

低温スパッタ成膜条件が AZO 薄膜の特性および ZnO ナノロッド成長に及ぼす影響

菅原 雄太 (光・エネルギー研究室)
(指導教員 李 朝陽 教授)

1. 背景と目的

近年、太陽光発電はクリーンなエネルギー源として注目されているが、不透明であることから設置場所や用途に制約がある。そこで低コストかつ低温プロセスで成膜可能な次世代太陽電池として色素増感太陽電池が注目されている。

本研究では、色素増感太陽電池に着目し、光電極材料として透明で導電性がある AZO 薄膜上に ZnO ナノロッドを成長させることにより、高交換効率化に寄与する光電極構造の形成を目的とした。さらに、AZO 薄膜の作成条件が ZnO ナノロッドの成長挙動に与える影響を明らかにするため、スパッタ圧力、スパッタ出力(パワー)、および膜厚を制御因子として、それらが ZnO ナノロッドの成長形態および構造特性に及ぼす影響を評価した。

2. 実験方法

本実験では、RF マグネトロンスパッタリング法を用いてガラス基板上に AZO 薄膜した。成膜条件として、(1)スパッタ圧力、(2)膜厚および(3)スパッタ出力をそれぞれ変化させた。その後、各条件で化学析出法を用いて、AZO 薄膜上に ZnO ナノロッドを合成した。表 1,2 に詳細を示す。

表 1. AZO 薄膜の成膜条件

基板	条件	ターゲット	Arガス [sccm]	温度 [°C]	圧力 [Pa]	パワー [W]
Glass	AZO (Al:5at%)	30	26	1	120/180	
				7	/240/300	

表 2. ZnO ナノロッドの合成条件

基板	条件	温度 [°C]	Zn(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O [mol/L]	HMTA [mol/L]	モル比	超純水 [ml]	時間 [h]
AZO/Glass		95	0.015	0.0075	2:1	200	5

3. 実験結果

(1)図 1 に異なるスパッタ圧力で成膜した AZO 薄膜の SEM 像を示す。1Pa で成膜した AZO 薄膜と比較して、7Pa で成膜した AZO 薄膜は結晶性が大きく向上し、結晶は良好な垂直配向を示した。

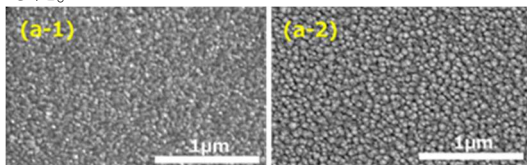


図 1. 異なるスパッタ圧力で成膜した AZO 薄膜
(a) 表面図 (b) 断面図 (1) 1Pa (2) 7Pa

(2)100nm および 200nm の膜厚を有する AZO 薄膜と比較して、300nm の AZO 薄膜はより高い結晶性を示した。その上に成長した ZnO ナノロッドでは、膜厚依存性に起因する明確な差は認められなかった。

(3)スパッタ出力の増加に伴って AZO 薄膜の(002)ピーク強度の減少、粒径の増大が確認された。一方で 180W 条件では最も小さい残留応力および結晶子サイズが最大であることが確認され、180W 条件が定量的評価に基づく結晶性は最も良好であると示唆される。図 2 は、異なるスパッタ出力で成膜した AZO 薄膜上に成長させた ZnO ナノロッドの SEM 像であり、表面図から 120W では粒径が小さく高密度に ZnO ナノロッドが成長していることが確認できた。断面図からは、スパッタ出力を低下させることで、ZnO ナノロッドの成長方向が基板に対して垂直に配向する傾向が示唆された。図 3 に異なる

るスパッタ出力で成膜した AZO 上に成長させた ZnO ナノロッドの XRD2θ パターンを示す。図 3 から、出力の増加に伴って(002)ピーク強度が減少する傾向が確認された。また、C 軸結晶子サイズは、出力増加に伴って減少する傾向が確認できた。以上の結果から、AZO 薄膜はスパッタ出力の増加に伴って結晶性が悪化する傾向が示された。また、ZnO ナノロッドの成長においてはその下地である AZO 薄膜の結晶性および粒径の影響を受けていることが示唆された。

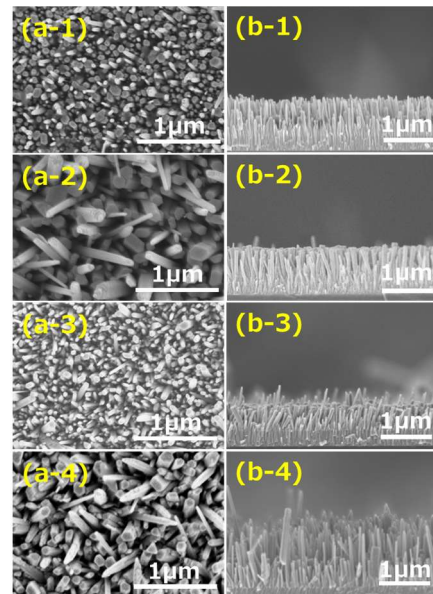


図 2. 異なるスパッタ出力で成膜した AZO 薄膜の SEM 像
(a) 表面図 (b) 断面図 (1) 120W (2) 180W (3) 240W (4) 300W

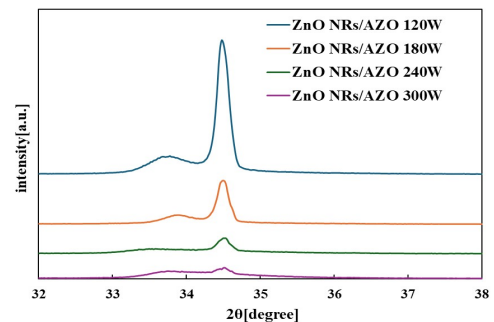


図 3. 異なるスパッタ出力で成膜した AZO 薄膜上の ZnO ナノロッドの XRD2θ パターン

4. 結論

- スパッタ圧力を 1Pa から 7Pa へと増加すると、AZO 薄膜の結晶性の向上が確認された。
- 膜厚制御は AZO 薄膜の結晶性に影響することが確認された。
- スパッタ出力は AZO 薄膜の結晶性に影響を及ぼし、さらにスパッタ低出力と高圧力の組み合わせにより最適条件が存在することが示された。また、ZnO ナノロッドでは 120W 薄膜上で高密度成長および良好な結晶・配向性が確認された。

参考文献

NEDO, 「次世代太陽電池の研究開発に関する取り組みについて」, https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101884.html, 2025年9月9日