

7 エネルギーをみんなに
そしてクリーンに



9 産業と技術革新の
基盤をつくろう



12 つくる責任
つかう責任



13 気候変動に
具体的な対策を



6 清潔な水と
衛生



14 海の豊かさ
を増やす



SDGs: Sustainable Development Goals (持続可能な開発目標)

研究室紹介(2024)

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

光・熱エネルギー変換材料研究室

Laboratory of Photon & Thermal
Energy Conversion Materials

* 研究室 (R棟2F) の廊下壁に
研究成果パネル展示中



研究室人員構成(2023年度)

研究室スタッフ

教授 渡辺 精一
 准教授 沖中 憲之
 准教授 張 麗華
 ポスドク研究員
 Yu Zhehan
 秘書 岸本相子

学 生

博士後期課程 (博士) 1名
 2年 林 學毅 (LIN Hsueh-I)

博士前期課程 (修士) 10名

2年: 酒井達也、西村真拓、宮下弘渡、袋井航平
 1年: 奥村清香、熊井宏樹、堺悠真、馬場悠一郎、羽山泰右、Sun Xiaoyan

学部4年生 6名

今井春輝、鯨井雅生、内川大地、高松和生、三上慶一郎、内川輝



熱工ネから光・熱工ネに

熱工エネルギー変換材料 2003~



光・熱工エネルギー変換材料 2015~

光エネルギー変換材料：

- ① 太陽電池, 光電池 光 → 電気エネルギー変換
- ② 光触媒 光 → 化学エネルギー変換
- ③ 太陽光水素製造(光電気化学的水分解)
- ④ 光水蒸発 光 → 熱エネルギー変換

熱エネルギー変換材料：

熱電池, 熱電素子 熱 → 電気エネルギー変換

研究テーマ① 渡辺・張

光誘起ナノ材料創製(水中結晶光合成)

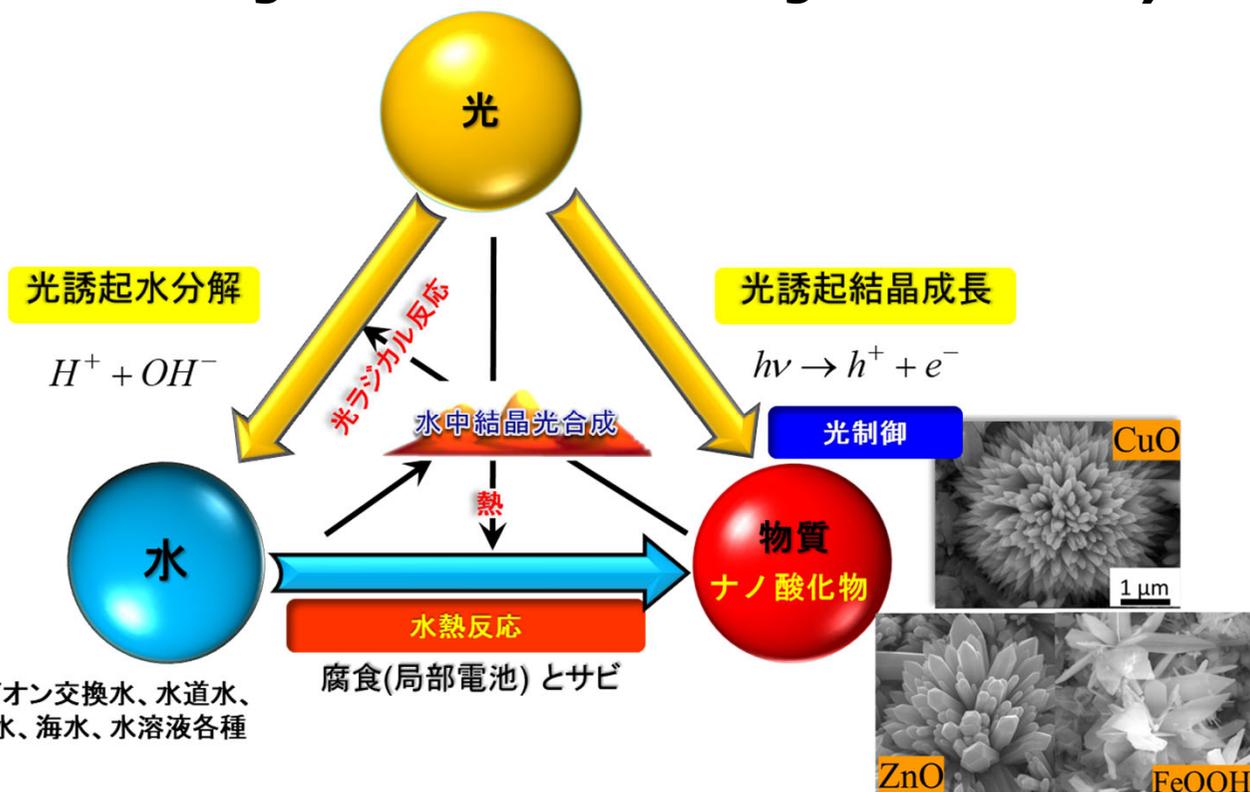
新B4:1~2名

人工的に生成した物質材料を用いて光合成をおこなわせる人工光合成の研究はグリーンテクノロジーとして期待されている。

本研究室では水と光により、水の光誘起分解を伴いながら金属酸化物のナノ結晶が成長することを見出し、水中結晶光合成

(SPSC: Submerged Photo-Synthesis of Crystallites)と命名した(2015)。

現在、この新奇現象を利用して様々な、金属酸化物のナノ粒子、ナノ表面構造を創るグリーンマテリアル研究開発を進めている。



研究テーマ① 渡辺・張

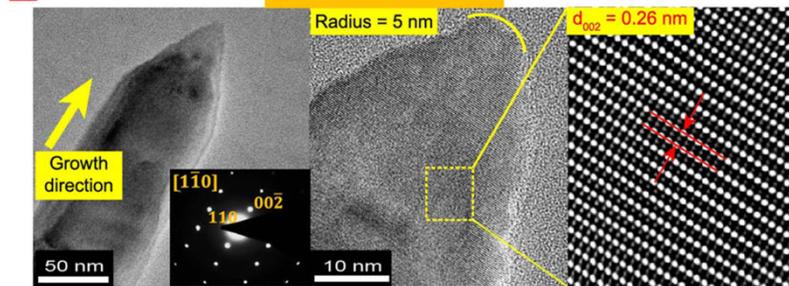
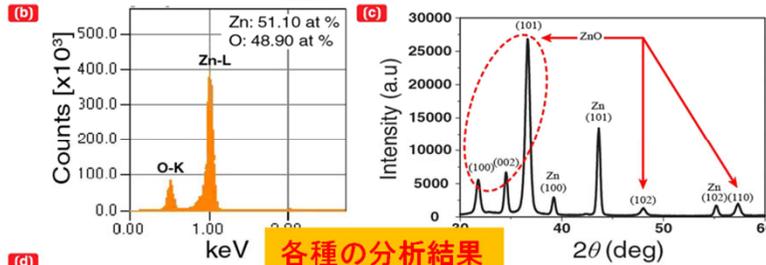
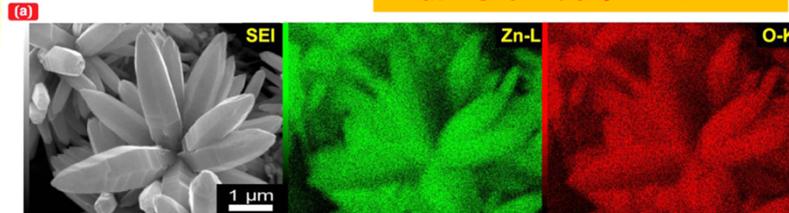
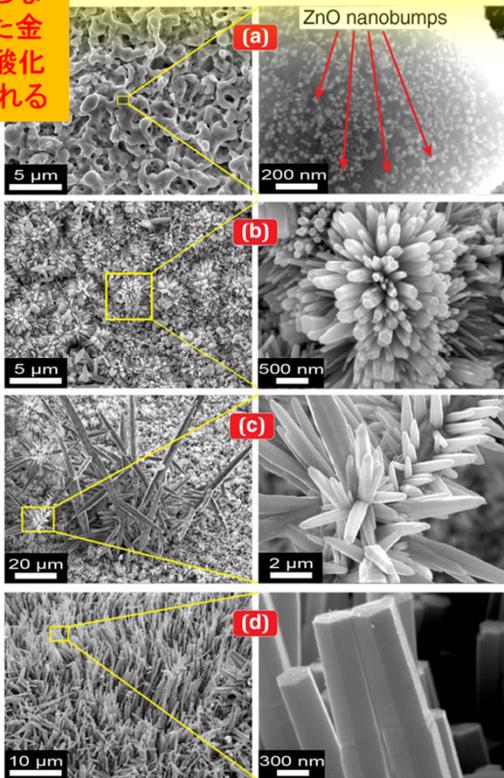
光誘起ナノ材料創製(水中結晶光合成)

ZnO

水と光を利用したナノマテリアル創製による
グリーンテクノロジー

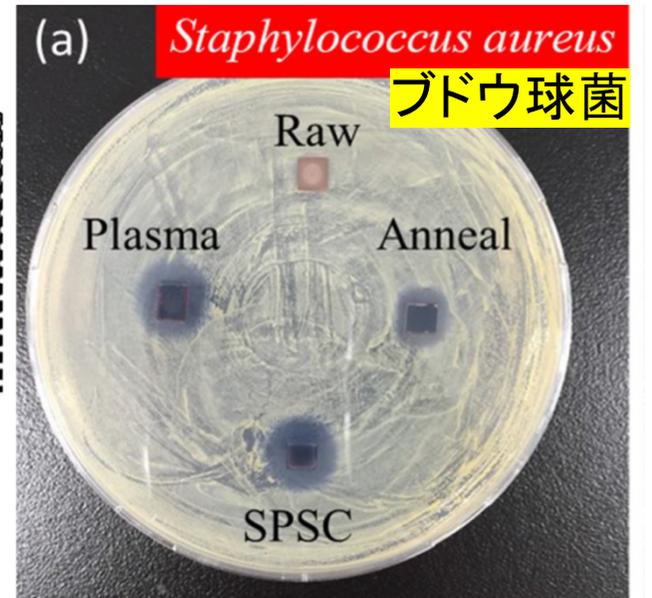
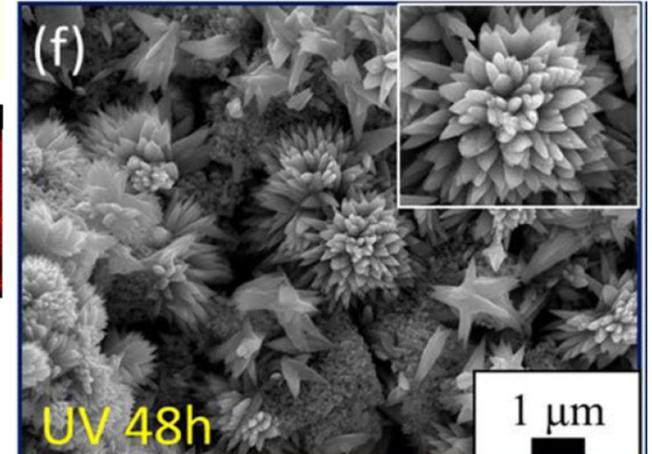
光誘起水分解により金属ナノ酸化
物と水素が同時に生成

いろいろな
形をした金
属ナノ酸化
物を作れる



Jeem, M. *et al.* A pathway of nanocrystallite fabrication by photo-assisted growth in pure water. *Scientific Reports* 5, 11429 (2015)

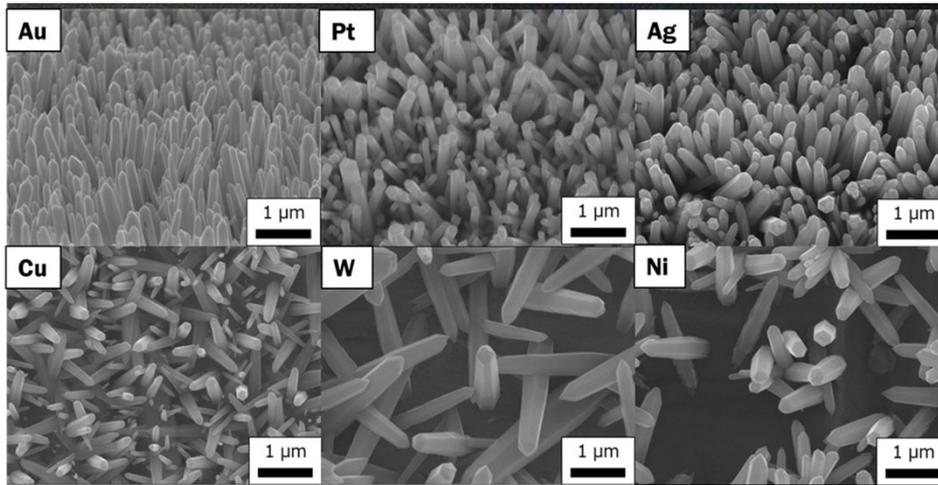
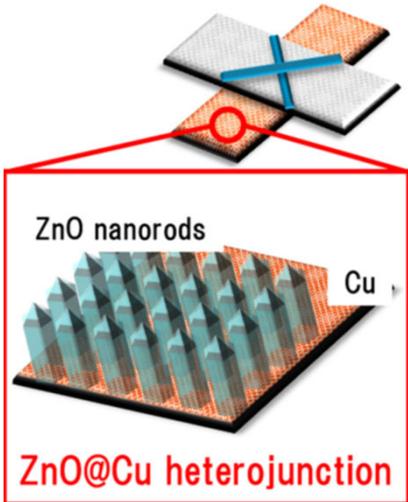
CuO



Scientific Reports (2017)
当時M2(現 古河電工)西野ら

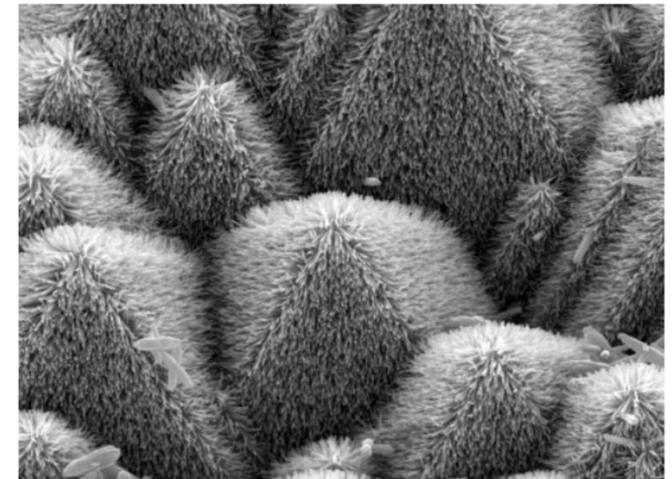
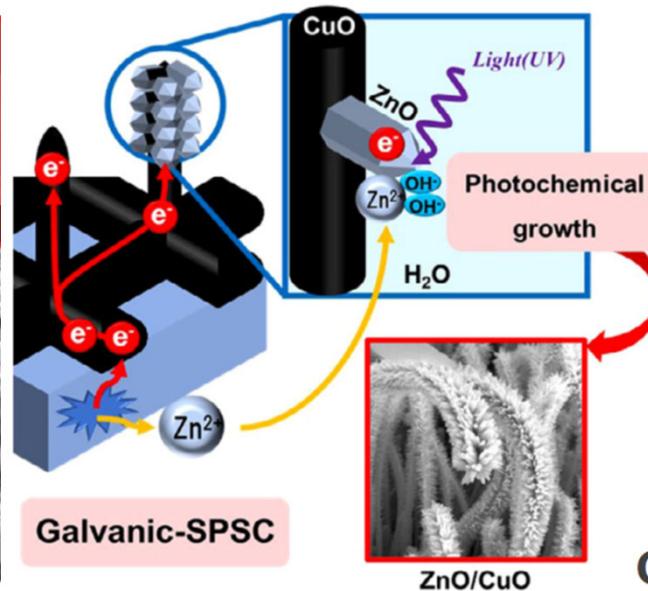
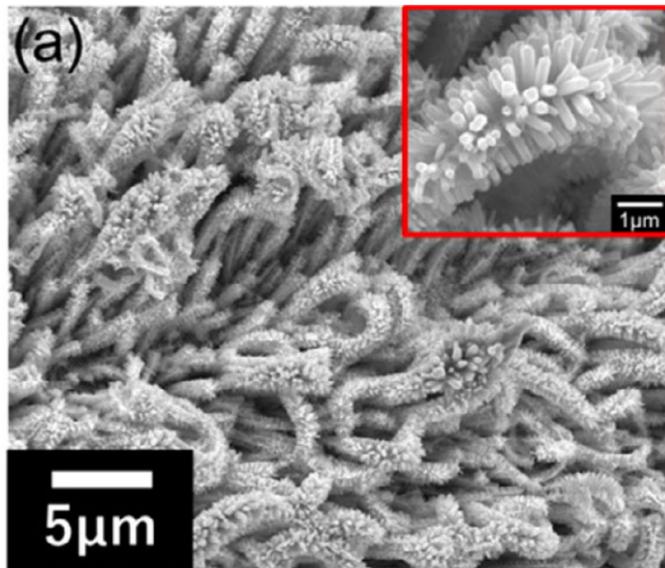
研究テーマ① 渡辺・張

光誘起ナノ材料創製(水中結晶光合成)



ガルバニック効果を利用したSPSC (G-SPSC)

- Applied surface science 489, 313-320 (2019)
- Applied Surface Science 489, 269-277 (2019)
- Applied Materials Today 26, 101359 (2022)



G-SPSC法を用いてモスアイSi上に形成したZnOナノロッド

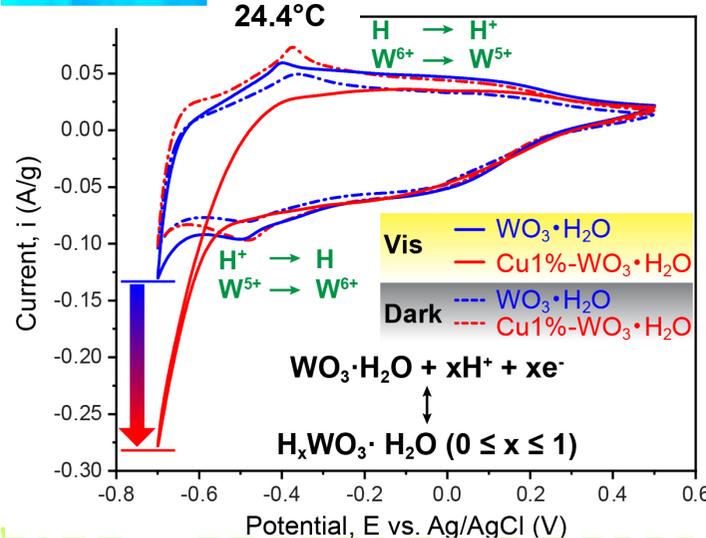
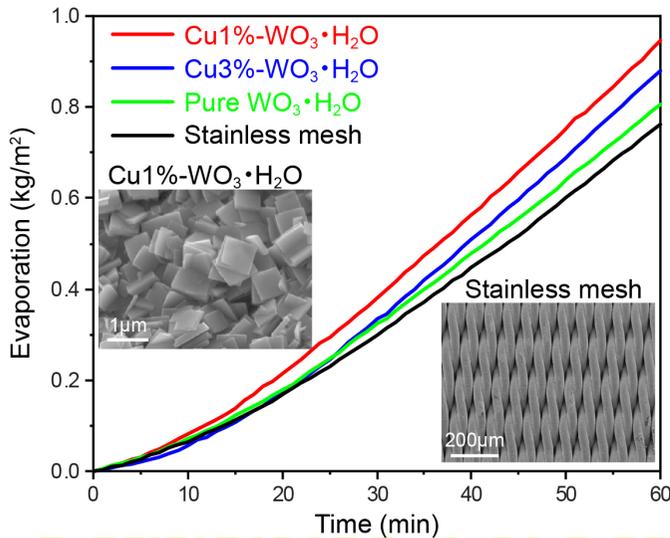
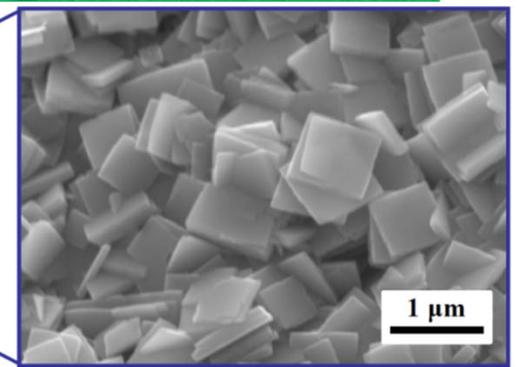
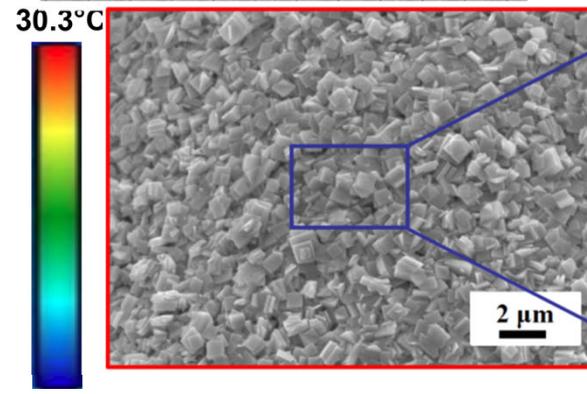
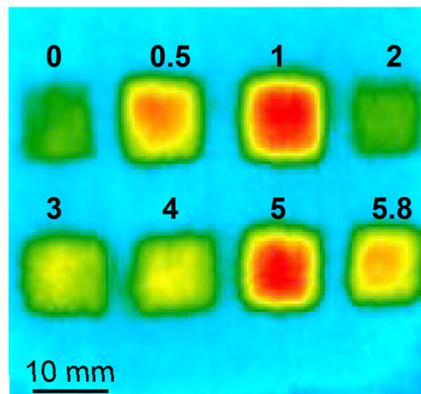
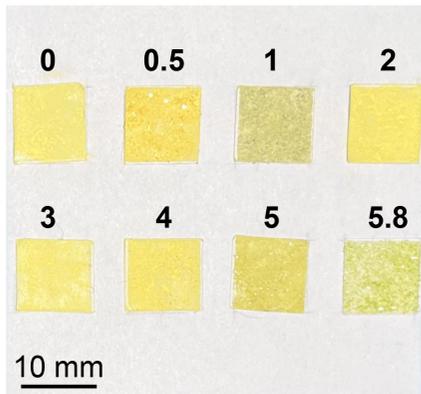
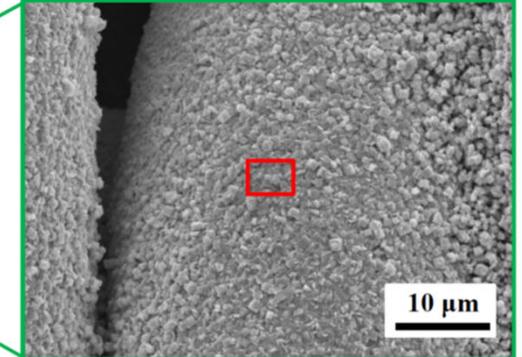
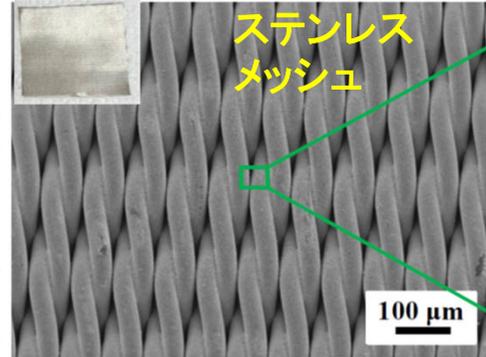
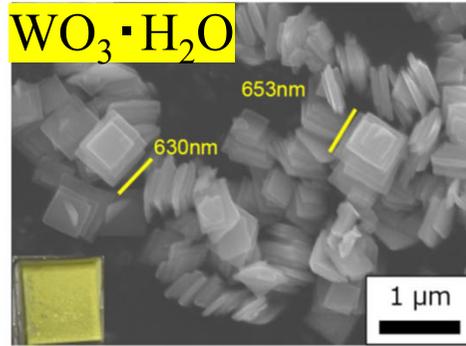
ZnO/CuOのヘテロ接合半導体ナノ構造: nano-forest

研究テーマ② 渡辺・張 光エネルギー変換デバイスの一括作製

新B4:1名

SPSC法

水 \rightarrow H_2O_2 溶液
 $WO_3 \cdot nH_2O$ ($n=1, 2$)
 Cu-doped $WO_3 \cdot H_2O$



光 \rightarrow 電気エネルギー
(太陽電池)

光 \rightarrow 熱エネルギー
(水蒸発、水浄化)

プレスリリースされたSPSCに関する研究

PRESS RELEASE 2022/1/13



半導体界面の特異電子構造の解明に成功

～今後の太陽電池やLED 開発への貢献に期待～

ポイント

- ・水と光のみを用いた半導体ナノ構造の作製に成功。
- ・異種半導体接合（ヘテロ構造）による光起電力の発現効果を解明。
- ・今後の半導体デバイス開発ならびに水と光を用いた持続可能な材料創製技術の進展に期待。

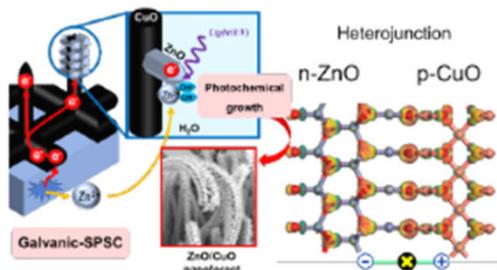
概要

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と張麗華助教、電子科学研究所のジェーム・メルバート助教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、良質な界面からなる3次元半導体（ヘテロエピタキシャル）構造の作製に成功しました。これを用いて、異種の半導体界面で起こる特異な光機能発現の機構を解明するため、電子顕微鏡と計算解析（第一原理計算）を駆使した原子レベルの構造解析、電子分布、光物性の詳細解析を行い、界面での特異な電子構造の存在を明らかにしました。

これまで半世紀近くの長い間、異種半導体界面²⁾については多くの研究がなされており、界面の電子（電位）状態を表す特異性としてフェルミ準位の固定（ピンニング）効果が知られていましたが、これが界面上での格子欠陥によるものなのか、界面ダイポールとよばれる電子分布の極端的なふるまいによるものかは不明でした。

そこで本研究では、紫外光を利用した水中結晶光合成法により、良質な異種界面（ヘテロエピタキシャル）構造を作製することに成功し、これを用いて、たとえ原子配列の整合性が良い界面においても、界面を挟んだ対称性が破れ、不整合な電荷密度分布（ICCD: Incommensurate Charge Density と命名）が生じていることを明らかにしました。これにより、界面ダイポールの効果とそれに伴う見かけ上の疑似的欠陥生成現象により、固有の界面エネルギー準位が形成され、優れた光機能が発現していることを解明しました。作製した3次元半導体デバイスは、特に可視光域での優れた光特性を示すため、今後は太陽光を利用したエネルギーデバイス材料としての応用が期待できます。

なお、本研究成果は、2022年1月7日（金）公開の Applied Materials Today 誌にオンライン掲載されました。



今回作製した ZnO/CuO(酸化亜鉛/酸化銅)のヘテロ接合半導体ナノ構造：nano-forest

光ガルバニック効果を利用した SPSC (G-SPSC) により光と水を用いて作製。ヘテロ接合界面において、不整合電荷密度分布 (ICCD) 効果により界面ダイポールが形成。

PRESS RELEASE 2023/8/7



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ブ WO₃・H₂O 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（WO₃・H₂O）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リソグラフィーの応用に役立っています。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物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。

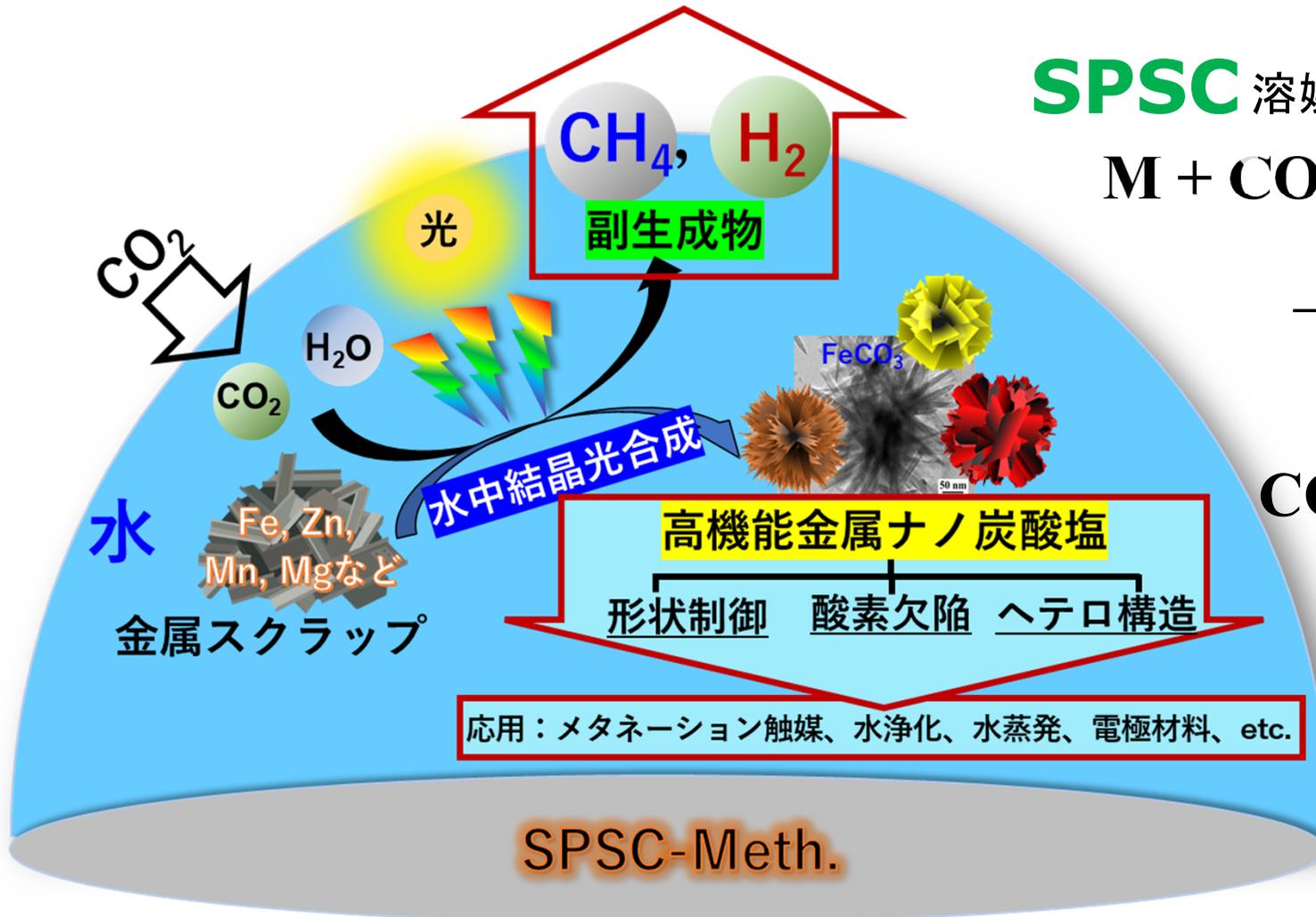


ワンポットの光誘起水中結晶光合成法（SPSC）

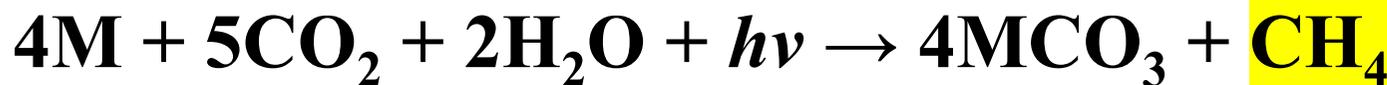
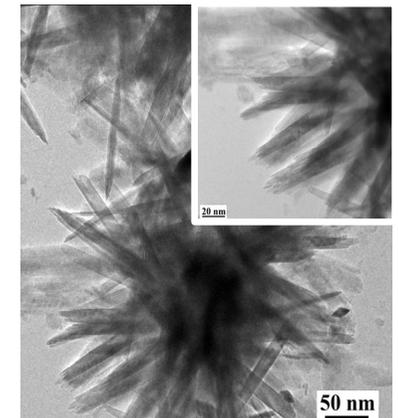
研究テーマ③ 渡辺・張

カーボンニュートラル (SPSC-methanation)

新B4:1名



SPSC 溶媒に 炭酸水 を使用



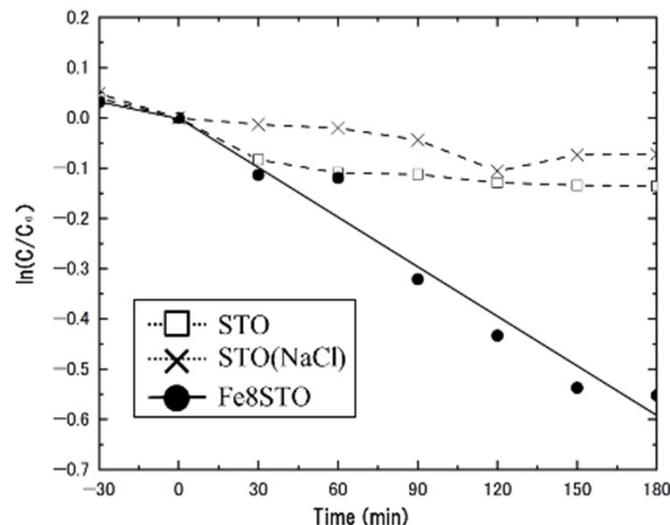
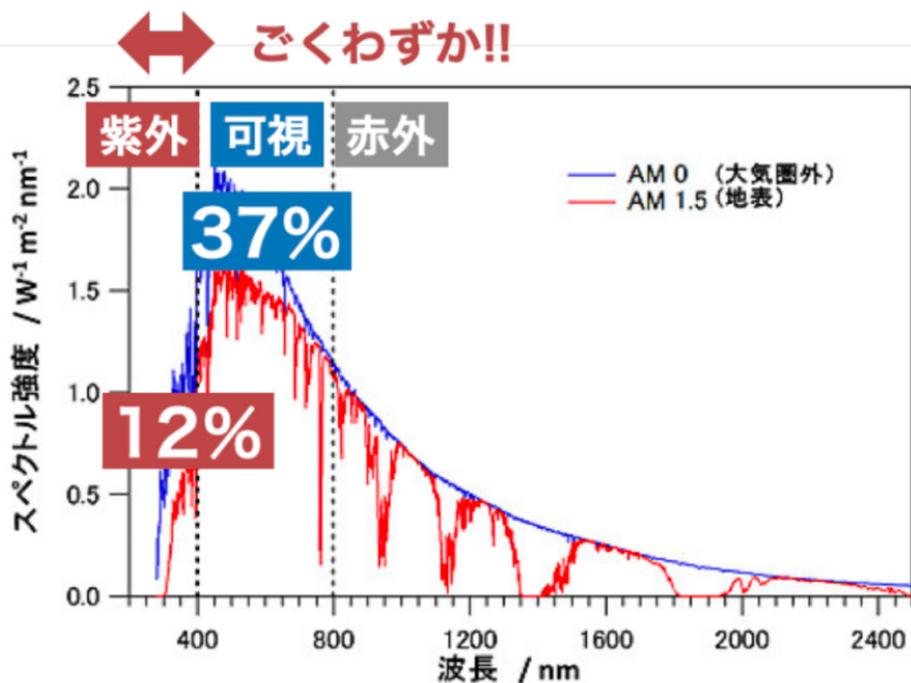
金属Fe、Mgはメタンの生成に成功した

半導体光触媒の活用

- 水分解による水素生成
- 汚染物質の分解

色素, 細菌, ウイルス, 揮発性有機化合物...

☆光触媒としての問題点
 バンドギャップが広く、紫外光しか利用できない
 →不純物元素のドーピングによりバンドギャップを制御する！
 (SrTiO₃はペロブスカイト構造であり、比較的ドーピングが容易)



Photodegradation of RhB over different samples by visible light

・蛍光体

...外部の光エネルギーを吸収して異なる波長の光を放出する物質

・蓄光体

...励起光遮断後にも一定時間発光が持続する蛍光体



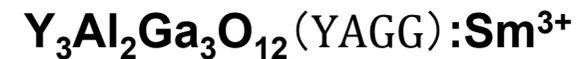
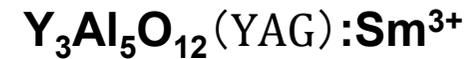
暗所で光る時計の文字盤 [1]



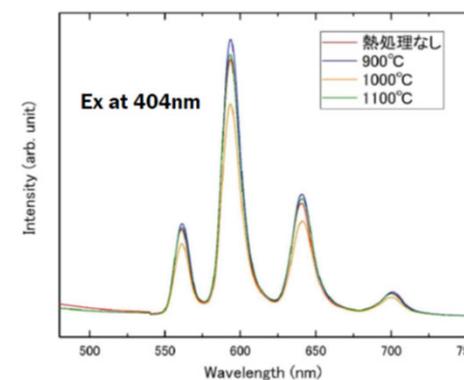
非常口誘導灯 [2]

青色光励起蛍光材の開発

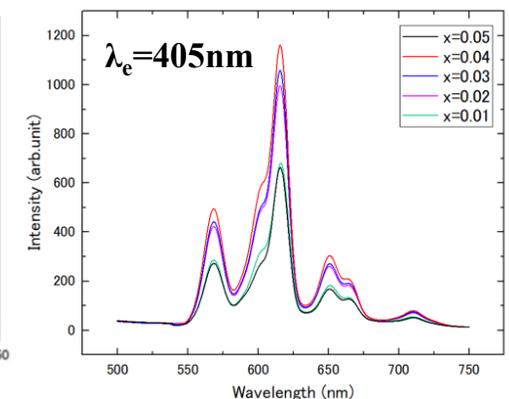
Sm³⁺ドープガーネット蛍光体



Sm³⁺ドープアルミン酸ストロンチウム 蛍光体



SrAl₁₂O₁₉:Sm³⁺

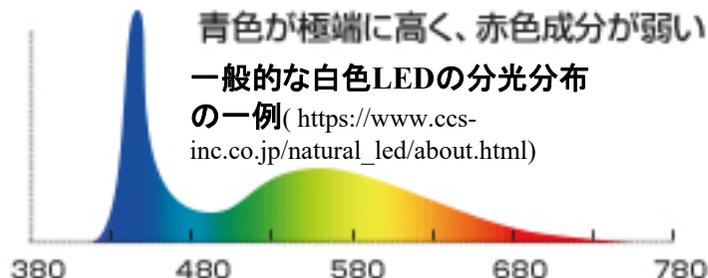
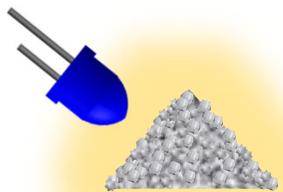


YAG:Sm³⁺

次世代光源としての白色LEDの課題

青色LEDと黄色蛍光体の組み合わせで白色光を生成

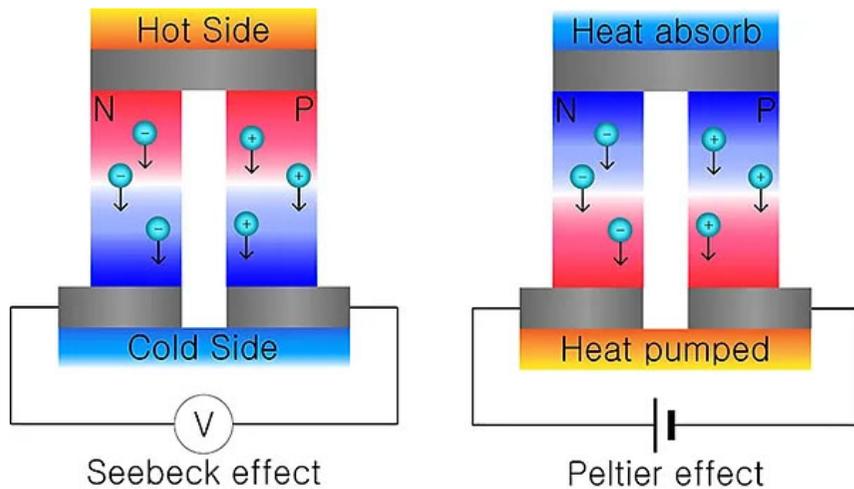
青色成分が多く、**赤色**成分が不足！



青色が極端に高く、赤色成分が弱い
一般的な白色LEDの分光分布
の一例 (https://www.ccs-inc.co.jp/natural_led/about.html)

研究テーマ⑥ 沖中

酸化物熱電変換材料の開発



<https://www.telab-postech.com/thermoelectrics-2>

- 温度差を与えると、高温部と低温部の間に電位差が生じる
- 電位差を与えると、温度差が生じる

熱電変換モジュール

- ✓ 小型軽量
- ✓ 無可動部
- ✓ 無排出
- ✓ 高信頼性

従来の熱電変換材料は、ビスマス(Bi)、テルル(Te)、アンチモン(Sb)、鉛(Pb)等からなる重金属であり、毒性と耐熱性の問題がある



酸化物熱電材料

- 毒性 ○
- 耐熱性 ○
- 熱電性能 ✕

中温域用n型酸化物熱電材料の開発

ZnO系

Al, Ga

SrTiO₃系

La Nb



光・熱エネの良いところ

- R棟2階に居室・実験室がある!!

エアコン完備なので、居室の居住性が良い!

材化棟ではないので、エレベーター**待ちがない!**
屋外に出ずに**工学部**食堂に行ける! 北部**食堂も近い!**

センター共用**XRD, SEM**がすぐに使える!

渡り廊下を使って材化棟へのアクセスも**楽々!**

- B4に**新品**または**1年落ち中古**のPC**か**モニタを貸与!!



光・熱工ネに適した学生は

- 大学院に進学し，3-6年間研究を行う
- 明朗，快活，素直
- チームプレイができる
- 自己分析ができている
(自分の弱点を理解している)
- 物理**だけ**化学**だけ**ではなく物理**も**化学**も**

半導体や光触媒・蛍光材料に興味がある人