



DirectFETTM 技術

材料と処理内容のアプリケーション・ノート

ページ

熱疲労の発生要因	2
テスト結果のまとめ	3
アンダーフィルの使用	4
鉛フリーはんだ合金の使用	4
絶縁型金属基板の使用	5
絶縁保護コーティングの使用	5



熱疲労の発生要因

DirectFET のプリント基板への実装技術のアプリケーション・ノート (AN-1035) で、インターナショナル・レクティファイアー (IR) 社は、このデバイスを使ったプリント基板の設計と組み立てに関するガイドラインを示しました。もちろん、実際には、製造設備に対して材料と処理内容を選択する際に、多くの矛盾する条件のバランスをとらなければなりません。このアプリケーション・ノートの目的は、次の 4 つの要因の潜在的な影響について、さらに詳しい情報を提供することです。

1. アンダーフィル
2. 鉛 (Pb) フリーはんだ
3. 絶縁型金属基板 (IMS)
4. 絶縁保護コーティング

表面実装デバイスをプリント基板に実装するとき、デバイスと基板の熱膨張率が異なるため、プリント基板と接合するはんだに疲労が発生します。これによって、はんだ接合部の熱抵抗と電気抵抗が増加することがあります。

この現象を利用して、IR 社では、DirectFET 技術に使う材料と処理内容を調べるときに、デバイス導通時のドレイン-ソース間の抵抗 (オン抵抗 : RDSON) の変化をみて、熱疲労を検査してきました。

変化を比較するときの基準として、鉛含有はんだを使って FR4 (ガラスエポキシ樹脂) 基板に実装した中型缶デバイスを使います。このデバイスには温度範囲 -40 ~ +125 の熱サイクルをかけます。このテスト結果を基準値 1.0 とし、他のテスト結果と比べます。1000 サイクルに対して、正規化したオン抵抗の値は 0.02 ~ 2.3 の範囲で変わりました。疲労に対する耐性が、改善するプロセスもあれば、劣化するプロセスもあることが分かります。

熱サイクルは、繰り返される電源サイクルの影響の加速試験とも言えます。電源サイクルが、デバイスとプリント基板との接合を周囲温度から 105 まで変化させると仮定すると、熱の 1 サイクルは少なくとも電源 15 サイクルに相当する効果があります。従って、IR 社の 1000 サイクルの熱のテストは、電源サイクルの 1 万 5000 サイクルを超えたときにみられるオン抵抗の変化に相当する近似となります。

これが当てはまる場合には、例えば絶縁型金属基板を使って、熱サイクルの温度範囲を -55 ~ +150 に広げて、その材料が使われる環境にデバイスが耐えられるか否かを確認します。



テスト結果のまとめ

材料と処理内容に対する IR 社の評価結果を次の表に示します。この結果、アンダーフィルが疲労を抑える要因になっていると同時に、他のすべての変化が決定的な影響を与えていたことが分かりました。

プリント基板の構成	はんだ	温度サイクル範囲 (°C)	オン抵抗の変化の平均値	1000 サイクル以上のときの正規化オン抵抗の変化
FR4	Pb	-40 +125	130μΩ	1.0
FR4 アンダーフィル使用	Pb	-40 +125	3μΩ	0.02
FR4	Pb フリー	-40 +125	180μΩ	1.3
AISiC/Cu	Pb	-40 +125	260μΩ	1.9
AISiC/Cu	Pb フリー	-40 +125	190μΩ	1.4
AISiC/Cu	Pb	-55 +150	270μΩ	2.0
AISiC/Cu	Pb フリー	-55 +150	310μΩ	2.3
FR4 コーティング使用	Pb	-40 +125	300μΩ	2.3*

* この表が、絶縁保護コーティングの特性に対する潜在的な影響を完全に反映しているわけではありません。コーティングをするときに気泡が生じると、はんだ接合部の抵抗とデバイスの故障の総合的な許容範囲を超える可能性があるため、気泡ができるないように十分に注意しなければなりません。詳細については、「絶縁保護コーティングの使用」の節を参照してください。

この資料の残りの部分では、テスト実施条件について説明し、結果の重要さを議論し、評価した材料と処理内容で DirectFET を使うときに考慮すべき事を説明します。



注：特定の製造環境での特性は、ここに記載するものと異なる場合があります。

これまで実施したテストは、評価した材料と処理内容の確率的なものです。IR 社がここに示す結果は代表的なものであるとは思いますが、他の要因がテスト結果に影響を与えないようにするためにには、さらに多くのサンプル評価と、さらに厳密な管理手順が必要とされることに注意してください。



アンダーフィルの 使用

アンダーフィルは、厳しい環境での特性を改善可能な物理的な強化策です。この方法は、はんだボール部品で広く採用されています。

テスト条件

IR 社のテストでは、CSP (チップ・サイズ・パッケージ) 部品、BGA (ボール・グリッド・アレイ) 部品、フリップチップ部品向けに作られた多目的のアンダーフィル材であるシアノ酸塩エスセルを使いました。アンダーフィルの処理は、メーカーの説明に従いました。

テスト結果

特性の改善は期待していましたが、予想以上に良い結果が得られました。オン抵抗の変化の平均値は、 $130\ \mu$ から $3\ \mu$ へと約 98% も低下しました。

結論

DirectFET デバイスはアンダーフィルを必要としませんが、この処理を行うと、熱サイクルによるはんだ疲労をほとんどなくすことができます。

インターナショナル・レクティファイアー社は、アンダーフィルのサンプルと情報を提供していただいた Ablestik 社に感謝します。



鉛フリーはんだの 使用

世界的に、鉛含有はんだを鉛フリーの代替品に段階的に置き換えることが要請されています。このため、異なるはんだ合金がデバイス特性に与える影響を調べることが重要です。

鉛フリーはんだは、リフロー温度が鉛含有はんだよりも高いので、通常のプラスチック・パッケージと同じ問題が発生します。ただし IR 社は、DirectFET デバイスが鉛フリーはんだに必要な温度によって悪影響を受けないと確信しています。ピーク温度 260 のリフロー工程で、すべてのテストを行っているからです。

テスト条件

IR 社のテストには、下記を使いました。

鉛を含有する : Sn62 Pb36 Ag2 (ほぼ共晶)

鉛を含有しない : Sn95.5 Ag3.8 Cu0.7

基板と製造条件を変えて、これらの合金を比較しました。この結果は、標準のガラスエポキシ樹脂 (FR4) 基板を使ったときの結果です。

テスト結果

鉛フリーはんだをガラスエポキシ樹脂基板の上で使うと、一般に、鉛含有の場合と同様の特性になります。ただし IR 社のテストでは、オン抵抗の平均値が $130\ \mu$ から $180\ \mu$ へと増加することが示されました。

結論

鉛フリーはんだの特性は、鉛含有はんだの特性と一致しない、または、それを凌ぐものではないという理由はないので、IR 社のテストで見られたオン抵抗の増加は、他の要因によるものと考えられます。少量のテストでは、デバイス個々の間、または鉛含有グループと鉛フリー・グループで使われたデバイスの間で、すでに抵抗値に大きな違いがあった可能性があります。



絶縁型金属基板の 使用

絶縁型金属基板は、大電力用途で広く使われています。アルミニウム(Al)の基板は、一般に熱膨張率が大きいので、はんだ接合で高い信頼性を実現することは難しいですが、ここでは全面的に利用しました。最近では、絶縁型金属基板のメーカーが、熱膨張率が小さいアルミニウム・シリコン・カーバイド(AlSiC)や銅(Cu)などの新しい材料を製品化しています。

材料	熱膨張率 (ppm)
Al	24
AlSiC	15
Cu	17

注：FR4 基板は一般に、金属基板よりも熱膨張率が小さくなっています (10 ~ 15 ppm)。ただし、高い温度で軟化するため、これ自体が部品にストレスを与えます。金属基板は熱伝導性が高く、FR4 よりも低い温度にできるため、高温ではより安定しています。

テスト条件

IR 社は Bergquist 社が提供するサンプルを使って、AlSiC 基板と Cu 基板の上でテストしました。当たり前ですが、2つの材用は熱膨張率の値が非常に近いため、結果はほとんど同じになりました（テスト方法の予想変動内でした）。

絶縁型金属基板は、鉛含有合金と鉛フリーはんだ合金に関してテストしました。最初のテストは、基準と同じ温度サイクルを使って行いましたが、後で -55 と +150 に広げました。ガラスエポキシ樹脂基板は、この温度範囲の上限で信頼性が低下しました。

テスト結果

鉛含有はんだでは、オン抵抗の平均値が 130 μ から 260 μ へと 100% 増加しました。一方、鉛フリーはんだでは、180 μ から 190 μ へと、わずか 6% しか変化していません。これは、鉛フリーはんだの性能が良いという可能性を示唆しています。

広い温度範囲でみても、オン抵抗の平均値の変化は、鉛含有はんだで 270 μ 、鉛フリーはんだでも 310 μ と許容範囲内に収まりました。

結論

金属基板を使うと、オン抵抗の平均値が増加しますが、DirectFET デバイスの使用で問題が発生するレベルではありません。

IR 社は、Bergquist 社が絶縁型金属基板のサンプルと情報を提供してくれたことに感謝します。



絶縁保護コーティングの使用

絶縁保護コーティングは、厳しい環境での保護に使われています。コーティングにはさまざまな物質が使われます。IR 社は、お客様の要求に応じて、シリコン・ベースのある材料をテストしました。

テスト条件

IR 社では、最初はメーカーの説明に従ってテストしました。説明では、材料の熱膨張によってはんだ接合で疲労が発生するため、コーティングがデバイスの下に流れ込まないように注意していました。

ところが、大きな問題が発生します。すなわち、材料がデバイスの下には流れずに上に流れだすため、これらの下の空間に空気がとらえられて気泡ができてしまいます。高温にすると、空気の膨張によって圧力が加えられるので多くのデバイスに故障が発生します。缶とチップ・サイズとの間で大きく異なりますが、大部分の故障はデバイス内に観測されます。つまり、それらの下に空気が滞留していると言えます。

次に、説明に従わずにテストを繰り返しました。今後は、材料がデバイスの下に回り込むことを許しました。これでデバイス故障の問題は解決されますが、メーカーの予測通りに、はんだ接合での疲労が大きくなる兆候が認められました。

テスト結果

「テスト結果のまとめ」(3 ページ目) の表に示すように、オン抵抗の平均値は、コーティングしない FR4 基板の 130 μ から、コーティングした基板では 300 μ に増加しました。大幅な増加ではありますが、DirectFET デバイスに絶縁保護コーティングを使うことによる問題を完全に反映しているわけではありません。

テストで明らかになった問題に対しては、次の2つの対策があります。

- コーティングの前にアンダーフィルを使用して、デバイスの下に空気が入り込むのを防ぐ。
- 弹性係数の小さいコーティング材料を使い、デバイスに損傷を与えない範囲で、入り込む空気の膨張を許す。

どちらの場合も、IR社のテストで発生した故障を回避するためには注意が必要です。

結論

デバイスの下に形成される気泡の危険性から、IR社は、絶縁保護コーティングをする前にアンダーフィルの使用を薦めます。コーティングのタイプと属性も注意深く評価する必要があります。



注意：DirectFET デバイスに絶縁保護コーティングを使用する際は、注意深くテストしてください。

IR社は、Techsil社が絶縁保護コーティングのサンプルと情報を提供していただいたことに感謝します。