

購入半導体デバイスの故障解析技術

石井宏之*
金谷雅夫*
中野一機*

Failure Analysis Technologies of Purchased Semi-conductor Devices

Hiroyuki Ishii, Masao Kanatani, Kazuki Nakano

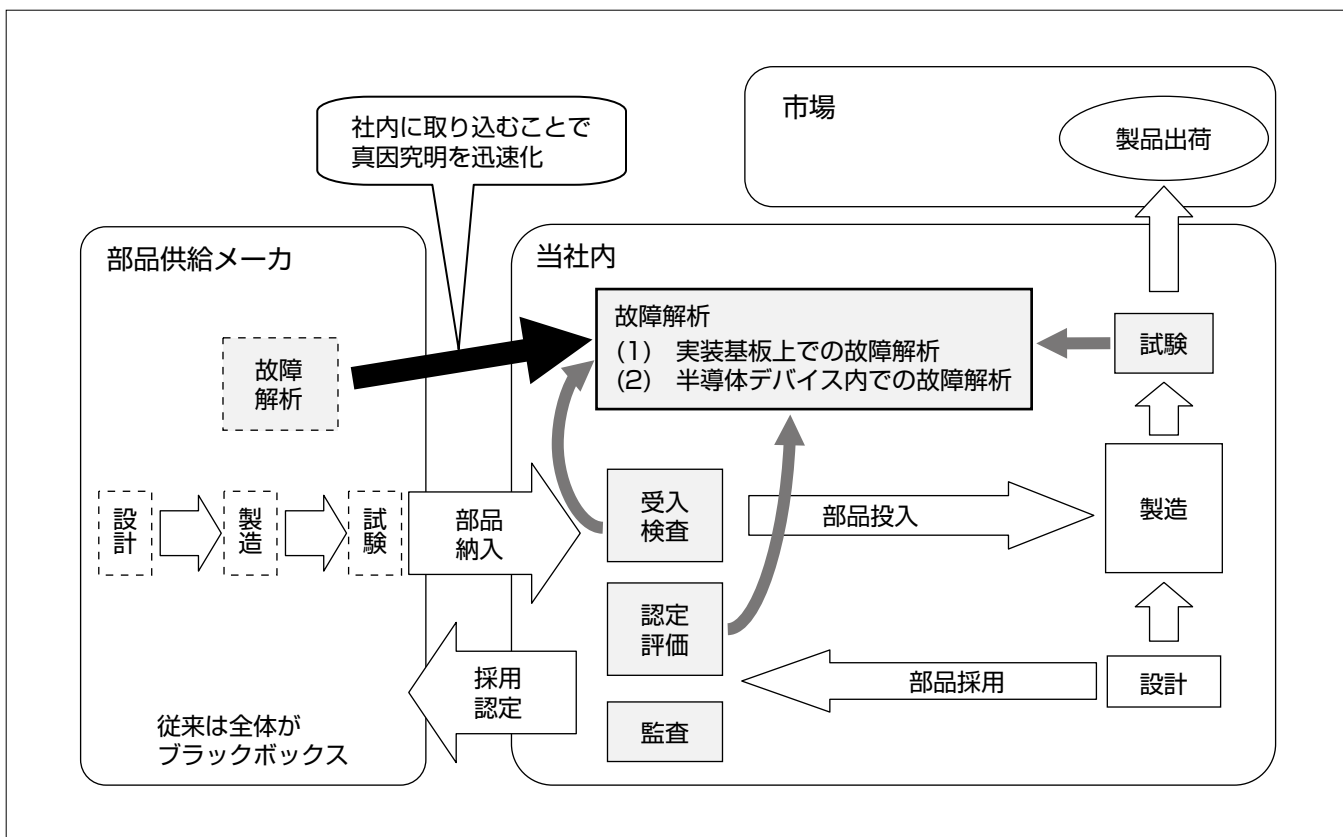
要 旨

近年、市場や生産拠点のグローバル化に伴い、製品に搭載する部品の海外調達も増加しており、その品質を見極めることが極めて重要になってきている。海外調達部品の品質見極め力を向上させるために、当該部品の採用認定時の評価技術や、受入れ検査時のスクリーニング技術、製品製造時のインライン検査技術等の高度化を推進している。しかし、不具合を顕在化できても、特に半導体デバイスを始めとする電子回路部品では、その内部構造や製造プロセスがユーザーにとってはブラックボックスであるため、真因究明や対策の実施を部品供給メーカーに頼らざるを得ず、長期間かかることが多くになっている。

このような問題を解決するためには、部品ユーザー側で故障解析技術を持ち、迅速な真因究明を実現することが必要である。三菱電機生産技術センターでは、高周波電気パルスやレーザを用いた、次の二つの故障解析技術の開発を進めており、不具合真因究明・対策実施までの時間を大幅に短縮することが可能となった。

- (1) 実装基板上での故障箇所特定技術
- (2) 半導体デバイス内での故障箇所特定技術

今後、更に拡大する海外調達部品に対応できるよう、引き続き解析技術の開発を進めるとともに、できるだけ上流の製品設計段階で不具合を顕在化できる手法の確立を目指す。



購入部品に対する品質確保の仕組み

製品に搭載する購入部品は、製品設計時の採用認定評価を起点として、量産時の受入れ検査、製品製造時、出荷時の試験工程等で品質の見極めを行う。その際、当社内で顕在化した不具合品の故障解析技術を開発することによって、真因究明の迅速化を図るとともに、最適な対策実施を実現できる仕組みを構築した。

1. ま え が き

拡大する海外市場、海外生産に対応して、海外調達部品の比率も高まっている。当社では海外調達部品の品質見極め力を向上させるために、当該部品の採用認定時の評価技術や、受け入れ検査時のスクリーニング技術、製品製造・出荷時の試験技術等の高度化を進めてきている。ところが、不具合を顕在化できても、特に半導体デバイスでは、その内部構造や製造プロセスがユーザーにとってはブラックボックスであるため、真因究明や対策の実施を部品供給メーカーに頼らざるを得ず、長期間かかることが多くなっている。さらに、ファブレス化や海外ローカル工場への分業化が進むなど、部品供給メーカー自身の技術力低下も危惧される。

この問題を解決するために、当社生産技術センターでは、高周波電気パルスやレーザー光を用いた、次の二つの故障解析技術の開発を進め、不具合真因究明・対策実施までの時間を大幅に短縮した。

- (1) 実装基板上での故障箇所特定技術
- (2) 半導体デバイス内での故障箇所特定技術

本稿ではこれらの技術と、これをもとに実際に検出した不具合事例について述べる。

2. 高周波を用いた実装基板上での故障箇所特定技術

2.1 TDRの測定原理と故障箇所特定システム⁽¹⁾⁽²⁾

製品に搭載した部品起因の不具合が発生した場合は、その部品が実装された基板上で、不具合現象をもとに当該部品を抽出することになるが、詳細な電気信号の変化点を見極め、部品や回路配線の断線や短絡等の故障箇所を断定するには、設計者並みの知識が必要となることが多い。しかし、現実の故障解析は設計知識の少ない品質担当者が実施する人が多い。そこで、簡便に故障部品を特定できる手法を開発した。測定手法は、高周波技術を応用したTDR (Time-Domain Reflectometry：時間領域反射法)を用いており、立ち上がりパルスを基板上の回路に印加し、その反射波をピコ秒(psec)オーダーの時間間隔でサンプリング測定するものである。この方法では、良品基板での測定波形と比較することによって、微小な短絡や断線等によるインピーダンス変化を検出することができる(図1)。測定波形の乖離(かいり)点(インピーダンス変化箇所)までの時間

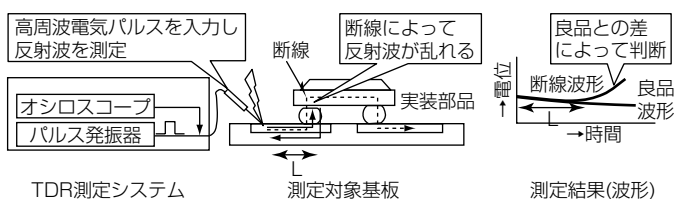


図1. TDRの原理

を読み取ることによって、基板上の故障箇所をミリメートル(mm)単位で推定することができる。

このTDR法を用いた実装基板上の故障箇所特定システムを開発した(図2)。このシステムでは、ギガヘルツ(GHz)オーダーの高周波特性を損なうことなく基板の回路上にパルスを印加することが可能な高速切替えユニットや、100点を超える基板上の印加点に同時にプローブ可能な治具基板を開発して搭載している。また、良品基板で測定した波形と照合して故障の有無を自動判定するソフトを作成し、設計技術を持たない作業員でも簡便に短時間で特定できるようにした。また実装基板のプローブ測定時に問題になる接触不良を低減するためのプローブ先端部の自動清掃機構や、接触抵抗変動をキャンセルするための測定波形の微分比較アルゴリズムを搭載するなどの工夫も盛り込んだ。

2.2 TDRシステムで特定できた不具合事例

2.1節で述べた特定システムを用いて、実際の基板上で故障箇所が特定できた事例について述べる(図3)。

この事例は基板上に実装されたICのワイヤボンド断線の検出事例である。図3のグラフが実際に測定したTDR波形である。

グラフ中の丸で示したところから波形の乖離が見られる

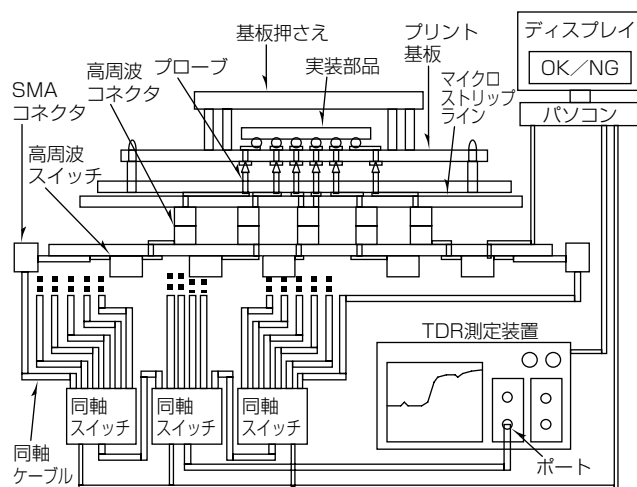


図2. 実機基板上の故障箇所特定システム

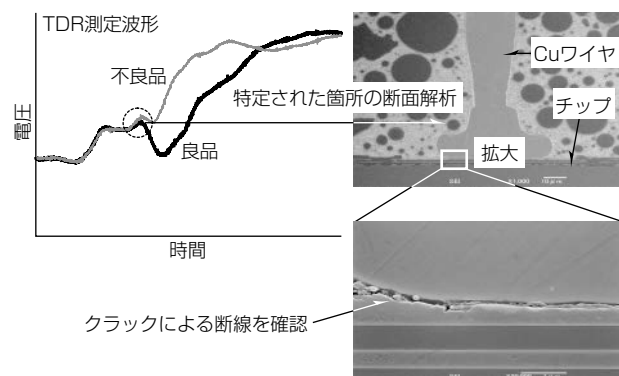


図3. TDRによる故障箇所特定事例(IC内部のワイヤボンド断線)

ので、この箇所が断線傾向の不具合が発生していると推測された。そこで、実際に当該箇所当たるIC内部の断面を観察したところ、Cuワイヤのボンディング部におけるクラックによる断線が確認された。

この結果をICメーカーに提示することによって、部品自身の構造又はプロセス上の問題であることを認識してもらい、有効な対策を迅速に実施してもらうことができた。

この事例以外にも、BGA (Ball Grid Array) の断線不具合や、プリント基板のビアホール断線なども検出できており、この測定手法を用いた実装基板上の故障箇所特定技術として活用を拡大している。

3. レーザを用いた半導体デバイス故障箇所特定技術

3.1 OBIRCH解析の原理と故障箇所特定手法⁽³⁾⁽⁴⁾

2章で述べたように、基板上におけるmmオーダーの故障箇所特定技術としてはTDR法が有効であるが、半導体デバイス内部では、マイクロメートル(μm)オーダーの位置精度が必要となるため、TDR法では特定できない。そこで、半導体デバイス内部の故障箇所特定技術として、レーザを応用した解析技術であるOBIRCH (Optical Beam Induced Resistance Change: 光加熱抵抗変化) 解析技術の応用開発を進めている(図4)。

この解析手法は、半導体デバイスなどの被測定物をレーザ照射でスキャンしながら局部的に加熱したときの抵抗(電流)変動を検出することによって、リーク電流経路や接続部の抵抗異常箇所を可視化して特定する手法である。レーザ源としては、赤外線(IR)がシリコン(Si)を透過することからデバイス内部の配線を直接加熱することができるため、一般的によく用いられる。この手法は、測定そのものは比較的簡便であるが、故障箇所以外にも反応点が現れることが多く、結果の解釈にデバイス構造情報が必要となることから、通常は半導体デバイスメーカーが自身で設計したデバイスの不良解析に使用される手法である。

デバイス構造情報を持たないユーザーとして故障箇所を絞り込むために、単一的な解析手法ではなく、多面的な解析を実施できるように工夫している。具体的には、今回の技術開発に用いた解析装置(浜松ホトニクス社製エミ

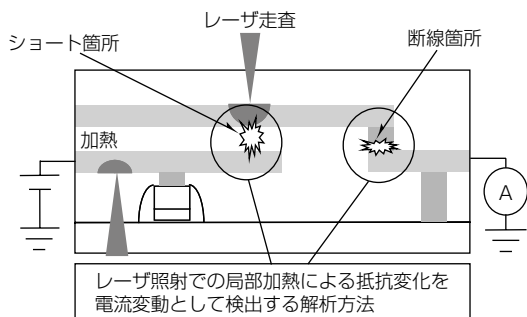


図4. OBIRCH解析の原理

ッション顕微鏡: PHEMOS^(注1)-1000)には、基本仕様であるエミッション検出用カメラとして可視光用の高感度CCD (Charge Coupled Device) 検出器と近赤外線用InGaAs検出器を搭載しており、OBIRCH解析用の光源としてIRレーザ(波長 $\lambda = 1,300\text{nm}$)に加えて、グリーンレーザ($\lambda = 532\text{nm}$)も搭載している。このグリーンレーザは、SiCやGaNなどのバンドギャップがSiに比べて広いデバイスに対して、高分解能かつ高密度なエネルギーを照射できる最新の解析手法である。これら複数の解析手法を容易に切り替えて相補的に使用することによって、幅広い不具合モードに対して故障箇所の絞り込みを行うことを可能としている。

(注1) PHEMOSは、浜松ホトニクス(株)の登録商標である。

3.2 OBIRCH解析で特定できた不具合事例

3.1節で述べた特定手法を用いて、LED (Light Emitting Diode) チップ内での故障箇所を特定した事例について述べる。

LEDは最近その使用量が著しく増加しており、不具合件数も増加傾向にある。LEDモジュールとして購入することも多いが、モジュールメーカーがLEDチップ内の故障解析力を持たないことも少なくないため、近年はLEDチップ内の故障解析技術の開発に注力している。

LEDチップはその用途によって種々のパッケージ形態でモジュール化されているが、3.1節で述べた解析手法を適用するためには、まずLEDチップ表面をダイオード特性を劣化させずにダメージレスで露出させる必要がある。通常LEDはチップ上に蛍光体層が塗布されており、さらに、その上にシリコン樹脂製のレンズが形成されていることが多い。これら樹脂の成分に関してはユーザーに非開示であるため、良品サンプルを用いた試行錯誤を繰り返すことで開封条件を決めており、長時間かかることが問題であった。この問題を解決するために、硫酸と発煙硝酸を混ぜた混酸を樹脂表面に吹き付けることで、比較的容易に開封できる技術を開発した(図5)。

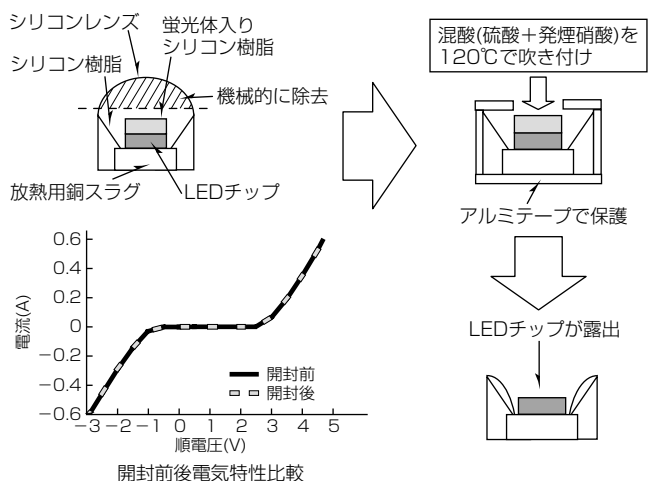


図5. LEDチップの露出手順

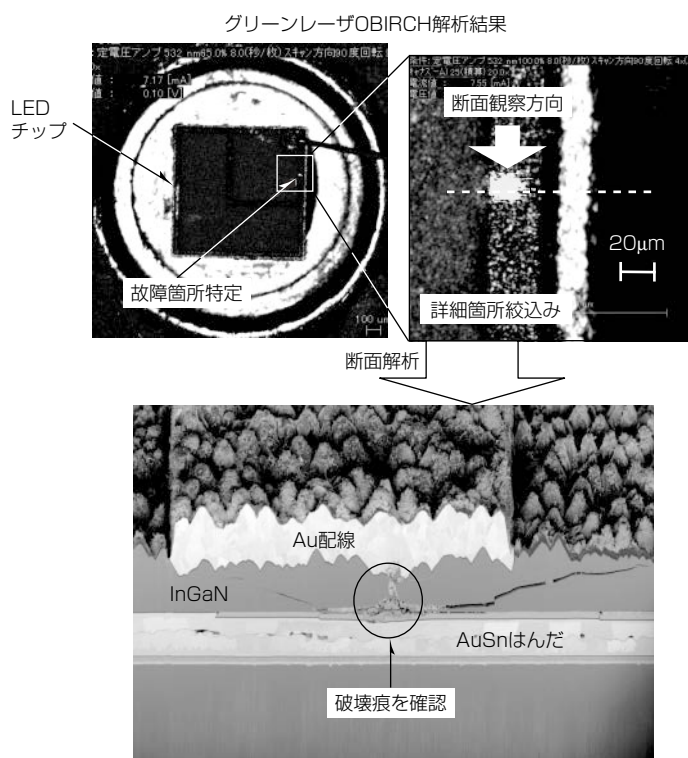


図 6. LEDでの故障箇所特定結果

まずシリコンレンズ上部を機械的に除去し、混酸で腐食する土台部分をアルミテープで保護した後、混酸を吹き付けることでチップを露出させることができ、開封前後での電気特性に全く変化がないことを確認できた。混酸の混合割合や、温度、吹き付け時間等の条件は、パッケージ状態や樹脂の種類によって異なるが、条件変更を容易に実施することを可能とし、時間短縮を実現した。

ダメージレスでチップを露出させたLEDに対して、グリーンレーザによるOBIRCH解析を実施した(図6)。グリーンレーザでのOBIRCH解析以外に、先に述べたエミッション解析やIRレーザによるOBIRCH解析も実施した。グリーンレーザ以外はどれも複数の反応ポイントが検出され、故障箇所の絞り込みができず、グリーンレーザだけで故障箇所特定が可能であった。その理由としては、エミッション解析ではLED内に今回の故障とは関係のない複数の特異発光点が存在したこと及びIRレーザでは波長が長いこと熱ストレスで複数点が反応したものと考えられる。

グリーンレーザOBIRCH解析によって絞り込んだ箇所の断面解析を実施した結果、電気ストレスによると思われる

破壊痕を確認することができ、外部からの過電圧ストレスによる不具合であることが判明した。

この解析法によってLED以外にもICチップ内部の異物による配線間ショートや、セラミックコンデンサの内部短絡などの不具合解析を実施しており、不具合の迅速な真因究明を実現し、市場品質の向上につなげている。

4. む す び

グローバル化の拡大とともに進む海外調達部品の品質を見極める施策として、不具合発生時の迅速な真因究明を実現するために開発を進めている故障解析技術について述べた。一つは、高周波技術を応用したTDR法を用いた実装基板上での故障箇所特定技術であり、もう一つはレーザを応用したOBIRCH解析技術を用いた半導体デバイスでの故障箇所特定技術である。これらの技術を駆使することによって、購入品であるICやLED内部の不具合現象を解明でき、迅速に対応することで、製品の品質向上につなげることが可能となっている。

今後、更に微細化・複雑化が進む半導体デバイスの故障箇所解析技術の開発を進め、当社製品の品質向上につなげていく。

参 考 文 献

- (1) 新谷宣明, ほか: TDR法を用いたフリップチップのAuパンプ接続の非破壊解析, 第23回エレクトロニクス実装学会講演大会講演論文集, 11D-04, 83~84 (2009)
- (2) 中野 一機, ほか: TDR法による高密度実装基板の量産検査技術, Proc. of the 17th Symposium Microjoining Assembly Technology Electronics, 49~54 (2011)
- (3) Nikawa, K., et al.: Novel OBIC Observation Method for Detecting Defects in Al Stripes Under Current Stressing, Proc. of the 19th Int'l Symp. Testing and Failure Analysis, 303~310 (1993)
- (4) Kawamura, N., et al.: An Analysis and a Method of Enhancing the Intensity of OBIRCH Signal for Defects Observation in VLSI Metal Interconnections, IEICE Trans. on Electronics. E77-C, 579~584 (1994)