

エレクトロニクス実装材料としての ポリエステル変性エポキシ樹脂の開発

福本 信次*



研究ノート

Development of Polyester-Modified Epoxy Resins for
Electronics Packaging Technology

Key Words : Self-organization process, soldering, multi-materials,
stress relaxation

はじめに

昨今ではIoT (Internet of Things) という言葉もいささか古くなりつつあるほどあらゆるモノとモノ、さらにはヒトとモノ、ヒトとヒトが意識することなく繋がっている。またこれからはそれぞれが瞬時につながる大容量・高速通信時代に入り、それをささえる高度なエレクトロニクス技術が必要不可欠となる。また欧州や米国では脱ガソリン車化の方針が打ち出されており、日本政府も2030年代にはガソリン車の販売を禁止する方針を検討しているとの報道もある。電気自動車 (EV) においては電力を制御するパワーモジュールが重要な役割を果たす。いずれにしてもこれからの30年は高速通信、センシング、省エネルギーを実現するモジュール化技術、小型化技術、高放熱・排熱技術、耐熱技術などがエレクトロニクス実装分野において求められることになる。

一般に電子機器はカメラモジュール、センサーモジュール、熱電変換モジュールなど様々なモジュールが組み込まれ、またモジュール自身は多くの材料で構成されている。マルチマテリアルという用語は自動車製造技術において昨今頻繁に用いられているが¹⁾²⁾、電子機器こそマルチマテリアル構造体といえる。表1にエレクトロニクス実装におけるマルチマテリアル化技術との比較をまとめた³⁾。自動車におけるマルチマテリアル化の最大の目的は軽量化で

あるため、主な構造材料である鉄鋼材料を有機材料、アルミニウムおよびマグネシウムなどの軽量材料で置き換えるための研究が多い⁴⁾⁵⁾。これに対して電子デバイスにおけるマルチマテリアルの主な目的は機能化やモジュール化である。よって材料はSiなどの半導体、はんだや銅、アルミニウムなどの非鉄金属およびAuやPtの貴金属、有機材料および無機材料と多岐にわたる。その中でも特に近年は樹脂材料の存在感が増している。そこで本稿では、エレクトロニクス実装用の材料としてポリエステル変性エポキシ樹脂の開発について筆者らが取り組んできた内容を紹介する。

表1 車版と電子デバイス版マルチマテリアルの比較³⁾

	車版マルチマテリアル	電子デバイス版マルチマテリアル
目的	軽量化	機能化, 小型化, モジュール化
材料 (組み合わせ)	(高張力)鋼板/Al, Mg, ABS樹脂, CFRP, etc.	Al/Cu, Ni/Al, Si/Al, Cu/Sn, Al/樹脂, Cu/樹脂, Sn/ガラス, etc.
プロセス	抵抗溶接, 摩擦攪拌接合, レーザ溶接, TIG溶接, ろう付け, リベット接合, 接着	ソルダリング, 拡散接合, 焼結接合, 超音波接合, 抵抗接合, プレスフィット接続, 接着
環境負荷	機械的, 熱, 腐食	機械的, 熱, 電気, 腐食

ポリエステル変性エポキシ樹脂

電子機器は小型化にともなってはんだ接合部も微細化が進んだ。しかし小型化された電子機器は日常的に落下衝撃、ほこり、寒暖差、水没、踏みつけなどの過酷な環境で使用されるため、接合部を樹脂材料で封止することで物理的、熱的ダメージからの損傷を軽減する手法がとられている。樹脂材料はその目的に応じて種々の材料が開発されているが、主なものにエポキシ系熱硬化性樹脂がある。熱硬化性樹脂は硬化前と硬化後で別々の特性が求められる。硬化前では粘度調整が重要であり、硬化後では相手材との接着力、線膨張係数や弾性率などの調整が必要となる。そこでエポキシ樹脂をシリコン⁶⁾やポ

* Shinji FUKUMOTO

1966年3月生まれ
大阪大学大学院 工学研究科 博士後期
課程修了 (1995年)
現在、大阪大学大学院工学研究科 マテ
リアル生産科学専攻 教授
博士 (工学) 専門/溶接工学
TEL : 06-6879-7549
E-mail : fukumoto@mapse.eng.osaka-u.ac.jp

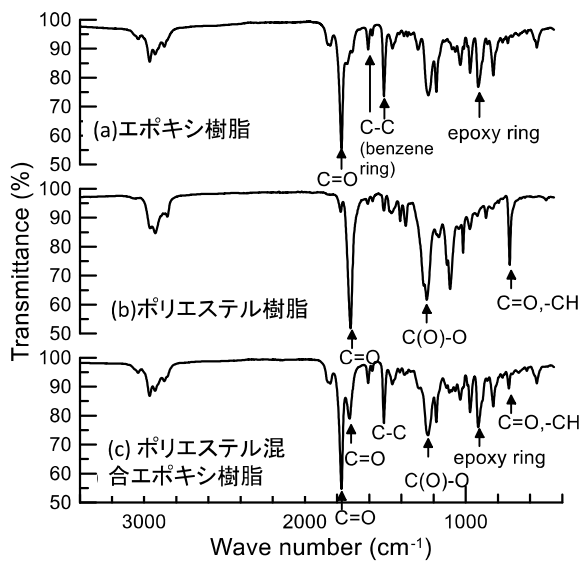


図1 硬化前の種々の樹脂のFT-IRスペクトル⁷⁾

リエステル⁷⁾などで変性したエポキシ樹脂の開発が行われてきた。図1はエポキシ樹脂にポリエステル樹脂を10mass%混合した状態をフーリエ変換赤外分光光度計 (FT-IR) によって測定した赤外吸収スペクトルを示している⁷⁾。エポキシ樹脂にはエポキシ樹脂の特徴であるエポキシ環、ベンゼン環のC-C由来の伸縮運動の吸収が見られる。また硬化剤として含有している無水フタル酸に含まれるC=Oの伸縮運動も認められる。一方、ポリエステル樹脂には一般的なポリエステル樹脂に含まれるC=O, C(O)-Oの伸縮振動に由来するスペクトルが1720 cm⁻¹ および 1240 cm⁻¹ 付近にそれぞれ認められる。この2種類の熱硬化性樹脂および熱可塑性樹脂を混合した樹脂においては、上述のエポキシ樹脂の特徴であるエポキシ環および酸無水物由来のスペクトル、ならびにポリエステル樹脂の特徴であるC=O, C(O)-O由来の吸収がそのまま認められ、またそれぞれの樹脂に由来する吸収以外に目立ったスペクトルは認められない。これは分子鎖の短いエポキシ樹脂がポリエステル樹脂の長い分子鎖の間に入り込んでいく可塑化によって、2種類の樹脂がお互いの特性を残したまま相溶した状態であると考えられる。硬化前の混合樹脂はポリエステル樹脂の混合比によって粘度を変化させることが可能である。この混合樹脂を硬化させたポリエステル変性エポキシ樹脂では、エポキシ環や硬化剤由来のスペクトルが消失する。それに対してポリエステル樹脂由来のスペクトルは硬化前と比べて変化が認められない。図

2は硬化後のポリエステル変性エポキシ樹脂の弾性率の温度依存性を示したものである⁸⁾。比較としてエポキシ樹脂の弾性率も示している。すべての温度域においてエポキシ樹脂よりもポリエステル変性エポキシ樹脂の方が弾性率は低くなる。このような特性を有するポリエステル変性エポキシ樹脂の応用例を次に紹介する。

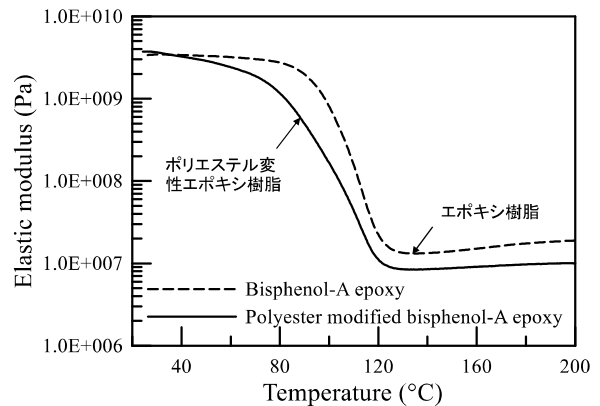


図2 硬化後のポリエステル変性エポキシ樹脂の弾性率の温度依存性⁸⁾

自己組織化実装用への応用

自己組織化実装法とは20 μ m径程度のはんだ微粒子を混合した熱硬化性樹脂を用いた微小電極の多点一括接合方法である⁹⁾。BGAのような多電極基板上にはんだ粒子含有樹脂を塗布し、加熱中の低粘性状態において溶融はんだ粒子が自発的に凝集することで電極間に導通路が形成される。溶融はんだ粒子の凝集を妨げないようにマトリックス樹脂として低粘度化するエポキシ樹脂を用いるが、その一方で樹脂だけやはんだ粒子の沈降の問題も生じる。そこで硬化前のマトリックス樹脂の粘度調整のためにポリエステル樹脂を混合することが有効である。しかし、増粘しすぎると凝集しない遊離はんだ粒子が多く残留することになる。樹脂中に活性剤を混合することでこれを軽減することができる。一例を図3に示す。ポリエステル変性エポキシ樹脂中ではんだ粒子の易動度が低下するため電極間に微小なはんだ粒子が多く残留している (図3(a))。樹脂に活性剤を加えることではんだのぬれ性が改善し、はんだ微粒子の残留を軽減することができる (図3(b))。電極間にはんだ粒子は残留しているが、複数のはんだ微粒子が凝集して少し大きな粒子に成長しているため電極間の短絡現象は生じない。このように樹脂設計をす

ることで自己組織化実装へも応用が可能である。

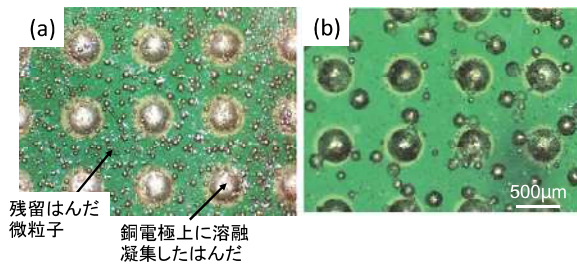


図3 ポリエステル変性エポキシ樹脂を用いた自己組織化実装法における多電極上へのはんだ熔融凝集状態, (a)活性剤なし, (b)活性剤あり

パワーモジュール内の応力低減

高温でエポキシ樹脂よりも弾性率が低下する特性を利用した応用例としてパワーモジュールの封止樹脂材料としての適用が考えられる。大電流、高電圧で動作する回路の信頼性の確保のために外部からの化学的なストレスだけでなく内部発熱によるストレスを軽減するために構造に応じてシリコンゲルやシリカフィラー含有熱硬化性樹脂などが封止材料としてよく使用されている。しかしゲル封止は機械的な拘束力がほとんどないため振動環境によわいことやチップ下のはんだ接合部への熱応力負荷が大きくなる。またエポキシ樹脂は線膨張係数を低減するためにシリカフィラーを混合しており、ヤング率が高くなり、チップへの熱応力負荷が大きくなる。そこでその中間的な特性を有するポリエステル変性エポキシ樹脂を封止材料として適用した場合のチップに

生じる熱応力を有限要素法解析で見積もり、さらにひずみゲージチップ (TEG チップ) を用いて測定した (図4)⁸⁾。シリコンゲル封止の場合は拘束力がないため、実験では封止樹脂のないオープン構造で測定したものである。ポリエステル変性エポキシ樹脂で封止した場合にシリカフィラー含有エポキシ樹脂で封止した場合よりも応力が低減できることがわかる。ポリエステルの含有量次第で弾性率を調整できるため、使用温度に応じて材料設計することで適用範囲を広げることが期待できる。

おわりに

近年の社会基盤に電子製品は欠かせないものになっており、樹脂材料だけでなくさまざまな用途に応じた材料開発が求められている。材料開発は従来の「経験と勘」からマテリアルズ・インフォマティクスの時代に入りつつあるので、樹脂材料の開発も一層進むことであろう。ただし新しい材料が開発されるたびにそれに応じた接合法が求められる。本稿で述べた樹脂も接着力に劣ることが課題である。もともと筆者は接合の視点からエレクトロニクス実装に取り組んでいる。今後は材料開発を含めて微細領域の接合・接着の研究を進めていきたい。

参考文献

1. 廣瀬明夫, 溶接学会誌, **87**(1), 2018, 5-10.
2. 杉本幸弘, 溶接学会誌, **87**(1), 2018, 66-70.
3. 岩本知広, 西川 宏, 佐野智一, 福本信次, 溶接学会誌, **89**(5), 2020, 366-375.
4. 佐藤千明: 接着接合, 溶接学会誌, **89**(2), 2020, 10-13.
5. 日野 実, 桑野亮一, 永田教人, 溶接学会誌, **89**(2), 2020, 14-20.
6. 越智光一, 福島功明, 藤田典子, 高分子論文集, **52**(5), 1995, 265-271.
7. S. Fukumoto, K. Yoshida, Y. Mizokami, M. Matsushima and K. Fujimoto, Materials Transactions, **60**(6), 2019, 858-864.
8. 多谷本真聡, 福本信次, 松嶋道也, 藤本公三, スマートプロセス学会誌, **8**(5), 2019, 205-212.
9. 大田皓之, 戸屋正雄, 安田清和, 松嶋道也, 藤本公三, 電子情報通信学会論文誌, C **92**(12), 2009, 833-841.

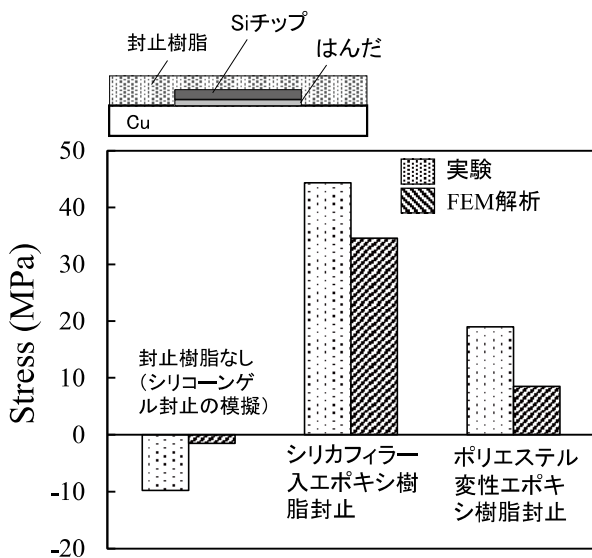


図4 樹脂封止されたSiチップ端部に生じる熱応力 (125°C)⁸⁾