

太陽電池講座 (第11講)

J. Jpn. Soc. Colour Mater., 97 [5], 141-146 (2024)

カルコパイライト太陽電池の研究動向と高効率化技術

西村 昂人^{*,†}

^{*}東京工業大学工学院電気電子系 東京都目黒区大岡山2-12-1 (〒152-8550)

[†] Corresponding Author, E-mail: nishimura.t.ak@m.titech.ac.jp

(2023年12月23日受付, 2024年1月17日受理)

要 旨

カルコパイライト化合物は、太陽電池モジュール量産工程における低い温室効果ガス排出量、薄膜化によるフレキシブル軽量モジュールとしての応用展開、高い組成制御性にともなった最適禁制帯幅への整合性等の観点で太陽電池材料として魅力的である。本稿では、2010年代半ば以降でカルコパイライト太陽電池の高効率化におもに寄与してきたアルカリ金属フッ化物処理技術およびAg添加技術等の研究動向を紹介する。その後、近年、効率向上が鈍化傾向にあるカルコパイライト太陽電池のさらなる性能改善に向けて、光吸収層と裏面金属電極の界面で生じる接触抵抗の低減方法を提案し、遷移金属ダイカルコゲナイド界面層の電気特性制御技術について議論を展開する。

キーワード：太陽電池, 薄膜材料, 化合物半導体, 金属, 界面制御

1. はじめに

太陽光エネルギーは、気候変動の対策として費用対効果の最も高いクリーンエネルギーの一つに挙げられる。基幹電力としての役割が期待される太陽光発電は、世界年間導入量のさらなる増加が見込まれている。2016年のUNEP (United Nations' Environment Programme) の報告によれば、太陽光発電による温室効果ガス (GHG: Greenhouse Gas) 排出量は、化石燃料火力発電のGHG排出量よりも1桁から2桁程度低い¹⁾。現在最も普及が進んでいるSi太陽電池モジュールの製造工程におけるGHG排出量は13-30 gCO₂e/kWhと試算されている²⁾。一方、Cu(In,Ga)Se₂やCdTeに代表される薄膜系太陽電池モジュールの製造工程におけるGHG排出量は、Si太陽電池モジュールと比較して1/3倍から1/5倍程度の低い値が見積もられている¹⁾。2018年に報告された研究では、ステンレス (SUS) 基板上に作製されるCu(In,Ga)Se₂太陽電池モジュールの製造工程に関する最良のシナリオにおいて、5 gCO₂e/kWhと低いGHG排出量が試算されており³⁾、環境負荷の面でCu(In,Ga)Se₂太陽電池の優位性が示された。

近年、太陽光発電の用途は、メガソーラーなどの事業用電源に止まらず、屋根市場を中心とした新規市場に対する分散型電

源としての要求が高まっている。国際エネルギー機関 (IEA: International Energy Agency) の短期推計によれば、世界の太陽光発電導入量は、2019年から2024年までの5年間で700 GWと見積もられ、このうち、分散型電源が約300 GWと予測されており、その導入量の増加が期待されている⁴⁾。ZEB (Net Zero Energy Building) やZEH (Net Zero Energy House)、車載、農業、水上といった新規市場に対する分散型電源としての多用途展開に向けて、太陽光発電が市場に齎す付加価値の創出が求められる。フレキシブルで軽量の太陽電池モジュールは、曲率形状を有した壁面や耐荷重の低い建築物、さらには自動車などの移動体への実装を可能とする。Cu(In,Ga)Se₂、Cu(In,Ga)S₂、Cu(In,Ga)(S,Se)₂等のCu-(In,Ga)-(S,Se)系化合物は、カルコパイライト型結晶構造を有した直接遷移半導体であることから、可視光領域においてSiのおよそ100倍に相当する10⁵ cm⁻¹オーダーの高い光吸収係数を有している⁵⁾。そのため、カルコパイライト化合物を太陽電池の光吸収層として適用する場合、2-3 μm程度まで薄膜化が可能であり、フレキシブルな基板^{6,7)}を用いることで、フレキシブル軽量型モジュールを実現できる。高速かつ短時間での製造が可能なロール・ツー・ロール (Roll-to-Roll) 方式を導入すれば、モジュール製造コストを削減できることに加え、モジュール軽量化にともなう優位性から、輸送・設置コストおよび架台などの部材コストの低減も期待される。

AM1.5G照射下 (100 mW/cm²) の単接合太陽電池においては、禁制帯幅を1.4 eVに制御することにより、理論上、33.7%の最高効率が期待される⁸⁾。さらに、1.1 eVと1.7 eVに禁制帯幅が制御された二種類の材料を組み合わせた多接合太陽電池は、単接合太陽電池の理論限界効率を凌駕する45.5%の高効率が見込まれる⁸⁾。Cu-(In,Ga)-(S,Se)系カルコパイライトの禁制帯幅は、[Ga]/([Ga]+[In]) や [S]/([S]+[Se]) などの組成比を調整することで、1.0 eVから2.4 eVまでの広い範囲で制御



【氏名】 にしむら たかひと
 【現職】 東京工業大学工学院電気電子系 助教
 【趣味】 旅行, スノーボード, ゴルフ, 新聞購読
 【経歴】 2018年3月東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了。博士 (工学)。同年3月まで (独) 日本学術振興会特別研究員 (DC2)。同年4月立命館大学立命館グローバル・イノベーション研究機構助教。2022年4月東京工業大学工学院電気電子系助教。

【図表について】 電子ジャーナルサイト「J-STAGE」ではカラーでご覧いただけます。https://www.jstage.jst.go.jp/browse/shikizai/-char/ja/