

最先端・次世代研究開発支援プログラム  
事後評価書

研究課題名	高速省電力フレキシブル情報端末を実現する酸化物半導体の低温成長と構造制御法の確立
研究機関・部局・職名	東京工業大学・応用セラミックス研究所・教授
氏名	神谷 利夫

## 【研究目的】

現在の携帯情報端末には薄型小型高精細ディスプレイが使われているが、将来的にはフレキシブルディスプレイ・電子ペーパーが主流になると期待されている。一方で超大型／3D／次世代ハイビジョンテレビの開発も進み、近い将来には仮想現実を利用したインタラクティブ情報端末が一般的になると考えられている。

今までこれらの情報端末ディスプレイの画素制御に用いられてきた a-Si:H, poly-Si といったシリコン半導体では、プラスチック基板が使える低温で十分な特性のデバイスを作ることが難しい。そのため、有機半導体デバイスの研究も進められているが、これらの移動度は  $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  よりはるかに低い。有機 EL ディスプレイや、液晶ディスプレイであっても 80 インチを超える大画面で四倍速 (240 Hz) の高フレームレートのディスプレイでは  $3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  を超える移動度が必要になるが、有機半導体や a-Si:H では必要な移動度が得られず、これら次世代ディスプレイを駆動することができない。また、フレキシブル情報端末には制御回路、演算回路やメモリーなどを集積化することが望まれ、そのためには  $50 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  以上の TFT 移動度が必要と考えられている。

これらの要求を満たす新しい半導体材料として、アモルファス酸化物半導体が期待されている。a-Si や有機 TFT と比較し、半分以下の電圧で動作すること、チャネル伝導度が高いこと、オフ電流が低くディスプレイのリフレッシュレートを下げられることから、TFT バックプレーンの消費電力を低減し、超低消費電力ディスプレイを実現できると期待される。一方で、アモルファス酸化物半導体の代表である a-IGZO の電子移動度が  $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  程度であること、n 型半導体しかないこと、 $300^\circ\text{C}$  以上の熱処理が必要なことなどが課題である。

以上の課題を解決するため、本研究提案では以下の目標を設定する。

1. アモルファス半導体薄膜の構造を客観的に評価する技術を確立する。
2. アモルファス半導体薄膜の成長を極初期から精細に観測し、その基板温度依存性、薄膜堆積条件依存性、基板材料依存性を明らかにする。
3. 我々グループでは、湿潤酸素アニール法により最も優れた特性・安定性のアモルファス酸化物半導体 TFT を作製できることを報告しているが、 $250^\circ\text{C}$  以下の後熱処理では大きな閾値電圧シフトが起こる。この原因を薄膜構造・欠陥評価技術を通し

- て明らかにする。
4. 以上の知見をもとに、低温熱処理でもデバイス特性を制御できる薄膜成長・後処理技術を確立する。
  5. プラスチック基板の使える低温 (<200°C) で実用的な長期安定性を実現できる形成方法を探索する。
  6. アモルファス In-Ga-Zn-O よりも移動度が高く、かつ、閾値電圧が 0 V 付近にあり、長期安定性に優れた新組成材料の探索を行う。  
本研究の過程で、アモルファス酸化物半導体中の特異な結合状態の酸素および不純物水素が重要であることが明らかになり、次のテーマを新規に設定した。
  7. アモルファス酸化物半導体中の酸素と不純物水素の役割を明らかにし、TFT の安定化と熱処理温度の低温化をはかる。

【総合評価】	
	特に優れた成果が得られている
○	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

【所見】	
①	<p><b>総合所見</b></p> <p>本研究課題の成果は近年急速に実用化と産業化が進展する液晶ディスプレイ、有機ディスプレイの高機能化、大型化、フレキシブル化、省電力化、低コスト化などに直結するものであり、社会的、産業的に極めて要望されている技術開発である。本研究課題は材料科学としての基礎研究をベースに材料研究、デバイス研究に取り組んでいるものであり、世界最先端の技術開発である。アモルファス半導体薄膜の構造、成長過程の評価技術について、また、水素を低減したスパッタ TFT では 200°C 熱処理で 15 cm<sup>2</sup>/Vs の移動度が得られるなど当初の目標を達成した。しかし、非真空プロセスによるアモルファス酸化物半導体膜の作製はできなかったこと、高いオン電流・遮断周波数が得られるトランジスタ・スイッチング素子の開発を目指す点については低電圧下で高い移動度が得られたが、安定性に問題があること等一部目標を達成できなかった。</p> <p>本研究の目指すところが実現できれば大きなインパクトあり、今後の引き続きの研究が望まれる。</p>

②	<p><b>目的の達成状況</b></p> <p>・所期の目的が (<input type="checkbox"/>全て達成された ・ <input checked="" type="checkbox"/>一部達成された ・ <input type="checkbox"/>達成されなかった)</p> <p>アモルファス半導体薄膜構造の評価技術の確立、薄膜成長過程の解析は所期の目的を達成している。安定性に優れた低温処理TFTの作製技術の確立について、従来の</p>
---	---

低温処理TFTプロセスの問題点を明らかにし、水素を低減したスパッタTFTでは200°C熱処理で15 cm<sup>2</sup>/Vsの移動度が得られた。これにより、低温処理のTFTで高い移動度、安定性を有するデバイス作製に目処を付けた。高イオン電流・遮断周波数が得られるトランジスタ・スイッチング素子の開発を目指す点については低電圧下で高い移動度が得られたが、安定性に問題があり目標を達成できなかった。また、高速動作TFTの開発、長期安定高移動度TFTとp型TFT材料の新規材料探索に関して、移動度、閾値は個別に目標を達成できたが、安定性は解決できていない。非真空プロセスによるアモルファス酸化物半導体膜の作製、ガラス上に大粒径酸化物結晶の作製については低温での大粒径結晶成長は実現できなかった。

### ③ 研究の成果

・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が  
(ある ・ ない)

・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が  
(創出された ・ 創出されなかった)

・当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

アモルファス酸化物 TFT 材料は今後の広範な産業界での応用が期待され、本研究が目指す低温化プロセスの開発、長期動作安定性、省電力化の達成の必要性が認識され、企業を中心として研究が行われてきているが、デバイス技術開発が主体で適切な解決策が見出されていない。本研究は、大学研究の特長を生かして基礎材料科学の視点から酸化物半導体材料、TFT デバイスの研究に取り組み、薄膜成長過程、薄膜内欠陥構造と形成過程、薄膜内不純物と TFT 特性との相関、熱処理条件との関連、デバイス不安定性要因の解明など、いずれも世界でも例のない新しい研究成果を挙げており、先進性・優位性がある。

IGZO 系材料に関しては世界トップの性能を達成している。水素低減により 200°C以下の温度で薄膜トランジスタを形成する低温プロセスを実現し、移動度 15cm<sup>2</sup>/Vs が得られている。さらに低温熱処理のトラップの原因追究、300°Cオゾン処理の捕獲準位のモデル化まで成功している。ディスプレイを現実に担う材料開発としては優れた結果であり、ブレークスルー技術となりうる。

### ④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が  
(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が  
(見込まれる ・ 見込まれない)

本研究課題の成果は液晶ディスプレイ、有機ディスプレイの高機能化、大型化、フレキシブル化、省電力化、低コスト化などに直結するものであり、社会的、産業的に極めて要望されている技術開発である。本研究課題材料科学としての基礎研究をベースに材料研究、デバイス研究に取り組んでいるものであり、世界でも例のない

新しい研究成果を挙げており最先端の技術開発である。よって、関連する研究分野、社会的課題解決への波及効果は大きい。さらに、低温処理の TFT で高い移動度、安定性を有するデバイス作製に目処を付け、製造プロセスの省エネ化を可能を示している。今後の継続的な研究開発の実施により、グリーン・イノベーションへの貢献が見込まれる。

#### ⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが (  行われた ・  行われなかった )

研究目的の達成がほぼ計画どおりであり、研究計画、研究実施計画、マネジメントは適切と判断する。ポスドク 2 名で立ち上げ、途中でポスドク 1 名 + 大学院生での研究体制は、本補助事業の規模であれば適切である。

雑誌論文 48 件 (掲載済み (査読有り) : 26 件、掲載済み (査読無し) : 14 件、未掲載 : 8 件)、会議発表 111 件 (専門家向け : 111 件、一般向け : 0 件)、図書 : 11 件、知的財産権出願中 : 1 件であり、研究成果の積極的な公表や発信は適切に行われた。

また、一般聴衆および高校生を対象とし講演、高校への出前事業を行うの等、国民との科学技術対話は適切に実施された。