

膜厚 30nm 以下の Ga 添加 ZnO 超薄膜の構造と電気特性効果 Structural and electrical properties of Ga-doped ZnO ultrathin films with thicknesses of below 30 nm

高知工科大総研¹, 住友重機械 (株)², (株) リガク³ °Palani Rajasekaran¹,
北見尚久^{1,2}, 小林信太郎³, 稲葉克彦³, 牧野久雄¹, 山本哲也¹

Kochi Univ. Tech., Res. Inst.¹, Sumitomo Heavy Industries, Ltd.², Rigaku Corp.³,

°Rajasekaran Palani¹, Hisashi Kitami^{1,2}, Shintaro Kobayashi³, Katsuhiko Inaba³,

Hisao Makino¹, Tetsuya Yamamoto¹

E-mail: palani.rajasekaran@kochi-tech.ac.jp

緒言: ウルツ鉱型結晶構造 Ga 添加 ZnO (GZO: Ga₂O₃ 含有量 4 wt.% 以下) 透明導電膜特性 (基板: 無アルカリガラス基板¹, ポリマー基板及び Si wafer²) の膜厚 ($t \geq 30$ nm) 依存性^{1,2} については機械特性²をも含め報告を行ってきた. 課題は膜厚 100nm 以下の特性の設計制御を可能にする成膜技術である. 前回の応用物理学会では $t \leq 30$ nm に焦点を絞って議論を行った³. 本発表では主に $t \leq 30$ nm GZO 薄膜の構造特性と機械特性との相関を議論する.

実験方法: 反応性プラズマ蒸着法 (住友重機械工業 (株) 社製) を用い, 無アルカリガラス基板 (Corning EAGLE XG) 上に基板温度 200 °C 条件下にて GZO (原料: Ga₂O₃ 含有量 4 wt.% (ハクスイテック (株) 社製 SKY-Z) 薄膜を様々な膜厚 ($10 \leq t \leq 200$ nm) において成膜した. base 圧力は 6.25×10^{-5} Pa とした. 成膜室に流す酸素 (O₂) ガス流量 OFR は $5 \leq \text{OFR} \leq 15$ sccm とした. 構造特性は X 線回折法 ((株) リガク社製 SmartLab) を用い, 薄膜評価に有効な Out-of-plane Grazing-Incidence (GI)³ 及び in-plane XRD 法を用いた. 電気及び光学特性評価には, 各々, 室温下での van der Pauw 法による Hall 効果測定 (Nanometrics 社製 HL5500PC) 及び分光光度計 ((株) 日立ハイテクサイエンス社製 HITACHI U4100) を用いた.

結果と考察: 図 1 は薄膜 $10 \leq t \leq 200$ nm GZO 薄膜における格子歪み Strain³ 及び単位胞体積 V ($V = \text{Volume of wurtzite unit cell} = 3(3^{1/2}/2)l_a^2l_c$; l_a 及び l_c は各々 a 軸及び c 軸格子定数) の t 依存性を示す. Out-of-plane GI 及び in-plane XRD 測定による解析より GZO 薄膜は t や OFR に関係なく, ウルツ鉱型多結晶構造であり, 強い c 軸配向性を有する柱状結晶子構造であることが明白となった. 該 2 つの特性は同図より, t に関係なく OFR 増大と共に単位胞体積は減少し, 歪みは増大することが判明した. この挙動は $t \approx 60$ nm 前後で大きく 2 つのグループに分かれた. $t \leq 30$ nm GZO 薄膜では $1 \leq t/L (< 20 \text{ nm}) \leq 2^3$ である. この場合, ウルツ鉱型特有の 2 軸応力性のバランスが効かなくなり, 単位胞体積の大きさの t 依存性が大きくなる. これは残留応力の t 依存性変動となることから薄膜の可撓性 (小さなヤング率) の制御領域となることが特徴となる.

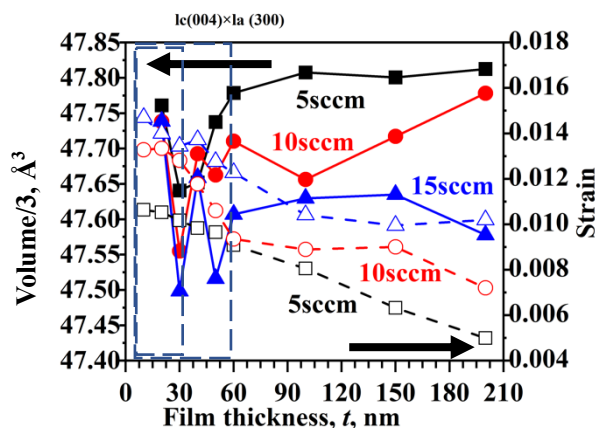


図 1. 体積 vs 歪みの GZO 膜厚依存性

参考文献

- (1) T. Yamada, A. Miyake, S. Kishimoto, H. Makino, N. Yamamoto, T. Yamamoto, Appl. Phys. Lett. **91**, 051915 (2007).
- (2) N. Yamamoto, H. Makino, T. Yamamoto, Adv. Mater. Sci. Eng. doi:10.1155/2011/136127.
- (3) R. Palani, H. Kitami, S. Kobayashi, K. Inaba, H. Makino, T. Yamamoto, JSAP spring meeting (2024), 25a-61A-4.