

無加圧焼成可能な焼結Cu接合ペースト

Sintering Cu Bonding Paste that can be Sintered without Pressure

中子 偉夫 *Hideo Nakako* 石川 大 *Dai Ishikawa* 須鎌 千絵 *Chie Sugama*
川名 祐貴 *Yuki Kawana* 根岸 征央 *Motohiro Negishi* 江尻 芳則 *Yoshinori Ejiri*
イノベーション推進本部 先端技術研究開発センター 要素技術開発部

1 概要

無加圧、水素中、225℃以上で焼成できる焼結Cu接合ペーストを開発した。本材は、被着体Cu, Ni, Au, Agとダイシエア強度40 MPa以上の強固な接合を形成する。接合後の熱伝導率は、 $180 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ であり、チップからの速やかな放熱を可能にする。-40⇔200℃の温度サイクル試験では、2000サイクル後もSAT像に顕著な変化は無く、焼結Ag接合ペーストや高鉛はんだと同等あるいはそれ以上の接続信頼性を有すると考える。この焼結Cu接合ペーストは、生産性、高熱伝導性、接続信頼性、廉価を兼ね備えた優れたパワーエレクトロニクス用接合材といえる。

We developed a sintering Cu bonding paste that can be cured without pressure at 225°C in an H₂ atmosphere. The die-shear adhesive strength with an adherend of Cu, Ni, Au, or Ag is at least 40 MPa. After sintering, the thermal conductivity of the sintered Cu bonding layer is $180 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. The sintered Cu bonding after a thermal cycle test (TCT) of 2000 cycles in the temperature range from -40 to 200°C showed a bonding reliability that is the same as, or better than, sintered Ag bonding or high lead solder. With its high thermal conductivity, high bonding reliability, good productivity, and reasonable cost, this sintering Cu bonding paste is likely to be an ideal bonding material for application in power electronics.

2 新製品の特長

- ・無加圧(225℃, 水素中)焼成で高耐熱, 高信頼性の金属接合が得られる。
- ・空孔の少ないCuの焼結体で、熱をよく伝える ($>180 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)。
- ・焼結体はCuのみで形成され、環境負荷物質を含まない。

3 開発の経緯

パワーデバイス動作温度の高温化は、冷却装置の簡略化、必要デバイスチップ数の低減が可能となり、パワーモジュールの小型軽量化、低価格化の利点がある。このため、各パワーデバイスメーカは、ロードマップにパワーデバイスの動作温度向上目標を掲げて、開発を進めている¹⁾。パワーデバイスの素子の最高動作温度(ジャンクション温度, $T_{j,max}$)は1990年に125℃, 2005年に150℃となっており、2016年には175℃の発表が始まり、さらに化合物半導体(SiC, GaN)デバイスを用いた200–250℃動作の研究が開始されている。

従来、高鉛はんだは、はんだの中では高い接続信頼性を示すことから、パワーデバイスに広く使用されており、鉛を高濃度を含む材料であるがRoHSの規制例外となっている²⁾。しかし、高鉛はんだは、 $T_{j,max} \geq 175^\circ\text{C}$ 動作においては、パワーサイクル信頼性が不足することが問題となっている³⁾。また、熱伝導率が他の構成部材より低く、熱のボトルネックとなることも課題である。

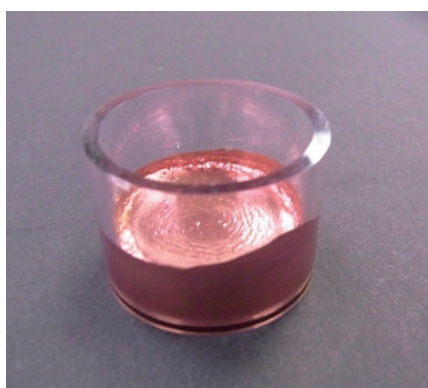
4 技術内容

無加圧で接合可能な焼結Cu接合ペーストを開発した。この材料は無加圧、水素雰囲気中、225℃以上で焼成できる。焼成時に水素を必要とするが、水素が被着面の酸化膜も還元除去するため、Au, Ag以外にCu, Ni, Pdへの接合も可能である。熱伝導率は、 $180 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ であり、高鉛はんだの $35 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ に対し十分な高熱伝導率を有するため、パワーデバイスチップからの速やかな放熱が可能になる。-40℃⇔200℃の温度サイクル試験に関して、焼結Ag接合ペーストや高鉛はんだに対し同等かそれ以上の接続信頼性を有している。また、パワーサイクル試験に関しても、 $T_{j,max} = 175^\circ\text{C}$ のパワーサイクル試験において少なくとも高鉛はんだ以上のパワーサイクル信頼性が得られている。さらに、材料価格はAgと比較して廉価であり、高鉛はんだと比較して、環境負荷物質を含まない。これらのことから、焼結Cu接合ペーストは、生産性、高熱伝導性、接続信頼性、廉価を兼ね備えた理想的なパワーエレクトロニクス用接合材だと考える。

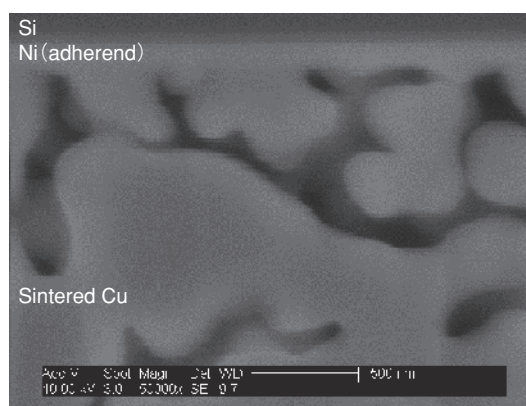
表1 焼結Cu接合ペースト、焼結Ag接合ペースト、高鉛はんだの特性比較

Table 1 Comparison of die-bonding properties among sintering Cu bonding paste, sintering Ag bonding paste, and high-lead solder

Items		Sintering Cu bonding paste	Sintering Ag bonding paste	High-lead solder
Bonding conditions	Environment	H ₂	Air	H ₂ or HCOOH
	Bonding pressure	No pressure	Press (20 MPa)	No pressure
	Temperature	225–300 °C	300–350 °C	350 °C
Adherent materials		Cu, Ni, Au, Ag, Pd	Ag, Au	Cu, Ni, Au, Ag
Properties of bonding layer	Thermal conductivity	180 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	280 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	35 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
	Power cycle reliability	> 40000	—	38000
	Thermal cycle reliability	> 2000	> 2000	> 2000
Material cost		Reasonable	Expensive	Cheap
Environmental friendliness		OK	OK	Pb



Appearance of the sintering Cu bonding paste



Cross sectional SEM of the bonding interface

図1 焼結Cu接合ペーストの外観と接合界面のSEM像

Figure 1 Appearance of the sintering Cu bonding paste and an SEM image of the bonding interface

5 今後の展開

- ・ 10 mm × 10 mm相当以上の大面積チップへの適用 (現行7 mm × 7 mm)
- ・ 非可燃性ガス中で焼成可能な材料の開発 (現行100 %水素中)

【参考文献】

- 1) 進展するパワー半導体の最新動向と将来展望2014-2015, 矢野経済研究所(2014)pp.39-43.
- 2) DIRECTIVE 2011/65/EU, The restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment, The European parliament and the council of the European union, pp.101-105, 2011.
- 3) S. Kim, K.-S. Kim, S.-S. Kim, K. Suganuma and G. Izuta, "Improving the Reliability of Si Die Attachment with Zn-Sn-Based High-Temperature Pb-Free Solder Using a TiN Diffusion Barrier," J. Electron. Mater., vol.38, no.12, pp.2668-2675, 2009.