

身近な金属の
ミクロ組織を読む
第78回

LED電球(1)

一明るく、広がる 先端LED電球を開けてみるとー

材料の素顔に迫る

元日立金属 技師長 工学博士 岡本 篤樹

はじめに

家庭の照明は白熱電球から蛍光灯へ、さらに発光効率の良いLED (Light Emitting Diode) 電球に代わろうとしている。LED電球は消費電力が少なく長寿命だが、まだ値段は高く、光の広がりも不十分で、白熱電球から切り替えるには少し躊躇するのが現状かと思われる。ここでは、明るさと放熱性に配慮された高光束LED電球を取り上げ、その構造と使用金属を調査した。

調査した電球の特徴

調査対象は2012年末時点で最先端性能のLED電球とした。本電球はカタログによると光束は1000lm (ルーメン：人の目の明るさ感覚で重みづけした光の出力量)、すなわち60W形白熱電球 (810lm) 以上の明るさがあり、光の広がりは260度と広く、色は昼白色である。電球の傘 (グローブ) に放熱と光の拡散のための3つのアーチがあるのが特徴となっている。色が電球色の製品もあるが光束が810lmに低下している。白熱電球に対し消費電力は1/5、寿命は40倍となっているが、寸法がやや大きく、重さは約4倍である (表1)。実勢販売価格は20倍前後である。

LED電球の構造

1) 概要

3本のアーチの間には樹脂 (乳白) 製のグローブ3枚が詰め込まれている (図1)。これらを取り除くと、下には黄色の発光体が配置された白い円板があり (図2)、中心の穴からは導線が出ている。電球の根元は白色塗装したアルミニウムの塊で、その下は樹脂と口金になっている。

2) 口金部

白熱電球の口金は通常アルミニウム合金であるが¹⁾、LED電球の口金導電部は銅または



図1. LED電球の外観と内側

銅合金と、経済産業省令 (2012年) で決められている。安全上の強度確保のためである。今回の調査でも口金は銅-亜鉛合金 (Cu-36.5%Zn、黄銅、真鍮) で、表面はニッケルめっきされていた。

3) 根元部

断面切断による調査 (図3) とマイクロフォーカスX線CTシステム (島津製作所製、inspeXio : SMX-225CT) による透過観察を行った。

根元のアルミ塊の中は空洞で、そこに円筒状の白い樹脂成型品が詰め込まれ、その下部の溝には口金がかしめられている。樹脂筒中央には電子部品をはんだ付けした電源ボードがあり、筒内は鼠色の粘土状樹脂で埋められている。

アーチ部とアルミ塊は化学分析の結果、ダイキャストアルミ合金ADC12 (Al-10% Si-2% Cu) であった。断面の組織観察においても、いずれも小さな巣 (空洞) が観察され、鋳造品であることが確認できた。

樹脂部に関しては、FT-IR分析 (フーリエ変換赤外分光光度計) で調査した。円筒状樹脂成型品は熱可塑性ポリエステル、また鼠色の粘土状充填樹脂はシリコンで、中には金属酸化物が入っており、放熱性の向上策かと推定された。

4) 電源部

詳細な調査は行っていないが、ここは口金からの交流 (100V、50/60Hz) を定電流

の直流に変換し上部の発光体に供給する部分で、ノイズ除去、交流の整流、平滑化、変圧がなされる。部品では、ダイオード、コンデンサー、コイル (トランス)、抵抗、スイッチIC (高周波でON/OFF) が配線される。

最も大きい部品は、上部の変圧用トランスで (図4)、日の字の磁芯 (フェライト：鉄-マンガン-亜鉛酸化物) の中央に入出力の銅線コイルが巻かれている。磁芯中央のギャップは磁性体の磁気飽和を抑制し、トランスを小さくする方策である。透過像には写っていないが、その下に平滑用アルミニウム電解コンデンサーがある。アルミ箔が渦巻状に巻かれ電解液に浸してある。その下にはノイズ除去用コイルなどがある。

5) 発光円板部

27個の黄色い部品が均等に配置されている。微小部蛍光X線分析装置 (μ -XRF、



図3. 根元部の断面構造
縦横に切断し、粘土状樹脂を除去している。

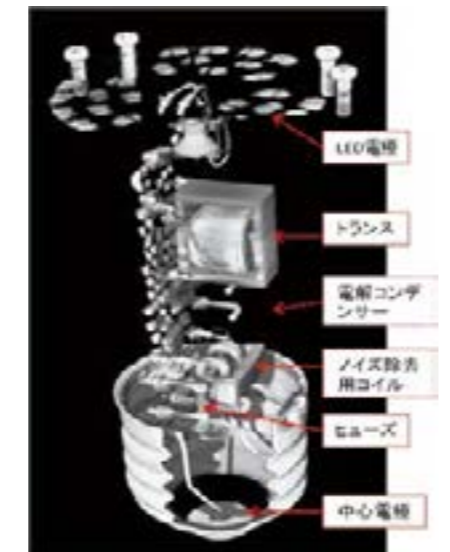


図4. 透過X線像

鉄 (トランス、ネジ)、銅 (LED電極、導線、口金)、スズ (はんだ) などが写っている。アルミニウムや樹脂は写っていない。

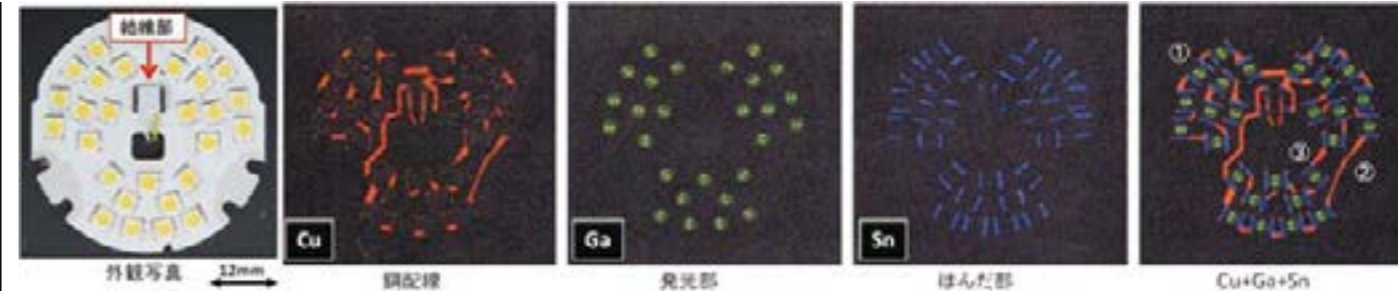


図5. 発光円板の蛍光X線分析結果

2x9個のLED素子が3つの並列回路に配線され、結線部で下からの導線に繋がっている。

Horiba製XGT-5000WR) で元素マッピングすると、Cu (銅)、Sn (スズ) とGa (ガリウム) 元素の分布からLEDの電気回路がわかる (図5)。

線状のCu部は3つの並列回路の導線で、それらをたどるとCu回路の途切れた端には棒状のSn部 (はんだ) がベアであり、その間にGa (LEDパッケージ) が9個ずつある。1つのパッケージにはより明るい角状のGa発光素子が2個あるので、結局、各2x9個の発光素子が直列に、3つの並列回路に合計54個配置されていることになる。この回路は結線部 (電極はCu-8% Sn合金) で下部から出てきた導線 (純銅) に繋がっている。

6) LEDパッケージ

円板の左上部を詳しく見てみよう (図6)。

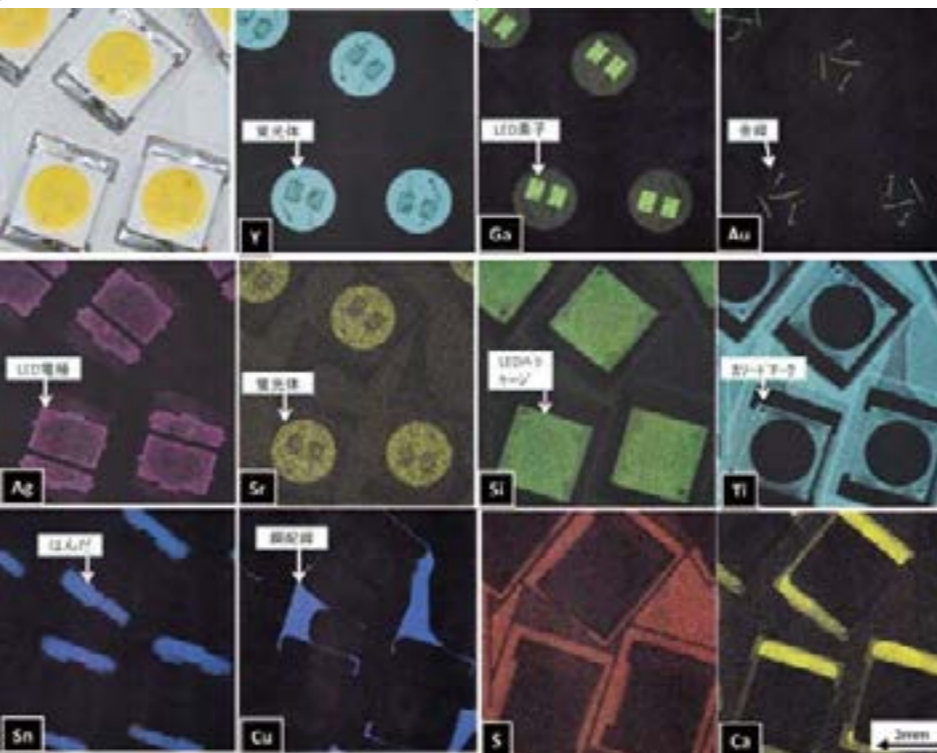


図6. 発光素子部の蛍光X線分析結果

Agの分布は、LEDパッケージ下部の大小2つのCu電極へのAgめっきを示している。Cuは配線部しか見えていない。大きい電極側にはLED素子が2個配置され、カソードマークが付けられている。両電極を繋ぐ金線の小電極側根元には保護素子らしきものが微かに見える。蛍光体には、Y、Sr、Gaが含まれている。

関係にあることを利用して擬似白色とする方式 (図7) である。この場合、赤色や緑色が出にくいので、より波長の長い光を出すSrやGaを含む蛍光体を入れ、演色性 (自然光にどれくらい近いかを示す指標) を向上させているようである。

Ag (銀) は次報で説明するように銅板に薄くめっきされており、そのパターンからLEDパッケージが2枚の銅電極 (リードフレーム) から構成されていることがわかる。Agめっき層は金線やはんだとの接合性を良くし、また光を上側に反射させる作用がある。

3mm角のLEDパッケージは耐熱性高分子で構成され、蛍光体上部の封止剤はシリコン樹脂 (Si) である²⁾。パッケージ下部はSn (スズ) はんだで銅配線に接合されている。Ti (チタン) は全体に塗られた白色塗料 (酸化チタン) に由来すると思われる。各パッケージの角にはカソード (マイナス側) 識別マークが付いている。他元素の分布やLED素子構造については次報で議論したい。

まとめ

ずっっ重いLED電球の根元には交流を直流に変換する回路、傘の下にはLEDパッケージが所狭しと並んでいた。今回の蛍光X線分析は表面の元素情報だけであるので、次報ではパッケージ断面をEPMAで観察し、光る仕組みをより詳しく見ていきたい。

<参考資料>

- 1) 「つうしん第61号 (2008年10月)」
http://www.smt-inc.co.jp/tsushin/pdfdata_2/61_2s.pdf
- 2) 日亜化学工業HP (NS2W757Aカタログ)

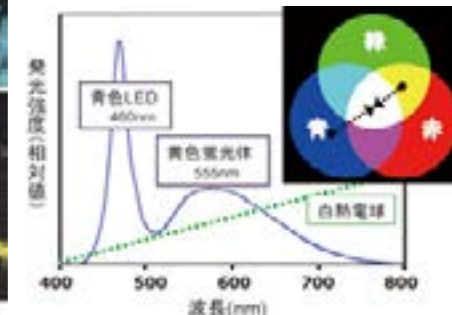


図7. 白色LEDの波長と光の3原色 (模式図)
LED電球では青色と黄色の補色関係で白色にしているため、赤色が不足がちである。白熱電球は右上がりの連続スペクトルで、赤色が強い。太陽光はやや右下がりのフラットである。

表1. 調査したLED電球と60W形白熱電球の性能比較 (カタログより)

	外径 mm	全長 mm	質量 g	消費電力 W	全光束 lm	I _{lm} * - 消費効率 lm/W	定格寿命 Hr
LED電球	60	119	183	10.6	1000	94.3	40,000
白熱電球	55	98	40	54	810	15	1,000