固相結晶化酸化インジウム薄膜の電気特性制御と高移動度薄膜トランジスタ応用

Electrical properties of solid phase crystallized In_2O_3 for high-mobility thin-film transistors

1245108 片岡 大樹
Taiki Kataoka

【背景・実験内容】次世代ディスプレイへの応用を目指して ~10 $cm^2V^{-1}s^{-1}$ の電界効果移動度(μ_{FE}), 低リーク電流、室温成膜可能という特徴を持つ In-Ga-Zn-O 薄膜トランジスタ(TFT)が研究されている[1]。近年、更なる μ_{FE} 向上を目指した研究が行われている中で、我々は多結晶酸化物半導体に着目した。なかでも酸化インジウム(In_2O_3)は単結晶で～160 $cm^2V^{-1}s^{-1}$ に近い Hall 移動度(μ_{Hall})が報告されており[2]、多結晶 In_2O_3 は高移動度 TFT 材料として有望である。また、Koida らによる透明導電膜に関する研究[3]では、In_2O_3 成膜時に Ar+O_2+H_2O を導入することで H をドーパントとして用いた非晶質薄膜をポストアニール(200℃)にて固相結晶化させることにより、μ_{Hall} =130 $cm^2V^{-1}s^{-1}$ を有する poly-In_2O_3:H 薄膜の作製が報告されている。しかしながら、これら poly-In_2O_3:H 薄膜は 10^{20} cm^{-3} を超えるキャリア濃度(N_e)であり、縮退状態を示した。TFT 動作のためにはチャネル活性層の N_e を 10^{18} cm^{-3} 以下に制御し、非縮退状態を実現する必要がある。そこで我々は、スパッタ法を用いて Ar +O_2+H_2 雰囲気下で InO_x および InO_x:H 薄膜(膜厚 50 nm)を酸素流量比 R(O_2) = 4 %, 水素流量比 R(H_2) = 0, 5 %の条件で成膜し、微小角 X 線回折法(GI-XRD)や走査型電子顕微鏡(SEM), ホール効果測定等を用いて、結晶性や電気特性の違いを調査した。また、ゲート/ゲート絶縁膜/チャネル層/電極に Si / SiO_2 / InO_x:H / Au を用いて TFT への応用を試みた。

【結果・考察】図 1 に(a) H_2 未導入 InO_x 膜および H_2 導入 InO_x:H 膜のアニール温度ごとの GI-XRD 測定結果を、窒素雰囲気下 250℃熱処理後の(b)InO_x 及び(c)InO_x:H 膜の SEM 像を示す。図 1 (a)より InO_x 膜では未熱処理時(as-depo.)で(222)優先配向を持つ多結晶性を示し、成膜中に結晶化が起こっていることが確認できた。一方、InO_x:H 膜では as depo.で結晶ピークは観察されず、H_2 導入により成膜中の結晶化が抑制され、非晶質膜が形成されたと考えられる。また、InO_x:H 膜は 250℃アニール処理後に結晶化ピークがみられ、固相結晶化が確認できた。更に図 1 (b), (c)より InO_x:H 膜は InO_x 膜よりも大きい粒径を持つことが SEM 像において判明した。その際、N_2雰囲気下 250℃熱処理後の InO_x:H 膜は μ_{Hall} = 75.3 $cm^2V^{-1}s^{-1}$ を示し、同条件の InO_x 膜(46.0 $cm^2V^{-1}s^{-1}$)と比較して大幅な μ_{Hall} の向上が確認できたため、粒径拡大は移動度向上の一因と考えられた。次に、図 2 に InO_x および InO_x:H 膜の(a)処理別のキャリア濃度及び(b)TFT 伝達特性を示す。図 2 (a)より N_2-250℃熱処理後ではいずれの膜の N_e ~$10^{20}$$cm^{-3}$ であり、縮退状態(金属的伝導)を示した。一方で、Air-250℃熱処理後の InO_x 膜は N_e = 2.8×10^{19} cm^{-3} であったが、同処理の InO_x:H 膜では R(H_2) = 1 %の時に 1.2×10^{18} cm^{-3} に N_e が減少し、R(H_2)の増加に応じて更に N_e の減少(2.4×10^{18} cm^{-3})がみられ、InO_x:H 膜が非縮退状態(半導体的伝導)に転移していることを明らかにした。その結果を裏付けるように InO_x-TFT ではスイッチング特性を示さず、InO_x:H-TFT では明確なスイッチング特性を示した。この結果は金属から半導体への遷移に伴い、InO_x:H 層ではゲート電界の侵入深さが著しく増大し、厚さ 50nm の InO_x:H 層はゲート電界により完全に空乏化できたことを示している。その時、最大値として μ_{FE} = 125.6 $cm^2V^{-1}s^{-1}$ を記録し、高 μ_{FE} TFT としての道を拓くことに成功した。

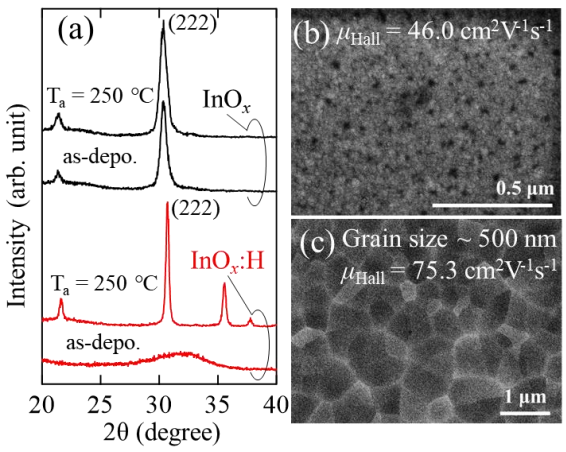

図 1 (a)アニール温度ごとの GI-XRD 測定結果
T_a=250℃の(b)InO_x 及び(c)InO_x:H 膜の SEM 像

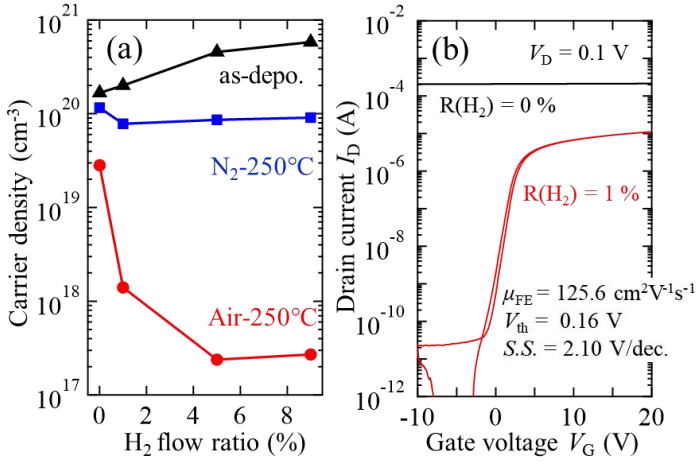

図 2 InO_x 膜および InO_x:H 膜の
(a)処理別のキャリア濃度及び(b)TFT 伝達特性

参考文献 1) K. Nomura et. al., Nature 432, 488 (2004).
2) R. L. Weiher, J. Appl. Phys. 33, 2834 (1962).
3) T. Koida et. al., Jpn. J. Appl. Phys. 46, L685 (2007).