

LED 主要失效模式分析及其改善

LED 是一种直接将电能转换为可见光和辐射能的发光器件，具有耗电量小、发光效率高、体积小等优点，目前已经逐渐成为了一种新型高效节能产品，并且被广泛应用于显示、照明、背光等诸多领域。近年来，随着 LED 技术的不断进步，其发光效率也有了显著的提升，现有的蓝光 LED 系统效率可以达到 60%；而白光 LED 的光效已经超过 150lm/W，这些特点都使得 LED 受到越来越多的关注。

目前，虽然 LED 的理论寿命可以达到 50kh，然而在实际使用中，因为受到种种因素的制约，LED 往往达不到这么高的理论寿命，出现了过早失效现象，这大大阻碍了 LED 作为新型节能型产品的前进步伐。为了解决这一问题，很多学者已经开展了相关研究，并且得到了一些重要的结论。本文就是在此基础上，对造成 LED 失效的重要因素进行系统性的分析，并且提出一些改善措施，以期能够完善 LED 的实际使用寿命。

一、LED 失效模式

LED 失效模式主要有：芯片失效、封装失效、热过应力失效、电过应力失效以及装配失效，其中尤以芯片失效和封装失效最为常见。本文将就这几种主要失效模式，进行详细的分析。

(1) 芯片失效

芯片失效是指芯片本身失效或其它原因造成芯片失效。造成这种失效的原因往往有很多种：芯片裂纹是由于键合工艺条件不合适，造成较大的应力，随着热量积累所产生的热机械应力也随之加强，导致芯片产生微裂纹，工作时注入的电流会进一步加剧微裂纹使之不断扩大，直至器件完全失效。其次，如果芯片有源区本来就有损伤，那么会导致在加电过程中逐渐退化直至失效，同样也会造成灯具在使用过程中光衰严重直至不亮。再者，若芯片粘结工艺不良，在使用过程中会导致芯片粘结层完全脱离粘结面而使得样品发生开路失效，同样也会造成 LED 在使用过程中发生“死灯”现象。导致芯片粘结工艺不良的原因，可能是由于使用的银浆过期或者暴露时间过长、银浆使用量过少、固化时间过长、固晶基面被污染等。

(2) 封装失效

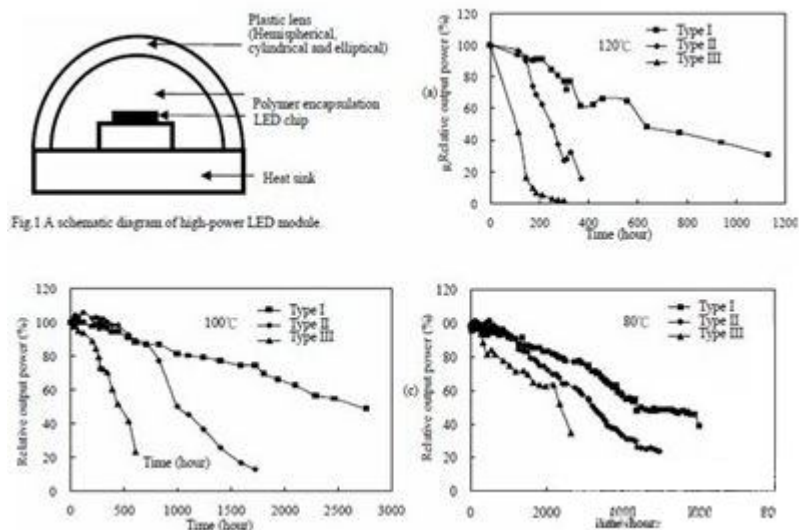
封装失效是指封装设计或生产工艺不当导致器件失效。封装所用的环氧树脂材料，在使用过程中会发生劣化问题，致使 LED 的寿命降低。这种劣化问题包括：光透过率、折射率、膨胀系数、硬度、透水性、透气性、填料性能等，其中尤以光透过率最为重要。有研究表明光的波长越短，光透过率的劣化越严重，但是对于绿光以上波长(即大于 560nm)来说，这种影响并不严重。Lumileds2003 年曾公布过功率 LED 白光器件和 $\phi 5$ 白光器件的寿命实验曲线，19kh 后，用硅树脂封装的功率器件，光通量仍可维持初始的 80%，而用环氧树脂封装的对比曲线则表示在 6kh 后，光通量维持率仅为 50%。实验表明，在

芯片发光效率相同的情况下，靠近芯片的环氧树脂明显变成黄色、继而变成褐色。这种明显的退化过程，主要就是由于光照以及温升引起的环氧树脂光透过率的劣化所造成的。与此同时，在由蓝光激发黄色荧光粉发出白光的 LED 中，封装透镜的褐变会影响其反射性，并且使得发出的蓝光不足以激发黄色荧光粉，从而使得光效和光谱分布发生改变。

对于封装而言，还有一个影响 LED 寿命的重要因素就是腐蚀。在 LED 使用中，一般引起腐蚀的主要原因是水汽渗入了封装材料内部，导致引线变质、PCB 铜线锈蚀；有时，随水汽引入的可动导电离子会驻留在芯片表面，从而造成漏电。此外，封装质量不好的器件，在其封装体内部会有大量的残留气泡，这些残留的气泡同样也会造成器件的腐蚀。

(3) 热过应力失效

温度一直是影响 LED 光学性质的重要因素，而在研究 LED 失效模式的时候，国内外学者考虑到将工作环境温度作为加速应力，来进行 LED 加速寿命实验。这是因为在 LED 系统热阻不变的前提下，封装引脚焊接点的温度升高，则结温也会随之升高，从而导致 LED 提前失效。



图：高功率 LED 的模型结构图以及在工作环境温度分别为

(a) 120°C、(b) 100°C 和 (c) 80°C 下辐射功率和加速时间的关系图

Hsu 等人对不同厂商所提供的 LED 样品进行加速寿命实验，该实验将 LED 样品分别置于 80、100、120°C 下，使用 3.2V 电压驱动，并且规定当样品的光功率下降到起始值的 50% 时，即判定为失效。图 1 实验结果表明：高功率 LED 的寿命随着加速寿命实验温度的升高以及加速时间的增加而减小。在加速寿命实验中，LED 结温升高会使得环氧树脂材料发生异变，从而增加了系统的热阻，使得芯片与封装之间的受热表面发生退化，最终导致封装失效。

(4) 电过应力失效

LED 若在过电流的情况下使用 (EOS) 或者静电冲击损伤 (ESD) 了芯片，都会造成芯片开路，形成电过应力失效。例如，GaN 是宽禁带材料，电阻率较高。如果使用该类芯片，在生产过程中因静电产生的感

生电荷不易消失，当其累积到相当的程度时，可以产生很高的静电电压，这一电压一旦超过材料的承受能力，就会发生击穿现象并放电，使得器件失效。

二、改善措施

通过对以上所介绍的 LED 主要失效模式的分析，可以从中获悉改善 LED 在实际使用寿命的技术方法。

(1) 散热技术

散热技术一直是影响 LED 应用的重要环节，如果 LED 器件不能够及时散热，就会导致芯片的结温严重升高，继而发光效率急剧下降，可靠性(如寿命、色移等)将变坏；于此同时，高温高热将使 LED 封装结构内部产生机械应力，可能进一步引发一系列的可靠性问题[5]。因此，在制造工艺上，可以选择导热性好的底座，并且使得 LED 的散热面积尽可能的大，从而增加器件的散热性能。

(2) 防静电技术

以 GaN 作为芯片的 LED，在使用中存在的一个很大问题就是静电效应，如果不处理好这一问题，就会严重影响到器件的寿命。因此，在 LED 设计时，要充分考虑到防静电的设计，以避免器件因为高静电电压造成击穿等失效现象。

(3) 封装技术

封装所用的环氧树脂材料，会因为光照以及温升而引起其光透过率的劣化，在使用中则表现为原本透明的环氧树脂材料发生褐变，影响器件原本的光谱功率分布。因此，在进行 LED 封装的时候，我们要严格控制固化的温度，避免在进行封装的时候，就已经造成了环氧树脂的提前老化。

另一方面，为了防止器件发生腐蚀现象，在选择透明性好的封装材料的同时，要注意注塑过程中，尽量排干净材料内部的气泡，以减小水气的残留量，降低器件发生腐蚀的几率。

(4) 优化制造工艺

LED 制造过程中需要合适的键合条件，若键合过大将会压伤芯片，反之则会造成器件的键合强度不足，使得器件容易脱松。因此，在保证器件键合强度的同时，需要尽量降低键合工艺对芯片造成的损伤，以达到优化键合工艺的目的。

在进行芯片的粘接时，要求控制温度和时间在合适的范围之内，使得焊料达到致密，无空洞，残余应力小等工艺要求。

(5) 合理筛选

在 LED 出厂前，可以增加一道筛选工艺，就是对其中的一些样品进行合理的老化和筛选试验，剔除一些可能发生提前失效的器件，以降低 LED 在实际使用中的提前失效现象。

结论

综上所述，尽管 LED 具有很高的理论寿命，但是在实际使用过程中，受芯片、封装、应力等因素的影响，使用时间远远不能达到所预期的理论值。为了确实提高 LED 的寿命，无论是在制造工艺上，还是在应用层面上，都需要更进一步的研究、探索和实践。随着 LED 技术的不断发展，必定还会有新的问题不断浮现。但是只要能够掌握 LED 失效的根本原因，就能在实践中确实改善 LED 器件的性能，将这种新型光源推广到应用领域的前端，更好地服务于生产和生活。