

変調アドミタンス法を用いたアモルファス酸化物半導体 InGaZnO₄ 薄膜の欠陥評価

－界面準位の深さ及び捕獲断面積の温度依存性－

日大生産工（院） ○前田督快 日大生産工 清水耕作

双葉電子工業(株) 小原有司 白神嵩生 高山克己

1. まえがき

非晶質酸化物半導体 InGaZnO₄ は透明な半導体であり、室温で作製しても $\sim 2[\text{cm}^2/\text{Vs}]$ 程度の電界効果移動度を持つ。また Asdepo の状態でトランジスタとして動作することから低コストで作製でき、さまざまな分野において応用が期待されている。

デバイスの特性、信頼性を決める一つのパラメータとして界面は重要である。デバイスとして動作させるためには界面の状態を明らかにすることには意義がある。そこで、本研究では TFT(薄膜トランジスタ)を作製し MIS 界面近傍の準位が TFT 特性に及ぼす影響について評価を行った。

2. 実験方法および測定方法

2.1 素子構造

Figure1 に TFT(薄膜トランジスタ)の素子構造を示す。RF マグネトロスパッタリング法を用いてチャネル層にアモルファス酸化物半導体 InGaZnO₄(a-InGaZnO₄) 薄膜を約 30nm 堆積し、ボトムゲート型の構造とした。製膜条件は投入電力 100[W]、製膜ガス圧 6[Pa]、ターゲット基板間距離 35[mm]、ガスには 5.0%O₂/Ar を使用した。ソース、ドレイン電極には Cr を使用しギャップ幅 0.03[mm]、ギャップ長 10[mm]とした。また、温度特性評価及びアニール処理は大気雰囲気中で行い、アニール時間は 20 分間とし 200℃(50℃間隔)までとした。

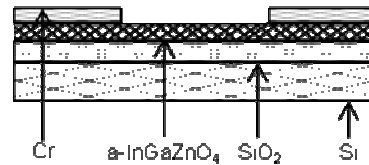


Figure1. Cross-section is indicative of an element.

2.2 TFT 特性

2.2.1 電流電圧特性

トランジスタ特性は界面準位、酸化膜中の固定電荷、ゲート電極との仕事関数差により電流電圧特性に影響を与える。TFT は MOSFET とは異なり蓄積状態で動作し、ゲート電圧でチャネル領域のキャリアの密度を変化させて電流を制御する。伝達特性の測定はゲート電圧を-10V から 10V と変化させ、ソース電圧を 1V 一定とした。また出力特性はドレイン電圧を-5V から 10V と変化させ、ゲート電圧を一定(0V から 10V ステップ 2V)として評価を行った。トランジスタ特性より移動度、サブスレッショルドスイング、しきい値を評価した。移動度、しきい値は線形あるいは飽和の条件が満たされていれば、次式を用いることにより求めることができる。

$$I_d = \frac{W}{2L} \mu \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{d} (V_g - V_T)^2 \quad (1)$$

ただし I_d : ドレイン電流[A]、 W : ギャップ幅[μm]、 L : ギャップ長[μm]、 μ : 移動度[cm^2/Vs]、 ϵ_0 : 真空の誘電率[F/cm]、 ϵ_r : 比誘電率、 d : 膜厚[nm]、

Defect Characterization of Amorphous Oxide Semiconductors InGaZnO₄

by Modulated Admittance Method

- Deep Interface States and Capture Cross-section of Temperature Dependence -

Tokuyoshi MAEDA, Kousaku SHIMIZU, Yuji OHARA, Takao SHIRAKAMI, Katsumi TAKAYAMA

V_g :ゲート電圧[V]、 V_T :しきい値電圧[V]である。
またサブスレッショルドスイングは、伝達特性のオフ領域からオン領域へと遷移するしきい値領域下において、対数グラフの傾きが最大のところで、ドレイン電流が1桁分増加するために必要なゲート電圧の増分である。

$$S = \ln(10) \frac{\partial V_{gs}}{\partial \{\ln(I_{ds})\}} \quad (2)$$

2.2.2 温度特性

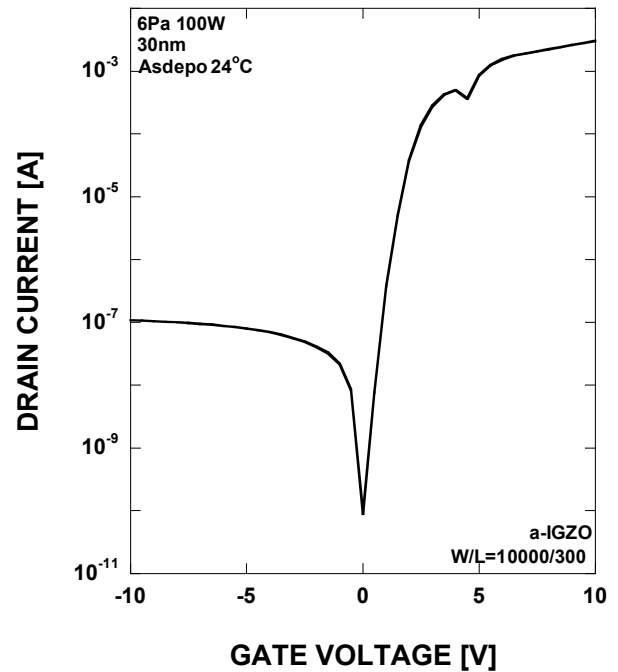
TFT の動作はさまざまな要因で温度が影響を与え、TFT のトランジスタ特性は複雑な温度特性を示す。価電子帯の状態密度、伝導帯の状態密度及び真性キャリア密度が温度依存性を示す。これは、電界効果やドーパントのドーピングによる影響が少ないときや、かなり高温のときに顕著となる。また移動度も温度依存性を持つ。そこで TFT の温度特性として、それぞれの温度に対する電流電圧特性と活性化エネルギーの算出を行い評価した。ここで活性化エネルギーとは、温度依存性を次式と適合させたときの E_a で温度依存性の要因の指標となる。

$$J = A \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right) \quad (3)$$

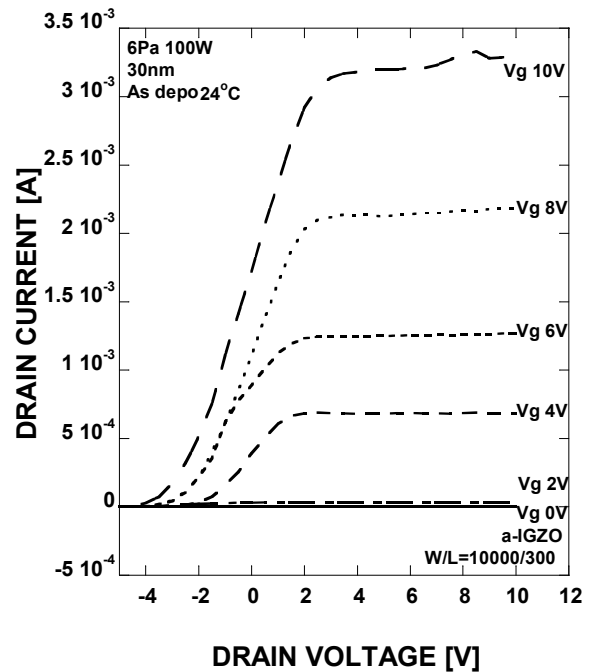
ただし A は比例定数、 E_a は活性化エネルギー[eV]、 k はボルツマン定数[eV/K]、 T は絶対温度[K]である。

3. 実験結果および検討

Figure2 にトランジスタの伝達特性、出力特性を示す。基本的なトランジスタの特性が得られ、トランジスタとなっていることを確認した。しかし出力特性では、立ち上がりが-4V 付近であった。これは MOSFET とは異なり TFT 特有のチャネル層のみでトランジスタを形成していることに起因している。ソース、ドレイン電極に n^+ 層を形成しオーミック接触になる素子構造にすることで改善できると考えられる。今回作製したトランジスタの移動度、サブスレッショルド



(1)



(2)

Figure2.(1)Transfer characteristic and (2) saturation characteristic of n-channel amorphous InGaZnO₄ thin-film transistor.

スイング、しきい値はそれぞれ、 $0.68[\text{cm}^2/\text{Vs}]$ 、 $270[\text{mV/decade}]$ 、 $0.33[\text{V}]$ であった。Figure3に温度特性によるトランジスタ特性を示す。温度を変化させることで傾き、しきい値がほとんど変化していないように見えるがサブスレッショルドの傾きを詳細に検討するため、ゲート電圧を0Vから5Vの範囲で拡大し、その伝達特性をFigure4に示す。ゲート電圧1V付近において凹みが見られる。これは界面に存在する準位が影響を及ぼしている可能性がある。そこで1Vにおける各温度に対する電流密度を用いて(3)式を適用してアレニウスプロットを取った。その結果をFigure5に示す。このアレニウスプロットの傾きより算出した活性化エネルギーは、およそ $323[\text{meV}]$ であった。この結果を変調アドミタンス法で求めた界面準位の深さと比較すると値が異なり変調アドミタンス法で算出した準位を反映しているかどうかは確認できなかった。しかし不安定なTFT特性を確認し、界面の状態が影響を及ぼしていることを確認した。

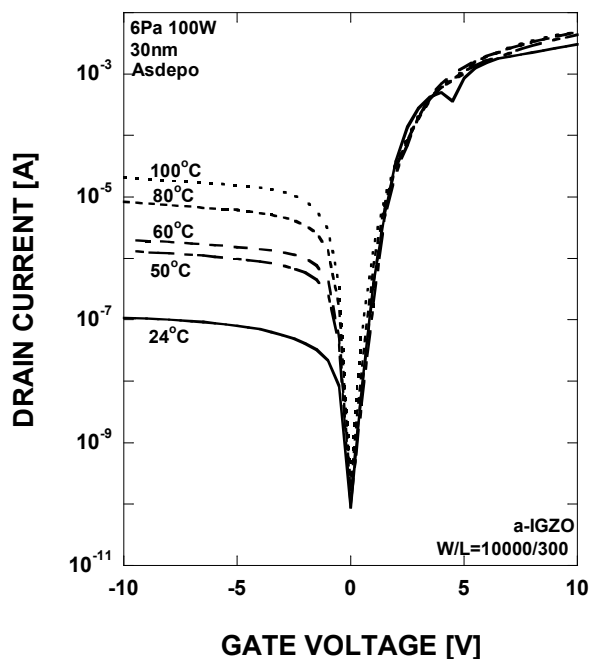


Figure3. Transfer characteristic of n-channel amorphous InGaZnO₄ thin-film transistor under various temperature conditions.

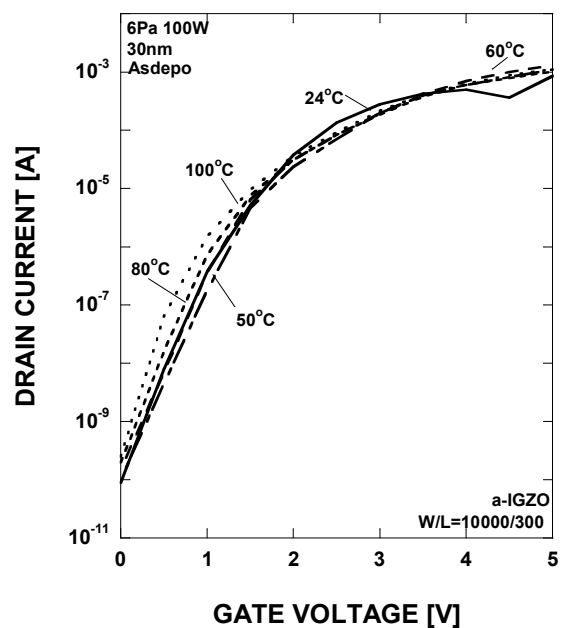


Figure4. Transfer characteristic of n-channel amorphous InGaZnO₄ thin-film transistor under various temperature conditions , 0V-5V.

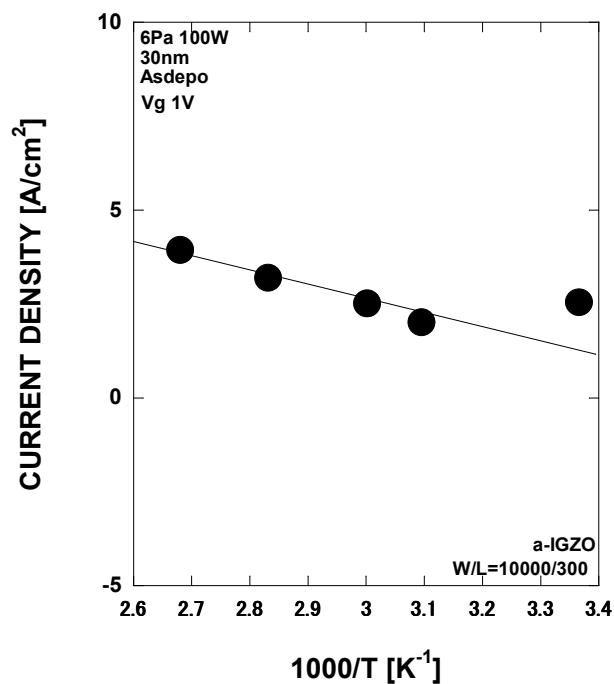


Figure5. Arrhenius plots of current density versus reciprocal temperature.

4. まとめ

Asdepo の状態においてもトランジスタ特性が得られ、室温の状態でも TFT として動作することを確認した。作製条件は同等でも、トランジスタ特性に界面の状態を反映する場合、しない場合が存在した。この違いが何に起因しているのか現段階ではわかっていない。変調アドミタンス法で求めた捕獲断面積も小さく、これら両方の特性に対して詳細に界面の状態を検討する必要がある。

当日は、アニール処理をしたサンプルの界面準位の TFT 特性への影響について評価した結果も示し、界面とトランジスタとの関係性を詳細に示す。

今後はトップゲート型のトランジスタを作製し界面準位の TFT 特性への影響をボトムゲート型の特性と比較検討する。また、パッシベーションとしてチャネル層の上に Ta_2O_5 を堆積しトランジスタ特性を評価する。

5. 「参考文献」

- 1) 前田, 清水 変調アドミタンス法を用いたアモルファス酸化物半導体 In-Ga-Zn-O_4 の欠陥評価, 第 71 回応用物理学会学術講演会 (2010), 16p-ZB-8.
- 2) 薄膜材料デバイス研究会編, 「薄膜トランジスタ」, コロナ社, (2008), pp13-16, pp41-53.
- 3) 前田, 清水 アモルファス InGaZnO_4 薄膜のギャップ内準位の評価, 日本大学生産工学部第 42 回学術講演会電気電子部会講演概要集 (2009), PP121-124