

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	A Study on Atomic Layer Deposited SiO ₂ for SiC Gate Dielectrics
著者(和文)	LEIYIMING
Author(English)	Lei Yiming
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10920号, 授与年月日:2018年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:角嶋 邦之,筒井 一生,若林 整,渡辺 正裕,飯野 裕明,岩井 洋
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10920号, Conferred date:2018/6/30, 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	Lei Yiming		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	角嶋 邦之	准教授		飯野 裕明	准教授
	審査員	筒井 一生	教授	審査員	岩井 洋	名誉教授
		若林 整	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 Atomic Layer Deposited SiO₂ for SiC Gate Dielectrics」と題し、英文 8 章から構成されている。各章は以下に要約できる。

第 1 章「Introduction」ではパワーデバイス用半導体として炭化ケイ素(4H-SiC)の物性が優れ、現状用いられている Si パワーデバイスと比較して損失を大きく低減できることを述べている。一方、SiC を半導体基板とする MOS((metal-oxide-semiconductor: MOS)構造では、ゲート絶縁膜と SiC の界面に問題があるため、SiC の物性から期待されるデバイス特性が得られていない課題を指摘している。この課題について NO ガス熱処理や高温酸化などのゲート絶縁膜と SiC の界面改善手法に関する研究動向をまとめ、まだ解決されていない課題について述べている。一方、縦型の SiC パワーデバイス作製時に用いられる熱酸化法によるゲート絶縁膜形成の懸念点を述べ、均一な膜厚で堆積が可能な原子層堆積(atomic layer deposition: ALD)手法の優位性について述べている。これらの背景より、本論文の目的と構成を述べている。

第 2 章「Fabrication and characterization」では本論文で扱った SiC デバイスの試作方法、および物理分析手段について述べている。また、試作した MOS キャパシタの界面準位密度(D_{it})および MOS トランジスタにおける電子移動度の電気的評価方法について説明している。

第 3 章「Film properties of ALD-SiO₂」では ALD-SiO₂ を成膜するための原料の選択指針について述べている。膜中に残留する炭素原子は多いものの、高い蒸気圧と原料安定性からトリシジメチルアミノシラン(TDMAS)を選択し、酸素プラズマを酸化剤とした ALD-SiO₂ 膜の堆積条件、および得られた膜の膜質、絶縁破壊特性について述べている。界面の粗さが 0.3nm、密度は 2.4g/cm³、そして 8MV/cm の高い絶縁破壊電界が得られ、堆積膜として比較的良好な膜が得られたことを述べている。

第 4 章「Electrical properties of SiC-MOS structure with ALD-SiO₂ gate dielectrics」では ALD-SiO₂ 膜をゲート絶縁膜とした SiC のキャパシタの特性について述べている。ALD-SiO₂ 膜の堆積後の酸素雰囲気熱処理(post-deposition annealing: PDA)では温度が高いほど D_{it} の低減がみられるが、改善効果は限定されていることを述べている。一方、金属電極形成後の熱処理(post-metallization annealing: PMA)では、熱酸化温度より低温においても固定電荷、ヒステリシスの低減が可能であることを示している。更に、950°C で長時間の PMA では 10¹¹cm⁻²/eV 台の D_{it} が実現できており、堆積膜として非常に低い値を得ている。これらの結果から、金属電極による低酸素分圧環境が実

現でき、未酸化の炭素原子を形成しない界面酸化と ALD-SiO₂ 膜中の残留炭素原子の除去を両立するモデルを構築している。

第 5 章「Enhanced oxidation effect with La₂O₃ insertion」では、酸化ランタン(La₂O₃)膜を形成した熱処理で SiC の界面反応が進み、La-silicate の形成に加えて、SiO₂ が促進して形成されることを述べている。この原因として La₂O₃ で活性酸素が生じ、低温で SiC が酸化されるモデルを構築している。熱処理による La-silicate の凝集の課題に対しては、ALD-SiO₂ 層でキャップし、界面ラフネス低減に界面 ALD-SiO₂ 層を挿入することでこれを解決できることを述べている。また、活性酸素の効果により ALD-SiO₂ 中の残留炭素原子量を 1/10 に低減できることを示している。

第 6 章「Gate dielectrics of ALD-SiO₂ with La-silicate interface layer」では、La-silicate 層を界面層とした ALD-SiO₂ ゲート絶縁膜の MOS キャパシタの特性を評価している。 D_{it} の低減に加えて、ALD-SiO₂ 層中の電子トラップ密度の低減が可能であることを示している。分析の結果、La 原子が 10nm 以上離れた領域まで拡散しており、この La 原子の存在がトラップ密度減少の要因であると議論している。

第 7 章「Electrical properties of SiC-MOS structure with thin ALD-SiO₂/ La-silicate interface layer」では、La-silicate 層と SiC 表面の間に界面 ALD-SiO₂ を挿入した MOS キャパシタの電気的評価を行っている。第 4 章で論じた PMA 処理を行うことで、理想値のフラットバンド電圧と 20mV 以下のヒステリシスを実現、更に $2.6 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}/\text{eV}$ の低い D_{it} が得られている。MOS トランジスタにおける電子移動度評価では $16 \text{cm}^2/\text{Vs}$ を超える値を実現しており、NO ガス処理を用いない堆積膜として極めて優れた特性を実証している。

第 8 章「Conclusions」では本研究でえられた成果を総括すると共に、更に良好な界面特性および高い移動度を実現するために必要な条件について述べている。

以上を要するに、本論文は、今後の SiC パワーデバイスのゲート絶縁膜として選択すべき材料指針、およびプロセス条件について多くの知見を述べたものであり、工学上、工業上、貢献することが大きい。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。