

プロジェクト課題 - 次世代電力需給基盤の構築

低損失パワー半導体

背景・目的

プラグインハイブリッドカーや電気自動車、IH機器、ヒートポンプ式給湯機などの電力変換・制御や、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重要技術課題である。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、これらの課題の解決に向けて期待されている。

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 欠陥低減プロセスの最適化

高耐圧特性、低損失通電特性を満足するSiCスイッチング素子(SiC-IGBT^{*1})に向けて、厚膜かつ高純度で高キャリア寿命^{*2}のSiC単結晶層(エピ膜)を得ることが必要となる。高圧システムに利用が可能な耐電圧13kV相当の厚い膜厚(約140μm)と低い窒素ドーピング濃度($3 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$)を有する厚エピ膜を作製し、当所が開発した炭素イオン注入・熱処理法^{[1][2]}を各種条件にて適用した。本

処理法は、炭素空孔型点欠陥を削減してキャリア寿命を向上させるための後処理プロセスであり、炭素イオン注入後の熱処理温度を1600℃とすることで、厚エピ膜の上層部100μm以上の領域において、炭素空孔型点欠陥は検出限界以下までに除去された。その結果、未処理では2μs以下であったキャリア寿命を、13kV相当で必要な5~10μsを超える12.8μsにまで向上することができた(図1)。

2 欠陥の転換手法の開発

IGBTなどのバイポーラ型SiCデバイスの通電特性の劣化要因となる転位欠陥(基底面転位:BPD)はAr中で高温熱処理することで低減することが明らかになった。これは、BPDを劣化要因とならない他種の転位欠陥(貫通刃状転位:TED)に転換できる新しい手法であり、放射光X線トポグラフィ観察を通じてBPDの先端部が

TEDに転換したことを確認した(図2)^[3]。また、転換条件の最適化やメカニズムの解明に役立つSiCエピ膜中の転位観察手法として、放射光X線マイクロビームを用いた3次元トポグラフィ(放射光X線3Dトポグラフィ)観察技術の開発を進め、BPD-TED転換部の立体像(図3)を得ることに成功した。

本研究の一部は、総合科学技術会議により制度設計された最先端研究開発支援プログラムにより、日本学術振興会を通して助成された。

*1 Insulated Gate Bipolar Transistorの略称。絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ。

*2 平衡状態よりも過剰な電子と正孔が消滅するまでの時間を表し、高寿命にすることにより低損失通電を得ることができる。

関連特許出願、学術論文

[1] 特願2008-53667号「SiC結晶の質を向上させる方法およびSiC半導体素子」

[2] L. Storasta and H. Tsuchida, Applied Physics Letters 90, 062116 (2007).

[3] 特願2011-118419号「炭化珪素基板、炭化珪素ウェハ、炭化珪素ウェハの製造方法および炭化珪素半導体素子」

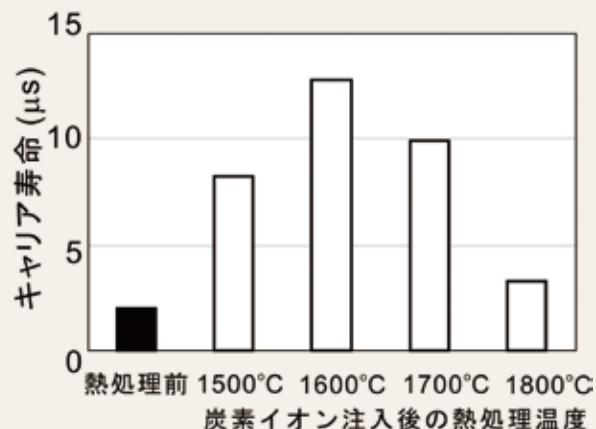


図1 炭素イオン注入・熱処理プロセスにおける熱処理温度に対するエピ膜のキャリア寿命の変化

炭素イオン注入・熱処理プロセスの適用において、熱処理温度を1600°Cとすることで、エピ膜のキャリア寿命を12.8μsにまで向上することができた。

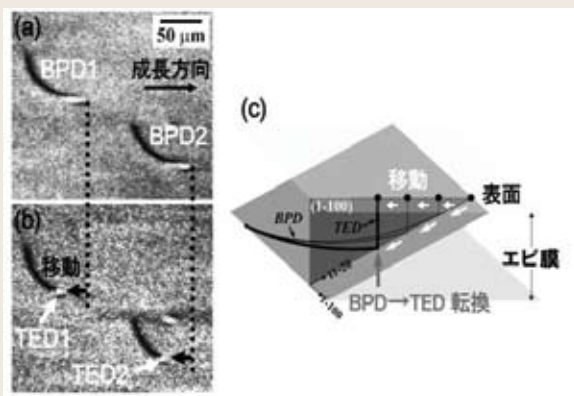


図2 高温熱処理によるBPDからTEDへの転換

(a)熱処理前、(b)1800°C熱処理後の放射光X線トポグラフィ像。熱処理によって、BPDの先端部がTEDに転換したことが確認される。(c)高温熱処理によるBPDからTEDへの転換の模式図。

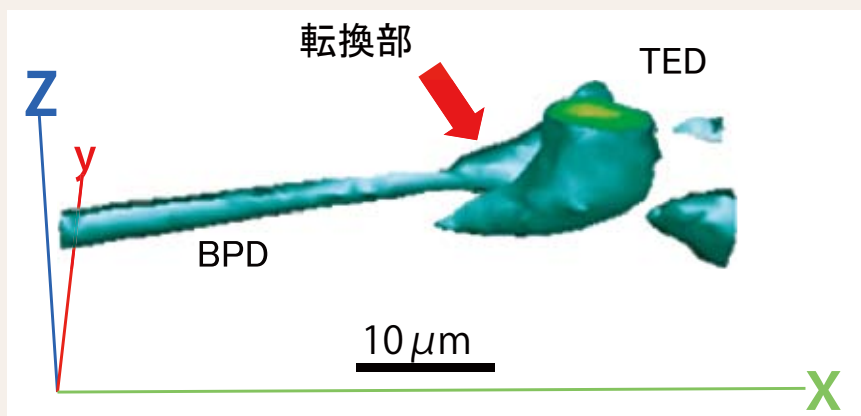


図3 BPDからTEDへの転換部に対する放射光X線3Dトポグラフィ像

BPD-TEDを側面から見た放射光X線3Dトポグラフィ像により、BPDがTEDに転換する立体様相の観察に成功した。