

高熱伝導性 AlN 基板および各種メタライズ品^{*1}

熊谷 正人^{*2} 前田 榮造^{*3} 小笠原 一紀^{*4}

High Thermal Conductivity AlN Substrate and Its Metallized Products

Masato Kumagai, Eizo Maeda, Kazuki Ogasahara

1 はじめに

電子機器の高速化、小型・軽量化、高信頼性化への要求が高まるにつれて、半導体素子の大型化、高集積化、高出力化の進展が著しい。これに伴い、半導体素子を搭載する基板も多様化している。AlN (窒化アルミニウム) セラミックスは、熱伝導率がアルミナの10倍程度あり、かつ Si に近い熱膨張係数を有する。素子の高集積化、高出力化による発熱量の増大および素子の大型化に伴う Si と基板の熱膨張のミスマッチの増大に対処する基板材料として注目された。さらに AlN は、基板に求められる他の電氣的、機械的特性でもアルミナと同等またはそれ以上であるため、新しいセラミックス基板として実用化が急速に進んでいる。これに対し、同様の高熱伝導性セラミックスでも、BeO (ベリリア) は強い毒性があり、SiC (炭化ケイ素) は耐電圧が小さく誘電率が大きいなどの問題があるため、AlN に比べ基板としての使用は極めて限定される。

このような状況下で、当社は AlN 基板および各種メタライズ品の製造のための要素技術を固めるとともに、量産のための製造プロセスを確立し、ユーザーニーズにマッチした製品開発を進めている。

2 AlN 白基板

2.1 製造方法

AlN 基板はアルミナ基板と同じドクターブレード法(連続成形法)で成形し、脱脂後、常圧焼結することにより製造する。しかし有機バインダーの種類、脱脂・焼成方法はアルミナ基板の技術をそのまま適用できないため、開発過程ではこれらの最適化により、量産が可能な技術を開発した。

2.2 高熱伝導化

高熱伝導の AlN 焼結体を得るため、粒内の固溶酸素、粒界析出物、気孔および粒界の空隙を減少させるといった、微細組織および構造を制御する必要がある。含有酸素の多い AlN 焼結体では、結晶格子中に固溶する酸素に起因するフォノンの散乱の増大や低熱伝導性の粒界析出物のため熱伝導率が低下する。このことから AlN 焼結体の高熱伝導化のため、以下の方策を採用した。

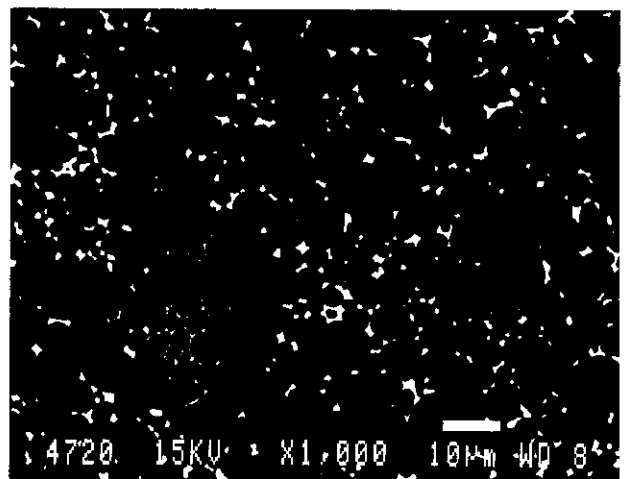


Photo 1 SEM micrograph of AlN (thermal conductivity 180 W/m·K)

- (1) 酸素のピックアップのできるだけ低い製造プロセスを採用する。
- (2) 緻密化が完了するまで、液相焼結に必要な酸素を残留させその後酸素を低減させる。また、粒内酸素を低減させる助剤およびその配合を選定する。

Photo 1 に当社基板の SEM 像を示す。粒子の大きさがほぼ同じで、気孔もなく、粒界相も薄く均一な分布を示している。

2.3 基板の特徴

Table 1 に当社の開発した基板の量産時での品質を示す。高熱伝導タイプ (H) および通常タイプ (R) がある。どちらの基板も焼成したままの面で、表面が平滑で平坦な基板である。また大型基板 (8 インチ□) やスルーホール・スリット基板の製造も可能である。このため成形・脱脂・焼成プロセスで種々の工夫がなされている。

3 各種メタライズ基板

AlN 基板上のメタライズ方法には、アルミナ基板と同様、厚膜印

*1 平成4年1月8日原稿受付

*2 川崎伊材(株) 新素材事業部電子材料部 主任部員(課長)・工博

*3 鉄鋼研究所 耐熱無機材料研究室 主任研究員(課長)

*4 新事業本部 新素材事業推進部 主査(課長)

Table 1 Properties of developed AlN substrate

| Items | Properties | |
|---|----------------------|----------------------|
| | R. grade | H grade |
| Thermal conductivity (W/m·K) | 180 | 200 |
| Electrical resistivity at RT (Ω·cm) | >10 ¹⁴ | >10 ¹⁴ |
| Thermal expansion coefficient (RT~200°C) (K ⁻¹) | 3.9×10 ⁻⁶ | 3.9×10 ⁻⁶ |
| Dielectric constant (at 1 MHz) | 4.9×10 ⁻⁶ | 4.9×10 ⁻⁶ |
| Dielectric loss at 1 MHz (tan δ) | 8.9 | 8.9 |
| Breakdown voltage (kV/mm) | >30 | >30 |
| Density (g/mm ³) | 3.30 | 3.30 |
| Modulus of rupture (kg/mm ²) | 35 | 35 |
| Surface roughness R _a (μm) | <0.5 | <0.6 |
| Warping (mm) | <0.1/50 mm | <0.1/50 mm |

刷法、銅板接合法、高融点金属法、薄膜形成法（物理蒸着またはメッキなど）などがある。他の基板に比べ AlN 基板上へのメタライズ技術の開発が遅れたため、AlN 基板の実用化が当初見込みより遅れていた。しかし、最近のこれらメタライズ技術の進歩により、パワーモジュールを中心に AlN 基板の実用化が急速に進展し始めている。当社でもこれらメタライズ技術を開発し、商品化を進めている。

3.1 銅接合基板

当社の銅接合基板は、活性金属を添加した Ag-Cu ろう材を用いた接合法によって製造される。本製品の主要特性を Table 2 に示す。白基板として当社製の高熱伝導かつ高強度のものを使用したほか、ろう材組成や製造プロセスの開発により、高放熱性、高電気絶縁性、高接合強度、優れたワイヤボンディング性などを実現している。

銅接合基板はパワートランジスタモジュール、IGBT (insulated gate bipolar transistor) モジュールなどを中心に市場が急速に拡大している。従来の高融点メタライズをベースにした実装方法に比べ組立工程、モジュールの構造が簡単になっている。

3.2 厚膜印刷基板

アルミナ基板を用いた厚膜ハイブリッド IC 用のペーストシステムはほぼ完成の域に達しているが、AlN 用は満足すべき特性のものが開発されていなかった。当社ではペーストメーカーとの共同開発により Table 3 に示すような Ag-Pd 系の導体ペーストを開発し、実用に供しているほか、さらに低抵抗の導体の開発にもめどがついている。抵抗ペーストとしては、上記導体との適合性に優れる市販ペーストが 10 Ω~10 KΩ/□ の範囲で使用できる。当社の AlN 基板は、これらのペーストシステムによく適合するだけでなく、as fired の平滑表面を有するため、ハイブリッド IC 用としては最適である。高周波用途を中心にハイブリッド IC への適用が始まっているほか、高周波ダミーロードを始め多くの製品への適用が検討されている。

3.3 その他のメタライズ製品

上記の銅接合、厚膜印刷のほか、Wメタライズ基板、メッキ法などによる Cu, Au その他の薄膜メタライズ基板を開発しており、多様なニーズへの対応が可能である。

Table 2 Characteristics of Cu-bonded AlN substrate

| | | |
|---|-----------------------------------|--------------------------|
| Number of thermal cycling without cracking (-65~+150°C) | | 100~300 |
| Thermal shock resistance (RT~400°C) | | >5 cycle |
| Circuit pattern | Cu thickness | max 0.3 mm |
| | Width of Cu pattern | min 0.5 mm |
| | Gap in Cu pattern | min 0.5 mm |
| | Allowance | ±0.25 mm |
| Electrical properties | Cu electrical resistivity | <2.0 μΩ·mm |
| | Electrical resistivity (DC 500 V) | >1×10 ¹¹ Ω |
| | Breakdown voltage | >1.7 kV/mm |
| | Humidity resistance | 85°C, 85%RH |
| Peeling strength | | >49 Pa/m (5 kgf/cm) |
| Thermal expansion coefficient of Cu (300°C) | | 7.6×10 ⁻⁶ /°C |
| Solderability | | >95% |
| Warping | | <0.1/50 mm |

Table 3 Characteristics of thick film conductor and resistor fired on AlN substrate

| | | |
|-----------|---------------------------|----------------------------------|
| Conductor | Firing condition (in air) | 800~900°C×10 min |
| | Sheet resistivity | 180 mΩ/□ |
| | Sheet wet | >98% |
| | Solder leach | 260°C, 60 Sn/40 Pb, 10 s×4 cycle |
| | Adhesion strength | |
| | Initial | 3.7±0.8 kgf/4 mm ² |
| | After aging (48 h) | 2.2±0.6 kgf/4 mm ² |
| | After aging (300 h) | 2.5±0.7 kgf/4 mm ² |
| Resistor | Firing condition (in air) | 850°C×min |
| | Sheet resistivity | 10, 100, 1000, 10000 (Ω/□) |
| | TCR*1) | |
| | 100, 1000 (Ω/□) | <±100 ppm/°C |
| | 10, 10000 (Ω/□) | <±200 ppm/°C |

*1) Temperature coefficient of resistivity

4 その他の AlN 製品—複雑形状品およびヒーター

4.1 複雑形状品

厚さ 1 mm 以下程度の AlN 基板は前述したドクターブレード法によって製造される。しかし、ユーザーのさまざまな要求形状に応えるため、当社では多様な成形方法を駆使してさまざまな形状の AlN 製品を製造している。これらの複雑形状品の製造に当たっては、成形方法のみならず、それぞれの方法に適した原料処理、焼成方法を取ることで製造を可能としている。

プレス成形では、1軸加圧による成形法、CIP (静水圧プレス)

を用い、最大 \square 300 mm までの成形が可能である。押出成形では、パイプ形状など同一断面形状をもつ長尺物の成形ができる。鋳込み成形、射出成形では、パイプ、ポピン、るつぼ、その他の複雑形状品が製造される。

4.2 ヒーター

高い熱伝導率と耐熱衝撃性を持つ AlN セラミックス絶縁体を利用したセラミックスヒーターを開発し、商品化を進めている。発熱体には用途に応じて、金属箔、特殊な発熱抵抗体のパターンを印刷、焼き付けたもの、抵抗巻線などが使用される。形状は、プレートのほか、パイプ、リングなど種々のものが製作可能である。

Fig. 1 は、AlN ヒーターの昇温特性を従来のアルミナヒーターとの比較で示したものである。アルミナは 60 W 負荷時熱応力破壊するが、AlN の場合 120 W 負荷でも破壊しない。また、低負荷時 (15 W) ではヒーター表面温度の立上りが早いことが分かる。Fig. 2 は、温度分布の差を調べたものであるが、この場合 500°C での表面内温度差は AlN で 25°C であるのに対し、アルミナでは 83°C と大きくなっている。

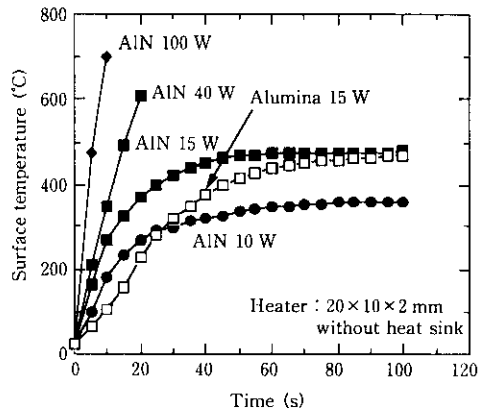


Fig. 1 Surface temperature changes of AlN heater under different loads

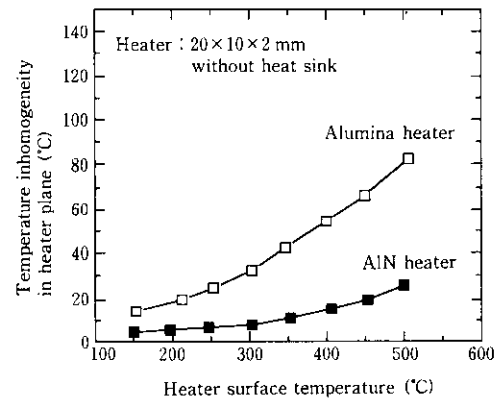


Fig. 2 Changes of temperature inhomogeneity in a heater plane

AlN ヒーターの特長をまとめると以下のようになる。

- (1) 高耐熱衝撃性であるため、急熱急冷が可能である。
- (2) 高速昇温が可能のため、ヒーターの予熱が不要となる。
- (3) 高い電力密度の投入が可能のため、機器の小型、軽量化が可能となる。
- (4) AlN セラミックス自体が均熱体として働くため、従来の均熱板が不要となる。

5 おわりに

当社で開発した AlN 焼結体および各種メタライズ品は、高熱伝導性をはじめ、IC 基板やセラミックスヒーターとしての優れた特性を有しており、エレクトロニクス分野を中心に着実に用途が拡大している。

今後、さらに高熱伝導性の基板を開発するなどの品質向上をはかるとともに、ユーザーニーズにマッチした多様なメタライズ品の品揃えと信頼性の向上に取り組んでいく所存である。これらの取組を通じて AlN がアルミナなどの従来の材料では成しえなかった分野での発展に寄与することを念じている次第である。

〈問い合わせ先〉

川崎伊材㈱ 東京営業所

〒103 東京都中央区日本橋堀留町 1-10-14 (KCビル7F)

Tel 03 (3668) 2461 Fax 03 (3664) 9592