半導体

研究開発課題名：パワーエレクトロニクス応用におけるSiC半導体素子の革新

研究開発代表者：木本　恒暢　京都大学 大学院工学研究科　教授

共同研究機関（日本側）：大阪大学、熊本県立大学
共同研究機関（英国側）：ケンブリッジ大学、ワルウィック大学※日英連携課題として研究開発を行います

目的：

電気自動車、太陽光発電、ロボット、ACアダプタなど多くの電気機器に使われる半導体素子をSiからSiCに置き換えれば顕著な省エネ効果を達成できる。本研究では、酸化膜/SiC界面特性を大幅に向上し、革新的なSiC半導体素子を実現する。

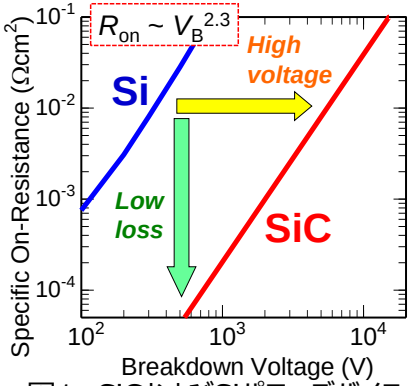

図1: SiCおよびSiパワーデバイスの耐電圧とオン抵抗の関係

研究概要：

• 取り組む課題

SiC半導体素子の実用化が始まっているが、その性能はSiC本来のポテンシャルから大きく乖離している。その要因は酸化膜/SiC界面近傍の高密度欠陥に由来する低いチャネル移動度にある。本研究では、
1) 第一原理計算および高度な界面分析を通じた界面欠陥の解明
2) 学理に基づき熱酸化を極力排除するプロセスによる移動度向上
3) 微細フィンチャネル内のボリュームインバージョンを用いた高移動度化
の研究課題に、日英の先端グループが相補的に取り組む。

• カーボンニュートラル貢献へのシナリオ

ゲームチェンジを起こす超高性能SiC半導体素子を実現できれば、多くの電気機器で電力損失を10~60%低減できるので、カーボンニュートラルに直接的に貢献する。また、電気機器の大幅な小型化や水冷装置の削除(不要)を通じて人類の生活向上と環境保全にも貢献する。

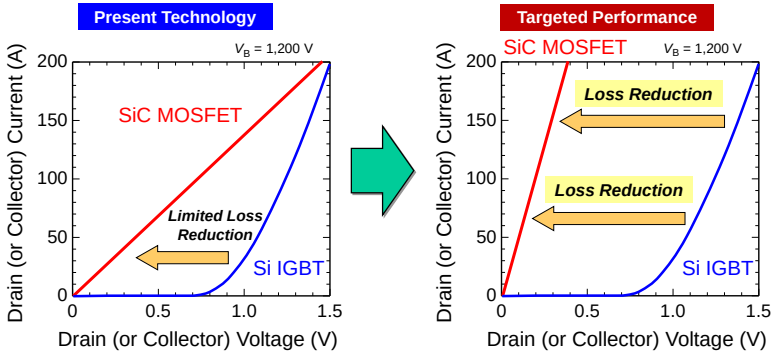

図2: SiCおよびSiパワーデバイス性能の現状と本研究の目標

Semiconductor

R&D Project Title: UP-SiC: Unlocking the Future Potential of Silicon Carbide in Power Electronics

Project Leader: Tsunenobu Kimoto
Professor, Electronic Science & Engineering, Kyoto University

R&D Team (Japan) : Osaka University, Prefectural University of Kumamoto
R&D Team (UK) : University of Cambridge, University of Warwick

※This project promotes collaborative R&D with UK.

Summary :

Silicon Carbide (SiC) is the true "wonder" material for power electronics. Its exceptional field strength (10x that of Silicon) make it ideal for high voltage and high power applications, such as inverters for electric vehicles, wind and photovoltaic converters, and power supplies for AI data centres. Moreover, the CO_2 savings enabled by SiC are projected to be an order of magnitude higher than those provided by the most advanced Si technologies. However, despite its impressive market traction with an annual growth rate exceeding 30%, one major issue remains unsolved: the very poor carrier mobility (e.g. 20 cm^2/Vs) in the channel at the oxide/SiC interface. This value is 50x lower than in an equivalent Si device, negating the advantages of MOS-based SiC devices and hampering its outstanding potential in power electronics.

It is the aim of this project to study in greater depth this interface using innovative techniques based on electron microscopy, propose novel techniques to enhance the mobility by 5x at the oxide/SiC interface and experimentally demonstrate disruptive device concepts in SiC such as high-voltage FinFETs which use quantum effects to increase the mobility.

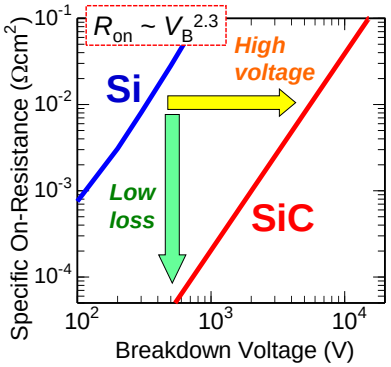

Fig. 1: On-resistance vs. blocking voltage for SiC and Si devices

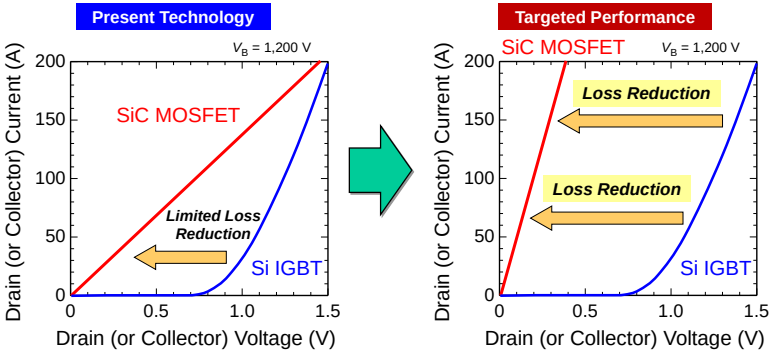

Fig. 2: Present and targeted performances