International
IOR Rectifier

APPLICATION NOTE

アプリケーション・ノート：AN-1154

ディスクリートPower QFN（PQFN）の検査方法

目次

ページ

はじめに……2
検査テクニック……2
　目視検査……2
　X線検査……2
正しく実装されたデバイスの例……3
　写真……3
　X線……3
不合格基準……4
不良の種類……4
　位置ずれ……4
　空間および平面の傾き……6
　固定されていない部品……6
　はんだ塗布……7
　はんだボールとブリッジ……7
　はんだボイド……7
　接合部の形成不良……7

注：推奨される基板／PCBのレイアウトならびにステンシル設計についてはAN-1136を参照してください。

PQFNパッケージ・ファミリは高効率で幅広い入力電圧を持つ製品で構成され、部品番号の後に付くPbF（例、IRFH5300PbF）が示すように、全品が鉛フリーで提供されています。また、さまざまなサイズや外形のものがあります。このアプリケーション・ノートは、デバイスとPCB間のはんだ接合の品質検査に使用できる方法を説明したものです。また、実装時に発生する可能性のある問題についても記されています。

はじめに

このアプリケーション・ノートにはPower QFN（PQFN）デバイスの適切な検査テクニックの手引きがふくまれています。ここでは、デバイス・パッドとプリント基板（PCB）間のはんだ接合の品質を考慮し、さらにリフロー後の位置整合についても説明しています。つまり、はんだが溶融するとデバイスがどのように移動して、パッドの許容範囲内で位置を整合するかについてです。あるデバイスは他のものよりも大きく移動し、またあるデバイスは優れた自己整合性をもっています。これらはすべてデバイスの外形に由来します。

PQFNデバイスはいろいろありますが、通常3個の電気接続（ゲート、ソースおよびドレイン）を持っています。機械的な接続部はそれ以上あります（1個のゲート・パッド、1個以上のソース・パッドおよび1個以上のドレイン・パッド）。図1にいくつかの例を挙げておきます。

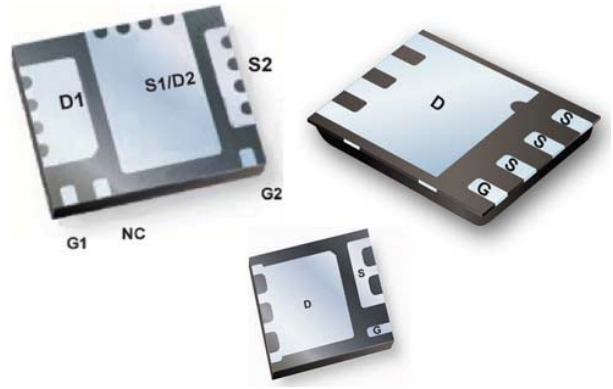


図1. いろいろなPQFNパッケージの底面図（5x6 C、5x6 B、3x3 A）

SupIRBuck™ PQFNについてはAN-1132とAN-1133を参照してください。

検査テクニック

PQFNデバイスではその設計により、SO-8タイプ等の通常の表面実装デバイスとは異なる検査法が必要となります。PQFNデバイスは底面端子部品（BTC）なのでそのパッドは底面にあり、基板に実装後の目視は困難です。AN-1136でインターナショナル・レクティファイアー社が推奨するPCBのレイアウトとステンシルのデザインは、実現しうる最善のアクセスを提供しますがそれでも目視検査の価値は限定的です。X線検査のみが、接合品質に関して信頼性のある情報を提供します。

目視検査

これは最も簡単に実行できる方法であり、追加の機器も不要で簡単に自動化可能です。PQFNデバイスはその構造により、目視検査の適用には制限がありますが、側面からデバイスを観察することにより適切なはんだ接合が形成されていることを確認できます。

目視検査が電気接続の不良を常に検出できるわけではありませんが、デバイスが物理的に良好に実装されていることは確認できます。デバイスの周囲にはんだが十分に充填されていなくても、デバイスは底面パッド接続部に適切に実装されていることもあります。これははんだの塗布量が少なくて、リフロー後周囲のパッドに十分はんだが集まらなかった場合に発生する可能性があります。

検査は、デバイスの側面に見られる接続ではなく、デバイス直下のはんだ接合を重点的に行う必要があります。これら側面の接続部は切断されたままの銅で、デバイスを製造時にフレームから分離した後は露出し、パッドとは異なり、はんだ付け性改善のためのめっき処理がなされていません。銅の酸化はどのようなものも、そのはんだ付け性を損なうので、パッド接続が良好でもデバイス側面のはんだフィレットが無いこともあります。

X線検査

これは、良好な電気接続が実現できていることを検証するための、唯一信頼できる方法です。はんだボイド、平面的な傾きおよび不十分なはんだにより発生する貧弱な接合が、X線検査により発見できます。

自動および3次元のX線検査までをも取り入れた高度なワークフローが実現可能です。しかしながら、製造作業の開始時に2次元のX線検査をマニュアルで行い、その後、作業中にも定期的に実施することで良好な結果が得られます。自動化されたシステムを使用する場合は、接合形成を評価するアルゴリズムは、大きさのパッドを有するリードレス・パッケージに適したものでなければなりません。

正しく実装されたデバイスの例

この節での写真は実装工程のいろいろな段階、つまりPCB上へのはんだの配置後、スプリット・ビーム・マシンを使用したデバイスの実装後、およびリフロー後、に撮影したものです。スプリット・ビーム・マシンには0.005～0.006インチ0.127～0.152mm）の配置精度がありますが、推奨フットプリント／ステンシル・デザインでのデバイスの制限と挙動を評価するため、特定の量だけデバイスの位置をずらすようマシンを設定しました。

写真

図2は、PCBパッドからデバイス・パッドの下側へ向かう適切に充填されたはんだ接合を示しています。

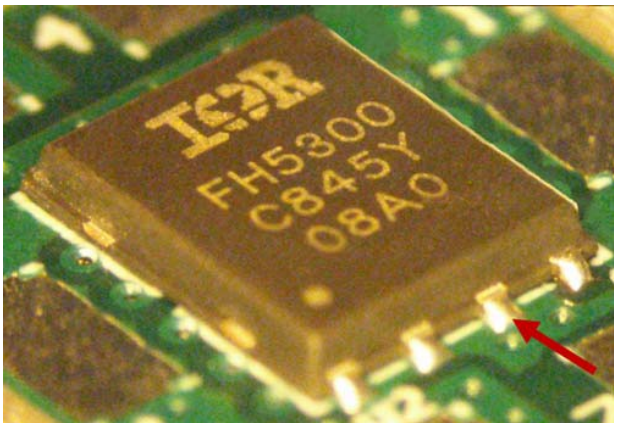


図2(a). 5x6B（IRFH5300PbF）

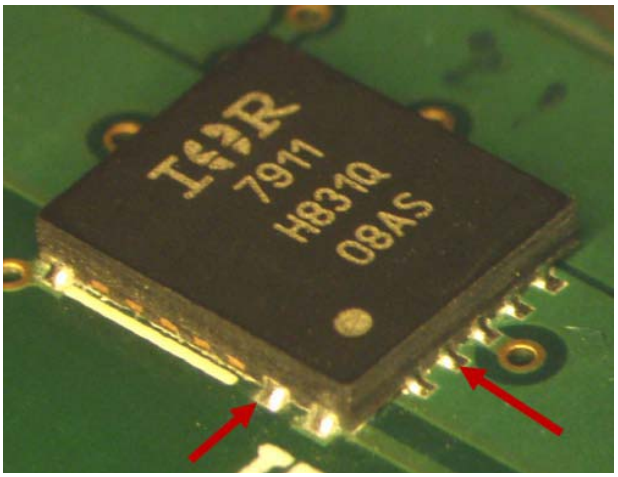


図2(b). 5x6C（IRFH7911PbF）

X線

図3は、PCBとPQFNデバイスのパッド間のはんだ接合を示しています。完全に充填された黒い部分と微小なボイドに注目してください。

デバイスの外周およびパッドはそれぞれ、青色および緑色で強調表示されています。これらの明確に輪郭の取れた形状は、適切なはんだフローと良好な電気的接続を示しています。

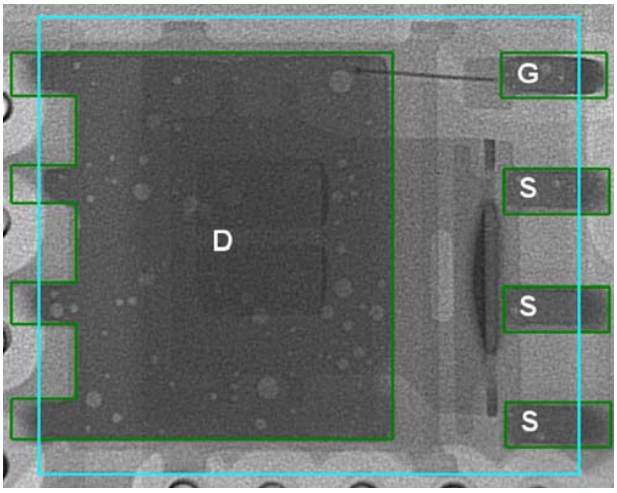


図3(a). 5x6B（IRFH5300PbF）

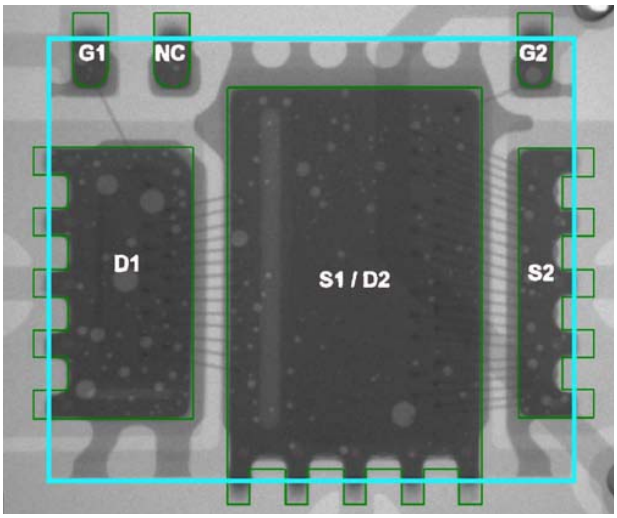


図3(b). 5x6C（IRFH7911PbF）

不合格基準

このアプリケーション・ノートの以降の部分では、PQFNデバイスをボードに実装する際に発生する問題について説明します。どの場合も、デバイスを合格とするか不合格とするかの基準が与えられています。次の表にその判定基準がまとめてあり、詳細情報のページ番号も記されています。

現象	下記のどれかに該当なら不合格	ページ
デバイスの位置ずれ	180度回転したもの	4
ねじれまたは傾いたもの	ゲートまたはソース・パッドのはんだカバレッジが75%未満。 ドレイン・パッドのはんだカバレッジが50%未満。 PCBに対して3度より大きく傾いている。	5
はんだボールとブリッジ	電気的な短絡を発生させるはんだボールがある。 回路上電気的に絶縁すべきポイントを結合させるはんだブリッジがある（例、2つのドレイン・パッド間ではなく、ゲートとドレイン・パッド間）。	7
はんだボイド	PCB上のパッドのカバレッジが75%未満のはんだ接合が存在する。	7
接合部の形成不良	PCB上のパッドのカバレッジが75%未満のはんだ接合が存在する。 はんだ接合が存在しないか断線している。	7

注：このアプリケーション・ノートに示された問題のいくつかは、説明用に意図的に作成されたものです。通常は、それらが実際に発生することはありません。

不良の種類

位置ずれ

位置整合はPQFNデバイスを使用する際に考慮すべき重要な要素ですが、これらのデバイスの広いパッドによりリフロー後の移動制御が容易になります。

図4と図5はPCBフットプリントとデバイスの位置合わせを示しています。図5の青色の線はデバイスのパッドですが、緑色の線はPCBパッドであり、図4の銀色のブロックに一致しています。緑色と青色の線が重なるので、デバイスとPCBフットプリントはきっちりと整合しています。デバイスが最適な位置に配置されなくても、リフロー後は、はんだの接着力によりパッドのエッジに整合されます。

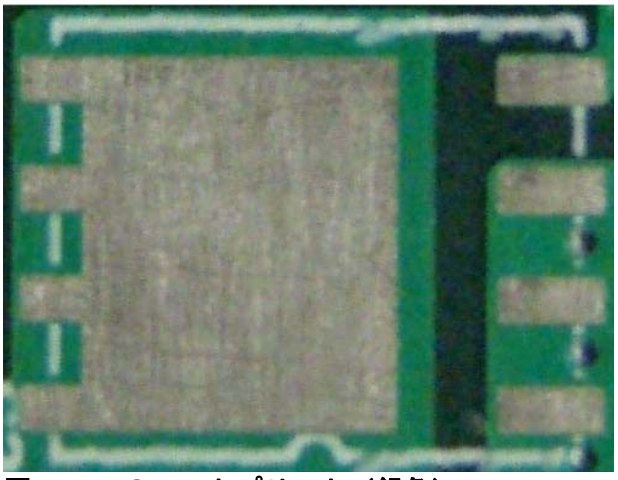


図4. PCBのフットプリント（銀色）

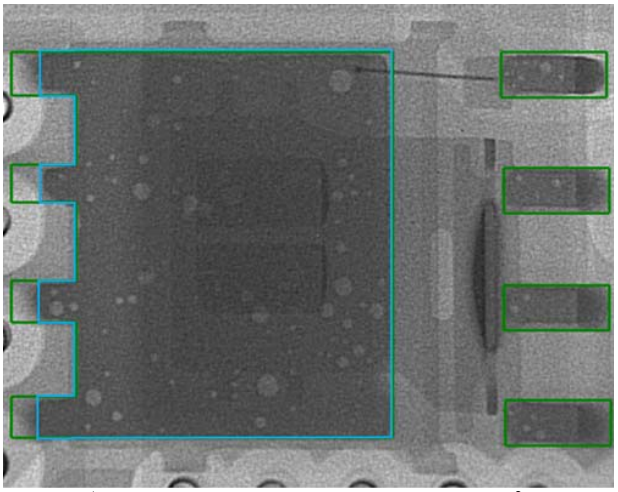


図5. デバイスのパッドとPCBのフットプリントの位置整合

最大のデバイスとして、5×6mmの外形を持つものには最大のパッド・エリアがあります。C型には3個の大きなパッドがあり、デバイスを指定位置に保持するのに役立ち、高信頼性で再現性があり、正確で問題のない配置を高い確度で行えます。BおよびE型には大きなパッド・エリアが1個だけあり、これらのデバイスをドレイン・パッドの1辺に位置整合させます。

図6aと7aは不正確に配置されたデバイスを示しており、１つはPCBパッドの右側に、もう1つはPCBパッドの上側に取り付けられています。前者はリフローの際に再整合し、後者は再整合しませんでした（図6bおよび7b）。

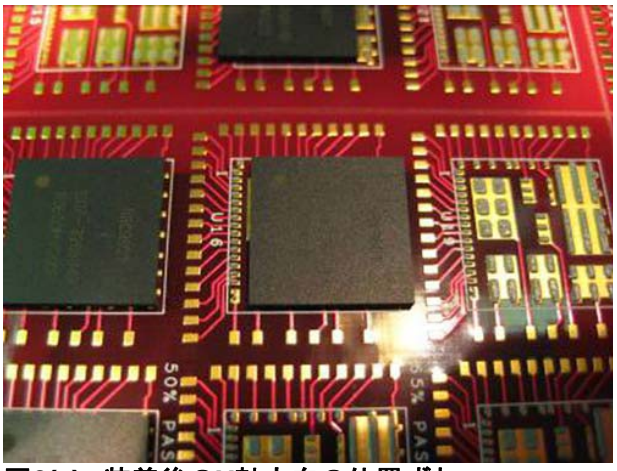


図6(a). 装着後のX軸方向の位置ずれ

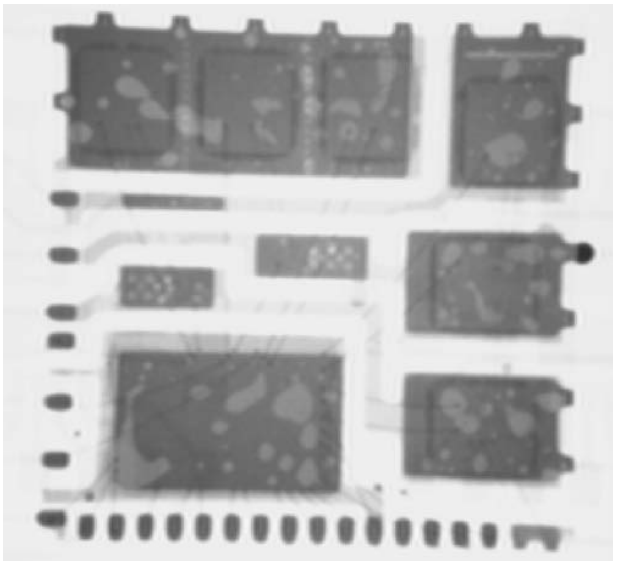


図6(b). 再整合の成功を示すX線写真

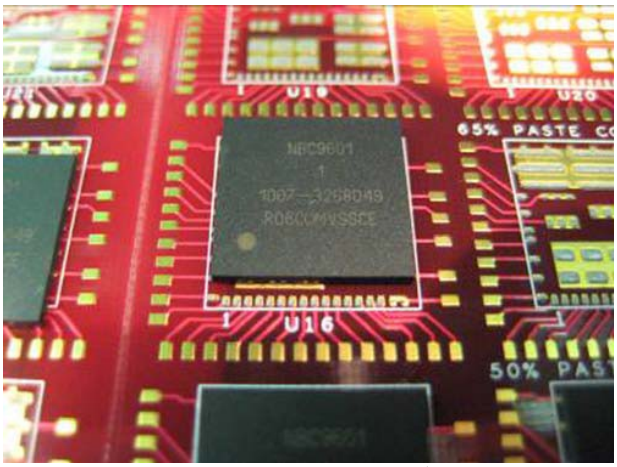


図7(a). 装着後のY軸方向の位置ずれ

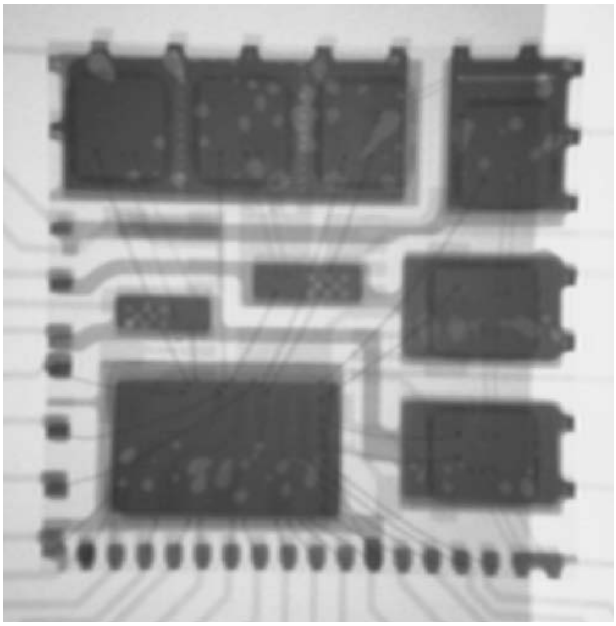


図7(b). 再整合の失敗を示すX線写真

PCBレイアウトとステンシルを設計する際には、このような位置整合の特徴を考慮する必要があります。AN-1136の付録Aで推奨されている設計を採用することにより問題を回避できます。

空間および平面上の傾き

空間的な、つまり3次元の傾きは、ある辺に他の辺よりも多くのはんだが集まったためにPCBに対して平行ではない状態を表します。

平面的な、つまり2次元の傾きは、上方から見た時に、PCBパッドの辺に整合してなく、ねじれている状態を表します。

図8aは平面的な傾きのあるデバイスを示します。このデバイスはリフローの際にも再整合しませんでした（図8b）。

インターナショナル・レクティファイアー社の試験では、どのサンプルも空間的または平面的な傾きを示しませんでした。

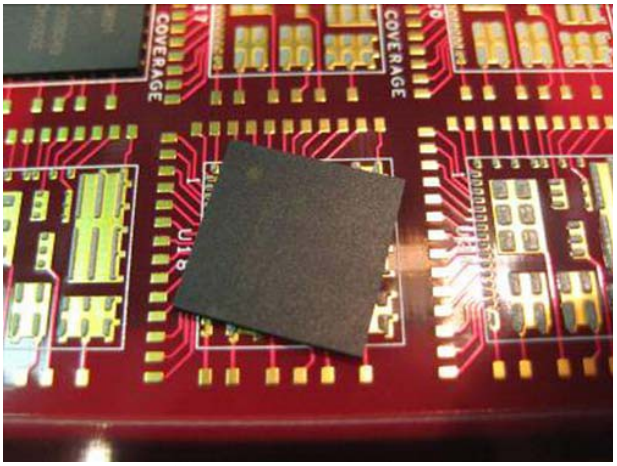


図8(a). 装着後の傾き

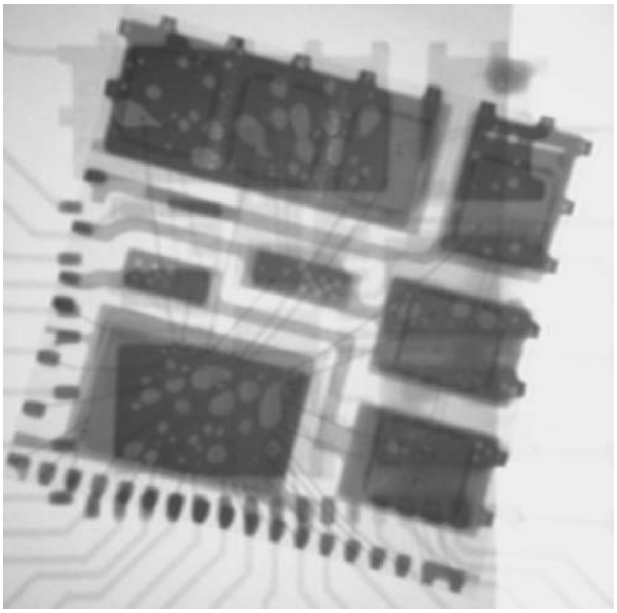


図8(b). 再整合の失敗を示すX線写真

固定されていない部品

自動実装機による実装時に脱落した部品がデバイスの下側に引っかかることがあります。目視検査、X線検査のどちらでもこの問題を見つけることが可能です。



図9(a). 固定されていないコンデンサ上に装着されたデバイス

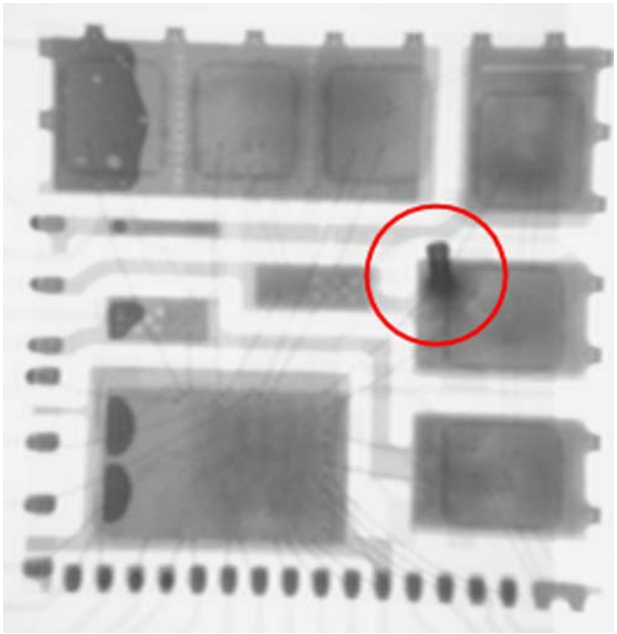


図9(b). 固定されていないコンデンサを示すX線写真

はんだ塗布

正しいステンシル設計は適切なはんだ接続を実現するために不可欠です。盛り付けるはんだ量が少なすぎる設計では、はんだ接続不良が起こりボイドも増えます（極端な場合には断線となります）。盛り付けるはんだ量が多すぎる設計では、はんだボールやはんだブリッジが（極端な場合には短絡が）発生します。試験では、推奨のステンシル設計が良い結果をもたらしました。

はんだ塗布をマニュアルで行う場合には、はんだが適切に、かつボイド防止のため十分な量が確実に塗布されるよう、注意が必要です。推奨PCBレイアウトを使用される場合は、塗布の方向（水平または垂直方向）は重要ではありません。それは、どれほど狭いエリアでも、はんだが適切に塗布されるのには十分な広さだからです。5x6のC型の中央のS1/D1パッドには小さな端子がありますが、推奨ステンシル・デザインはこれも考慮しており、はんだをどちらの方向へも塗布することができます。

はんだボールとブリッジ

過剰なはんだによるボールとデバイスの端子間のはんだブリッジは電気的短絡（ショート）を引き起こします。図10はこれらの不良を示しています。どちらも多すぎるはんだの塗布が原因です。

インターナショナル・レクティファイアー社の試験では、はんだボールやブリッジの問題はなく、どのサンプルでも回路の短絡は見られませんでした。最初の段階でブリッジが形成されても、端子の間隔と大きなパッドにより溶融はんだが引き離されてPCBパッドに適切に付着しました。

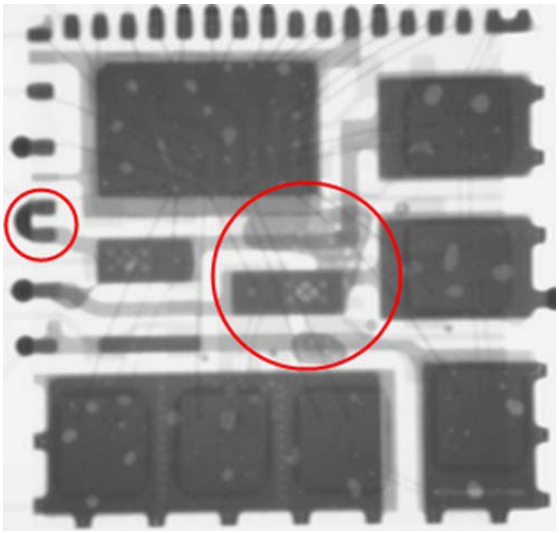


図10. はんだブリッジ（左側）とはんだボール（中央）を示すX線写真

はんだボイド

デバイスを実装する際に、はんだボイドの発生を避けることはできませんが、最小限に抑える必要があります。IPC-A-610規格では、ボイドの総面積が25%未満でなければなりません。通常、正しい量のはんだを塗布するとボイドの量はより少なくなりますが、はんだ合金、はんだ粒子のサイズ、フラックスの種類および成分のばらつき（過剰なフラックスはボイド面積の割合を増加させます）等、他の要因もあります。

図11ははんだ接合部で25%を超えるボイドがあるデバイスを示しています。この写真は、さまざまなステンシル厚さに対するボイド解析の際に撮られたものです。

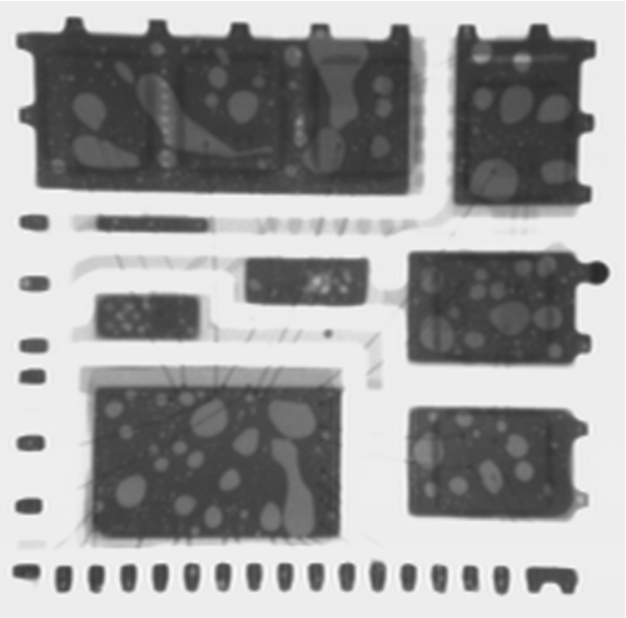


図11. 広範なボイドを示すX線写真

接合部の形成不良

接合不良がはんだボイドと異なる点は、はんだが溶けパッド全体に渡って流れた時にパッドの端に達するまでの十分な量が無いことです。パッドがむき出しの部分はボイドのエリアと考えることができますが、特徴的な丸い形状を示してはいません。

図12は通常塗布されるはんだ量の半分を試験の際に除去して意図的に形成した接合不良を示しています。

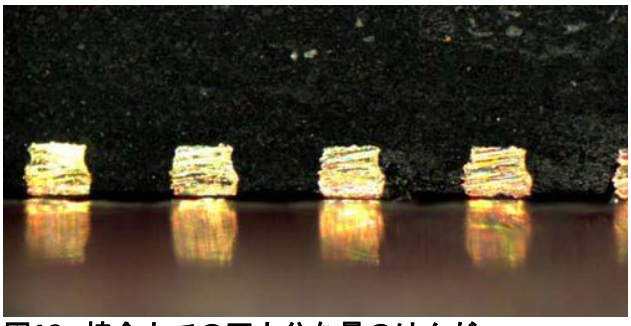


図12. 接合上での不十分な量のはんだ

図13ではいくつかのピンでの断線が見られますが、これらはX線検査がこれらの不良を検出できることを実証するためにテストの際に意図的に作成したものです。

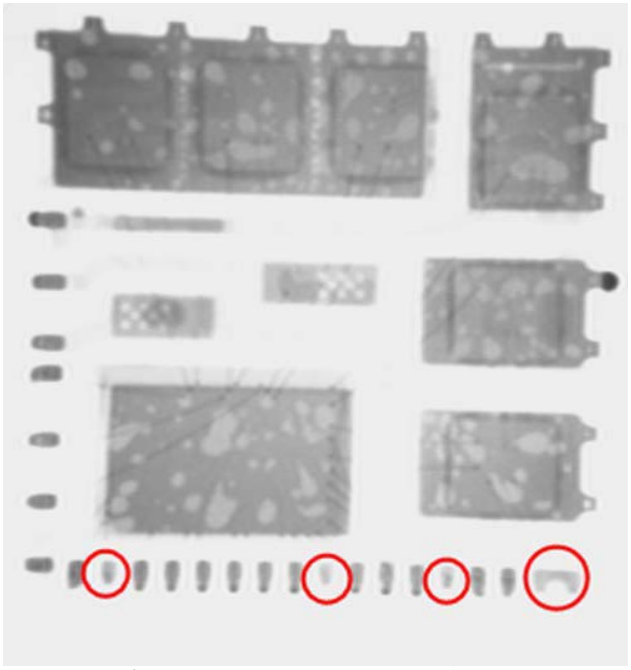


図13. ピン2、9、13、16、および17の断線

図14はデバイスのS2パッド上のボイド・エリアを示しています。5本の端子すべては内部でリードフレームに接続されているので、端子4と5が外部で完全に接続されていないという事実は重要ではないと思えるかも知れません。しかしながら、たとえばセンシングを必要とするアプリケーション中で接続不良の端子が選択されると問題となるので、この考えは受け入れられません。

つまり、時として完璧に形成された接合が不可欠となります。通常の円形ボイドは許容可能ですが、規格の範囲内でなければなりません。

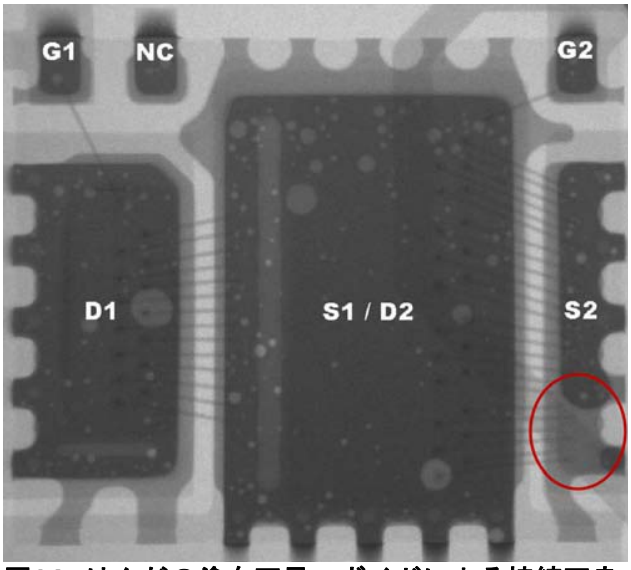


図14. はんだの塗布不足、ボイドによる接続不良