

ノートPCの薄型・軽量化と堅ろう性を実現する BGA補強用接着剤

BGA Reinforcement Adhesive Realizing High-Quality Notebook PCs

菅井 崇弘 滝澤 稔 船山 貴久

■ SUGAI Takahiro ■ TAKIZAWA Minoru ■ FUNAYAMA Takahisa

ノートPC（パソコン）では、その基幹部品であるプリント回路板に実装されるBGA（Ball Grid Array）のはんだ接合部の信頼性を確保するため、補強用接着剤が一般的に用いられている。近年、ノートPCの薄型・軽量化はますます進んでおり、堅ろう性のいっそうの向上が求められている。

東芝は、高性能で高品質なノートPCへの対応の一つとして、BGA補強用接着剤を開発した。材料特性を最適化することで、接続信頼性、絶縁信頼性、塗布作業性、製造性、及びリペア（修理）性などの要求に応じており、dynabook™ SS RX2などへ2009年から適用している。

With the increasing portability of notebook PCs, demand has been growing in recent years for even more durable print circuit boards (PCBs) on which ball grid array (BGA) packages are mounted in order to assure the solder joint reliability.

Toshiba has developed a reinforcement adhesive agent for BGAs mounted on a PCB with well-balanced quality, cost, productivity, and reparability by optimizing the material properties for high-quality notebook PCs, and has applied it to the dynabook™ SS RX2 and so on from 2009.

1 まえがき

東芝は、1985年に世界初のラップトップPCであるT1100を商品化して以降、最先端の技術とノウハウを生かし、長年にわたり高性能で高品質なノートPCを作り続け、2010年に節目となる25周年を迎えた。

ノートPCには様々なカテゴリーの製品があるが、特にモバイルノートPCでは、製品の薄型・軽量化と堅ろう性の両立のため、高度な技術が必要である⁽¹⁾。製品に内蔵されているプリント回路板では、BGA（Ball Grid Array）のはんだ接合部の信頼性を確保するため補強が必要であり、携帯電話などの小型電子機器ではBGAとプリント配線板のすき間を樹脂封止するアンダーフィル材が用いられている。しかし、ノートPCではBGAコーナ側面だけを補強する接着剤（以下、補強用接着剤と呼ぶ）が用いられている。

当社のノートPCでも、安心して使い続けられる堅ろう性を維持するため補強用接着剤を適用していたが、品質とコストパフォーマンスをいっそう向上させるために新しい材料を開発した。

補強用接着剤に求められる性能は、物理的・熱的応力に対する接続信頼性、絶縁信頼性、塗布作業性、製造性、及びリペア性である。これらの要求に応えるためには、材料特性を最適化することが重要である。

ここでは、開発したBGA補強用接着剤の概要と諸特性の評価結果について述べる。

表1. 補強用接着剤の材料特性

Material properties of reinforcement adhesive

項目	値	
硬化条件	120 °C × 5 min	
粘度	130 Pa·s	
チクソ指数	3.40	
弾性率	7 GPa	
ガラス転移温度	75 °C	
線膨張係数	α_1	35 ppm/°C
	α_2	130 ppm/°C

2 材料特性最適化

開発した補強用接着剤は熱硬化性樹脂で、その材料特性を表1に示す。

2.1 信頼性と強度

一般的に、落下衝撃耐性などの物理的信頼性を向上させるには弾性率を上げることが望ましく、耐熱疲労などの熱的応力を緩和させるには線膨張係数を下げるほうが望ましいため、その両立を図るように材料開発を進めた。

検証のため、図1に示すモデルを用いて、有限要素法による衝撃と熱応力の解析を実施した。衝撃解析の結果を図2に、熱応力解析の結果を表2に示す。衝撃解析では、プリント回路板上に衝撃加速度1,500 G (0.5 ms) の正弦半波を入力したとき、コーナのはんだ接合部における相当応力の時刻歴

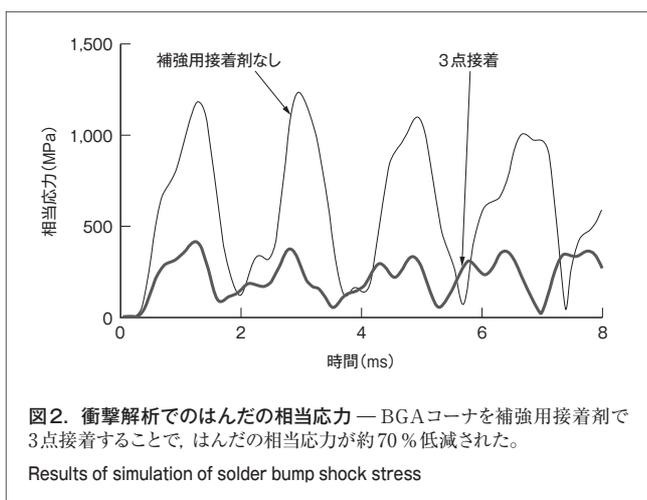
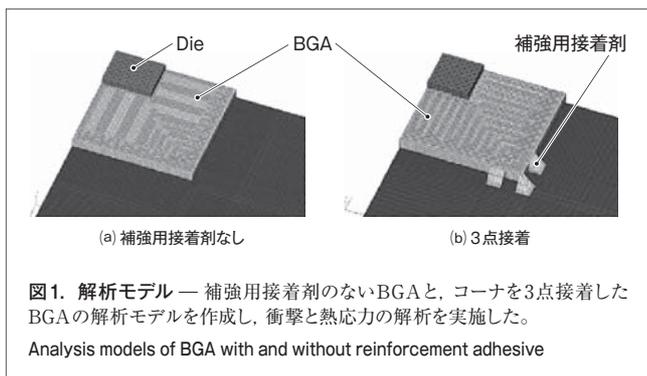


表2. 100℃における熱応力解析ではんだの相当応力
Results of simulation of solder bump thermal stress (at 100℃)

項目	補強用接着剤なし	3点接着
相当応力 (MPa)	125.6	128.0

応答を調べる。表1の物性値の材料では、BGAコーナを3点接着することで、はんだ接合部の相当応力が70%程度小さくなった。熱応力解析では、基準温度を25℃とした-25℃～100℃の範囲の中で、100℃のときはんだ接合部の相当応力をもっとも高くなる。そのとき、補強用接着剤のないものと3点接着をしたものとで相当応力がほぼ同等になり、表1に示す特性の材料では、熱応力によるはんだ接合部への影響がないことを確認できた。

2.2 製造性

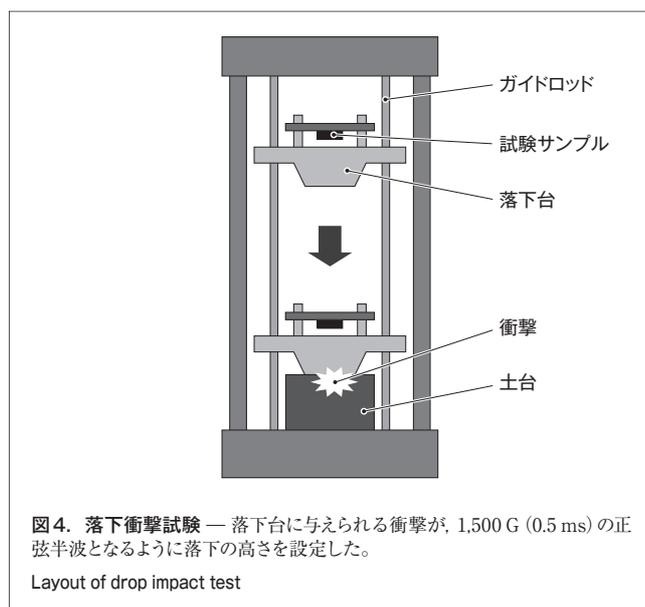
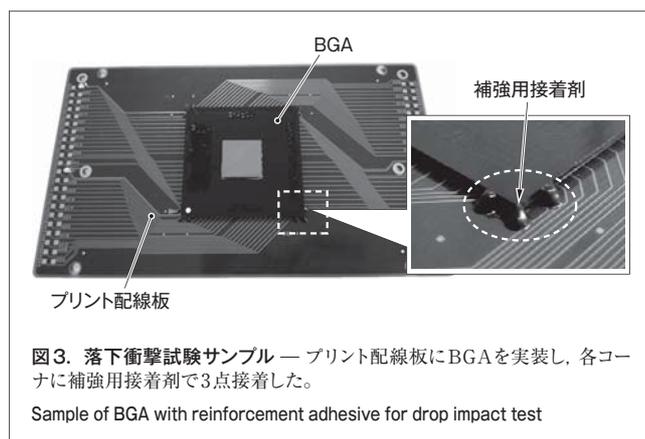
補強用接着剤は、表面実装工程の後に塗布し、加熱硬化するのが一般的である。したがって、製造性やコストを考慮すると、低温で短時間に硬化が完了することが望ましい。今回開発した材料は、表面実装のリフロー時間とのラインバランスを考慮して120℃×5minをターゲットとした。また、補強用接着剤を塗布した際のBGA側面でのフィレット形状の維持やリペア性を考慮し、粘度を130 Pa·s、チクソ指数を3.40とした。

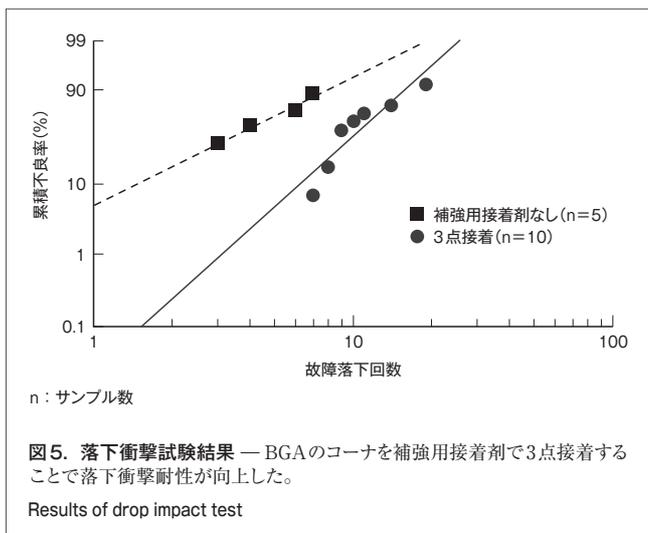
3 落下衝撃耐性の向上

評価サンプルとBGAに補強用接着剤を塗布したようすを図3に示す。BGAは、外形40×40mm、ボールピッチ0.8mm、ボール数2,025、ボール組成Sn(すず)-4Ag(銀)-0.5Cu(銅)とした。プリント配線板は、外形132(横)×77(縦)×1.3(厚さ)mm、材質FR-4、電極を水溶性プリフラックス皮膜のCuとした。

評価サンプルの作製手順は、BGAをプリント配線板へ実装した後、ディスペンサ(液体定量吐出装置)を用いて各コーナに補強用接着剤を3点塗布し、120℃×5minの加熱硬化を行うこととした。

落下衝撃試験は、図4に示すように、JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council) のJESD22-B111に準拠した方法とした。落下台に与えられる衝撃波の波形が、1,500G(0.5ms)の正弦半波となるように落下高さを設定後、評価サンプルを落下台に固定して自由落下させ、繰り返し衝撃を与えた。このとき、BGAはんだ接合部の電気抵抗(電圧)を常時



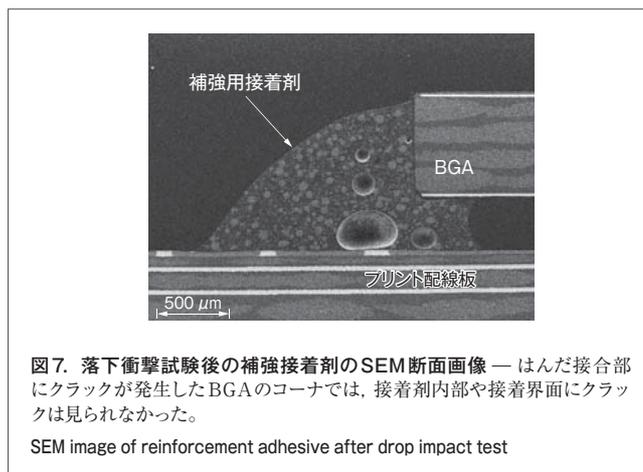
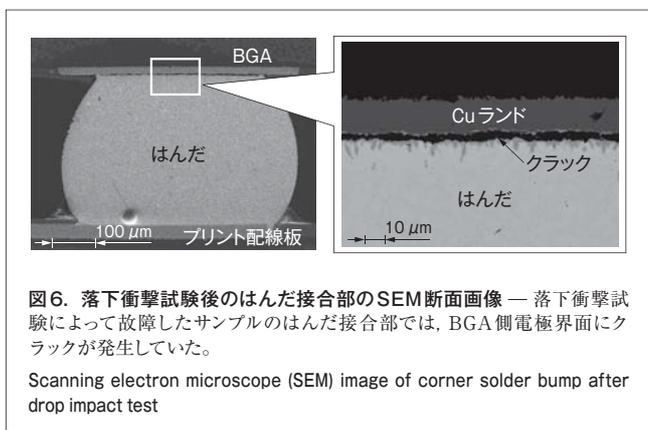


監視し、異常な抵抗変化が生じたときの落下回数で落下衝撃耐性を評価した。

落下衝撃試験結果のワイブル分布を図5に示す。補強用接着剤なしのサンプルと比較して、3点接着をしたサンプルは優れた落下衝撃耐性を示していた。落下回数2回における累積不良率を比較すると補強用接着剤なしのサンプルは20%、3点接着をしたサンプルは0.2%と格段に補強効果が出ており、衝撃解析結果と同様な傾向を確認できた。

落下衝撃試験によって故障した、3点接着をしたサンプルのはんだ接合部断面の走査型電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Microscope) 画像を図6に示す。BGAコーナのはんだ接合部のBGA側電極界面にクラックが観察された。更に、拡大画像に示すように、電極とはんだの界面に析出した金属間化合物層内でクラックが発生していることがわかった。一般的に、衝撃による低サイクル破壊は金属間化合物層で生じやすいことが知られている。今回の結果でも同様の破断モードとなっていることが確認された。

図6で示したはんだ接合部が位置するコーナの補強用接着剤の断面SEM画像を図7に示す。接着界面や内部にクラック



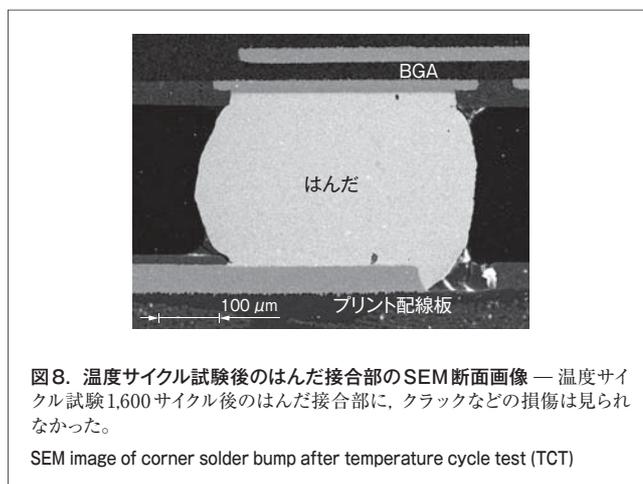
は見られず、良好な接着状態を維持していた。

4 耐熱疲労性

評価サンプルのBGAは、外形34×34 mm、ボールピッチ0.7 mm、ボール数1,329、ボール組成Sn-4Ag-0.5Cuとした。プリント配線板は、外形140 (横)×93 (縦)×1.15 (厚さ) mm、材質FR-4、電極を水溶性プリフラックス皮膜のCuとした。

BGAをプリント配線板に実装した後、補強用接着剤をディスプレイで各コーナに3点塗布して加熱硬化を行ったサンプルを10枚作製し、補強用接着剤なしサンプルといっしょに、温度サイクル試験を-25℃～100℃ (各30 min) の条件で1,600サイクル実施した。

3点接着をしたサンプルと補強用接着剤なしのサンプルはいずれも、1,600サイクル経過に至るまで異常な抵抗値上昇はなかった。1,600サイクル経過後の3点接着をしたBGAはんだ接合部断面のSEM画像を図8に示す。はんだ接合部にクラックなどの損傷は見られなかったため、補強用接着剤を用いた場合でも良好な接続信頼性が得られることがわかった。



5 絶縁信頼性

評価サンプルのプリント配線板は、外形50(横)×50(縦)×1(厚さ)mm、JIS(日本工業規格)準拠のくし型電極でLine/Space^(注1)=0.075mm/0.075mmとした。補強用接着剤をくし型電極上に厚さ0.5mmのメタルマスクを用いて印刷塗布、加熱硬化を行ったサンプルを5枚作製し、85℃、85%RH(相対湿度)、1,000hの条件で絶縁試験を実施した。

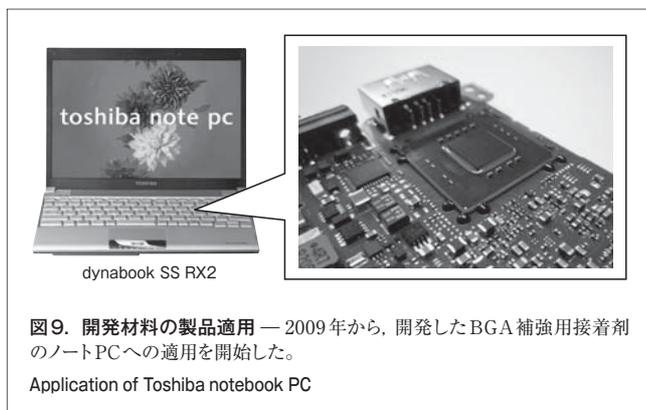
電極間の絶縁抵抗値は試験開始直後に $1.0 \times 10^9 \Omega$ から $1.0 \times 10^6 \Omega$ の範囲内で低下が見られたが、その後は試験時間1,000h以内では絶縁劣化は確認されず、良好な絶縁信頼性を保持した。

初期状態からの絶縁抵抗値の低下については、一般的に高分子材料の特性として、Tg(ガラス転移温度)を境界に自由体積が増大するのに伴い、飽和吸湿量も増大することが知られているため、このことが要因の一つであると考えられる。したがって、絶縁信頼性を確保するためにはTgが実使用温度以上であることが望ましいと考えられるが、リペア性はTgが低いほうが良好となるため、これらの相反する特性を最適化することが重要であると考えられる。

6 製品評価

ノートPCの実製品で実施した信頼性評価の試験項目を以下に示す。

- (1) パームレスト^(注2)加圧試験 パームレストを連続的に加圧し、内蔵デバイスへの影響を確認
- (2) 振動試験 XYZ軸の3方向にノートPCを揺さぶり、振動をリニアに変動させて影響を確認
- (3) 一点加圧試験 液晶カバー全面に100kgf(980.665N)の圧力を均等に加え、その直後に電源を入れて正常に動



(注1) 配線パターンの電極幅(Line)と配線パターン間の間隔(Space)。
(注2) 長時間の打鍵による疲労や腱鞘(けんしょう)炎などの障害の原因を緩和させるため、ノートPCではキーボードの手前にある手を載せておくための部分。

作することを確認

- (4) 長作用・短作用衝撃試験 ノートPCを金属製又はゴム製の土台に落下させ、落下衝撃耐性を確認
- (5) 落下試験 75cmの高さから製品を落下させ、その直後に電源を入れて正常に動作することを確認

これらの評価の結果から、製品の信頼性に問題ないことが確認されたため、図9に示すように、今回開発した補強用接着剤を2009年からdynabook SS RX2などへ適用を開始した。

7 あとがき

当社は、高性能で高品質なノートPCへの対応の一つとして、品質、コスト、及び製造性を考慮したBGA補強用接着剤を開発した。物理的・熱的応力に対する接続信頼性、絶縁信頼性、塗布作業性、製造性、及びリペア性などいずれも良好な結果が確認された。

今後もノートPCなどデジタルメディア機器の薄型・軽量化の傾向は続くと考えられ、更に高性能でコストパフォーマンスに優れた高品質な材料の開発を積極的に進めていく。

文献

- (1) 原口輝久, ほか. ノートPC用プリント配線板の高剛性化とインピーダンス整合技術. 東芝レビュー. 64, 6, 2009, p.35-38.



菅井 崇弘 SUGAI Takahiro

デジタルプロダクツ&ネットワーク社 PC開発センター 実装開発センター。PCの実装プロセスの開発に従事。
PC Development Center



滝澤 稔 TAKIZAWA Minoru

デジタルプロダクツ&ネットワーク社 PC開発センター 実装開発センターグループ長。PCの実装プロセスの開発に従事。
PC Development Center



船山 貴久 FUNAYAMA Takahisa

東芝デジタルメディアエンジニアリング(株) 共通ハードウェアセンター PCB技術担当。PCの実装プロセスの開発に従事。
Toshiba Digital Media Engineering Corp.