

自動車向けパッケージ開発の課題

Shaun Bowers, Amkor Technology, Inc.

VP, Mainstream Advanced Package Integration

出典 : Chip Scale Review, September-October 2017, Copyright

半導体組立検査受託メーカー（OSAT）における車載向けパッケージの開発は、20 世紀に OSAT 市場が確立されて以降の市場において必然的な流れになっています。既存技術の活用、協業アプローチ、標準化、新しいパッケージタイプの採用などすべてが、OSAT における標準パッケージングサービスにとどまらず車載向けに提供される新しいパッケージングサービスに関しても活発化してきています。新しく多様なパッケージタイプが車載用途へ採用される傾向は自動車の半導体搭載数が指数関数的に増加している状況を反映しているものです。未来の車が、走るスマートフォン、走るスーパーコンピューター、走る人工知能（AI）のいずれであったとしても、自動車メーカーが安全や性能やインフォテインメントおよび自律走行のためにセンサーや CMOS およびソリッドステート素子を使用することになり、車 1 台に搭載される集積回路の数は今後も増加し続けるでしょう。

上記の市場原理の大枠は、我々サプライヤーに車載向けに適した多様なパッケージ開発を求めています。その要求項目の主要なものが信頼性とデバイスの性能に関わるものであることに変わりはありません。材料の選択、接合性、密着性、諸応力の考慮は、たとえパッケージの外形・構造や機能がどのようなものになろうと、常にパッケージ開発の主要アイテムとなります(**Figure 1**)。

パッケージ開発手法の方向性は、新しい車載パッケージの採用を加速させるほどの大きな影響を持っています。車載向け半導体パッケージのトップランナーになるため、我々 OSAT はデータ解析方法を工夫し、評価計画および評価方法を立案するため、車載向け製品の評価や解析に特化したリソースの確保が必要と考えています。



Figure 1 : 車載半導体開発の方法論出典: Amkor Technology, Inc.

車載半導体向けのテストおよび不良テスト

故障メカニズムを明らかにする評価は、車載半導体の適合性を判断するための一般的な方法として広く認識されています。Automotive Electronics Council (AEC) の AEC Q100、Q006、Q101 の規定を活用することは、車載アプリケーションの新しい材料や半導体パッケージ外形・構造を評価する上で一般的なものとなっています。銅 (Cu) ワイヤは機械的剛性が高く、電気抵抗値が低く、金 (Au) ワイヤと比較して金属間化合物の生成が遅いため、車載用途では Cu の使用が理想的となっています。Cu ワイヤボンドの進化においては、十分な接続強度を確保するため、ボンド形成方法、使用する材料の選定、ボンディング環境など、数多くの評価を経なければなりません (Figure 2)。

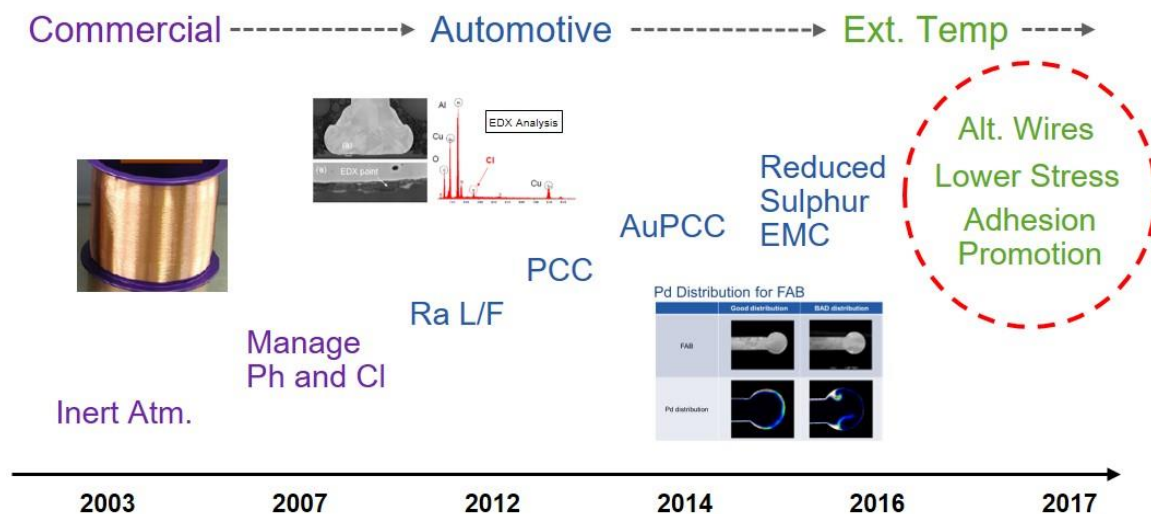
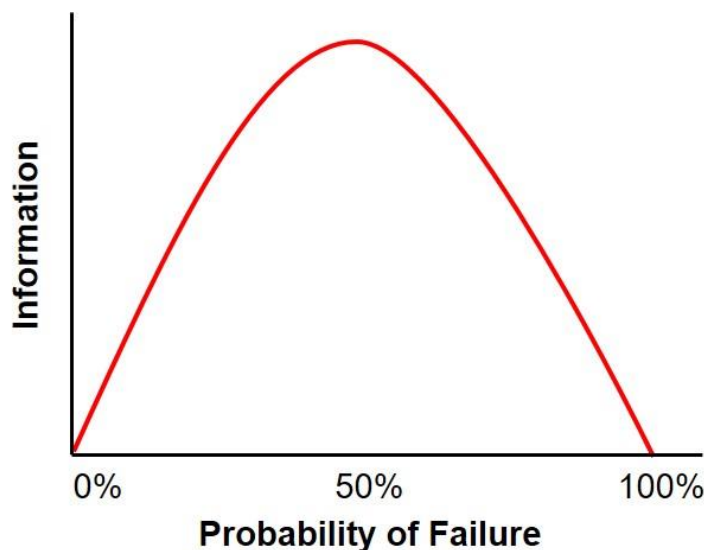


Figure 2 : Cu Wire の進化出典: Amkor Technology, Inc.

Cu ワイヤの場合、規定（AECQ006）により Au ワイヤに比べより長い評価時間が必要で、車載向けパッケージ開発の重要な要素となっています。より能力の高い材料を用いることにより、長い評価時間にもかかわらず、評価時間が原因で不良が発生する事はありません。一部のデバイスでは、AEC Q006 で定義された基準の 2 倍から 3 倍を超える評価をすることは珍しい事ではなく、9 か月にも及ぶ信頼性試験を行うデバイスでも不良は発生していません。

様々な点で、開発と製造チームはそれぞれ車載向け製品について日々改善しています。製造チームは、不良発生を無くすことを、開発チームは、不良を発見により仮説を検証し、改善をすすめていきます。しかしながらこの方法では、不良発生を待つこととなり、新しいパッケージを速やかに採用したい車載市場には受け入れられません。

そのため、車載向けパッケージ開発部隊は、この新たな難問に対応する様々な手法を準備しています。評価時間が長いことに関しては、加速評価をするため材料パラメータや評価条件を工夫し、早い段階で不良を発生させる手法を実施します。また材料の比較評価には、意図的なばらつきを追加することもあります(**Figure 3**)。このメリットは、このような加速評価手法が確立すると、幅広いパッケージラインナップに適用できる点となります。



Source: The Principles of Product Development Flow, Donald G. Reinertsen

Figure 3 : より有意なデータのため意図的なばらつきを使用する出典 : “The Principles of Product Development Flow,” Donald G. Reinertsen

自動車向け半導体のデザインルール

車載向け製品の Au ワイヤから Cu ワイヤへの移行の場合、評価項目 (**Table 1**) に良品分解解析の要件が組み込まれています。Q100 のように単に電気的特性を評価するのではなく、Q006 の評

価検査手順では Cu ワイヤ製品について環境試験後にデバイスを良品分解し解析する必要があります。

	Read Point	Mold Compound Delamination Acceptance Criteria	Electrical
Qualification Requirements	T ₀	No delamination at first (ball) or second (stitch/wedge) bonds unless otherwise agreed between supplier and user.	All components passing production test
	Post MSL PC	No delamination at first (ball) or second (stitch/wedge) bonds unless otherwise agreed between supplier and user.	All components passing production test
	1X for AEC Q100 grade X or AEC Q101	No delamination at first (ball) bond. If any (stitch/wedge) bond delamination found – no heel cracks.	All components passing production test
	2X for AEC Q100 grade X or AEC Q101 (TC included if no BLR performed)	Evaluate the severity of any bond delamination found per Sections 5.2 and 5.3.	All components passing production test
Minimum CSAM sample size: EITHER the same 11 components per lot through each readpoint (preferable) OR 22 random components per lot at each readpoint.			

Table 1 : AEC Q006 剥離基準

Cu ワイヤでは、十分な接続強度である事を確認するため、温度サイクル（TC）、不飽和 PCT 試験（HAST）および高温保存試験（HTS）が最適な評価になります（Figure 4）。新しい材料の検討では、信頼性を大きく左右する箇所の密着性を事前に評価することが重要です。ボンディング接続強度、パッケージ応力や密着性などの評価により、新規開発に要する時間の短縮を図ることが可能です。

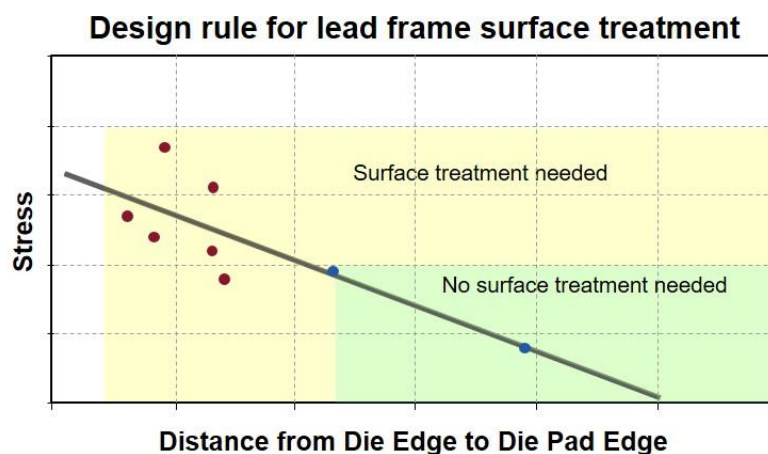
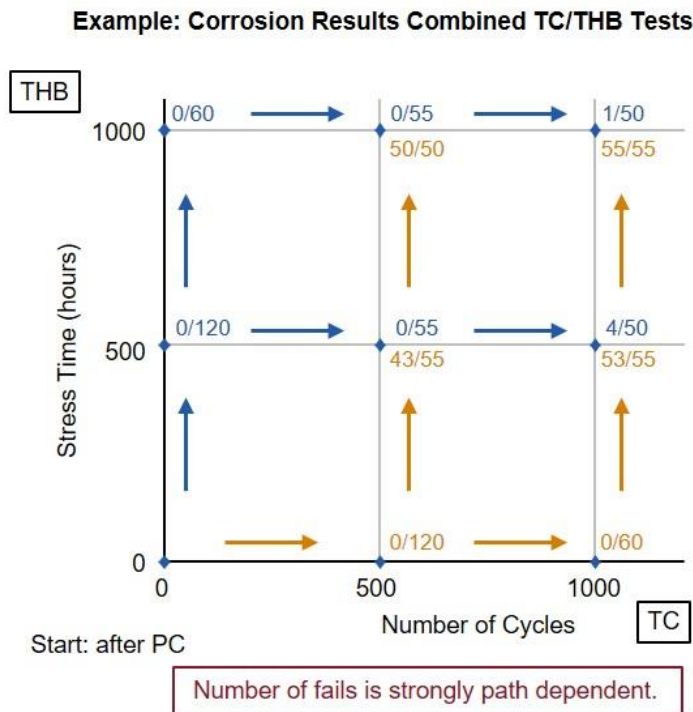


Figure 4 : 車載製品のデザインルール例ーリードフレーム粗面

車載製品の部材

過酷な評価条件と実験計画法が確立しているため、2 種類の材料の比較評価を実施できるようになっています。これにより、Au パラジウムコート Cu (AuPCC) と合金ワイヤの選択、モールド樹脂内のイオンおよび／または腐食性物質の影響、表面粗面と機械的な密着性の影響に対する信頼性の確認が可能となっています。これらの結果により最終的に車載向け半導体製品に特化したパッケージ材料が決定されます。

評価時間が長いのは大きな負担でもあります。難易度は高いですが、より早く結果を得るために加速評価手法を開発することにはメリットがあります。業界では、データ取得までの時間を短縮するため、範囲（温度）、頻度とデータを得るまでの時間の短縮の方向に進んでいます（Figure 5）。これらについては、メリットはありますが時間短縮の限界もあります。この手法が認められれば、所定の時間内で容易に評価ができ、より多くの開発サイクルが実施可能となります。



Source: Infineon

Figure 5 : 検査手順および FM（故障メカニズム）試験への効果出典:Infineon Technologies.

Q100 と Q006 でカバーされない新たなパッケージタイプ

自動車市場が成熟するにつれ、使用環境がさほど厳しくない規格の半導体製品を自動車分野でも使用することが求められてきています（Figure 6）。いくつかのケースでは、車載仕様を十分に満たす評価が行われていないものもあります。例えば、ウェハレベル・チップスケールパッケージ（WLCSP）に関しては、評価手法が旧来型のワイヤボンディング技術と同様の一般的な不良モードを想定しているため、Q100 に合格することが可能です。しかしながら、Q100 に合格することは必ずしもこのパッケージが自動車向けに適していることを意味しません。WLCSP はリードフレームや基板が無いため、信頼性評価後の樹脂との密着基準を満たすことは容易です。基板実装に関して WLCSP は一般的にプリント基板にアンダーフィル剤が塗布され、実装を形成しています。通常、AEC 試験はデバイス単体で行われる必要がありますが（例：前処理+TC）、ボードレベル信頼性試験の評価がより適切なものかもしれません。ここは標準化を推進するグループがこの課題に対応するべく、様々な故障モードを想定した評価条件を検討する必要がある領域のひとつです。

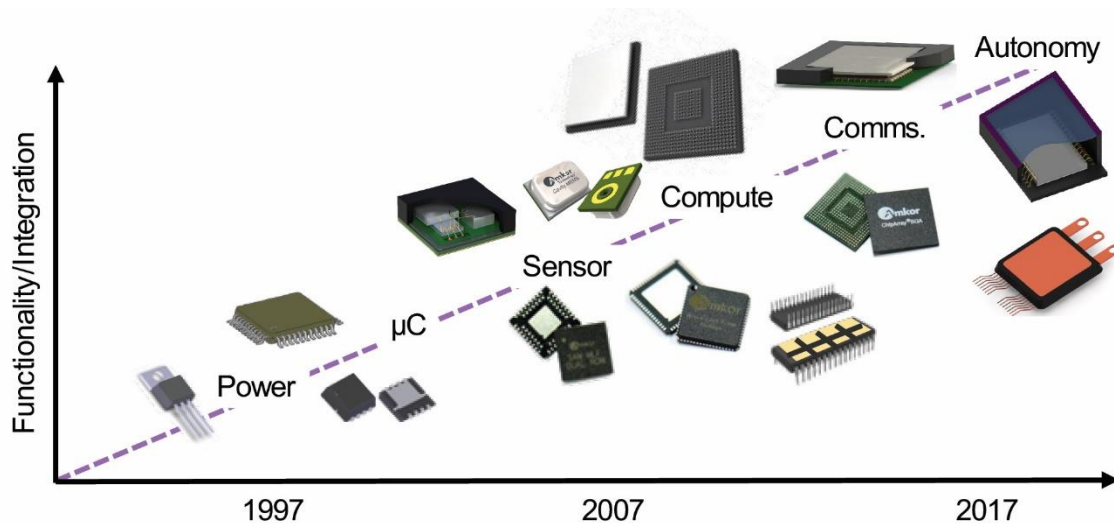


Figure 6：車載製品におけるパッケージタイプの推移

自動車向け製品の将来における関心領域／開発分野

将来に目を向けると、1) 自動車市場は成長を続け、新たなパッケージングタイプが展開されること、2) OSAT 業界がこれらのパッケージを市場に投入すること、この二つが確実に言えるでしょう。自動車は、センサー、CMOS、コンピューティング、通信、環境／機械的センサーと AI などの半導体部品によって機能が進化し続けます。その結果、より多くの従来型ラミネート／リードフレームパッケージとともに、WLCSP、フリップチップ・ボールグリッドアレイ（FCBGA）やエンベデッドパッケージングなど多数のパッケージタイプが開発され自動車に採用されることが期待されています。

十分な接続強度の確認や密着性の改善、材料と応力のバランスに重点が置かれた開発活動は今後も続きます。ボンディング手法が、Cu ピラーバンプ（CuP）、合金ワイヤ、ハイブリッドワイヤ、鉛フリーはんだまたは他の新しい技術を使用した場合でも、十分な接続強度を確保する開発は重要な領域です。評価の中には良品分解解析も含まれます。不良の原因となる金属間化合物（IMC）をなくすために、またより頻度の高い評価を可能にするための加速条件評価を開発することも、今後注力していくことが期待されています。開発部門は車載用パッケージ開発の幅広さと開発スピードに遅れないようにする必要があり、OSAT 業界は必要とされるイノベーションを創出するという唯一無二の立場にあります。

バイオグラフィー

Shaun Bowers : Gonzaga U BSME Amkor Technology, Inc. Mainstream Package Development and Technology VP email : shaun.bowers@amkor.com