

东芝、夏普两球泡灯杯设计结构拆解剖析

(一)：灯泡的下半部为散热部件



图1：低价LED灯泡东芝照明与夏普陆续上市了价格约为以往一半，即零售价不到4000日元的普通灯泡型LED照明（LED灯泡）。为了防止发光效率下降、寿命缩短，LED的散热非常重要。因此，LED灯泡的下半部分为铝合金铸件制造的散热器。

以发光二极管（LED）为光源的照明器具凭借功耗低、寿命长的特点逐渐开始在市场上渗透。其中，意欲替代白炽灯泡、灯泡型荧光灯等传统灯泡的灯泡型LED照明（以下，简称LED灯泡）近来更是备受关注。因为按照LED寿命计算的灯泡的单位时间价格已经与传统灯泡相当，所以，有望在普通家庭中加速普及。

率先推出低价LED灯泡的厂商是夏普。夏普于2009年6月11日宣布，该公司将以实际售价不到4000日元的低价格为卖点进军LED灯泡市场。这一价格的设定非常具有冲击力，约为当时LED灯泡市售价格的一半。在2009年3月开始销售LED灯泡的东芝照明（Toshiba Lighting）迅速做出反应，于夏普产品发布的11天之后，即6月22日发布了与夏普同在7月15日上市的新型低价LED灯泡产品*1、*2。

灯泡的下半部为散热部件

低价格化并不意味着LED灯泡可以抛弃功耗低、寿命长等特有的优点。而且，产品要想立足于市场，还需要具有较高的散热能力。

LED灯泡发出的光线中红外线成分少。因此，与白炽灯泡、灯泡型荧光灯相比，光线照射部分升温较慢*3。但LED自身会发热，所以散热对策不可缺少。一旦超过LED芯片的容许温度，LED的发光效率就会下降，对灯泡的寿命也会产生不良影响。

从外部来看，LED 灯泡的特征可以说是提高了散热性的结果。从侧面看 LED 灯泡，整体下侧的一半以上为散热器(图 1)。东芝照明、夏普都采用了铝合金铸件制造的散热器。

比较二者的散热器，除颜色外，形状差异也非常明显。在高度方面虽然夏普产品稍微多些，但散热器沟道面积则是东芝照明的较大。东芝照明产品的沟道深度从下到上逐渐递增，而夏普的则是上下基本等高。

散热器的表面积越大，散热性能越高。在外形尺寸有限的情况下，加大沟道深度是增加表面积的方法之一，但随着沟道深度的增加，电源电路板、树脂壳等的内部安装空间会随之减少*4。

东芝照明的散热器内部空间为圆柱形，夏普产品则为接近外形的圆锥形(图 2)。树脂壳在保持绝缘性的同时，把电源电路板安装在灯泡壳体上。

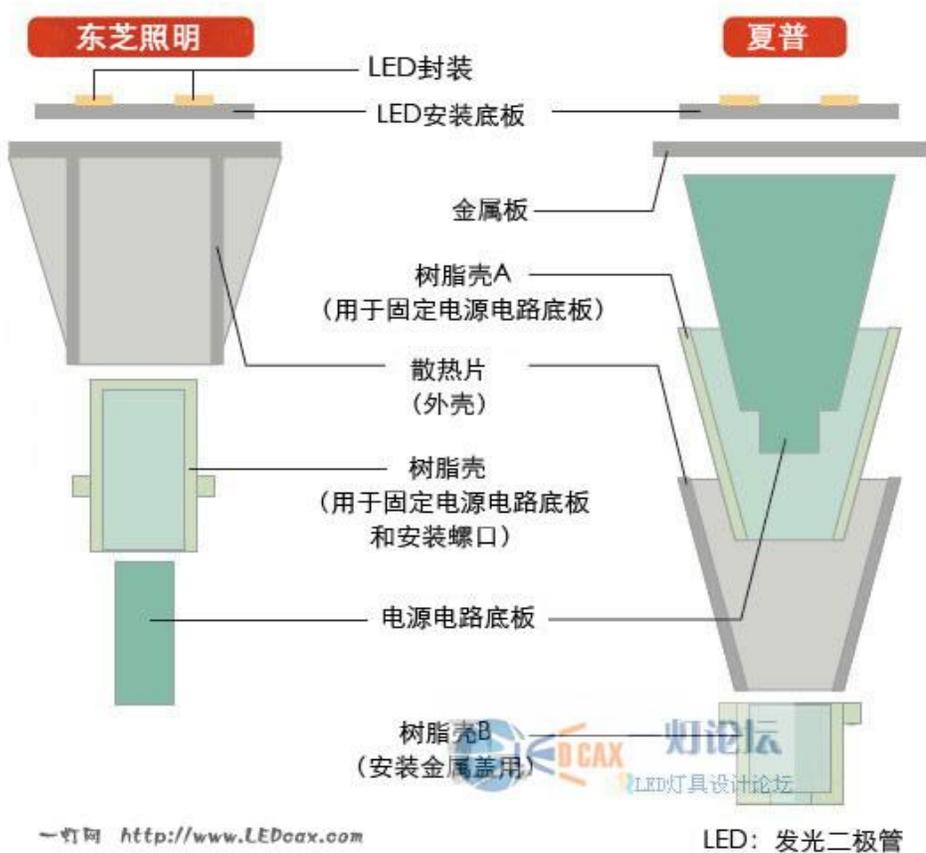


图 2: LED 灯泡的主要结构东芝照明 LED 灯泡散热器(外壳)的圆筒侧面有 16 片直角三角形沟道，上覆圆板。上面直接固定 LED 基片。电源电路板固定在杯状树脂壳中，从散热器下方插入。另一方面，夏普 LED 灯泡的散热器呈有锥度的圆筒形状，表面安装有 60 片高度不到几 mm 的叶片。LED 基片固定在散热器上方覆盖的金属板状金属板上。电源电路板固定在散热器上方插入的圆锥形(但侧面大部分镂空)树脂壳 A 中。

LED 芯片是 LED 灯泡的最大热源，在灯泡中是把复数个 LED 芯片封装在一起，然后安装在铝合金制成的基片上的。这种铝合金的 LED 基片被固定在散热器的上部。夏普的产品中，LED 基片与散热器之间还夹有金属板。

本文将结合东芝照明产品及夏普产品的 LED 灯泡拆解图，详细介绍其内部构造。

(二)：散热器连接构造各不相同

- *1: 夏普最初预定的上市时间为 2009 年 7 月 15 日。但该公司于 7 月 9 日发布了因“预定超出预计”而延期上市的决定。支持调光器、配备调光/调色功能的 LED 灯泡将于同年 9 月 1 日，其他 LED 灯泡将于同年 8 月 1 日上市。
- *2: 灯泡巨头松下虽然在 2009 年 3 月举办的“Lighting Fair 2009”展会上参考展出了灯泡型 LED，但截至 2009 年 8 月上旬，该公司“还没有投产的具体计划”。
- *3: LED 灯泡光线中紫外线区域的成分也比较少，因此还具有不吸引紫外线敏感昆虫的优点。
- *4: 增加面积需要加大叶片高度，或者缩小叶片间隔（增加片数）。东芝照明在确定叶片的间隔和高度时参考了散热器周围的空气流动（对流）。

散热器连接构造各不相同

扩散 LED 光线的半球状部分被称为“球形灯罩”。东芝照明的球形灯罩为聚碳酸酯制，利用粘合剂固定于散热器上方的 4 个位置。而普通灯泡的球形灯罩一般为玻璃制造。这是因为 LED 光线不容易发热，所以能够采用树脂。而且，采用树脂之后，在灯泡掉落时也不易破裂，安全性由此提高。

球形灯罩下方配置的是 LED 基片。在东芝照明的产品中，6.9W（白色、总光通量 565lm）额定功耗的产品中，LED 基片上的 LED 封装数量为 7 个（图 3）*5。



图 3: 东芝照明 LED 灯泡的上部 LED 基片背面与散热器（外壳）上表面接触，直接利用 2 颗螺丝固定

东芝照明的 LED 基片上安装有连接电源电路的连接器。连接器是无需焊接的产品，估计是优先考虑了组装的简易性。附带一提的是，东芝照明的 LED 灯泡是在日本国内工厂组装的。

LED 基片由 2 颗螺丝固定，拆下基片后可以看到散热器的上表面。这一部分利用机械加工进行了平坦化处理，只需对 LED 基片进行螺丝固定即可与基片背面充分贴合从而获得导热性能。

夏普的 LED 灯泡的球形灯罩为玻璃制造*6。7.5W（日天色、总光通量 560lm）额定功耗产品的 LED 基片上配备了 6 个 LED 封装（图 4）。电源电路底板之间的布线采用焊接方式连接。



图 4：夏普 LED 灯泡的上部 LED 基片利用 3 颗螺丝固定在金属板上，二者之间涂有导热油。另外，与电源电路底板的布线进行了焊接

LED 基片通过 3 颗螺丝固定在金属板上，二者之间涂布了导热硅脂（Grease）。固定 LED 基片的不是铝合金铸件制造的散热器，而是另外的金属板。材质虽然为铝合金，但表面看不出机械加工痕迹。用这种金属板固定 LED 基片，两者的贴合性能有可能不够充分，所以需要使用导热硅脂。

金属板利用 3 颗螺丝（不是固定 LED 基片的螺丝）被固定在散热器上。取下金属板可以看到，散热器内部充满了黑色树脂（图 5）*7。估计这些树脂是促进导热的填充材料，但这些树脂与金属板的背面并未接触，所以推测其主要目的是向散热器传导电源电路底板的热量，而不是 LED 封装发出的热量。



图5：夏普 LED 灯泡的内部金属板利用 3 颗螺丝固定在散热器（外壳）上。散热器内部充满了填充材料，但是与金属板背面不接触，热量只能通过金属板与散热器的接触部分传导。另外，二者之间配置有 O 环，确保了气密性

散热器与金属板的接触部分呈环状，面积并不算大。金属板背面的接触部分有整圈的凸缘，不仅组装时容易定位，而且略微扩大了接触面积。另外，金属板的外沿裸露于灯泡的外部，成为灯泡设计上的点缀。

配置于金属板与散热器接触部分周边的 O 形环用途不详。如果是为了保持气密性，那么该环的作用应该是防止液体树脂填充后的材料外漏，防止从外部进水。促进热量从金属板向散热器传导也是可以想象得到的目的之一。

*5：东芝照明 4.1W 型（白色、总光通量 340lm）LED 灯泡配备 4 个 LED 封装。

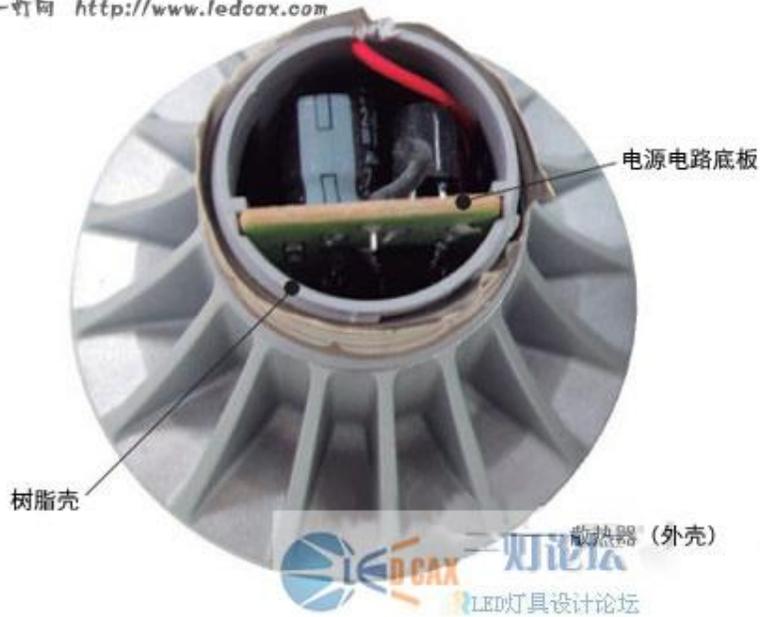
*6：玻璃内面涂有散光涂料，该涂料能够使方向性较强的 LED 光线转变为均匀的面发光。

*7：夏普 LED 灯泡方面，拆解产品（额定功耗为 7.5W 的产品）重 158g、4.1W 产品重 118g。由此可以推测，采用部件和内部结构可能存在差异。

（三）：电源电路尺寸明显不同

散热器内部安装了电源电路底板和树脂壳。图 6 是取下东芝照明的 LED 灯泡下方金属盖之后的情形。电源电路底板插在用 1 颗螺丝固定在散热器上的树脂壳中。

图6：东芝照明 LED 灯泡的下部电源电路底板插在树脂壳中。树脂壳利用 1 颗螺丝固定在散热器上。



电源电路底板为长方形酚醛纸底板，树脂壳基本接近圆筒形（图7）。底板与散热器之间配置了树脂壳，保证了二者之间的绝缘性。



图7：东芝照明 LED 灯泡的树脂壳与电源电路底板树脂壳仅在金属盖一侧（图中右侧）有开放部位，保证了电源电路底板与散热器的绝缘性。电源电路底板呈长方形，通过连接器与 LED 底板相接。

图8是夏普的 LED 灯泡散热器截面。因为填充材料坚硬，从上方清除需要花费大量时间，因此直接剖开了散热器。

图8：夏普 LED 灯泡的截面散热器内部充满了致密的填充材料，电源电路底板和树脂壳被完全覆盖。



剖开散热器后，随着逐步剥离填充材料，电源电路底板和支撑该底板的树脂壳（以下，树脂壳 A）的形状逐渐显现了出来（图 9）。电源电路底板形似板羽球拍，尺寸与散热器内径基本相同。



图 9：夏普 LED 灯泡的电源电路底板清除填充材料后，电源电路底板上安装的部件呈现在眼前。电源电路底板呈“板羽球拍”形状，延伸至最下方的树脂壳 A（安装金属盖用）中。

夏普的电源电路底板为环氧玻璃制造，远远大于东芝照明的底板。这是由于底板尺寸导致散热器沟道高度受限？还是为了在有限的空间中，为了达到成本和发热量的最优平衡而决定的电源电路的部件和底板尺寸？这些问题未能得到答案。但总而言之，电源电路底板产生的热量需要传导至散热器。夏普表示，“为了在日后实现对 E17 和 E11 等小型灯座的支持，目前正在探讨底板的小型化”。

树脂壳 A 为仅保留了圆筒形上端和下端的环状而切割下来的一侧。配备电源电路部件的另一侧有较大开口，便于向散热器传导热量。

LED 灯泡的组装步骤推测如下。

— —

东芝照明的工序为：①在散热器上固定树脂壳（1处螺丝固定）；②插入电源电路底板；③安装金属盖（包括连接布线）；④固定LED基片（2处螺丝固定）；⑤利用连接器连接布线；⑥连接球形灯罩。

夏普的工序为：①在散热器上固定树脂壳B；（3处螺丝固定）；②在散热器中插入树脂壳A；③在树脂壳A中插入电源电路底板；④安装金属盖（包括连接布线）；⑤注入填充材料；⑥配置O环；⑦固定金属板（3处螺丝固定）；⑧固定LED基片（3处螺丝固定）；⑨布线焊接；⑩连接球形灯罩。

与东芝照明以散热器为中心，沿上下两个方向安装部件不同，夏普采用的是从下到上逐步安装的方式。

夏普虽然工序较多，但是在中国的工厂制造的，所以工序虽多仍然可行。而东芝照明是在日本国内工厂组装的，所以从成本上考虑也更需要削减部件数量和组装工时。（未完待续，《日经制造》拆解组）

（四）：变更散热方式实现低成本

正如文章开头介绍的那样，在夏普发表的刺激下，东芝照明通过变更原有产品的设计实现了低价格化。原有产品2009年8月已经可以购买到，为了确认设计上的变更内容，拆解组对原有产品也进行了拆解*8。

外观差异仅在于散热器上方（与球形灯罩之间）的银色装饰环（图10）。因为银色装饰环对提高散热性、提高发光效率没有任何帮助，所以新产品省略了该环。虽然散热器的模具需要随之修改，但考虑到几十万的产量，省略装饰环更有益于降低成本。



图10：东芝LED灯泡的新产品与原有产品相比，除外观上的涂装颜色从白色变为银色外，还省略了与散热无关的装饰环。

摘下球形灯罩看不出原有产品与新产品的差异。但去除金属盖后，差异则一目了然：原有产品在树脂壳中，电源电路底板内侧存在填充材料（图11）。而新产品的树脂壳中只插入了电源电路底板。



图 11：东芝 LED 灯泡（原有产品）的下部为了使电源电路底板的热量高效传导至散热器，底板背面与散热器充满了填充料。从散热器中拔出树脂壳可以看到，原有产品的树脂壳长度短于新产品（图 12）。而且，树脂壳的侧面还有新产品中没有的开放部位。其目的是使壳中的填充材料与散热器相接触。



图 12：东芝照明 LED 灯泡（原有产品）的树脂壳与电源电路底板树脂壳上有开放部位，可供填充材料与散热器的内面接触。

新产品为什么无需填充材料呢？关于这一点，东芝照明的回答是：①原有产品使用 6 芯片并联的 LED 封装，而新产品改为了 3 芯片串联；②电源电路的输出电流减小，发热量也随之降低；所以新产品无需再利用填充材料传导电源电路底板热量。放大观察 LED 封装的确可以看到芯片数量上的差异。节省填充材料注入工序，组装成本也可以相应降低。

东芝还表示，电源电路底板的变更也有助于降低成本。新产品采用了酚醛纸底板，而原有产品采用的是环氧玻璃底板。按照熟悉电子电路的技术人员的说法：“底板的成本虽说与产量也有关系，但光是此项改变底板就可以从 300~500 日元降低到约 50 日元”。

实际取出底板查看，原有产品确实为环氧玻璃底板。与新产品的酚醛纸底板相比，酚醛纸底板的布线仅为单面，而环氧玻璃底板为两面，因此，原有产品的底板较小。也就是说，新产品为采用酚醛纸而扩大了底板面积，容纳底板的树脂壳也不得不增大。这一设计变更需要修改散热器模具，这是成本增加的因素。但东芝表示：“通过变更设计，散热器使用的材料量会略微减少。综合来看，重新开模仍然能降低成本”。