

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	A study on the Hf-based MONOS nonvolatile memory with HfON tunneling layer for multi-bit/cell operation
著者(和文)	PYOJooyoung
Author(English)	Jooyoung Pyo
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11754号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:大見 俊一郎,宗片 比呂夫,筒井 一生,渡辺 正裕,飯野 裕明,三谷 祐一郎
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11754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		Jooyoung Pyo	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	大見 俊一郎	准教授	審査員	飯野 裕明	准教授
	審査員	宗片 比呂夫	教授		三谷 祐一郎	東京都市大学 学外審査員
		筒井 一生	教授			
		渡辺 正裕	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「A study on Hf-based MONOS nonvolatile memory with HfON tunneling layer for multi-bit/cell operation」と題し、英文 6 章から構成されている。

第 1 章「Introduction」では、本研究の研究背景と目的について述べている。まず、近年の電子情報通信機器の発展に伴う不揮発性多値メモリの高速・低電圧動作化への要求のため、現在の主要な不揮発性メモリである Metal/Oxide/Nitride/Oxide/Si (MONOS) 型不揮発性メモリに用いられている $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$ 積層構造に、高誘電率薄膜を導入することが重要であると説明している。次に、高誘電率薄膜である HfO_2 および $\text{HfN}_{1.1}$ を用いた Hf 系 MONOS 型不揮発性多値メモリにおいて、トンネル層 (TL) である HfO_2 薄膜と Si 基板の界面に SiO_2 界面層が形成されるため、電子注入効率が低下し多値動作におけるしきい値電圧の制御に課題があると説明している。そして、本研究の目的が、HfON 薄膜をトンネル層に導入することにより、 SiO_2 界面層の形成を抑制し多値動作特性を向上した Hf 系 MONOS 型不揮発性多値メモリを実現することであると述べている。

第 2 章「Fabrication and characterization methods」では、本研究で高誘電率薄膜の形成に用いた電子サイクロトロン共鳴 (ECR) スパッタ法および試料製作方法を述べるとともに、電気特性などの評価方法について説明している。

第 3 章「Investigation of effective Hf-based MONOS structure with HfON TL」では、ECR スパッタ法による HfON 薄膜の形成と Hf 系 MONOS 型ダイオードの特性について説明している。まず、2 nm の HfN 薄膜堆積時におけるスパッタガス圧力を従来の条件である 0.16 Pa から 0.04 Pa に低減して堆積した後、プラズマ酸化により HfON 薄膜を形成した結果、HfON 薄膜の SiO_2 換算膜厚 (EOT) が 1 nm から 0.7 nm に低減し、界面特性が向上したと述べている。次に、HfON トンネル層を用いた MONOS 型ダイオードを作製しメモリ特性を測定した結果、 HfO_2 トンネル層を用いた場合と比較し、EOT が 7 nm から 5.2 nm に低減し、 $\pm 8 \text{ V}/100 \text{ ms}$ の書き込み/消去条件におけるメモリウィンドウが 3.3 V から 4.0 V に増加し、 10^3 回の書き込み/消去後におけるメモリ特性が改善したと述べている。また、HfON トンネル層を用いた場合 $\text{HfN}_{1.1}$ 電荷蓄積層のブロック層側に電荷捕獲中心が近づくためにメモリ特性が改善したと説明している。

第 4 章「Device characteristics of Hf-based MONOS nonvolatile memory」では、HfON トンネル層を有する Hf 系 MONOS 型不揮発性メモリのトランジスタ特性について述べている。まず、 HfO_2 トンネル層を用いた場合、 $\pm 10 \text{ V}/1 \text{ s}$ の書き込み/消去条件において 4.0 V のメモリウィンドウが得られたのに対し、HfON トンネル層を用いた場合、書き込み/消去条件を $\pm 8 \text{ V}/100 \text{ ms}$ と入力パルスの電圧および時間を低減した場合においても 3.9 V のメモリウィンドウが得られ、高速かつ低電圧で動作可能であると述べている。さらに、 10^4 回の書き込み/消去後においてもメモリウィンドウの減少が抑制されると述べている。次に、書き込み/消去後の電流ノイズを評価した結果、 HfO_2 トンネル層を用いた場合、10 Hz でのノイズが $8.7 \times 10^{-19} \text{ A}^2/\text{Hz}$ から $2.8 \times 10^{-17} \text{ A}^2/\text{Hz}$ と 21 倍増加したのに対し、HfON トンネル層を用いた場合、 $3.6 \times 10^{-18} \text{ A}^2/\text{Hz}$ から $3.5 \times 10^{-17} \text{ A}^2/\text{Hz}$ と 10 倍の増加にとどまっており、電流ノイズの劣化の程度が抑制されたと説明している。また、 HfO_2 トンネル層を用いた場合、 SiO_2 界面層中の欠陥に起因してノイズが発生するため電流ノイズが増加すると説明している。

第 5 章「Improvement of multi-bit/cell operation of Hf-based MONOS with HfON TL」では、HfON トンネル層を有する Hf 系 MONOS 型不揮発性メモリの 2 bit/cell の多値動作について述べている。まず、HfON トンネル層を用いた場合、トランジスタのソース側およびドレイン側の局所的な電荷注入において、メモリウィンドウがドレイン/ソース間電圧により高精度に制御可能であると述べている。また、 HfO_2 トンネル層を用いた場合、書き込み電圧/書き込み時間が 6 V/2 ms、ドレイン/ソース間電圧が 1.5 V の書き込み条件を用いて多値動作の測定を行った結果、多値動作におけるしきい値電圧の制御性が不十分であったのに対し、HfON トンネル層を用いた場合、書き込み電圧/書き込み時間を 5 V/1 ms、ドレイン/ソース間電圧を 1 V と低電圧で短時間の書き込み条件においても、しきい値電圧の高精度な制御を実現したと述べている。次に、HfON トンネル層を有する Hf 系 MONOS 型不揮発性メモリにおいて、トランジスタのチャネル長を 10 μm から 2 μm に縮小した場合においても、十分なしきい値電圧の制御性が得られることから、微細デバイスにおける多値動作の制御性を向上することが可能であると述べている。さらに、メモリ保持特性の評価から 10 年後の外挿値においても、十分なメモリ保持特性が維持されており、HfON トンネル層を用いることにより多値動作特性が改善されたと説明している。

第 6 章「Conclusions」では、本研究で得られた結論と今後の展望について述べている。

以上より、本論文は、HfON 薄膜をトンネル層に導入することにより、 SiO_2 界面層の形成を抑制した Hf 系 MONOS 型不揮発性メモリの多値動作の制御性が向上し、高速・低電圧動作が可能な不揮発性多値メモリを実現したもので、工学上および工業上の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な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、東工大リサーチポータル(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。