ペロブスカイト太陽電池の直列抵抗と電子のエネルギー緩和速度の相関

Series resistance of perovskite solar cells and energy relaxation time of electrons

東大院総合文化 [1)]、産総研ナノエレ [2)]、長春理工大 [3)]
高橋冴実 [1)]、石塚知明 [2)]、松林信行 [2)]、○富江敏尚 [2,3)]
Univ. Tokyo GSAS[1)], AIST NERI[2)], CUST[3)]
S. Takahashi[1)], T. Ishitsuka[2)], N. Matsubayashi[2)], ○T. Tomie[2,3)]
E-mail: toshihisa.tomie@gmail.com

（はじめに）太陽電池の変換効率は、短絡電流と開放電圧に、形状因子（Fill Factor: FF）を乗じて得られるが、FF は、並列抵抗 Rsh と直列抵抗 Rs で決まる。Si 太陽電池においては直列抵抗は Rs< 1ohm-cm^2 以下であるが、有機太陽電池においては、Rs が大きくその抑制が大きな課題である。電流経路の様々な要素が直列抵抗になる可能性があるが、種々のペロブスカイト有機太陽電池の電子のエネルギー緩和速度を評価したところ、エネルギー緩和速度と最大出力点での電圧とに良い相関が見られた。

（実験）評価試料は、Si ウエハーの上に酸化チタン緻密層+酸化チタン多孔層を成膜し、その上に $MAPbI_3$ 層を成膜したもの、Cs あるいは K を混ぜて $FAMAPbI_{2.5}Br_{0.5}$ 層を成膜したもの、などの8種類である。そのうちの5種類で、電流―電圧特性を測定した。

我々が考案した EUPS[1)]（極紫外光光電子分光法）で種々の材料の最表面原子層の電子状態を評価しているが、新たに、二次電子スペクトル波形から過渡的電子親和力（Transient Electron Affinity; TEA）を求めて電子のエネルギー緩和速度を評価する分析法を考案した[2)]。TEA は表面電子状態を記述する重要な物性値になると考えている。

HTL などペロブスカイト層以上の成膜をしないで、上記試料の TEA 評価を行った。

（結果と考察）2種の試料の二次電子スペクトル波形を図1に示す。横軸は二次電子の運動エネルギーで、3V に加速して測定したので、3eV 付近にカットオフがある。カットオフ近傍の鋭さは TEA で決まり、理論曲線のフィッティングで TEA が求まる。図2は測定した試料の太陽電池特性である。図3に見る様に、FF とエネルギー変換効率は TEA と良い相関があった。

最大出力点での電流密度は並列抵抗の低下で低下し、電圧は直列抵抗の増大で低下するが、測定したペロブスカイト太陽電池では、図2に見るように、電流密度の低下よりも電圧の低下が顕著で、且つ材料依存が大きかった。そして図3に見るように、TEA が大きい、つまり電子のエネルギー緩和速度が大きい材料で、最大出力時の電圧低下が大きかった。

図2から、効率低下の主要因はペロブスカイト層の抵抗率が大きいことによると言える。そして、TEA が大きいと効率が低い（図3）ことから、ペロブスカイト層の抵抗率の増大は、電子のエネルギー緩和速度の増大による、と言える。

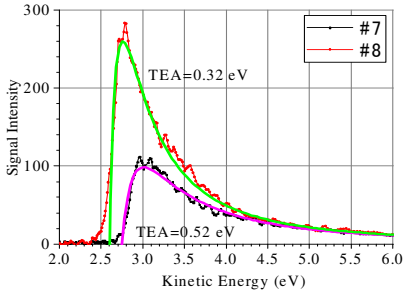

Fig.1. Secondary electron spectra of two different perovskite Solar cells

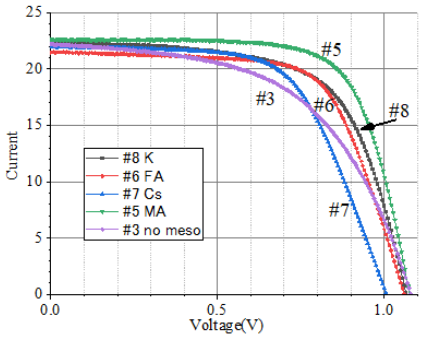

Fig.2. I-V curves of five perovskite solar cells

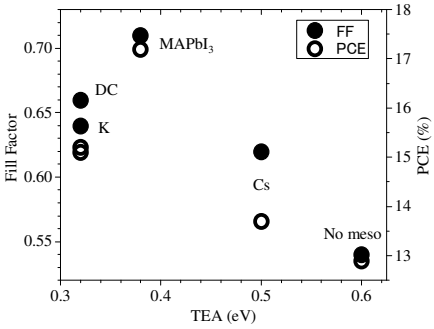

Fig.3. Power conversion efficiency vs TEA

references

ref.1: T.Tomie and T.Ishitsuka; Synthesiology **9** (2016) 216
ref.2: 富江敏尚他：2019 年第 66 回応用物理学会春季学術講演会 12a-S221-12

© 2020年 応用物理学会