : 光酸素発生アノードで吸収されない光を透過させて、対極の光水素発生カソードで透過した光を利用する PEC 水分解システム

(注 4) ファラデー効率 : 電気化学反応で流れた電気量に対する生成物の生成効率

(注 5) 光カソード : 光照射により、水が還元され水素が発生する電極

(注 6) テンプレート法 : 界面活性剤の分子集合体を鋳型 (テンプレート) にして、メソポーラス材料を合成する方法

(注 7) *in situ* テンプレート炭化技術 : 界面活性剤の分子集合体を窒素雰囲気下で炭化させることにより、メソポーラス構造を保持した状態で金属酸化物を結晶化させる方法。

本件に関するお問い合わせ先

新潟大学自然科学系 (工学部)

教授 八木 政行 (やぎ まさゆき)

E-mail : yagi@eng.niigata-u.ac.jp