PbS 量子ドット/ZnO ナノワイヤ太陽電池：オーバーコート層の効果

PbS quantum dot / ZnO-nanowire solar cells: effect of the overcoat layers

東大先端研[1]，東大院総合文化[2]，°王海濱[1]，久保貴哉[1]，瀬川浩司[1,2]

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

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

はじめに

PbS コロイド量子ドット（QD）太陽電池としては, ZnO などのワイドギャップ半導体層上に, 光吸収層と電子ブロッキング層の役割を担う, 異なる 2 種類の量子ドット層を順次成膜した, ヘテロ接合太陽電池が主流である[1]．一方，われわれは，高効率赤外光電変換を目指し，ZnO ナノワイヤに PbS 量子ドットを充填した混合層を光吸収層とした NW 型セルに注目してきた[2,3]．本講演では，この PbS-ZnO-NW 混合層と金電極間の PbSQD オーバーコート層が太陽電池性能に与える影響を検討したので，結果を報告する．

実験

F-doped SnO_2 基板上に ZnO シード層を形成した後に，ZnO NW（長さ＝約 0.55 μm）を水熱合成法で成長させた．デップコーテイング法で励起子ピークを 960 nm に示し, ヨウ素カチオンでリガンド置換した PbS QD (I-PbS QD)を ZnO NW に充填した(Fig.1A)．また，オーバーコート層の影響を検討するために，PbS-ZnO-NW 混合層に 150 nm 厚の I-PbS QD 層をスピンコートしたセルも作製した（Fig.1 C）．

NW の代わりに ZnO 緻密層を用いたセル（平坦セル）では，I-PbSQD 層上に，電子ブロッキング層として，1 ,2-エタンジオールリガンドを有する PbS QD 層（EDT-PbS 層）を形成することが一般である．そこで NW セルでも，必要に応じて，EDT-PbS QD 層(50 nm 程度)をオーバーコート層上に積層した(Fig.1C,D)．セルにおける光吸収は，Au 電極を付けた状態で，透明導電性基板側から光を照射して想定した反射率(R)を使い，100-R を光吸収率とした．

結果と考察

オーバーコート層厚(<50 nm，150 nm)と EDT-PbS 層の有無により作製した異なる 4 種類のセル外部量子収率(EQE)と内部量子収率(IQE)において，PbS-ZnO-NW 混合層上に約 50 nm 程度オーバーコート層を配置したセル（セル A）では，EDT-PbS 層の挿入の有無に関わらず，赤外の IQE(@1020nm)は 100%近い値を示した．このことは, 混合層上の薄膜オーバーコート層が, 有効な電子ブロッキング層として作用していることを示すものである[3]. EDT 層を挿入した場合(セル B)でも，IQE スペクトルは，未挿入のセルと同等であり，追加での電子ブロッキング層としての有効性が低いことが分かった．

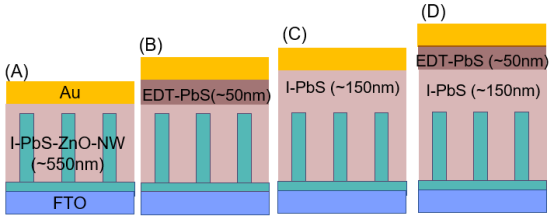
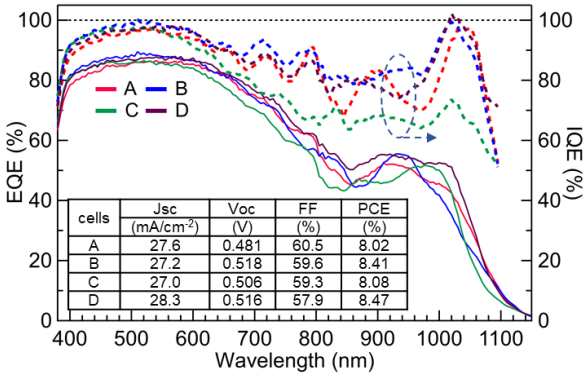


Fig.1 Schematic of the PbS QD-ZnO NW solar cells with difference overcoat layers.



cells	Jsc (mA/cm^{-2})	Voc (V)	FF (%)	PCE (%)
A	27.6	0.481	60.5	8.02
B	27.2	0.518	59.6	8.41
C	27.0	0.506	59.3	8.08
D	28.3	0.516	57.9	8.47

Fig.2 EQE and IQE spectra of the solar cells.

一方，厚膜オーバーコート層(150 nm)とした場合は, EDT-PbS 層未挿入セル（セル C）では, 赤外領域での IQE(@1020nm) が 72%程度まで減少した．このことより，オーバーコート層が厚膜化することで，近赤外光吸収によりオーバーコート層内に生成したキャリアの Au 電極への逆電子移動の影響が顕著になったものと考えられる．実際に，セル C に EDT-PbS 層を挿入する（セル D)と，IQE は，セル A および B と同等になる．

以上より，NW 型セルでは，特別な電子ブロッキング層を挿入することなく，簡便なセル構造でも，オーバーコート層形態をうまく制御することで，高効率な赤外光電変換が実現できると考えられる．

1. C.-H. M. Chuang et al., *Nat Mater.*, **13**, 796, (2014).
2. H. Wang et al., *ACS Energy Lett.*, **2**, 2110, (2017)
3. 王海濱ら, 18a-E101-4, 2019 年第 80 回応用物理学会秋季学術講演会.

© 2020年 応用物理学会