

原子状水素化処理、酸素プラズマ処理による酸化物半導体のギャップ内準位の変化

日大生産工（院） ○鈴木 貴祐

日大生産工 清水 耕作

1. まえがき

省電力化・高精細化を求め、非晶質酸化物半導体が注目されている。しかし酸化物TFTは、NBIS に対しては伝達特性が負バイアスシフトする不安定が問題となっている。先行研究においてアニール時の素子状態によって揮発性成分の抜け方に差が生じ、これが TFT の信頼性に影響を与えることが分かっている [2][3]。

RF マグネトロンスパッタリング法を用いて TFT 素子を作製し、揮発性成分が信頼性に与える影響について検討する。そしてバックチャネル側の界面からの酸素プラズマ処理、原子状水素化処理のプロセス変化における TFT 特性・RCPM 特性変化の検討をする。

2. 実験方法および測定方法

2-1 実験方法

測定に用いた TFT 素子断面構造を図 1 に示す。Cr/a-SiO₂/a-ITZO/Cr と順に成膜する。原子状水素化処理及び酸素プラズマ処理は、保護膜成膜前に行うプロセスと保護膜成膜後に行うプロセスの 2 通り行った。その後、それぞれ a-SiO₂ を 20 nm 堆積させアニール処理を行った。最後に伝達特性評価と RCPM 評価を行い、特性変化の検討を行った。

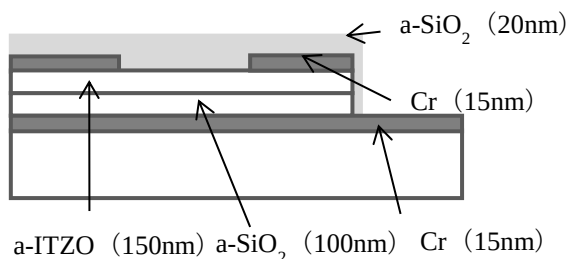


図 1 TFT 素子構造概念図

2-2 原子状水素供給

図 2 は原子状水素供給の概念図である。原子状水素供給の条件を表 1 に示す。

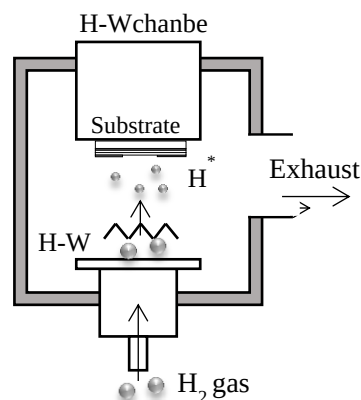


図 2 原子状水素供給

表 1 原子状水素供給 条件

Gas flow rate [sccm]	Ar	14.5
	H ₂	0.07
Hydrogen Ar base [%]		0.5
Growth Pressure [Pa]		10
substrate distance [mm]		20
Substrate Temperature [°C]		28
Duration time [sec]		20
Hot-Wire Temperature [°C]		800

2-3 酸素プラズマ処理

図3は酸素プラズマ処理の概念図である。また酸素プラズマ処理の条件を表2に示す。

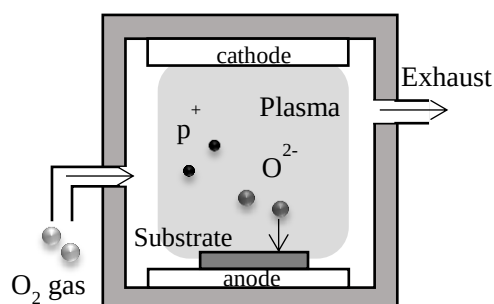


図3 酸素プラズマ処理概念図

表2 酸素プラズマ処理の条件

O₂ flow rate [sccm]	20
Power [W]	30
Growth Pressure [Pa]	1.0
Growth time [min]	15, 20, 30

2-4 反射型光電流一定法(RCPM 法)

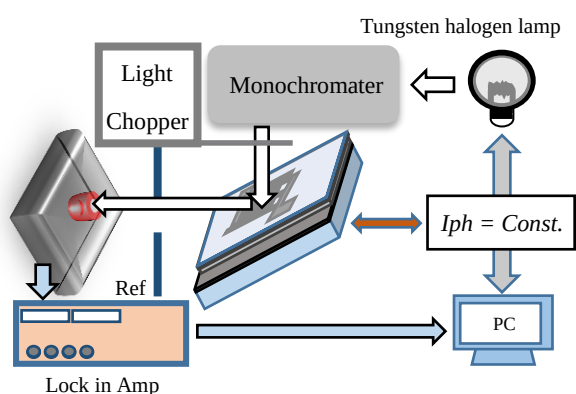


図4 反射 CPM 法

光電流一定法（CPM：Constant Photocurrent Method）では、入射光エネルギーと試料の光吸収係数の関係よりギャップ内の準位を評価する。図4は反射CPM法の原理図である。タングステンハロゲンランプからの白色光をモノクロメータに通し、試料に照射する。入射光のエネルギーに対応した二つの準位間で光吸収が起こる。この電流に対し外部電界を印加し、光電流が一定になるように入射光量を調整する。

光電流は以下の式で表すことができる。

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

(1)式をテイラー展開で表した一次近似式で以下のように表すことができる。

$$I_{ph} = qN(E)(1-R)\alpha d\eta\mu\tau E \quad \cdots(2)$$

このとき光電流を一定にすることにより、フェルミ準位の位置に影響されやすいキャリア寿命も一定保つことができる。

$$\alpha = \frac{\text{Const.}}{N(E)} \quad \cdots(3)$$

光エネルギーによって変化する光子束を求め、このときの光吸収係数を表す。CPM 測定の結果から、横軸を光エネルギー、縦軸を光吸収係数とし、ギャップ内準位を評価する。

フォトン束[1/s /cm²]は(4)式で表すことができる。

$$N(E) = \frac{P}{h\nu} \quad \cdots(4)$$

ここに、P:単色光の入光強度、 $h\nu$:入射光のエネルギー[eV]である。

3. 実験結果

3-1 原子状水素化処理

図5は、保護膜成膜前に原子状水素化処理を行った時のRCPM特性である。350℃、1時間 でアニール(実線)を基準に原子状水素化処理を行ったものと比較すると原子状水素化処理では、1.5 eV 付近の光吸収係数が減少した。よって、1.5 eV のギャップ内準位が減少していることが分かる。

図6は、保護膜成膜後に原子状水素化処理を行った時のRCPM特性である。350℃、1時間でアニール(実線)を基準に原子状水素化処理を行ったものと比較すると、1.5 eV 付近の光吸収係数が減少した。これは、バルク中の酸素に水素が付きキャリア密度を制御できるようになり、またO-Hが形成されることにより、安定化したことが推測される。

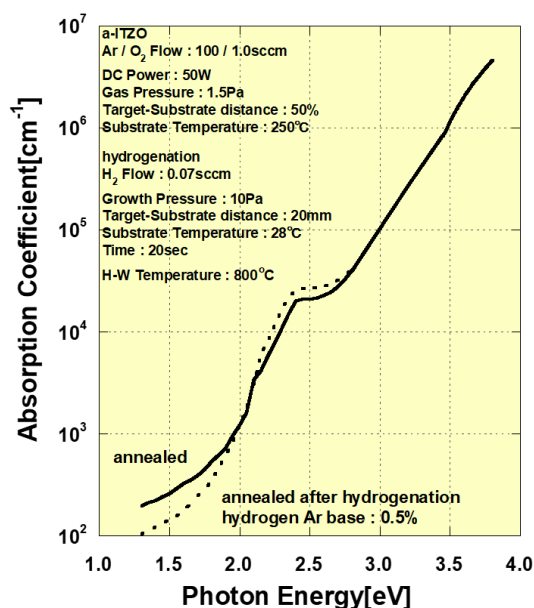


図 5 保護膜成膜前 原子状水素化処理

RCPM 特性

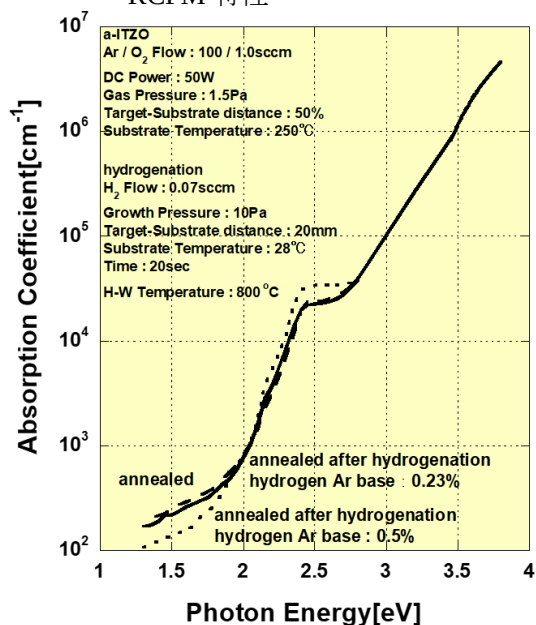


図 6 保護膜成膜後 原子状水素化処理

RCPM 特性

3-2 酸素プラズマ処理

図 7 は、保護膜成膜前にバックチャネル側の界面から酸素プラズマ処理 30 W, 30 秒を行った際の伝達特性である。実線は、350℃, 1 時間でアニールのみを行ったものである。酸素プラズマ処理を行ったグラフと比較すると、OFF 側は 4.0×10^{-8} [A] から 5.0×10^{-9} [A] になりリ

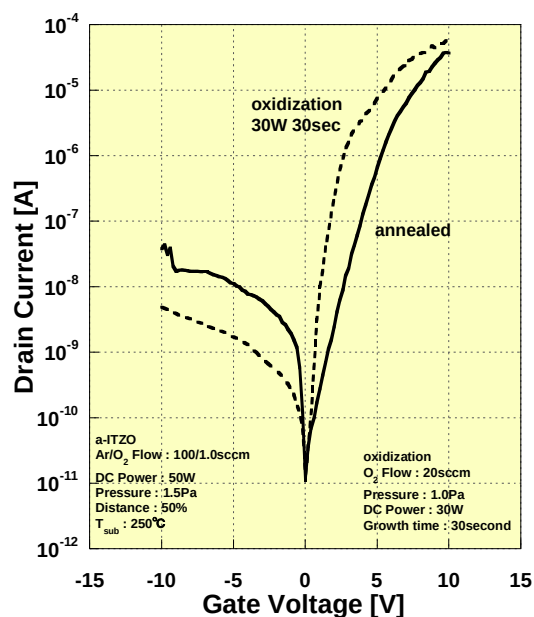


図 7 保護膜成膜前 酸素プラズマ処理

30W 30sec 伝達特性

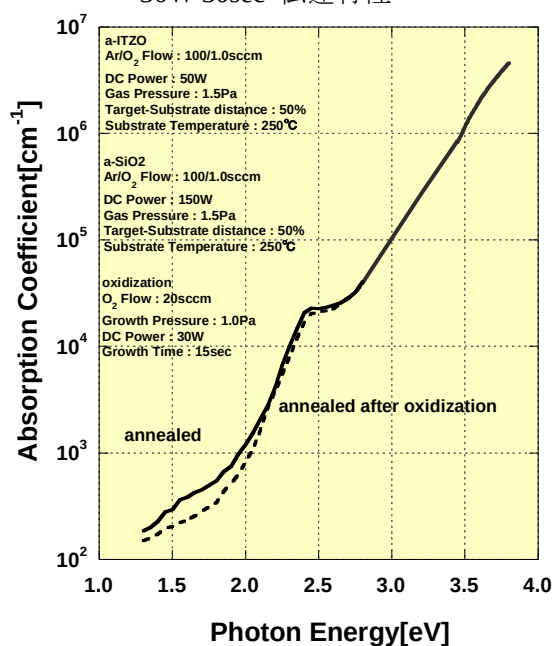


図 8 保護膜成膜前 酸素プラズマ処理 30

W 15 sec RCPM 特性

ーク電流を一桁抑えることが確認できた。ON 側は、2 V 付近の電流変化による傾きが大きくなったことが確認できたため、酸素プラズマ処理を行うと TFT の性能向上が見られた。これは、酸素がバックチャネル側の界面の空孔に補填され、バックチャネル側のリーク電流が抑制されたことがわかる。

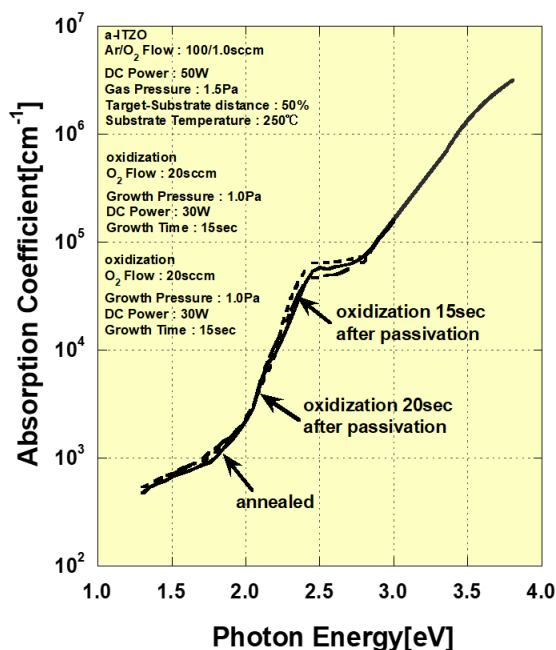


図9 保護膜成膜後 酸素プラズマ処理 30 W 15 sec, 20 sec RCPM 特性

図8は、保護膜成膜前にバックチャネル側の界面から酸素プラズマ処理 30 W, 15 秒を行った際の CPM 評価である。また、先行研究[1]で、伝達特性の負バイアスシフトとバンドギャップの 1.5 eV の欠陥に相関性があることがわかっている。350℃, 1 時間 でアニール(実線)を基準に酸素プラズマ処理を行ったものと比較すると酸素プラズマ処理 15 秒では、1.5 eV 付近の光吸収係数が減少した。よって、1.5 eV のギャップ内準位が減少していることが分かる。酸素プラズマ処理を行った場合、バルク中の未結合手が酸素イオンによって終端され、そのためバンドギャップ内の欠陥準位が大きく減少したと考えられる。

図9は、保護膜成膜後にバックチャネル側の界面から酸素プラズマ処理 30 W, 15 秒、20 秒を行った際の CPM 評価を示す。1.5 eV 付近の光吸収係数が増加した。よって、保護膜成膜後に酸素プラズマ処理を行うと酸素は、侵入しにくくなることがわかった。

5. まとめ

本研究では、揮発性成分が信頼性に与える影響について検証した。RF マグネトロンスパッタリング法を用いて TFT 素子を作製し、バックチャネル側の界面からの原子状水素化処理及び酸素プラズマ処理のプロセス変化における TFT 伝達特性の変化およびギャップ内準位の検討を行った。

図5, 図6の結果より、原子状水素化処理を行うと、保護膜成膜前後において 1.5 eV のギャップ内準位は減少することが分かった。よって、保護膜の有無にかかわらず、原子状水素化処理は有効に行われ、適切に膜中に水素を供給することはできることが分かった。

酸素プラズマ処理を行うと、OFF 電流が下がり、ON 電流が上がったことから、TFT の性能向上が見られた。図8の結果から、保護膜成膜前に酸素プラズマ処理を行うと 1.5 eV のギャップ内準位が減少し、バルク中まで酸素が入っていることが分かった。しかし、図9の結果から保護膜成膜後に酸素プラズマ処理を行うと 1.5 eV のギャップ内準位が増加し、バルク中まで酸素が十分に侵入しないことがわかった。よって、保護膜成膜後の酸素プラズマ処理では、有効に膜中に供給するのは困難であることが分かった。以上の結果から、保護膜成膜前に酸素プラズマ処理を行うことが重要であることが確認できた。

今後は、バックチャネル側の界面からの酸素プラズマ処理及び原子状水素化処理を行い伝達特性および信頼性の評価を行う。また、原子状酸素処理を行い、その効果をプラズマ処理の場合と比較する。

参考文献

- [1]永井 将司 非晶質酸化物半導体 InGaZnO₄, CuAlO₂ の CMOS 化に関する研究
- [2]王 野 InGaZnO₄ 及び CuAlO₂ 薄膜アニール特性と組成比についての検討(2014)
- [3]小田倉 卓也 逆スタガード型酸化物 TFT のバックチャネルが NBIS 信頼性に与える影響 (2018)