

白光 LED 光衰原因探讨

夏俊峰 2008.09

到目前，白光 LED、尤其是小功率白光 LED 的发光性能快速衰退已越来越为人们所认识。其实，盲目地夸大宣传，只能将 LED 行业引向歧途，不正视白光 LED 存在的问题，只能延缓白光 LED 应用的发展。只有正视问题、研究问题、尽早解决问题，白光 LED 才能健康、快速发展。

白光 LED 当前面临的一个主要问题就寿命问题。由于白光 LED 的价格尚很高，要想在照明市场上立足，让使用者既省电又省钱，就必须靠长寿命而节省的电费来弥补灯具的高价格。现实是，白光 LED 的寿命状况使得它还很难做到这一点。因此，必须找到影响白光 LED 寿命的因素，再来寻找解决办法。本人才疏学浅，只能提出一些浅显的看法、试验数据和分析，供有志之士参考。

从 LED 的正常使用看，影响 LED 寿命的最主要的因素就是热。热量的来源，有材料正常的电阻在通电时产生的焦耳热，PN 结产生的热，还有工艺中带来的寄生电阻产生的焦耳热，还有光被吸收后产生的热。热量的积累使得温度升高，温度升高使得芯片的性能衰退、材料老化、变性。

当前，白光 LED 的光衰，主要有下列因素引起：

荧光粉在较高温度下的性能衰退是第一位的原因；

蓝光 LED 自身的快速衰退是第二位原因；

LED 封装底座（支架）材料的导热不良是引起衰退的第三位原因；

封装的其它材料是引起光衰退的第四位原因；

封装工艺是引起光衰退的第五位原因；

应用不当（供电不当、散热不良等）是引起光衰退的第六位原因；

紫外辐射对 LED 的影响是微弱的、长期的。

下面分别来讨论这些因素的成因。

一、荧光粉性能的衰退

LED 用的荧光粉受光激发效率随温度的变化关系，似乎还没有相关资料。已有充分的事实可以证明，温度升高，确实影响到荧光粉的性能和寿命。

有荧光粉厂家做了测试，在温度为 80 度时，荧光粉的激发效率降低了 2%。冷却后又恢复。而这仅仅是做很短时间的一个测试而已。已说明温度升高，荧光粉的性能下降。至于不可恢复的性能衰退，则是一个累计的过程，需要一定的时间。

我们也时常会遇到这样的事情，对白光 LED 使用或老化一段时间，发现 LED 更亮了，见图 1。目前，这种状况对于小功率 LED，一般在 1000 小时之内发生^[注1]（这里是指 1000 小时的光通量可能还大于初始值，2008 年中期后的产品及贴片产品可接近或达到 1000 小时）。对于大功率封装的 LED，这种状况可能维持到 2000 小时。这种状况可能由下列情况产生：

a. 荧光粉和混合的胶作用，使荧光粉的性能降低，在温度的初

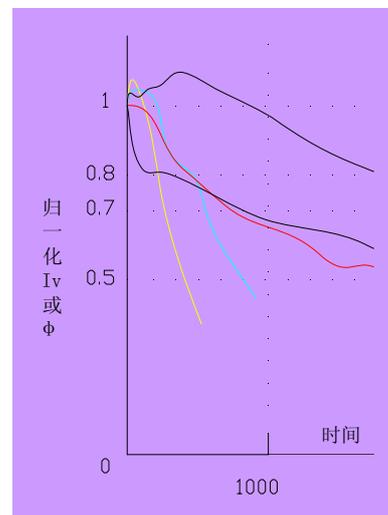


图 1 小功率白光 LED 寿命图

- 期作用下，使荧光粉的性能恢复；
- b. 荧光粉和混合的胶作用，使荧光粉的性能提高。
 - c. 蓝光芯片的初始一段时间性能有增强。

在试验中发现，在初始一段时间内，白光 LED 的光通量既有一开始就上升的，也有一开始就下降的。这种状况在相同的红光芯片在不同厂家封装时也有发生。所以，仅以短时间的试验是很难断定是荧光粉的问题，还是封装材料和封装工艺的问题。

但是，在小功率蓝光 LED 的寿命试验中发现，普遍存在初始一段时间光通量上升的现象，如图 2。一般光通量上升期在 200 小时左右。而插件白光的光通量上升期一般在 100 小时左右^[注1]。由此也可以推断，白光 LED 应该是荧光粉的性能首先衰退。

小功率白光 LED 过了那个短暂的光通量提升期后，情况就很不乐观了，开始像没有翅膀的飞机，结果将不言而喻。大功率白光 LED，一般也是在 100 小时左右光通量上升，之后到 6000 小时之间处于不是很稳定的状态，随时间推移，某些产品的光通量有较大幅度的上升和下降的摆动。到了 6000 小时以后，基本上开始坚定不移地一路下滑。目前一般的大功率白光产品在 1.5~2 万小时到达生命的终点（光衰达到 50%）。

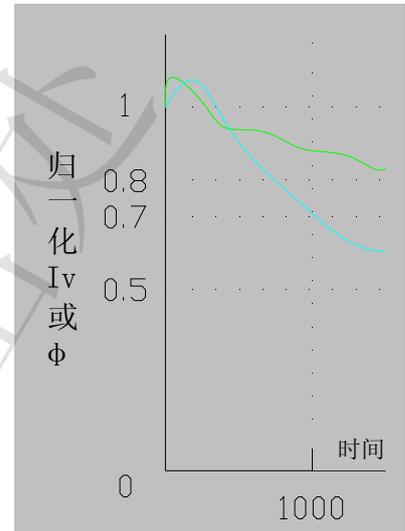


图 2 小功率蓝光 LED 寿命图

若采用较高的电流工作，可以看到，上述的光通量提升期会提前，期间会缩短，寿命大大降低。小功率封装的 LED 这种现象实在太明显了。大家可以对插件的白光 LED 做个 20mA 和 30mA 的实验对比就很清楚了。

由于插件 LED 的支架材料是铁质，导热性能不能满足蓝光芯片的散热要求，使得热量聚积而产生的温度不适合蓝光芯片和荧光粉的生存。

有几个现象还可以证明，白光 LED 的寿命主要是由于荧光粉的性能衰退而缩短的。

首先，我们在寿命试验结束后，可以看到，LED 已不是白光了，而是严重偏蓝色的光。说明荧光粉的作用丧失。（注意，是寿命试验结束，不是老化试验。请参考注 2。）

其次，有人做了这样的试验，即将已衰减 30% 多的白光 LED 取出芯片测试，发现芯片只衰减了百分之几。这也说明是荧光粉的作用丧失。

第三，相同的小芯片，用大功率的封装的白光，寿命远好于小功率的封装的白光。（这在后面还有详细讨论。）

总体来讲，在温度的作用下，荧光粉是会衰减的。而且，预计在高于 80~100 度，性能衰退是剧烈的。温度越高，荧光粉性能衰退越严重。

所以，白光 LED 的光衰减，主要原因就是热作用下荧光粉性能的首先、快速衰减。

究竟是荧光粉自身在 LED 正常工作的温度下就有衰减，还是由于有混合胶的影响造成衰减，还需做更充分的实验验证。验证方法设想如下：

取相同的荧光粉分为几份，其中一份不做任何处理以做对比，另外几份分别以不同的温度、不同的时间来加热处理。

总之，无论是荧光粉自身，还是荧光粉与胶体配合，它们都在一定温度下就会是荧光粉性能快速衰退。所以说，这是白光 LED 光衰的第一位原因。

二、蓝光 LED 自身的快速衰退是第二位原因

就芯片相比较而言，蓝光 LED 的寿命是最差的，小功率插件蓝光 LED 在 20mA 工作下，寿命在 7000~10000 小时左右。而小功率插件红光 LED 甚至在 50mA 下工作 8000 小时还没有光衰！同样的封装，红光消耗的功率是蓝光的 1.8 倍而性能没有恶化。黄光、绿光的寿命都远高于 1 万小时。

所以，蓝光芯片自身寿命就差，先天的不足导致由它构成的白光 LED 的寿命更差。

就芯片的材料来看，蓝光和绿光 LED 芯片，主要是外延材料掺杂不同，衬底一般都是蓝宝石，衬底的导热能力向相同的。所以，外延部分的材料结构决定了他们的耐受温度的能力。这应该是芯片改进重点。

在芯片的外延材料结构没有这么快改善的情况下，只有像现在这样，通过置换衬底材料来改进导热能力。

三、LED 封装底座（支架）材料的导热不良是引起衰退的第三位原因

插件型的小功率 LED，芯片固定用的支架材料一般是铁质，从散热的角度看，铁质材料是很差的。同时，支架向外引出的部分，截面积很小，这也更增加了热阻。即使是食人鱼支架，也同样存在截面积小的问题^①。材质和结构，决定了小功率插件封装导热能力很差。

虽然也有用到黄铜的支架，但黄铜的导热系数只有铁的 1 倍、纯铜的 1/3 左右，也不能起到多大的改善，而成本极大上升，有点得不偿失的味道。

贴片型的 LED，底座主体是玻璃纤维、塑料或陶瓷材料，上面有薄的铜皮。LED 芯片固定在铜皮上。铜的导热系数很高，但是，由于铜皮很薄，增加了热阻。即使这样，由于贴片体积很小，虽然铜皮薄，但热路径很短，热经过短的路径传递到外界的 PCB 上，所以，适当地做好外界散热措施，贴片型 LED 的寿命要明显优于插件型 LED 的寿命。试验表明，同一时期的插件和贴片白光 LED，贴片白光 LED 的寿命要长于插件白光 LED 寿命的 4~5 倍。

大功率封装的底座一般都是采用纯铜材料，一方面，导热系数很高，另一方面，截面积很大，使得热阻大大降低。

同样的小功率芯片，用小功率支架封装，和用大功率底座封装，寿命会有极大的不同。我们用 $10 \times 12 \text{mil}^2$ 芯片，9 个并联固于大功率底座上，用总电流 350mA 工作做寿命试验，7600 小时光衰 23%。根据变化趋势预计寿命在 1.8 万小时。而它的芯片上的电流密度达到 0.324mA/mil 。小功率封装时工作的电流密度只有 0.167mA/mil 。可见，芯片上电流密度增大了近 1 倍，寿命却增加了 9 倍以上！就是

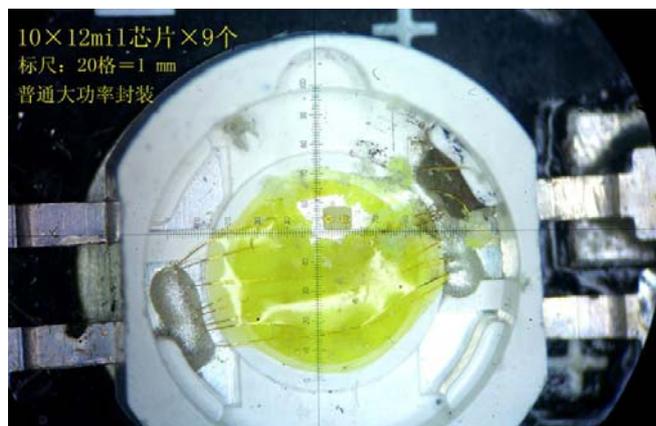


图 3 9 个小芯片用大功率底座封装

因为采用了导热好的材料和较大面积的底座。热流不仅只在径向流动，还有横向流动，所以要径向和横向的热阻都小才好。

另外，小功率插件很难直接加散热器，贴片加散热器还要通过铝基板之类的过渡材料，而大功率封装的 LED，底座可以直接接触散热金属。因此，大功率的优势是极大的。

有些人用陶瓷材料做为芯片的底座，不了解的人还认为这样很好，比常规的铜底座的还好。其实，现在 LED 封装所用的陶瓷材料是 Al_2O_3 ，它的导热能力远远低于纯铜和纯铝，最好也就相当于做散热器用的合金铝。价格也不低，脆性大。好处就是热膨胀系数小。其实，只要 LED 芯片的温度控制到不是很高（LED 芯片也不允许过高的温度）或很低，底座材料与芯片之间的热膨胀系数不匹配而引发的问题并不是很突出的。

对于 LED 芯片，底座的选择，除了首先是要用作固定芯片的载物台外，接下来就是要考虑如何将热导出去；第三才是考虑其它的问题。

四、封装的其它材料引起光衰退是第四位原因

白光 LED 的光衰退问题，主要是热引起的，与 LED 热路径相关的材料都要被考虑。上面已经讨论了底座问题，剩下的就是固晶胶、配粉的胶、保护胶（透镜）的问题。

有资料表明^②，使用银浆固晶比用环氧树脂寿命长，但初始光通比环氧树脂低近 1/3。

使用环氧树脂作为配粉胶比用硅胶寿命短，但初始光通量相对高出 25%。

保护胶，一般用环氧树脂和硅胶。这两种材料的导热能力都是非常差的。铁和环氧树脂的导热系数相差 230 多倍，再以插件 LED 看，环氧树脂的厚度都比较厚，所以可以忽略环氧树脂的导热能力。铁和硅胶导热系数也相差 150 倍以上，用硅胶封装并做透镜，厚度也较厚，也可忽略其导热能力。虽然保护胶不是热的绝缘体，但是，它们的导热能力也就是绝热体临界值的 2~3 倍而已，对于 LED 芯片对温度的灵敏度要求而言，可以近似不考虑保护胶的导热能力。

由于硅胶的导热系数高于环氧树脂，因此相对而言，荧光粉的工作条件略好，所以寿命就相对长些。

芯片粘接胶的影响。由于粘胶的导热系数很低，而芯片底部的热流密度很大，因此芯片底部的粘胶厚薄度非常重要。太薄粘接不牢；太厚导热很差。底胶的厚度掌握不好，就会造成温度聚积，温度升高，产生光衰。

五、封装工艺是引起光衰退的第五位原因

封装过程中，每道工艺的条件，都可能对 LED 的性能、可靠性造成影响。在生产工艺方面，问题最多的是出在粘片和焊线。因为虚焊会产生电阻和热阻。虚焊产生的电阻又产生额外的热量。粘片的胶太厚、胶体中含水汽、气泡、杂质、虚粘等，都会增加热阻及电阻（纵向导电芯片）。

目前由于荧光粉引起的光衰太快，这种工艺方面的缺陷。就显得不是很突出，因此不引起人们的重视。

其实，从图 2 的试验就可以看到封装工艺的影响。图 2 中，青色曲线是食人鱼封装的，绿色曲线是 $\phi 5$ 封装的，食人鱼的 LED 反倒不如 $\phi 5$ 的。这两种产品是同一家工厂、同期生产的。

另外，上面也提到过了，用相同的红色芯片到不同工厂封装，结果，一家的产品初始期间是亮度爬升，另一家的则初始期间就亮度下降。

六、使用不当是引起光衰退的第六位原因

1. 不恰当地供电

应用者不了解 LED 的性能参数，不适当地给 LED 供电，造成电流大于 LED 的安全工作区的要求，引起 LED 光衰。

图 3 是小功率插件 LED 的典型的安全工作区曲线。图中红色线的下方是 LED 安全工作的地方，也就是说，对应每个环境温度，设计 LED 的工作电流都不能超过红线上方。

所说的“环境温度”，是指 LED 工作稳定后其附近的环境温度。

比如，LED 安装于一个密封的灯具中，并在房间中使用。那么，要考虑的是灯点燃一段时间稳定后，灯具内部 LED 附近的温度，而不是房间的温度。以灯具内部稳定后的温度作为制定 LED 工作电流的依据。

超出安全工作区工作，就会引起光衰或损坏。

2. 使用时散热条件不好

LED 的散热状况不好，使得 LED 芯片的温度过高，产生光衰，甚至烧坏。

热量的散失，要有足够大的热交换表面积。有些人给 LED 的 PCB 或铝基板上加铜块，其实是无端地增加成本和重量，而并不能解决热的问题。因为，当这块铜在热量积累到其热容能力后，温度就开始升高。靠材料的热容来解决热问题，只能是解决短时间工作的热问题，应当选择比热容大的材料作为吸热材料，最好是水。铜的比热容比铝小一半，所以加铜块的做法还不如加铝块。但对 LED 散热来讲，这都不是什么好方法。较长时间的工作，自然散热，要靠表面积的大小，而不是体积的大小。

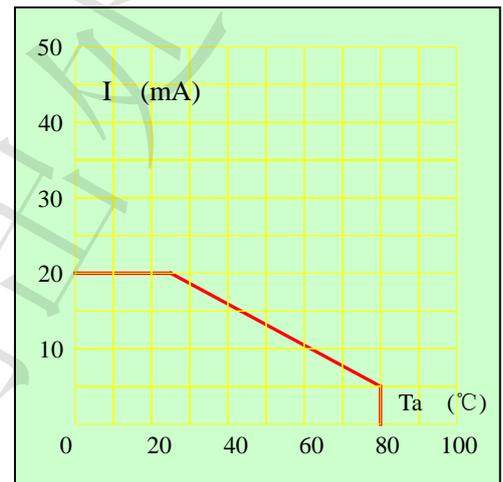


图 3 安全工作区曲线

七、紫外辐射的影响

紫外线对 LED 的影响，主要是对芯片材料、荧光粉和封装胶体的影响。受到影响最大的是封装胶体。一般 LED 不会对向太阳，进入到 LED 内部照射到荧光粉和芯片的紫外线只能是一些漫反射光线，所以，紫外线对芯片和荧光粉的作用并不是很强的。

考虑紫外线对 LED 的影响，主要是在户外应用的情况。紫外线对胶体影响，进而对 LED 的发光性能的影响到底是什么样的？

我们做了一个模拟试验，将插件 LED 放在 4W 的紫外灯下，紫外线峰值波长是 273nm。紫外线照射前后外观的变化见图 4。照射前后光通量的变化见下表 1、表 2、表 3。

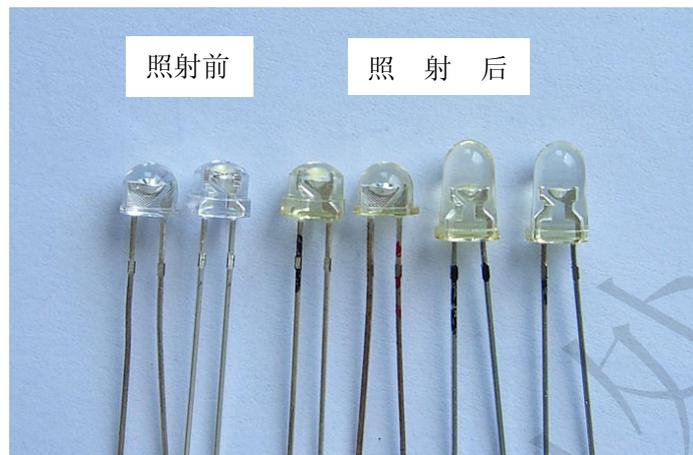


图 4. 紫外线照射前后

表 1. 白光子弹头插件 LED

照射时间	①	②	③	④	⑤	$\Delta \phi$ (%) 平均变化
	ϕ (lm)					
照前	3.84	3.22	3.32	2.95	3.08	
累计 2 hr	3.84	3.23	3.32	2.95	3.08	0.06
累计 4 hr	3.86	3.25	3.32	2.95	3.04	0.03
累计 12 hr	3.86	3.22	3.32	2.91	3.04	-0.43
累计 36 hr	3.776	3.15	3.23	2.86	3	-2.44
累计 60 hr	3.76	3.12	3.16	2.84	2.98	-3.40

表 2. 白光草帽 LED

照射时间	①	②	③	④	⑤	$\Delta \phi$ (%) 平均变化
	ϕ (lm)					
照前	3.02	3.03	2.89	2.76	3.03	
累计 26 hr	3.02	3.04	2.9	2.76	3.03	0.14
累计 35 hr	3.026	3.024	2.896	2.753	3.03	-0.01
累计 72 hr	3.065	3.073	2.93	2.776	3.054	1.13

表 3. 黄光草帽 LED

照射时间	①	②	③	④	⑤	$\Delta \phi$ (%) 平均变化
	ϕ (lm)					
照前	0.69	0.704	0.661	0.692	0.6849	
累计 26 hr	0.69	0.71	0.654	0.696	0.69	0.22
累计 35 hr	0.686	0.72	0.707	0.667	0.7	1.45
累计 72 hr	0.71	0.733	0.689	0.74	0.723	4.75

经较强的紫外线直接照射后，LED 环氧树脂已发黄。从光色看，子弹头 LED 在照射后略有偏黄，草帽型的 LED，白光和黄光的光色基本看不出变化。但是，从光通量的变化看，基本不变。也就是说，紫外线对封装后的 LED 芯片和荧光粉的影响很小。

子弹头 LED 的光色可以看出略有片黄，估计是由于其聚光力强的原因，将胶体变黄而使光色偏黄聚光而较显现。由此推断，胶体变黄，对于聚光强的 LED 的光衰影响较大。

可以看到，LED 的胶体很明显变黄，而光通量和光色基本不变，可以推断，紫外线对 LED 的光电性能影响是不大的，而且是要在户外长期作用才会呈现。紫外线对 LED 作用的结果，主要是使胶体变黄。

根据上面的试验结果，在室内使用 LED，可以不考虑紫外线对 LED 的影响；在室外使用 LED，一般紫外线的影响也是长期的过程。对照明白光应用，这种长期的、光色逐渐偏黄的影响，一般也是可以忽略的。

参考资料

- ① 夏俊峰：食人鱼封装散热真的好吗 <http://www.coema.org.cn/bbs/dispbbs.asp?boardid=34&id=20663>
- ② 吴海彬 王昌铃：白光 LED 封装材料对其光衰影响的实验研究， 光学学报 > 25 卷 > 8 期

注 1：试验的蓝光和白光样品均为 2006 年~2007 年的产品，虽然寿命期可能比现阶段的产品要短些，但对比及趋势应是大致相同的。

注 2：对 LED 的 1000 小时通电试验，不能叫做寿命试验或加速寿命试验，因为并没有达到 LED 的寿命终了期或可以可靠地推断 LED 的寿命。1000 小时的通电试验只能叫做老化试验，而且这样的老化条件是属于正常老化还是破坏性老化，仍需研究。