

PbS 量子ドットヘテロ接合型太陽電池における開放電圧の粒径依存性

Dependence of open circuit voltage of heterojunction PbS quantum dot solar cells on the quantum dot size

中大理工¹, 電通大², 九工大³, CREST⁴

○北畠有紀子^{1,2}, 丁超², 張 耀紅², 大図修平², 豊田太郎^{2,4}, 早瀬修二^{3,4}, 片山健二¹, 沈青^{2,4}

Chuo Univ.¹, The Univ. of Electro-Commun.², Kyusyu Inst. Tech.³, JST CREST⁴

○Y. Kitabatake^{1,2}, C. Ding², Y. Zhang², S. Ozu², T. Toyoda^{2,4}, S. Hayase^{3,4},

K. Katayama¹, Q. Shen^{2,4}

E-mail:shen@pc.uec.ac.jp

【緒言】近年量子ドット(QD)太陽電池が注目されている。量子ドットの利点として、太陽電池に応用した際の理論変換効率(44%)¹⁾が従来の理論変換効率(約30%)より高いことなどが挙げられる。しかし、PbS 量子ドット太陽電池のエネルギー変換効率の最高値は未だ10.6%²⁾であり、理論変換効率より遥かに低い。光電変換効率を向上させるために、量子ドット粒径による光電変換特性の変化や電荷分離・再結合ダイナミクス of 解明などの基礎研究は大変重要である。我々はこれまでに粒径が異なる PbS-QD/ZnO ナノロッドヘテロ接合型太陽電池を作製し、量子ドットの粒径による光電変換特性の変化を確認した。本研究では、量子ドットの粒径が異なる PbS-QD/ZnO ナノロッドヘテロ接合型太陽電池における光電変換特性と開放電圧の温度依存性を評価し、開放電圧の損失(V_{oc} loss)の量子ドット粒径依存性とそのメカニズムについて検討した。

【実験】PbS 量子ドットの作製にはホットインジェクション法³⁾を用い、粒径がそれぞれ 2.4 nm、2.9 nm、3.6 nm である PbS 量子ドット溶液を用意した。第一励起エネルギー E_g はそれぞれ 1.74 eV、1.33 eV、1.18 eV である。各量子ドット溶液を ZnO ナノロッド基板上に塗布、Au 電極を蒸着することで太陽電池を作製した⁴⁾。作製したデバイスに対し、光電変換特性と開放電圧の温度依存性を測定した。

【結果と考察】3種類の量子ドット太陽電池の光電変換特性を図1に示す。粒径が大きくなるほど V_{oc} が0.44 V から 0.36 V まで減少するが、開放電圧の損失(V_{oc} loss: 量子ドットの E_g と V_{oc} の差)が1.30 eV から 0.82 eV まで小さくなるのが判明した(図2)。この結果より量子ドット太陽電池では V_{oc} lossは量子ドットの粒径に強く依存することが分かった。その原因を調べるために、開放電圧の温度依存性を調べた(図3)。絶対温度を変数として開放電圧(V_{oc})をプロットし、近似直線と V_{oc} 軸の切片(0 Kでの外挿値)は各太陽電池の活性化エネルギー E_a となる⁵⁾。光吸収層に直接再結合のみが存在する場合、 E_a は E_g と等しい⁵⁾。しかし、それ以外の再結合過程が存在すると、 E_a は E_g より小さくなる⁵⁾。図3より、量子ドットの粒径が2.4 nm から 3.6 nm まで増加すると共に、 E_a は0.99 eV から 1.17 eV まで増加したが、一方 ΔE は0.75 eV から 0.03 eV まで減少することが判明した。この結果より、量子ドットの粒径が大きくなるほど量子ドットの表面トラップ準位を介した再結合の割合が減少したことが示唆される。量子ドットの粒径による表面トラップ準位の変化について詳しく検討する予定である。

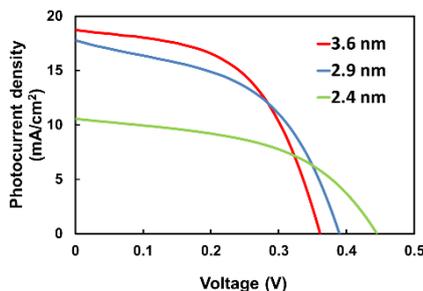


図1 各試料における光電変換特性

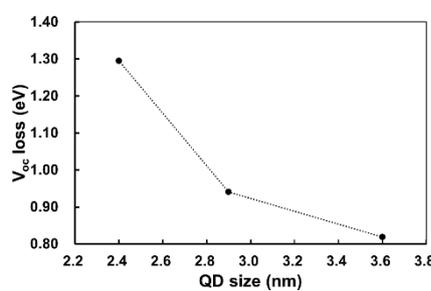


図2 各試料における開放電圧の損失

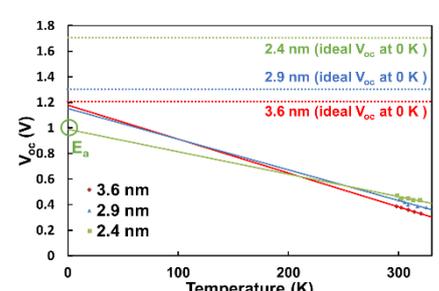


図3 各試料における開放電圧の温度依存性

1) A. J. Nozik, *Inorg. Chem.*, 2005,**44**,6893.

2) X. Lan *et al.*, *Nano Letters*, 2016,**16**,4630.

3) D. Vanmaekelbergh *et al.*, *NanoCrystal*, 2005,**12**,1152.

4) C. Jin *et al.*, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2017,**19**,6358.

5) C. Chia-Hao Marcus *et al.*, *Nano letters*, 2015,**15**,3286.