

新奇な波長応答機能を有する Sbカルコハライド光電変換素子の開発

工学研究科 応用化学専攻/先導的学際研究機構 触媒科学イノベーション研究部門

助教 西久保 綾佑

 <https://researchmap.jp/rnishikubo>

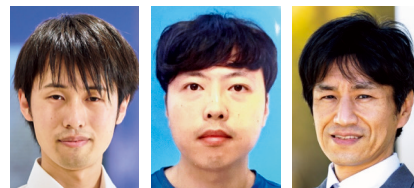
工学研究科 応用化学専攻

博士後期課程 李 昭先

工学研究科 応用化学専攻/先導的学際研究機構 触媒科学イノベーション研究部門

教授 佐伯 昭紀

 <https://researchmap.jp/a-saeki>



研究の概要

塗って作れる薄膜光電変換素子は、次世代の太陽電池やセンサーとして有望である。著者は独自の塗布型 SbSI:Sb₂S₃ハイブリッド素子において、出力電圧が光の波長によって可逆変化する現象を初めて発見した(図1)。これまでに様々な材料を用いた光電変換デバイスが開発されて来たが、今回のような波長依存性は完全に初であり、理論的にも未知であった。そこで、この波長依存性の詳細な挙動およびその機構に関して研究を行った。

研究の背景と結果

【背景】複数の半導体を接合して作られる光電変換(PV)素子は、太陽電池や光センサー、イメージセンサーなど多様な用途で使われている。PV素子はその原理上、照射された光の強度に比例した電流値を出力する。(ゆえに光センサーとして使われる。)一方、出力電圧はPV素子に使われる材料の種類と光強度により決まる。ゆえに、PV素子の出力特性は光強度は識別できる一方で、光の波長(すなわち色)を認識することは、原理的にも実験的にもできなかった。

しかしながら著者は、自身が開発していた硫化ヨウ化アンチモン:硫化アンチモン(SbSI:Sb₂S₃)混相を用いた薄膜PV素子において、照射光の波長に依存して出力電圧が可逆変化する新現象(Wavelength-dependent photovoltaic effect: WDPE)を発見した(図1)。本現象は既存理論では説明できない新現象である。そこで、波長依存性の詳細な挙動およびメカニズムの調査を行った。

【結果】実際の実験では、図1に示す構造のPV素子を作製し、異なる波長の単色光(主に375 nm, 515 nm)を照射した際の出力特性を評価した。電流-電圧測定では、図1のように短波長光照射時は電圧が小さく、長波長光照射時は電圧が大きくなることを見出した。また時間依存測定では、短波長光照射時において、照射開始から数秒の間に大幅な電圧降下が起こることも明らかにした(図2a)。さらに、短波長光の照射をストップすると電圧が元に戻ることから、可逆応答であることも発見した。

また本現象の機構としては、多様な測定から図2bに示す機構を提案した。まず短波長光により高エネルギーのホットキャリアが生成する。これが接合界面において、電荷トラップとなる化学種(ラジカルイオン等)を生じる光触媒反応を起こすことで、界面再結合が増加し電圧降下につながる。

最後に、実際に波長と光強度の両方を変化させて素子特性を評価し、波長・光強度の両方を単一セルで識別できることを示すことに成功した。

研究の意義と将来展望

光電変換素子は太陽電池のみならずセンサー用途でも広く使われている。しかしながら、単一セルで異なる波長を認識できれば、より応用の幅が広がる。その可能性の一例としてイメージセンサー(IS)の小型化・高画質化が挙げられる。従来のISでは各ピクセル上にカラーフィルターを乗せることで色を見分けていた。しかし1セルで複数色が見分

けられれば高解像度化が可能になる(図3)。また、液晶フィルターによる1セル多色化よりも薄膜化・小型化に有利である。現在のところ波長応答の速度や耐久性が課題であり、これを解決することで明るい将来展望が期待される。

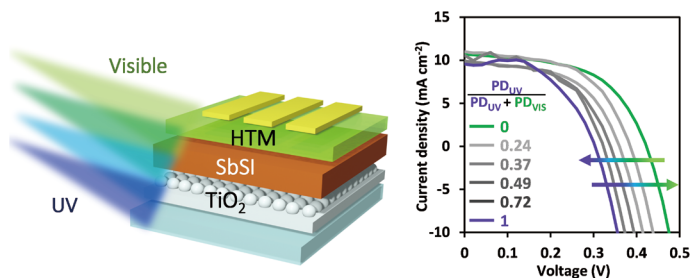


図1. 照射波長により電圧が可逆変化する新規波長応答機能。

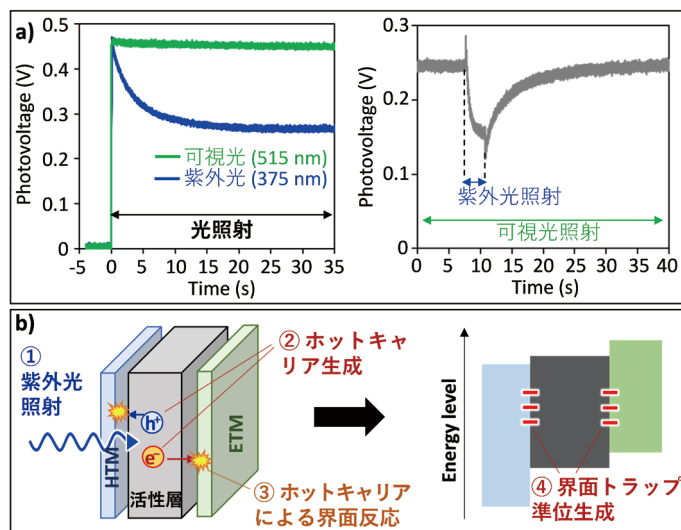


図2. a) 紫外光による電圧降下および回復挙動。b) WDPEのメカニズム。

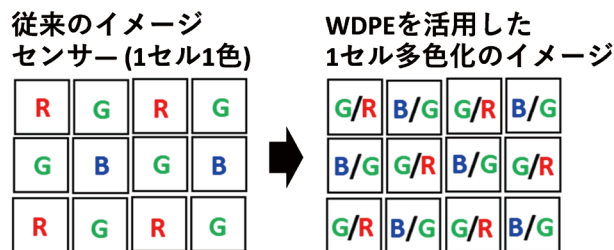


図3. WDPE を駆使した新応用の例。

特許	
論文	Kobayashi, Tai; Nishikubo, Ryosuke; Saeki, Akinori et al. Wavelength-recognizable SbSI:Sb ₂ S ₃ photovoltaic devices: Elucidation of the mechanism and modulation of their characteristics. Adv. Funct. Mater. 2023, Accepted. doi: 10.1002/adfm.202311794 Nishikubo, Ryosuke; Li, Shaoxian; Saeki, Akinori. Unprecedented wavelength dependence of an antimony chalcogenide photovoltaic device. Adv. Funct. Mater. 2022, 32, 2201577. doi: 10.1002/adfm.202201577 Nishikubo, Ryosuke; Nazeeruddin, M. K.; Saeki, Akinori et al. Optoelectronic and energy level exploration of bismuth and antimony-based materials for lead-free solar cells chem. Mater. 2020, 32, 6416-6424. doi: 10.1021/acs.chemmater.0c01503
参考URL	研究室: http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~saeki/cmcp/ プレスリリース: https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2022/20220705_2
キーワード	光電変換、太陽電池、センサー