

LEDデバイス総合解析システムの受託サービス

中村 隆治
高森 圭

中嶋 龍一
味岡 恒夫

矢部 一博

沖エンジニアリング株式会社(OEG)は第三者機関として電子デバイスなどの信頼性評価受託サービスを実施しており、そのときどきの時代要求に合わせ、技術導入や開発を行い、お客様の問題解決を行ってきている。

この度、LEDデバイス(以下、LED)の品質や信頼性に関する様々な課題に対応するLEDデバイス総合解析システムを構築し、受託サービスの提供を開始した。この解析システムはLEDメーカーの設計・開発のサポートや製品の品質・信頼性の評価として有効であるだけでなく、LEDユーザーの部品調達や実使用などで起こる故障・劣化の原因究明にも役立つものである。

従来、部品・デバイスの解析では信頼性試験、特性評価、故障解析、良品解析などそれぞれ個別の評価が主であった。LEDではこれらの個別評価に熱解析や光学特性評価技術を総合的に組み合わせることで、より効果的な評価が行える場合が多い。このため、OEGでは熱過渡解析や光学特性評価(積分球)を導入し、他の受託サービスにはないLED総合評価を構築した。

LED照明の劣化

近年、LED照明に関する評価依頼が急増している。LED照明はエコ時代を牽引するものの一つとして大きな期待を受け、市場に投入され始めたが、一方で、デバイスの発熱が大きく、発光効率の劣化などいくつかの問題を抱えている。図1にLED照明に用いられるLEDの断面構造と課題を示す。この図は代表的なLEDの断面構造で、太字の部分に構造の名称、下線が外部環境に関連する影響、斜

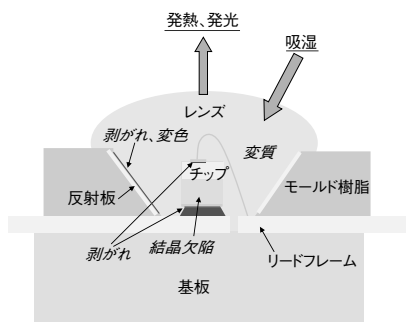


図1 LEDの構造と課題

字が故障要因を示している。発光部である素子(チップ)には、一般的に上下に電極があり、上部電極はワイヤボンディングでリードフレームに接続され、下部電極はさらに金属層/リードフレームに接続される。また、チップの上には蛍光体を含むレンズが付いている。

LEDに電圧を印加し電流を流すと光が発せられ、一部は反射板を通して上方に放出される。また、同時に発熱も起こる。この光や熱により樹脂の変質や接着層のボイドの成長、界面における剥離などが起こる。また、樹脂の吸湿により、ワイヤの断線やダイパッドからチップが剥がれることもある。さらには、反射部の硫化などによる変色も問題になる。

LEDデバイスの総合解析

図2に、構築したLEDの総合解析概略図を示す。この図はLEDの課題に対する評価法で、故障・劣化要因の解析と、劣化を防ぐ品質・信頼性評価に二分される。

(1) 故障・劣化要因の解析

故障や特性が低下したLEDの解析は、デバイスの部分をLED照明などのシステムから取り出し、デバイス単体で評価する。まず、積分球を用いて光特性(L-V)測定を行い、レンズから放出される光量の低下がないかを測定する。光量の低下(劣化)や、不点灯が確認できれば、次に電気特性測定(I-V)に移る。開放不良であれば、ワイヤなどの

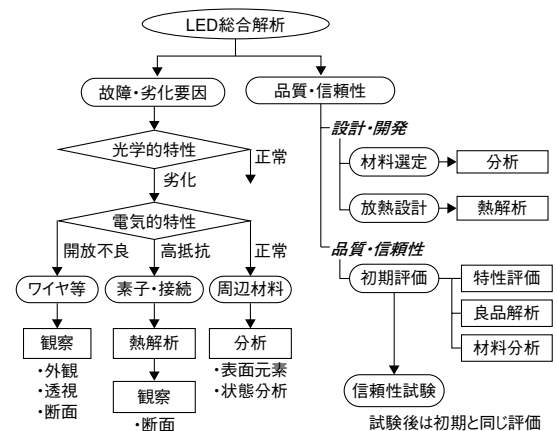


図2 LEDの総合解析

総合解析に用いられる主な手法と事例

断線や剥がれが故障要素として考えられる。この場合には故障解析に準じた解析を進める。また、リーク電流が増加した場合にはチップ内の結晶欠陥が問題になることが多い。これらの電氣的な故障や劣化の場合には半導体デバイスに準じた故障解析を行う。抵抗が大の場合には、接続部の部分的な剥がれの可能性が高く、その箇所を観察する。この場合、熱解析(熱過渡解析)を用いると熱抵抗が増加した箇所を特定できる可能性がある。また、電氣的特性に異常がない場合には、チップ内の結晶欠陥の増加とレンズの劣化や反射板の変色(酸化や硫化など)や汚れなどが考えられる。前者ではTEM(透過電子顕微鏡)による観察が効果的である。一方、後者の場合には問題となる構造の材料分析(元素分析や構造化学分析)が実施される。これらの評価解析により、故障や劣化の原因や箇所が判明し、お客様の改善への取り組みを効果的に実施することが可能となる。

(2) 品質・信頼性評価

LEDデバイスや照明の設計段階では、材料の選定や放熱設計が重要であり、材料分析と熱解析が活用できる。また、試作品の評価や最終製品の品質評価では特性評価に加えて、良品解析(デバイスに内在する欠陥や不具合を多角的な観察から抽出する解析)が有効な方法である。良品解析ではデバイスの外観検査、透過X線観察、レンズやモールド樹脂を除去後の表面観察(内部観察)、断面観察を行う。レンズやモールド樹脂などの材料分析も劣化を低減するために重要である。これらの評価を信頼性試験の前後に実施すると市場における劣化の予測が可能となる。良品解析や材料解析は、特性評価には反映されない変化でも見つけることができるため、信頼性試験時間の短縮や高信頼性の確保に有効な手法である。

(3) 総合解析システムの構築

以上のようにLED評価には特性評価、信頼性試験、故障解析、良品解析、材料分析、熱解析など多岐に亘った評価が必要である。OEGでは、熱過渡解析や、光学的特性評価ができる積分球を早期に導入することにより、LEDデバイス総合解析システムを完備した。積分球の導入により、光の強さや色合いといった光学特性のみならず、LEDの入力パワーの光への変換効率測定や、熱に変換されたパワーのみを使用しての熱抵抗測定など、より高精度かつ、多岐にわたる評価を提供することが可能になった。実際に解析を行うためには設備だけでなく、LEDや故障に関する知識が必要であるが、OEGはLSIなど半導体デバイスの故障解析や良品解析により培った知識を用い、問題点の指摘から評価法の提案などが可能である。

(1) 特性評価

LEDはダイオードであり、ダイオードとしての電気特性と、発光特性を併せ持っていることから、特性評価には、カーブトレーザによる電氣的測定と積分球による全光束測定が有効である。

図3はLEDの発光特性を評価した例である。LEDを120℃の高温下に放置後、いくつかの温度環境下で全光束を測定し、劣化を解析した事例である。高温下では非常に早い段階から10%以上の大きな全光束劣化が発生することがわかる。

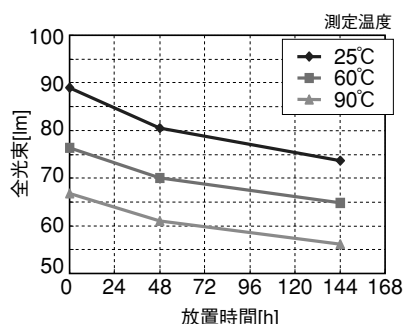


図3 全光束の放置時間による劣化

(2) 故障解析

LEDの故障解析は、図2の故障・劣化要因のフローに従い実施される。実際には特性評価、外観検査、透過X線解析を実施した後に、レンズなどの樹脂を除去し、チップ表面を光学顕微鏡やSEM(走査型顕微鏡)を用いた表面観察を行う。ここまでで故障要素が見つからない場合には、故障要素を推定し、断面SEMによる電極部などを中心とした観察やTEMによる結晶欠陥の解析を行う。図4は開放不良の事例で、透過X線による断面観察の事例で、(a)ではチップにボンディングしたワイヤが断線していることがわかる。また、(b)ではダイパッドとチップの間に隙間ができており、剥がれている様子が観察できる。

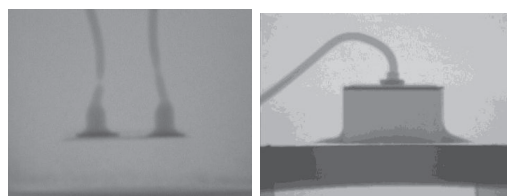


図4 LED故障例

(3) 良品解析^{1) 2)}

良品解析は、電氣的には良品であるデバイスの内部に

存在する欠陥や不具合を多角的な観察から抽出し、信頼性上の問題の有無や大きさを推定する方法で、OEGの代表的な解析の一つである。主にユーザーがLEDをシステムの部品として選定するための評価として用いられるが、LEDメーカーが第三者的な視点での評価を期待して委託されることも少なくない。

表1に良品解析の解析項目とこれまでの解析で見つかったLEDの欠陥・不具合について示す。

表1 良品解析の検査と検出される欠陥

検査	欠陥・不具合
外観	変色、変形、汚れ
透過X線	ループ異常、ワイヤ細り、樹脂内ポイド
内部観察	パッシベーション・クラック、チップ・クラック、端部膜剥がれ、表面キズ
断面SEM	金属膜内ポイド、界面剥がれ、残渣
断面TEM	結晶欠陥

良品解析は将来の信頼性上の危険度を推定することが目的であり、抽出された欠陥を故障品や劣化品の過去の事例を基に危険度をランク分けし、LEDの信頼性を評価している。

(4) 材料分析

LEDチップ周辺の材料による発光効率の低下の評価には、EPMA(電子線マイクロアナライザ)・蛍光X線などの元素分析と、FTIR(フーリエ変換赤外分光)などの化学結合状態を解析する方法が用いられる。前者は組成的な変化を解析するもので、その事例を図5に示す。この例はLEDを硫化水素ガスの暴露試験にかけ、封止材を通して電極(Ag)が硫化するかを調査したものである。この左側の図はレンズの上部からの光学顕微鏡写真であるが、試

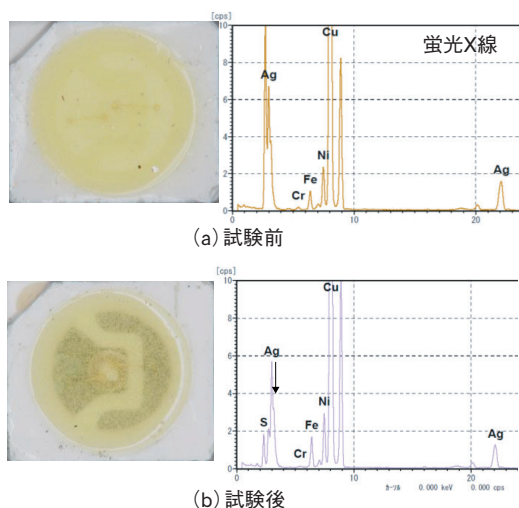


図5 硫化試験による変色と蛍光X線分析

験後にリードフレームが黒く変色していることがわかる。これを蛍光X線で分析した結果を右側の図に示すが、試験前では検出されなかったS(硫黄)が検出された。このことは、封止材を通過して硫化水素が侵入し、リードフレームの銀を硫化したことを示している。

また、レンズなど有機物材料の中には熱などにより、分解や酸化し、変色してしまう劣化が起こるものがある。これを評価するためには劣化したLEDから問題となる材料をサンプリングして、有機物の化学結合状態変化を調査する。主にFTIRが用いられる。また、お客様が調達したLEDが劣化しやすい材料を使用しているかを調査する場合にもこの分析は有効である。

(5) 熱過渡解析³⁾

いままで述べたように、LEDの劣化は熱によるものが多いが、チップ自体の発熱量が多いことから、放熱設計も重要になる。一般的には、チップはダイボンド剤でダイパッドに接続され、それが銀ペースト等の導電性接着剤を介して放熱板に繋がる構造となっている。したがって、放熱は放熱板だけでなく、熱経路にあるすべての材料や接続の最適化が重要であり、それぞれの熱抵抗を評価することが肝要である。熱過渡解析は、半導体チップのVf値の温度依存性を利用し、冷却時の温度変化曲線から熱経路上各部の熱抵抗と熱容量を測定する方法である。ここで、Vf値とは、ダイオード特性において一定の順方向電流を流すために必要な電圧のことで、非常に高感度に温度依存性を有していることから、これを利用して温度を測定する。

図6は放熱効率を調査するための実験の結果で、放熱フィン上にダイパッド部を置いたもの(接着剤無し)、ダイパッド/放熱フィン間にグリースを塗って放熱を高めたもの、逆に間に絶縁シートを挟んで放熱効果を悪くしたものを試料とした。このグラフが示しているのは、熱過渡解析の熱容量と熱抵抗の関連であるが、グラフの傾きが変わるところが各構造体の変化点に相当している。具体的には、グラフ左端から、チップ、ダイボンド剤、ダイパッド、放熱フィンの順に構造体が構成されている。この実験では図中LED内と記載した領域がチップ、ダイボンド剤、ダイパッドを含んでおり、3種類の水準が同じ曲線を示しているのに対し、LED外と記載される領域が、接着剤、放熱フィンを示しており、大きく熱抵抗の水準差異が現れている。これは、LEDデバイスと放熱フィンの接触熱抵抗が顕在化したためである。

また、図7は構造の異なる数社の市販LED電球を評価した例である。それぞれのLED電球にはグラフ途中で既に熱抵抗の差があるが、これは、放熱経路を含む電

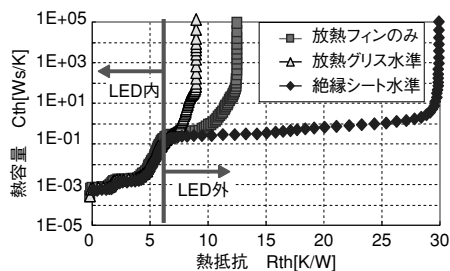


図6 放熱フィンに水準をつけた熱過渡解析

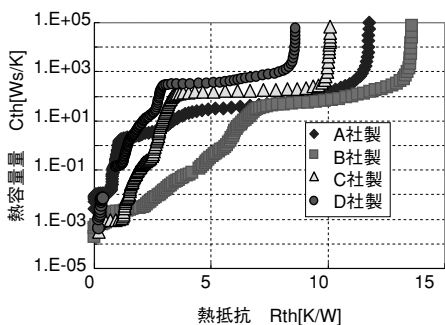


図7 製品に対する熱過渡解析結果の相違

球構造に違いがあり、全体として熱抵抗に相違がある(10~13.5K/W)ためである。最も熱抵抗の大きいB社製品では、熱抵抗が2~7K/W辺りで緩やかな傾きとなっているが、物理構造を観察したところ、フィン形状や取り付け方に問題があることが判り、構造問題と熱抵抗の相関が取れている。

このように熱過渡解析は、放熱効果を評価するだけでなく、問題点を見つけることができることから、良品解析の一部としても用いている。

(6) LED照明の信頼性評価試験

表2にLED照明の信頼性試験のメニューを示す。ここでは、試験項目とその着目箇所およびそれによって引き起こされる故障、並びに試験後の評価方法を示している。LEDでは熱ストレス、高温、湿度に関する試験が有効であるが、照明などの製品では、使用される周囲環境下で

表2 LED照明の信頼性試験

試験項目	着目箇所	故障例	評価方法
熱衝撃	はんだ接合部、接着部	はんだクラック・接着剥離	外観・断面観察
高温連続動作	特性変動・外観	特性劣化・外観異常	特性劣化・外観異常
高温高湿通電	特性変動・外観	特性劣化・絶縁不良・マイグレーション・接着剥離	電気特性・光学特性・外観基板観察
温湿度サイクル	特性変動・構成部材シール部への影響	特性劣化・外観異常	特性劣化・外観異常
衝撃	点灯有無・外観	不点灯・変形・破損	外観・電気光学特性
振動	点灯有無・外観	不点灯・変形・破損	外観・電気光学特性
自然落下	点灯有無・外観	不点灯・変形・破損	外観・電気光学特性
塩水噴霧試験	金属腐食	金属腐食	外観
ガス腐食試験	金属・LED素子腐食	光束低下・金属腐食	外観・電気光学特性・表面分析
I/P試験	製品内部への異物侵入	内部への侵入・短絡	外観・動作確認

の様々な熱的・機械的ストレスの影響も受けるため、使用環境を考慮した様々な多岐にわたる評価試験を実施している。また、それ以外の環境、信頼性評価項目として、EMC評価も実施している。LED照明の電源回路から出る電磁波は、特に電源回路を多く使う家庭内照明、街路灯など、今後更に注意を払っていかなければならない問題である。当社の電波暗室を使用したEMC評価結果から、実際に市場流通しているLED照明の一部は、一般照明規格を満足していないことが判っている。OEGでは、このような従来ではLEDの信頼性評価や解析で取り入れなかった手法も取り入れつつ、広範に普及するLED照明の信頼性評価をご提供することができる。

まとめ

沖エンジニアリング株式会社が新たに構築したLEDの解析システムと評価サービスについて紹介した。

本サービスの特長は、

- ① 光学特性測定と熱過渡特性評価を組み合わせた高精度な熱抵抗測定の実施
- ② 多くの解析事例をベースにした良品解析手法による信頼性評価
- ③ EMC試験、特殊環境試験など、多岐にわたる必要十分な評価・解析の実施

であり、LED開発から製造、ユーザーを含む多くのお客様にご提供していく。 ◆◆

参考文献

- 1) 矢部一博 他：LSIプロセス診断システムと信頼性試験による相互検証，第14回RCJ信頼性シンポジウム，2004年
- 2) 今井康雄 他：電子部品の故障解析および良品解析一車載用電子部品の信頼性向上のための取り組み一，電子情報通信学会，2007年
- 3) 清水 互：電子デバイスの高発熱化に対応した熱伝導率測定技術および耐湿盛業技術，第20回RCJ信頼性シンポジウム

筆者紹介

中村隆治：Takaharu Nakamura. 沖エンジニアリング株式会社 信頼性技術事業部

中嶋龍一：Ryuichi Nakajima. 沖エンジニアリング株式会社 信頼性技術事業部

矢部一博：Kazuhiro Yabe. 沖エンジニアリング株式会社 信頼性技術事業部

高森 圭：Kei Takamori. 沖エンジニアリング株式会社 信頼性技術事業部

味岡恒夫：Tsuneo Ajioka, 沖エンジニアリング株式会社 信頼性技術事業部