

多結晶 AZO 透明導電膜のキャリア輸送に対する結晶粒界の影響(2) Influence of grain boundary on carrier transport in polycrystalline transparent conducting Al-doped ZnO thin films (2)

金沢工大 OEDS R&D センター ○宇崎涼介, 宮田俊弘, 南 内嗣

OEDS R&D Center, K I T ○R. Uozaki, T. Miyata, and T. Minami

E-mail : tmiyata@neptune.kanazawa-it.ac.jp

【はじめに】前回, 成膜条件を変化させガラス基板上に作製された Al 添加 ZnO(AZO)透明導電膜の電気的特性と結晶性との関係から, キャリア密度が約 $4 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以上の膜のホール移動度は電子が移動する方向に直交する(0002)方向(膜厚方向)の結晶子サイズに影響され, 金属薄膜の場合と同様な粒界ポテンシャルによる電子の反射を考慮する粒界散乱に主に支配されているとして説明可能であることを報告した. 今回は, AZO 薄膜における電気的特性の温度依存性の検討及びキャリア密度が約 $3 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下において支配的な伝導機構についても検討したので報告する.

【実験方法】AZO 薄膜は, 市販の AZO 焼結体ターゲット(直径 150mm の円形もしくは $127 \times 275 \text{mm}$ の矩形)を使用する 2 台の直流もしくは高周波(13.56MHz)重畳直流マグネトロンスパッタ成膜装置を用いて, ガラス基板(OA-10)上にスパッタガス(純 Ar)圧力を 0.2-12Pa 及び成膜温度(T_s)を室温(RT), 200 もしくは 350°C と変化させて作製された. また, 同じ焼結体を使用してパルスレーザー蒸着(PLD)法を用い $T_s(200^\circ\text{C})$ で AZO 薄膜が作製された. 作製された AZO 膜の厚さは $1 \mu\text{m}$ 一定としている. 膜の電気的特性は Van der Pauw 法を用いて評価された.

【結果と考察】図 1 に c 軸方向の結晶子サイズ(L_c)と Hall 移動度(μ_{Hall})との関係を示す(T_s が RT を ∇ , 200°C を $\circ$, 350°C を $\triangle$, PLD を $\square$ でそれぞれ示す). また, BHD(Brooks-Herring-Dingle)理論に伝導帯の非放物線性を考慮したイオン化不純物散乱($\mu_i^{\text{n-BHD}}$)が支配的である場合における粒界での反射を考慮した粒界散乱による移動度($\mu_{\text{gb}}^{\text{RE}}$)の理論値を点線で示している. 図中の S (空乏層幅×バリアの高さ)は $\mu_{\text{gb}}^{\text{RE}}$ におけるフィッティングパラメータである. L_c が約 25nm 以上では μ_{Hall} と L_c との関係の説明できるが, L_c が約 20nm 以下になると $\mu_{\text{gb}}^{\text{RE}}$ のみでは説明できない. 一方, 図 2 にキャリア密度(n)が異なる膜の μ_{Hall} の温度依存性を示す. 同図より, n が約 $4 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以上になると温度の上昇に伴って移動度が減少する傾向にあり, n が約 $3 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下では温度の上昇に伴って移動度が増加する傾向にある. したがって, n が約 $4 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以上の膜では格子振動による散乱(フォノン散乱), n が約 $3 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下では熱放射による粒界散乱の影響が表れていると考えられる. そこで, 図 2 には縦光学フォノン散乱の移動度(μ_{LO})の温度依存性(青色の実線)及び非放物線性を考慮したイオン化不純物散乱(温度に依存しない)が支配的と考えて計算した移動度, すなわち μ_{LO} と $\mu_i^{\text{n-BHD}}$ の両方を考慮した移動度を橙色の実線で示している. また, n が低い所では熱放射による粒界散乱による移動度($\mu_{\text{gb}}^{\text{TH}}$), すなわち Seto の理論を考慮して計算した(図 1 中の挿入図を参照). 以上の結果から, 粒界散乱は n が約 $3 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下で $\mu_{\text{gb}}^{\text{TH}}$ を, n が約 $4 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以上からは μ_{LO} を考慮する必要があることがわかった.

【まとめ】AZO 透明導電膜における電気伝導機構は, キャリア密度が約 $3 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下では熱放射による粒界散乱を考慮する必要がある, キャリア密度が約 $4 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以上からはイオン化不純物散乱に粒界からの反射による粒界散乱及び縦光学フォノン散乱を考慮することが必要である.

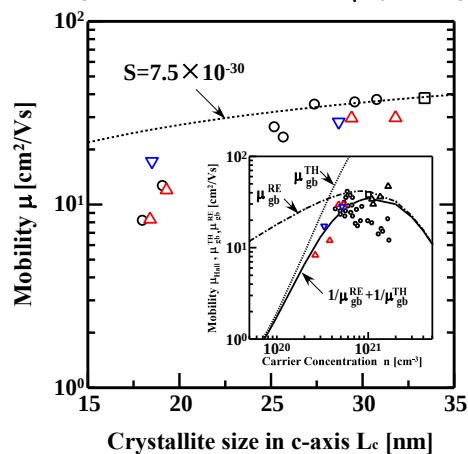


図 1 L_c と μ の関係

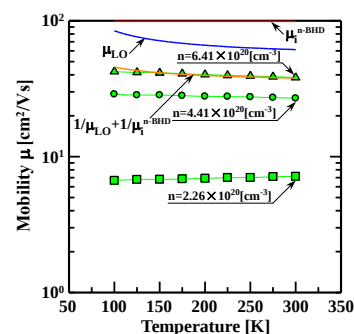


図 2 μ の温度依存性