

パワーデバイス向け高強度・高熱伝導窒化ケイ素

High Strength & High Thermal Conductivity Silicon Nitride for Power Semiconductor Devices

草野大*1、田辺元*1、佐藤伸*2

Dai Kusano*1、Gen Tanabe*1、Shin Sato*2

*1 日本ファインセラミックス株式会社 技術開発部、*2 (同) 営業部

*1 Technical Development, JAPAN FINE CERAMICS CO. LTD. *2 Sales Department,
JAPAN FINE CERAMICS CO. LTD.

要旨

ハイブリッド自動車や電気自動車の迅速な拡大はIGBTなどのパワー半導体デバイスの開発により支えられており、発生した熱を放熱するために絶縁高熱伝導基板を含むパワー半導体デバイスは重要性が増している。最近パワー半導体デバイスの基板材料として、優れた機械的特性・高い理論熱伝導率を持つ窒化ケイ素が注目を浴びているが、その焼結体は高い機械的特性を有するが熱伝導率は低いといった特徴がある。そこで優れた機械的特性と高い熱伝導率を併せ持った窒化ケイ素セラミックスの開発に取り組んできた。今回はこの高強度・高熱伝導窒化ケイ素について紹介する。

Abstract:

The rapid spread of hybrid cars or electric vehicles is supported by the development of power semiconductor devices such as the IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor). In order to release the heat generated by these power semiconductor devices, insulating substrates with high thermal conductivity are of increasing importance. Recently silicon nitride has attracted much attention as a substrate material for power semiconductor devices because of its excellent mechanical properties and high intrinsic thermal conductivity. However, although conventional sintered silicon nitride has high mechanical characteristics, its thermal conductivity is relatively low. Therefore, we worked on the development of a silicon nitride ceramic with both excellent mechanical properties and high thermal conductivity.

1. はじめに

低炭素社会の実現に向けて導入が進むハイブリッド車、太陽光・風力発電、燃料電池などのエネルギー効率向上および省エネルギーのためにカギとなるパワー半導体デバイス（電圧や直流/交流変換などを制御用に最適化された電力機器用半導体素子を使用した部品）の開発は盛んにおこなわれているが、それを支える基板材料の開発はあまりおこなわれていない。パワー半導体デバイス（以下、パワーデバイスと略す）に使われる半導体素子は、通常の半導体素子と比較して高電圧、大電流といった環境で使用されるので、素子自体から高い発熱があり、素子

の正常作動を維持するには適正な温度を維持する必要がある。このため熱を逃がすための工夫が様々されているが、パワー半導体素子の周辺技術を充実させることも素子技術同様、重要視すべきものと考えられる。

自動車のハイブリッド・プラグインシステム化のような高電力用のパワーデバイスを支える基板材料としては高い放熱性、機械的性質に優れた絶縁材料が要求されている。また太陽光発電の集光式システムの採用や出力向上により、高い放熱性・耐候性に優れた絶縁材料の必要性が高まっている。このような分野で活躍するパワーデバイスの性能を十分に発揮させるためには熱伝導率だけではなく、機械的・耐環境的信頼性にも優れた絶縁材料が不可欠であり、市場からのニーズが強くなってきている。

現状、高い熱伝導率を持った基板材料としては窒化アルミニウムが挙げられるが、機械的特性・耐候性において信頼性に劣り懸念が持たれている。一方、市販されている窒化ケイ素は優れた機械的性質・耐候性をもちながらも熱伝導率が低いといった問題がある。そこで窒化珪素の優れた機械的特性・耐候性を維持しつつ、低い熱伝導率といった問題を克服し、パワーデバイス用基板としての適用を目指して材料開発に取り組んでいる(NEDO イノベーション実用化開発助成事業として採択)。今回はこのパワーデバイス用高強度・高熱伝導窒化ケイ素基板について紹介する。

2. 製造プロセス

図1に高強度・高熱伝導窒化ケイ素基板の製造プロセスを示す。始めに窒化ケイ素粉末、焼結助剤、溶媒を秤量しボールミルを用いて粉碎・混合し、泥しよう(スラリー)を調製する。このスラリーを塗工機にセットしシートを作製する。次にシートは所定のサイズにカットした後、電気炉を用いて脱脂・雰囲気焼成を行い焼結体となった基板を作製する。最後に仕上げ加工により必要に応じた製品形状に仕上げる。

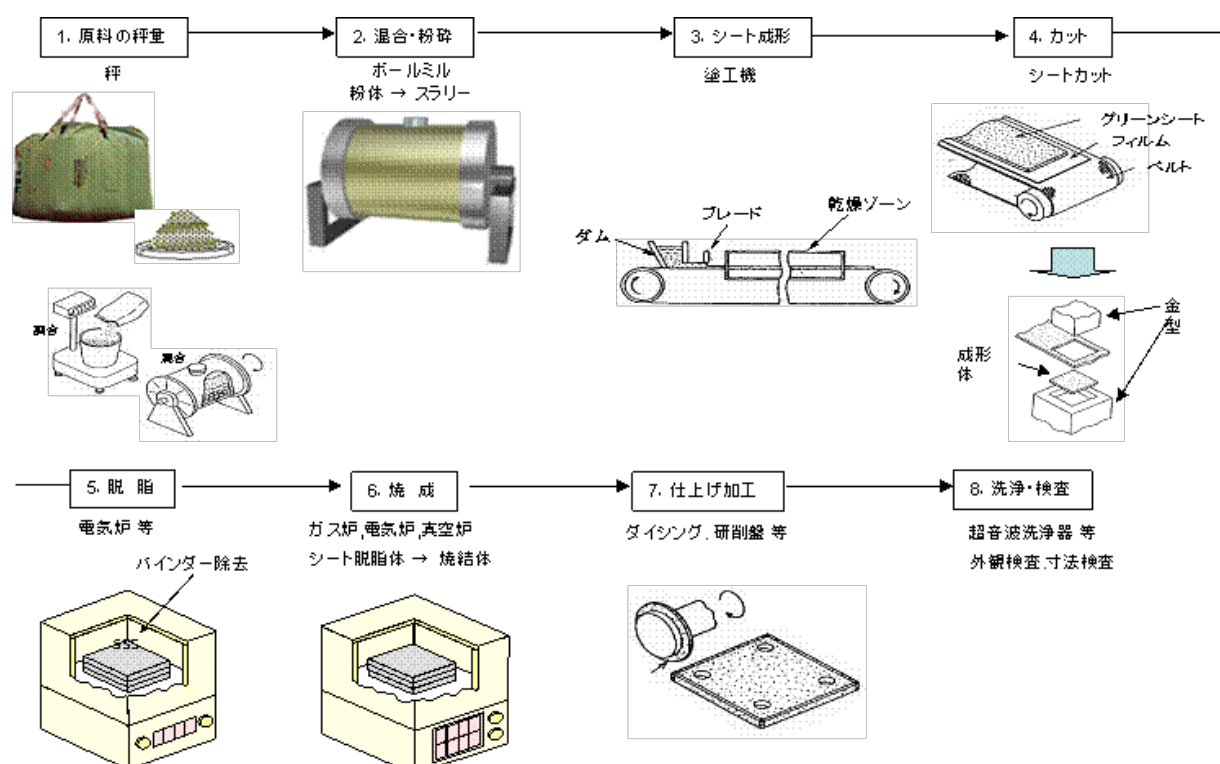


図1 製造プロセス

3. 特徴

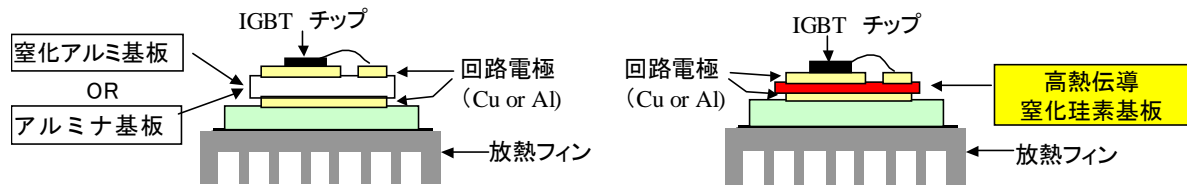
高強度・高熱伝導窒化ケイ素基板、アルミナ基板、一般的な窒化ケイ素、窒化アルミニウムの特性を表1に示す。一般的な窒化ケイ素セラミックスと比較して熱伝導率は数倍向上している。今回開発した高強度・高熱伝導窒化ケイ素は以下の特徴を有する。

- (1) 高い強度/破壊靱性特性をもっており壊れにくく信頼性に優れている。
- (2) 高強度なので薄板化により熱伝導を高めることができる。
- (3) 耐候性に優れている。(窒化アルミニウムと比較)

表1 材料特性表

	本開発品	窒化ケイ素	アルミナ	窒化アルミニウム
密度 g/cm^3	3.3	3.2	3.9	3.3
強度 MPa	800	820	440	350
熱伝導率 $W/m \cdot K$	100	23	32	170
破壊靱性 $MPa \cdot m^{1/2}$	8	6	4	3

各種基板材料を使用した場合のパワーデバイスの放熱構造例を図2に示す。



- ・アルミナ基板は熱伝導性が低く高発熱モジュールへの適用が難しい。
- ・窒化アルミ基板は熱伝導性が高いが、強度/靱性が低く熱サイクルや振動に弱い。
- ・高強度であるので板厚を薄くすることで、放熱性に優れたモジュールを構成できる。
- ・強度/靱性が高いため、ヒートサイクルや振動に強く、モジュールの構造を簡略化できる。

図2 パワーデバイスの放熱構造例

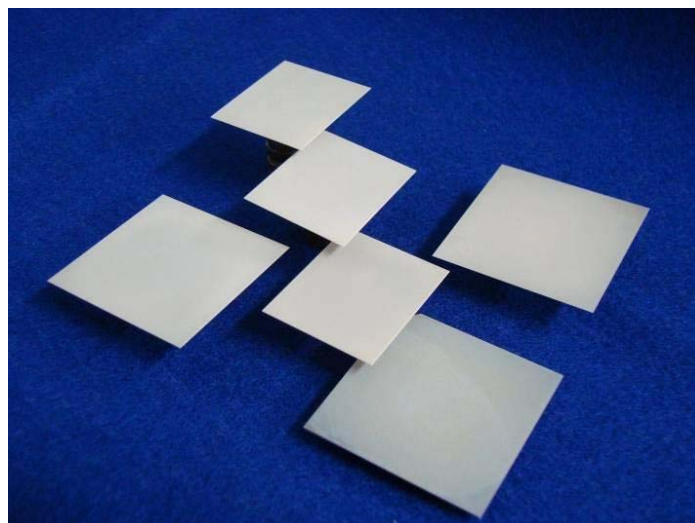


図3 本開発の高強度・高熱伝導窒化ケイ素基板

4. 適用分野

国の Cool Earth-エネルギー革新技术計画では 2020 年には太陽光発電導入量を 2005 年度比 20 倍、ハイブリッドシステム・電気自動車販売導入数の 50%等が目標として定められているが、現状システムのコストが高く導入が進んでいない。パワーデバイスはこれらのシステムのエネルギー効率を高め、電気エネルギーを効率的に活用するために不可欠であり、今後市場の年間成長率は年平均で 8~9%と推定されている。特にハイブリッドカーの駆動用インバーターとして採用されているパワーデバイスは、さらなる信頼性の向上に対するニーズが高く、絶縁基板として現在主流である窒化アルミニウムから高熱伝導窒化ケイ素に置き換わっていくことが期待されている。また、集光型太陽光発電では発電素子の温度が 400℃以上にもなるため、耐熱性があり信頼性が高い高熱伝導窒化ケイ素基板が採用される見通しである。

5. おわりに

セラミックス放熱基板は、ここで述べたパワーデバイス用途だけでなく、半導体レーザー用、高輝度 LED 用など次世代のデバイスを支える重要な材料として不可欠なものである。昨年度より高強度・高熱伝導窒化ケイ素基板の量産が可能となる設備投資を開始しており、2011 年度には量産プロセスを完成させる予定である。

謝辞

本開発は新エネルギー・産業技術総合研究開発機構 (NEDO) の補助事業として実施されたものである。