

令和 4 年 5 月 26 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01723

研究課題名(和文) アンペア級電流に対応した3次元印刷配線用導電性ペーストの開発と導電性発現機構

研究課題名(英文) Development of conductive paste for 3D printed wiring corresponding to ampere-class current and the mechanism of conductivity expression

研究代表者

福本 信次 (Fukumoto, Shinji)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：60275310

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：アンペア級電流負荷に対して信頼性の高い導電性銀ペーストの開発のためには、ジュール発熱の原因となる銀粒子間の接触抵抗が重要な要素となる。本研究では、キュア過程における銀粒子間の接触状態および物質変化を調べ、導電性の発現がおもに銀粒子表面に付着している脂肪酸の蒸発現象に起因していることを明らかにした。またアンペア級の電流負荷によるジュール発熱でいったん電気抵抗が増加が、通電終了後は通電前よりも電気抵抗が減少することを示した。導電性ペーストは曲げひずみを負荷することで電気抵抗が増加し、電氣的に破断するが、除荷によって導電性が回復する性質があることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

導電性銀ペーストの導電性発現挙動をキュア過程における電気抵抗をその場測定することで明らかにした。凝集防止剤である脂肪酸被膜が導電相間の絶縁の原因であることを示した。また脂肪酸の銀粒子表面からの脱離が蒸発現象によることを明らかにした。また樹脂硬化収縮および有機溶媒がペーストの電気抵抗に及ぼす影響について明らかにした。キュア後の配線のアンペア級通電ならびに曲げ負荷に対する信頼性について評価した。さらに導電相間の電氣的接続を接触接続から金属接合にすることでペーストの電気抵抗を減少できることを示した。以上のことより導電性銀ペーストを3次元実装の配線に用いる際の材料設計指針が得られた。

研究成果の概要(英文)：The contact resistance between silver particles, which causes Joule heating, is the important factor in the development of reliable conductive silver pastes for ampere-class current loading. In this study, the contact state between silver particles and material changes during the curing process were investigated, and it was clarified that the establishment of conductive path between silver particles is mainly due to the evaporation of fatty acids adhering to the silver particle surfaces. It was also shown that the electrical resistance increased once due to Joule heating caused by the ampere-class current loading, but after the end of current-loading, the electrical resistance decreased more than before the current-loading. The electrical resistance of conductive pastes increases when subjected to bending strain, resulting in electrical fracture. However, conductivity was restored by removing the bending strain.

研究分野：溶接・接合

キーワード：導電性ペースト 導電相 電気抵抗率 接触抵抗 脂肪酸 蒸発 通電

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化問題の対策のひとつとして世界的に電気自動車開発に拍車がかかっている。キー技術である大電流を変換するパワーエレクトロニクス技術は現在欧州、日本企業で市場を抑えているが、エネルギー消費大国である中国がパワーデバイス開発への投資を始め、猛追している。現在使用されている Si から次世代の SiC へのパワー半導体の変化は重要であるが、SiC のコスト問題が解決しない限りその使用範囲は限定的である。一方、従来の Si パワー半導体は裾野が広く、付加価値を高めることでこれから先 10 年も主流であると考えられる。パワーデバイスはユーザのニーズが多種多様なため、カスタムメイド開発が可能な付加製造 (AM) 技術の活用が期待される。この場合、デバイスにおける配線材料や接続材料の開発は非常に重要であり、たとえば図 1 に示すように絶縁相と導電相を積層することでパワーデバイスの配線が可能となる。この導電相の候補のひとつとして導電性ペーストがある。

プリントエレクトロニクスにおいてはナノインク印刷や導電性ペースト印刷が利用されることが多いが、大電流領域で使用できる 3 次元配線や接続を考えた場合、低抵抗かつ比較的断面積の大きい配線層と絶縁層を積み上げていかなければならない。導電性ペーストは積層することで断面積を大きくすることが可能なため大電流用の 3 次元積層配線に適した材料である。しかしペーストは金属粉末 (導電相) と樹脂バインダ (絶縁相) で構成されており、電気特性は金属粒子間の物理的な接触に依存しているため、電気抵抗にはばらつきが生じやすく、使用中の電流負荷によって電気的特性が変化することが問題となりうる。

導電性ペースト (導電性接着剤) の導電性は、導電相である金属粉末の量がある一定値を超えると金属粉末の連続パスが確立することで導通が発現する、いわゆるパーコレーション理論で説明されてきた。しかしながら、電気抵抗の絶対値は金属粒子同士の界面の接触状態によって大きく左右される。この接触状態は金属表面を保護している凝集防止剤だけでなくマトリックス樹脂およびそれに含まれる硬化剤、溶剤などに依存しており、キュア反応中に状態は変化する。また、キュア後の導電性ペースト配線の電気的信頼性も金属粒子間の界面に残存する物質および接触圧力などに依存している。それゆえ導電性ペースト配線で大電流通電を扱う電気回路に活用するためには、通電による発熱や曲げ変形などの環境負荷に対して安定な導電相界面を創成することが重要となる。

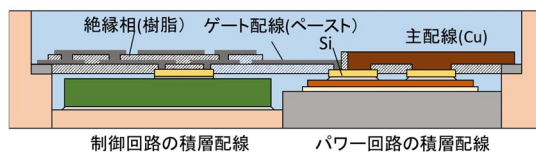


図 1 AM 技術による 3 次元積層配線を適用したパワーデバイスの構想

2. 研究の目的

導電性ペースト内の導電相 (金属粒子) 界面における接触抵抗は集中抵抗 (R_c) と皮膜抵抗 (R_f) に分類でき、これらは主に 界面に負荷される応力、被膜の種類と厚さに支配され、非常に不安定な値を取るのが一般的である。については樹脂バインダの硬化収縮力が影響し、硬化系に依存して制御が難しい。また についても粉末の表面保護膜、保存状態などに依存し、樹脂バインダ中の成分による還元能力などの相互作用によっても大きく変化する。これらの接触界面のキュア中ならびに通電や曲げ等の負荷環境下における状態を明らかにし、接触状態の材料学的あり方を考慮した材料およびキュアプロセス設計することが本研究の目的となる。

そこでペーストのキュア過程における導電性発現挙動の解明し、キュア後のペーストについては主に通電および曲げ変形に対する信頼性について評価した。

3. 研究の方法

研究目的の達成のために必要な研究方法を供試材料を含めて 3 つの項目に分けて以下に記す。

3.1 供試材料

導電性ペーストの金属フィラーとして、表面をヘキサノール、デカン酸、ラウリン酸およびオレイン酸処理した球状の銀粒子 (平均粒径 1-3 μm) を用いた。それぞれ Ag(h), Ag(d), Ag(l) および Ag(o) と記す。バインダ樹脂成分はベース熱硬化性樹脂としてビスフェノール F 型エポキシ樹脂、硬化剤として 2-フェニル-4-メチル-5-ヒドロキシメチルイミダゾール、有機溶剤としてジプロピレングリコールモノメチルエーテルアセテートを調合した。また、ペーストの表記方法について以下の通りに定義する。それぞれの作製した Ag ペーストを $\bigcirc\text{Ag}-\bigcirc\text{R}-\bigcirc\text{S}$ と表記する。それぞれの \bigcirc は左から銀粒子、樹脂、溶剤の体積含有率を表している。

また、一部の実験には導電性ペーストの金属フィラーとして銅粉末 (100 μm)、Sn-58Bi 粉末 (20 μm) を用いた (銅ペースト)。

3.2 キュア中の電気抵抗その場測定

導電性ペーストのキュア条件は溶剤揮発過程の 100°C/1.8ks 保持後、180°C/0.9ks 保持して樹脂硬化させる 2 段階プロセスとした。図 2 に示す 4 端子法によってキュア中の電気抵抗の変化を

その場測定した。

3.3 通電および繰り返し曲げ試験

基板上に作製した導電性ペースト配線(ECA配線)に2.5~7.5 A 通電した。また配線を作製したFR-4 基板に曲げ負荷を与え、変形中の電気抵抗の変化を4端子法でその場測定した。

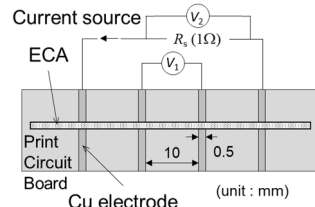


図2 キュア過程中的導電性ペーストの電気抵抗その場測定方法

4. 研究成果

4.1 キュア中の導電性発現挙動

各種脂肪酸被覆された銀粒子を導電相として有する銀ペースト(40Ag-40R-20S)のキュア過程における電気抵抗その場測定結果を図3に示す。加熱前の銀粒子の体積含有率は40vol%であり、連続的な導電パスが得られるパーコレーション閾値以上の体積含有率である。また加熱によって溶剤がすべて揮発するため、キュア後は銀粒子の体積含有率は50vol%となる。Ag(h)導電性ペースト(Ag(h)-ECAと略す)のみキュア加熱前に導電性を示したが、そのほかのペーストは導電性を有していなかった。Ag(h)-ECAは加熱直後から電気抵抗率は急減し、100 保持中に約 $8 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{cm}$ の一定値を示した。その後、180 に昇温する際に電気抵抗率は減少し、室温への空冷過程でさらに減少し、最終的には $4 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{cm}$ 程度となった。一方、Ag(o)-ECAは180 に加熱するまでは導電性を発現せず、最終的な電気抵抗率も $2 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ 程度とAg(h)-ECAよりも1桁大きい値となった。Ag(l)-ECAおよびAg(d)-ECAの電気抵抗率変化はこれら2種類のECAの中間的な挙動を示した。前述の通り、キュア前の銀ペーストはすべて40Ag-40R-20Sの混合比であるが、電気抵抗率の変化挙動が異なった。ペーストの電気抵抗は銀粒子同士の接触抵抗によって支配されているので、ペーストの電気抵抗変化の違いは銀粒子を被覆している脂肪酸の種類に依存すると考えられる。この脂肪酸が銀粒子表面から脱離する現象がペーストの電気抵抗に最も影響すると考えられる。そこで各種脂肪酸で被覆された銀粒子を加熱したときに発生するガスの種類および発生量をGS-MS分析によって測定した。GS-MSのスペクトルから発生するガスはそれぞれの脂肪酸そのものであった。つまり、オレイン酸、ヘキサノ酸などのAgを被覆している脂肪酸は熱分解するのではなく、蒸発することが明らかになった。Ag(h) Ag(d)およびAg(o)粒子を加熱した場合に発生したそれぞれの脂肪酸のガス発生量を図4に示す。Ag(h)粒子からは100 に到達時点でヘキサノ酸ガスが発生し、それ以上昇温するとガス発生量は減少した。Ag(d)粒子は100 到達時にはデカン酸ガスは発生せず、140 以上まで昇温することでガスが発生し、250 以上でもガスの発生が認められた。Ag(o)粒子も100 ではガス発生は認められず、140 以上に昇温することで多くのオレイン酸が発生した。また250 まで昇温しても他の銀粒子と比べて多くのガスが発生した。分子量の大きな脂肪酸ほど蒸発温度が高い傾向にあった。樹脂の硬化温度は約180 であるため、Ag(o)粒子表面を被覆しているオレイン酸は樹脂硬化後も粒子表面に残留していると推察される。この残留オレイン酸皮膜がキュア後のAg(o)-ECAの高い電気抵抗率の原因と考えられる。

銀粒子表面の脂肪酸は加熱によって除去できることがわかった。しかし、これらの脂肪酸は有機溶媒に可溶であることも知られている。そこでペースト中の溶剤量を変化させて、キュア中の電気抵抗率変化を測定した(図5)。代表としてAg(h)-ECAとAg(o)-ECAの結果を

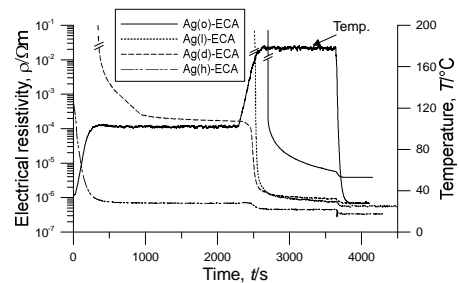


図3 キュア過程における導電性ペーストの電気抵抗変化¹⁾

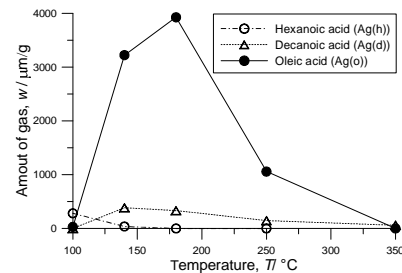


図4 各種銀フィラーから発生するガスのGS-MS分析¹⁾

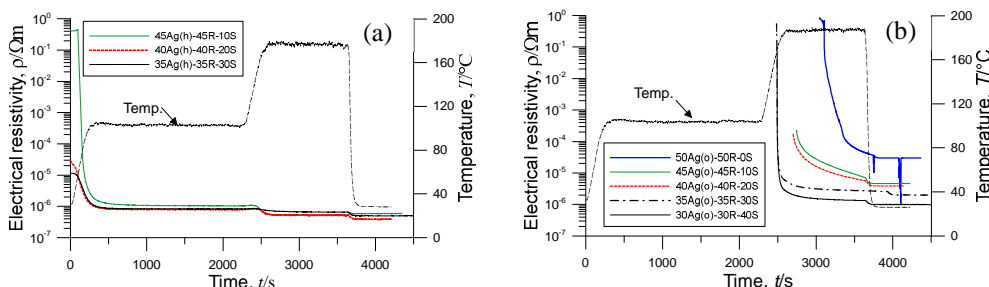


図5 キュア過程における導電性ペーストの電気抵抗変化に及ぼす溶剤の影響 (a) Ag(h)ペースト, (b) Ag(o)ペースト¹⁾

示す．どちらのペーストも溶剂量が多くなるほど，低温かつ短時間で導電性を発現し，キュア後の最終的な電気抵抗率が小さくなった．脂肪酸の皮膜の脱離が溶剤によって促進されることがわかった．

脂肪酸は一般的に絶縁性があるが，銀粒子上の脂肪酸膜は数 nm と非常に薄いために抵抗値としては極めて小さいと考えられる．この銀粒子間に存在する脂肪酸皮膜の絶縁性を実験的に模擬するために，脂肪酸被膜銀箔表面を走査プローブ顕微鏡の電流モードで走査し，プローブ/銀箔間に流れる電流を測定した．そのマッピング結果を図 6 に示す．赤い部分がプローブ/銀箔間に通電があった箇所を示している．まず，図 6a に示すように，オレイン酸被覆していない銀箔とプローブ間には電流が流れることがわかる．銀箔をオレイン酸で被覆することでプローブ/銀箔間には電流が流れなくなった．非常に薄いオレイン酸膜でも絶縁性を発揮することがわかった．また，このオレイン酸被覆銀箔を 240 °C に加熱することで，オレイン酸が蒸発しプローブ/銀箔に導電性が復活した(図 6c)．これと同じ現象が導電性ペースト内の銀粒子間で生じていると考えられる．

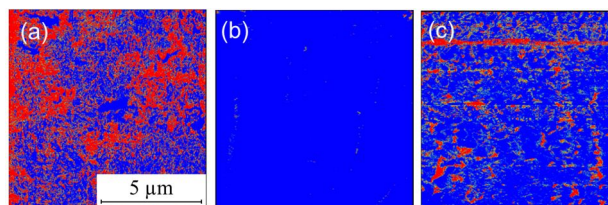


図 6 走査プローブ顕微鏡 (SPM) による銀箔表面の導電性評価
(a) 銀箔，(b) オレイン酸被覆銀箔，(c) オレイン酸被覆銀箔を 240 °C/180s 加熱¹⁾

4.2 曲げ変形に対する電気的信頼性

導電性ペーストの電気抵抗は銀粒子間の接触抵抗に依存している．接触抵抗は粒子間距離や粒子間の接触圧力によって変化する．そこでキュア後の導電性ペースト (ECA 配線) の繰り返し曲げ負荷に対する電気抵抗の変化を調べた．図 7 はヘキサ酸を被膜した銀粒子を用いたペーストで作製した配線 (Ag(h)-ECA) の繰り返し曲げ負荷-除荷試験における電気抵抗率変化を示したものである．曲げひずみの増加にともなって抵抗が徐々に増加した．その後，0.65% の曲げひずみ量で導電性が消失し，断線状態となった．その後除荷すると導電性は復元し，初期値と同等の値にまで回復した．ひずみが増加すると，ECA 内部の銀粒子間距離が大きくなるとともに接触圧力も減少し，抵抗が大きくなる．また一定以上のひずみ負荷によって図 8 に示したように樹脂に亀裂が生じ断線する．除荷すると一旦接触状態がほぼ初期状態に戻るために導電性は復元するが，ひとたび亀裂が生じることで銀粒子同士の接触状態が劣化すると，2 回目以降の負荷時には小さなひずみで導電性が消失することがわかった．

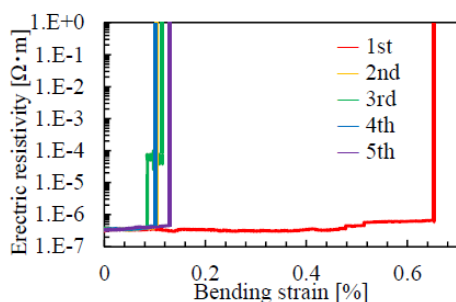


図 7 繰り返し曲げ負荷に対するキュア後の Ag(h)-ECA 配線の電気抵抗変化 ($V_f=50\%$)

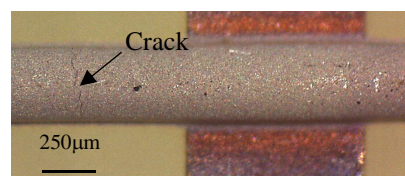


図 8 曲げひずみ負荷試験後の Ag(h)-ECA ($V_f=50\%$)

4.3 アンペア級通電によって生じる諸現象

通電試験はヘキサ酸を被覆した銀粒子を用いた ECA 配線 (Ag(h)-ECA, $V_f=50\%$) を用いて実施し，通電電流の大きさは 2.5 A, 5.0 A, 7.5 A の 3 条件とした．通電前の Ag ペースト配線の電気抵抗率は約 $7.8 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$ であった．2.5 A を通電した場合，抵抗率は大きく変化しなかったのに対し，5.0 A 以上の通電によって 1/2 ~ 1/3 程度まで減少した．またその通電前後の減少幅は電流が大きいくほど大きかった．図 9 に各通電時の電気抵抗，ECA 配線から 3 mm 離れた場所の温度変化を示す．5.0 A, 7.5 A 通電時，電気抵抗は電流増加とともに増加し，ピーク値に達したのち減少に転じ，定電流状態においてはほぼ一定値を保った．一方，2.5 A 通電時には電気抵抗のピーク値が見られなかったが，ほぼ同様の挙動を示した．ECA 配線近傍の温度も通電開始とともに徐々に上昇し，最高温度に達した後は急激に低下し，その後はほぼ一定値を保った．通電時間 1000s 時点の ECA 配線近傍の温度を測定し，温度分布から ECA 配線の温度が 2.5 A, 5.0 A, 7.5 A 通電時でそれぞれ 48 °C, 104 °C および 141 °C と見積もられた．ピーク温度到達時の温度分布は非定常状態であることを考慮すると，7.5 A 通電時の ECA 配線の温度は 200 °C 近傍まで到達していたと推定される．前述の通りキュア後の ECA 配線内部の銀粒子表面には高級脂肪

酸が残存していると考えられる．通電によるジュール発熱によって残存脂肪酸が銀粒子表面から脱離することで電気抵抗減少することが示唆された．

4.4 金属架橋による導電相間の抵抗減少

Ag ペーストの導電性発現挙動を調べることで導電性ペーストの電気抵抗は導電相間の接触抵抗に支配されていることを明らかにした．そこで導電相間の接触抵抗を減少させるため，ペーストに低融点金属を加えて導電相間に金属架橋構造を形成することを試みた．ここでは導電相を球状の銅粒子，架橋金属として Sn-Bi 共晶合金粉末を選定した．このペースト断面を図 10 に示す．球状の銅粒子間が溶融した Sn-Bi 合金が架橋することによって接合されている．銅粒子のみの導電性ペーストおよび Sn-Bi によって架橋した構造を有するペーストの電気抵抗率はそれぞれ約 $1 \times 10^{-3} \Omega\text{m}$ および $1 \times 10^{-6} \Omega\text{m}$ であり，架橋によって大幅に抵抗率を減少できることが示された．

4.5 コールドスプレイ法による銅主配線の積層

Ag ペーストは $10^{-7} \Omega\text{m}$ 台の電気抵抗が得られ，脂肪酸被膜の蒸発温度を考慮したキュアプロセスを適用することで，数 A 程度での通電では電気的特性は劣化しないことが示された．しかしながら，パワー半導体への電力供給のための主配線(図 1 参照)の代替としては抵抗率がやや大きい．半導体の表面はアルミニウムのメタライズ層があるが，アルミニウムは強固な酸化被膜を有するため，銅と接触させるだけでは導通を得ることが困難である．そこで AM プロセスでアルミニウム上に銅主配線の形成するためのドライプロセスとしてコールドスプレイ法を検討した．チップの表面のアルミニウムメタライズ層への銅配線を模擬するためにアルミニウム上へ銅粉末のコールドスプレイを行い，その密着性および電気抵抗を評価した．図 11 は銅のコールドスプレイ層とアルミニウム基板との界面断面写真を示している．熱処理することで界面全体に Cu-Al 系の金属間化合物が生成することからコールドスプレイ層/基板間の密着性が優れていることがわかった．またコールドスプレイ層/基板間が電氣的に接続されていることも明らかになった．

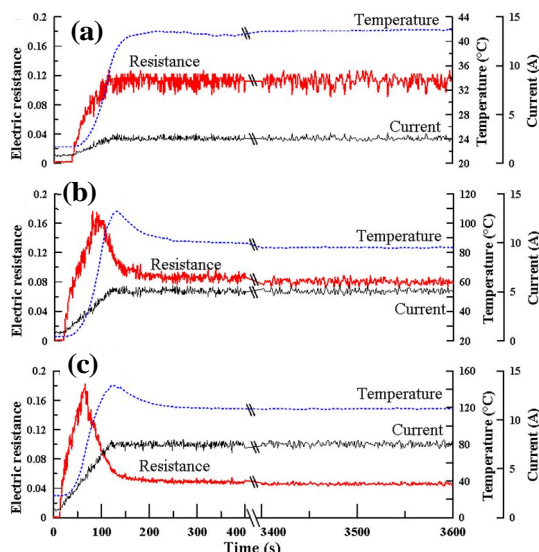


図 9 Ag(h)-ECA の通電中の電気抵抗および温度変化 (a) 2.5 A, (b) 5.0 A, (c) 7.5 A²⁾

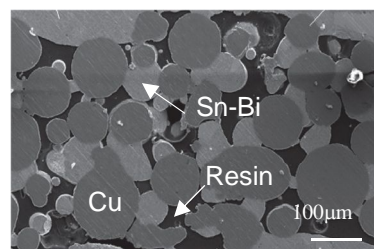


図 10 銅および Sn-Bi フィラー含有導電性ペーストの断面組織³⁾

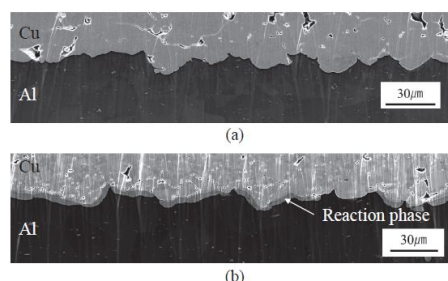


図 11 銅コールドスプレイ層/アルミニウム基板界面 (a)熱処理前, (b)400 °C / 2.5ks 熱処理後⁴⁾

参考文献

- 1) Shinji FUKUMOTO, Kazuhiro MAKIMOTO, Kengo OHTA, Tomohiro NAKAMURA, Michiya MATSUSHIMA, and Kozo FUJIMOTO, Journal of Materials Science, 2022, *accepted*.
- 2) 中村友洋, 古井裕彦, 藤田晶, 田中勇登, 松嶋道也, 福本信次, 第 27 回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム論文集, Vol.27, 2021, 151-155.
- 3) Michiya Matsushima, Yusuke Takechi, Shogo Minami, Shinji Fukumoto and Kozo Fujimoto, Materials Transactions, 60(9), 2019, 2016-2021.
- 4) Shinji Fukumoto, Kengo Ohta, Tatsunori Yanagimoto, Yoshihiro Kashiba, Masao Kikuchi, Michiya Matsushima and Kozo Fujimoto, Materials Transactions, 60(4), 2019, 602-610.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Michiya Matsushima, Yusuke Takechi, Shogo Minami, Shinji Fukumoto, Kozo Fujimoto	4. 巻 60
2. 論文標題 Electrical property improvement of copper filler conductive adhesive with low-melting point metal bridge	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Transactions	6. 最初と最後の頁 2016-2021
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/matertrans.MH201810	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shinji FUKUMOTO, Kazuhiro MAKIMOTO, Kengo OHTA, Tomohiro NAKAMURA, Michiya MATSUSHIMA, Kozo FUJIMOTO	4. 巻 -
2. 論文標題 Change in electrical conductivity of electrically conductive adhesives during curing process	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 松嶋道也, 南尚吾, 伊藤直樹, 福本信次, 藤本公三	4. 巻 J103-C
2. 論文標題 低融点金属架橋を形成する導電性接着剤の微細粒子混合による熱伝導特性向上	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 157-162
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shinji Fukumoto, Kengo Ohta, Tatsunori Yanagimoto, Yoshihiro Kashiba, Masao Kikuchi, Michiya Matsushima and Kozo Fujimoto,	4. 巻 60
2. 論文標題 Characteristics and microstructural development of cold-sprayed copper coating on aluminum	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Transactions	6. 最初と最後の頁 602-610
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/matertrans.M2018295	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計9件(うち招待講演 0件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Shinji FUKUMOTO, Kazuhiro MAKIMOTO, Kengo OHTA, Yoshihiro KASHIBA, Michiya MATSUSHIMA, and Kozo FUJIMOTO
2. 発表標題 Change in electric resistance of conductive pastes including Ag particles coated with various higher fatty acids during curing process
3. 学会等名 TMS2021 Annual Meeting & Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村友洋, 古井裕彦, 藤田晶, 田中勇登, 松嶋道也, 福本信次
2. 発表標題 Ag ペースト配線の電気抵抗に対するアンペア級通電の影響
3. 学会等名 第27回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 南尚吾, 松嶋道也, 伊藤直樹, 福本信次, 藤本公三
2. 発表標題 微細粒子を含有した低融点金属の金属架橋構造が導電性接着剤における熱伝導率に及ぼす影響の定量的評価
3. 学会等名 第26回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村友洋, 古井裕彦, 藤田晶, 田中勇登, 松嶋道也, 福本信次
2. 発表標題 Agペースト配線の電気抵抗に対するアンペア級通電の影響
3. 学会等名 第27回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中智也, 門馬宙哉, 古井裕彦, 藤田晶, 松嶋道也, 福本信次
2. 発表標題 導電性ペーストと銅電極との界面抵抗に対する銀フィラー形状の影響
3. 学会等名 第28回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 牧本和太, 福本信次, 加柴良裕, 松嶋道也, 藤本公三
2. 発表標題 Ag ペースト配線の電気的特性におよぼす熱ひずみの影響
3. 学会等名 第 2 6 回「エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村友洋, 福本信次, 松嶋道也, 藤本公三
2. 発表標題 導電性ペーストを用いた三次元配線の接続部分で生じる電気抵抗
3. 学会等名 スマートプロセス学会 学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大田賢吾, 福本信次, 加柴良裕, 松嶋道也, 藤本公三
2. 発表標題 Agペースト配線の電気特性に及ぼすフィラー接触および混合比の影響
3. 学会等名 第25回「エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム(mate2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Fukumoto, Y. Lee, Y. Kashiba, M. Matsushima and K. Fujimoto
2. 発表標題 Development in electric resistivity and cross sectional shape of conductive Ag paste during curing process
3. 学会等名 4th International Conference on Nanojoining and Microjoining 2018(NMJ2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	松嶋 道也 (Matsushima Michiya) (90403154)	大阪大学・工学研究科・助教 (14401)	
研究分担者	藤本 公三 (Fujimoto Kozo) (70135664)	大阪大学・工学研究科・教授 (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------