

クルマ社会の発展に貢献する材料・部品技術

Material and Component Technologies Contributing to Expansion of Automotive Society

那波 隆之 山田 大樹 佐藤 光

■ NABA Takayuki

■ YAMADA Taiju

■ SATO Akira

環境適合性の高い電気自動車 (EV) やハイブリッド電気自動車 (HEV) などにはパワーエレクトロニクスシステムが不可欠で、半導体とともに、優れた機能材料や部品が要求される。また、利便性や快適性を更に向上させるために新しい機能を持った材料が、ガソリン車などを含む自動車全般で適用され始めている。

東芝マテリアル(株)は、材料と部品に関する高い技術ポテンシャルを基に、EV及びHEV用パワーコントロールユニット(PCU)の熱対策に適した高強度で高熱伝導かつ高信頼性のセラミックス基板、スマートキーの薄型化に有効な高感度アモルファス(非晶質)アンテナ磁心、及び可視光に高い活性を持つ光触媒などの優れた機能材料・部品を開発した。これらは、クルマ社会の発展へ向けた貢献が期待できる。

Various functional materials and components including semiconductors are required for the power electronics systems that are essential for electric vehicles (EVs) and hybrid electric vehicles (HEVs). Furthermore, new functional materials are beginning to be applied to the improvement of user-friendliness and comfort in vehicles of all types.

Toshiba Materials Co., Ltd. is promoting the development of state-of-the-art automotive functional materials and components based on its advanced level of technological potential, including highly reliable substrates for semiconductors providing high strength and high thermal conductivity, high-sensitivity amorphous thin antennas for smart keys, and the RENECAT™ high-activation photocatalyst with high reactivity under visible light.

1 まえがき

低炭素社会の実現に向けて、電気自動車 (EV) やハイブリッド電気自動車 (HEV) など環境適合性の高い自動車普及し始めている。これらには、これまで必要とされなかったパワーエレクトロニクス関連の機能材料・部品が使われており、それらの機能向上が求められている。また、従来の自動車を含めてこれまで以上の快適性や利便性が求められており、それへの対応のためにも新しい機能を持つ材料や部品が要求されている。

東芝マテリアル(株)は、東芝グループ内で金属及びセラミックスを中心とした機能材料・部品の開発と製造を行っており、そこで培った優れた技術を生かして、ユーザーからの多様な高度な要求に応えている。ここでは、それらの中から、EVやHEVの機能、性能を支える半導体用高熱伝導窒化ケイ素絶縁基板、及び自動車全般の快適性を支えるスマートキー用アモルファスアンテナ磁心と可視光応答型光触媒について、技術と特長を述べる。

2 高熱伝導窒化ケイ素基板

EVやHEVのキーパーツであるPCUには、パワー半導体の電氣的絶縁とその放熱の役割を兼ねた高熱伝導度の絶縁基

板が必要とされる。PCUは、自動車特有の運転状況から様々な温・湿度環境下にさらされ、また、低燃費化や省スペース化のために、常に小型・軽量化(高密度実装)が求められている。このため、前述の特性の他にも、半導体に近い熱膨張率、熱サイクルに対する高い信頼性、及び高い機械的強度など、多様な要求がなされている。更に、次世代の半導体素子として期待されているSiC(炭化ケイ素)素子に対応するには、Si(シリコン)素子よりもはるかに高い温度に耐えられる必要がある。

ここで述べる窒化ケイ素セラミックスは、もともと高強度、高靱性(じんせい)という優れた機械的特性を持ち、ベアリングなどの構造材料として適用されてきた⁽¹⁾。当社は、ユーザーの要求に応えるため、窒化ケイ素の優れた機械的特性にいち早く着目し、原料粉末や、焼結助剤、焼結条件などの最適化により、高強度を維持しながら、従来アルミナ並みだった熱伝導率を4倍以上に向上させたパワー半導体用高熱伝導窒化ケイ素絶縁基板の量産化に、世界で初めて^(注1)成功した⁽²⁾。

基板単体及び活性金属法⁽³⁾による銅貼り回路基板(以下、AMC(Active Metal Brazed Copper)基板と言う)の外観を図1に、高熱伝導窒化ケイ素の主要な特性を表1に示す。

PCUへの実装事例から、高熱伝導窒化ケイ素の優れた機械的特性を生かした特長として次の3点が挙げられる。

(注1) 1999年12月時点、当社調べ。

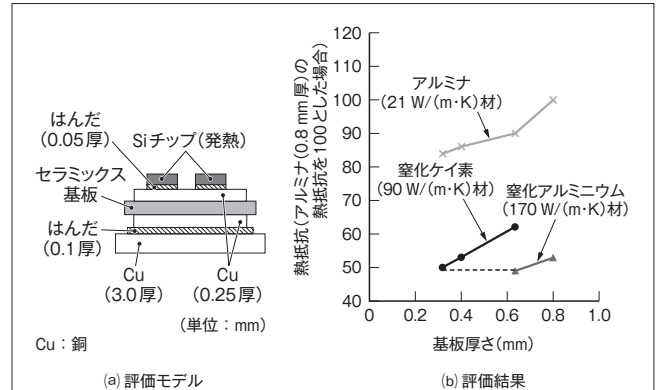
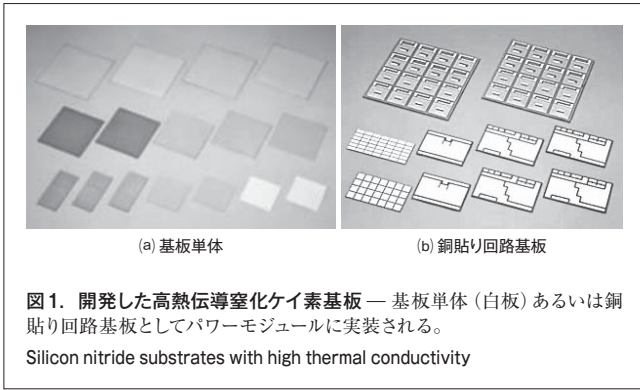


表1. 高熱伝導窒化ケイ素の主要な特性
Main characteristics of silicon nitride, alumina, and aluminum nitride substrates

項目	特性		
	窒化ケイ素	アルミナ	窒化アルミニウム
熱伝導率 (W/(m・K))	80~90	21	70~250
抗折強度 (MPa)	650	310	340
破壊靱性 (MPa・m ^{1/2})	6~7	3~4	2.5~3.5
線膨張係数 (10 ⁻⁶ /K)	3.4	7.3	4.6
絶縁耐力 (kV/mm)	14以上	15以上	14以上
誘電率	9.0	9.5	8.8

- (1) 薄型化が可能 従来のアルミナや窒化アルミニウムよりも厚さを薄くした実装が可能である。このことはPCUの高出力化と小型・薄型化に有効であり、半導体デバイスの両面から放熱させるために絶縁基板を複数枚積層する構造⁽⁴⁾の場合には、薄型化の効果は更に顕著となる。
- (2) 高い耐クラック性 PCUの大電流化や低熱抵抗化のため銅回路板を厚くすると、AMC基板のセラミックスに生じる応力が大きくなり、耐クラック性は一般に低下する傾向を示すが、高熱伝導窒化ケイ素製のAMC基板では、銅回路板を厚くしても、熱サイクルに対する高い信頼性(耐クラック性)がある⁽⁵⁾。
- (3) 超音波接合が可能 パワー半導体の生産性や接合信頼性の向上のために、AMC基板などの銅回路パターン上へ電極端子を直接超音波接合するケースが増えつつある。超音波接合時の衝撃の大きさから、アルミナや窒化アルミニウムではクラック発生の懸念があったが、窒化ケイ素基板の適用によってその懸念が払拭される。

以下に、高熱伝導化及び薄型化の効果と絶縁抵抗の温度依存性について述べる。

2.1 高熱伝導化と薄型化の効果

高熱伝導窒化ケイ素、アルミナ、及び窒化アルミニウムについて、各基板の厚さと熱抵抗の関係を図2に示す⁽⁵⁾。

高熱伝導窒化ケイ素基板の熱抵抗は、その厚さを0.32 mmとすることで、窒化アルミニウムの厚さ0.635 mmと同等になる。

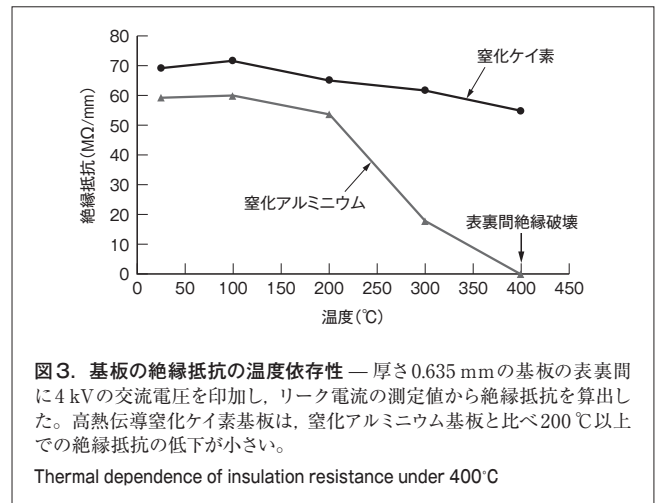
また、高熱伝導窒化ケイ素基板では、厚さに関わらずたわ

み量が他材料の1.5倍以上となり、薄くしても割れずに大きくたわむことができる⁽²⁾。このため、薄い窒化ケイ素基板を採用することで、例えば、鉛フリーはんだを使用したときの基板リフロー後のベース反り量の増大や、前述の基板を複数枚積層した構造を適用したときの基板の変形に対して、信頼性マージンを大きくとることができる。

2.2 絶縁抵抗の温度依存性

次世代の半導体としてSiC素子やGaN(窒化ガリウム)素子の本格的な実用化が迫るなか、半導体素子のジャンクション温度の上昇が想定され、パワー半導体で使用される基板の温度条件は、400℃程度の高温側へシフトすると言われている。

400℃までの絶縁抵抗の温度依存性を、高熱伝導窒化ケイ素基板と窒化アルミニウム基板(170 W/(m・K)材)について評価した結果を図3に示す。窒化アルミニウム基板は200℃以上で絶縁抵抗の低下が顕著であるが、高熱伝導窒化ケイ素基板では温度上昇による絶縁抵抗の低下は小さく、高温での



使用に対する絶縁耐圧マージンが低下しない。

高熱伝導窒化ケイ素基板は、アルミナや窒化アルミニウムと比べ特性的には優れるが、まだ価格が高く適用範囲が限られている。今後、材料制御技術の改善によって熱伝導率の更なる向上を図るとともに、価格の低減を推進し、自動車制御システムへの適用を増やしていく。

3 スマートキー用アモルファス アンテナ磁心

自動車の快適性を支え、セキュリティ上も優れた性能を持つスマートキーでは、情報の入り口となる通信アンテナに対して、人が持ち運ぶための小形・軽量化と高感度という相反する要求がある。特にカード型スマートキーのアンテナには、体積だけでなく薄型化や耐衝撃性も必要である。

アモルファス アンテナ磁心は金属の薄帯を積層した部品であるため、もともと耐衝撃性に優れている。受信時の損失が低減できれば共振の鋭さが増し、受信感度が良くなることから、材料を磁化する際の渦電流損失の低減に目標を定め、高感度アンテナ磁心の開発を行った。

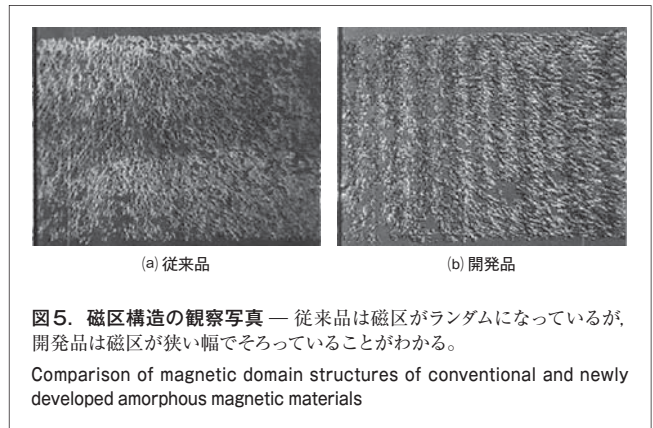
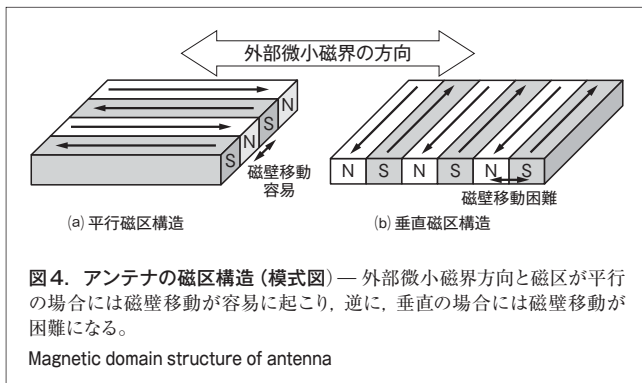
3.1 アンテナ磁心の渦電流損失低減

一般的に渦電流損失は、磁区の磁壁移動よりも磁化回転のほうが小さいことが知られている⁽⁶⁾。棒状の磁性体(アンテナ)を考えると、図4(a)のように外部磁界と磁区が平行の場合には、磁化される際に磁壁移動が容易に起こる。逆に図4(b)のように外部磁界と磁区が垂直の場合には、磁壁移動が困難になり、磁化の回転によって磁化が進むため、渦電流損失が少なくなる。

磁壁移動を抑制する現象のことをピニング⁽⁶⁾と呼んでいる。今回、特殊熱処理システムを開発し適用することで、アモルファス磁性材料の微細構造中に細かなピニングサイトが配置でき、図5(b)に示すように、外部磁界に対して磁区を垂直方向に狭い幅でそろえることが可能になった。

3.2 アンテナ磁心の性能評価

開発したアモルファス材料を用いてアンテナ磁心(12×2×2 mm)を試作し、周波数100 kHzでの出力電圧(V_o)と受信



感度(Q_d)を測定したところ、次のような結果が得られた。

開発品： $V_o=850$ mV, $Q_d=238$

従来品： $V_o=475$ mV, $Q_d=128$

ここで、 V_o はアンテナ回路内の出力電圧で、 Q_d は共振の鋭さを示し、共振周波数を f_0 、-3 dBの周波数を f_1 、 f_2 として $f_0/(f_2-f_1)$ により算出したもので、数値が大きいほど受信感度に優れる。

開発品は、従来品に比べ約1.8倍の出力電圧と受信感度を示した。したがって、従来品と同一感度を得るにはアンテナ磁心の厚さを約55%減らすことができ、このアモルファス磁心でLF(Low Frequency: 30~300 kHz)帯用の薄型受信アンテナが実現できる。

今後、自動車の利便性及びセキュリティ性能の向上要求は更に厳しくなると推測され、薄型のアモルファス アンテナ磁心の貢献が期待できる。

4 可視光応答型光触媒“ルネキャット™”

自動車内の臭いをなくすことは快適性を向上させる大きな要素である。臭いの除去には消臭機や芳香剤など様々な方法が取られているが、当社は、自動車からエネルギーの供給を受ける必要がなく、走行中又は駐車中に関わらず、自然光だけで消臭、抗菌、及び抗ウイルスなどの効果を発揮できる可視光応答型光触媒ルネキャット™を開発した。

これは、これまで培ってきた材料設計技術、及び粉体の合成や、複合、ナノ化、分散などのプロセス技術を生かし、業界で初めて^(注2)酸化タンゲステンを主原料とした高活性な可視光応答型光触媒である。これまで自動車に使用されてきた光触媒は、その超親水性を利用して、サイドミラーの防滴処理や車内に設置される空気清浄機内の消臭フィルタなどに利用されてきた。しかし、従来の光触媒は紫外線(UV)により効果を発揮するため、UVの当たる自動車の外側に使用するか、ある

(注2) 2008年2月時点、当社調べ。

いは別にUV光源を持たなければならず、自動車での使用は限定されていた。

4.1 可視光応答型光触媒の結晶構造制御による光吸収帯域の拡大

ルネキャットTMは100 nm以下の微粒子で、表面及び結晶構造を組織制御することによって、有効な光吸収帯域の範囲を広げ、UVだけでなく可視光でも高い触媒性能を実現した(図6)。

ルネキャットTMは、LED(発光ダイオード)電球や蛍光灯を使用した一般家庭のリビングルームの明るさ(250 lx程度)や、UVカットガラスを通した外光でも高い光触媒性能を発揮するため、自動車内で特別な光源を必要とせずに使用できる。

4.2 消臭・抗菌・抗ウイルス効果

ルネキャットTMは自動車内の光で、アセトアルデヒドやホルムアルデヒド、トルエンなどのVOC(揮発性有機化合物)ガス、アンモニアやトリメチルアミン、硫化水素、メチルメルカプタンの4大悪臭、及び窒素酸化物(NO_x)の分解と消臭が可能である(図7)。また、黄色ブドウ球菌、大腸菌、MRSA(メチシリン耐性黄色ブドウ球菌)、O157、緑膿(りよくのう)菌、及び

肺炎桿菌(かんきん)などの細菌類に対する高い抗菌性や、H9N2亜型鳥インフルエンザに対する抗ウイルス性も確認されている。これらの効果で自動車内をより快適にして、安全・安心な環境を提供できると考えられる。

自動車内で光触媒を使用するためには、光触媒を基材に塗布あるいは固着させる必要がある。当社は、繊維などへの固着に適した水系分散液(スラリー)と、無機又は有機を問わず基材に薄く均一な膜を形成できる塗料を開発している。その他にも様々な形態のルネキャットTM応用製品の開発を進めており、自動車も含め、様々な用途や製品への適用を通して、快適で安全・安心な生活環境を実現していきたいと考えている。

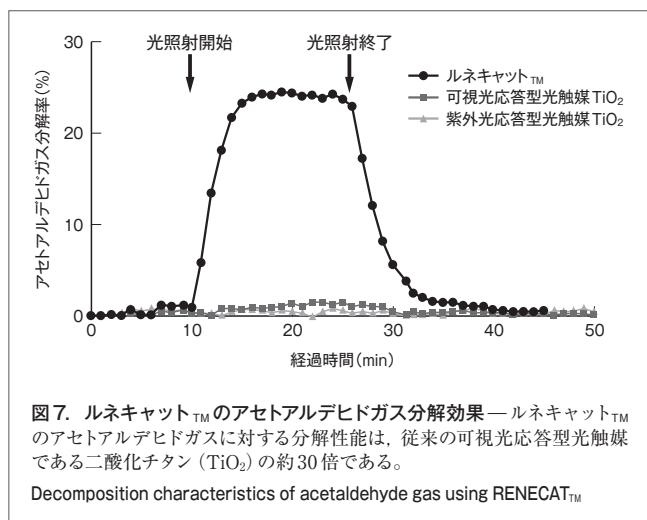
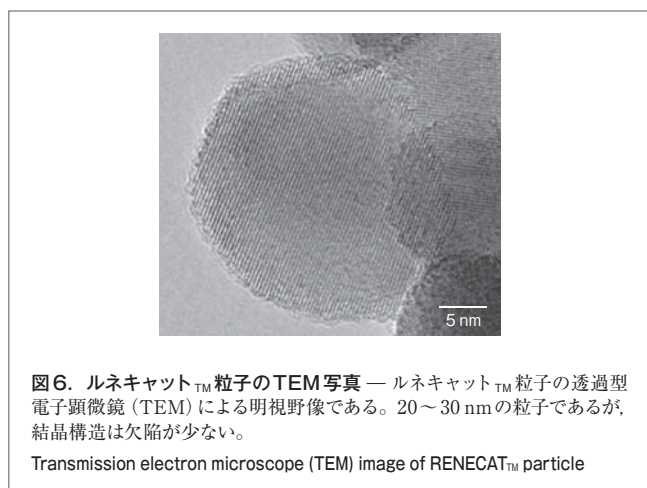
5 あとがき

EVやHEV用PCUの小型・薄型化に有効な半導体用高熱伝導窒化ケイ素絶縁基板、スマートキー用アモルファスアンテナ磁心、及び特別な光源がなくても自動車内の消臭などに効果がある可視光応答型光触媒について、その特長や材料技術の一端を述べた。

今後もユーザー側からの要求に合った機能材料・部品の開発を続け、クルマ社会への更なる貢献を目指していく。

文 献

- 小松通泰. セラミックベアリングの開発. セラミックス. 39, 8, 2004, p.633-638.
- 那波隆之, 他. 高熱伝導窒化ケイ素回路基板の開発と実用化. FCレポート. 24, 4, 2006, p.149-152.
- 田中俊一郎. 接合技術. セラミックス. 5, 3, 1990, p.200-204.
- 小谷和也, 他. "実装における技術動向". 平成21年電気学会全国大会講演論文集, 4, S20. 北海道, 2009-03, 電気学会, 2009, p.15-18.
- 福長 脩, 他. セラミック機能化ハンドブック. 東京, エヌ・ティー・エス, 2010, 644p.
- 金子秀夫, 他. 磁性材料. 日本金属学会, 1977, 207p.



那波 隆之 NABA Takayuki

東芝マテリアル(株) 経営企画部 事業戦略担当専事。
ファインセラミックス基板の事業戦略の企画立案に従事。日本機械学会、日本金属学会会員。
Toshiba Materials Co., Ltd.



山田 大樹 YAMADA Taiju

東芝マテリアル(株) 経営企画部 事業戦略担当専事。
アモルファス磁性部品などの部品事業戦略の企画立案に従事。
Toshiba Materials Co., Ltd.



佐藤 光 SATO Akira

東芝マテリアル(株) 経営企画部 事業戦略担当主務。
光触媒製品などの新規事業戦略の企画立案に従事。
Toshiba Materials Co., Ltd.