沈降法を用いて作製した PbS 量子ドット超格子膜の太陽電池への応用
Solar cell application of PbS quantum dot superlattice film prepared by sedimentation method

横浜国大院理工 ○(M1)木村亮太、(M2)藤島将伸、向井剛輝
Graduate School of Engineering Science, Yokohama National University
○R. Kimura, M. Fujishima, K. Mukai
E-mail: mukai-kohki-cv @ynu.ac.jp

【はじめに】高効率太陽電池を実現するため、量子ドット（QD）超格子太陽電池が研究されている。QD 超格子構造中で形成された中間バンドではキャリアが高速で動けるようになるとともに、広範囲の波長の光が吸収可能となる。高均一の化学合成 QD を溶媒中で沈降堆積させることで高密度な超格子構造が実現可能であるが、そのままでは長周期性が不足であり、かつ QD 間の面方位がランダムなことが、キャリア散乱の原因となる。我々はこれまで、テンプレート上にファセットつき化学合成 QD を沈降させることで、面方位のそろった大面積の超格子膜の作製に成功した[1]。本研究では、沈降法によって作製した QD 超格子膜を用いて太陽電池を作製し、キャリア特性の観点から電池性能を調査した。

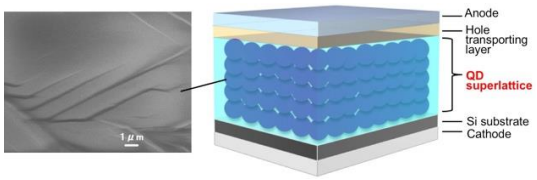

Fig. 1 Schematic of sample structure.

【実験】Fig.1 に今回作製した太陽電池の構造を示す。n 型(100)Si 基板を洗浄した後に、PbS QD (溶媒トルエン) (Evidot,Evident Thermoelectrics Inc.)あるいは自作のファセットつき QD を膜厚 0.9-100μm 程度に沈降、もしくは、膜厚 10-200nm 程度にスピンコートした。沈降はトルエン雰囲気下で溶媒の蒸発を抑え、7 日程度かけて行った。正孔輸送層として PEDOT:PSS を厚さ 30-40 nm 程度にスピンコートした。陽極、陰極としてそれぞれ金、アルミニウムを 100nm 程度蒸着した。

【結果】Fig.2 に沈降法とスピンコート法で形成した QD 層の厚さと変換効率(PCE)及び再結合確率(RP)との関係を示す。QD 膜厚が上昇すると光吸収量が増え、PCE は上昇すると考えられる。しかし、膜厚がキャリアの拡散長を超えると、電極に到達できないキャリアが増加するために RP が上昇し、PCE が低下すると考えられる。沈降法では QD 膜厚が約 1.5μm を超えると PCE が低下し RP が上昇し始めたことから、拡散長は 1.5μm 程度であると考えられる(Fig.2a)。また、スピンコート法では同様の考察から、拡散長は 0.6μm 程度であると考えられる(Fig.2b)。この結果は、沈降法によってスピンコート法よりも長周期性に優れた QD 膜が実現可能であることを示唆している。

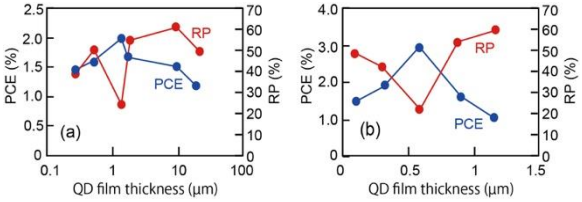

Fig. 2 PCE and RP as a function of thickness of QD film formed by (a)sedimentation method and (b)spin coating.

しかし、PCE そのものはスピンコート法を用いた場合のほうが高い。これは QD 膜表面に生じたクラックが原因であると推測される(Fig.3)。クラックはキャリア移動を阻害し、非発光再結合中心を生成する原因にもなっている可能性がある。

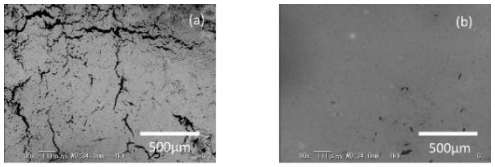

Fig. 3 SEM images of QD film fabricated by (a) sedimentation method and (b) spin coating.

QD 形状と QD 太陽電池性能の関係を調査した結果を Fig.4 に示す。ファセットつき QD を用いた太陽電池の変換効率は 2.4%であったのに対し、ファセットなし QD では 1.9%であった。これはファセットつき QD を用いたことで、面方位の揃った QD 膜が形成され、キャリア移動度が向上したためだと推測される。

本研究はJSPS科研費JP18K04972の研究助成を受けたものです。

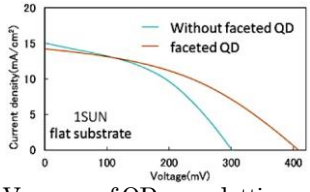

Fig. 4 J-V curves of QD superlattice solar cells.

参考文献

[1] K. Mukai et al., APEX 11,085601 (2018).