

# 極薄 Al 膜による Al 添加 ZnO 透明導電膜の電気特性における膜厚依存性の改善

1220053 河鱒 七瀬 (機能性薄膜工学研究室)  
(指導教員 牧野 久雄 教授)

## 1. 研究の背景と目的

透明導電膜は高透過性かつ低抵抗率という機能を持つことから太陽電池やディスプレイなど幅広い分野に利用されている。現在は ITO 膜が主流だが資源の枯渇問題による供給不安があり、代替材料として ZnO 膜に注目した。ZnO は比較的安価で高透過率であり、Al や Ga をドーピングすることで導電性の向上が望める。近年、フレキシブルデバイスの開発が進められている中で、ZnO 透明導電膜には低抵抗化の課題があり、膜厚 100 nm 以下の領域でより顕著である。Al キャップ層と 400°C 熱処理による Al 添加 ZnO (AZO) 膜の電気特性向上が報告されているが[1]、ポリマーフィルムでは適用できない。そこで、高温プロセスが可能である極薄フレキシブルガラス基板上での AZO 膜の低抵抗化と膜厚依存性の改善を目的として、極薄 Al 膜をキャップ層および下地層とした積層効果について検討した。

## 2. 研究内容・方法

AZO 膜および極薄 Al 膜は、RF 重畳 DC マグネトロンスパッタリング法により成膜した。膜厚の異なる AZO 膜は、ターゲットとして ZnO:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.5 wt%) 焼結体を用いて、フレキシブルガラス基板 (Corning, Willow) 上に基板温度 300°C で成膜した。RF と DC 電力は 150 W と 15 W とした。Al キャップ層は成膜時間を 60 s とし室温で成膜した後、真空中 400°C で 30 分間加熱処理した。次にガラス基板 (Corning, EagleXG) に下地層として Al を成膜時間 60 s で成膜し、AZO 膜を積層させた。成膜したサンプルをホール効果測定装置、分光光度計で電気特性、光学特性の評価を行った。更に、Al 下地層の効果を調べるために XRD で構造評価した。

## 3. 結果・成果

### 3.1 Al キャップ層

図 1 にフレキシブル基板上 AZO 膜の抵抗率の膜厚依存性を示す。Al キャップ層無しでは膜厚が薄くなるにつれて抵抗率が急激に増大する。Al キャップ層をして熱処理を行った AZO 膜では、大幅な膜厚依存性の改善が見られたが、50, 100 nm では可視光領域において吸収による透過率の低下という課題が見つかった。

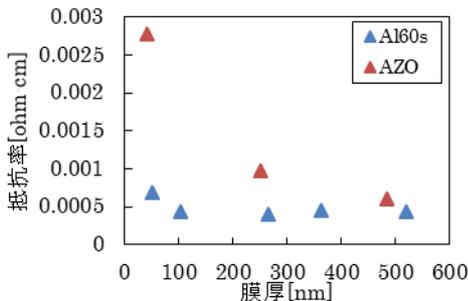


図 1 抵抗率の膜厚依存性

そこで、Al キャップ層の成膜時間を変えて成膜した。図 2 に、抵抗率と平均可視光透過率の Al キャップ層の成膜時間依存性を示す。膜厚 100 nm については、20, 40 s と減らすことで透過率が増加した。しかし、20 s では抵抗率の増加が見られた。膜厚 50 nm について 40 s で電気特性、光学特性の向上が見られたが、比較的電気特性、光学特性が劣るため、もう少し制御が必要である。これらより、AZO の膜厚によって Al

キャップ層の成膜時間を最適化する必要があると分かった。

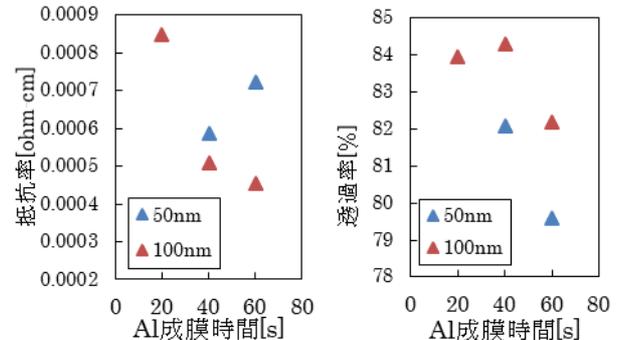


図 2 抵抗率と平均可視光透過率の Al 成膜時間依存性

### 3.2 Al 下地層

図 3 に AZO 膜の抵抗率の膜厚依存性を示す。Al 下地層により、抵抗率は全体的に低下し AZO 膜の大幅な膜厚依存性は改善されたが、膜厚が薄いほど抵抗率が増加する傾向は残った。また、膜厚 50 nm では Al 下地層ありの場合、光の吸収による透過率の低下が見られた。

構造評価を行ったところ、全てのサンプルにおいて 002 と 004 のピークが存在し、c 軸配向膜であると確認できた。X 線回折の 002 の回折強度を図 4 に示す。膜厚が厚くなるほど強度は大きくなった。しかし、両者同じ膜厚で比較すると、Al 下地無しの方が強くなった。これは Al 下地層ありでは c 軸の傾きのばらつきが大きくなり、ピーク強度が弱くなったと考えられる。c 軸配向性が高いほど電気特性が向上する一般的なふるまいと矛盾し、それ以外の効果を考慮する必要がある。

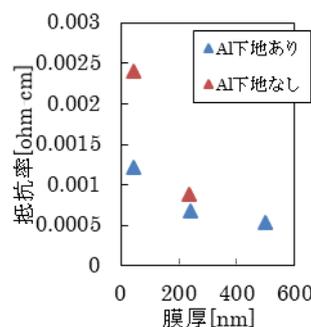


図 3 Al 下地ありなしの抵抗率の膜厚依存性

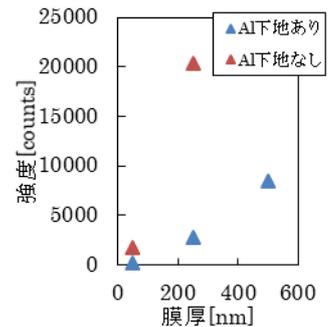


図 4 Al 下地ありなしの X 線回折強度

## 4. まとめ

本研究では極薄 Al 膜を用いた AZO 膜の電気特性の膜厚依存性の改善を目的とした。フレキシブルガラス基板上で Al キャップと熱処理の効果より、膜厚依存性が大幅に改善されるが、AZO の膜厚が薄い時には Al の成膜時間を制御する必要がある。また、Al 下地層は AZO 膜の抵抗率を低下させる効果を示したが膜厚依存性の改善については課題が残った。

### 参考文献

[1] Hoa T. Dao, H. Makino : Solar Energy Materials And Solar Cells, 203(2019)110159