

様 式 F - 7 - 1

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）実施状況報告書（研究実施状況報告書）（平成 23 年度）

1. 機関番号

1	4	6	0	3
---	---	---	---	---

 2. 研究機関名 奈良先端科学技術大学院大学

3. 研究種目名 若手研究(B) 4. 補助事業期間 平成 23 年度～平成 25 年度

5. 課題番号

2	3	7	6	0	2	8	3
---	---	---	---	---	---	---	---

6. 研究課題 異種原子導入による SiC / 絶縁膜界面欠陥の消滅とパワー MOSFET の革新

7. 研究代表者

研究者番号	研究代表者名	所属部局名	職名
4 0 3 3 5 4 8 5	ヤノ ヒロシ 矢野 裕司	物質創成科学研究科	助教

8. 研究分担者

研究者番号	研究分担者名	所属研究機関名・部局名	職名

9. 研究実績の概要

本研究では、申請者らが見出した SiC / 絶縁膜界面へのリン (P) 原子導入による界面欠陥低減を徹底的に追及することを目的とした。平成 23 年度は、(1) 超低欠陥界面・超高チャネル移動度の実現を中心に研究し、また (2) リン導入 MOS デバイスの信頼性評価についても研究を開始した。以下に、平成 23 年度の研究実績の概要を記す。

(1) POC13 アニールによる界面へのリン導入だけでは除去できない欠陥があると考え、追加で H₂ 処理を行ったところ、MOSFET のチャネル移動度が 86 cm²/Vs から 101 cm²/Vs と向上した。水素によるダングリングボンド終端の効果が表れたと考えられる。100 を超える移動度を実現したことは意義が大きい。また、界面欠陥低減効果のある NO アニールによる界面窒化と POC13 アニールを組み合わせると、予想に反してチャネル移動度は 47 cm²/Vs と小さくなった。NO アニールで形成された強固な Si-N 結合により、POC13 アニールによる界面歪の緩和効果が抑制されてためと考えられる。NO アニールと POC13 アニールの組み合わせでは、チャネル移動度向上に効果はなかったが、しきい値電圧（またはフラットバンド電圧）の安定性が増すという重要な結果が得られた。

(2) リン導入を行った酸化膜の瞬時絶縁破壊電界は未導入試料と比較して著しい劣化は見られなかった。定電流 TDD B 試験を行ったところ、非常にばらつきの小さい Qbd が得られたが、その値は小さい。酸化膜内部の捕獲準位の影響により、注入された電子が捕獲され、そのために印加電界が増加する現象が確認された。リン導入酸化膜では、酸化膜電界が小さい場合は捕獲電荷の増加は見られないが、高電界となり FN 電子注入してしまうと急激に捕獲電荷が増加するという重要な知見が得られた。

10. キーワード

(1) 炭化ケイ素	(2)	(3)	(4)
(5)	(6)	(7)	(8)

11. 現在までの達成度

(区分) (2) おおむね順調に進展している。

(理由)

リンと水素、およびリンと窒素の組み合わせによる複合処理を行い、界面欠陥の低減および信頼性の向上を達成している。まだ目標とした数値(チャネル移動度 $200 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)に到達していないが、リン・水素・窒素の役割を明確にした上で導入量を最適化することで、目標に近づけると考えている。また、信頼性評価を始めたところ、従来の酸化膜とは異なる特性が得られ、その解析を進めている。酸化膜中に一様に分布したリンにより、注入電子が捕獲されることがわかってきた。その結果をもとに、電子注入耐性を高める手法を考案し、現在試みている。また、これとは別に、窒素とリンを組み合わせることで信頼性が改善することに成功している。これら複数のアプローチにより界面特性の安定化を図ることができると考えている。

12. 今後の研究の推進方策 等

(今後の推進方策)

現在、リン導入量を詳細に制御できるように POC13 処理炉を改良中である。具体的には、デジタルフローメータ の導入や炉のプログラマブル温度コントローラーの導入を行う。これにより、リン導入量を今まで以上に精密に制御できると考えている。リン・窒素・水素の導入量最適化を図り、さらなる界面欠陥の低減とチャネル移動度の向上を目指す。しきい値電圧(またはフラットバンド電圧)の安定性を詳細に調査し、不安定となる要因を明らかにしたうえでそれを排除し、安定性向上に取り組む。特に、TDDDBを初め、各種バイアスストレス条件によるしきい値変動メカニズムについて調査する。パワーDMOSFETへの展開を考え、イオン注入層へのプレーナ型MOSFETの作製に取り組む。エピ層と比較を行い、不純物散乱やラフネス散乱の影響を調査する。

(次年度の研究費の使用計画)

H23年度は、MOSFETを作製するためのイオン注入の回数が当初の予定より少なくなったことに加え、POC13炉改良をH24年度に回したため研究費を繰り越すこととなった。H24年度はこれらの費用を積極的に活用し、改良炉による精密なリン導入量制御を行う。ソース・ドレイン領域だけでなく、チャネル部分にもイオン注入を行ってMOSFETを作製する。正確なリン導入量を評価するため、外部にSIMS測定を依頼する。デバイス試作回数を増やすため、SiCウエハの購入量も増える予定である。

13.研究発表(平成23年度の研究成果)

〔雑誌論文〕計(3)件 うち査読付論文 計(2)件

著者名		論文標題			
D. Okamoto, H. Yano, T. Hatayama, and T. Fuyuki		Development of 4H-SiC MOSFETs with Phosphorus-Doped Gate Oxide			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
Mater. Sci. Forum	有	未定	2 0 1 2	掲載決定	
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)					

著者名		論文標題			
R. Morishita, H. Yano, D. Okamoto, T. Hatayama, and T. Fuyuki		Effect of POCl ₃ annealing on Reliability of Thermal Oxides Grown on 4H-SiC			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
Mater. Sci. Forum	有	未定	2 0 1 2	掲載決定	
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)					

著者名		論文標題			
高上稔充, 矢野裕司, 畑山智亮, 冬木隆		SiO ₂ /p型4H-SiC界面特性におけるPOCl ₃ アニールの効果			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
信学技報	無	111	2 0 1 1	11-15	
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)					

〔学会発表〕計(11)件 うち招待講演 計(3)件

発表者名		発表標題	
D. Okamoto, H. Yano, T. Hatayama, and T. Fuyuki		Development of 4H-SiC MOSFETs with Phosphorus-Doped Gate Oxide	
学会等名		発表年月日	発表場所
2011 International Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ICSCRM2011) (招待講演)		2011.9.15	Cleveland (OH, USA)

発表者名		発表標題	
R. Morishita, H. Yano, D. Okamoto, T. Hatayama, and T. Fuyuki		Effect of POCl ₃ annealing on Reliability of Thermal Oxides Grown on 4H-SiC	
学会等名		発表年月日	発表場所
2011 International Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ICSCRM2011)		2011.9.15	Cleveland (OH, USA)

発表者名		発表標題	
荒岡幹, 矢野裕司, 畑山智亮, 冬木隆		NO/POCl ₃ 複合アニール処理したSiC MOSデバイスの電子注入耐性	
学会等名		発表年月日	発表場所
2012年春季 第59回応用物理学関係連合講演会		2012.3.17	早稲田大学

発表者名		発表標題	
高上稔充, 矢野裕司, 畑山智亮, 冬木隆		SiO ₂ /p型4H-SiC界面特性におけるPOCl ₃ アニールの効果	
学会等名		発表年月日	発表場所
電子情報通信学会 シリコン材料・デバイス研究会		2011.12.16	奈良先端科学技術大学院大学

発表者名	発表標題	
冬木隆, 矢野裕司, 畑山智亮	SiCデバイスプロセスの高度化に向けた新規表面・界面改質技術の開発	
学会等名	発表年月日	発表場所
SiC及び関連ワイドギャップ半導体研究会 第20回講演会(招待講演)	2011.12.9	愛知県産業労働センター

発表者名	発表標題	
森下隆至, 矢野裕司, 畑山智亮, 冬木隆	POCl ₃ アニールした4H-SiC MOS構造の高電界ストレスによる電気特性への影響	
学会等名	発表年月日	発表場所
SiC及び関連ワイドギャップ半導体研究会 第20回講演会	2011.12.8	愛知県産業労働センター

発表者名	発表標題	
荒岡幹, 矢野裕司, 畑山智亮, 冬木隆	4H-SiC MOS界面特性におけるNOとPOCl ₃ アニールの組み合わせ効果	
学会等名	発表年月日	発表場所
SiC及び関連ワイドギャップ半導体研究会 第20回講演会	2011.12.8	愛知県産業労働センター

発表者名	発表標題	
高上稔充, 矢野裕司, 畑山智亮, 冬木隆	SiO ₂ /p型4H-SiC界面特性におけるPOCl ₃ アニールの効果	
学会等名	発表年月日	発表場所
SiC及び関連ワイドギャップ半導体研究会 第20回講演会	2011.12.8	愛知県産業労働センター

発表者名		発表標題	
D. Okamoto, H. Yano, K. Hirata, T. Hatayama, and T. Fuyuki		Improved Inversion Channel Mobility in 4H-SiC MOSFETs on Si Face Utilizing Phosphorus-Doped Gate Oxide	
学会等名		発表年月日	発表場所
IEEE EDS Kansai Chapter 第11回関西コロキウム電子デバイスワークショップ(招待講演)		2011.10.21	大阪大学 中之島センター

発表者名		発表標題	
森下隆至, 矢野裕司, 岡本大, 畑山智亮, 冬木隆		定電流ストレス印加によるPOCI3アニール4H-SiC熱酸化膜の劣化特性	
学会等名		発表年月日	発表場所
平成23年秋季 第72回応用物理学会学術講演会		2011.8.30	山形大学 小白川キャンパス

発表者名		発表標題	
荒岡 幹, 矢野裕司, 畑山智亮, 冬木隆		4H-SiC MOS界面特性におけるNOとPOCI3アニールの組み合わせ効果	
学会等名		発表年月日	発表場所
平成23年秋季 第72回応用物理学会学術講演会		2011.8.30	山形大学 小白川キャンパス

(図書) 計(0)件

著者名		出版社	
書名		発行年	総ページ数

14. 研究成果による産業財産権の出願・取得状況

〔出願〕 計(0)件

産業財産権の名称	発明者	権利者	産業財産権の種類、番号	出願年月日	国内・外国の別

〔取得〕 計(0)件

産業財産権の名称	発明者	権利者	産業財産権の種類、番号	取得年月日	国内・外国の別
				出願年月日	

15. 備考

--