3P080

Si/PEDOT:PSS ハイブリッド太陽電池の作製とその光電変換特性の評価

(広島大・理¹, 広島大・自然セ², 広島大院・理³) 〇池田 なつみ¹, 徳田 一真¹, 加治屋 大介^{1,2}, 齋藤 健一^{1,2,3}

Fabrication of Si/PEDOT:PSS hybrid solar cells: enhancement of photoconversion efficiencies

(Faculty of Science,¹ N-BARD,² Graduate School of Science,³ Hiroshima Univ) ONatsumi Ikeda,¹ Kazuma Tokuda,¹ Daisuke Kajiya,^{1,2} Ken-ichi Sairow^{1, 2, 3}

【序】世界的に関心が高まっている太陽電池研究において,導電性ポリマーと半導体を複合したハイブリッド太陽電池が注目されている。特に,高い導電性を示すpoly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly (styrenesulfonate) (PEDOT:PSS)の薄膜と単結晶シリコン(Si)からなるハイブリッド太陽電池は、軽量で作製が簡便であるという点から重要視されている[1]。一方,ハイブリッド太陽電池の高性能化には、界面状態、膜構造,光物性などの理解が必要不可欠である。本研究では、Si/PEDOT:PSS ハイブリッド太陽電池を作製し、作製過程の違いによる光電変換特性を検討した。その結果、Si表面の酸化と PEDOT:PSS の薄膜化が、光電変換の向上に大きく影響することが明らかになった。また、酸化と薄膜化による光電変換の向上は、界面の電子状態変化と膜中におけるキャリア輸送の高効率化と帰属された。

【実験】 n型Siウエハを蒸留水,アセトン,硫酸過水の順で洗浄し,5%フッ化水素酸に浸し表面酸化膜を除去した。2時間の乾燥後,Siウエハ上に PEDOT:PSS 水溶液

(DMSO と Zonyl を添加)を滴下し、スピンコート法で PEDOT:PSS 膜を成膜した。 熱処理の後、PEDOT:PSS 側に銅電極、Si 側にアルミニウム電極を真空蒸着で成膜し た。また、Si ウエハの乾燥雰囲気を変え、界面構造の異なる 2 つのハイブリッド太陽 電池を作製した。これら作製したハイブリッド太陽電池の電流-電圧(*J*-*V*)特性を 測定し、界面構造、膜厚依存性を検討した。

【結果と考察】 図1は,作製したハイブリッド太陽電池の模式図である。図2に,Si-H/PEDOT:PSS 太陽電池,Si-SiO_x/PEDOT:PSS 太陽電池のJ-V曲線,それらの太陽電池特性を表 1aに示す。これらの結果から,Si-SiO_xはSi-Hと比べ光電変換効率 (PCE)は7.58%と2倍高く,また開放電圧 (V_{oc})は1.8倍大きいことがわかる。既報の研究によると,Si/PEDOT:PSSの V_{oc} は,PEDOT:PSSのHOMOとSiの伝導帯



端のエネルギー差で決まることが報告されている[2]。この結果から判断すると、V_{oc}の増加は、Siの表面酸化による伝導帯のエネルギー変化による判断できる。また図2は、SiO_x化による短絡電流密度(*J*_{sc})の増加も示している。この結果は、Siの酸化によりSi/PEDOT:PSS 界面のエネルギー障壁が減少し[3]、Si から PEDOT:PSS へのキャ

リア輸送が高効率化したためと判断できる。その他、作製したハイブリッド太陽電池 を大気中で保管し、太陽電池特性の経時変化を測定した。その結果、PCE は Voc の増 加に伴い 24~50 時間後に最大値をとり、その後は Jsc の低下により減少することが明 らかとなった。





図 2. 異なる Si 表面のハイブリッド太陽電池の *ナV*曲線



図3と表1bに、スピンコート の回転速度を変えて成膜したハ イブリッド太陽電池の J-V 測 -定の結果を示す。2000 rpm で作 製した太陽電池は, 1000 rpm で -作製した太陽電池より J_{sc} と V_{oc} が 1.1 倍大きい。PEDOT:PSS の -膜厚をレーザー顕微鏡で測定し たところ,前者は95±2 nm,後者 _ は 137±4 nm であった。すなわ ち, 膜厚を薄くすることで太陽 電池性能が向上した。この結果 は,薄膜化によるキャリア輸送 効率の増加(Jscの増加)と、そ れに伴う V_{oc}の増加 (V_{oc}∝ln J_{sc} [4]) によると考えられる。今後, エネルギーダイヤグラム(図4)等による性能向上の 理論的考察と高効率ハイブリッド太陽電池の作製を 進める予定である。

表 1.(a) 異なる Si 表面のハイブリッド太陽電池の特性。(b) 異な る回転速度で作製したハイブリッド太陽電池の特性。4回測定の 平均値(average)と最大値(max)を示す。

(a)	$J_{ m sc}$	$V_{ m oc}$	FF	PCE
	(mA/cm ²)	(V)	(%)	(%)
Si-H (average)	54.3	0.187	26.3	2.67
Si-H (max)	61.4	0.195	27.6	3.07
Si-SiO _x (average)	63.2	0.328	26.7	5.55
Si-SiO _x (max)	76.9	0.385	28.3	7.58
(b)	$J_{ m sc}$	$V_{ m oc}$	FF	PCE
(b)	$J_{\rm sc}$ (mA/cm ²)	V _{oc} (V)	FF (%)	PCE (%)
(b) 1000rpm (average)	J _{sc} (mA/cm ²) 63.2	V _{oc} (V) 0.328	FF (%) 26.7	PCE (%) 5.55
(b) 1000rpm (average) 1000rpm (max)	J _{sc} (mA/cm ²) 63.2 76.9	V _{oc} (V) 0.328 0.385	FF (%) 26.7 28.3	PCE (%) 5.55 7.58
(b)1000rpm (average)1000rpm (max)2000rpm (average)	J _{sc} (mA/cm ²) 63.2 76.9 72.6	V _{oc} (V) 0.328 0.385 0.371	FF (%) 26.7 28.3 25.4	PCE (%) 5.55 7.58 6.87

参考文献: [1] Xiaojuan et al., J. Am. Chem. Soc. 133, 19408 (2011); [2] Zhu et al., Appl. Phys. Lett. 102, 113504 (2013); [3] He et al., Appl. Phys. Lett. 100, 073503 (2012). [4] Pietsch et al., J. Phys. Chem. C, 117, 9049 (2013)



図4 Si/PEDOT:PSS ハイブリッド太陽 電池のエネルギーバンドダイヤグラム