

Cu₂SnS₃ 系太陽電池の特徴と高効率化技術

Improving of efficiency in Cu₂SnS₃-related solar cells

長岡技大¹, 東理大², 長岡高専³

◦金井 綾香¹, 杉山 睦², 荒木 秀明³, 田中 久仁彦¹

Nagaoka Univ. Tech.¹, Tokyo Univ. of Science², NIT, Nagaoka College³

◦Ayaka Kanai^{1*}, Mutsumi Sugiyama², Hideaki Araki³ and Kunihiko Tanaka¹

E-mail: kanai@vos.nagaokaut.ac.jp

Cu₂SnS₃ (CTS)は光吸収係数 10^4 cm^{-1} 以上と大きく、約 0.9 eV の禁制帯幅を持つことから比較的長波長側まで吸収できる光吸収層材料である[1]。近年では、この CTS から派生した Cu_{1-x}Ag_xSnS₃ (CATS)及び Cu₂Sn_{1-x}Ge_xS₃ (CTGS)固溶体や、Sb・Na・Au など様々な元素を添加した CTS 系化合物を光吸収層に用いた太陽電池が検討され、高効率化に向け研究されている。現在、Na を添加した CTS 太陽電池では 5.24%[2]、伝導帯傾斜構造 CTGS 太陽電池では 6.7%[3]の世界最高変換効率 (PCE)が報告されており、CuInGaSe₂ (CIGS)や Cu₂ZnSnS₄ (CZTS)に続く次世代太陽電池材料として期待されている。この CTS 系化合物において光吸収材料に適している 1 つの特徴に容易なキャリア制御が挙げられる。図 1 に Hall 測定における CTS 系化合物薄膜のキャリア濃度及び移動度の関係を示す。CTS 太陽電池の発電相である Cu-poor CTS 多結晶薄膜では比較的キャリア濃度が高い約 10^{17} cm^{-3} を示す[4]。これは CuInGaSe₂ や Cu₂ZnSnS₄ と同様に V_{Cu} 関連の欠陥が形成しやすく、アクセプター生成が容易であることに起因する。また、良好な発電に必須な Na を添加するとキャリア濃度は増加傾向となり、移動度との関係性からイオン化不純物散乱である可能性が示唆されている[2]。一方、これに対して CATS や CTGS では x 組成比の増加に伴い、キャリア濃度は 10^{16} cm^{-3} 程度まで制御することができる[5,6]。このように、CTS 系化合物は安定でありながら、組成や他元素添加により容易にキャリア濃度を幅広く変化させることができるため、太陽電池などのデバイスに応用しやすい材料であると言える。しかし、冒頭でも述べた通り、CTS 系太陽電池の PCE は高くても 5-6%ほどであり未だ製品化には程遠い。以上を踏まえ、本発表では CTS 系太陽電池における研究動向を交えながら、CTS 系化合物の長所と現状の課題、近年の CTS 系太陽電池における研究成果について述べる。

【謝辞】 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP20H02680、JP22K20355、公益財団法人山口育英奨学会、公益財団法人内田エネルギー科学振興財団、公益財団法人村田学術振興財団、一般財団法人永井エヌ・エス知覚科学振興財団の研究助成により実施したものである。また、文部科学省先端研究基盤共用促進事業(コアファシリティ構築支援プログラム)助成番号[JPMXS0440900022]の研究設備を共用した成果である。

【参考文献】 [1] P. A. Fernandes *et al.*, PSS C **14**, 1600199 (2017). [2] A. Kanai *et al.*, SOLMAT **231**, 111315 (2021). [3] M. Umehara *et al.*, APEX **6**, 045501 (2013). [4] N. Aihara *et al.*, PSS C **10**, 7-8 (2013). [5] A. Kanai *et al.*, JJAP **60**, 035508 (2021). [6] M. He *et al.*, Mater. Lett. **211**, 130-132 (2018). [7] N. Urata *et al.*, JJAP **61**, 071001 (2022).

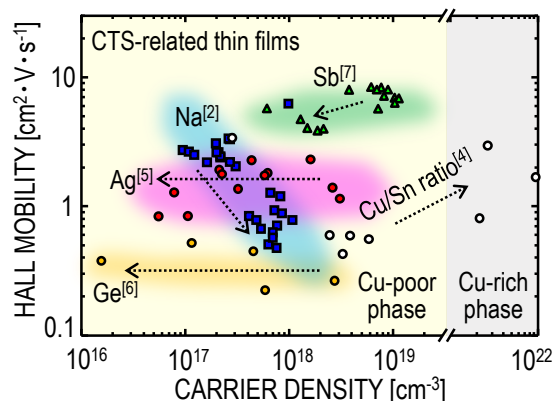


図 1 CTS 系化合物薄膜におけるキャリア濃度と移動度の関係