高温ダイアタッチ向け Cu 被覆 Zn/Al クラッド接合材

山口 拓人*, 池田 靖*, 秦 昌平*, 小田 祐一**, 黒木 一真**

Cu-Coated Zn/Al Clad Solder for High Temperature Die Attachment

Takuto YAMAGUCHI*, Osamu IKEDA*, Shohei HATA*, Yuichi ODA**, and Kazuma KUROKI**

* 株式会社日立製作所横浜研究所生産技術研究センタ実装ソリューション研究部 (〒244-0817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 292)

** 日立金属株式会社電線材料カンパニー電線事業部 (〒319-1411 茨城県日立市川尻町 4-10-1)

*Packaging Technology Solutions Research Dept., Manufacturing Technology Research Center, Yokohama Research Laboratory, Hitachi, Ltd. (292 Yoshida-cho, Totsuka-ku, Yokohama-shi, Kanagawa-ken 244-0817)

**Electric Wire Division, Cable Materials Company, Hitachi Metals, Ltd. (4-10-1 Kawajiri-cho, Hitachi-shi, Ibaraki-ken 319-1411)

概要 高温用 Pb フリーはんだとして、Zn-Al はんだの酸化軽減、防止による濡れ性向上を狙った、Zn/Al/Zn クラッド材および Zn/Al/Cu クラッド材を開発した。本材料は Zn, Al, Cu 条を用いてクラッド圧延により製造し、共晶融解反応によりはんだとして機能する。Zn/Al/Cu クラッド材は最表面の Cu 層により Zn および Al の酸化が防止され、かつ、下地の Al 層が Cu の拡散バリア層として働くことで、材料の熔融時まで Cu 被覆が維持された。その結果、100 ppm の高酸素濃度雰囲気での接合を達成した。本材料により作製した継手は Pb はんだの継手よりも -55/150°C での温度サイクル寿命が長いことを確認した。

Abstract

Zn/Al/Zn and Zn/Al/Cu clad materials were developed for high-temperature die attachment. The clad structure is used in an attempt to improve the wettability of Zn-Al solder by preventing oxidation of the Zn and Al. The materials were produced by clad-rolling Zn, Al and Cu strips, which act as solder following eutectic melting at temperatures above 382°C. The wettability, bondability and reliability of the clad materials were evaluated. The Zn/Al/Cu clad materials could be used in an atmospheric oxygen concentration of 100 ppm. The thermal cycle life of chip-to-substrate joints formed using the Zn/Al/Cu clad materials was four times longer than that formed using Pb-Sn-Ag solder.

Key Words: Zn-Al, Oxidation resistance, Die bonding, Pb free solder, Clad material, SiC

1. 緒 言

パワーデバイスは省エネのキーデバイスとして、家電、自動車、発電など幅広い製品に使用されている。パワー半導体素子は一般に Pb はんだを用いてリードフレームや絶縁基板に接合される。しかし、RoHS 指令、ELV 指令を始めとする環境規制への対応のため、Pb フリー化が必要とされている。一方、パワーモジュールの小型化や高効率化を期待し、高温動作可能な SiC や GaN を中心としたワイドギャップ半導体素子の開発が進められている。これらを Si 素子の動作温度を超える温度域で駆動させる場合、温度振幅が大きくなるため、接合部の熱ひずみが増加する。接合材に現行の Pb はんだを用いるとすれば、動作温度の上昇に伴い接合信頼性の低下が懸念される。すなわち、素子接合技術には Pb フリー化だけでなく、高耐熱化・長寿命化の実現が望まれる。

Pb はんだ代替材は、これまでに、Au 系、Bi 系、Zn 系、Ag 焼結系、拡散接合系^{1)~6)}など従来のはんだの枠を超えてさまざまな材料・プロセスで検討されてきている。しかし、信頼性、コストなどの観点で満足できる接合技術は得

られていない。Zn 系はんだについては高融点・高熱伝導・低価格といった特長が期待されており、接合信頼性の高さが明らかになりつつある^{7)~13)}。Zn や Zn-Sn であれば界面反応を抑制し難いが^{7),8)}、Zn-Al であれば被接合材が Ni めっきの場合に Al と Ni の化合物が接合界面に形成され、界面反応の抑制が期待できる⁹⁾。ところが、Zn 系はんだ、特に Zn-Al はんだは酸化しやすい合金である。はんだ組成の改良では酸化の影響を回避しにくく、汎用設備を用いて濡れ性・接合性を確保するのは容易ではない。理想的には材料の製造から保管、接合に至る全工程で酸化を防止することが望ましい。

そこで本研究では、組成ではなく構造の適正化により Zn と Al の酸化を防ぐというコンセプトに基づき、Zn/Al/Zn クラッド材と二種類の Zn/Al/Cu クラッド材を開発した。Zn, Al, Cu 条をクラッド圧延により積層し、Zn や Al を大気および接合雰囲気中に曝さないことを狙った。本材料の濡れ性、接合性、接合信頼性について検討した結果について報告する。

Fig. 1 Schematic image of Zn/Al/Zn clad material and its conceptual bonding process

2. 実験方法

2.1 供試材

2.1.1 Zn/Al/Zn クラッド材 (ZAZ 材)

Zn/Al/Zn クラッド材 (以下, ZAZ 材) 材料の断面模式図および接合プロセスを Fig. 1 に示す。ZAZ 材は Zn 層, Al 層, Zn 層を順に積層した材料であり, Zn 条と Al 条のクラッド圧延により製造した。層厚比は Zn:Al:Zn=3:1:3, 総厚は 0.1 mm とした。ZAZ 材を加熱すると Zn/Al 界面での固相拡散の後, Zn-Al の共晶温度 382°C を超えた時点で Zn/Al 界面から共晶融解反応が生じる。ZAZ 材全体が溶融し, はんだとして機能する。溶融するまで Al が雰囲気中に曝されないことを特徴とし, 接合性を大きく阻害すると懸念される Al の酸化を最小限に留めることを期待した材料である。

2.1.2 Zn/Al/Cu クラッド材 (CZA 材, CAZ 材)

Cu/Zn/Al/Zn/Cu クラッド材 (以下, CZA 材) および Cu/Al/Zn/Al/Cu クラッド材 (以下, CAZ 材) の断面模式図を Fig. 2 に示す。本材料は Zn 条, Al 条, Cu 条のクラッド圧延により製造した。CZA 材の層厚比は Cu:Zn:Al:Zn:Cu = 1:41:16:41:1, CAZ 材の層厚比は Cu:Al:Zn:Al:Cu = 1:8:82:8:1 とし, 総厚は何れも 0.1 mm とした。材料最表面を Cu で保護することで, Zn と Al 両方を雰囲気中に曝さないことを狙いとした。

2.2 濡れ性試験, 表面分析および接合方法

濡れ性試験は赤外線加熱炉 (SA-8000, 山陽精工製) を用いて実施した。Ni/Au めっき Cu 板 (10×10×2 mm) の上に, φ4 mm のポンチで打ち抜いた ZAZ 材, CZA 材, CAZ 材を設置した。N₂ 雰囲気中 (酸素濃度 10 ppm 以下), 昇温速度 100°C/min で 385°C まで加熱し 3 min 保持した。各材料は無加圧で加熱しており, 箔と基板は完全に密着していない。箔の自発的な濡れ広がり性を評価した。比較のため, Zn-6Al 共晶はんだ (内製, 厚さ 0.1 mm, wt.%), 純 Zn はんだ (ニラコ製, 厚さ 0.1 mm, 純度 4 N) を用い, それらの表面は #4000 エメリー紙で研磨してから試験に供した。なお, 純 Zn はんだは 425°C で濡れ性試験を実施した。何れの試験も n = 2 で実施した。

また, 各材料の表面酸化膜厚をオージェ電子分光装置 (Auger Electron Spectroscopy, AES, SAM-670, アルバックファイ製, 加速電圧: 10 kV, 試料電流: 20 nA, ビーム径: 100 nmφ, イオン種: Ar⁺, 加速電圧: 2 kV, エッチン

Fig. 2 Schematic images of Zn/Al/Cu clad materials

グレート (SiO₂ 換算): 4 nm/min) を用いて分析した。サンプルは, 表面を研磨した Zn-6Al 共晶はんだ, 純 Zn はんだ, ZAZ 材, 表面未研磨の ZAZ 材, CAZ 材, 還元 CAZ 材を用意した。還元 CAZ 材は CAZ 材を N₂ + 4%H₂ 雰囲気中 300°C まで加熱し 2 min 保持したサンプルであり, 表面の Cu の色に変化したことから, 還元されたことが確認できる。各材料は表面をアセトン超音波洗浄後, 分析に供した。

接合方法について述べる。Si チップ (5×4×0.3 mm) と各クラッド材と Ni めっき Cu 板を重ね, 0.8 g のおもりを載せた。上記炉を用い, N₂, N₂ + 100 ppmO₂, N₂ + 4%H₂ + 0~100 ppmO₂ 雰囲気中で昇温速度 100°C/min で 385°C まで加熱し 3 min 保持し接合した。ZAZ 材については接合前に表面を 4000 番エメリー紙で研磨してから接合した。比較材として Pb-5Sn-1.5Ag はんだ (千住金属工業製, 厚さ 0.1 mm, wt.%) による接合は最高到達温度 360°C とし, それ以外はクラッド材と同様の条件で接合した。

2.3 信頼性試験

CAZ 材と Pb-5Sn-1.5Ag はんだを用いて Si チップ-Cu 板継手を作製した。接合条件は接合雰囲気 N₂ + 4%H₂ であり, その他の条件は上述と同様である。当該サンプルを -55/150°C (各温度 12 min 保持) の温度サイクル試験に供した。試験は n = 3 で実施した。試験後のサンプルは超音波探傷装置 (Scanning Acoustic Tomography, SAT, FS300, 日立建機製) および走査電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope, SEM, S-4800, 日立ハイテク製) により分析した。

3. 実験結果と考察

3.1 Zn/Al/Zn クラッド材の濡れ性と接合性

Fig. 3 に ZAZ 材 (未研磨) と Zn-6Al 共晶はんだ (研磨), 純 Zn はんだ (研磨) の N₂ 雰囲気 (酸素濃度 10 ppm 以下) での濡れ性試験後の実体顕微鏡写真を示す。図の点線が初期はんだ外形を示す。Fig. 3(a) より Zn-6Al 共晶はんだは初

期のはんだ面積を 100% とすると濡れ面積は 88% に縮んだ。基板を裏返すとはんだが落下する状態であり、全く濡れなかった。Fig. 3(b) より純 Zn はんだの濡れ面積は 314% となり濡れ広がった。一方、Fig. 3(c) より ZAZ 材は表面を研磨していないが、濡れ面積 184% となり、濡れ広がった。

これらの濡れ挙動に及ぼす表面酸化膜厚の影響を検討する。Fig. 4 および Table 1 に各材料の AES 分析による O プロファイルと SiO_2 換算の酸化膜厚をそれぞれ示す。酸化膜厚は ZAZ 材 (未研磨) < 純 Zn (研磨) < ZAZ 材 (研磨) < Zn-6Al (研磨) の順となった。ZAZ 材は研磨することで酸化膜が厚くなる結果となった。凹凸面に対する AES 分析では、エッチングの影となる部分が生じ、深さ方向の分解能が低下する。研磨により表面が荒れたことで、見かけの酸化膜が厚くなったと考えられる。したがって、実際には

Fig. 3 Optical images of wettability test of each solder heated up to each temperature for 3 min in N_2 atmosphere; (a) and (b) with polish before heating, (c) without polish before heating

ZAZ 材 (研磨), ZAZ 材 (未研磨), 純 Zn (研磨) とともに、10 nm 程度の Zn 自然酸化膜が形成されていた可能性が高い。一方、Zn-6Al 共晶はんだについて、O プロファイルは Al プロファイルとよく一致したため、表面酸化膜は Al が主体と示唆された。Zn-6Al 共晶はんだは表面の厚く強固な Al 酸化膜が、Zn-Al 融液と基板との接触を妨げ濡れなかったと考えられる。純 Zn はんだおよび ZAZ 材は表面に Al 酸化膜が存在せず、比較的薄い Zn 酸化膜は熔融時に破れやすく、Zn-6Al 共晶はんだよりも濡れ性が得られたと考えられる。なお、ZAZ 材の濡れ面積 184% という値は純 Zn はんだの 314% よりも小さいが、純 Zn の濡れ性試験温度が 40°C 高いことや、界面反応が異なること、ZAZ 材が若干収縮してから濡れ広がったことなどの影響と考えられる。

次に、ZAZ 材で Si チップと Cu/Ni 基板を N_2 (酸素濃度 1 ppm 以下) および $\text{N}_2 + 100 \text{ ppm O}_2$ 雰囲気中で接合したサンプルの超音波探傷像を Fig. 5 に示す。SAT 像の黒色部が接合領域、白色部がボイドないし未接合領域であり、図の点線がチップ外形である。Fig. 5(a) より、低酸素濃度雰囲気では未研磨品の状態が若干悪いものの、研磨品・未研磨品とも接合できた。一方、Fig. 5(b) より、高酸素濃度雰囲気では、研磨品は概ね接合できたが、未研磨品はチップ下全面が未接合であった。このように、雰囲気中の酸素濃度と、ZAZ 材表面の研磨の有無が接合性に大きく影響することがわかった。この違いについて考察する。前述したように、ZAZ 材表面の Zn 自然酸化膜厚は研磨の有無に関わらず 10 nm 程度だったと推定される。ZAZ 材を低酸素濃度雰囲気中で加熱すると、Zn 酸化膜は殆ど成長せず、10 nm 程度の薄

Table 1. Oxide thickness of each material. The thicknesses were measured as the full-width-at-half-maximum of the O profiles assuming an equivalent sputtering rate of SiO_2

Zn-6Al (Polish)	Zn (Polish)	ZAZ	ZAZ (Polish)	CAZ	CAZ (Deoxidized)
120 nm	16 nm	9 nm	19 nm	1 nm	< 1 nm

Fig. 4 AES oxygen depth profiles of each material

い Zn 酸化膜は溶融時に容易に破れたと考えられる。その結果、研磨の有無に関わらず接合できたと推察される。一方、高酸素濃度雰囲気では、加熱中に Zn 酸化膜が厚く成長すると考えられる。溶融直前の Zn 酸化膜厚は研磨品、未研磨品ともに同程度と期待されるが、接合性は大きく異なった。これについて、研磨品は溶融時に研磨痕の凹凸により Zn 酸化膜が細かく分断され、破れた酸化膜の隙間から Zn-Al 融液が染み出すことで接合できたと考えられる。未研磨品は、厚く成長した Zn 酸化膜が溶融時に分

断されなかった可能性がある。その結果、融液が酸化膜を破らず、接合できなかったと考えられる。

以上の結果より、ZAZ 材は Al を Zn で挟む構造により Al の酸化を防止できており、Al が表に露出した Zn-6Al 共晶はんだより良好な濡れが得られたと考えられる。一方、ZAZ 材を接合に用いる場合、低酸素濃度雰囲気であれば接合できるが、100 ppm の酸素濃度雰囲気では、Zn 酸化膜が接合を阻害する。ZAZ 材は事前の表面研磨と、接合雰囲気の低酸素濃度化が必須である。

3.2 Zn/Al/Cu クラッド材の Cu 保護効果

Zn, Al, Cu の積層構造と接合雰囲気の酸素濃度が接合性に及ぼす影響について述べる。CZA 材および CAZ 材を用い、Si チップと Cu/Ni/Au 基板を接合した。接合雰囲気は $N_2 + 4\%H_2$, $N_2 + 4\%H_2 + 50 \text{ ppmO}_2$, $N_2 + 4\%H_2 + 100 \text{ ppmO}_2$ と変化した。接合断面の SEM による観察結果を Fig. 6(a), (b) に示す。Fig. 6(a), (b) の矢印先端が示す位置に、チップ端部から内部に向けて、僅かな隙間が見られた。この欠陥長さとの酸素濃度の関係を Fig. 6(c) に示す。CZA 材は酸素濃度の増加とともに、欠陥が長くなり、接合性が悪化することがわかった。一方、CAZ 材については、欠陥長さには酸素濃度の影響が小さいことがわかった。この欠陥は酸化膜であると考えられる。酸化膜の成分については、Cu 酸化物は H_2 含有雰囲気での加熱により還元されるため、Zn と Al の酸化物が主体であると推定される。

次に、CZA 材、CAZ 材の昇温時の挙動および濡れ性を明らかにするため、各材料を Cu/Ni/Au 基板上で加熱し、表

Fig. 5 Ultrasonic acoustic images of chip-to-substrate joint formed using Zn/Al/Zn clad material bonded in each atmospheric oxygen concentration

(a) CZA bonded in 50 ppmO₂

(b) CAZ bonded in 50 ppmO₂ 20μm

(c) Effects of atmospheric oxygen concentration and clad structure

Fig. 6 Cross-sectional microstructures of Si-to-Cu/Ni substrate joint formed using CZA and CAZ clad materials bonded at 385°C for 3 min in each $N_2 + 4\%H_2 + O_2$ atmosphere, and relation between defect length and atmospheric oxygen concentration of each clad material

面を観察した。Fig. 7 に CCD カメラによる表面観察結果を示す。Fig. 7(a-1), (b-1) に示す室温の状態にて、CZA 材、CAZ 材ともに、表面は橙色の Cu で覆われていた。Fig. 7(a-2), (a-3) に示すように、CZA 材表面は 200°C 付近から徐々に灰色に変化し始め、250°C で表面全体が灰色に変化した。Fig. 7(a-4) に示すように、382°C を超えると CZA 材は溶融し基板上に濡れ広がった。一方、CAZ 材は、Fig. 7(b-3) に示すように、382°C の溶融直前まで表面は橙色を維持していた。Fig. 7(b-4) に示すように、382°C を超えると CAZ 材の溶融に伴い橙色が消失し、収縮した後、基板上に濡れ広がった。

材料表面の色相の変化を分析するため、CZA 材および CAZ 材を昇温後に冷却し、その断面を SEM により観察した。その結果を Fig. 8 に示す。Fig. 8(a) に示すように、表面が灰色に変化した CZA 材は、表面に純 Cu 層は見られず、EDX 分析結果より、Cu と下地の Zn が反応した CuZn_4 が最表面に生成したと考えられる。したがって、Fig. 7(a) で示した、加熱中に橙色から灰色に変化する現象は、純 Cu 層の消失および Cu-Zn 系化合物の生成である。すなわち、CZA 材は加熱により、Zn が最表面に露出する。一方、CAZ 材については、Fig. 8(b) に示すように、Zn-Al の共晶点直下

の 380°C まで加熱しても、表面には Cu 層が存在することがわかった。したがって、CAZ 材は溶融時まで Cu 層が Zn と Al の酸化を防止する機能を果たしているといえる。

これらの拡散挙動の違いについて考察する。各層の拡散距離を下記の式を用い概算した。

$$X = \sqrt{2Dt} \quad (1)$$

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad (2)$$

ここで X は拡散距離、 t は時間、 D は拡散係数、 D_0 は振動数項、 Q は活性化エネルギー、 R は気体定数、 T は絶対温度である。380°C で 1 min 加熱すると仮定し、Table 2 に示す文献値¹⁴⁾を基に拡散距離を計算した結果を Fig. 9 に示す。まず、Cu 層への Zn または Al の拡散距離は約 1.5 nm と、380°C 程度の温度では殆ど拡散しないと見積もられた。次

Table 2. Diffusion parameters of each solute and matrix¹⁴⁾

Matrix	Solute	Prefactor D_0 (m^2/s)	Activation energy Q (kJ/mol)
Cu	Zn	3.40E-5	191
Cu	Al	1.31E-5	185
Zn	Cu	2.20E-4	124
Al	Cu	6.50E-5	136

Fig. 7 Optical images of surface of each clad material with heating rate of 100°C/min at N_2 atmosphere

Fig. 8 Cross-sectional microstructures and results of EDX analysis of each clad material; (a) CZA clad material heated up to 250°C with 100°C/min and held for 3 min, (b) CAZ clad material heated up to 380°C with 100°C/min and quenched

Fig. 9 Calculated diffusion distances of each layer at 380°C for 1 min

に、Zn 層の中に Cu は約 1.8 μm 拡散し、Al 層の中に Cu は約 0.3 μm 拡散すると見積もられた。したがって、CZA 材については、Cu 層の中に Zn が拡散したのではなく、Zn 層の中に Cu が素早く拡散した結果、表面に Zn が露出すると説明できる。CAZ 材については、Al 層の中に Cu が拡散する速さが Zn に比べて遅い。すなわち、Al 層が Cu の拡散バリア層として機能するといえる。その結果、382°C まで加熱しても Cu が表層に残存したと考えられる。

CAZ 材および $\text{N}_2 + 4\%\text{H}_2$ 雰囲気中で還元処理した CAZ 材表面の Cu 酸化膜については、Fig. 4 および Table 1 に示した。還元処理前の CAZ 材でも Cu 酸化膜厚は 1 nm と薄かった。さらに、還元処理することで、Cu 酸化膜は 1 nm 以下となることがわかった。この僅かに存在する酸化膜は還元処理後の大気曝露で生成したと考えられる。 $\text{N}_2 + 4\%\text{H}_2$ 雰囲気中で融点まで加熱する場合は酸化膜が存在しない状態で熔融すると期待できる。

以上の結果より、拡散挙動が接合性に及ぼす影響について考察する。CZA 材は加熱時に、Cu が Zn 中に拡散することで、表面に Zn (Cu-Zn 化合物) が露出する。このとき、雰囲気中の酸素濃度が高いと、露出した Zn が速やかに酸化される。この酸化膜は接合層内に残存するため、接合強度や接合信頼性を低下させる要因となり得る。一方、CAZ 材は、Zn-Al の共晶点である 382°C まで、表面に Cu が残存する。Cu の自然酸化膜は接合雰囲気中の H_2 により還元できる。したがって、382°C で Zn-Al が共晶融解し、Zn-Al 融液中に Cu が溶解した直後は、酸化膜がほぼ存在しない活性な Zn-Al-Cu 融液が生成されると考えられる。すなわち、酸素濃度が 100 ppm と比較的高い雰囲気でも、酸化の影響を受けにくく、高強度の継手が得られると考えられる。

なお、本論文にて接合温度は 385°C と固定し評価したが、Zn-Al はんだの適正な接合温度は 382°C (Zn-Al の共晶点) ~ 420°C (Zn の融点) の範囲内と考えている。この温度範囲であれば接合界面に安定な Al-Ni 系化合物が形成される。420°C を超えると、Zn-Ni 系化合物が急速に成長し、被接合材の Ni メタル層の健全性を保てない。詳細は稿を改めて報告する予定である。

3.3 Zn/Al/Cu クラッド材の接合信頼性

CAZ 材と Pb はんだの接合信頼性を比較した。CAZ 材および Pb-5Sn-1.5Ag はんだで Si チップと Ni めっき Cu 基板を接合したサンプルを温度サイクル試験に供した。本サン

Fig. 10 Ultrasonic acoustic images of chip-to-substrate joint formed using each solder before and after thermal cycle test between -55°C and 150°C

プルは $\text{H}_2 + 4\%\text{H}_2$ 雰囲気中で接合しており、接合状態は Fig. 6(b) に示した断面組織と同様である。接合部の超音波探傷像を Fig. 10 に示す。黒色部が健全に接合された部位であり、白色部がボイドもしくは亀裂進展部である。Pb はんだは 266 cyc 時点で接合部の 50% 以上の部位に亀裂が進展した。また、ボイド周辺の白色部が拡大する様子が見られた。亀裂はチップ端部からの進展に加え、ボイドからも進むことがわかった。一方、CAZ 材は 266 cyc でチップ端部近傍にだけ亀裂が進展しており、亀裂の進展速度が遅いことがわかった。また、ボイドのサイズは殆ど変わらなかった。

以上の結果より、CAZ 材で接合した継手の温度サイクル寿命は Pb はんだより長いことがわかった。Zn-Al-Cu 合金の疲労強度が Pb 合金より高いため、亀裂が進展しにくく長寿命になると考える。

4. 結 言

三種類のクラッド材の濡れ性、接合性、接合信頼性について検討し、以下の結論を得た。

- (1) Zn/Al/Zn クラッド材は Al の酸化が防止され、Zn-Al 共晶はんだよりも濡れ性が改善する。接合直前に Zn/Al/Zn クラッド材の表面を研磨処理してから用いることで、良好な接合が得られる。
- (2) Cu/Al/Zn/Al/Cu クラッド材は最表面の Cu が Zn と Al の酸化を防止し、下地の Al 層が Cu の拡散消失防止層として機能する。その結果、酸素濃度 100 ppm の雰囲気でも良好な接合が得られる。
- (3) Cu/Al/Zn/Al/Cu クラッド材で接合した継手は Pb-5Sn-1.5Ag はんだより温度サイクル寿命が長い。

(2013.2.6- 受理)

文 献

- 1) F. Lang, H. Yamaguchi, H. Ohashi, and H. Sato: "Improvement in Joint Reliability of SiC Power Devices by a Diffusion Barrier Between Au-Ge Solder and Cu/Ni(P)-Metalized Ceramic Substrates," *J. Electron. Mater.*, Vol. **40**, No. 7, 2011
- 2) M. Ueshima: "Bi based alloy for high temperature leadfree die attach," 4th Electronics System Integration Technologies Conference, 2012
- 3) T. Shimizu, H. Ishikawa, I. Ohnuma, and K. Ishida: "Zn-Al-Mg-Ga alloys as Pb-free solder for die attaching use," *J. Electron. Mater.*, Vol. **28**, No. 11, pp. 1172–1175, 1999
- 4) M. Rettenmayr, P. Lambracht, B. Kempf, and C. Tschudin: "Zn-Al based alloys as Pb-free solders for die attach," *J. Electron. Mater.*, Vol. **31**, No. 4, pp. 278–285, Apr. 2002
- 5) Y. Akada, H. Tatsumi, T. Yamaguchi, A. Hirose, T. Morita, and E. Ide: "Interfacial Bonding Mechanism Using Silver Metallo-Organic Nanoparticles to Bulk Metals and Observation of Sintering Behavior," *Materials Transactions*, Vol. **49**, No. 7, pp. 1537–1545, 2008
- 6) S. W. Yoon, K. Shiozaki, S. Yasuda, and M. D. Glover: "Highly Reliable Nickel-Tin Transient Liquid Phase Bonding Technology for High Temperature Operational Power Electronics in Electrified Vehicles," *APEC*, pp. 478–482, 2012
- 7) K. Suganuma and S. Kim: "Ultra Heat-Shock Resistant Die Attachment for Silicon Carbide with Pure Zinc," *IEEE Electron Device Letters*, 2010
- 8) J. E. Lee, K. S. Kim, K. Suganuma, J. Takenaka, and K. Hagio: "Interfacial properties of Zn-Sn alloys as high temperature lead-free solder on Cu substrate," *Mater. Trans.*, Vol. **46**, No. 11, pp. 2413–2418, 2005
- 9) Y. Takaku, K. Makino, K. Watanabe, I. Ohnuma, R. Kainuma, Y. Yamada, Y. Yagi, I. Nakagawa, T. Atsumi, and K. Ishida: "Interfacial Reaction between Zn-Al-Based High-Temperature Solders and Ni Substrate," *J. Electron. Mater.*, Vol. **38**, No. 1, pp. 54–60, 2009
- 10) S. J. Kim, K. S. Kim, S. S. Kim, C. Y. Kang, and K. Suganuma: "Characteristics of Zn-Al-Cu Alloys for High Temperature Solder Application," *Mater. Trans.*, Vol. **49**, No. 7, pp. 1531–1536, 2008
- 11) Y. Yamada, Y. Takaku, Y. Yagi, I. Nakagawa, T. Atsumi, M. Shirai, I. Ohnuma, and K. Ishida: "Pb-Free High Temperature Solder Joints for Power Semiconductor Devices," *Transactions of The Japan Institute of Electronics Packaging*, Vol. **2**, No. 1, pp. 79–84, 2009
- 12) Y. Yamada, Y. Takaku, Y. Yagi, I. Nakagawa, T. Atsumi, M. Shirai, I. Ohnuma, and K. Ishida: "Reliability of wire-bonding and solder joint for high temperature operation of power semiconductor device," *Microelectronics Reliability*, Vol. **47**, No. 12, pp. 2147–2151, 2007
- 13) S. Tanimoto, K. Matsui, Y. Zushi, S. Sato, Y. Murakami, M. Takamoti, and T. Iseki: "Eutectic Zn-Al Die Attachment for Higher Tj SiC Power Applications: Fabrication Method and Die Shear Strength Reliability," *IMAPS HiTEC*, pp. 110–116, 2012
- 14) 日本金属学会: "金属データブック," 改訂4版, 丸善, 2004

著者紹介

山口拓人 (やまぐち たくと)
 池田 靖 (いけだ おさむ)
 秦 昌平 (はた しょうへい)
 小田祐一 (おだ ゆういち)
 黒木一真 (くろき かずま)