

日本—スイス 国際共同研究「再生可能エネルギー媒体としての水素研究」 2020 年度 年次報告書	
研究課題名（和文）	光電気化学および太陽電池駆動水分解による水素燃料製造
研究課題名（英文）	Hydrogen fuel generation via photoelectrochemical and photovoltaic driven water splitting
日本側研究代表者氏名	杉山 正和
所属・役職	国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター 教授
研究期間	2018 年 5 月 1 日 ～ 2022 年 3 月 31 日

1. 日本側の研究実施体制

氏名	所属機関・部局・役職	役割
杉山 正和	国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター 教授	研究総括・太陽電池開発
嶺岸 耕	国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター 特任准教授	半導体光電極の解析
佐藤 正寛	国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター 助教	電解液／半導体界面のモデリング
今関 裕貴	国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター 博士課程学生	半導体光電極の解析

2. 日本側研究チームの研究目標及び計画概要

スイス側で作製した Cu_2O 光カソードを高効率化するための保護層を検討し、光 OCP 法などによる性能評価を行い、高効率化指針を得る。また、太陽電池と水電解の組み合わせによる水素製造における光起電力生成を担う InGaP/GaAs 2 接合太陽電池を水電解セルの駆動に合わせて低電圧高電流化するため、量子井戸等を利用したバンドギャップエンジニアリングを展開する。さらに、これらの成果を取り込んだ太陽光水分解の技術実証プラットフォームを構築する。

3. 日本側研究チームの実施概要

GaN 単結晶光アノードを検証材料として、表面準位や溶液中のレドックス剤が OCP に与える影響を精査した。サファイア基板上に結晶成長した単結晶 GaN について光誘起 OCP の光強度依存性を解析した結果、強励起領域では OCP が光強度の対数に比例する関係が明確に観察された。これは、結晶性の良い太陽電池の開放電圧に関してよく観察される現象で、光励起キャリアが半導体中の空乏層を狭窄してバンド曲がりを減少させることに対応していると考えられる。すなわち、高結晶品位の半導体光電極では、太陽電池と同様の光起電力生成が行われていることが強く示唆された。OCP の光励起強度（対数）に対する傾きからはショットキーダイオードの理想係数 n が得られ、強励起下では $n \sim 1$ が得られた。これは、光励起キャリアの空乏層における非発光再結合は限定的であることを示唆している。一方、光強度が小さい領域の OCP の振る舞いは、半導体光電極が接する電解液の種類に大きく依存していた。これは、GaN と電解液の界面に存在する化学種が、光強度が小さい領域での OCP のピンングを支配していることを示唆する。このように、半導体光電極において、光起電力の生成を阻害するキャリアの界面再結合は、半導体表面に存在する結晶欠陥だけでなく、電解液に由来して半導体表面を被覆している化学種によって誘引されることが明らかになった。

電圧変換を介さない DC 直接接続により水電解を駆動する太陽電池として、これまで InGaP/GaAs 2 接合太陽電池に注目してきたが、太陽電池と水電解セルの動作点マッチングを改善して高効率太陽光水素製造を実現するためには、InGaP/GaAs 2 接合太陽電池を低電圧高電流化する必要がある。GaAs 基板に単結晶成長可能なバルク結晶材料でこの要件を満たすものは存在しないため、量子井戸を挿入して InGaP と GaAs の吸収端を低エネルギー化する検討を進めた。とくに GaAs ボトムに求められる吸収端のシフト幅が 0.2 eV と大きいため、バンドオフセットが大きい積層量子井戸構造から効率的に光励起キャリアを取り出す目的で、量子井戸面内の 1 方向に厚さが変調され井戸の厚さが「波打った」形となる波状量子井戸を用いた。GaAsP 障壁層が部分的に薄くなる箇所ではキャリアがトンネルして外部への取り出しが効率化された結果、参照 GaAs 単セルと比べて吸収端の低エネルギー化による低電圧・高電流化が達成できた。この波状量子井戸をこれまでで作製してきた 2 接合セルに導入することで、水電解の駆動に適した 2 接合セルが得られる見通しを得た。

このような太陽電池を集光型太陽光発電モジュールに実装して高効率太陽光水素製造をフィールド実証するため、東京大学先端研に 2 軸追尾集光型太陽光発電モジュールを導入し、太陽光水素製造のテストプラットフォームを構成した。