

PbS 量子ドット/ZnO ナノワイヤ太陽電池のヘテロ接合界面修飾による 開放電圧の向上

Enhanced open-circuit voltage of PbS quantum dot/ZnO nanowire solar cells

東大先端研¹, 東大院総合文化², 王海濱¹, César Gagliardi¹, [○]久保貴哉¹, 岡田至崇¹,
瀬川浩司^{1,2}

1 RCAST, UTokyo, 2 Grad School of Science and Arts UTokyo

ukubo@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

はじめに

われわれは、高効率な赤外光電変換を目指し、PbS コロイド量子ドット (QD) と ZnO ナノワイヤ (NW) でヘテロ接合太陽電池 (NW 型, Fig. 1 (a)) を作製してきた。1 μm 程度の長さの ZnO NW と QD の混合層を作ることによって、平坦型セル (Fig. 1 (b)) より光吸収量を高めることができ、34 mAcm^{-2} 程度の短絡電流値を実現した¹⁻³。一方で、NW 型セルは、通常の平坦型セルとよりもヘテロ接合界面が拡張するため、再結合反応が増大し、開放電圧が低くなる傾向があった¹。そこで、開放電圧を改善させるために、ZnO NW 表面修飾を検討してきた。本講演では、有機分子で ZnO NW を処理することで、開放電圧を向上させることができたので、報告する。

実験

ZnO NW (長さ=約 1.2 μm) を水熱合成法で成長させた F-doped SnO_2 基板上に成長させた後に、異なる濃度 (1 mM, 5 mM, 10 mM) の PEI のイソプロパノール溶液に浸漬し、100°C で 30 分間アニールすることで、ZnO NW を Polyethylenimine (PEI, Fig. 2) で被覆した。さらに、励起子ピークを 1 μm に示す PbS QD の ZnO NW への充填とヨウ素カチオンへのリガンド交換を繰り返すことで、混合層を構築した。さらに、PbS QD オーバーコート層と Au 電極を順次積層し、太陽電池を作製した。

結果と考察

異なる PEI 濃度で処理した NW 層中のメチレン基に対応する赤外振動より、PEI 濃度と共に、ZnO NW を被覆する PEI が増加することを確認した。さらに、ZnO の欠陥準位に由来する可視域の幅広い蛍光強度が減少することより、ZnO NW のパシベーション効果を確認することができた。PEI の N 原子と ZnO のカチオン性欠陥が結合していると考えられる。

PEI 処理が太陽電池特性へ与える影響を調べた。PEI 処理を行うことで、未処理の ZnO NW を用いたセルよりも開放電圧 (V_{oc}) を同等以上に向上させることができた。短絡電流密度 (J_{sc}) と曲線因子 (FF) には大きな変化は確認できなかった。ZnO の欠陥準位をパシベートするため

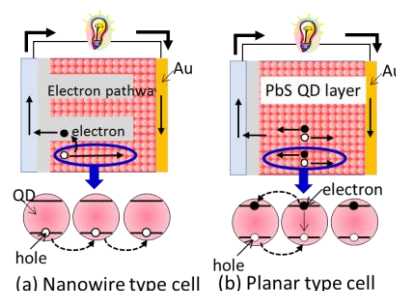


Fig.1 Heterojunction QD-based solar cells

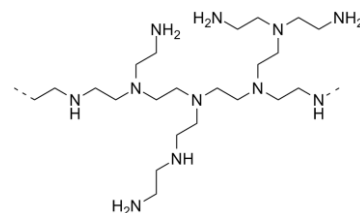


Fig. 2 PEI molecular structure

に、ワイドギャップ半導体を被覆する方法はこれまでも提案されているが、被覆膜の厚さをうまく調整できないと、 V_{oc} が改善できても、 J_{sc} の低下を招くことがある⁴。一方、PEI 処理の場合は、PEI 被覆量に関わらず、 J_{sc} は同等であった。結果として、未処理のセルと比較して、1 mM 濃度の PEI 処理を行った ZnO NW でセルを作製した時に、平均で V_{oc} は 0.44 V から 0.48 V に改善し、エネルギー変換効率 (PCE) が、6.27% から 6.95% に向上した。また、 V_{oc} の最高値として、0.5 V となり、PCE は、7.52% ($V_{oc} = 0.501$ V, $J_{sc} = 28.9 \text{ mAcm}^{-2}$, FF = 0.538) となった。

おわりに

ZnO NW 表面を PEI 溶液に含浸し、100°C のアニールを行う簡便な方法で、 V_{oc} を改善できた。また、PEI 処理を行った太陽電池は、1 年間の大気放置後も、PCE は、初期安定値 (6.7%) の 95% 以上を維持する安定性を示した。

1. H. Wang et al., *J. Phys. Chem. Lett.*, **4**, 2455 (2013).
2. H. Wang et al., *J. Phys. Chem. C.*, **119**, 27265 (2015).
3. H. Wang et al., *ACS Energy Lett.*, **2**, 2110 (2017).
4. J. Chiang et al., *Nanoscale*, **7**, 5446 (2015).