

【基盤研究(S)】

理工系(工学 I)



研究課題名 炭化珪素半導体の欠陥制御と超高耐圧ロバスト素子への応用

京都大学・大学院工学研究科・教授

きもと つねのぶ
木本 恒暢

研究分野： 工学

キーワード： 電気・電子材料

【研究の背景・目的】

省エネルギーの重要性が益々高まっている現在、発電所や変電所における大規模電力変換システムでは、変換電力の実に 10%に相当する膨大なエネルギーが熱として排出されている。この主な原因は、電力変換機器の中核を担う高耐圧(~5 kV) Si サイリスタと PiN ダイオードの性能限界にある。配送電に使われる典型的な交流電圧は 6.6 kV であるが、この電力変換には耐圧 20 kV のスイッチング素子とダイオードが必要となる。現状では 5~6 kV の Si 素子を多段接続して 20 kV の耐圧を得ているが、導通時の電力損失や発熱が大きい、スイッチング周波数が極めて遅い、発熱による素子破壊を防ぐために莫大な水冷設備が必要である等の深刻な問題を抱えている。

本研究で取り扱う炭化珪素(SiC)は、Si に比べて絶縁破壊電界強度が約 10 倍、禁制帯幅と熱伝導率が約 3 倍という優れた物性を持ち、しかも広範囲の伝導性制御(n 型、p 型とも)が容易な間接遷移型半導体であるので、Si では到達できない超高耐圧(> 20 kV)素子の作製に有望である。そこで本研究では、SiC を用いた超高耐圧かつ高温動作・高信頼性(ロバスト: robust(堅牢))デバイス実現を目指して、その材料物性とデバイス物理に関する学術的研究を行う。

【研究の方法】

将来の電力用キーデバイスとして期待される SiC 素子であるが、材料およびデバイスの両面において多くの課題が山積している。具体的には、最大の課題となっている拡張欠陥(転位、積層欠陥)および点欠陥の構造や物性の解明および欠陥の低減が急務である。また、20kV 以上の超高耐圧を達成するための素子構造のガイドラインがなく、超高耐圧・高温の計測システムも存在しない。

具体的な研究計画の概要を模式的に図 1 に示す。まず、独自に作製する高純度 SiC 厚膜エピタキシャル結晶を用い、多角的かつ系統的評価手法を駆使して、拡張欠陥および点欠陥の検出、欠陥構造と起源の解明を進め、さらにキャリア生成・再結合等の欠陥物性を明らかにする。また、超高耐圧素子の性能を支配するキャリア寿命を測定し、様々な欠陥との相関からその制限要因を特定する。次に、電界集中緩和構造の設計や良質の表面保護膜形成等の要素技術を集約して超高耐圧(> 20 kV)ロバスト PiN ダイオードや IGBT を作製する。絶縁破壊機構や素子内

でのキャリアダイナミクスを明らかにし、耐圧の極限を追求する。最後に、SiC における欠陥物性のデータベースを構築して広く公開すると共に、SiC 超高耐圧ロバスト素子の優位性を示す。

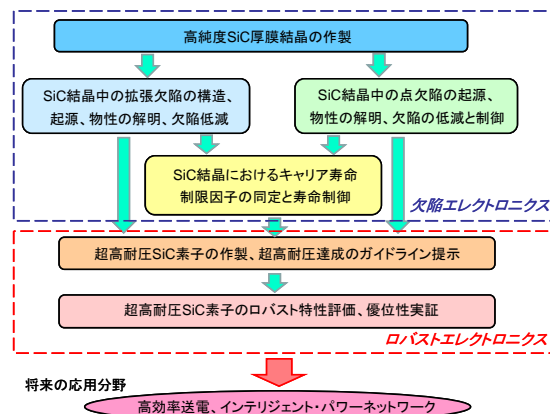


図 1 研究計画の概要

【期待される成果と意義】

SiC 結晶における欠陥の構造と物性の解明、およびその制御は、材料科学から電子工学に亘る「欠陥エレクトロニクス」の発展に寄与する。さらに、10 kV 以上の超高耐圧デバイスの作製と 300°C 以上の高温動作を含めた特性解析は未踏領域であり、「ロバストエレクトロニクス」の発展に寄与する。

超高耐圧 SiC ロバスト素子実現のガイドラインを提示することができれば、高効率の高圧直流送電、FACTS などの電力系統制御、将来的には情報ネットワークで連係された高速 SiC 遮断器を用いたインテリジェント・パワーネットワークを実現でき、社会の高機能インフラ構築に寄与する。いずれの分野でも、省エネルギーに大きく貢献できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- T. Hori, K. Danno and T. Kimoto: J. Crystal Growth. **306**, 297-302 (2007).
- T. Hiyoshi, T. Hori, J. Suda, and T. Kimoto: IEEE Transaction on Electron Devices. **55**, 1841-1846 (2008).

【研究期間と研究経費】

平成 21 年度 - 25 年度

156,500 千円

ホームページ等

<http://semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

kimoto@kuee.kyoto-u.ac.jp