マイクロ接合分野における信頼性解析技術の動向

山根 常幸*

A Trend of Analysis Technology for Reliability in Microjoining Field

Tsuneyuki YAMANE*

*株式会社東レリサーチセンター材料物性研究部（〒520-8567 滋賀県大津市園山3-3-7）

*Materials Characterization Laboratories, Toray Research Center, Inc. (3-3-7 Sonoyama, Otsu-shi, Shiga 520-8567)

1. はじめに

日本のエレクトロニクス産業は、この20年間、高機能化、高信頼化、小型化、低コスト化の技術開発に支えられた新たな電子デバイス・部品を組み込んだ電子システム創成の下、日本の高度成長を牽引してきた。今後も日本が世界を先導し続けるには、生産技術を科学的に探求することはもちろんのこと、既存の学問領域、設計・生産技術などの領域を超えて、エレクトロニクスを取り巻く科学技術、経営・生産システム、価値システム、などの広い範囲を取り込んだグローバルな最適化とそれに基づくシステムインテグレーションが不可欠になってきている。溶接学会マイクロ接合研究委員会は、これら生産技術に関する最新の研究・開発に関する研究者相互の情報交換の場をより広くかつ定期的にもち、生産の科学と技術の進展を促すことを目的として、「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（Microjoining and Assembly Technology in Electronics, 略称Mate）」を、1995年から年1回の頻度で企画開催している。本稿では2012年1月31日、2月1日にパシフィコ横浜にて開催されたMate2012の概要および本シンポジウムでの信頼性解析技術に関する最近の発表を事例として当該分野の動向を紹介する。

2. Mate2012概要

溶接学会マイクロ接合研究委員会で作成されたロードマップで掲げた技術目標（高精度・高機能デバイス実装技術の確立、グリーンデバイス実装技術の確立）をもとに、「環境エコ社会を支えるエレクトロニクス技術」と題して、「スマートシティーを支える地域エネルギー管理システムの動向（日立製作所 河野克己氏）」、「普及が進む太陽電池の研究開発動向の将来展望（富士電機 吉田 隆氏）」、「エレクトロニクス材料を用いた小型環境振動発電デバイスの開発（オムロン 正木達明氏）」、3件が講演され、参加者は約500名であった。一般発表は口頭87件、ポスター

20件で、口頭発表のテーマ内訳を図1に示す。

優秀な論文に対し、「シンポジウム賞（論文賞、奨励賞）」を授与しており、今回は優秀論文賞「非接触表面形状測定計による液状熱硬化性樹脂の化学収縮測定（パナソニック 豊田 慶氏、櫻井大輔氏、後川和也氏）」など、計5件が選ばれた。

「信頼性」という観点からは、シミュレーション、検査、計測といったマクロ的に現象をとらえる発表に加え、図2に示すような各種分光光学および表面分析手法を駆使して、材料特性や界面構造を把握し、分析・解析的に現象のメカ

図1. Mate2012口頭発表（87件）のテーマ内訳

図2. 主な分光光学および表面分析手法とその特徴¹⁾

ニズム解明に結び付けようとする試みが報告されている。本稿では、BGA (Ball Grid Alloy) パッケージ、太陽電池モジュール、ニッケルめっき膜を事例として、これら各種分析手法による「信頼性解析」の事例を紹介する。

3. BGAパッケージはんだ接合部の熱疲労寿命²⁾

電子機器の長期信頼性の確保で避けて通れないのが、はんだ接合部の信頼性である。旧来のQFP (Quad Flat Package) 型のパッケージでは、リードフレームとはんだ材の両方でこのせん断応力を受けとめていたが、BGA型のパッケージでは、はんだボールがこのせん断応力を吸収することとなるが、一方接合部でのせん断応力を分散させるために、パッケージとプリント配線板の間にアンダーフィルを充填されることも多い。以下では、プリント配線板上に実装されたBGAパッケージの冷熱サイクル試験時の歪み量変化を、冷熱サイクル試験に歪みゲージを導入することで計測、さらに構成材料の劣化状態を評価し、計測した歪み量変動のメカニズムについて考察した例を紹介する。

図3に、 -55°C 30 min/ 125°C 30 min条件での冷熱サイクル試験を行ったときの所定サイクル時における -55°C と 125°C の歪み変化を示す。プリント配線板側(基板側)では -55°C 側、 125°C 側ともに試験数が増加しても歪みの大きさに変化が認められず、一定の値である。一方、BGA

図3. 冷熱サイクル試験 (-55°C 30 min/ 125°C 30 min) 時のBGAパッケージの歪み変化

図4. 冷熱サイクル試験1,000回終了後のBGAパッケージ断面SEM像

パッケージ側 (SiP側) ではサイクル数が増加するにつれ、 -55°C と 125°C のいずれも歪みが正のほうにシフトしていく。このようなパッケージとプリント配線板の歪みの相対的な変動(歪みの振幅の増大)は、はんだにかかるせん断応力が時間とともに増加していくことを示しており、劣化が加速されていく可能性を示唆している。

図4に冷熱サイクル試験1,000回終了後のBGAパッケージ断面SEM観察結果を示す。最外周のはんだボール端部(図4中右端)のはんだボールにクラックが観察されている。ただし、はんだボールの劣化は全体でなく、最もせん断応力が集中する端部のみであり、はんだボールの劣化が歪みゲージで観察された現象を反映しているとは判断できない。さらに、断面像を詳細に観察すると、アンダーフィル/ solder レジスト間や、アンダーフィル/ はんだボール間での剥離が観察され、この現象は広範囲に観察されている。これら知見より、アンダーフィルや solder レジストの熱劣化により、剥離が発生した可能性が示唆される。

図5に solder レジストの冷熱サイクル試験前後でのFT-IR (Fourier Transform-Infrared Spectroscopy, フーリエ

図5. 冷熱サイクル試験前後の solder レジスト赤外スペクトル

図6. 結露凍結試験前後の ETFE と PE の PE 側接合界面近傍の赤外スペクトルおよび差スペクトル

変換赤外分光) ATR (Attenuated Total Reflection, 全反射) 法による赤外スペクトルを示す。試験後 - 試験前の差スペクトルについて, $1,780\text{ cm}^{-1}$ の酸過酸化物 (R-COO-O-R) や $1,730\text{ cm}^{-1}$ のエステルのピークが認められ, 酸化劣化の存在が確認された。

以上の分析結果から, アンダーフィルや溶剤レジストの劣化により両者間およびはんだとの剥離が発生し, はんだにせん断応力が集中したと推定される。本応力集中は, はんだの機械的な強度低下を促進する要素となり, はんだ接合部の信頼性低下の一因となる。このため, パッケージ全体の信頼性評価のためには, はんだ部の接合評価だけでなく, 樹脂成分の評価も重要である。

4. 太陽電池モジュールの高分子部材の構造評価³⁾

太陽電池モジュールの開発目標として, システムの長寿命化による生涯発電量を増大させることが掲げられている。太陽電池モジュールで最も劣化を受けると考えられる高分子部材の耐久性向上の評価は, 長寿命化および高信頼性の向上に, 非常に重要である。以下では, フィルム型太陽電池を想定した, ETFE (Ethylene tetrafluoroethylene) と PE (Polyethylene) のフィルムを張り合わせた試料を準備, 結露凍結試験前後品について, 深さ方向に研磨しながら FT-IR ATR法により赤外スペクトルを測定し, 接合界面組成変化および構造解析した例を紹介する。

図6に, 結露凍結試験前後の ETFE と PE の PE 側接合界面近傍の赤外スペクトルおよび, 基準ピークを $1,370\text{ cm}^{-1}$ 付近の CH 変角 (結合角の変化) 振動モードとした差スペクトルを示した。 $1,300 \sim 1,000\text{ cm}^{-1}$ 付近の吸収帯は, 研磨時の ETFE 残存成分である。差スペクトルから, 結露凍結試験後は, ① $1,100, 800\text{ cm}^{-1}$ 付近の Si-O 結合と推測される吸収帯が減少し, ② $3,600, 3,400\text{ cm}^{-1}$ 付近のアミド基に由来すると考えられる N-H 結合および $1,730, 1,700\text{ cm}^{-1}$ 付近のカルボニル基に由来する吸収帯が増加する傾向が認められた。これら吸収帯はシランカップリング剤などの添加剤由来と推測され, 結露凍結試験により, 接合界面近傍の添加剤成分の組成に変化が生じていると考えられる。

図7に深さ方向での組成変化を可視化した検討例として, シランカップリング剤由来と考えられる $1,090\text{ cm}^{-1}$ の吸収帯強度の深さ方向分布と結露凍結試験回数のイメージング像を示す。横軸が深さ方向を示している。試料片の厚みは試料ごとに完全には一致していないため, 試験による構造変化が少ないと考えられる $1,300\text{ cm}^{-1}$ の CH 変角振動モードに由来する吸収帯強度で規格化している。結露凍結試験のサイクル数が増加すると, PE 層の全体にわたり, ほぼ均一的に $1,090\text{ cm}^{-1}$ の吸収強度が減少していることがわかる。本結果は, 水が透過したことで, 層全体にわたり下記の化学反応による均一な組成変化を生じた可能性を示唆している。

図7. 赤外スペクトル $1,090\text{ cm}^{-1}$ の吸収帯強度の深さ方向分布と結露凍結試験回数のイメージング像

ETFE と PE の接合強度に関与しているシランカップリング剤は, 水の存在により変性し系全体に悪影響を及ぼす可能性があることがわかる。これらのことから, 添加剤の種類および量を適切に選定することが, システムの耐久性向上に重要であると考えられる。

5. めっき液の劣化に伴う膜形成への影響評価⁴⁾

ニッケルめっき膜は, 拡散障壁機能が大きい, 金属間化合物生成抑制機能が大きい, 機械的強度が大きく比較的耐食性が高いなどの特徴を有する。一方, 硬質で割れやすい, 酸化するとはんだ濡れ性が劣るなどの欠点も有するため, それらの特性を考慮した取り扱いが必要である。以下では, スルファミン酸浴 (スルファミン酸ニッケル, ハロゲン化ニッケル, ほう酸) に湿潤剤としてラウリル硫酸を添加した新液および長期間使用後の劣化液, それぞれを使用して作製しためっき膜について, TOF-SIMS (Time of Flight-Secondary Ion Mass Spectrometry, 飛行時間型二次イオン質量分析), ナノインデンテーションおよび AFM

図8. ①劣化液, ②新液を使用して作製したニッケルめっき膜の (a) TOF-SIMS, (b) ナノインデンテーション, (c) AFM測定結果

(Atomic Force Microscope, 原子間力顕微鏡) 測定で評価した例を紹介する。

図8(a) は, TOF-SIMS測定の結果であり, 洗浄工程で除去しきれなかったと推定される湿潤剤(ラウリル硫酸)由来の成分が検出され, 劣化液を使用した膜に比べ, 新液を使用した膜のほうが多くなっている。図8(b) のナノインデンテーションの結果から, 劣化液を使用した膜のほうが, 弾性率, 硬さともに低い傾向が得られ, また, 図8(c)

のAFM測定の結果から, 劣化液を使用した膜のほうが粒状化し, ミクロな領域で平滑性が悪化していることが予想された。別途実施しためっき浴のLC/MS/MS分析(Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry, 液体クロマトグラフィー質量分析)から, 新液に比べて劣化液はラウリル硫酸濃度が低下しており(新液8ppm, 劣化液3ppm), 弾性率の低下および平滑性の悪化は, ラウリル硫酸濃度の低下による濡れ性の低下や水素気泡の脱離促進効果の減少が原因であると推定される。上記結果は, めっき浴中の湿潤剤(ラウリル硫酸)濃度について, 厳密な管理の必要性を示唆している。

6. おわりに

今後も日本が世界の“ものづくり”を先導し続けるためには, 「生産技術の科学的探求」が必須条件であり, その意味でも, マイクロ接合分野での最新の研究・開発に関する研究者相互の情報交換の場であるMate, 信頼性評価における分析・解析的観点からのアプローチなどの重要性はますます高まると考えられる。

(2012.6.5- 受理)

文 献

- 1) 柴森孝弘: “異物分析,” TRCポスターセッション2010「分析入門セミナー」テキスト, 2010
- 2) 伊藤元剛, 的場伸啓, 平野孝行, 三橋和成: “BGAパッケージはんだ接合部の熱疲労寿命についての考察,” Mate2011論文集, Vol. 17, pp. 149-152, 2011
- 3) 三橋和成, 宮田洋明, 的場伸啓, 渡邊 猛: “太陽電池モジュールの高分子部材の構造評価,” Mate2012論文集, Vol. 18, pp. 301-304, 2012
- 4) 塩路浩隆, 大槻亜紀子, 伊藤元剛, 荻野純一: “めっき液の劣化に伴う有機添加剤の濃度減少と膜形成への影響評価,” Mate2011論文集, Vol. 17, pp. 335-336, 2011

著者紹介

山根常幸(やまね つねゆき)
1986年3月大阪大学大学院理学研究科修士課程修了。同年4月東レ入社。現在, 東レリサーチセンター材料物性研究部部長。博士(工学)。