

スパッタ法を用いた $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ce,H}$ 広帯域透明導電膜の開発と Si ヘテロ接合型太陽電池への適用

The sputter deposition of broadband transparent conductive $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ce,H}$ and its transfer to silicon heterojunction solar cells

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology¹, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems²

T. Koida¹, L. Tutsch^{1,2}, H. Sai¹, T. Matsui¹, M. Bivour², M. Hermle²

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

【はじめに】Si ヘテロ接合(SHJ)太陽電池開発において、窓電極のITO($\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$)をより高移動度な透明導電膜に置換え、光学(反射・吸収)損失を抑制することで、高効率化が図られている。窓電極形成には、反応性プラズマ堆積(RPD)あるいはマグネトロンスパッタ(MS)法が用いられ、高移動度透明導電膜としてHあるいはHと金属(Me)不純物を同時添加した $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Me,H}$ 薄膜が用いられている。RPD法を用いた $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ce,H}$ 薄膜は、報告されている透明導電膜の中でも高い移動度を示しているが、電池の生産ラインでは使われていないようである。また、MS法を用いた薄膜の報告もない。本研究では、MS- $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ce,H}$ 薄膜の性能を調べ、SHJ太陽電池の窓電極に適用し、ITOを用いた参照試料との性能比較を行った。

【実験】MS法を用い非加熱製膜により非晶質(a-) $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ce,H}$ 薄膜を形成し、ポストアニール(200 °C)することで固相結晶化(spc-)薄膜を形成した。製膜時の酸素と水蒸気分圧を調整し、薄膜内の酸素の化学量論組成とH量を制御した。 In_2O_3 および $\text{In}_2\text{O}_3\text{-CeO}_2$ (98 wt.% / 2 wt.%)の二つの焼結体ターゲットを用い、同時スパッタすることで、薄膜内のCe量を変化させた。平坦なガラス基板およびテクスチャ構造をもつSHJ太陽電池プリカーサー上にa- $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ce,H}$ 薄膜を製膜し、 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ce,H}$ 層に対してHall測定をポストアニール中に行うことで、下地層の材料および構造が電気特性に与える影響を評価した。Fig. 1に示すSHJ太陽電池を作製し、電池特性を評価した。

【結果及び考察】Fig. 2にガラス基板上 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ce,H}$ 薄膜のキャリア濃度(N)と移動度(μ)の関係を示す。a- $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ce,H}$ 薄膜において、酸素分圧 $p(\text{O}_2)$ に対する N と μ の変化は、これまで報告されているa-In-Zn-Oやa-ITOと類似している。一方、spc- $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ce,H}$ 薄膜では、Ce量の増加(0, 0.5, 1, 1.5, 2 wt.%)とともに N は増加し、 μ の最高値は147, 129, 127, 127, 114 $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ と緩やかに減少している。この結果は、Ceは有効なドナー不純物であることを示している。また、Ce量が増加するに従い、高移動度を示す最適 $p(\text{O}_2)$ は減少し、それ以上の $p(\text{O}_2)$ で作製した場合、 μ は著しく減少している。この現象は、CeはInよりもOとの結合解離エネルギーが大きいため、Ce量が多いほど低 $p(\text{O}_2)$ では酸素空孔は形成され難く、高 $p(\text{O}_2)$ では格子間酸素は形成されやすいことで説明することができる。MS法で作製した $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ce,H}$ 薄膜は、これまで報告されているITO、RPD- $\text{In}_2\text{O}_3:\text{W,H}$ 、MS- $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Me,H}$ よりも高い移動度を示し、RPD- $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ce,H}$ と同等の電気特性を示している。比抵抗は $2.5 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 以下であり、高い $N(> 2 \times 10^{20} \text{cm}^{-3})$ を示すため、SHJ太陽電池の窓電極に適用した場合、a-Si:H(p)層との低い接触抵抗も期待できる。太陽電池特性およびテクスチャ構造を持つプリカーサー上での窓電極層の輸送特性については当日報告する。[1]

[1] L. Tutsch, H. Sai, T. Matsui, M. Bivour, M. Hermle, T. Koida, The sputter deposition of broadband transparent and highly conductive cerium and hydrogen co-doped indium oxide and its transfer to silicon heterojunction solar cells, Progress in Photovoltaics, in press

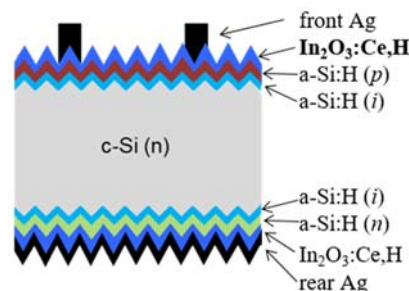


Fig. 1 Sketch of the fabricated SHJ cell structure.

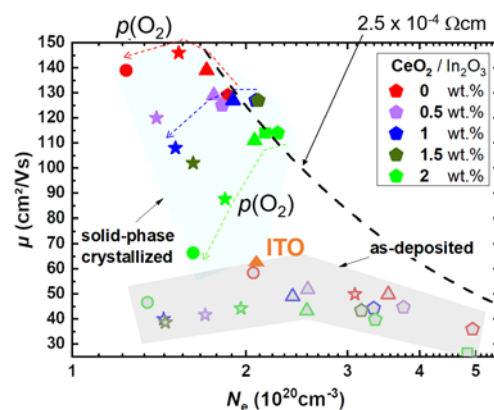


Fig. 2 Relationship between Hall parameters in the amorphous state and after crystallization at 200 °C for $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ce,H}$ films.