TiO_xを用いたSi太陽電池用carrier selective contactに関する検討

Investigation of TiO_x as carrier selective contact for silicon solar cells

Fraunhofer-ISE[1]、産総研[2]、NREL[3] ○松井 卓矢[1,2], Martin Bivour[1], Paul Ndione[1,3], Paul Hettich[1], Martin Hermle[1]

Fraunhofer-ISE[1]、AIST[2]、NREL[3] °T. Matsui[1,2], M. Bivour[1], P. Ndione[1,3], P. Hettich[1], M. Hermle[1]

E-mail: t-matsui@aist.go.jp

【はじめに】太陽電池の変換効率の向上には、キャリア再結合の抑制の他に、光吸収層から電子または正孔のいずれかのキャリアを選択的に外部に取り出すcarrier selective contactの材料制御が重要である。ドーピングフリーで光学的に透明なコンタクトとして、MoO_xやWO_xなどの仕事関数の高い材料がシリコンの正孔コンタクトとして働くことが知られているが、電子コンタクトについては報告が少ない。最近、電子コンタクトに適した材料として、導電性と比較的低い仕事関数を併せ持つ酸化チタン（TiO_x）が注目されている[1]。本研究ではTiO_xのキャリア選択性について調査し、その支配因子について考察を行った。

【実験】厚さ約6 nmのTiO_x層を原子層堆積法（Atomic Layer Deposition: ALD）を用いて製膜した。TiO_xのキャリア選択性に注目するために、N型c-Si基板とTiO_x層界面にa-Si:H i層をパッシベーション（バッファ）層として挿入した。本研究で用いたALDの酸化プロセスでは、酸素プラズマ（plasma-ALD）またはH_2Oとの熱反応（thermal-ALD）を用いた。評価に用いた簡易セルの構造は（1）ITO/*pi*Ni/TiO_x/Tiまたは（2）ITO/*ni*Ni/TiO_x/Tiとし、それぞれの構造から電子と正孔の選択性について評価した。

【結果】図1にTiO_xのキャリア選択性の指標として、作製したセルの1-sun光照射下における開放電圧を示す。なお、上図と下図はそれぞれ上記（1）と（2）のセル構造の結果を示し、縦軸は電子の選択性を正に、正孔の選択性を負にとっている。比較のため電子と正孔のコンタクトにそれぞれa-Si:H n層とp層を用いた結果も示している。図から、plasma-ALDで作製したTiO_xは電子の選択性が高いが、thermal-ALDで作製したTiO_xはむしろ正孔コンタクトとしての性質が強いことがわかる。また、180°C 15 minのポストアニールを行うことにより、電子から正孔への選択性が強くなる傾向も見て取れる。本稿では示されていないが、TiO_xのキャリア選択性はTiO_xの上に蒸着する電極材料にも依存し、仕事関数が低い材料を選ぶと電子の選択性が高くなる傾向が観測された。このように、TiO_xのキャリア選択性は、製膜プロセスやアニール、電極材料によって大きく変化し、同じ材料でも電子コンタクト（V_{oc}>680 mV）から正孔コンタクト（V_{oc}~650 mV）まで制御できることが示された。

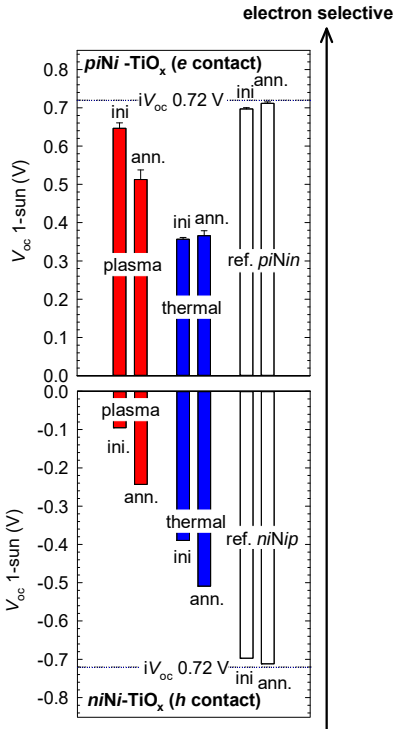

Fig. 1. 1-sun V_{oc} in the initial (ini.) and after hotplate annealing (ann.) for different solar cell structures. Note that the positive and negative external V_{oc} represent the magnitude of electron and hole selectively, respectively.

[1] X. Yang *et al*. Adv. Mater. vol.28, 5891 (2016).

【謝辞】本研究はFraunhofer-ISEで実施した。