

ペロブスカイト太陽電池の走査型電子顕微鏡による評価 Scanning electron microscope characterization of perovskite solar cells

東京都市大学 総合研究所 ◯陶山 直樹, 石川 亮佑, 小長井 誠
Tokyo City Univ., ◯Naoki Suyama, Ryousuke Ishikawa and Makoto Konagai

E-mail: nsuyama@tcu.ac.jp

走査型電子顕微鏡 (SEM) は、各種電子顕微鏡 (TEM, SEM, EPMA, AES 等) の中で、最も普及している電子顕微鏡である。主に形態観察に用いられるが半導体材料の機能に関する多くの情報を得ることができる。試料に電子線を照射すると、試料の内部に侵入した電子と試料 (物質) を構成する原子との相互作用により、二次電子 (SE)、オージェ電子、反射電子 (BSE)、特性 X 線、連続 X 線、電子線誘起電流 (EBIC)、カソードルミネセンス (CL) 等各種信号が放出される (図 1) [1]。SEM はこの信号と構造との対応をとることができる。電子線照射により試料表面に発生する帯電現象を利用して、ペロブスカイト (PVK) 膜の高抵抗領域を表面電位の違い (電位コントラスト) で検出することもできる [2]。

半導体材料では、拡張欠陥や不純物などの結晶の乱れた領域が機能を阻害し、新たな特性を生じさせる。EBIC や CL は、電子ビーム照射によって試料中に生成する電子や正孔のもたらず電流や発光を検出する手法であり、太陽電池の重要な機能を SEM 像による位置と対応させて評価できる。これらの手法の組合せは PVK 膜粒界や電荷輸送層との界面パッシベーション技術評価への適用が今後期待できる。

ペロブスカイト太陽電池 (PSC) の高効率化や耐久性評価には界面での計測が重要であり、SEM による界面計測はセル断面で行われる。断面作製は切断が一般的であるが断面に凹凸や界面での剥離が発生し、界面や粒界評価には課題がある。その解決策として、平滑で広域の断面作製が可能な Ar ブロードイオンビーム (BIB) 加工 (イオン研磨) を適用した。図 2 にガラス基板上 PSC と PSC/c-Si タンデム太陽電池の切断面とイオン研磨断面の SEM 像を示す。イオン研磨断面では PVK 膜の結晶粒界や偏析物が凹凸に影響されず明瞭に確認できる。テクスチャー界面でも機械的な力による剥離等が見られない。イオン研磨法は前処理を工夫することにより切断が困難なフィルム等のフレキシブル基板上 PSC にも有効である [3]。

一方、PVK 材料はイオン衝撃や電子線照射による損傷を受け易く、イオン加工や SEM 測定において注意する必要がある。本発表では、加工や計測時の変化を抑えた条件での測定結果を用いて、PSC 断面の電位コントラストによる劣化に伴う高抵抗領域検出、EBIC による内部電界分布、そして PVK 膜表面の CL による粒界偏析および結晶性評価について報告する。

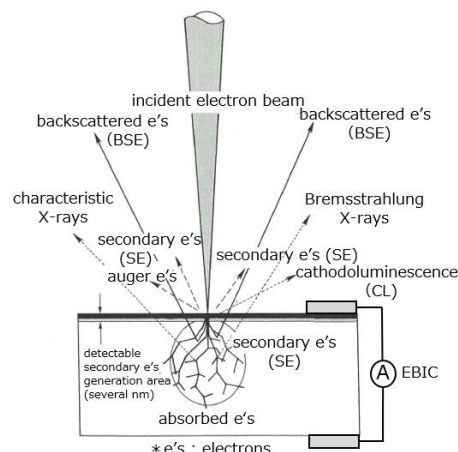


Fig. 1 Schematic diagram of interactions between electrons and a sample.

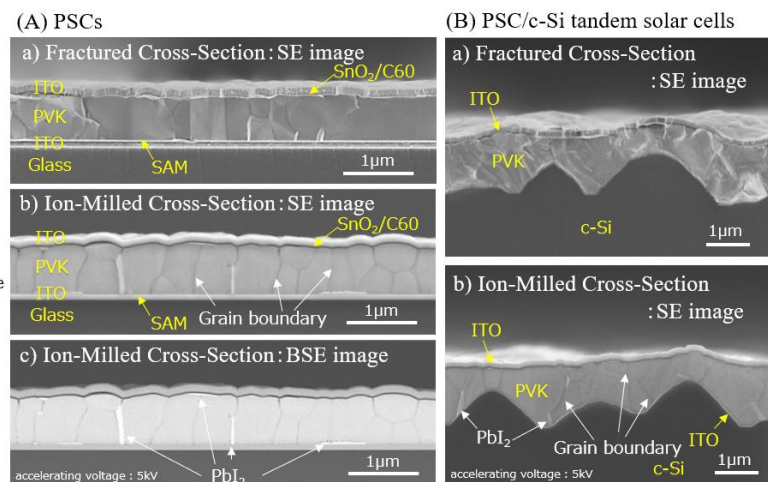


Fig. 2 Cross-sectional SEM images: (A) PSCs and (B) PSC/c-Si tandem solar cells.

- 参考文献 [1] 日本顕微鏡学会関東支部編：新・走査電子顕微鏡 (2011) p.17 図 1.16 に加筆
[2] 小長井誠 他, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 24a-22C-6, (2024).
[3] 陶山直樹 他, 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会, 20p-C302-10, (2024).