高熱伝導率窒化ケイ素セラミックスの開発

工学部 生命環境化学科 教授 北山　幹人

分　　野　セラミックス材料工学

キーワード　セラミックス、窒化ケイ素、熱伝導率、パワーエレクトロニクス、放熱基板

研究概要

SiC・GaNパワーデバイスは、従来のSiデバイスよりも圧倒的に高い変換効率を持ち、さらに高温で使用可能であることから、その実用化が非常に期待されている。しかしながら、近年のSiC・GaNパワー半導体の性能の劇的な進化に反して、周辺技術の研究開発は圧倒的に遅れていることが喫緊の課題である。

図1は、SiCパワーデバイスのロードマップである。比較的消費電力の小さな家電等から、太陽光発電、電気自動車や産業機器、スマートグリッド等の系統インフラまで、多岐にわたる応用が見込まれている。特に、自動車や系統インフラにおいては、大電流・高電圧・高出力での利用が期待されている。

図2に典型的なSiCパワーデバイスの構造を示す。AlNセラミックスは代表的な高熱伝導率材料（≧150W/m·K）であるが、機械的特性（強度や破壊靭性）が良好ではない。

図3は、熱疲労試験後の電極のCuとAlNセラミックスの接合部の写真であるが、両者の熱収縮率差により亀裂が発生していることを示している。さらに近年、AlNセラミックスが400℃程度でほとんど絶縁性を失うことが見出され、電気的及び機械的特性に優れ、かつ本質的に高い熱伝導率を持つ材料として、Si_3N_4セラミックスが注目されている。

研究者は、セラミックス製造プロセシングの影響、特に粉体混合溶媒のアルコールがメカノケミカル効果によって反応し、熱伝導を大きく劣化させる格子固溶酸素を増加させることを見出した。さらに、熱伝導率を飛躍的に向上させる新規焼結助剤の開発によって、150W/m·Kの高熱伝導率達成を目指している。

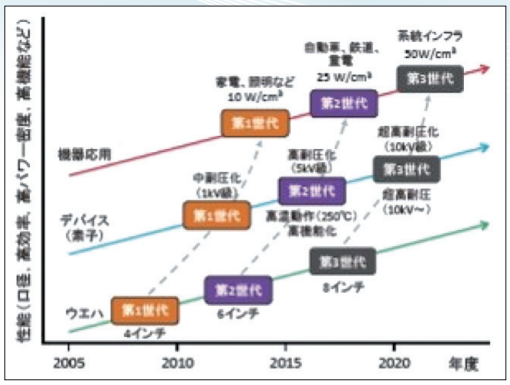

図1：SiCパワーデバイスロードマップ

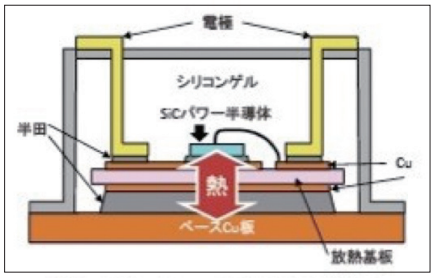

図2：SiCパワーデバイスの構造

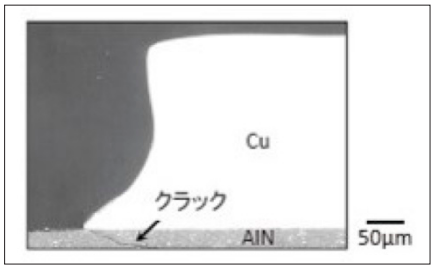

図3：CuとAlN基板の接合部からAlN基板側に進展するクラック

利点特徴

研究者は、これまで、窒化ケイ素の熱伝導に影響する種々の要因（微構造、格子固溶酸素、希土類焼結助剤の効果）を明らかにしてきた。これらは、窒化ケイ素の粒成長機構解明や希土類の粒界偏析に関する学術的な貢献と合わせ、内外で高く評価されている。

応用分野

・パワーエレクトロニクス用半導体の放熱絶縁基板
・CPU放熱基板（AlNセラミックスに比べ、GHz帯における誘電損失が極めて低いため）