

非晶質 InGaZnO₄ 薄膜トランジスタの不安定性とギャップ内準位の評価

日大生産工 (院) ○永井 将司
日大生産工 清水耕作

1 まえがき

酸化物半導体は大面積に製膜でき、低温作製でも高移動度を示す優れた特性を持つ。なかでも非晶質 InGaZnO₄ 薄膜トランジスタ(a-IGZO TFT)は高精細ディスプレイの駆動素子として注目されている。しかしa-IGZO TFTは光照射下負バイアス印加状態(NBIS:Negative Bias Illumination Stress)にさらされると、閾値電圧 V_t が不安定性を示す問題がある。この特性不安定性機構解明は、デバイス信頼性向上を果たすうえで重要である。

本報告では光電流一定法、変調アドミタンス法を用いて非晶質 InGaZnO₄ のギャップ内準位の評価を行った以下の結果について報告する。光照射は膜全体に及ぶ構造の変化を引き起こしており、NBISでは、浅い準位にも影響を与えることがわかった。NBISによる V_t シフトは、 $\sim 1.5\text{eV}$ の準位の形成に深い関与があることが考えられる。

2 実験方法および測定方法

2-1 試料作製

図1に素子構造、表1に a-IGZO 製膜条件を示す。

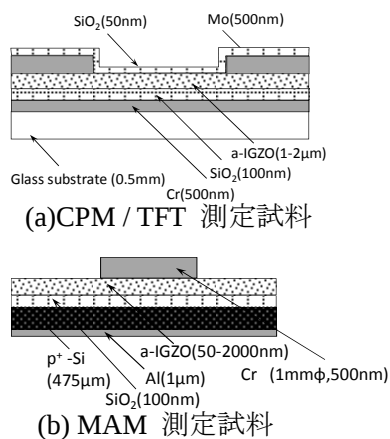


図1 試料構造

表1 a-InGaZnO₄ 製膜条件

条件	値
Ar流量[sccm]	100
O ₂ 流量[sccm]	1.8
製膜ガス圧[Pa]	0.5
基板温度[°C]	27
投入電力[W]	200

試料作製後のアニール処理は空气中、350°Cで1時間おこなった。NBIS による特性変化を検討するため、負バイアスストレス(NBS:Negative Bias Stress)として-20V、20分間、また光照射ストレス(IS:Illumination Stress)として白色光・単色光、NBISではNBS+ISのストレス条件を1時間与え、各ストレス条件前後の特性変化について検討をおこなった。

2-2 光電流一定法

光電流一定法(CPM)では、試料に照射した単色光の光子エネルギーと各光子エネルギーに対する試料の光吸収係数の関係から、材料固有のエネルギー状態の評価を行う。光照射した際の光電流値は(1)式で示される。

$$I_{ph} = qN(E)(1-R)\{1 - \exp(-\alpha(E)d)\}\mu\tau\eta E \dots (1)$$

但し I_{ph} :光電流、 q :電荷素量、 $N(E)$:光子束、 $(1-R)$ 、 $\alpha(E)$:光吸収係数、 d :膜厚、 μ :移動度、 τ :キャリア寿命、 η :量子効率、 E :外部電界を示す。

(1)式に対して、光電流を一定に保つことでキャリア寿命を一定にして光吸収スペクトル(CPM スペクトル)を求める。ギャップ内準位は光学スペクトルと光学測定では測定が難しい領域の CPM スペクトルを連続的に繋ぎ合わせることでギャップ内の準位を観測する。CPM 測定では特に、スペクトルは、伝導帯側及び価電子帯側の結合された準位を評価していることになっているが、他の評価[2]とを考察すると主として価電子帯側の準位を評価していることがわかっている。

2-3 変調アドミタンス法

変調アドミタンス法では、試料に対して交流信号を印加した際に生じる界面準位から伝導帯への電子の放出捕獲信号を、MIS 界面における空乏層容量と損失成分を等価並列回路に置き換えた際の周波数分散特性から得られる結果に置き換えて、界面準位の評価を行う。広い周波数範囲から損失成分に対応するコンダクタンス G を測定して、等価コンダクタンス G/ω (アドミタンスシグナル) を計算し、周波数特性のピーク位置を求める ($\omega\tau=1.98$ となる位置でピークを示す)。この結果を利用し(2)式から界面準位密度を求める。

$$\frac{G}{\omega} = \frac{qD_{it}}{2\omega\tau} \ln(1 + \omega^2\tau^2) \dots (2)$$

但し q : 電荷素量, D_{it} : 界面準位密度, τ : 時定数を示す。またアドミタンスシグナル温度依存性からアレニウスプロットを求め、界面準位深さの評価を行う。MAM 測定では特に、伝導帯側の準位を評価している。

3 実験結果および検討

3-1 伝達特性

図2にa-IGZOTFT NBIS前後の伝達特性を示す。

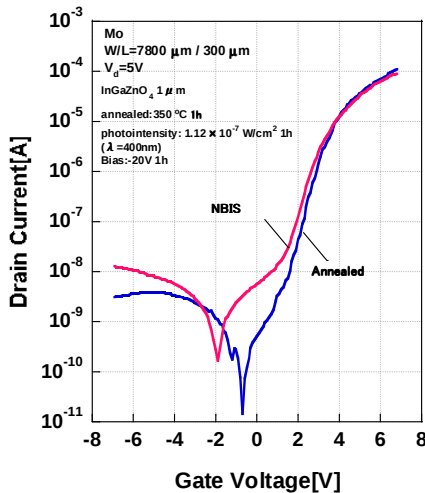


図 2 NBIS 前後の伝達特性

NBS、IS のみのストレス条件を与えた場合、24 時間後の伝達特性は、ストレス条件前の特性までほぼ完全に回復した。NBIS 直後の伝達特性は V_t が -10V を示した。同一の素子を 24 時間後に測定すると、 V_t は NBIS 前の伝達特性へ近づくようにシフトし、 ΔV_t は -0.1V ~ -0.2V であった。IS、NBS 及び NBIS それぞれ 24 時間後の試料状態に対する a-IGZO ギャップ内準位の変化を評価した。

3-2 光電流一定法評価結果

図 3 に透過 CPM スペクトルを示す。それぞれ製膜直後、アニール処理後、IS 後及びアニール処理 (IS 後) 後の CPM スペクトルである。伝導帯下 1.5eV、2.4eV に特徴的な準位を観測することができる。特に製膜直後は両準位ともに高い状態にある。これを 350°C で 1 時間 (空気中) 熱処理をすると吸収スペクトルは低下する。その後白色光

(3.1mW/cm²) を照射するとまた吸収スペクトルは上昇するが、主として 1.5eV の準位の上昇が顕著となる。再びアニール (350°C、1 時間、空気中) するとこのスペクトルは光照射前の状態に戻ることがわかった。つまり、光照射に伴って DOS が変化していることがわかり、またこの DOS の変

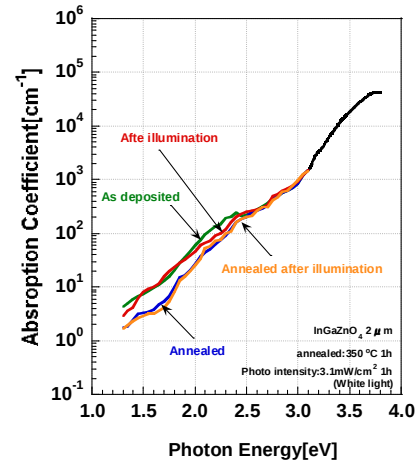
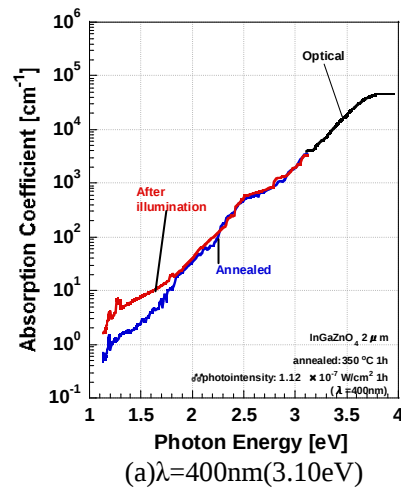
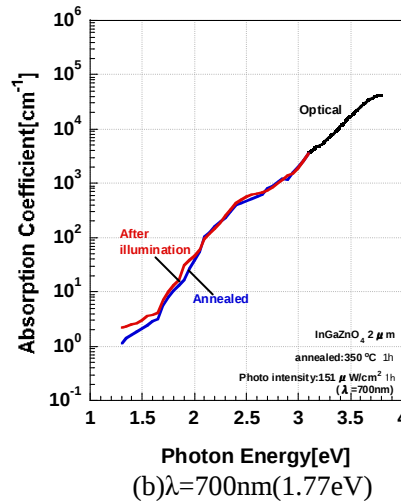


図 3 ストレス条件前後の透過 CPM 測定結果

(350°C 1 時間、白色光 3.1mW/cm² 1 時間)



(a) $\lambda=400\text{nm}$ (3.10eV)



(b) $\lambda=700\text{nm}$ (1.77eV)

化は膜全体に及ぶ構造の変化を意味していることが理解される。この変化がストレス印加とアニール処理によって変化する。すなわち劣化及び回復現象がみられることがわかった。

図 4 に透過 CPM スペクトルの光照射波長依存性を示す。それぞれ (a) $\lambda=400\text{nm}(3.10\text{eV})$ 、(b) $\lambda=700\text{nm}(1.77\text{eV})$ 、(c) $\lambda=800\text{nm}(1.55\text{eV})$ の単色光を試料に照射した。

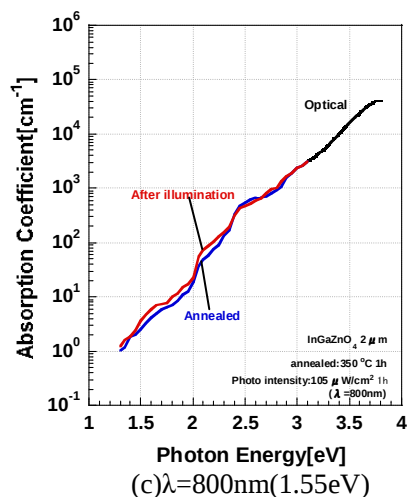


図 4 ストレス条件前後の透過 CPM 測定結果波長依存性

(a)からバンドギャップ以上のエネルギーを持つ単色光を試料に照射することで $\sim 1.5\text{eV}$ のサブギャップ吸収が増加しているのがわかる。光照射直後の TFT 伝達特性はわずかに変化を示した。バンドギャップに相当するエネルギーの光照射により大量の電子正孔対を生成し、構造変化が起きているのがわかった。これに対し図 4(b)及び(c)から、 $\sim 1.5\text{eV}$ に相当する単色光を試料に照射しても、構

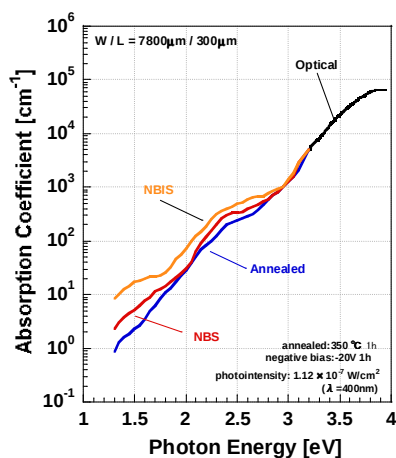


図 5 NBS 及び NBIS 前後の反射 CPM 測定結果

(350°C、白色光 $3.1\text{mW}/\text{cm}^2$ 、 -20V)

造変化は起こっていないことがわかる。浅い準位で光吸収をしても DOS 構造には殆ど変化がないことがわかった。

図 5 に反射 CPM スペクトルを示す。それぞれアニール処理後、NBS 後及び NBIS 後の CPM スペクトルである。

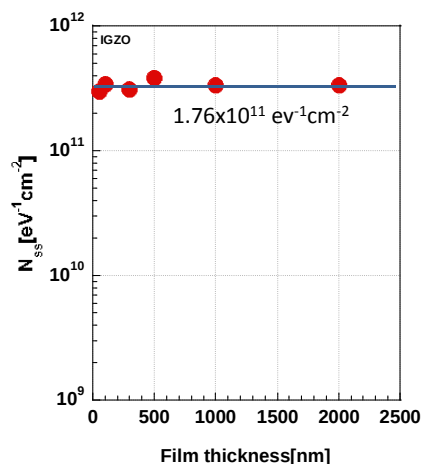
図 5 より NBS を与えた場合、 $\sim 2.4\text{eV}$ 、 $\sim 1.5\text{eV}$ のサブギャップ吸収が増加しているのがわかる。NBS 直後の TFT 伝達特性はわずかに変化を示した。また NBIS を与えた場合、 $\sim 2.4\text{eV}$ 、 $\sim 1.5\text{eV}$ のサブギャップ吸収は NBS よりも大きく増加し、TFT 伝達特性は図 2 のような変化を示した。

TFT 伝達特性は IS、NBS の場合約 24 時間後に回復したが、CPM 測定ではギャップ光以上の IS、NBS では構造変化が示されている。

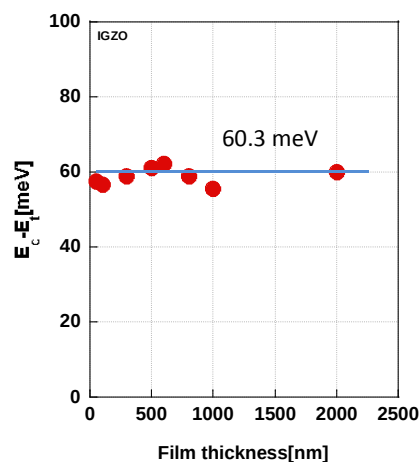
次に伝導帯下の準位について IS、NBS 及び NBIS で MIS 界面の状態を MAM 測定で評価した。

3-3 変調アドミタンス法評価結果

図 6(a)に界面準位密度、(b)に界面準位深さの a-IGZO 膜厚依存性を示す。



(a) 界面準位密度



(b) 界面準位深さ

図 6 MAM 測定 a-IGZO 膜厚依存性

表 2 各ストレス条件に対する MAM 測定結果

	熱処理	IS	NBS	NBIS
界面準位密度 [$\text{cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$]	1.76×10^{11}	2.20×10^{11}	1.69×10^{11}	7.76×10^{11}
界面準位深さ [meV]	60.3 ± 0.3	62.0 ± 0.2	59.6 ± 0.3	60.1 ± 0.3

表 3 各ストレス条件に対する a-IGZO の特性変化

	TFT	サブギャップ吸収	MIS界面
IS	No change	Increase ($h\nu > E_g$)	A little change
NBS	No change	increase	No change
NBIS	V_t shift $-0.1 \sim -0.2 \text{ V}$	large increase 5~10	large increase ~4.85

図 6(a)及び(b)より MAM 測定では、膜厚方向の欠陥に対して界面準位密度、界面準位深さが依存せず、接合界面の情報を評価できているのがわかる。表 2 に各ストレス条件に対する界面準位密度、界面準位深さの測定結果を示す。各ストレス条件に対する界面準位深さの変化は誤差範囲であり、ほとんど変化を示さなかった。しかし NBIS を与えると、ストレス条件前よりも 4~5 倍ほど界面準位密度が増加するのが分かった。

表 3 にストレス条件を与えた場合の a-IGZO ギャップ内準位各評価結果の傾向を示す。

MIS 界面における浅い準位の変化は、伝達特性と伝導帯側の界面準位との相関が取れており、ほぼ同様の傾向が得られた。サブギャップ吸収は異なった傾向となった。IS 及び NBS による価電子帯側の構造変化は伝達特性に影響を及ぼしていなかった。

これらの評価結果から NBIS による V_t シフトを下記のように考察した。

- ① 光照射で伝導帯下~1.5eV の準位が増加。
- ② 伝導帯へ励起された電子が~1.5eV の準位でトラップされる。
- ③ 直接再結合が減少することで、過剰となったホールのキャリア寿命が増加。
- ④ 負バイアス印加でゲート電極下のゲート絶縁膜にホールが引き込まれる。

以上①~④の過程で V_t シフトが誘発される。

4 まとめ

NBIS による a-IGZO TFT の V_t シフトの検討をおこなった。作製した a-IGZO TFT では NBIS により $\Delta V_t = -0.2 \text{ V}$ のシフトを観測し、この変化を価電子帯側の準位評価に CPM 測定、伝導帯側の準位評価に MAM 測定を用いて、a-IGZO ギャップ内準位から評価した。

CPM 評価: バンドギャップ以上のエネルギーの光照射で浅い準位(~1.5eV)のスペクトルが増加するのがわかった。このスペクトルは、空气中 350℃の熱処理で低減された。NBS の

みでは~1.5、~2.4eV の準位が増加、NBIS で 2 つの特徴的な準位がさらに増加した。

MAM 評価: NBIS を与えると界面準位密度は 4~5 倍増加するものの、界面準位深さはほとんど変わらない。IS 及び NBS は接合界面にほとんど影響を与えていない。MIS 界面評価結果は TFT 特性との相関がとれた。

NBIS による V_t シフトは、薄膜内の構造変化がおこった状態での負バイアス印加による、ホールのキャリア寿命増加から誘発されると理解した。

「参考文献」

- 1) Kenji Nomura, Hiromichi Ohta, Akihiro Takagi, Toshio Kamiya, Masahiro Hirano, Hideo Hosono, Nature 432, 488-492, 2004
- 2) 北村啓, 小林浩二, 刀根仁, 2011, 第 8 回薄膜デバイス研究会
- 3) 前田督快, 2009, 第 70 回秋季応用物理学会講演会