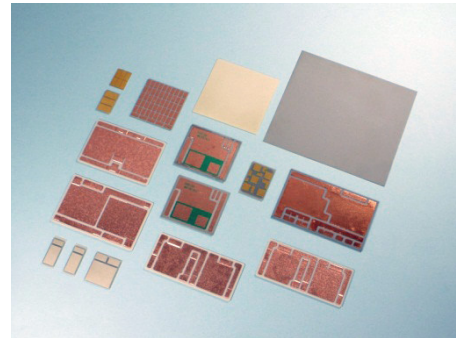


小型・高出力PCUの開発を加速させる、高熱伝導「窒化ケイ素基板」

世界のモーターショーでは次世代の電気自動車 (EV) やプラグインハイブリッド車 (PHV) が人気を集め、一人乗りのコンパクトカーやスポーツカーなど、小型・高出力をうたったコンセプトカーも続々登場している。将来、このようなEVやPHVを実用化し普及拡大するためには、その心臓部であるパワーコントロールユニット (PCU) の小型軽量化・高出力化が今後の課題といわれている。それらに対応する技術の一つが、パワー半導体素子の損失による熱をヒートシンク側に伝え、半導体素子の間を絶縁するセラミックス基板である。ここでは、優れた機械的特性と高い熱伝導との両立を世界で初めて実現した東芝マテリアル株式会社の「窒化ケイ素 (Si₃N₄) 基板」を紹介する。



窒化ケイ素基板 (プレーン基板、銅貼り基板)

スペースシャトルに使われたベース技術を活かして開発

東芝マテリアルは、特殊金属やファインセラミックスなどの機能材料・部品を主に製造しており、ユーザーからの高度な要望に応える商品開発を強みとしている。

窒化ケイ素は、東芝マテリアルが株式会社ジェイテクトと共同でファインセラミックスベアリング (転がり軸受) の実用化に世界で初めて成功。高強度、高靱性といった優れた機械的特性により、スペースシャトルや風力発電などに使われていた高機能材料である。

ハイブリッド車 (HV) のPCUモータ電源制御用のインバータなどに広く採用されている絶縁回路基板には、これまでアルミナや窒化アルミニウムが主に用いられていたが、東芝マテリアルは長年培った機能材料の技術をベースに、独自の添加剤を窒化ケイ素に配合することで、アルミナ基板や窒化アルミニウム基板に代わる、高熱伝導「窒化ケイ素 (Si₃N₄) 基板」を開発した。

絶縁部材の特性比較

PCUは、エンジンコンパートメントに搭載されるための小型・軽量化と、高い動力性能を発揮するための高出力が求められる。そのためPCUを構成するインバータ、DC/DCコンバータ、ジャンクションボックス、車載充電器といった機器に使用される半導体パワーモジュールは、高い絶縁性と放熱性が要求される分野であり、熱伝導性の高い絶縁基板の開発が強く要望されている。

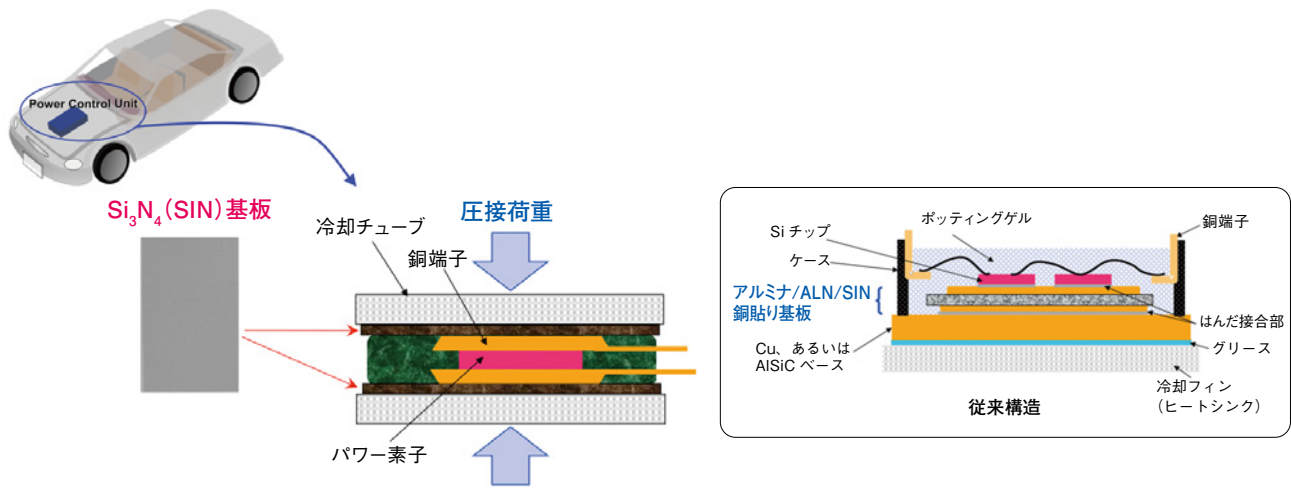
このパワーモジュールで用いられている絶縁基板は、主に樹脂基板や、セラミックス基板であるアルミナ、窒化アルミニウム、そして窒化ケイ素の4つに分類される。図1にそれぞれの特性を比較した。

図1 絶縁部材の特性比較 [優 ◎ > ○ > △ 劣]

絶縁部材	放熱性	機械的特性	絶縁信頼性	コスト
樹脂	△	○	△	◎
アルミナ (Al ₂ O ₃)	○	△	○	○
窒化アルミニウム (AlN)	◎	△	○	△
窒化ケイ素 (Si ₃ N ₄)	◎	◎	◎	△



窒化ケイ素基板のベース技術となったファインセラミックスベアリング



絶縁基板単体を素子の両面に配置した「両面放熱構造」

図2 半導体パワーモジュールの従来構造と「両面放熱構造」

優れた機械的特性と高熱伝導率をもつ窒化ケイ素

樹脂基板は安価であるが、セラミックス基板に比べて放熱性に劣る。そのため電力量の小さい家電などに多く用いられている。一方、アルミナ (Al_2O_3)、窒化アルミニウム (AlN)、窒化ケイ素 (Si_3N_4) といったセラミックス基板は放熱性に優れた特性をもつため、大電力を扱うHVやEVなどのパワーエレクトロニクスのパワーモジュール用絶縁基板に採用されている。

パワーエレクトロニクスのセラミックス基板材料としては、アルミナが安価であったが、より高い放熱性が求められる高出力のパワー素子用基板として、窒化アルミニウムが多く採用されている。一方、窒化ケイ素基板の熱抵抗は、厚さ 0.32mm の場合、窒化アルミニウム基板の厚さ 0.635mm とほぼ同等である。しかし機械的特性を見ると、窒化ケイ素基板はアルミナ基板、窒化アルミニウム基板より優れている。例えば、曲げ強度や最大たわみ量では他のセラミックス基板の 1.5 倍以上と大きく、圧縮・衝撃などに強いという特性を持っている。

設計自由度が高く、多様な実装構造に対応

近年、半導体パワーモジュールは、熱抵抗を低減するために、セラミックス基板を薄くし、銅の層を厚くする傾向にある。窒化ケイ素基板なら、機械的な強度が高いため、アルミナ基板や窒化アルミニウム基板より厚さを薄くした実装が可能である。例えば、窒化ケイ素基板厚を 0.32mm と薄くして、銅板厚を 0.3mm から 0.6mm と厚くした場合でも、HVやEV用途で要求されることが多い熱サイクル試験 3000 サイクル以上の耐クラック性をもつ。

このような特長を活かし、絶縁基板単体を半導体素子の上下両面に積層し、素子の両面から放熱させる「両面放熱構造」に採用されている (図 2)。圧接荷重によるクラック発生を抑制することができ

るため、PCU の小型化と高出力化につながる。

また、パワーモジュールの生産性や接合信頼性の向上のために、銅回路板上へ電極端子を直接超音波接合するケースが増えている。これまでは超音波接合時の衝撃の大きさからアルミナ基板や窒化アルミニウム基板ではクラック発生の懸念があった。しかし窒化ケイ素基板なら破壊靱性が大きいため、クラック発生を抑制することができ、高信頼化も実現できる。

このように窒化ケイ素基板は、優れた機械的特性と信頼性が相まって、高い設計自由度を提供。アルミナ基板や窒化アルミニウム基板では適用できなかった実装形態に対応することができる。

次世代半導体素子 SiC (炭化ケイ素) 素子に対応

現在、パワー半導体素子として、Si素子 (シリコン) が主に用いられているが、半導体パワーモジュールの小型・高出力のため、SiC素子の本格的な導入が待たれている。

SiC素子は、200度以上の高温動作が可能であり、Si素子に比べ、高い電圧と温度に耐え、インバータやコンバータなどの電力損失を大幅に低減できる。その結果、PCUをさらに小さくして、高出力化も実現することができる。

このSiC素子の高温動作に対応する絶縁基板は窒化ケイ素において他になく、PCUの小型・高出力化のために、高熱伝導の窒化ケイ素基板は今後大きく貢献できるだろう。

【東芝マテリアル株式会社】

白井 隆雄 (しらい たかお)
 福田 悦幸 (ふくだ よしゆき)
 那波 隆之 (なば たかゆき)