

低損失パワー半導体

背景・目的

地球環境の保全、エネルギーの高効率利用の観点から電化推進と低炭素電源の利用は重要である。プラグインハイブリッドカーや電気自動車、IH機器、エコキュートなど電化促進技術の高効率化や、エネルギー最大利用のための電力安定制御において、半導体電力変換の高効率化、コンパクト化が共通的重要技術課題であり、従来のSi半導体に比べて、より低損失化や高電圧化が期待できるSiCパワー半導体の実用化が期待されている。本課題では、高電圧・低損失電力変換機器の実用化を視野に、低欠陥SiC単結晶の生産技術の開発や高電圧素子の特性向上を目指す。

主な成果

1. 新しいSiC/酸化膜界面形成手法の開発

酸化膜を介してオン・オフ動作を行う高電圧SiCスイッチング素子の開発において、SiC/酸化膜界面付近に存在する高密度の欠陥を低減することが、素子の実用化に向けた損失低減や信頼性向上の課題である。各種条件（表1）でSiC単結晶上への酸化膜形成を行い、界面特性を比較したところ、酸化膜形成前に窒素熱処理プロセスを行うことによって、SiC/酸化膜界面に形成される界面欠陥を低減できることが判明した（図1）¹⁾。一方、窒素熱処理プロセスを行った試料のSiC/酸化膜界面付近において、窒素原子の偏析が確認され、窒素熱処理プロセスによって導入された窒素原子がSiC/酸化膜界面付近の欠陥を不活性化したことが示唆された。このように、界面欠陥を大幅低減する新たな手法として、酸化膜形成前に窒素熱処理を行うプロセスを提案した [Q10009]。

2. SiC単結晶膜中の結晶欠陥の可視化

SiC単結晶膜中には、素子の電気的特性に悪影響を及ぼす結晶欠陥（拡張欠陥：転位、積層欠陥）が未だ多数含まれている。これらの低減を進める上で、結晶欠陥の可視化技術の開発が重要である。2009年度までに当研究所が初めて存在を明らかにした4H-SiC単結晶膜中のフランク型基底面欠陥²⁾について、簡便な検出手法を得ることを目的に、フォトルミネッセンス（PL）特性を調べた。その結果、各種（原子空孔型、複数層挿入型、格子間原子型）のフランク型基底面欠陥のPL波長が明らかになった³⁾（表2）。これにより、PL波長を調べることで、SiC単結晶膜中のフランク型基底面欠陥の検出、分離を行うことが可能となり、結晶欠陥の制御・低減に向けての要素技術が得られた。

関連特許出願、学術論文

- 1) 特願2010-217756号「炭化珪素半導体素子の製造方法及び電子デバイスの製造方法」
- 2) H. Tsuchida et al., Phys. Status Solidi B **246**, 1553 (2009).
- 3) I. Kamata et al., Applied Physics Letters **97**, 172107 (2010).

表1 プロセス内容 (HTO：高温での酸化膜形成 RTA：急速熱処理)

手法 処理順	窒素処理未実施				窒素処理実施	
	HTO	HTO+RTA	H ₂ +HTO	H ₂ +HTO+RTA	N ₂ +HTO	N ₂ +HTO+RTA
①	表面洗浄	表面洗浄	表面洗浄	表面洗浄	表面洗浄	表面洗浄
②	酸化膜形成	酸化膜形成	水素熱処理	水素熱処理	水素熱処理	水素熱処理
③		熱処理	酸化膜形成	酸化膜形成	窒素熱処理	窒素熱処理
④				熱処理	酸化膜形成	酸化膜形成
⑤						熱処理

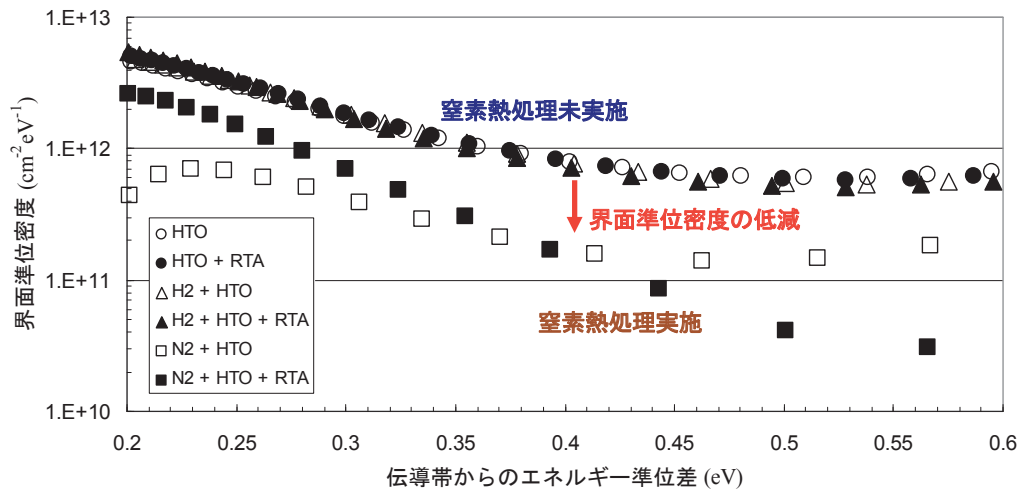


図1 4H-SiC による窒素熱処理プロセスの効果

窒素熱処理を実施した場合には、窒素熱処理未実施に比べて、界面準位密度（容量-電圧法により測定）が低減している。このことは、4H-SiC/酸化膜界面における欠陥密度の低減を示唆している

表2 4H-SiC 単結晶膜中の3種類のフランク型基底面欠陥と PL 波長の関係

分類名称	積層構造 (▲ は 4H-SiC と積層欠陥の積層構造を示す)	室温における PL ピーク波長 (nm)
原子空孔型		488
複数層挿入型		457
格子間原子型		424

3種類の積層欠陥それぞれに対応する PL ピーク波長が求められた。この PL ピーク波長は、それぞれの積層欠陥構造を反映している。これにより、4H-SiC 単結晶膜に対して PL 測定を行うことで、SiC 単結晶膜中のフランク型基底面欠陥を検出、分離することが可能となった。