## 透明導電膜 W 添加 In₂0₃ 薄膜特性へのポストアニール効果

Effects of Postannealing on the Properties of Transparent Conductive W-Doped In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Films/glass substrates

高知工科大総研<sup>1</sup>, 住友重機械(株)<sup>2</sup>, (株) リガク<sup>3</sup> <sup>O</sup>Palani Rajasekaran<sup>1</sup>, 岡田悠悟<sup>2</sup>, 前原誠<sup>2</sup>, 北見尚久<sup>1,2</sup>, 小林信太郎<sup>3</sup>, 稲葉克彦<sup>3</sup>, 牧野久雄<sup>1</sup>, 木下公男<sup>2</sup>, 山本哲也<sup>1</sup> Kochi Univ. Tech., Res. Inst.<sup>1</sup>, Sumitomo Heavy Industries, Ltd.<sup>2</sup>, Rigaku Corp.<sup>3</sup>,

°Palani Rajasekaran<sup>1</sup>, Yugo Okada<sup>2</sup>, Makoto Maehara<sup>2</sup>, Hisashi Kitami<sup>1,2</sup>,

Shintaro Kobayashi<sup>3</sup>, Katsuhiko Inaba<sup>3</sup>, Hisao Makino<sup>1</sup>, Kimio Kinoshita<sup>2</sup>, Tetsuya Yamamoto<sup>1</sup>

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

緒言:これまで無アルカリガラス基板上に基板無加熱条件により得られたアモルファス状態及び 固相結晶化後の多結晶酸化インジウム系薄膜特性を報告してきた<sup>1,2</sup>。ホール効果測定結果の解析 は、前記2つの異なる薄膜構造状態に拘わらず、電気抵抗率は比率=(膜厚(t)/キャリア平均自由 行程)により支配されるサイズ効果を明白とさせた。これは課題「比率の大きさ=1前後で膜構造 状態形成機構が異なる可能性」提案となる。本発表では前記課題解決への進捗を報告する。

実験:反応性プラズマ蒸着法を用い、無アルカリガラス基板 (Corning EAGLE XG) 上に基板無加 熱条件下にて W 添加 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (IWO) (WO<sub>3</sub>: 1 wt. (=0.6 at.%)%) 薄膜を様々な膜厚 (t=5~50 nm) にお いて成膜した。特性向上を目的に成膜後、大気圧条件下、200 ℃ で 30 分間熱処理を行った。電 気特性は室温下で van der Pauw 法による Hall 効果測定 (Nanometrics 社製 HL5500PC) 及び薄膜 構造特性 (アモルファス/多結晶、配向特性など) は X 線回折測定 (リガク社製 SmartLab) を用い、 Out-of-plane (2 $\theta/\theta$ )、Grazing Incidence (GI) Out-of-plane と in-plane XRD 法により評価した。

結果と考察: X 線回折パターン解析により t = 20, 30, 50 nm の IWO 薄膜は as-deposited におい て多結晶化 (弱い (111) 配向) していることが判った。キャリア密度  $n_e (n_e = 1.5 \times -1.8 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3})$ の t 依存性は小さく、 $n_e$  へのアニール効果は小さかった。該 t 依存性やアニール効果はホール移 動度 ( $\mu_{\text{H}}$ ) においても t = 50 nm 以外では同様な結果であった。t = 5, 7, 10 nm の as-deposited IWO 薄膜構造はアモルファス状態であり、薄膜構造へのアニール効果は t 依存性が観察された (図 1)。

図1の in-plane (入射角度= 0.4 degree) X 線回折パターンが示す通り、 t = 10 nm の場合、多結晶化しており、t = 7 nm の場合、多結晶/アモ ルファス状態の混在であった。t = 5 nm の IWO 極薄膜ではアニー ルによる多結晶化効果は XRD では検知されなかった。該3つのIWO 薄膜では、 $t \ge 20 \text{ nm}$  IWO 薄膜とは異なり、アニールにより  $n_e$  の減少が明確に観察された。実際、t = 5, 7 nm IWO 薄膜では  $n_e=1.6 \times \rightarrow 0.5 \times 10^{20} \text{ cm}^3$ , そして t = 10 nm IWO 薄膜では $n_e=2.1 \times \rightarrow 0.8 \times 10^{20} \text{ cm}^3$ であった。この  $n_e$  減少機構は、成膜後において膜 中残留酸素 (O) がアニール中に、真空条件下とは異なり<sup>2</sup>、大気圧 条件下では膜中から離脱せず、膜中拡散に留まり、その結果、ドナ 一点欠陥の酸素空孔を埋めるその現象の促進と現段階では判断して いる。アニールにより格子秩序が形成された t = 10 nm IWO 薄膜で は  $t \ge 20 \text{ nm}$  IWO 薄膜で得られる  $\mu_{\text{H}} - n_e$  関係との比較からキャ リア輸送はサイズ効果に支配されていることが明白となった。

## 参考文献

- (1) Y. Furubayashi, M. Maehara, T. Yamamoto, Nanoscale Res. Lett. 14, 120 (2019).
- (2) Y. Furubayashi, M. Maehara, T. Yamamoto, J. Phys. D: Appl. Phys. 53, 375 103 (2020).

