

PbS 量子ドット太陽電池における 開放電圧と光吸収層のアーバックエネルギーの粒径依存性

Dependence of open-circuit voltage in PbS quantum dots solar cell and
Urbach energy of the absorption layer on particle size

中大理工¹, 電通大², 九工大³, CREST⁴

○北畠有紀子^{1,2}, 中澤直樹², 大岡修平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, Kyushu Inst. Tech.³, JST CREST⁴

°Y. Kitabatake^{1,2}, N. Nakazawa², 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】近年シリコン太陽電池に変わる次世代型太陽電池として量子ドット太陽電池が注目されている。量子ドットの利点として、粒径の変化により光吸収領域の変化が可能になること、多重励起子生成が発生することにより、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。PbS 量子ドットは光吸収スペクトルを制御しやすいため、現在量子ドット太陽電池の中でもっとも適用されているものである。しかし PbS 量子ドット太陽電池の光電変換効率は 10.6%²⁾であり、理論変換効率より低いのが現状である。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開放電圧損失の変化や電荷分離・再結合ダイナミクス等の基礎研究は大変重要である。本研究では、粒径による開放電圧損失への影響の解明を目的としている。前回の発表より粒径が減少するほど開放電圧の損失が増加および、表面・界面再結合確率が増加している可能性が示唆された³⁾。今回は異なる粒径における PbS 量子ドットの吸収スペクトルから、量子ドットにおける欠陥量、結晶性などを反映するアーバックエネルギー(E_u)を算出することで、粒径変化による E_u 値が開放電圧損失に与える影響を検討した。

【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⁴⁾を用い、粒径が異なる 3 種類(2.4 nm、2.9 nm、3.6 nm)の PbS 量子ドット溶液を用意した。作製した量子ドット溶液を ZnO ナノワイヤー(NW)基盤上に塗布し、Au 電極を蒸着することで太陽電池を作製した。オクタン溶媒に分散したコロイド量子ドットと FTO/ZnO NW/PbS-QD 薄膜に関して吸収スペクトルを測定、得られた光吸収特性から E_u 値の評価を行った。

【結果と考察】粒径が異なる 3 種類のコロイド状 PbS 量子ドットの吸収スペクトルおよび低エネルギー側において指数関数的に減衰する Urbach tail を解析し、 E_u 値を算出した。その結果を図 1 に示す。図 1 より、粒径増加により E_u 値は 70 meV から 25 meV まで減少することが判明した。 E_u 値が低いほど、構造欠陥などの影響が少ないと考えられていることから、粒径が 3.6 nm の量子ドットは欠陥量が少ないコロイド粒子であることが示唆される。また FTO/ZnO NW/PbS-QD 試料の吸収スペクトルより得られた E_u 値はコロイド状態よりも高い値を示した(図 2)。これは FTO/ZnO NW 基盤の影響が考えられるが、コロイド状態同様に粒径が増加するほど E_u 値は 150 meV から 55 meV まで減少した。FTO/ZnO NW/PbS-QD 薄膜を電池化した際の光電変換特性から開放電圧損失を算出した結果³⁾、粒径が増加するほど 1.30 eV から 0.80 eV まで損失が減少しており、薄膜の結晶性が良いほど開放電圧の損失が小さくなる可能性として示唆された。

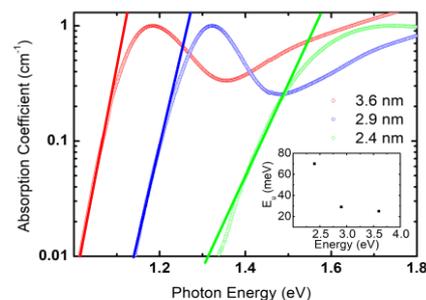


図 1 コロイド状 PbS 量子ドットの紫外可視吸収スペクトル

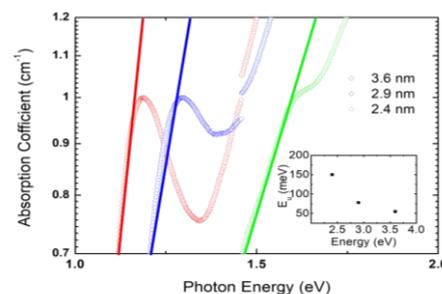


図 2 FTO/ZnO NW/PbS-QD の紫外可視吸収スペクトル

- 1) A. J. Nozik, *Inorg. Chem.*, 2005,**44**,6893.
- 2) X. Lan et al., *Nano Letters*, 2016,**16**,4630.
- 3) 北畠他, 第 78 回秋季応用物理学会, 6p-A501-19.
- 4) D. Vanmaekelbergh et al., *NanoCrystal*, 2005,**12**,1152.