

太陽光をもれなく利用可能な材料の開発に成功

～今後の太陽電池、光触媒や光熱変換材料などの高効率光機能材料デバイス開発に期待～

ポイント

- ・水と光のみを用いた銅ドーピング $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ナノ結晶の作製に成功。
- ・作製したナノ材料の優れた光熱変換特性、太陽光水蒸発、赤外域光電気化学特性の実証に成功。
- ・今後の高効率全太陽光利用デバイス開発と水と光を用いた持続可能な材料創製技術の進展に期待。

概要

北海道大学大学院工学研究院附属エネルギー・マテリアル融合領域研究センターの渡辺精一教授及び張麗華准教授らの研究グループは、水と光のみを用いた水中結晶光合成 (SPsC) ^{*1} という新たに開発した手法により、銅と酸素の空孔を戦略的に添加ドーピングすることでタングステン酸 ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) を用いた光学的臨界相を誘導できることを明らかにしました。

光応答性ナノ粒子を均一に分散させた材料は、太陽電池、光触媒など太陽光を念頭に置いた持続可能なエネルギー利用やフォトンクス応用のために役立っています。しかし、従来の方法では紫外線と可視光までを利用するだけなので、太陽光の約 40%以上を占める赤外域の光は未利用で、全太陽光をもれなく利用するためには制約がありました。

これらの光学的臨界相を有するナノ材料は、光波長 0.8-2.5 マイクロメートルの赤外領域を含む全太陽光波長域での応答を促進するため、これまで前例のなかった優れた光熱変換特性を示し、太陽光水蒸発や光電気化学の高効率特性が現れることが明らかになりました。

本研究で提案するワンポット SPsC 材料開発戦略は、近い将来、全太陽エネルギーを利用するための高効率先端酸化材料の設計と材料デバイス開発に貢献するものと思われます。

なお、本研究成果は、2023年7月29日(土)公開の Advanced Materials 誌にオンライン掲載されました。



ワンポットの光誘起水中光結晶合成法 (SPsC)

【背景】

光応答性ナノ粒子を均一に分散させた材料は、太陽電池、光触媒など太陽光を念頭に置いた持続可能なエネルギー利用やフォトニクス応用のために役立っています。しかし、従来の方法では紫外線と可視光までを利用するだけなので、太陽光の約40%以上を占める赤外域の光は未利用で、全太陽光をもれなく利用するための光電変換効率が悪いなどの制約がありました。

【研究手法と研究成果】

そこで本研究では、水と光を用いて作製する低環境負荷な新たなナノ材料合成法である水中光合成 (SPsC) を開発しました。同手法を用いて、銅と酸素の空孔を戦略的にドーピングすることで非化学量論的タングステン酸 ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) から光学臨界相を誘導できるようになりました。これにより、ナノ結晶の合成過程における欠陥の調節を行い、広い範囲の太陽光スペクトルを利用できます (合成したナノ結晶は図1を参照)。

具体的には、過酸化水素に溶かしたタングステン溶液中で銅元素の濃度を変えながらドーピングすることで、非化学量論的タングステン酸 ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) の半導体ナノ構造を作ることになりました。作製した材料を用いたデバイスにより、優れた光熱変換特性、光アシスト水蒸発特性、及び光電気化学特性を実証しました。

次に、透過型電子顕微鏡を用いて原子構造解析 (HRTEM) と電子線損失分光 (EELS) による誘電率、光吸収(係数)の評価を行い、さらに、密度汎関数理論に基づく第一原理計算と紫外線-可視光-近赤外分光分析による吸光度の実測と比較検討しました。これにより、本研究でカギとなる銅添加元素と酸素空孔の欠陥形成機構を明らかにし、当該現象の光機能発現効果を解明することができました (図2)。

【今後への期待】

作製した半導体デバイスは、特に近・中赤外光域での優れた光電流、光吸収などの光特性を示すため、今後の全太陽光利用のための光機能半導体・エネルギーデバイス材料開発として、ソーラーエネルギーの持続可能な利用技術としての進展への寄与が期待されます。

【謝辞】

本研究は科学研究費補助金 (基盤研究 A (渡辺代表) : JP20H00295 [ガルバニック水中結晶光合成の学理構築に基づく機能性3次元ヘテロナノ構造体創製]、基盤研究 C (張代表) : JP21K04823 [水中ラジカル反応を利用した新たな手法による光機能性金属酸化物ナノ構造の作製]、若手研究(ジェーム) : JP20K15122[水中結晶光合成による金属酸化物ナノロッドの創製とメカニズム解明]) の助成を受け、実施されました。また、一部の装置利用に関しては、文部科学省 マテリアル先端リサーチインフラ (ARIM) 事業 (課題番号 JPMXP1223HK-0034) を通じた技術的支援を受けて実施されました。

論文情報

論文名 Defect Driven Opto-Critical Phases Tuned for All-Solar Utilization (全太陽光利用のために調節した欠陥導入による臨界相について)

著者名 Melbert Jeem¹, Ayaka Hayano², Hiroto Miyashita², Mahiro Nishimura², Kohei Fukuroi², Hsueh-I Lin², Lihua Zhang¹, Seiichi Watanabe¹ (¹北海道大学大学院工学研究院附属エネルギー・マテリアル融合領域研究センター、²北海道大学大学院工学院材料科学専攻)

雑誌名 Advanced Materials

DOI 10.1002/adma.202305494

公表日 2023年7月29日(土)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院工学研究院附属エネルギー・マテリアル融合領域研究センター

教授 渡辺精一(わたなべせいいち)

TEL 011-706-7886 FAX 011-706-7119 メール sw004@eng.hokudai.ac.jp

URL <https://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/carem/>

北海道大学大学院工学研究院附属エネルギー・マテリアル融合領域研究センター

准教授 張麗華(チャンリーファ)

TEL 011-706-7196 メール zhanglihua@eng.hokudai.ac.jp

配信元

北海道大学社会共創部広報課(〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

TEL 011-706-2610 FAX 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

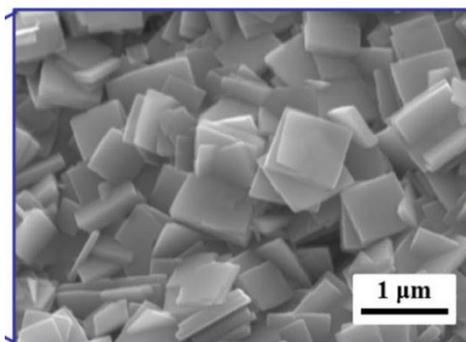


図 1. ワンポットの光誘起水中光結晶合成法 (SPsC) により合成したナノ結晶。

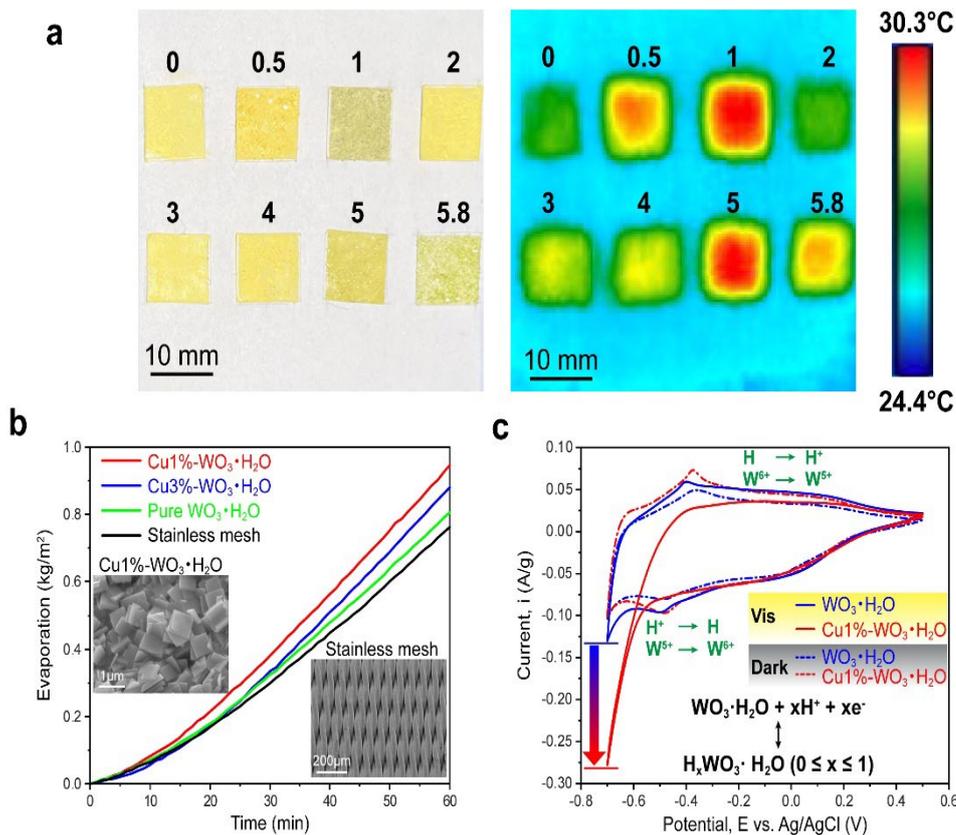


図 2. 各種の光機能特性調査

- a) 疑似太陽光で照射した $\text{Cu}_x\%-\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ($x = 0 - 5.8$)の光熱変換特性調査。銅元素 1%と 5% 添加で光学的臨界相になり強い光吸収が起こっている。
- b) ステンレスメッシュ上の $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Cu1}\%-\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Cu3}\%-\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ の IR ランプによる赤外光水蒸発試験。Cu1%- $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ で水蒸発が最も早い。
- c) Cu1%- $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 及び純 $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 粉末試料の光電気化学性能試験（光電子変換特性調査）。Cu1%- $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ では下向き矢印の光電流の増加を示した。

【用語解説】

*1 水中結晶光合成 … SPsC (Submerged Photosynthesis of Crystallites) と命名された (2015 年)、光と水を用いて水中でナノ結晶を合成する技術のこと。水中におけるナノ粒子合成効果を利用して、今回のように材料内への元素添加酸化物ナノ粒子の生成も可能。