

導電性接着剤内部の金属間における 界面電気抵抗解析*

The Electric Resistance Analysis between Metals in Electrically Conductive Adhesive

荒尾 修
Osamu ARAO

新帯 亮
Akira SHINTAI

杉浦 昭夫
Akio SUGIURA

In a conductive adhesive, the studies of macroscopic (the resistance after mount) and microscopic (the contact resistance between fillers) measurements have been advanced. However, the study of the conduction mechanism in the conductive adhesive has not elucidated. The reason is that the flat (2D) observation is usually used, though the actual conductive behavior is the three dimension (3D). In this report, we observed the 3D-conductive line using FIB-SEM, that repeats polishing and observation. As the result, we successfully analyzed the accurate model.

Key words :

Electrically Conductive Adhesive, conduction mechanism, FIB-SEM, Interface resistance

1. まえがき

自動車搭載部品における急速な電子化に伴い、機能面においても、電子製品の小型・高集積化が加速している。これにより、実装品と基板間の導電の役割を担うはんだ接続部の接続面積が小さくなり、はんだへの応力集中が増大するため接続強度が低下する。これに対し、導電性接着剤は樹脂中の導電フィラを介して導電を行う (Fig. 1) ため樹脂特有の柔軟性を有し、この応力集中を抑制できるので、今後の適用拡大への期待が大きい¹⁾⁻¹⁰⁾。

しかし、導電性接着剤の導電のメカニズムは解明されていない部分が多い。導電は接着剤中の導電フィラを介して行われるため、メカニズムの解明にはまず導電フィラの分散状態の把握、すなわち接着剤中の電気

的な導電経路の解析が必要である。最近の研究において、数 nm 単位での微視的なフィラ単体間界面レベルの解析は実施されているが¹¹⁾¹²⁾、電極間の接着剤全体での導電を正確に解析した例は無く、材料開発における最適なフィラ形状の設計が困難である。

これに対し筆者らは、電極間の導電メカニズムを検討することを目的とし、導電樹脂中の導電経路を可視化し、抵抗値として定量化する研究を行ってきた。この研究において、導電経路の観察と導電フィラ同士及び導電フィラと電極との接触点数の計測により界面抵抗の影響を考察してきた¹⁾が、界面抵抗への影響が大きい導電フィラと電極との接触面面積を考察に加えることができていなかった。本報告では、金属間の接触面の影響を数値解析により明確にし、界面抵抗値の正確な定量化を行った。更にこの抵抗値を用いてバルク

* ©2016 IEICE, 電子情報数信学会論文誌, Vol. J99-C, No.12, Dec. 2016 より一部加筆して転載

材料の物性予測を行い、本手法の妥当性を検証した。

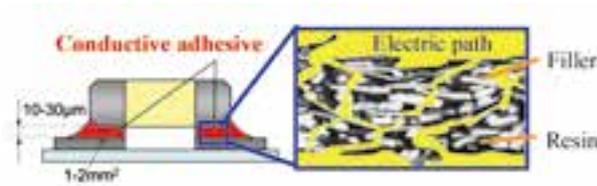


Fig. 1 Outline drawing of electrically conductive adhesive

2. 実験方法

2.1 実験の考え方

本論文では、部品電極のAgめっきと基板電極のNiめっき間を、エポキシ樹脂にAgの導電フィラを配合した導電性接着剤にて導電させた構造で検討を行っている。電極間の導電性接着剤の全電気抵抗を R_{Total} とすると、 R_{Total} は巨視的には電極表面と導電接着剤間の接着界面の抵抗である界面抵抗 (Interface resistance) R_{Int} と、導電接着剤の体積抵抗 (Volume resistance) R_{Vol} から構成されている。更にこれらの抵抗は、微視的には接着剤中に多量に分散されたフィラや電極間においてトンネル効果などにより電子受け渡す際の接触抵抗 (Contact resistance) と、フィラ内部の体積抵抗によって形成されている。導電性接着剤全体の一般的な体積抵抗率 ($10^{-4} \sim 10^{-1} \Omega \cdot m$ 程度) に対し、導電フィラであるAgの体積抵抗率は $1.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ と4桁以上小さく、導電性接着剤全体への影響がほとんどないと考えられるため、導電フィラの体積抵抗率は無視して検討している。また、本検討の組合せとして、Ag-Ag間の接触抵抗 R_{Ag-Ag} と Ni-Ag間の接触抵抗 R_{Ni-Ag} の2種類の接触抵抗が存在する (Fig. 2)。

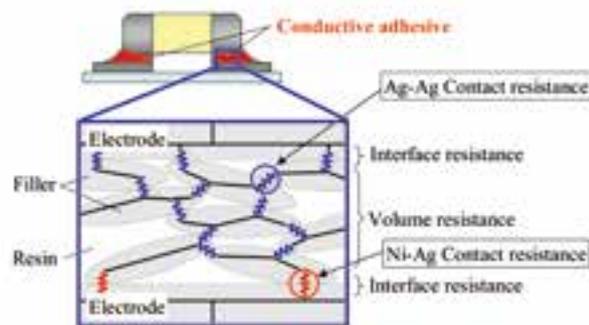


Fig. 2 Classification of contact resistance

導電経路の明確化が困難な要因のひとつに、従来の断面観察は2次元なのに対し、実際の導電経路は樹脂中に2次元で形成されていることがある。つまり、導電経路を正確に把握するには、3次元的な観察手法が必要となる。この実現のため、今回観察手法として、FIB-SEMによる3次元的観察¹³⁾を新規に導電接着剤に適用し、フィラ分散状態の可視化を行う。

更に実サンプルでのフィラ分散状態から、マクロ特性であるバルクの導電性を予測する。

2.2 実験手順

2.2.1 実験サンプル

本研究では、Table 1に示す測定用のSample Aと、特性予測用のSample Bを準備した。両サンプルには、ほぼ同量の鱗片状フィラが配合されており、同様のフィラ表面処理と混練が施されている。大きな違いは、Sample Bのフィラの方が小径であることである。

Table 1 Parameters of Sample A and Sample B

Item	Contents	Unit	Sample A	Sample B
Filler	r Minor axis of filler	m	3.0×10^{-4}	2.0×10^{-4}
	V_f Volume fraction of filler	—	0.310	0.306

2.2.2 界面抵抗評価

電極間の導電経路における抵抗には、電極と導電樹脂の接着界面の抵抗である界面抵抗と、導電性接着剤の体積抵抗があるため、まずこの層別のための評価を行った。この評価は、NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) プロジェクトによって検討された導電接着剤の標準評価方法 (ISO16525-2) を利用している。

評価方法の概略と写真を Fig. 3 に示す。本評価は、下地の基板電極として電解Niめっきを用いている。この電極上に一定厚み t で導電性接着剤を塗布し硬化させる。このとき、電極測定間隔を変えて、つまり導電樹脂の長さをブロック単位で変えて抵抗を測定していくと、接着剤の長さ l と抵抗値をプロットした時の1ブロックあたりの抵抗値 r は体積抵抗率 R_{Vol} と比例し、式 (1) の関係となる。

$$R_{Vol} = r \cdot \frac{(l \cdot t)}{a} \quad \dots (1)$$

また界面抵抗率 R_{int} は y 切片 R_0 から式 (2) で示される.

$$R_{int} = R_0 \cdot W \cdot L \quad \dots (2)$$

この評価を sample A に対して実施した.

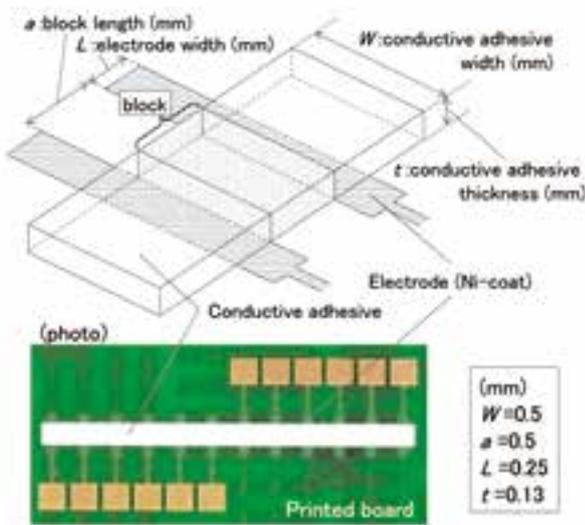


Fig. 3 Test method of interface resistance and volume resistance

2.2.3 FIB-SEM による 3 次元観察

導電経路の観察法として, FIB-SEM による 3 次元観察を行う. これは, 連続的に一定厚み間隔で FIB (集束イオンビーム装置: Focused Ion Beam) による電子研磨を行い, 各面を SEM により観察し, これらの SEM 像を再構成することにより, 3 次元化を実現する技術である^{1)-3), 13)}. なお本観察は, 装置として FEI 社の Helios 600 NanoLab を用いている. 従来この FIB-SEM は主として数 μm 程度の微細な部分の観察に用いられているが, 今回導電接着剤に適用するにあたり, 十数 μm という装置上の最大の視野広さで, 厚み方向 $12.4\mu\text{m}$ を $0.1\mu\text{m}$ 毎に観察することで実施する. また, $2.0\text{mm} \times 1.2\text{mm}$ サイズのチップコンデンサを導電性接着剤により実装した構造を実サンプルと想定し, 観察を行う.

3. 実験結果

3.1 界面抵抗評価

まず, Sample A の界面抵抗評価結果を Fig. 4 に示す. 横軸は電極間の導電性接着剤長さ, 縦軸は抵抗値を表している. Fig. 4 において, 直線を外挿した y 切片で

ある $58\text{m}\Omega$ が界面での抵抗を表し, 直線の傾きが体積抵抗を表す. 式 (1) から計算すると, 界面抵抗率 R_{int} は $7.31\text{m}\Omega \cdot \text{mm}^2$ となり, 実サンプルの電極と導電接着剤の界面の面積は 1.2mm^2 程度であるため, 実サンプルでの界面での抵抗は $6.09\text{m}\Omega$ となる. また, 式 (2) から計算すると, 体積抵抗率 R_{Vol} は $5.5 \times 10^{-1}\text{m}\Omega \cdot \text{mm}$ となる. 実サンプルでの導電接着剤の厚みは $10\mu\text{m}$ 程度であるため, 実サンプルでの体積抵抗は $4.6 \times 10^{-3}\text{m}\Omega$ 程度となる. 今回の実サンプルの Ni めっきにおいては, 界面抵抗は体積抵抗に比べ 3 桁程度大きく, 実サンプルでは界面抵抗の影響が支配的であることが示された. そのため本論文の 4 章では, 特に界面抵抗に着目した考察を行っている.

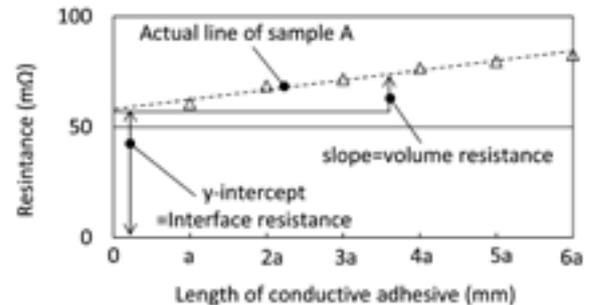


Fig. 4 Test result of stratified resistance of interface and volume

3.2 FIB-SEM 観察

3.2.1 FIB 研磨による連続 SEM

装置内にて FIB 研磨と SEM 観察を連続的に実施した. 各断面の観察結果を Fig. 5 に示す. 図中の黒色部分が樹脂, それ以外の部分が金属である. 左右両側に一面あるのが電極で, 図の左側が基板の Ni 電極, 右側がチップコンデンサの Ag 電極となる. また, 樹脂中に分散している白色部分が Ag フィラで, 電極と平行方向への配向が確認できる. そのため, 特に体積抵抗の検討ではフィラ配向による異方性を考慮すべきであるが, 本評価サンプルにおいては体積抵抗の影響が極めて小さいため, 等方性とみなして検討を行っている.

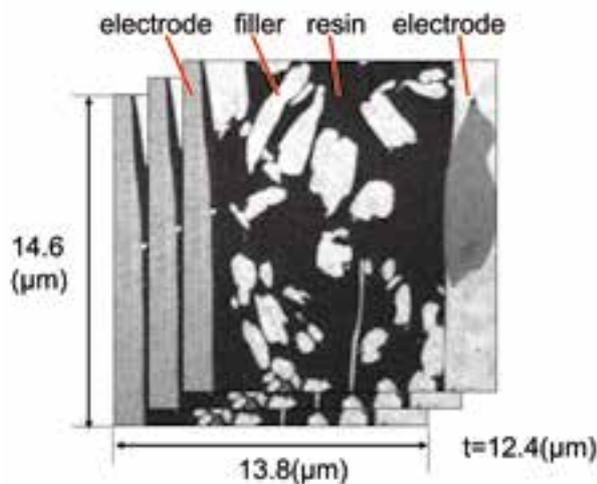


Fig. 5 Consecutive photos in electrically conductive adhesive by SEM

3.2.2 3次元化

連続したSEM像を2値化し、フィラと電極に分けて3次元に再構成した (Fig. 6)。観察断面から奥行方向には $0.1\ \mu\text{m}$ の間隔でFIB研磨されており、観察も $0.1\ \mu\text{m}$ 毎に実施している。導電樹脂内部のフィラはブロック状であるため、 $0.1\ \mu\text{m}$ の観察面間隔に対しフィラ占有率が50%を超えている、すなわちフィラの間隔が $0.05\ \mu\text{m}$ 以下であれば、平均的には奥行方向にもフィラが存在し、接触しているとみなした。この考えに基づき、樹脂中のフィラ分散状態を3次元に再構成している。Fig. 6より樹脂中の大量のフィラ充填が確認できるが、これではまだ導電経路の観察を行うことができない。

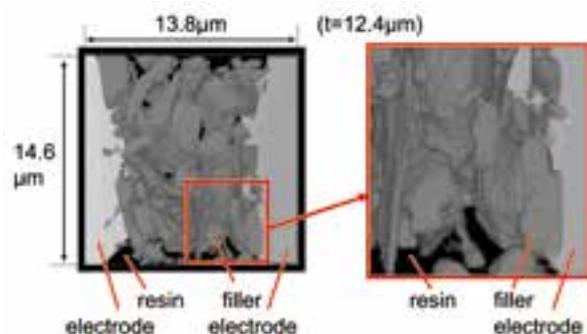


Fig. 6 3D dispersion of filler in electrically conductive adhesive

3.2.3 導電経路の可視化

導電経路を可視化するため、画像解析ソフト (Amira, Mercury Computer Systems) を用いて細線化処理を行った。細線化処理とは3次元で再構成したフ

ィラの分散状態からフィラを削っていき、図形の中心線を導電経路として求める処理である。Fig. 7に本検討での細線化処理の概念図を示す。まず、観察領域をブロック化し、フィラを白ブロック、樹脂を黒ブロックとして2値化する。次に、この白ブロックの中で、黒と隣り合1つの白ブロックに着目する。この白ブロックが、(1)のように別の黒ブロックと縦横斜めいずれかで隣り合う場合、黒に変換すると白の連続性が途切れると判断し、白ブロックを維持する。(2)のように別の黒ブロックと隣り合わない場合、黒に変換しても白の連続性は保たれると判断し、黒ブロックへ変換する。細線化処理とは、これを全方位から順に実施し、白ブロックの連続性、即ち導通経路を維持したまま1ブロック単位の細線として残す処置である。また、例えばFig. 7のように同一フィラの複数点で接触するような場合も、導通経路の本数は維持される。

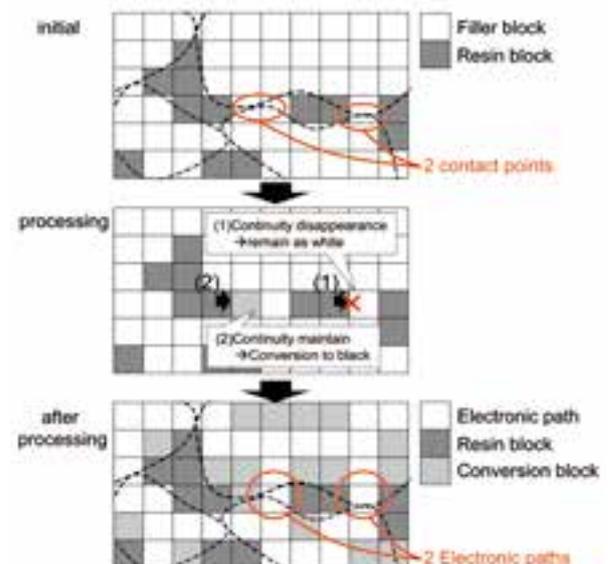


Fig. 7 Conceptual diagram of thinning process

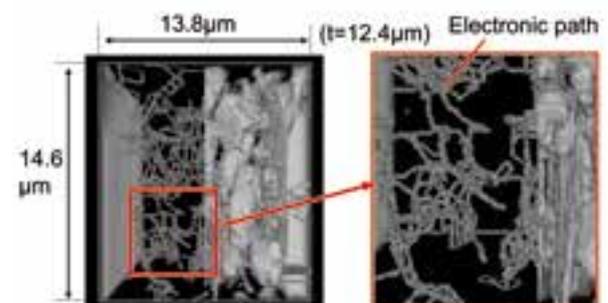


Fig. 8 3D electronic paths in the electrically conductive adhesive

Fig. 6 に対しこの細線化処理を施した結果を Fig. 8 に示す. 図中の線が樹脂中の導電経路を表している. 血管のような細かいネットワークが形成されていることが確認できる. この処理により, 界面や樹脂中の導電経路を可視化し, 接触点数の計測が可能となった.

4. 考察

4.1 接触抵抗の定量化

微視的な接触抵抗を定量化するため, 先ず接触点毎の抵抗を一律とみなし, 接触点数による平均的な接触抵抗を算出した. 次に, 実サンプル抵抗の支配的要因である界面抵抗に対し, 接触面積の大小の影響を加味するため, 接触面に対する接触抵抗解析を実施した. そして, この定量化した接触抵抗から Sample B の界面抵抗を予測し, 実測結果との比較より妥当性を検証した.

4.2 接触点数による考察

4.2.1 接触点の平均抵抗値の考え方

接触点 1 点あたりの接触抵抗値を定量化するに当たり, 本来であれば Fig. 9 のような実際の抵抗回路にて, かつ各接触点での接触抵抗の差異を考察に加えるべきであるが, 先ずは簡易的手法として Fig. 10 の等価回路図にて, 各接触点での接触抵抗を等しいものとして, 平均抵抗値で考察する. そして, 実サンプルにおいて支配的な界面抵抗に対し, 更に考察を加えていく.

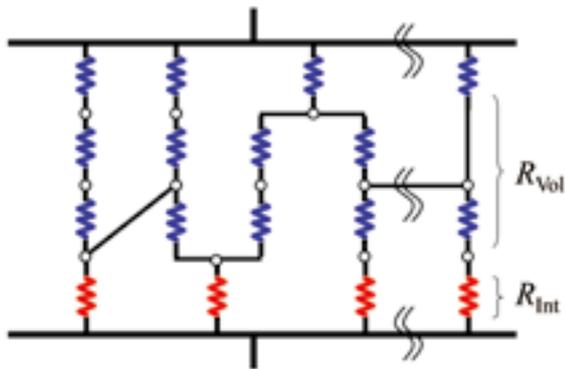


Fig. 9 Actual electronic circuit diagram of resistance in electrically conducted adhesive

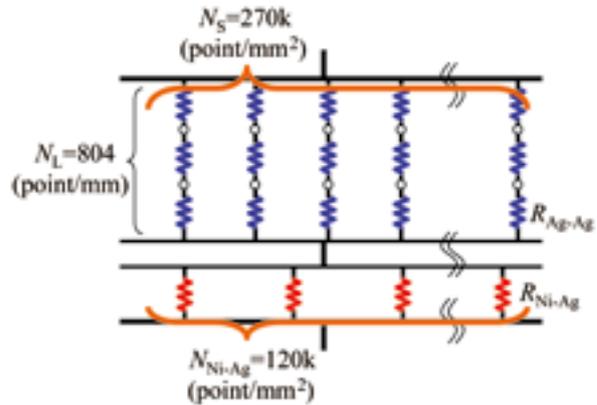


Fig. 10 Equivalent electronic circuit diagram for calculation in electrically conducted adhesive

4.2.2 接触点数の計測

前項 FIB-SEM による導電経路可視化の結果から接触点数を計測した. この計測結果を Fig. 10 に合わせて示している. Ni 界面においては今回観察した $14.6 \times 12.4 \mu\text{m}$ の面内では, 平均 21.7 点のフィラとの接触点 (フィラ間距離 $\leq 50\text{nm}$) を確認した. ここから計算すると, 1mm^2 当りの経路数 $N_{\text{Ni-Ag}}$ は, 平均 120k 点と計算できる. また, 接着剤中の導電方向と垂直な断面について同様に計測すると, 面内に平均 49.0 点, 1mm^2 当りの接触点数 N_S は 270k 点の接触点を確認できる. 更に, 接着剤中の導電方向での接触点数 (つまり, 一経路当たりの接触点数) は, 平均 8.8 点, 1mm 当りの接触点数 N_L は 804 点であることが確認できる. この結果と, 3.1 の界面/体積抵抗値の結果より, 接触点 1 点あたりの抵抗値の定量化を検討する.

4.2.3 接触点の平均抵抗値の定量化

先ず電極とフィラとの界面抵抗について検討する. 導電経路は面内に並列抵抗を形成していると考えられるため, Ni と Ag フィラの接触点 x 点目の 1 点あたりの抵抗を $R_{\text{Ni-Ag}}(x)$ とすると, 基板電極と導電接着剤の界面抵抗 R_{int} との関係は式 (3) となる.

$$\frac{1}{R_{\text{int}}} = \sum_{x=1}^{N_{\text{Ni-Ag}}} \frac{1}{R_{\text{Ni-Ag}}(x)} \quad \dots (3)$$

$R_{\text{Ni-Ag}}(x)$ は x によらず一定と仮定すると, 1mm^2 の接触点数は $N_{\text{Ni-Ag}}$ なので, 式 (3) は式 (4) となる.

$$\frac{1}{R_{int}} = \frac{N_{Ni-Ag}}{R_{Ni-Ag}} \quad \dots (4)$$

式(4)より、式(5)を導ける。

$$R_{Ni-Ag} = R_{int} \cdot N_{Ni-Ag} \quad \dots (5)$$

式(3)は、実験により計測可能な界面抵抗 R_{int} と、FIB-SEMにより計測可能な接触点数 N_{Ni-Ag} から、Ni-Ag間の1点あたりの平均接触抵抗 R_{Ni-Ag} を計算できることを示している。

式(5)より計算すると、Ni-Ag界面の1点あたりの平均の界面抵抗 R_{Ni-Ag} は 8.78×10^5 (mΩ / 点) となる。

体積抵抗も電極と平行面の導電経路数については上記と同様の考え方で計算できる。すなわち、導電経路は面内に並列抵抗を形成していると考えられるため、導電経路 x 本目の1本あたりの抵抗を $R_{line}(x)$ とすると、導電接着剤の体積抵抗 R_{Vol} との関係は、式(6)となる。

$$\frac{1}{R_{Vol}} = \sum_{x=1}^{N_s} \frac{1}{R_{line}(x)} \quad \dots (6)$$

ここで導電経路内の抵抗について着目すると、1つの導電経路内ではAg-Agフィラ間の接触抵抗が直列抵抗を形成していると考えられるため、導電経路内の接触点 n 点目の1点あたりの抵抗を $R_{Ag-Ag}(n)$ とすると、導電経路1本あたりの抵抗 $R_{line}(x)$ との関係は、式(7)となる。

$$R_{line}(x) = \sum_{n=1}^{N_L} R_{Ag-Ag}(n) \quad \dots (7)$$

$R_{Ag-Ag}(n)$ は n によらず一定と仮定すると、1経路におけるAg同士のフィラ接触点数は N_L なので、式(7)は式(8)となる。

$$R_{line}(x) = N_L \cdot R_{Ag-Ag} \quad \dots (8)$$

式(6)と式(8)の関係から、 $R_{line}(x)$ は x によらず一定と仮定すると、 1mm^2 の導電経路数は N_s なので、式(9)が導ける。

$$\frac{1}{R_{Vol}} = \frac{1}{R_{Ag-Ag}} \cdot \frac{N_s}{N_L} \quad \dots (9)$$

式(9)より、

$$R_{Ag-Ag} = R_{Vol} \cdot \frac{N_s}{N_L} \quad \dots (10)$$

式(10)は式(5)と同様に、実験により計測可能な体積抵抗 R_{Vol} と、FIB-SEMにより計測可能な導電経路数 N_s と1経路における接触点数 N_L から、Ag-Ag間1点あたりの接触抵抗 R_{Ag-Ag} を計算できることを示している。

式(10)より計算すると、Ag-Agの1点あたりの平均の接触抵抗 R_{Ag-Ag} は 1.85×10^2 (mΩ / 点) となる。Ni-Agの接触点はAg-Agの接触点に比べ、3~4桁程度接触抵抗が高いことが確認できた (Fig. 11)。

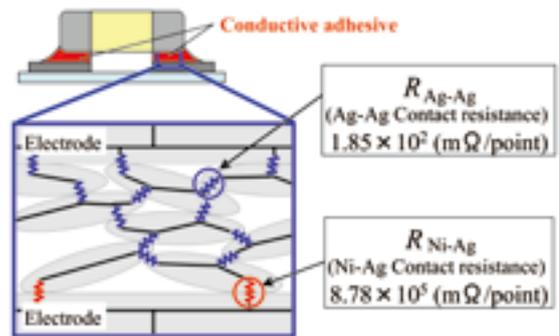


Fig. 11 Calculation result of the contact resistance in electrically conductive adhesive

また、界面抵抗 R_{int} と体積抵抗 R_{Vol} は直列抵抗を形成していると考えられるため、全体の抵抗値 R_{Total} は R_{int} と R_{Vol} の和となる。このことと、式(3)、式(10)より、全体の抵抗値は式(11)にて予測することができる。

$$R_{Total} = \frac{1}{N_{Ni-Ag}} \cdot R_{Ni-Ag} + \frac{N_L}{N_s} \cdot R_{Ag-Ag} \quad \dots (11)$$

4.3 接触面積による考察

4.3.1 接触面積の影響精査

接触抵抗にはフィラや電極など金属の接触状態が与える影響が大きいと考えられるため、接触面の精査を行い、考察を加える。3.1及び4.2で言及したように、実サンプルでの導電性には電極と導電性接着剤間の界面抵抗、すなわち微視的にはNi-Ag間の接触抵抗の影響が支配的であるため、このNi電極と導電樹脂の界面に着目して精査する。Fig. 12は、Ni電極と導電接着剤の界面における電極とフィラの接触部を示したものである。各接触点毎に接触面積の大小があることが確認できる。このため、4.2の接触点数での考察に対し、接触面積の影響を考察に加えることで、接触点に対す

る抵抗の大小を加味したより正確な接触抵抗の定量化を行うことができると考えた。



Fig. 12 Contact area between Ni-electrode and filler of Sample A

4.3.2 界面抵抗の計算

界面においてフィラと電極とが接触している面積は、界面全体の8.5%であった。この界面近傍の部分について、電流解析を試みた。

FIB-SEMで取得した3次元の情報を、Simpleware^{14) 15)}を用いて解析モデル化した (Fig. 13)。ポイントである電極界面の電気的抵抗の影響を考慮するため、電極界面を解析モデルの限界の薄さである80nmで界面要素として別要素化し、ここに任意の体積抵抗率 ρ を導入することで界面の影響を考察していく。この解析モデルに対し、Ansysにより電流解析を行った。解析条件は、3Dフルモデル、メッシュタイプは4接点四面体1次要素、約80万要素である。境界条件は、電圧1mVを両端に与え、側面は絶縁として解析した。

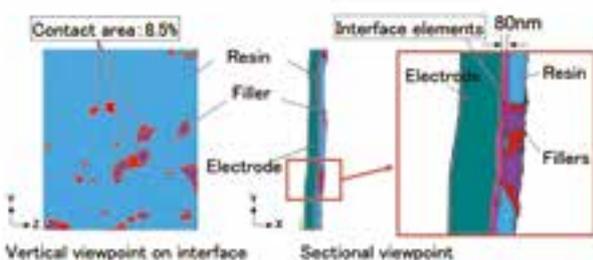


Fig. 13 Analysis model on Ni-electrode

解析結果より、両端の間に流れる電流量を計算し、この結果と電圧1mVを用いて、オームの法則より全体の抵抗を計算した。この結果を Fig. 14 に示しており、電極界面の80nm層の体積抵抗率変化をx軸に、

算出した全体の界面抵抗率をy軸にプロットしている。この関係を両対数でとると、xとyはほぼ直線となり、 $y=0.0016x^{0.97}$ の関係で近似される。この関係より、3.1で示した実機評価の結果である界面抵抗率 $7.31\text{m}\Omega \cdot \text{mm}^2$ の場合、厚さ80nmの界面要素の体積抵抗率 ρ は $6.21 \times 10^3 \text{m}\Omega \cdot \text{mm}$ となる。

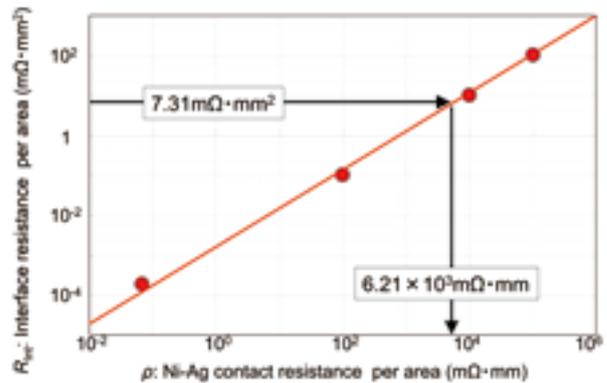


Fig. 14 Analysis result of Ni-Ag contact resistance per area

ここで、厚みの影響をキャンセルし、純粋な面積に対する抵抗に換算を行う。電気抵抗 R (Ω)、体積抵抗率 ρ ($\text{m}\Omega \cdot \text{mm}$)、導体の厚さ L (mm)、導体の断面積 A (mm^2)の関係は、式(12)で示される。

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad \dots (12)$$

今回の場合、導体の長さ $L=80 \times 10^{-6}$ (mm)は便宜上の値であるためこれをキャンセルし、接触部の界面抵抗率 RA に換算する。式(12)より

$$RA = \rho L \quad \dots (13)$$

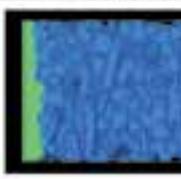
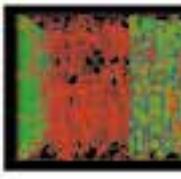
式(13)より、界面抵抗率 RA は、 $0.497\text{m}\Omega \cdot \text{mm}^2$ と計算でき、接触界面の抵抗を定量化することができた。この結果は、界面における接触面積を測定できれば、マクロな界面抵抗を予測できることを示している。

4.3.3 導電性の予測

導電接着剤のNi界面での接触面積当たりの界面抵抗が計算できたので、今度は逆に実サンプルにおける電極での抵抗、つまりマクロな界面抵抗の予測を試みる。接触面積を変えた実サンプルにて検討を行うため、平均フィラ径を2/3程度に小さくした検証用のSample Bを作製し、予測と評価を行った。まず、3.2と同様の

手法で FIB-SEM による 3 次元観察を行い、界面での接触面を把握した。3 次元観察によるフィラ分散状態を Table 2 に、Ni 電極とフィラの接触面を Fig. 15 に示す。この接触面の面積は面全体の 9.5% であった。この接触面積と、単位面積当たりの抵抗 $0.497\text{m}\Omega \cdot \text{mm}^2$ より界面抵抗が予測できる。この sample B の予測結果と、Fig. 3 と同様に測定した sample B の実測値を Fig. 16 に示す。検証用 sample B の予測値と実測値の差は、界面抵抗 (y 切片) で約 9% であり、実測値を計算である程度再現することができた。このことより、本手法により実測の抵抗値を推測することが可能であることが示された。

Table 2 Calculation of contact points and contact area in Sample A and Sample B

		Sample A	Sample B
Observation by FIB-SEM	3D		
	Electric path		
Number of contact points	N_s	270k (points/mm ²)	260k (points/mm ²)
	N_L	804 (points/mm)	852 (points/mm)
Interface contact area		8.5(%)	9.5(%)

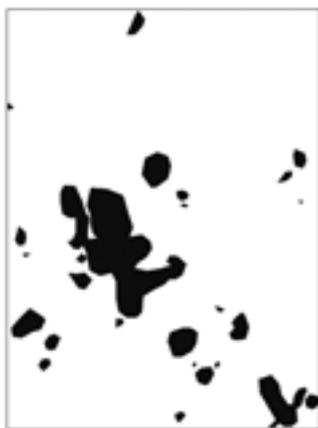


Fig. 15 Contact area between Ni-electrode and filler of Sample B

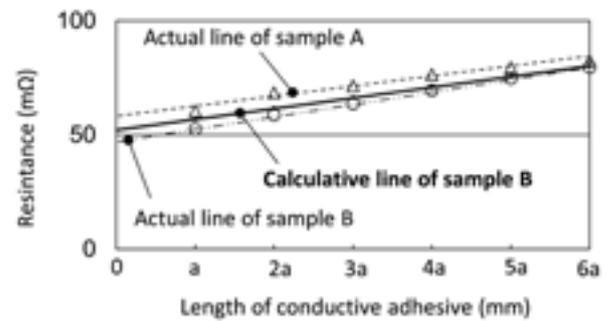


Fig. 16 Result comparison of actual line and Calculation line

Ag-Ag 間の界面抵抗に関しては、文献 9) で論じられている。この文献によると、Ag-Ag 間に厚さ 50nm のエポキシ樹脂が存在する場合、2.5V の電圧に対する界面抵抗は約 2.5×10^{10} (mΩ/点) となり、今回接触点数から計算した Ag-Ag の界面抵抗 1.85×10^2 (mΩ/点) に比べ 8 桁程度大きい。このことは、50nm から更に Ag-Ag 間が接近すると抵抗が急激に小さくなることを示唆している。本報告では Ag-Ag 間の厚さ 50nm 以下を接触点とみなして平均的な界面抵抗の計算を実施したが、実際には接触部は面であり、更に面内でも抵抗の大小が存在するため、今後、より正確な解析を進めるには、この影響を加味した解析を実施する必要がある。

5. むすび

導電樹脂において、実存する材料中の導電フィラの 3 次元的観察結果に基づき、電気的抵抗値の予測を試みた。特に、導電フィラである Ag 同士の接点の平均的抵抗値に対し、Ag-Ni の接点間では 3 ~ 4 桁程度高い抵抗値となることが示された。更に、Ag-Ni の接触面積の抵抗値に与える影響を解析し、この抵抗値を用いて算出した界面抵抗と体積抵抗の予測値は、導電性接着剤中のフィラ径を変えた材料の実測値と同様の傾向を示し、電気的抵抗の予測が可能となった。

参考文献

- 1) O. Arao, A. Shintai, A. Sugiura, "The 3D-visualization of conductive pathway between electrodes in conductive adhesive," Journal of Japan Institute of Electronics Packaging, Vol.16, No.2, pp127-135, Feb.2013, doi: 10.5104/jiep.16.127

- 2) O. Arao, A. Shintai, A. Sugiura, "A study of interface thermal resistance and bulk thermal conductivity by observation of stereoscopic filler dispersion in polymer composites," *Journal of Smart Processing*, Vol.3, No.4, pp199-204, April. 2014, doi: 10.7791/jspmec.3.199
- 3) O. Arao, "Quantification of interface thermal resistance and prediction of thermal conductivity by observation of stereoscopic filler dispersion in polymer composites," *SAE Technical Paper 2015-01-0695*, 2015, doi:10.4271/2015/01-0695
- 4) S.S. Kim, K.S. Kim, K. Lee, S. Kim, K. Suganuma, H. Tanaka, "Electrical resistance and microstructural changes of silver epoxy isotropic conductive adhesive joints under high humidity and heat," *J. Electron. Mater.*, Vol.40, No.2, pp.232-238, Feb. 2011
- 5) Y. Kariya, Y. Kanda, K. Iguchi, H. Furusawa, "Influence of temperature and dwelling time on low-cycle fatigue characteristic of isotropic conductive adhesive joint," *Mater Trans* Vol.51 No.10 pp1779-1784, 2010
- 6) Y. Kariya, H. Yamaguchi, M. Itako, N. Mizumura, K. Sasaki, "Mechanical behavior of sintered nano-sized Ag particles," *Journal of Smart Processing*, Vol.2, No.4, pp160-165, July. 2013, doi: 10.7791/jspmec.2.160
- 7) M. Inoue, "Electrical and thermal conductivity of electrically conductive adhesives," *Journal of the Adhesion Society of Japan*, Vol.47, No.1, pp.23-34, Jan. 2011
- 8) 甲斐朋齊, "導電性接着剤の開発動向について," *溶接技術*, Vol.55, No.12, pp.68-75 Nov. 2007
- 9) T. Yu, "Novel isotropical conductive adhesives for electronic packaging application," *IEEE Trans Adv Packag*, Vol.32 No.3, pp.589-592, Aug. 2009
- 10) S. Kohinata, "The outline of technologies and development for advanced isotropic conductive adhesive," *Journal of the Adhesion Society of Japan*, Vol.43, No.5, pp.166-178, May 2007
- 11) K. Kurosu, N. Kawamoto, Y. Murakami, D. Shindo, "TEM study of local conduction mechanisms in model specimens of Ag-based conductive adhesive," *IEEE Trans. Electron. Packag. Manufact.*, vol.2, No.2, pp.294-299, Feb. 2012, doi:10.1109/TCPMT.2011.2176734
- 12) J. Woo-Ju, H. Nishikawa, D. Itou, T. Takemoto, "Electrical characteristics of a new class of conductive adhesive," *Mater Trans*, Vol.46, No.10, pp.2276-2281, Oct. 2005
- 13) M. Kato, T. Ito, Y. Aoyama, K. Sawa, T. Kaneko, N. Kawase, H. Jinnai, "Three-dimensional structural analysis of a block copolymer by scanning electron microscopy combined with a focused ion beam," *Polymer Science Part B: Polymer Physics*, Vol.45, No.6, pp.677-683, 2007
- 14) P.G. Young, T.B.H. Beresford-West, S.R.L. Coward, B. Notaberardino, B. Walker, A. Abdul-Aziz, "An efficient approach to converting three-dimensional image data into highly accurate computational models," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Vol.366, No.1878, pp.3155-3173, June. 2008, doi: 10.1098/rsta.2008. 0090
- 15) O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, J.Z. Zhu, "The finite element method, Its basis & fundamentals 6th edition," Butterworth-Heinemann, 2005

著者



荒尾 修

あらお おさむ

材料技術部 博士(工学)
有機材料の研究・開発, および材料・
加工の品質管理業務に従事



新帯 亮

しんたい あきら

材料技術部
電子実装材料の研究・開発に従事



杉浦 昭夫

すぎうら あきお

材料技術部
絶縁材料・接着剤・電子実装材料の
研究・開発に従事