International
IOR Rectifier

APPLICATION NOTE

アプリケーション・ノート：AN-1133

SupIRBuck™マルチチップ・モジュール Power QFN® の検査方法

目次

頁

概要……2
検査技術……2
正しい組み立ての例……3
不合格基準の概要……3
故障の種類……4
設計の課題……8

Power QFN は、広い入力電圧範囲、高効率、単一出力のバック型パワー・モジュールを 5mm×6mm と小型の QFN パッケージに収めたものです。このパッケージは鉛フリー品で、部品番号の後ろに PbF を付けて示しています（例えば、IR3800PbF）。このアプリケーション・ノートでは、Power QFN パッケージの検査などのガイドラインをまとめました。基板への実装を簡素化して、信頼性を高めるために、インターナショナル・レクティファイアー（IR）社は Power QFN デバイスを正確に規格に沿って製造しています。この規格は、多くの異なった材料やさまざまな設計を評価することで改良されたものです。この評価によって良い結果がもたらされています。このアプリケーション・ノートにおける推奨例を参考に、それぞれ生産環境に合うように調整してください。

© インターナショナル・レクティファイアー・ジャパン
この文献の無断複製・転載を禁じます。

International
IOR Rectifier

APPLICATION NOTE

概要

Power QFN®は、主に基板実装型の電源用に設計された表面実装用の半導体技術です。熱的および電気的なインダクタンスや抵抗を大きくする原因となるパッケージの不要な要素を低減しているため、同じ大きさのパッケージに比べて大きな電力を扱えるようになっています。図 1 と図 2 に、構造を示します。

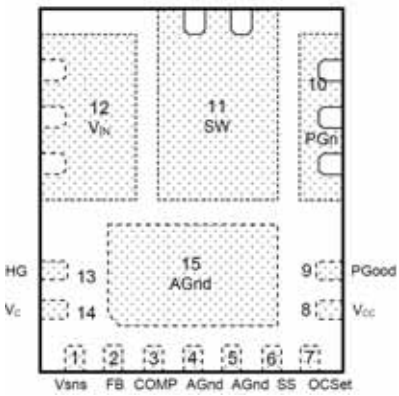


図 1　マルチチップ・モジュールの Power QFN パッケージのピン配置

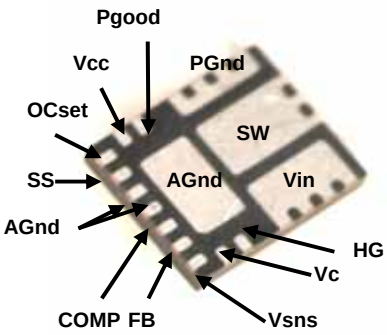


図 2　Power QFN パッケージの裏面

Power QFN デバイスはユニークな設計なので、従来の表面実装デバイス（SMD）とは異なる検査基準が必要になります。このアプリケーション・ノートでは、デバイスとプリント回路基板との間のはんだ接続の品質検査方法について説明します。

もう 1 つのアプリケーション・ノート（AN-1132）では、Power QFN デバイスをプリント回路基板に実装するときに必要な方法と実施方法、および一般的に使われる材料との間に発生する相互作用について説明しています。

検査技術

背景

Power QFN デバイスの大部分の接続では、これまでパッケージの外側のはんだフィレット接続を利用してきました（図 3）。業界規格（例えば、IPC-A-610）に従って、従来の SMD と同様に目視検査できます。

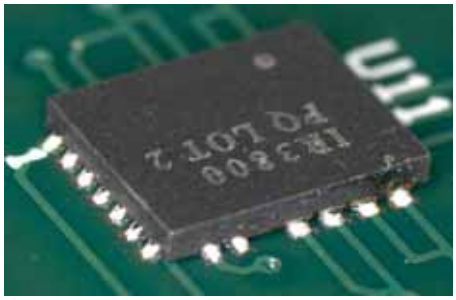


図 3　ドレインの外側のはんだフィレット

デバイスのねじれ、回転、傾き、それが複合したねじれを伴う傾きなどの組み立てによる問題も光学検査で検出できます。

ただし、スイッチ端子とアナログ接地は Power QFN デバイスの内側にあるため、確実に検査するためには他の検査技術が必要です。最も効果的な方法は、X 線顕微鏡による検査です。

X 線を使った内視鏡検査も利用できます。この装置は、主に BGA（ボール・グリッド・アレイ）デバイス裏面のはんだ接続の検査に使う小型カメラを内蔵しているため、Power QFN デバイスの内側のはんだ接続の検査にも使えます。

X 線検査

多くのメーカーが X 線検査装置を提供しています。2 次元または 3 次元の装置があり、バッチ検査や製造工程で使われています。

X 線を使って全製品を検査することは希です。一般には、製造工程の立ち上げ時、製品の立ち上げ時、さらに量産時の抜き取りサンプルの検査に使われます。

正しい組み立ての例

図 4〜6 に、正しく実装された Power QFN デバイスの例を示します。



図 4　はんだフィレットが良いと自動的に中心に配置される

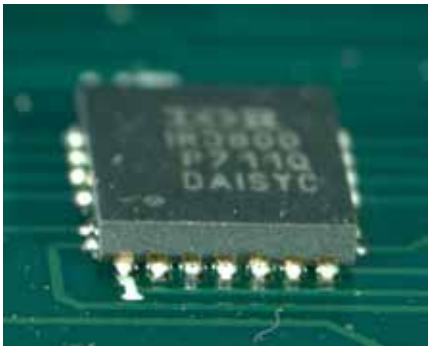


図 5　プリント回路基板と平行にデバイスが実装される

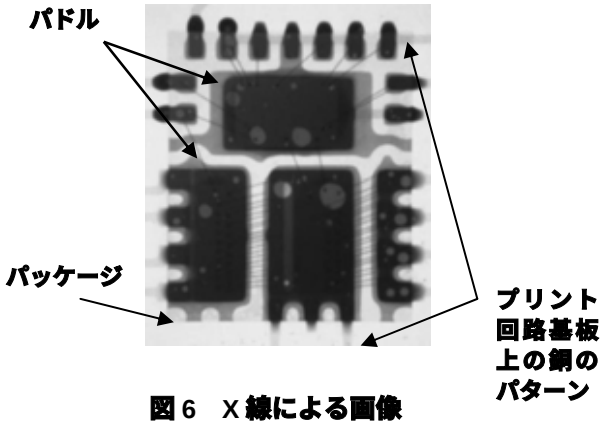


図 6　X 線による画像

不合格基準の概要

このアプリケーション・ノートの以下の部分では、Power QFN デバイスをプリント回路基板に実装するときに発生する問題について説明します。いずれの場合も、デバイスの合否判定を行う基準が与えられます。

下記にこれらの基準をまとめました。その後、それぞれについて詳しい内容を説明します。すべてのはんだ接続で言えることですが、Power QFN デバイスの接続でも重要なのは使用するはんだの量です。はんだが少な過ぎると、接続に空洞が生じ（極端な場合は断線）、はんだが多過ぎると、はんだボールが生じます（極端な場合は短絡）。

＜現象：デバイスの不合格基準＞

デバイスのねじれ：はんだカバレッジが 75%未満のゲート・パッドまたはソース・パッドが存在する。はんだカバレッジが 50%未満のドレイン・パッドが存在する。

デバイスの回転：180 度までの回転。

デバイスの傾き：はんだカバレッジが 75%未満のゲート・パッドまたはソース・パッドが存在する。はんだカバレッジが 50%未満のドレイン・パッドが存在する。プリント回路基板に対して 3 度以上傾いている。

デバイスのねじれと傾き：はんだカバレッジが 75%未満のゲート・パッドまたはソース・パッドが存在する。はんだカバレッジが 50%未満のドレイン・

パッドが存在する。プリント回路基板に対して 3 度以上傾いている。

はんだ空洞：プリント回路基板上のパッドのカバレッジが 75%未満のはんだ接続が存在する。

はんだボール：ゲート・パッドと最寄りのドレイン・パッドとの間にはんだボールが存在する。短絡を生じるはんだボールが存在する。

不確実な接続：プリント回路基板上のパッドのカバレッジが 75%未満のはんだ接続が存在する。はんだ接続が存在しないか、断線している。回路の絶縁されている複数の点を電気的に接続するはんだブリッジが存在する（例えば、2 つのドレイン・パッド間ではなく、ゲート・パッドとドレイン・パッドとの間）。

上記について、順に説明します。

注）このアプリケーション・ノートには、説明目的のために作った問題事例が記載されています。通常、これらの問題は、実際には発生しません。

故障の種類

デバイスのねじれ

デバイスがパッド上にねじれて（わずかに回転して）実装された例が**図 7** です。デバイスは明らかにねじれていますが、4 つの側面のすべての接合部の外側にはんだフィレットが認められます。X 線画像は、スイッチの接合部とアナログ接地の接合部のはんだ接続が良好なことを示しています。

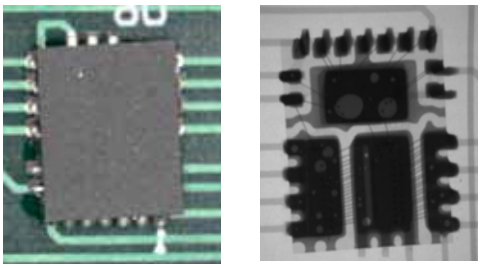


図 7　デバイスのねじれの例

次のいずれかの場合には、ねじれたデバイスを不合格にします。

- 1 番ピン～9 番ピン、または 13 番ピン、14 番ピンが正しくないランドに短絡されている。
- 10 番ピン～12 番ピンの接合部にカバレッジが 75%未満のものがある。

デバイスの回転（向きが正しくない）

デバイスが正しくない向きに実装された例が図 8 です。ドレイン接合部の外側のはんだフィレットは良好に見えますが、目視検査と X 線画像では多くの接合部に問題があることが分かります。

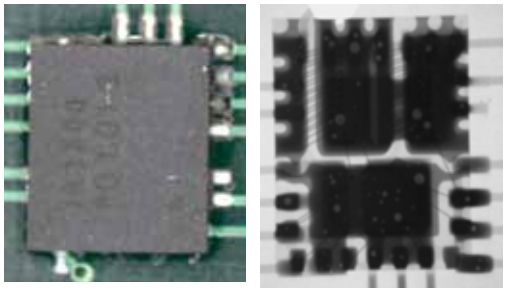


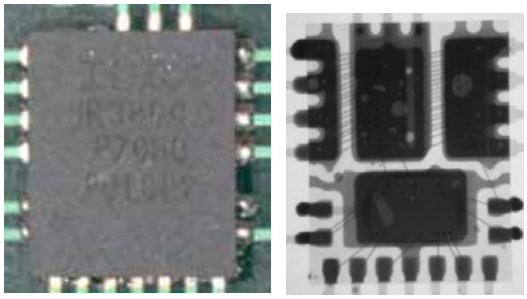
図 8　デバイスの回転

回転したデバイスは、すべて不合格にします。

デバイスの傾き

デバイスがプリント回路基板に平行に実装されていない例が**図 9** です。上から目視検査すると、デバイスの中心は合っていますが、写真の上側の大きい接合部には下側の小さい接合部よりも多くのはんだがあることが分かります。小さいランドに対して大きいランドのはんだが多過ぎるという問題が、はんだ工程に存在することを示しています。

側面からの目視検査によると、デバイスがプリント回路基板に対して 3 度以上傾いていることが分かります。これも、デバイスの下にはんだが存在するという問題を示しています。X 線検査では、１番ピン～7 番ピンのはんだが少な過ぎるという問題も確認できます。



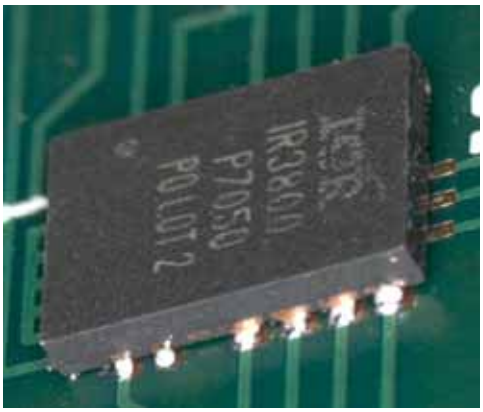


図 9　傾いたデバイスの例

次のいずれかの場合には、傾いたデバイスを不合格にします。

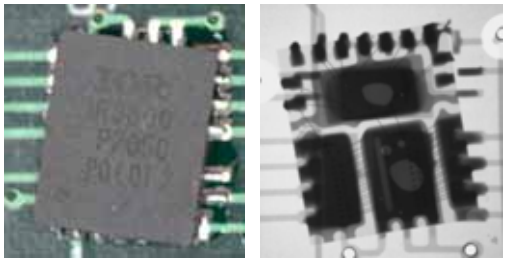
- 大きなパッドにカバレッジが 75%未満のものがある。
- 小さなパッドにカバレッジが 50%未満のものがある。
- 傾きの角度が 3 度を超えている。比較のために、傾き 1 度のデバイスを図 10 に示します。



図 10　傾き 1 度の Power QFN の断面図

デバイスのねじれと傾き

パッドに対してデバイスがねじれていて、しかもプリント回路基板と平行になっていないときの例が図 11 です。上からの目視検査ではねじれが分かり、側面からの目視検査では傾きが分かります。X 線画像には、ねじれによって接合部の領域が小さくなり、傾きによってパッドの鮮明度が損なわれ、それらの相乗効果が示されています。



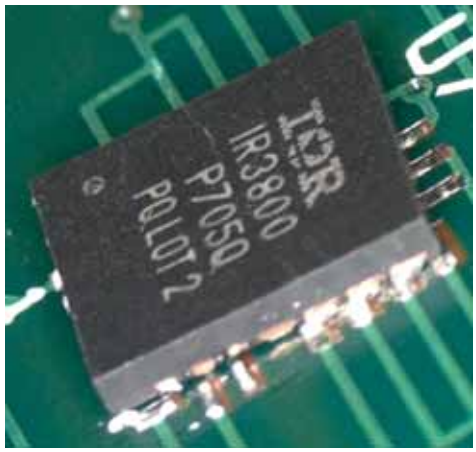


図 11　ねじれと傾きが生じたデバイスの例

次のいずれかの場合には、ねじれて傾いたデバイスを不合格にします。

- 大きな接合部にカバレッジが 75%未満のものがある。
- 小さな接合部にカバレッジが 50%未満のものがある。
- １番ピン～9 番ピン、または 13 番ピン、14 番ピンが正しくないランドに短絡されている。

- 傾きの角度が 3 度を超えている。

はんだ空洞

はんだがない領域（空洞）が存在する接続の例が図 12 です。

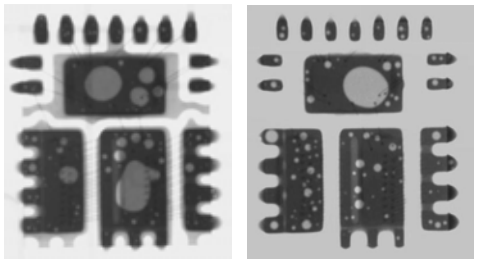


図 12　Power QFN ではんだ空洞が生じた例

多くの業界規格（例えば IPC-A-610）は、接合部の面積の最大 25%までの空洞レベルを許容しています。IR 社は、30%のはんだ空洞を持つデバイスで、かつパラメータまたは長時間信頼性のテスト結果に劣化がないデバイスで信頼性テストを実施してきました。

はんだ空洞の程度を正確に測定するためには、画像処理やピクセル・カウント・ソフトウエアを使用することが有効です。画像から直感的にパーセント値を求めようとすると、不正確になることは避けられず、一般に誇張された結果になってしまいます。一般に、真の値の約 2 倍の空洞レベルと判定してしまう傾向があります。

図 13 に例を示します。この例では、目視では接合部面積の約 10%が影響を受けていると評価されましたが、画像処理ソフトウエアは真の値がわずか 4.7%であることを示しています。図 14 の例では、目視では接合部面積の約 40%が影響を受けていると評価されましたが、画像処理ソフトウエアはわずか 27.5%でした。この結果は、優れた画像処理ソフトウエアの利用が有効であることを明確に示しています。

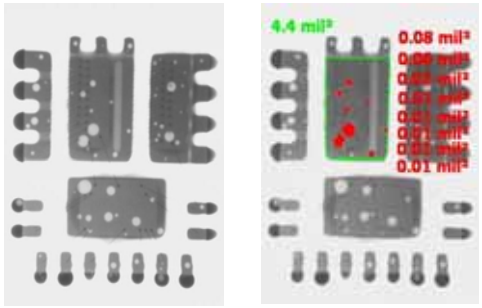


図 13　スイッチ端子の接合部のはんだ空洞
2840μm^{2}のパッドに 138μm^{2}の空洞領域があります。空洞領域は 4.8%ということになります。

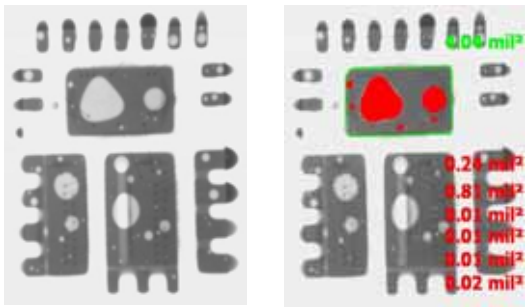


図 14　アナログ接地の接合部のはんだ空洞
接合部面積 2580μm^{2}のうち、空洞の面積が 710μm^{2}あります。空洞が 27.5%となり、IPC-A-610 によれば欠陥となります。

はんだボール

リフロー処理後に残った余分なはんだの球状の塊をはんだボールと呼びます（図 15）。極端な場合には、はんだボールによって短絡が生じることがあります。

すべての表面実装デバイス（SMD）の場合と同様に、Power QFN デバイスの組み立ての目的は、はんだボールを生じさせずに接続領域で優れたはんだカバレッジを実現することです。しかし、常に最適のはんだ量にできるとは限らず、はんだボールが形成されてしまうことがあります。

はんだ量の他に、不適切なリフロー・プロファイル（温度上昇速度が速過ぎる）によっても、はんだボールが発生することがあります。これは、溶剤やフラッ

クスが沸騰して、はんだ本体からはんだ粒子が飛び散るために発生します。

はんだボールは望ましいものではありませんが、少々のはんだボールは必ずしも問題になるとは限りません。はんだボールがパッド間をブリッジ接続できるくらいの十分な大きさでないと、故障は発生しません。これくらいの直径のボールは極めて希です。加えて、はんだボールは残留フラックスの粘着性によって、または Power QFN パッケージとプリント回路基板との間に挟まることによって、組み立て後は動かない傾向があります。挟まったはんだボールの例を図 15 に示します。

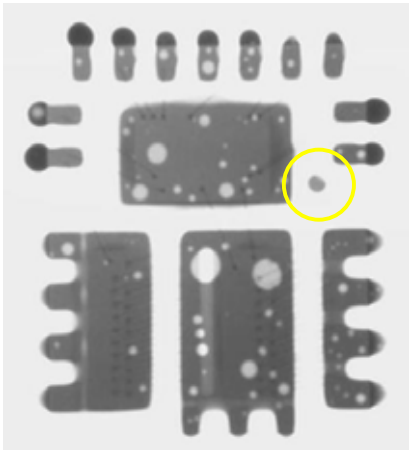


図 15　Power QFN の下のはんだボールの例

はんだボール自体はほとんど短絡を発生させることはありませんが、フラックスの染み、はんだ粒子、汚染物質が、ある状況のもとで短絡や漏れを発生させることがあります。これは非常に希ですが、リフロー時にデバイスが移動すると、悪化することがあります。

短絡のチェックには電気的テストを行います。デバイスを実装するときに短絡がなければ、はんだボールによって、後で短絡が発生する可能性は低いと思われます。

はんだボールが頻繁に発生する場合には、はんだペースト、ステンシル厚、ステンシル開口、接着圧、ボンディング・パッド寸法、はんだマスク材料、リフロー条件を変えて、実験による設計（DOE）を行ってください。この方法により、はんだボールの原因を特定して対策を講じることができます。

不確実な接続

ボンディング・パッドや Power QFN の端子との接合部のはんだの量が、過剰または不十分なときに、確実に接続されないことがあります。極端な場合には、断線や短絡を生じます。

過剰なはんだと短絡

過剰なはんだ量によって形成された接続は、隣接ボンド間の間隔が IPCA-610 規定の許容限界を下回らない限り、または部品の下ではんだ接続が阻害されない限り、許容できます。**図 16** に、両状態の例を示します。部品の下で接続が阻害された場合には、X 線検査または内視鏡検査でのみ検出できます。不確実なはんだ接続は、X 線画像上に変則的なパターンや形状として表示される傾向があります。

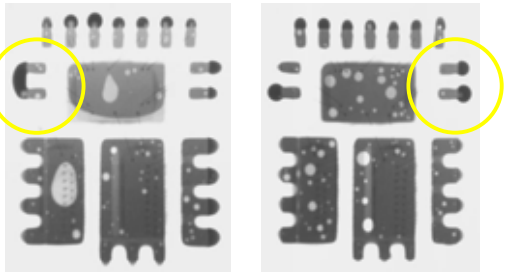


図 16　不確実な接続の例

極端な場合は、過剰なはんだによって回路が短絡してしまうことがあります。つまり、互いに絶縁されているべき複数の接合部間が偶発的に接続されてしまいます。以下の 2 つの短絡の例を図 17 を使って示します。

1　左の画像には、複数のソース・パッド間に生じたはんだブリッジが表示されています。これは望ましいものではありませんが、複数のパッドは電気的に同電位であるため許容できます。

2　右の画像には、ゲート・パッドとプリント回路基板上のパターンとの間に生じたはんだブリッジが認められます。これは不合格にするか、手直しが必要です。X 線で検出されない場合は、電気的テストで検出できます。

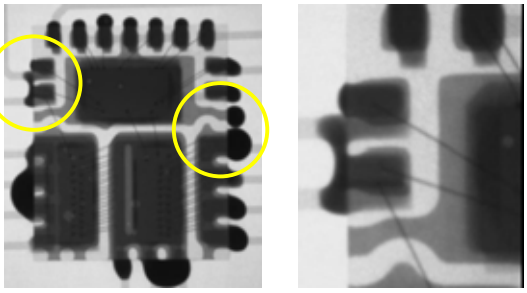


図 17　回路の短絡の例

不十分なはんだと断線

　不十分なはんだ量が原因となって発生する不確実な接続は、影響する面積が接続の 25%を超えない限り、許容されます。このレベルを超えない限り、デバイスを不合格にしたり、手直しをしたりする必要はありません。ただし、不確実な接続が頻繁に発生する場合には、プロセス・エンジニアリングまたは最適化、さらに歩留まり改善を実施して、状況を改善してください。
　空洞の場合と同様に、画像処理またはピクセル・カウント・ソフトウエアを使って、影響を受ける範囲を評価します。図 18 に例を示します。

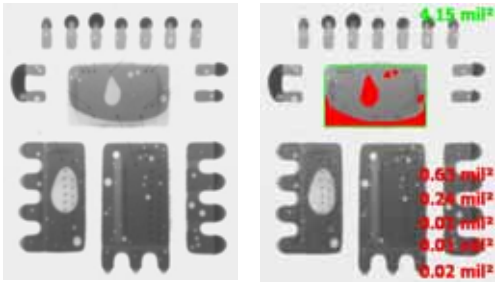


図 18　アナログ接地の不確実な接続：22%が不確実

　深刻な場合には、不十分なはんだによって部品間が電気的に接続されず、基板上の断線が X 線画像に弱々しい不鮮明なパッドとして示されます。図 19 に、断線の例を示します。
　1　左の画像は、9 番ピンの断線を示しています。このデバイスには電気的接続がないので、不合格判定するか、手直しが必要です。
　2　右の画像には、8 番ピン、9 番ピン、13 番ピン、14 番ピンの 4 個のパッドで接合部面積が小さくなっていることが分かります。8 番ピンと 9 番ピンの接続は最大 50%のカバレッジしかないので、他の接続に欠陥がなくとも、不合格にしてください。
　図 20 に、断線の目視写真を示します（黄色の矢印）。はんだが不十分なとき、はんだは部品の端子から離れ、ボンディング・パッド上に溜まる傾向があります。

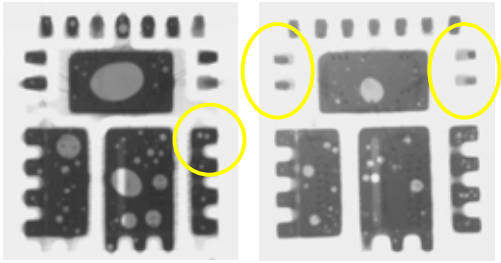


図 19　回路の断線の例

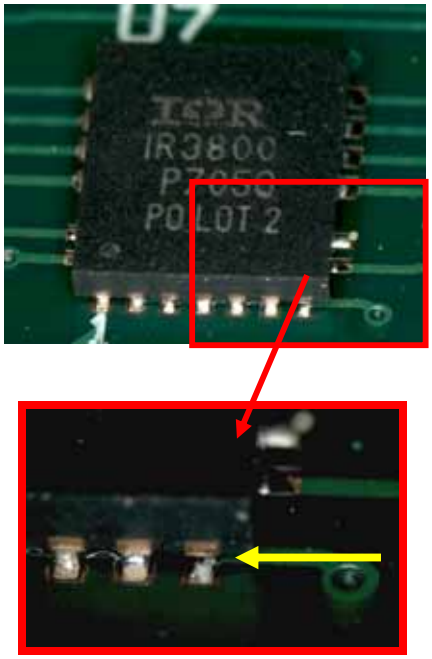


図 20　回路の断線の例

設計の課題

　X 線は製造工程の不具合を検査する役割の他に、基板設計の問題を明らかにすることもあります。