

氏 名	たらのわ あなすたしあ TARANOVA ANASTASIIA
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 1 1 3 3 号
学位授与の日付	令和 6 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 物質・材料化学専攻
学 位 論 文 題 目	Low-band gap nanostructured semiconductors for solar energy harvesting (太陽エネルギー収集用の低バンドギャップナノ構造半導体)
審 査 委 員	(主査)教授 朱 文亮 教授 森田 辰郎 教授 PEZZOTTI Giuseppe

論文内容の要旨

太陽エネルギーに係る研究は、その再生可能な性質と限られた資源への最小限の影響から、持続可能で尚且つクリーンな電源を求める世界の最前線で推進されている。太陽エネルギーは、電気の発電だけでなく、暖房、冷房、および水蒸発システムなどに利用される可能性があり、これらは人口増加や気候変動によって引き起こされる緊急の問題の解決に役立つと考えられている。本研究では、太陽エネルギーを利用可能な形に変換する際の太陽光吸収体(ソーラーアブソーバー)の役割に焦点を当て、選択的吸収体の重要性を強調している。また、デバイスの性能に重要な役割を果たすキルヒホッフ (Kirchhoff) の法則に従って太陽エネルギー変換とエネルギー再放出を組み合わせることにより、太陽光吸収体の光学的特性を探索している。その結果、太陽光を利用した水蒸発は、再生可能エネルギーを活用し、費用対効果も期待できる水不足に対する持続可能な解決策として提案されている。この太陽光水蒸発技術を最適化するための継続的な研究の必要性は、低効率、天候依存性、および水質感度などの課題によって浮き彫りになっている。

この論文では、太陽エネルギー変換の強化に使用できる低バンドギャップ半導体 CoSb_x ($2 < x < 3$) および遷移金属セレン酸塩水和物の構造と機能的特徴に関する実験的研究および計算的調査を組み合わせて行っている。調査には、溶媒熱法と水溶法を用いた材料合成方法、X 線回折、ラマン分光法、走査型電子顕微鏡、高分解能透過型電子顕微鏡、および X 線光電子分光法などの詳細な特性評価技術が含まれている。更に、光学特性の解析の為に、密度汎関数理論を用いた計算シミュレーションも行っている。太陽光吸収体の性能は、光熱挙動を捉える赤外線イメージングを伴ってソーラーシミュレーターを用いて評価を行っている。この調査結果は、 CoSb_x が高いスペクトル太陽光選択性を持つ、本質的に選択的な太陽光吸収体であることを示した。ニッケルとコバルトセレン酸塩水和物は、太陽光駆動の水蒸発における効率性についても調査を行っている。これらの無機材料は、優れた太陽光吸収率と親水性により、太陽光による海水淡水化において有望な候補である。以上のように、この研究は太陽エネルギーを効率的に変換し、水を蒸発させる材料の開発に貴重な知見を与えるものである。

論文審査の結果の要旨

太陽熱による水の蒸発は、水不足に対する持続可能な解決策として、再生可能でクリーンなエネルギーであり、潜在的に費用対効果が高い。この論文では、太陽エネルギー変換の強化に使用できる低バンドギャップ半導体の構造と機能的特徴に関する実験的研究および計算的調査を組み合わせて行った。太陽光による水蒸発試験では、強固な実験設定、薄膜の作製、および詳細な特性評価が含まれている。

本論文は、科学雑誌向けに書かれた複数の研究論文を単に「つなぎ合わせた」ものではなく、モノグラフ形式でよく書かれ、整理されている。第一章と第二章では、それぞれ関連文献に基づいて申請者の研究を設定し、特定の太陽光吸収体のナノ材料を評価するために使用される方法論について説明している。本論文の主題は斬新かつ独創的である。具体的には、温度の関数としての遷移金属セレン酸塩水和物の微細構造特性評価により、このナノ構造システムにおける興味深い脱水プロセスが構造機能関係の観点から初めて解明されている。CoSb_x 薄膜については、照明下で非常に高い表面温度を持ち、実用的な太陽光応用の可能性があることが強調して示されている。この複数の特性評価データセットを一貫したモデルで整理する能力は、博士レベルの候補者の批判的思考能力を実証している。これらの成果は太陽エネルギーを効率的に変換し、水を蒸発させる材料の開発に非常に有用であると認められる。

本論文は、査読制度の確立した以下の4編の学術論文を基礎としている。

- [1] A. Taranova, K. Akbar, K. Yusupov, S. You, V. Polewczyk, S. Mauri, E. Balliana, J. Rosen, P. Moras, A. Gradone, V. Morandi, E. Moretti, A. Vomiero, “Unraveling the optoelectronic properties of CoSb_x intrinsic selective solar absorber towards high-temperature surfaces,” *Nature Communications* **14**, pp. 7280-1-8 (2023).
- [2] A. Taranova, E. Moretti, K. Akbar, G. Dastgeer, A. Vomiero, “Emerging Strategies to Achieve Interfacial Solar Water Evaporation Rate Greater than 3 kg·m⁻²·h⁻¹ under One Sun Irradiation”, *Nano Energy* **128**, pp. 109872-1-30 (2024).
- [3] A. Taranova, K. Akbar, E. Moretti, A. Vomiero, G. Pezzotti, T. Morita, E. Marin, W. Zhu, “Temperature-Dependent Structural Properties of Nickel and Cobalt Selenite Hydrates as Solar Water Evaporators,” *Materials* **17**, pp. 2482-1-14 (2024).
- [4] A. Taranova, E. Lushaj, K. Akbar, E. Ghedini, I. Barroso-Martín, A. Gradone, V. Morandi, E. Rodríguez-Castellón, W. Zhu, E. Moretti, A. Vomiero, “Nickel and Cobalt Selenite Hydrates as Broad Solar Absorbers for Enhanced Solar Water Evaporation,” *Solar RRL* (2024), accepted.

以上から、本論文の内容は十分な新規性と独創性、工学的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。