

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	酸化物半導体の強誘電体メモリ応用と液体プロセスに関する研究
Title(English)	Study on Oxide Semiconductors with Ferroelectric Memory Applications and Liquid Process
著者(和文)	羽賀 健一
Author(English)	Ken-ichi Haga
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9649号, 授与年月日:2014年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:徳光 永輔,筒井 一生,半那 純一,波多野 睦子,大見 俊一郎, 伊藤 学
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9649号, Conferred date:2014/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理電子システム創造 専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)	Academic Degree Requested	Doctor of
学生氏名： Student's Name	羽賀 健一	指導教員 (主)： Academic Advisor(main)	徳光 永輔	
		指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)	筒井 一生	

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「酸化半導体の強誘電体メモリ応用と液体プロセスに関する研究」と題し、全 7 章より構成されている。
第 1 章「序論」では、本研究の背景、目的、構成について述べている。酸化物は、大気中での安定性に加えて、多様な結晶構造に起因する多彩な物性を有しており、優れた電子材料の 1 つである。特に、超伝導、強磁性、そして強誘電性などの性質を利用した酸化物エレクトロニクスは近年注目を浴びており、新たな機能性デバイスの実現も期待されている。本研究では、そのような機能性デバイスとして、酸化半導体をチャンネルに用いた強誘電体ゲート薄膜トランジスタ (FeTFT) に着目し、材料、デバイス、プロセスの各側面から研究を行った。酸化半導体は近年ディスプレイ応用などの実用化が進んでいるが、論理素子や不揮発性メモリ素子応用においても有望な材料であることを指摘した。また、FeTFT は高速で書き換え回数も多い不揮発性メモリであり、省電力性能に極めて優れていることを紹介した。プロセスについては、印刷技術を利用した直接パターニングと素子形成が期待され、省資源・省エネルギー・低コストである製造プロセスを実現し得る液体プロセスに着目した。以上の背景から、「良好な特性を持つ FeTFT を液体プロセスによって作製すること」を目標とし、FeTFT のデバイス構造制御による特性改善や、液体プロセスによる強誘電体薄膜および酸化半導体薄膜形成の基盤技術の確立などを検討した。

第 2 章「サンプル作製方法および評価方法」では、本研究で用いた強誘電体薄膜および酸化半導体薄膜の形成手法を概説するとともに、デバイスの評価手法について述べている。

第 3 章「強誘電体および酸化半導体の成膜条件検討と FeTFT の基礎特性評価」では、強誘電体薄膜 ($\text{Bi,La})_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (BLT) の形成条件の最適化と、 In_2O_3 をチャンネルに用いた FeTFT の作製および評価を行った。液体プロセスによる強誘電体薄膜の形成においては、原料溶液の熱的特性と対応する化学現象、およびアニール時の結晶化メカニズムの理解が不可欠であることを指摘し、反応機構ごとにアニール処理を行うステップ・バイ・ステップ・アニールプロセスを提案した。本アニールプロセスによって、リーク電流が小さく、良好な強誘電性も持つ BLT 薄膜が得られることを明らかにした。次に BLT をゲート絶縁膜、 In_2O_3 をチャンネルとする FeTFT を作製し、不揮発性メモリ機能を有する良好な電気的特性を確認した。

第 4 章「FeTFT のソース・ドレイン構造の検討」では、ボトムゲート型酸化半導体 FeTFT のスイッチング特性を改善するために、ソース・ドレイン電極にボトムコンタクト構造を採用することを提案し、トップコンタクト構造との比較を行った。従来のトップコンタクト構造では、ソース・ドレイン電極と強誘電体ゲート絶縁膜の間に酸化半導体チャンネルが挟まれるため、チャンネルが空乏化するオフ状態においては、ゲート電圧の一部がチャンネル層にも印加され強誘電体ゲート絶縁膜への印加電圧が減少し、スイッチング速度が遅くなることを指摘した。この問題の解決策としてボトムコンタクト構造を提案し、ボトムコンタクト構造およびトップコンタクト構造の FeTFT の作製と評価を行った。容量-電圧 (C-V) 測定および分極-電圧 (Q-V) 測定から両構造における印加電圧の配分量を見積もるとともに、両構造のスイッチング特性を評価し、ボトムコンタクト構造がトップコンタクト構造に比べて高速なスイッチングが可能であることを実証した。

第 5 章「アモルファス酸化半導体をチャンネルに用いた FeTFT の作製と評価」では、代表的なアモルファス酸化半導体である a-In-Ga-Zn-O (a-IGZO) をチャンネルに用いた FeTFT の作製と評価を行った。不揮発性メモリ素子には数十 nm 程度の微細集積化が要求されているため、メモリアレイにおける特性の均一性と、安価な製造コストを両立させるためには、アモルファスのチャンネル材料が適していることを指摘した。従来の a-IGZO/BLT FeTFT の報告例では、伝達特性 (I_D - V_G) において強誘電体に起因するヒステリシスが発現していなかったため、本研究では a-IGZO の成膜条件と成膜後のアニール条件の最適化を行った。その結果、強誘電体に起因するヒステリシスを観測することに成功した。

第 6 章「液体プロセスによる酸化半導体薄膜の形成と TFT 応用」では、液体プロセスを用いた酸化半導体 TFT 製造における一連の製造工程に着目し、原料溶液の設計指針を議論した。原料溶液の作製から、基板への塗布、アニールによる薄膜形成、TFT 作製までの一連の工程を試行し、基礎現象の観察、原料溶液の熱特性の評価、TFT の電気特性の評価を行った。その際に、印刷技術を利用した直接パターニングを実現するためには均一な塗膜形成が重要であることを指摘し、本研究独自の視点として塗膜の評価も行っている。その結果、均一な塗膜を形成できる原料溶液の種類は少数であることに加え、塗膜形成能は金属酸化物の前駆体に強く依存し、溶媒の選択も重要であることを明らかにした。この塗膜形成能に対して、TFT の電気特性を併せて考察を行い、原料溶液の設計指針を示した。

第 7 章「結論」では、本研究で得られた成果を総括し、今後の展望や残された課題について述べた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理電子システム創造 専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	羽賀 健一	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	徳光 永輔	
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	筒井 一生	

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis entitled “Study on Oxide Semiconductors with Ferroelectric Memory Applications and Liquid Process” consists of 7 chapters.

In chapter 1, “Introduction”, background and objective of this research are described. It is mentioned that oxide semiconductors are promising for not only display applications but also logic and memory applications and that ferroelectric-gate thin film transistors (FeTFTs) with non-volatile memory function have been investigated in terms of materials, device structure, and fabrication process. The objective of this thesis is to establish fundamentals of liquid process of oxide materials and to realize FeTFTs with good electrical properties by the liquid process.

In chapter 2, “Methods of Thin-Film Fabrication and Device Characterization” explains the methods of thin-film fabrication processes and device characterization used in this work.

In chapter 3, “Consideration of Fabrication Conditions and Characterization of basic properties of FeTFTs”, describes electrical properties of FeTFTs using ferroelectric (Bi,La)₄Ti₃O₁₂ (BLT) and In₂O₃. It is demonstrated that ferroelectric BLT films with low leakage current density can be fabricated by a proposed step-by-step annealing process and good electrical properties of FeTFT are confirmed.

In chapter 4, “Investigation of source/drain contact structures of FeTFTs”, a bottom-contact structure has been employed to improve the switching characteristics of FeTFTs. It is pointed out that the voltage applied to the ferroelectric layer is reduced in a conventional top-contact structure because of depletion of the channel layer, which results in the degradation of switching speed. Furthermore, the improvement of the switching speed is demonstrated in FeTFTs with the bottom-contact structure.

In chapter 5, “Fabrication and Characterization of FeTFTs with an amorphous oxide semiconductor channel”, describes fabrication and characterization of amorphous In-Ga-Zn-O (a-IGZO) channel FeTFTs. a nonvolatile memory function is demonstrated in the fabricated a-IGZO/BLT FeTFTs by optimizing fabrication conditions of the a-IGZO channel layer.

In Chapter 6 “Fabrication of Oxide Semiconductor Thin Films by the Liquid Process and it’s TFT applications”, it is shown that the uniformity of thin films and TFT properties are strongly depends on the source solutions and fundamental properties of liquid process are discussed.

In Chapter 7 “Conclusion” summarizes the results obtained in this work and gives some remarks on future study.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).