

縮退した多結晶 AZO 透明導電膜の電気伝導機構 ：不規則粒界からのキャリア散乱

Electric conduction mechanism of degenerated transparent and conductive polycrystalline AZO films: Carrier scattering from disordered grain boundary

金沢工大 OEDS R&D センター °宮田 俊弘, 徳永 浩己, 南 内嗣

OEDS R&D Center, K I T °T. Miyata, H. Tokunaga, and T. Minami

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

【はじめに】縮退した（キャリア密度 (n) が $10^{20} \sim 10^{21} \text{ cm}^{-3}$) 多結晶 ZnO 系透明導電膜の電気伝導機構は、多くの研究報告がなされているにも関わらず十分な解明に至っていない。例えば、同一の n で移動度 (μ) の大きな変化や右肩上がりの μ - n 関係を呈する Al 添加 ZnO (AZO) 薄膜が報告されている (図 1 参照)。このような電気的特性は粒界散乱に起因するが、その詳細が説明されていない。本報告では、多結晶金属薄膜の粒界散乱において不規則粒界の影響を量子論に基づき解析した Munoz らの理論¹⁾ を使って AZO 透明導電膜の電気伝導機構を検討する。

【実験と理論】AZO 透明導電膜はマグネトロンスパッタ成膜 (MSD) やパルスレーザー蒸着 (PLD) 法を用いてガラス基板上に形成された。図 1 は、各種方式の MSD 法及び PLD 法を用いて成膜条件を変化させて作製した AZO 透明導電膜の得られた μ - n 特性の一例を示している。上述のように、このような μ - n 関係は通常の散乱理論を用いて詳細を説明することが困難である。最近、多結晶金属薄膜の粒界散乱に関する Mayadas and Shatzkes (MS) 理論を適用して CdO 系や ZnO 系透明導電膜の電気伝導機構が説明されている。我々は、MS 理論において導入されている n 番目の粒界からの電子の反射係数 R_n を導入しない理論式を用いて、AZO 透明導電膜の μ - n 関係を説明した。しかし、Munoz のグループは多結晶金属薄膜における粒界散乱に関して、MS 理論の問題点を指摘すると共に量子論に基づく粒界散乱の理論を報告している。¹⁾ そこで我々は、Munoz らの理論に基づき粒界の不規則性の影響を考慮した電気伝導率を計算し、 μ - n 関係を検討している。

図 2 は粒内の移動度 μ^{IN} (伝導帯の非放物線性を考慮したイオン化不純物散乱とフォノン散乱が寄与)、MS 理論の移動度 μ^{MS} 、及び Munoz らの理論の移動度 μ^{Munoz} 、並びに Mathiessen's 法則が成立するとして MS 理論で粒界散乱のみの $\mu_{\text{gb}}^{\text{MS}}$ 及び Munoz らの理論で粒界散乱のみの $\mu_{\text{gb}}^{\text{Munoz}}$ の計算値を示している。図 2 から明らかなように、いずれの理論においても右肩上がりの μ - n 関係が得られている。電気伝導においては、粒界の間隔（粒径）が等しい場合の Krönig-Penney 周期ポテンシャル中の電子状態から許容帯を占有する状態（Fermi 球での状態数）が電流を決め、更に電子が N 個の粒界を通過する透過確率 T_N に比例すべきである。 T_N は不規則粒界からの電子散乱によって誘起される弱い Anderson 局在に起因し、Anderson 局在長 L_{loc} が小さいと電子が粒界で激しく反射され、 n が同一でも μ が大きく減少し、図 1 で指摘した μ - n 関係を説明できる。

【まとめ】Munoz らの理論を縮退した多結晶 AZO 透明導電膜のキャリア輸送現象に適用し、 μ - n 関係が粒界の不規則性から生じる電子散乱により説明できることを明らかにした。

1) C. Munoz et al., Appl. Phys. Reviews **4** (2017) 011102. & Appl. Surf. Sci. **329** (2015) 184.

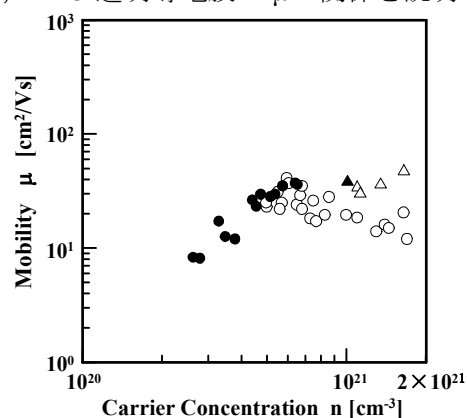


図 1 AZO 膜の得られた μ - n 特性

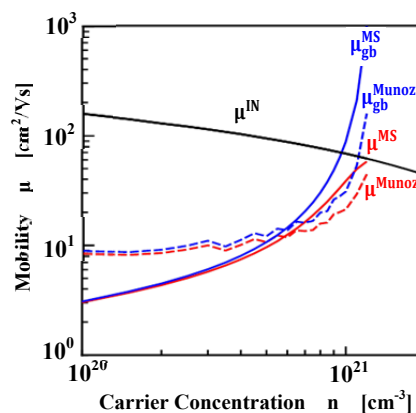


図 2 μ - n 特性の理論計算