

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 TFT 特性への影響-

日大生産工（院）○刀根 仁、前田 督快

日大生産工 清水 耕作

双葉電子（株） 小原 有司、白神 嵩生、高山 克己

1.はじめに

現在、液晶表示装置、プラズマパネル、蛍光表示版や太陽電池基板の面積は1[m²]を超える。現在主流である水素化アモルファスシリコン(a-Si:H)は低温では十分な移動度(<1cm²/vs)が得られず、また移動度~1cm²/vsを得るためには250[°C]以上で製膜しなければならないため、廉価なプラスチック基板上に製膜することは困難である。そこで、室温で薄膜作製ができ、十分な性能を持ったアモルファス酸化物半導体に注目し、そのギャップ内の準位について評価を行った結果を報告する。

これまでの研究では、PLD（パルスレーザー堆積法）で堆積させた a-InGaZnO₄ を CPM（光電流一定）法を用いて禁制帯中の準位について評価し、バンドギャップ内の 1.7[eV], 2.4[eV]の深い位置に準位が存在することを明らかにした。また 2.4[eV]の準位は、材料に固有であることを報告してきた¹⁾ (Fig1)。

デバイスを高性能化するためには、伝導体側の準位の情報、また界面の状態を明らかにすることが極めて重要である。

本研究では、変調アドミタンス法を用い n 型アモルファス酸化物半導体 a-InGaZnO₄ の伝導帯側のギャップ内準位を明らかにすることを目的とする。

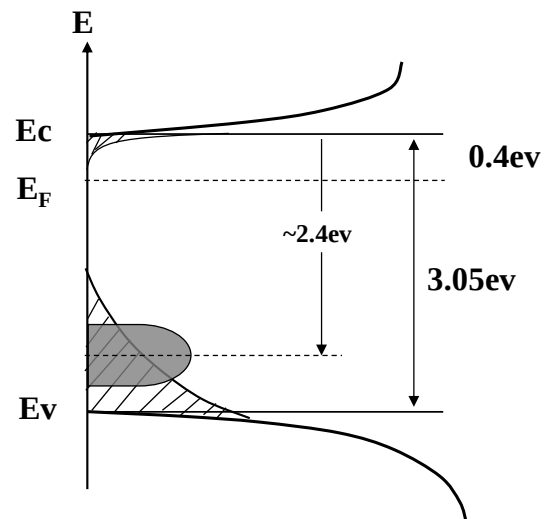


Fig 1 Schematic illustration of band profile of a-IGZO

Evaluation of Defect for Thin-Film Amorphous Oxide Semiconductor
with Method of Modulation Admittance
-Influence of Interface Level on TFT Characteristics-

Hitoshi TONE, Tokuyoshi MAEDA,
Yuji OHARA, Takao SHIRAGA, Katsumi TAKAYAMA, and Kousaku SHIMIZU

2.実験方法

・素子構造

Rf マグネトロンスパッタリング法により、製膜ガス圧 6[Pa]、投入電力 100[W]、製膜ガス Ar+O₂5%、ターゲット-基板間距離 35[mm]としてチャンネル層に a-IGZO 薄膜を約 30[nm]堆積させ、MOS ダイオードの構造とした。アニール温度は、大気圧下で、50、100、150、200[°C]、20 分間の熱処理を行った。また、温度依存性については、ヒーターを用いて室温、50、60、70、80、90、100[°C]で測定を行った。

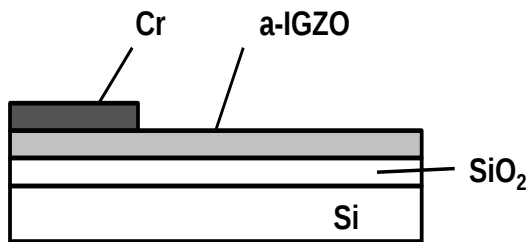


Fig.2 Cross sectional view of MOS Structure

・高周波 C-V 法

MOS ダイオードに、直流電圧に交流電圧を加えた電圧を印加し、容量を測定する。交流電圧に高周波を加え、蓄積状態、空乏状態、反転状態が負からバイアスをかけた時の状態のヒステリシスを評価する。

・変調アドミタンス法

コンダクタンスの周波数依存性、電圧依存性から界面準位密度を評価する方法で、界面準位に捕獲されるキャリアが一定の充放電時定数を持っていることを利用して半導体と界面準位の間の放出を信号として得る。MOS ダイオードの交流に対する等価回路を Fig.3 に示す。

C_oは酸化膜容量、C_sは半導体の空乏層容量、G_pは界面準位におけるコンダクタンス、C_pは界面準位における容量である。この界面準位の充放電に基づくアドミタンスシグナル Y_pは、

$$Y_p = G_p + j\omega C_p \quad (1)$$

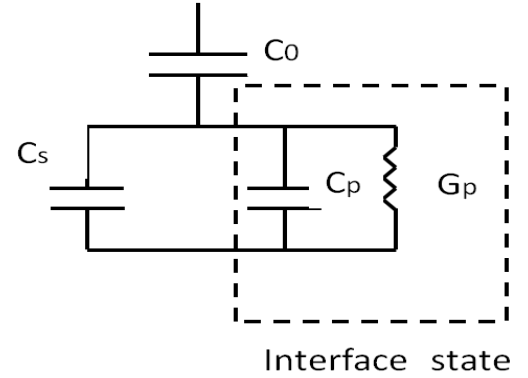


Fig.3 Equivalent circuit

と表わすことができる。このアドミタンス Y_pを周波数変調すると、

$$Y_{ss} = j\omega \left(\frac{q^2}{kT} \right) \int \frac{N_{ss} f_0 (1 - f_0) d\phi}{(1 + j\omega f_0 / c_n n_{so})} \quad (2)$$

と書くことができる。ただし、q:電荷素量、k:ボルツマン定数、T:温度、N_{ss}:界面準位密度、f₀:フェルミ関数、C_n:電子捕獲率、n_{so}:キャリア密度である。

また下の(3)、(4)式を(2)式に代入すると、

$$f_0 (1 - f_0) = \frac{kT}{q} \cdot \frac{df_0}{d\phi} \quad (3)$$

$$\tau = \frac{1}{c_n n_{so}} \quad (4)$$

アドミタンスシグナルは簡単に、

$$Y_{ss} = \frac{qN_{ss}}{2\tau} \ln(1 + \omega^2 \tau^2) + j\omega \frac{qN_{ss}}{\tau} \tan^{-1}(\omega\tau) \quad (5)$$

とすることができる。ただし、q:電荷素量、τ:電子の熱放出緩和時間、ω:角周波数、N_{ss}:界面準位密度である。変調アドミタンス法は周波数を与えることで界面準位を上下させ、共鳴が起こることを利用している。共鳴が起こる場合(4)式はコンダクタンス成分: G_pのみとなる。このとき、右辺をωτの関数とすると、アドミタンスシグナルは

$$\frac{G_p}{\omega} = \frac{qN_{ss}}{2\omega\tau} \ln(1 + \omega^2 \tau^2) \quad (6)$$

と表わすことができ、またアドミタンスシグナルはω・τ=1.98でピークを持つ。従って、周波数に対するアドミタンスシグナルより界面準

位密度の算出を行う。

次に界面準位の深さ、捕獲断面積の算出を行う。これは、アドミタンスシグナルが最大値を示す時の周波数より、電子の放出速度を求める。電子の放出速度は次式で表され、

$$e_n = A^* \cdot \frac{2}{q} \cdot T^2 \sigma_n \exp\left[-\frac{E_c - E_d}{kT}\right] \quad (7)$$

と表わされ、両辺に対数をとると、

$$\ln\left(\frac{e_n}{T^2}\right) = \frac{E_c - E_d}{k} \cdot \frac{1}{T} + \ln\left(A^* \cdot \frac{2}{q} \cdot \sigma_n\right) \quad (8)$$

となる。ただし、 e_n :電子の放出速度、 A^* :リチャードソン定数、 q :電荷素量、 T :温度、 k :ボルツマン定数、 σ_n :キャリア捕獲断面積、 $E_c - E_d$:界面準位の深さである。この(8)式より電子の放出率に対するアレニウスプロットをとり、界面準位の深さ、キャリアの捕獲断面積を求めた。

3.結果および考察

Fig.4 に変調アドミタンス法を用いて行った評価の結果を示す。

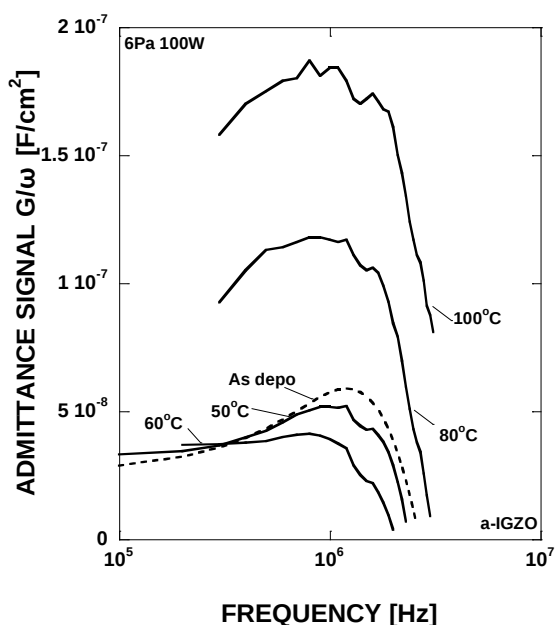


Fig.4 Frequency-Admittance Signal

横軸に周波数、縦軸にアドミタンスシグナルをとった。

昇温させることでアドミタンスシグナルが大きく上下に変化している。ヒーター温度が50-60[°C]の時には変化は見られなかったが、80-100[°C]の時にシグナルが上昇した。この原因は、捕獲断面積の増加に起因していると考えられる。

Fig.5 に Fig.4 から算出した温度に対する界面準位密度を示した。

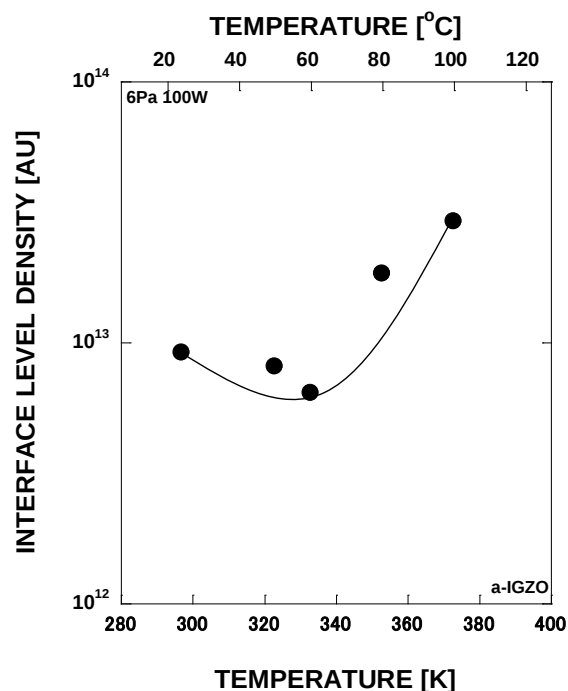


Fig.5 Temperatures-Interface level density

Asdepo (アニール処理する前の成膜直後の膜の状態)の素子を昇温することで界面の状態が変化した。アニール処理をしていないにもかかわらず界面準位密度が変化したということは温度評価をした際に、アニールされている可能性がある。

Fig.6 にアドミタンスシグナルを用いたアレニウスプロットを示す。

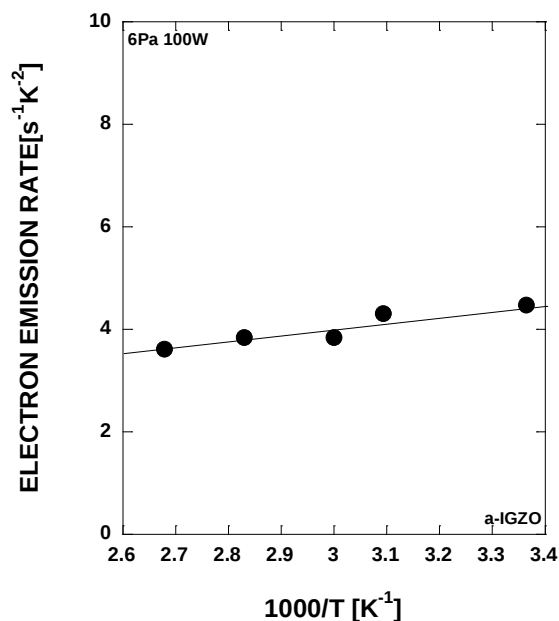


Fig.6 Arrhenius plots of emission rate versus reciprocal temperature

アレニウスから界面準位の深さ、キャリアの捕獲断面積を算出した。それぞれ 100[meV]、 $2.27 \times 10^{-21} [\text{cm}^2]$ であった。

4.まとめ

変調アドミタンス法を用いて、Rf マグネトロンスパッタリングによって堆積させた a-IGZO 薄膜の禁制帯中の伝導帯側のギャップ内準位とその温度依存性について確認した。

その結果、100[meV]付近に界面準位が存在していることを確認した(Fig.7 図中矢印)。しかしながら、界面準位の温度依存性については、界面準位が不安定に変化したため、依存性については確認できなかったため、アニール処理をした素子と比較することで明らかにしなければならない。

また、界面準位密度に大きな変化が見られたのは、酸化物半導体特有の酸素欠損によりコンダクションバンド側に準位を形成している可能性がある。

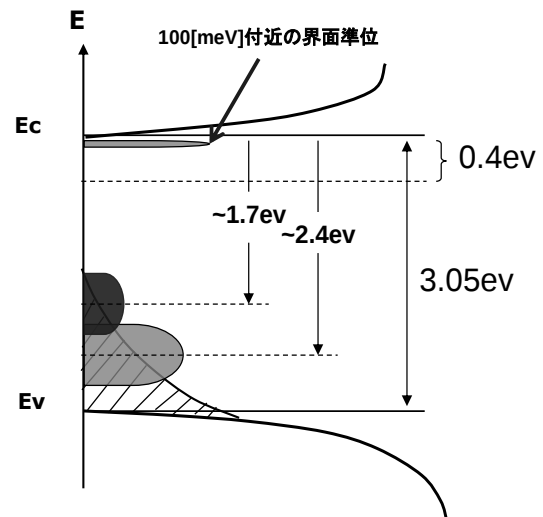


Fig.7 Schematic illustration of sub gap band profile of a-IGZO

今後は、変調アドミタンス法で電圧依存性について検討をし、キャリアに対する動的な性質について評価する、また、金属電極材料を変え温度特性についての検討をおこなう。

参考文献

- 1) 前田 清水 アモルファス InGaZnO₄ 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
- 2) 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-O₄ 薄膜の欠陥評価 第71回応用物理学会学術講演会(2010)、16pZB-8
- 3) S.M.Sze, SEMICONDUCTOR DEVICES Physics and Technology
- 4) T. Takumi, Illustrated Solid State Electronics Devices
- 5) 薄膜材料デバイス研究会「薄膜トランジスタ」コロナ社