

ZnO 極性が低温成膜 Al 添加 ZnO 薄膜に与える効果

1190049 片岡 隼風 (機能性薄膜工学研究室)
(指導教員 牧野 久雄 教授)

1 研究背景・研究目的

透明電極とは、透明で導電率の高い薄膜のことである。透明電極はスマートホンや液晶ディスプレイに使われており、そのほとんどの材料がインジウムを使った ITO 膜であるが、インジウムは資源の枯渇が問題とされている。そこで、ITO 膜の代替する材料として、酸化亜鉛 ZnO 系透明導電膜が期待されている。一方で、ガラス基板からフレキシブル基板へ、プラスチックなどの樹脂への低温成膜が求められているが、ZnO 膜の課題として、低温で成膜すると電気特性、光学特性ともに低下することが知られている。

ZnO は Zn 極性面と O 極性面の 2 つの極性面を持ち、Zn 極性膜と O 極性膜で電気特性が違うことが報告されている[1]。また、Zn 極性上に 200℃で成膜した GZO 膜は、O 極性上に成膜した場合と比較して移動度、キャリア密度ともに高いことが知られている[1]。

そこで本研究では O 極性と Zn 極性、それぞれの ZnO 上に Al を添加した ZnO 透明導電膜 (AZO) を室温で成膜し、極性が AZO 膜の電気特性に与える効果を検討することを目的とした。

2 実験方法

RF マグネトロンスパッタ装置により結晶性の高い ZnO を 300℃で成膜し、その上に DC マグネトロンスパッタ装置により AZO を膜厚 200nm で室温成膜した。ホール効果測定と分光測定により膜の電気特性、光学特性を評価した。

3 実験結果・考察

3.1 ZnO 膜の極性の制御

電気特性評価において、下地の影響を避けるために、高抵抗な ZnO の成膜を試みた。高抵抗な O 極性 ZnO を成膜するために Ar に対して 0.75% の O₂ を流入して 300℃で成膜した結果、極性が Zn 極性になり、高抵抗な Zn 極性 ZnO ($R_s=10^{11} \Omega/\square$) の試料が得られた。次に、高抵抗な O 極性を成膜するために最初に Ar だけで 10nm 程度の ZnO を成膜し、その上に 0.75% の O₂ を流入して二段階成膜した。その結果、高抵抗な O 極性 ZnO ($R_s=10^{11} \Omega/\square$) を成膜することが出来た。

3.2 AZO に対する極性の効果

極性を制御した ZnO 上に成膜した AZO 膜の電気特性を表 1 に示す。Zn 極性上ではわずかに高い移動度が得られた。しかし、キャリア密度の値は、O 極性上がわずかに大きい。このことから Zn 極性上での抵抗率の減少には移動度の増加が影響している。また光学特性では着色があり、透過率の値は Zn 極性と O 極性で大きな違いは見られなかった。

表 1 高抵抗 ZnO 上 AZO 膜の電気特性

	移動度 [$\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$]	キャリア密度 [$/\text{cm}^3$]	抵抗率 [$\text{ohm}\cdot\text{cm}$]
Zn 極性 ZnO 上	5.21	1.2×10^{20}	0.010
O 極性 ZnO 上	3.47	1.5×10^{20}	0.012

3.3 ポストアニールに対する極性の効果

極性の異なる ZnO 上の AZO を大気中・窒素中で処理温度 100℃～350℃で熱処理を行い電気特性、光学特性を比較した。窒素中では温度を上げていくと Zn 極性、O 極性ともに抵抗率が減少する。大気中では、O 極性は熱処理温度 350℃で抵抗率が減少した。Zn 極性は温度が 350℃の時、抵抗率が一気に

下がる。このとき、窒素中では温度を上げていくと Zn 極性、O 極性ともに緩やかにキャリア密度が増加したが、大気中ではほとんど変化しなかった。このことから抵抗率の減少はホール移動度の増加を反映したものである。

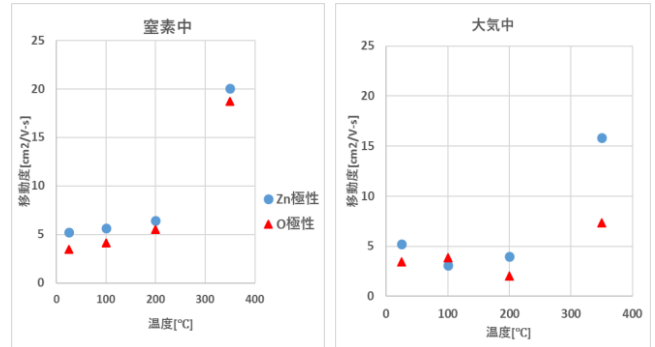


図 1 窒素中・大気中での熱処理後の移動度

図 1 に熱処理後のホール移動度の測定結果を示す。窒素中では Zn 極性、O 極性ともに 350℃まで温度を上げると移動度が大きくなる。大気中では Zn 極性、O 極性ともに 350℃で窒素中と同様に、増加傾向にあるが、350℃で Zn 極性と O 極性に顕著な違いが見られた。窒素中での移動度の値に比べて大気中での移動度の値が小さかったのは大気中の酸素が原因だと考えた。このことから、大気中 350℃で熱処理する時、Zn 極性は酸素の影響をあまり受けず、逆に O 極性は酸素の影響を強く受けてしまうという極性による違いが考えられる。

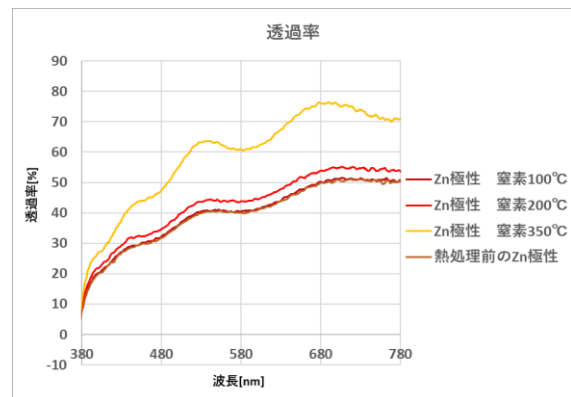


図 2 Zn 極性の窒素中での透過率

図 2 に Zn 極性上 AZO の透過スペクトルを示す。温度を 350℃まで上げると透過率が高くなる。これは、350℃での熱処理による吸収係数の減少による。この振る舞いは移動度の変化と似ているが、窒素中と大気中の違い、O 極性と Zn 極性での違いは特に見られなかった。

4 まとめ

ZnO を成膜時に、O₂ を流入すると極性が O 極性から Zn 極性に変化することを見出した。O₂ 流量を制御した二段階成膜で高抵抗な O 極性 ZnO を実現した。室温成膜では移動度に対する極性による効果はわずかであった。350℃の熱処理において酸素の影響に極性の効果が見られた。

5 参考文献

[1] H, Makino et al. Appl.Surf.Sci.(2018) Vol.457, P.241-246