

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	将来の三次元積層型電界効果トランジスタに向けた低基板温度及び低粒子フラックススパッタリングによるMoS2膜質向上
Title(English)	Improvement of MoS2 Film Quality using Low-Particle-Flux Sputtering at Low-Substrate Temperature for Future 3D-Stacked Field-Effect Transistors
著者(和文)	今井慎也
Author(English)	Shinya Imai
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第274号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:若林 整,宮本 恭幸,渡辺 正裕,大見 俊一郎,角嶋 邦之,近藤 博基
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第274号, Conferred date:2025/3/26, 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	今井 慎也	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	若林 整	教授	大見 俊一郎	准教授
	審査員	近藤 博基	九大教授	角嶋 邦之	准教授
		宮本 恭幸	教授		
渡辺 正裕		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、“Improvement of MoS<sub>2</sub> Film Quality using Low-Particle-Flux Sputtering at Low-Substrate Temperature for Future 3D-Stacked Field-Effect Transistors”(邦題:「将来の三次元積層型電界効果トランジスタに向けた低基板温度及び低粒子フラックススパッタリングによる MoS<sub>2</sub> 膜質向上」と題し、英文7章で構成されている。

第1章“Research background and motivation”では、本研究の導入として、今後のIoT社会で必要とされる低消費電力トランジスタの実現には、MoS<sub>2</sub>膜などの2次元層状遷移金属ダイカルコゲナイド半導体膜を用いたチャネル材料が候補の一つであることを述べ、スパッタリング法において500°C未満の低温成膜における膜質向上による高移動度化の実証を目的とする本研究の工学的意義を述べている。

第2章“Target values for improvement of MoS<sub>2</sub> film quality”では、MoS<sub>2</sub>膜について、第一に、目標成膜温度として、フロントエンドオブライン(FEOL)プロセスでは700°C以下、バックエンドオブライン(BEOL)プロセスでは400°C以下に設定している。第二に、移動度向上を目指した結晶サイズとして、将来の半導体デバイスのチャネル寸法を考慮して7.9 nm以上に設定している。第三に、目標とする移動度を185 cm<sup>2</sup>/V/sに設定し、硫黄欠陥密度の低減が必要であることを述べている。

第3章“Approach of MoS<sub>2</sub> sputtering with large crystal size and low sulfur defect density”では、結晶サイズを大きくしつつ硫黄欠陥密度を低減するためには、スパッタリング中の結晶成長メカニズムより、基板温度やフラックス温度を高くすること、一方で基板への粒子フラックスの低減が必要であることを述べている。

第4章“Dependence of MoS<sub>2</sub> film quality varying substrate temperature during sputtering”では、基板温度を高くすることによりスパッタ粒子の表面移動が促進され、粒子が大きくなることを述べている。しかし、基板温度が高過ぎると硫黄脱離により硫黄欠陥密度が増加することから、最適な基板温度は300°C程度であることも述べている。

第5章“Crystal size enlargement of MoS<sub>2</sub> film with control of flux temperature and particle flux during sputtering”では、結晶サイズを大きくすることができると考えられる十分なフラックス温度と低い粒子フラックスを実現するために、それら両方を制御するRF電力変調の技術について、トレードオフの関係があり、最適なRF電力が存在することを述べている。

第6章“Crystal size enlargement of MoS<sub>2</sub> film by low-particle-flux sputtering”では、さらに、十分なフラックスエネルギーを維持しながら粒子フラックスをさらに減らすために、スパッタリングシステムに導入したグリッドの効果について述べている。これにより粒子フラックスと堆積速度を低減でき、さらに核形成密度を低減することで結晶サイズを大幅に向上できることを述べている。

第7章“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。特に本論文により、300°C堆積で得られた結晶サイズは最大26 nm、平均サイズは9.1 nmに達し、目標の7.9 nmを超えることを述べている。ただし、標準偏差は7.9 nmと大きいため、さらに低い粒子フラックスで堆積する必要があること、また硫黄欠陥密度は0.58%と高いため、目標の移動度を達成するにはさらなる最適化が必要であることを述べ、本論文をまとめている。

以上を要するに本論文は、将来の三次元積層型電界効果トランジスタに向けて低基板温度及び低

粒子フラックススパッタリングによる MoS<sub>2</sub> 膜質向上を実証したものであり、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に価値があるものと認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東京科学大学リサーチポジトリ(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。