

Title	ワイドギャップ半導体4H-SiCにおけるMOS構造用絶縁膜の作製と評価に関する研究
Author(s)	小松, 直佳
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/58343
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	小松 直佳
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 24591 号
学位授与年月日	平成 23 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学位論文名	ワイドギャップ半導体 4H-SiC における MOS 構造用絶縁膜の作製と評価に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 伊藤 利道 (副査) 教授 森 勇介 教授 谷口 研二 教授 片山 光浩 教授 尾崎 雅則 教授 栖原 敏明 教授 近藤 正彦 教授 森田 清三 教授 八木 哲也

論文内容の要旨

本論文は著者が大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻において行った「ワイドギャップ半導体 4H-SiC における MOS 構造用絶縁膜の作製と評価に関する研究」の成果をまとめたものである。以下に各章の内容を要約した。

第 1 章では、本論文作製にあたる研究の背景とその目的を記した。Si に代わるパワーデバイスとして、ワイドギャップ半導体である SiC を基板としたパワーデバイスの作製が急務の課題であるため、本論文では SiC パワー MOSFET を念頭に置き、そのゲート絶縁膜を Si パワー MOSFET の場合と同様な熱酸化プロセスによって形成したときの種々の問題を明らかにし、それらの問題を回避できる SiC-MOS 構造用絶縁膜探索の重要性を述べ、本論文の目的を明記した。

第 2 章では、ワイドギャップ半導体 SiC を基板とした MOS 構造用絶縁膜に求められる条件を述べ、その条件を満たす種々の絶縁体材料の検討を行った結果、AlSiO₂ が SiC-MOS 構造用絶縁膜として最も良好な特性を持つ可能性であることを明らかにした。

第 3 章では、AlSiO₂ の出発材料である Al₂O₃ ならびに AlSiO₂ の成膜プロセスとその膜質の評価を行い、AlSiO₂ 膜中に含まれる Al や Si の組成比制御や酸素欠損低減のための条件を探索し、光電子分光法に基づいた Al₂O₃ 膜や Si をドープした AlSiO₂ 膜中の結合状態の評価を行った結果を記述した。

第 4 章では、AlSiO₂ 膜を用いて MOS キャパシタ (Au/AlSiO₂/Si) を作製しその電気的特性を評価し、Si ドーピングによってリーク電流密度が低減し絶縁性が向上することを見出した。また、その主な原因が絶縁膜中の結合状態に起因していることを明らかにした。さらに、AlSiO₂ 薄膜の高温における電流-電圧特性を調べ、絶縁膜中の電気伝導機構に関して、低電界ではオーム性電導を示し、高電界かつ室温領域ではショットキー放出に従い、高電界かつ高温下では、プールの式に従うことを見出した。また、同時に当該絶縁膜の耐熱性の度合いも明らかにした。

第 5 章では、AlSiO₂ 膜中のプールの欠陥による耐熱性の劣化を克服する為に、AlSiO₂ 膜に N をドープした効果について明らかにした。当該 AlSiO₂ 膜中の結合状態を解析することにより、N ドーピングにより Al-N と Si-N 結合が新たに形成され、リーク電流密度は N をドープしていない AlSiO₂ 膜に比べ約 1/10 に抑制され、特に高温でよ

り顕著な効果が見出された。このリーク電流低減機構について、膜中の結合状態とアレニウスの式に基づき、関係する局在準位につちえ検討を加えた。このように、高い耐熱性を持つ AlSiO₂ 薄膜は、MOS デバイスの高温動作に対しても有効な絶縁膜であることを明らかにした。

第 6 章は、AlSiO₂/SiC 構造における極薄い AlN 層の挿入効果について記載した。SiC と酸化膜との界面にはラフネスが発生しやすく、酸素を含む AlSiO₂ 堆積時にも同様な問題が生じたため、SiC と AlSiO₂ 膜との挿入するバッファ層として酸素を含まない Al 系材料である AlN の有効性を調べ、界面ラフネスおよびリーク電流が非常に小さな AlN/SiC 構造が作製できることを見出し、AlN 極薄膜層挿入のための適正な作製プロセスを明らかにした。

第 7 章では、本研究にて明らかにしたことを纏めて述べた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、申請者が電気電子情報工学専攻において行った「ワイドギャップ半導体 4H-SiC における MOS 構造用絶縁膜の作製と評価に関する研究」の成果をまとめたものであり、各章の内容は以下のように要約される。

第 1 章では、本論文に関する研究の背景とその目的を明らかにしている。即ち、Si に代わるパワーデバイスとして、作製が急務であるワイドギャップ半導体パワーデバイスの基本的デバイスの一つである SiC パワー MOSFET の性能を決定する重要な要素であるゲート絶縁膜について、従来の Si に用いられている熱酸化プロセスを SiC に採用した場合に生じる種々の問題を明らかにし、それらを回避できる SiC-MOS 構造用絶縁膜探索の重要性を述べている。

第 2 章では、ワイドギャップ半導体 SiC を基板とした MOS 構造用絶縁膜に求められる条件を述べ、その条件を満たす種々の絶縁体材料の検討を行った結果、Al₂O₃-SiO₂ 系 (以下 AlSiO₂) 膜が SiC-MOS 構造用絶縁膜材料として最も良好な特性を持つ可能性があることを明らかにしている。

第 3 章では、Al₂O₃ 膜並びに AlSiO₂ 膜の作製プロセスとその膜質の評価を行い、AlSiO₂ 膜中に含まれる Al や Si の組成比制御や酸素欠損低減のための条件を探索するとともに、Al₂O₃ 膜や AlSiO₂ 膜中の結合状態を光電子分光法により調べることににより、Al₂O₃ 膜に適切な量の Si を混入した AlSiO₂ 膜の優位性を見出している。

第 4 章では、AlSiO₂ 膜を用いて MOS キャパシタ (Au/AlSiO₂/Si) を作製しその電気的特性を評価することにより、Si 混入によってリーク電流密度が低減し絶縁性が向上することを見出し、その特性改善の要因が絶縁膜中の結合状態に起因していることを明らかにしている。また、パワーデバイス用ゲート絶縁膜として重要となる AlSiO₂ 薄膜の高温における電流-電圧特性を調べ、AlSiO₂ 絶縁膜中の電気伝導機構に関して、低電界ではオーム性電導を示すこと、高電界かつ室温領域ではショットキー放出に従うこと、及び、高電界かつ高温下では、プールの式に従うことを見出している。さらに、当該絶縁膜の耐熱性についても知見を得ている。

第 5 章では、適切に N ドープした AlSiO₂ (以下 AlSiON) 膜は、AlSiO₂ 膜に比べリーク電流密度が約 1/10 に低減され、特に高温でより顕著な効果があること、及び、N ドープにより Al-N と Si-N 結合が形成され、AlSiO₂ 膜中で生じていたプールの欠陥に起因する耐熱性の劣化を抑制できることを見出している。また、膜中の結合状態と電気的特性を解析することにより、AlSiO₂ 絶縁膜中の電気伝導機構に関与する局在準位についても知見を得ている。これらの観点から、高い耐熱性を持つ当該 AlSiON 薄膜は MOS パワーデバイスとして重要な高温動作時にも使用可能な絶縁膜であることを明らかにしている。

第 6 章は、SiC 上に形成した AlSiON 薄膜である AlSiON/SiC 構造における極薄い AlN 層の挿入効果の有効性について述べている。即ち、SiC と酸化膜との界面はラフネスが発生しやすく、酸素を含む AlSiON 堆積時にも同様な問題が生じたため、SiC と AlSiON 膜との挿入するバッファ層として酸素を含まない Al 系材料である AlN の有効性を調べ、界面ラフネスおよびリーク電流が非常に小さい AlN/SiC 構造が作製できることを見出すとともに、AlN 極薄膜層挿入のための適正な作製プロセスを明らかにしている。

第 7 章では、本研究で得られた結論を述べている。

以上のように、本論文は、その開発が急務である SiC パワー MOSFET におけるデバイス特性の高性能化の鍵を握るゲート絶縁膜について、(1) 膜組成、電子エネルギー状態、電気的特性や耐熱性の評価、及び、絶縁膜中の電気伝導機

構の解析等に基づき、これまで採用されていない新たな絶縁膜材料として、適切な組成の AlSiON 膜が有力であること、並びに、(2) そのような AlSiON 膜と SiC との界面特性が AlN 極薄膜層の挿入により大幅に向上することを明らかにしている等、高温下でも使用可能な SiC パワー MOSFET の高性能化に寄与する研究成果が記載されている。

よって、本論文は電気電子情報工学分野の研究進展に貢献しており博士論文として価値あるものと認める。