不純物添加 ZnO 系透明導電膜のキャリア散乱機構の検討 Study of carrier scattering mechanisms of transparent conducting impurity-doped ZnO thin films. 金沢工大 OEDS R&D センター [°]宮田 俊弘,山中 俊憲,南 内嗣 OEDS R&D Center, K. I. T. [°]T. Miyata, T. Yamanaka and T. Minami E-mail: <u>tmiyata@neptune.kanazawa-it.ac.jp</u>

【はじめに】これまでに我々は、 10^{19} - 10^{21} [cm⁻³] 台のキャリア密度(n)を有する ZnO 系透明導電 膜のキャリア散乱機構は、イオン化不純物散乱と粒界散乱に支配されており、特に n が 10^{21} [cm⁻³] 台の Al 添加 ZnO(AZO)薄膜ではイオン化不純物散乱が支配的であり、伝導帯の非放物線性を考慮した BHD 理論(Brooks-Herring-Dingle theory)を用いて説明できることを報告している.¹⁾しかしながら、作成された AZO 薄膜は n が同程度の場合においても成膜条件や成膜技術によって得られる移動度(μ)が大きく異なる.今回は、その原因をキャリアの散乱機構に注目して詳細に検討したので報告する.

【結果と考察】図1に、これまでにマグネトロ ンスパッタ成膜 (MSD) 法及びパルスレーザー 蒸着 (PLD) 法により作成した AZO 薄膜 (○, △), PLD 法により作成した BZO (◇) 薄膜, 及びアークプラズマ蒸着 (VAPE) 法により作成 した GZO(□) 薄膜において報告されている μ と n の実験値をプロットしている. また, 同図 中には縮退を考慮したイオン化不純物散乱に対 する BHD 理論(µI^{BHD})及び伝導帯の非放物線 性を考慮して算出された BHD 理論の移動度 (μ^{n-BHD})と n との関係がそれぞれ破線と実線で 示されている. PLD 法 (△) により作成した AZO 薄膜の実験結果は、非放物線係数 c を c=5.2×10¹⁷として計算した理論値(ur^{n-BHD})と一 致させることができた.しかしながら、同図の 横軸上に破線で示された n=1.5×10²¹[cm⁻³]付近 に注目すると、キャリア密度が同じであるにもかか

わらず, 異なる μ が得られている. このような μ





の違いは n が同じであることからイオン化不純物散乱では説明できない. 一方, 縮退した半 導体である ZnO 系透明導電膜では,結晶粒界に生じているポテンシャル障壁(Eb)がスクリーニ ングされるため,熱的放出よりむしろトンネリングを考慮する理論から計算された粒界散乱の 移動度 (μ^{tr}_{GB})を考慮すべきである. しかし,この理論値は図中に一点鎖線で示すように実験 値よりかなり低い値となり実験値を説明できない. 一方, n が約 10²¹ [cm⁻³]台の AZO 透明導電 膜における結晶粒界の影響として,金属において考慮されているポテンシャル障壁の存在に よる電子の反射が考えられる. すなわち,金属において観測される μ が多結晶では単結晶よ り低くなる原因として検討されている粒界散乱の理論を用いてポテンシャル障壁からの電子 の反射 R を考慮している.実験値とのフィッティングを得るために,粒径としてグレインサ イズ (L) ではなく結晶子サイズ (D) を採用して D を 10-500[nm]と変化させ, R=0.6 として 計算された移動度 (μ_{t+GB} ^{-BHD+re})を同図に矢印で示す. 同図に示すように,結晶子サイズの変 化を考慮した移動度で実験値を説明できる. しかしながら,反射割合として導入した R=0.6 の物理的意味については今後さらに検討する必要がある.

【まとめ】不純物添加 ZnO 系透明導電膜のキャリア散乱機構は、イオン化不純物散乱と n が 10^{21} [cm⁻³]台の AZO 薄膜において結晶粒界散乱として反射及び結晶子サイズを考慮すること で、異なる μ の実験値の違いを説明でき、膜の結晶性が移動度を決定する要因であることを 明らかにした.

【参考文献】 T. Minami, S. Suzuki, and T. Miyata, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 666, (2001) F1.3.1.