

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	結晶性向上プロセス及びサイドコンタクト技術を用いた PVD成膜高移動度TMDC膜二次元チャネルFET技術
Title(English)	2D-Channel FET based on High-Mobility TMDC-Film Formation with PVD Method using Crystal-Quality Improvement Process and Side-Contact Architecture
著者(和文)	濱田昌也
Author(English)	Masaya Hamada
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11751号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:若林 整,宮本 恭幸,筒井 一生,菅原 聡,角嶋 邦之,小林 正治
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11751号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	濱田昌也	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	若林 整	教授	角嶋 邦之	准教授
	審査員	宮本 恭幸	教授	小林正治	東大准教授
		筒井 一生	教授		
菅原 聡		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、"2D-Channel FET based on High-Mobility TMDC-Film Formation with PVD Method using Crystal-Quality Improvement Process and Side-Contact Architecture" (邦題「結晶性向上プロセス及びサイドコンタクト技術を用いた PVD 成膜高移動度 TMDC 膜二次元チャンネル FET 技術」)と題し、英文 7 章で構成されている。

第 1 章の"Research Background and Motivation"では、本博士論文の導入として次世代トランジスタ技術と新しいチャンネル材料の必要性について述べた上で、原子層状の遷移金属ダイカルコゲナイド (Transition Metal Di-Chalcogenide: TMDC) 半導体膜の有用性とスパッタ (Physical-Vapor Deposition: PVD) 法による成膜の優位性について述べ、移動度の増大とコンタクト抵抗低減の必要性について述べている。

第 2 章の"Material Selection and Target of Thesis"では、TMDC 膜の中から ZrS₂ 膜の有用性とサイドコンタクトの必要性について述べた後に、本博士論文の構成を示している。その上で、結晶性向上プロセス及びサイドコンタクト技術を用いた PVD 成膜高移動度 TMDC 膜二次元チャンネル FET 技術の研究を目的としている。

第 3 章の"Chip-Size Atomic-Layered Poly-Crystalline ZrS₂ Film using UHV RF Magnetron Sputtering and Sulfurization"では、ZrS₂ をターゲットとして 400°C までの高温で UHV スパッタ法により ZrS₂ 膜を成膜した後で、気相硫黄雰囲気中において 700°C で熱処理をすることにより、SiO₂/Si 基板上に 10 nm 程度厚の層状 ZrS₂ 膜を形成できたことを述べている。またスパッタパワーを 70 W に、スパッタ時の圧力を 0.55 Pa に、スパッタ温度を 400°C に調整することにより、高いホール効果移動度 1,250 cm²/V-s、比較的低いキャリア濃度 8.5 x 10¹⁷ cm⁻³ を実証できたことを述べている。特にホール効果移動度について、これまで発表されている中で最も高い値を得ることができているが、ZrS₂ 膜の安定性が依然課題であることも述べている。

第 4 章の"Crystallinity Enhancement of Sputtered TMDC Films by Sulfurization even through Al₂O₃ Passivation Film Simultaneously Preventing Influences from Surrounding Environments"では、まず予備検討として TMDC 膜にスパッタ法による MoS₂ 膜を選択した場合、上層に Al₂O₃ 膜を形成した後に気相硫黄雰囲気中において 700°C でアニールすることにより、硫黄が Al₂O₃ 膜を拡散して MoS₂ 膜が硫化されることで MoS₂ 膜の膜質が向上することを述べている。特に 3 nm 厚の Al₂O₃ 膜において 100 cm²/V-s の比較的大きい移動度が得られたことを述べている。さらに本実験として、スパッタ法による ZrS₂ 膜を選択した場合、同様に上層に Al₂O₃ 膜を形成した後に気相硫黄雰囲気中において 700°C でアニールすることにより、同様に硫黄が Al₂O₃ 膜を拡散して ZrS₂ 膜が硫化されることで ZrS₂ 膜の膜質が向上することを述べている。

第 5 章の"Side-Contact Architecture of Atomically-Thin ZrS₂ Film with Nickel Film"では、将来の積層型 TMDC 膜を用いたトランジスタにおいて必須になると考えられる TMDC 膜へのサイドコンタクト構造について、ニッケルを用いてその特性を調べている。ニッケル形成後に 500°C、30 秒の熱処理を行うことにより、依然ショットキー特性ではあるものの、コンタクトを通じる電流を大きくすることができ、コンタクト抵抗が低減する傾向が示されたことを述べている。

第 6 章の”ZrS₂ Symmetrical-Ambipolar FETs with Near-Midgap TiN Film for Both Top-Gate Electrode and Schottky-Barrier Contact”では、ZrS₂ 膜をチャンネルとし、Top-gate 電極を有する MIS (Metal-Insulator-Semiconductor)型電界効果型 FET (Field-Effect Transistor)の電気特性について述べている。ゲート電極材料に窒化チタン(TiN)膜を用いることと、FET 形成の最後にフォーミングガス(1%-H₂)中において 300°Cで 10 分の熱処理を行うことにより、電子・正孔それぞれの極性の Ambipolar 特性ではあるものの、ゲート電圧 0.4 V を中心とした対称な MISFET 特性を得たと述べている。ZrS₂ MISFET において、*p*MISFET 動作の確認は世界初であり、さらに、電子および正孔の両極同時の MISFET 動作の確認は世界初であることを述べている。

第 7 章の”Conclusions”では、本研究で得られた結果をまとめ、今後の展望について述べている。特に、ZrS₂ 膜の高いホール効果移動度 1,250 cm²/V-s と、電子および正孔の両極同時の MISFET 動作の確認は特筆すべき成果であることを述べている。

以上を要するに本論文は、スパッタ堆積 ZrS₂ 薄膜チャンネルを用いた高性能 MISFET 実現に向けた検討を行ったもので、工学上並びに工業上寄与するところが大きい。よって我々は本論文が博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(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。