

地域密着型産学官共同研究への取組み

渡辺 潤

長野OKIでは、プリント基板や制御装置などの設計・製造を行っている。その中でも電子機器受託製造サービスであるEMS (Electronics Manufacturing Service) 事業に注力し、変種変量生産に対応する生産体制を構築している。

当社主力事業のひとつであるプリント基板組立では、製品の長期信頼性に影響を与える材料選定評価、接合条件設定等の「実装技術」が当社の重要なコア技術である。日々進化していく最新実装技術情報をいち早く入手するための手段として、これまで約20年にわたり学会活動や産学官共同研究に参加し、知識の拡充、人材育成を行ってきた。本稿では当社が参画している信州大学-小諸市産学官連携協議会での共同研究事例を報告する。

信州大学-小諸市産学官連携協議会

当社が立地する長野県小諸市では、市内企業の研究開発促進を目的とした助成事業として信州大学-小諸市産学官連携協議会が設立されている。小諸市では、企業が信州大学と共同研究を実施できる環境作りとして、研究課題のヒアリングや研究内容に適した研究室の紹介などのコーディネート、研究費の一部を補助する助成事業の取組みを行っている。当社は協議会発足時である2009年から本会に参画し、社内での課題や基礎研究要素の高いテーマを選定し共同研究を実施してきた。信州大学-小諸市-長野OKIによる産学官共同研究では、長野県内という近距離の範囲で研究体制が構成されるため、実験や打ち合わせなどFace to Faceで行い、スピード感のある研究を実施できることが特徴であり、専門知識豊富な信州大学の教授陣からの的確な助言をいただきながら研究を円滑に進めることができる。

また、当社では製品設計や信頼性評価を行うために多種多様な分析・評価設備を保有している。しかし、導入できる設備には費用面、技術面の点から限界があり、社内だけでは高いレベルの分析を行うことができない。信州大学では先端研究施設共用促進事業として『ナノカーボン産業拡大の為にカーボンバレー構築支援事業』を展開

して、共同研究を実施することで大学所有の最新分析設備を利用して研究を進めることができる。使用に際してはサポート体制が万全であり、目的とする測定が円滑に行え、使用回数などの制限も無いことから、社内では実施できない高いレベルの分析も行うことができる。

上記の点から信州大学-小諸市産学官共同研究の実施は当社として大きなメリットがあると考えられる。

共同研究実施事例①：はんだ鍍先の長寿命化

2009年に実施した初めての共同研究では、鉛フリーはんだを使用するはんだ鍍 (こて) 先の長寿命化に取り組んだ。

当社では2006年のRoHS指令施行への対応として、はんだの鉛フリー化に取り組んできた。それまで使用してきたSn-Pb系はんだからSn-Ag-Cu系鉛フリーはんだへと材料を変更してきたが、それにより多くの問題が発生した。特に大きな問題であったのが、フローはんだ付け装置の損傷、いわゆるエロージョン (侵食) 現象である。エロージョンとは溶融した鉛フリーはんだと接触する機器の素材が、はんだと反応することで損傷する現象である。これは鉛フリーはんだの溶解能が高いことが原因と考えられる。フローはんだ付け装置のエロージョン対策にはこれまで多くの研究や取組みが実施され^{1)、2)}、現在では発生が抑制されている。その一方、はんだ付けに使用される鍍先のエロージョンには鍍先の交換以外に対策がないのが現状である。消耗品のコスト増加、交換作業による生産性ダウン、エロージョンが発生した鍍先の廃棄量増加といった課題がある³⁾。エロージョンが発生した鍍先の断面図を図1に示す。鍍先表面の鉄 (Fe) めっきがはんだにより侵食されると、鍍先の母材であるCuの心材が急激に侵食されることがわかる。

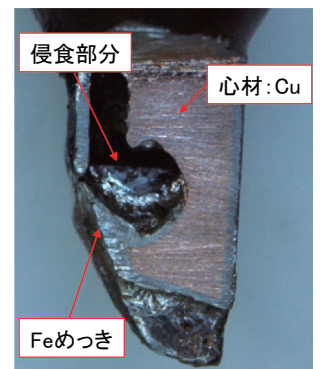


図1 エロージョン発生鍍先³⁾

我々は、はんだ鍍先の耐エロージョン材料の開発を目的とし、信州大学-小諸市産学官連携協議会の協力の下、研究に取り組んだ。信州大学はカーボンナノチューブ^{4)、5)}を代表とする炭素系材料で世界でもトップクラスの研究に組み込み高い評価を得ている。カーボンナノチューブはこれまでの材料にはない高い物性値を有することから次世代の高機能材料として注目されている。カーボンナノチューブは、単層カーボンナノチューブ (Single-walled Carbon Nanotube ; SWCNT)、多層カーボンナノチューブ (Multi-walled Carbon Nanotube ; MWCNT) の大きく2種類に分類される。SWCNTは高い物性値を有するが、大量生産が困難で価格が高い。対してMWCNTは量産性に優れ、安価に入手することができる。本研究では、低価格で機械特性、熱伝導特性に優れたMWCNTを金属に複合化させることによる、はんだ鍍先の耐エロージョン特性評価を実施した。

MWCNTの金属への複合化に関して、これまでに数多くの研究報告をされている信州大学工学部の新井進教授の指導の下、複合めっき法による金属へのカーボンナノチューブ複合化の検討および基礎物性評価を実施した。実際に使用されるはんだ鍍にはFeめっきが用いられるが、本研究の取掛かりとしては、めっき技術が確立しているニッケル (Ni) を用いてMWCNT複合化の検討およびNi-MWCNT複合めっきの効果を検証した。めっきの特性評価として、めっき表面の走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope ; SEM) 観察、はんだぬれ広がり特性、高温磨耗特性などを評価し、得られた成果をまとめ、特許取得、および論文発表⁶⁾を行った。

共同研究実施後、実際の鍍先への適用を目指し、はんだ鍍メーカーである白光株式会社との協力のもと評価を継続し、実サンプルを想定したFe-MWCNT複合めっきサンプルを作成し基礎データの取得を行った。作成したFe-MWCNT複合めっきサンプルの表面SEM観察結果を写真1に示す。Feめっき表面に繊維状のMWCNTが複合化されている様子が伺える。この結果からFeめっき膜中にMWCNTが複合化していることを確認した。

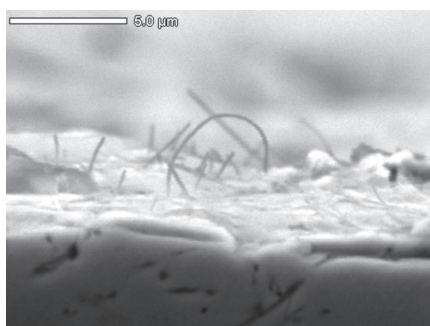


写真1 Fe-MWCNT 複合めっき表面 SEM 画像

Fe-MWCNT複合めっきの耐エロージョン特性を評価するため、図2に示す方法でエロージョン特性を評価した⁷⁾。図2に示すはんだ鍍先部にFeめっきおよびFe-MWCNT複合めっきを施したサンプルをセットし、自動はんだ供給装置により直径1.0 mmのワイヤー状ヤニ入り鉛フリーはんだ (96.5 mass%Sn- 3 mass%Ag- 0.5 mass%Cu) を供給する。鍍先ではんだを熔融し、エアで熔融はんだを吹き飛ばす動作を1,000回繰り返す。その後、鍍先の断面解析からエロージョン最大深さを測定した。

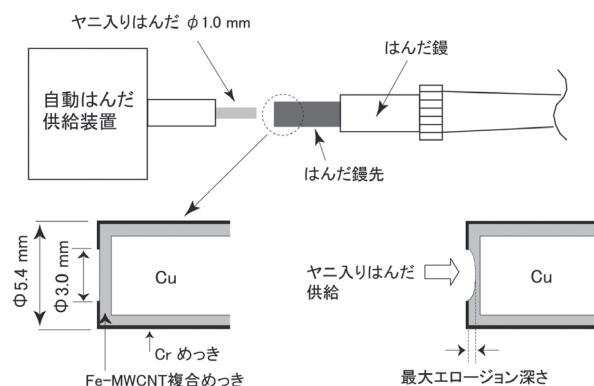


図2 エロージョン特性評価試験

測定結果を図3に示す。Feめっきと比較し、Fe-MWCNT複合めっきでは耐エロージョン特性が23%向上していることが示唆された。

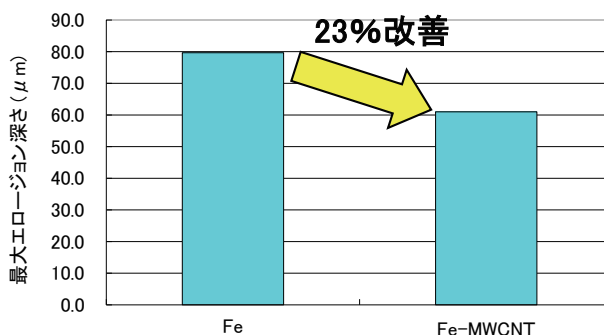


図3 エロージョン特性結果

耐エロージョン特性向上の要因を調査すべく、FeめっきおよびFe-MWCNT複合めっきのX線回折測定を実施した。X線回折測定結果を図4に示す。Fe-MWCNT複合めっきを鍍先使用温度である350℃で加熱したサンプルでは、炭素 (C) がFeに固溶したセメンタイト (Fe₃C) の回折パターンが観測された。これはめっき膜内での加熱によりFe

結晶中にCが固溶したことが予想される。複合めっき膜の加熱により、めっき母材と複合化した物質とが反応して新たに機能を有しためっき膜を作成することは反応性複合めっきとして報告されている⁸⁾。Fe₃Cは鉛フリーはんだの大部分を占めるスズ (Sn) へのFeの拡散を抑制する働きがあることが報告されている⁹⁾。Fe-MWCNT複合めっきの耐エロージョン特性が向上したのは、めっき膜中にFe₃Cが生成し、Sn中へのFeの拡散が抑制されたことが要因であると予想される。

Fe-MWCNT複合めっきに関するこれらの研究結果について、これまでに学会および欧米紙への論文投稿を実施してきた^{10), 11)}。今後は、はんだ鍍のみではなく他の治工具類への展開も検討していく。

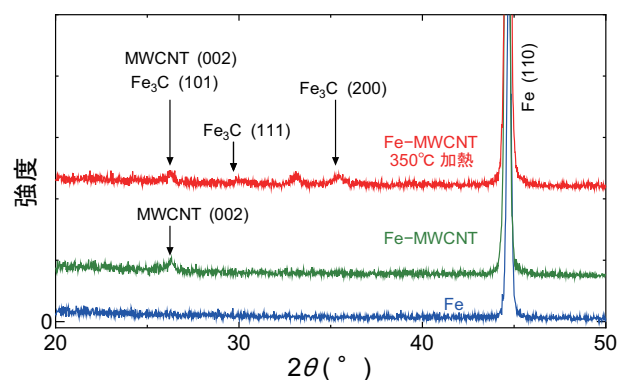


図4 X線回折測定結果

共同研究実施事例②：高熱伝導樹脂材料の開発

2011年には、実装用材料として使用される樹脂材料の高熱伝導化を目的とした複合材料開発を、繊維学部の倪慶清教授の下で実施した。近年、実装用材料としてエポキシを代表とする樹脂材料の適用が進んでいる。樹脂材料は一般的に熱を伝えにくい材料であるが、デバイスから発生する熱を放熱するため実装用材料の熱伝導特性は非常に重要な要素である。そこで本研究では実装用材料に用いられるエポキシ樹脂に高熱伝導特性を有するMWCNTをフィラー（充填剤）として複合化させることによる樹脂の熱伝導率変化を評価した。またMWCNTは高い熱伝導率を有するが、高い導電性も示すことから、実装用材料へ適用する場合、電気絶縁性に注意が必要であるため、樹脂材料の熱伝導率と電気絶縁性の相関についても評価を行った。作成したMWCNT複合エポキシ樹脂のSEM観察画像を写真2に示す。黒い部分がエポキシ樹脂、針状の白い部分がMWCNTである。

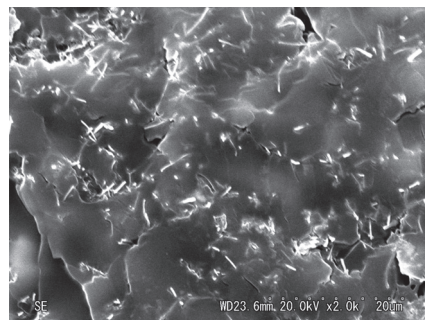


写真2 MWCNT 複合エポキシ樹脂 SEM 画像

電気絶縁性を確保しながら熱伝導率を向上させるため、MWCNTだけでなくSiO₂フィラーも混練したハイブリッドフィラーを用いて熱伝導率測定を実施した。結果を図5に示す。

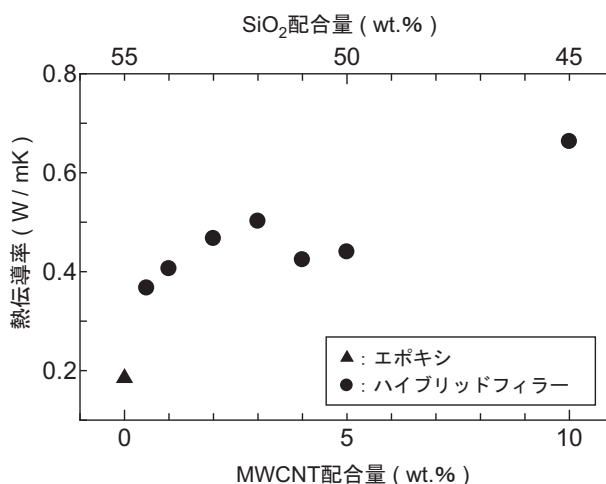


図5 熱伝導率測定結果

エポキシに対し、SiO₂フィラーを45 wt%、MWCNTを10 wt%配合することで熱伝導率がエポキシの3.6倍まで上昇することを確認した。本研究で得られた成果を第4回日本複合材料合同会議で報告した。

共同研究実施事例③：有限要素法による実装基板の解析

2013年に実施した3例目の共同研究では、実装基板の熱応力や放熱特性について有限要素法解析を実施した。ボールグリッドアレイ (Ball Grid Array; BGA) と呼ばれる部品下面にはんだボールが設置された部品をプリント基板にはんだ接合したモデルを想定し、はんだ接続部の接続信頼性や、BGAから発生した熱の放熱特性をシミュレーションにより解析した。この研究も倪慶清教授

に指導を依頼した。本研究では当社で材料選定やはんだ接合性評価に使用している標準部品について、有限要素法解析モデルを作成し、材料の物性値を変化させることによる基板の変位量や放熱特性の変化を評価した。実装基板の変位量の温度依存性を解析した結果の例を図6に示す。本解析モデルの作成により、当社の材料評価では実サンプル基板の信頼性試験投入前に試験結果を大まかに予測できるようになった。これにより材料品種や試験投入サンプル数を絞り込み、必要最小限のサンプルで材料評価ができるようになった。

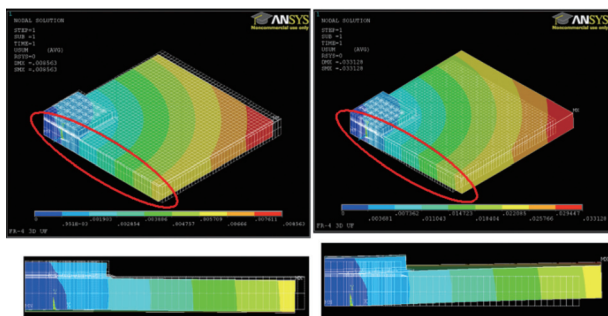


図6 変位量解析モデル

今後の展望

EMSビジネスでは、他社との技術的差別化が大きな競争力になる。今回並びに今後の信州大学-小諸市産学官連携協議会の共同研究成果を、当社製造工程にフィードバックすると共に、工場見学に見えられたお客様に一部紹介することで、当社の技術力の高さを積極的にアピールしていきたい。◆◆

参考文献

- 1) 芹沢弘二 他：フロー槽エロージョンの現象解明と評価試験方法の開発、Proc. 15th Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics、15、379-382、2009
- 2) 竹本正 他：溶融鉛フリーはんだによるフロー槽の損傷メカニズムとその防止策、Proc. 15th Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics、15、383-386、2009
- 3) 初澤健次 他：ロボットはんだ付け装置の適用事例、沖テクニカルレビュー、73、46-49、2006
- 4) S. Iijima : Nature, Helical Microtubules of Graphitic Carbon, 354, 56-58, 1991
- 5) A. Oberlin et al.: Filamentous Growth of Carbon

Through Benzene Decomposition, J. Cryst. Growth, 32, 335-349, 1976

6) 宮崎誠 他：鉛フリーはんだに対するNi-MWCNT複合めっきのはんだぬれ性および耐浸食性、Proc. 16th Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics、16、235-238、2010

7) 竹本正 他：鉛フリーはんだ用こて先チップの損傷とその防止、Proc. 8th Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics、8、179-182、2002

8) 小岩一郎：ナノ粒子を利用した反応性分散めっき、表面技術協会 将来めっき技術検討部会 第二回例会 予稿集、21-45、2010

9) 川本崇彰 他：はんだ/炭素鋼界面反応層の成長速度と炭素濃度の関係、第25回エレクトロニクス実装学会春季講演大会論文集、25、165-166、2011

10) 渡辺潤 他：鉛フリー対応はんだ鍍先へのFe-MWCNT複合めっき適用性についての検討、第25回エレクトロニクス実装学会春季講演大会論文集、25、391-392、2011

11) J. Watanabe et al.: Study on Erosion Resistance Characteristics of Fe-MWCNT Composite Plating with Respect to Lead-free Solder, Journal of Physics: Conference Series, 379, 12025, 2012

筆者紹介

渡辺潤：Jun Watanabe. 長野沖電気株式会社 製造技術部