

フルスペクトル対応の薄膜太陽電池用 ZnO 系透明導電膜に関する研究

Study of the ZnO-based transparent conductive thin films for full solar cell spectrum

鈴木 晶雄 (SUZUKI Akio)

近年、薄膜太陽電池に大きな注目が集まり研究開発が活発に行われている。中でも紫外光から近赤外光までの幅広い波長 ($\lambda = 400 \sim 1500 \text{ nm}$) の光を吸収して発電する多接合型薄膜太陽電池や CIS (CIGS) 薄膜太陽電池が開発された。さらには次世代の太陽電池として提案されている量子ドット太陽電池などでは主たる太陽光スペクトル領域 ($\lambda = 400 \sim 2500 \text{ nm}$) をほとんど光電変換でき高い変換効率が期待されている。これらの太陽電池の受光素子面に使用される透明導電膜に求められる特性は、これまでのようなディスプレイおよびタッチパネル用の透明導電膜への要求を満たしてきた特性、すなわち可視光領域 ($\lambda = 400 \sim 700 \text{ nm}$) のみ透過し近赤外領域を遮断(反射)する光学特性では、スペクトルが近赤外領域にまで広がった太陽光を有効に活用する薄膜太陽電池の変換効率向上にとっては大きな妨げとなる。現在主流の希少金属インジウムを用いた ITO に代わる次世代の高効率薄膜太陽電池用のフルスペクトル対応の ZnO 系透明導電膜について、申請者の研究室ではここ数年各学協会にて精力的に研究発表を行ってきた。本研究では、これまでの研究成果を基盤として、克服しなければいけない課題に的を絞り、以下の3点について重点的に取り組んだ。1. 低抵抗化とフルスペクトル対応を両立するための最適不純物材料の探索として低キャリア密度且つ高移動度が得られるドーパント(不純物材料)の探索、試作および検討を行った。2. ワイドレンジで光閉じ込め効果を有するマルチテクスチャー構造を構築した。3. 高耐久性を有する ZnO 系+SnO₂系積層型の太陽電池用ハイブリッド透明導電膜として高耐熱耐湿特性を有する SnO₂系を ZnO 系に積層させ 500°C 以上に耐える特性を目指した。具体的には、申請者は主たる太陽光スペクトル領域の波長全てにおいて高透過率を有し且つ低抵抗の新規なフルスペクトル対応の ZnO 系透明導電膜を、特に新たなドーパント材料添加の検討を行った。例えば ZnO に三酸化チタンをドーパした TZO 透明導電膜は、遷移元素であるチタンは 2 価と 3 価の価数をとるため 2 価のチタンはキャリアを放出することなく、そのまま ZnO 中に置換個溶し 3 価のチタンは 1 つキャリアを放出すると考えられる。そのため、キャリア生成の抑制効果が期待できるので、PLD 法で TZO 透明導電膜の作製を試みた。

比較対象の材料としては、最近、耐熱性に注目されている GZO を選び、さらに ACZO も加えて TZO 透明導電膜の電気的特性と光学的特性を比較した。その結果、TZO 透明導電膜では、ホール移動度 $\mu = 54.8 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 、キャリア密度 $n = 2.93 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、シート抵抗 $R_s = 8.6 \text{ } \Omega / \square$ が得られている。これらの値から ZnO 系透明導電膜としては比較的高移動度、低キャリア密度の膜が得られ、フルスペクトル対応の ZnO 系透明導電膜として応用できることがわかった。

これらの研究成果は、たとえば、J. Vac. Soc. Jpn., Vol. 55, No. 3, (2012) pp. 112-114. など 4 編の学術論文(査読付き)に掲載されている。尚、本研究の一部は大阪産業大学産業研究所平成 23 年度分野別研究費で行った。