W 置換 In_2O_3 極薄膜におけるキャリア輸送特性の支配因子

Dominant factors limiting carrier transport of ultra thin W-doped In_2O_3 films

高知工科大総研 [1], 住友重機械 [2] ○古林寛 [1], 前原誠 [2], 酒見俊之 [2], 北見尚久 [1,2], 山本哲也 [1]

Research Inst., Kochi Univ. Tech.[1], Sumitomo Heavy Industries, ltd.[2],

°FURUBAYASHI Y.[1], MAEHARA M.[2], SAKEMI T.[2], KITAMI H.[1,2], and YAMAMOTO T.[1]

E-mail: furubayashi.yutaka@kochi-tech.ac.jp

はじめに：In_2O_3 系薄膜は優れた電気伝導性と高い透明性を有し、透明導電膜として最も用いられている。一方、応用範囲拡大には膜厚 (t) 50 nm 以下の極薄領域における電気・光学特性のデータが必要である。特に In_2O_3 系薄膜の輸送特性[1] の支配因子解明は必須である。本研究では反応性プラズマ蒸着 (RPD) 法により成膜した極薄膜タングステン添加 In_2O_3 (IWO)の輸送特性に対する膜厚や表面／界面粗さの影響をキャリア平均自由行程 (λ_{MFP}) を指標とする古典的サイズ効果の枠組みで考察した。

実験方法：ガラス基板 (Corning EAGLE XG) 上に RPD 法により基板非加熱下にて非晶質 IWO (a-IWO) 膜 (WO_3: 1 wt.%) を成膜した。成膜後、真空雰囲気 (10^{-4} Pa 台) にて 250 °C で 30 分間熱処理を行い、固相結晶化 (vc-IWO 膜) させた。電気特性は van der Pauw 法による室温下 Hall 効果測定 (Nanometrics 社製 HL5500PC) 、表面／界面粗さ特性は X 線反射率測定 (リガク社製 SmartLab) により評価した。

結果：図 1 は結晶化前後における電気抵抗率 (ρ)、キャリア濃度 (n_e) 及び Hall 移動度 (μ_H) の t 依存性である。本研究では高 μ_H (t = 5 nm で約 60 $cm^2/(Vs)$, t = 30 nm で約 100 $cm^2/(Vs)$) が実現した。n_e の t 依存性は結晶化前後で大きく変化しており、結晶化後は t 依存性が抑止された。μ_H は結晶化に伴い各 t とも増加したが、結晶化前後共に t の増大と共に単調に増大することが判った。キャリアの散乱緩和時間 τ_f は Matthiessen の法則を近似として扱うと $\tau_f^{-1} = \tau_B^{-1} + \tau_{sur}^{-1} + \tau_{if}^{-1}$ (τ_B: バルク, τ_{sur}: 表面, τ_{if}: 界面での各緩和時間) の様に表される。結晶化前後での界面粗さは各 t とも殆ど相違がないことが判ったため、以下の議論では $\tau_f^{-1} = \tau_B^{-1} + \tau_{sur}^{-1}$ とする。キャリアが表面で鏡面/散漫散乱を受けていると仮定し、その割合を p (p=1 は鏡面散乱) とすると、薄膜のキャリア移動度μ_f は $\mu_f = \mu_B \times (1+(1-p)/\gamma)$ と表せる。ここで $\gamma = t/\lambda_{MFP}$ である。図 2 に結晶化前後における p の t 依存性を整理した。表面粗さは結晶化の有無に拘わらず、t の増大と共に減少する傾向があり、それと共に鏡面散乱の割合が増大する傾向となることが判った。いずれの膜も t = 20 nm 前後で t 依存性が変化し、$t \leq$ 20 nm ではサイズ効果の顕在化が確認された。a-IWO は結晶化によって最密充填の (111) 面配向を伴うことが XRD 結果のの解析から判明している。以上の結果及び考察から、極薄膜でも高い μ_H (t = 5 nm で約 60 $cm^2/(Vs)$) の実現を促した支配因子は、前記配向と共に、表面における鏡面散乱の割合の増加という二点と結論する。

参考文献：[1] Y. Furubayashi et al., Nanoscale Res. Lett. **14**, 120 (2019).

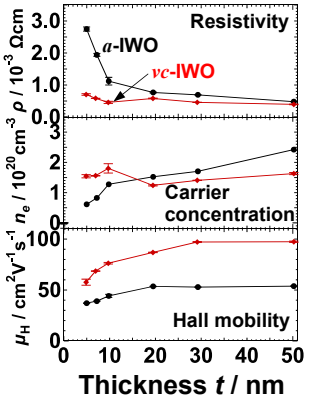

図 1: 室温下電気輸送特性の膜厚 t 依存性

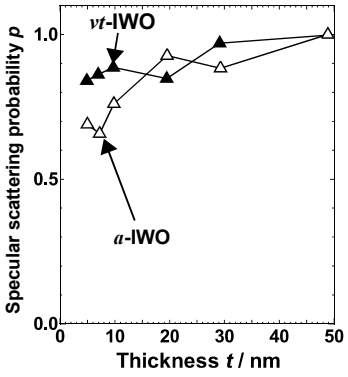

図 2: 鏡面散乱確率 p の膜厚 t 依存性

© 2020年 応用物理学会