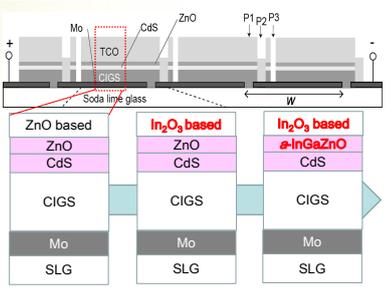


導電性酸化物によるCIGS太陽電池 高効率化の検討

鯉田崇、上野優子、西永慈郎、高橋秀樹、樋口博文、飯岡正行、柴田肇
産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 化合物薄膜チーム

本研究の目的

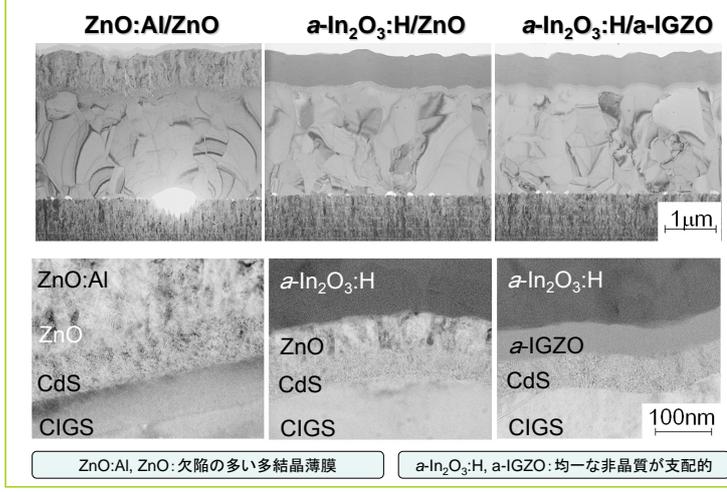
CIGS太陽電池の発電効率をSHJなどSiと同等まで向上させるためには、CIGS層、バッファ層、その界面の高品質化と同時に、透明導電膜(TCO)/高抵抗酸化物半導体層(TOS)からなる窓層の高性能化も必須である。TOS層の役割は、局所的なシャントパスなど電気的不均一性(面内)により生じるFF、 V_{oc} ロスを軽減するため、適切な直列抵抗を挿入することにある。従来、TCOとTOSにはZnO系材料(ZnO:B, ZnO:Al, ZnO)が用いられているが、 $a\text{-In}_2\text{O}_3$ 系材料はZnOでは実現し得ない優れた電気光学特性と安定性を示す。本研究では、TCOとして $a\text{-InZnO}$ あるいは $a\text{-In}_2\text{O}_3\text{:H}$ 、TOSとして $a\text{-InGaZnO}$ を選択し、ZnO系材料と比較しながら、材料とその組み合わせが電池特性に与える影響を調べた。



まとめ

ZnO層など、結晶粒径の小さいノンドーパ多結晶半導体薄膜では、粒界でのアクセプター型欠陥に起因したポテンシャル障壁とその周辺の空乏領域が電子の輸送特性を決定する。製膜条件による結晶粒径と欠陥密度の制御は難しく、ポテンシャル障壁、ZnO層での直列抵抗を制御することは難しい。一方、 $a\text{-IGZO}$ など $a\text{-In}_2\text{O}_3$ ベースの非晶質半導体は、キャリア濃度、直列抵抗の制御は容易である。また、電子移動度もZnOより高く、カチオンの種類等を選択することにより伝導帯底のエネルギー位置も制御できるため、電子輸送層として適している。
 $a\text{-In}_2\text{O}_3$ 系TCOは、 $a\text{-IGZO}$ と同様に粒界はないため、ZnO系より高い電子移動度を示す。従って、同じシート抵抗でも自由キャリア吸収を減らすことができる。
両者を組み合わせた $a\text{-In}_2\text{O}_3$ ベースのTCO/TOSを窓層に用いることにより、高いFF、 V_{oc} を維持した状態で J_{sc} を向上できることを確認した。

窓層(TCO/TOS)の異なるCIGS太陽電池の断面TEM像



TCO, TOS層の電気特性 (SLG上、CIGS上)

material	T_s (°C)	thickness (nm)	TCO on SLG			TCO on TOS/CdS/CIGS		
			R_{sheet} (Ωsq^{-1})	N (cm^{-3})	μ ($\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)	R_{sheet} (Ωsq^{-1})	N (cm^{-3})	μ ($\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)
ZnO:Al	< 160	340	35	$3.2\text{E}+20$	16	34	$4.5\text{E}+20$	12
		710	8.7	$4.6\text{E}+20$	22	9.1	$4.7\text{E}+20$	21
$a\text{-In}_2\text{O}_3\text{:H}$	< 60	66	46	$4.1\text{E}+20$	45	58	$4.4\text{E}+20$	37
		550	6.2	$3.7\text{E}+20$	49	6.1	$4.2\text{E}+20$	44

material	T_s (°C)	r_{O_2} (%)	TOS on SLG		
			ρ (Ωcm)	N (cm^{-3})	μ ($\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)
ZnO	< 150	0	$2.0\text{E}-01$	$2.1\text{E}+19$	1.5
ZnO		0.5	$1.2\text{E}+05$		
ZnO		0.99	$1.4\text{E}+05$		
ZnO		2	$7.7\text{E}+05$		
$a\text{-IGZO}$	< 60	0	$2.4\text{E}-01$	$3.1\text{E}+18$	8.7
$a\text{-IGZO}$		0.13	$1.2\text{E}+02$	$1.2\text{E}+16$	4.3
$a\text{-IGZO}$		0.17	$8.5\text{E}+02$	$1.7\text{E}+15$	4.2
$a\text{-IGZO}$		0.25	$5.1\text{E}+03$	$4.1\text{E}+14$	3.0

r_{O_2} : 製膜時の O_2 流量比

凹凸のあるCIGS上 & 66nm厚でも高移動度
酸素を導入してスパッタ製膜したZnOではHall電圧は小さく N , μ は決定できない。粒界バリアと空乏領域が輸送特性を決定。(デバイスでは膜厚方向にキャリアは輸送されるが、程度の差こそあれ、同じ。) 一方、 $a\text{-IGZO}$ は酸素量により N 制御可 & 高 μ

窓層(TCO/TOS)の異なるCIGS太陽電池セル、モジュールの特性

