

导致单管型白光发光二极管快速光衰的实验研究

吴海彬¹ 何素梅¹ 王昌铃²

(¹ 福州大学机械工程及自动化学院, 福建 福州 350108; ² 福建省苍乐电子企业有限公司, 福建 福州 350007)

摘要 很多国内封装的单管(Lamp)型白光发光二极管(LED)半光衰时间往往较短,这与大功率白光 LED 有很大不同。为了找出导致单管型白光 LED 快速光衰的真正原因,在分析国内外研究现状的基础上,对不同老化时期的白光 LED 样品进行解剖,并对封装内部结构材质的变化进行分析。实验发现两种现象,一是有些封装体内固晶胶产生黄变,二是有些蓝光芯片上表面会形成一层深黄色薄膜。去除黄变的固晶胶,或者清洗掉芯片上表面的薄膜后重新封装,白光 LED 光通量均会有较大提高。荧光粉胶体和固晶胶与蓝光芯片直接接触,并对其完全包围,这两种胶体材料的变性老化对单管型白光 LED 的光衰有直接重要的影响。

关键词 光学器件;单管型白光发光二极管;光衰;固晶胶;配粉胶

中图分类号 TN312 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20092905.1363

Experimental Research on the Mechanism of Causing Fast Luminous Attenuation of White Lamp-LED

Wu Haibin¹ He Sumei¹ Wang Changling²

(¹ College of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350108, China)
(² Fujian Jointluck Electronic Enterprise Co., Ltd., Fuzhou, Fujian 350007, China)

Abstract The life of many white lamp-LEDs manufactured inland is normally short. This is very different from power white LEDs. The white lamp-LEDs for different aging period have been anatomized. The variety of structure materials in package has been discussed, in order to find the real reason for leading to fast lumen attenuation of the white LED, based on the past research work. By experiments, two phenomena have been found. the first is die attaching resin has been yellowed in some LEDs, the second is that there is a thin layer of deep yellow film on the top of blue dies. Then the blue dies after wiping off the die attaching resin or the thin yellow film have been packaged again, and luminous flux show a dramatic enhancement. Blue dies touch resin mixing phosphor and die attaching resin directly, and is surrounded by them. So the performance variation of two kind of resin has important and direct effect on luminous attenuation of white lamp-LEDs.

Key words optical devices; white lamp-LED; luminous attenuation; die attaching resin; resin mixing phosphor

1 引 言

白光发光二极管(LED)按照功率等级一般分为小功率型和大功率型^[1]。功率不同,封装结构也有较大差异^[2~4],小功率型白光 LED 的封装结构有传统单管(Lamp)型、食人鱼型、贴片型等,而大功率白光 LED 的封装结构一般以表面贴装为主。

近年白光 LED 被广泛应用于夜景工程、背光源及某些特种照明产品中。实际使用发现,小功率白

光 LED 光衰问题严重,质量参差不齐。半光衰时间(光通量衰减至初始值一半时所用的时间,单位:小时,下同)甚至只有数百小时,离人们期望的数万小时寿命相距甚远^[5,6]。这里面虽然有一些非 LED 光源本身的因素,如驱动电路稳定性、外壳防护等级等均会影响单管型白光 LED 的使用寿命,但不能否认光源本身存着严重的光衰问题,这已成为目前业界十分关注的问题。然而,实验和实际使用表明,大功

收稿日期: 2008-08-22; 收到修改稿日期: 2008-10-20

基金项目: 福建省自然科学基金(A0610010)资助课题。

作者简介: 吴海彬(1973-),男,博士,副教授,主要从事光电子器件及其制备技术等方面的研究。

率白光 LED 的使用寿命却远比小功率白光 LED 长很多^[5]。这其中的原因,有很多研究报道。有文献[7,8]认为,小功率白光 LED 的热阻较大,是由于散热的原因导致光衰过快;有文献[9]认为,小功率白光 LED 采用环氧树脂封装,环氧树脂在短波光照射下会发生黄变导致透过率下降;还有文献[10,11]认为,小功率白光 LED 用的蓝光芯片、荧光粉等材料本身的性能导致光衰加速,等等。

小功率白光 LED 封装体内包含了多种不同材料,对光衰的影响因素中,不仅要考虑每种材料的贡献率,还要考虑不同材料之间的相互作用对光衰的影响。单管型和食人鱼型白光 LED 均属于小功率白光 LED,二者封装结构具有一定相似性,实验发现,采用相同材料组成及制程工艺的这二种白光 LED 的光衰规律也趋于一致。本文将单管型白光 LED(也称 Indicator style LED)为研究和实验对象,旨在揭示造成其快速光衰减的几种可能因素,为研制长寿命白光 LED 奠定基础。

2 单管型白光 LED 光衰机理研究进展

自从研制出第一颗白光 LED 以后,关于白光 LED 光衰和寿命的研究就一直受到人们的关注。早期白光 LED,配粉胶(是荧光粉的载体,荧光粉均匀混入其中后涂敷到蓝光芯片上)和灌封胶均采用环氧树脂,并且这种做法一直延续至今。有文献[9,12]指出,用环氧树脂封装白光 LED,由于环氧树脂在短波光的辐射以及热作用下,会产生黄变,导致光通量下降,并进一步指出,环氧树脂黄变温度一般都在 130°C 左右。如果按照这种推理,蓝光 LED 由于比白光 LED 短波含量更高,应该衰减更快,可老化实验和实际使用发现,蓝光 LED 光衰较白光 LED 慢。为此,有学者把这归因于白光 LED 的快速光衰是由于荧光粉造成的。另一方面,也有文献[8,13]进一步指出,白光 LED 之所以比蓝光 LED 光衰快,是由于白光 LED 的荧光粉胶层直接涂敷在蓝光芯片上,由于荧光粉颗粒的散射作用,导致部分蓝光在荧光粉胶层内进行反复散射而导致与荧光粉混合的环氧树脂胶体很快黄变。并以此为基础,提出荧光粉胶层与蓝光芯片不直接接触的白光 LED 封装设计思想。总之,白光 LED 的光衰仍与使用环氧树脂胶体有直接关系。为解决这一问题,较普遍的看法是采用硅胶替代环氧树脂,并且这种做法在功率型白光 LED 的封装设计中被广泛采用。可是在单管型白光 LED 封装中,使用硅胶配粉后,虽然白光

LED 的寿命有了较大提高,但仍在数千小时之内,并没有因为通过采用硅胶而使光衰问题得到彻底解决。因此,单管型白光 LED 的光衰问题并不能通过更换一种胶体的材料就可以彻底解决,而是一个系统问题,需要综合考虑其它方面的因素。

日本 Nichia 等公司单管型白光 LED 的寿命已经证明可达数万小时,而国内制造的单管型白光 LED,除了极少数厂家可以制造较长寿命产品外,绝大部分产品属于中低层次,寿命仅在几百至数千小时不等。这其中的差距不仅体现在封装材料的使用方面,而且在封装结构的设计以及对其内部不同材料之间的物理化学变化的机理研究方面也不容忽视,国内封装企业大多缺乏相应的研究基础和条件,而国内研究机构对这个问题也没有给予足够重视。

我们的实验进一步证明,与荧光粉混合的胶体如果采用环氧树脂材料,其光衰速度通常很快,半光衰时间一般在 1000 h 左右。而且随着蓝光芯片亮度的提高,半光衰时间不但没有加长,而且还有大幅缩短趋势。如图 1 所示为两种不同亮度的蓝光芯片,在其它封装材料与工艺均一样的情况进行老化对比,亮度较高的白光 LED 比亮度较低的白光 LED 半光衰时间小 1100 h。另一方面,采用环氧树脂配粉,其光衰过程一直呈近似均匀下降趋势,不能在某一维持率附近持续较长时间。为了证明不同波长对环氧树脂的影响,把不同波长蓝光芯片用环氧树脂进行封装,其光衰对比如图 2 所示,可以看出,波长短的蓝光 LED,其光衰速度确实较快。

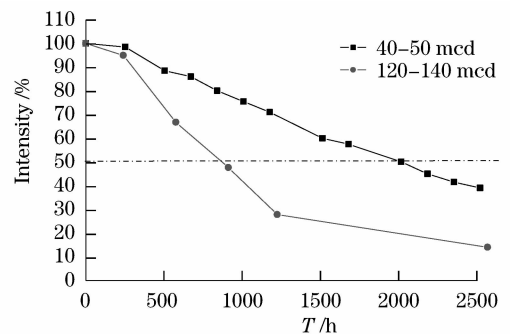


图 1 用环氧树脂封装不同亮度芯片的光衰情况
Fig. 1 LED light attenuation for different flux chips packaged with epoxy resin

在对光衰较快的单管型白光 LED 研究过程发现,在支架、固晶胶、配粉胶、荧光粉、芯片、金丝、灌封胶等封装材料中,对单管型白光 LED 寿命影响较大的材料是固晶胶和配粉胶,由于这两种材料直接

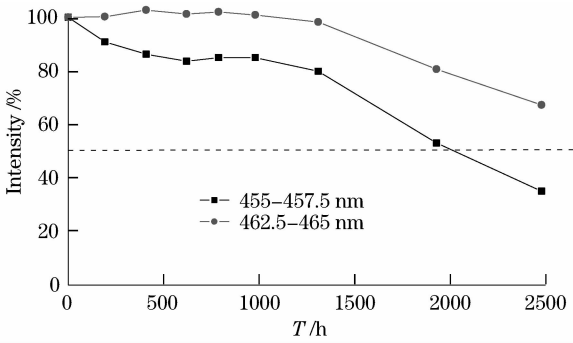


图 2 不同波长蓝光 LED 的光衰情况

Fig. 2 Blue LED light attenuation for different wavelength 包围住蓝光芯片的各个面,蓝光芯片发出的光一部分经过顶面和四周直接进入荧光粉胶体,还有一部分向下经过芯片衬底和固晶胶层,通过支架光滑底面反射上来。因此,无论是配粉胶还是固晶胶,若发生变质或老化,均导致白光 LED 的大幅光衰。而其它封装材料相对而言,对白光 LED 光衰的影响居于次要位置。

3 固晶材料对单管型白光 LED 光衰的影响

在不同固晶材料对单管型白光 LED 光衰影响的实验(20 mA 恒流)中发现,有一些固晶材料封装的白光 LED,其光衰速度有先快后慢的趋势,还有一些固晶材料,其光衰减过程基本呈线性下降^[14],如图 3 所示。本文对光衰较快的样管进行解剖,采用特殊方法去除外部灌封胶,轻轻拨掉荧光粉胶体,把芯片用探针小心翘起,芯片底部的固晶胶就可以看见了,用显微摄像系统拍摄的照片如图 4 所示,可以看出,粘结在支架碗底的固晶胶已严重黄变老化。由于芯片发出的光中相当一部分是从芯片底部射出,再经过固晶胶达到支架碗底,经过碗底反射后再

从芯片顶面出来,当固晶胶黄变后,从芯片底部射出的光被固晶胶吸收,从而导致白光 LED 输出的光通量下降。把黄变的固晶胶清洗之后,再重新固晶封装,其光通量有较大幅度的提升,提升幅度达到 20% 以上,这也进一步说明,该实验中,单管型白光 LED 光衰减快的主要原因不在于蓝光 LED 芯片。从图 3 光衰曲线可以看出,固晶胶黄变的白光 LED,基本趋势是开始一段时间光衰较快,后面慢慢趋缓。这可以解释为,固晶胶黄变是造成白光 LED 光衰的主要原因,当这部分损失达到极限值后,其总体光衰速度将趋缓。

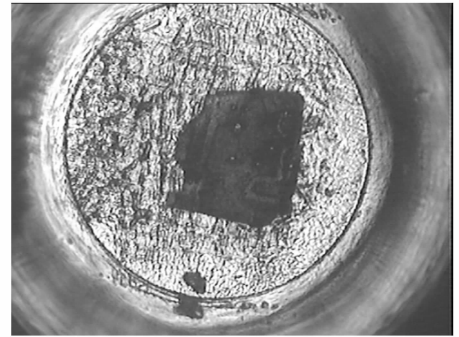


图 4 固晶胶黄变

Fig. 4 The yellowed resin attaching die

4 配粉胶对单管型白光 LED 光衰的影响

荧光粉作为粉末状物质,需要把其混入胶体中搅拌均匀后才能涂敷到蓝光芯片上。由于胶体材料直接与蓝光芯片接触,胶体材料的折射率、透光率、稳定性等对单管型白光 LED 的光学性能有极其重要的影响^[15],因此,配粉用胶体材料的选择是单管型白光 LED 封装非常关键的一步^[16]。前已述及,由于环氧树脂会出现黄变并过早老化现象,不宜用作配粉胶体,并认为硅胶是替代环氧树脂的理想选择。但实验发现,使用不同的硅胶呈现出不同的光衰减速率,差异很大,如图 5 所示为两种不同折射率的硅胶配粉制作白光 LED 的光衰曲线。其半光衰时间一般在数千小时不等,很多低折射率硅胶比用高折射率硅胶的半光衰时间长。但使用折射率较低的硅胶,封装好的白光 LED 初始光通量会比用环氧树脂或高折射率硅胶低近 30% 左右,因此,虽然半光衰时间有了较大突破,但光通量绝对值却不高,实用性大大受限。为了进一步探讨使用硅胶配粉仍不能使单管型白光 LED 达到数万小时使用寿命的原

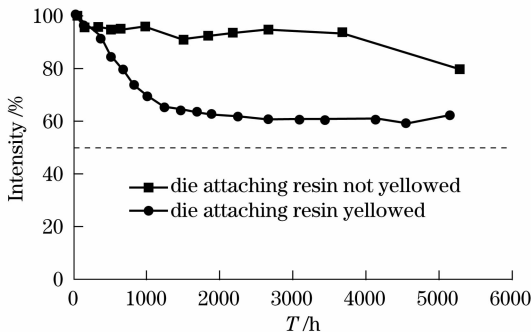


图 3 用不同固晶胶封装的白光 LED 的光衰情况

Fig. 3 White LED light attenuation for different die attaching resins

因,对光衰较快的样品解剖,又发现另外一个重要现象,就是在蓝光芯片的顶面会形成一层很薄的深黄色膜,如图 6 所示。而且实验几种不同蓝光芯片、荧光粉及配粉胶(均为硅胶,包括不同折射率硅胶)后,这层膜仍会出现。按照同样的方法,把这层膜清洗之后重新封装,其白光 LED 的光通量也有较大幅度的增长,充分说明这层膜对光衰的巨大影响。为了弄清这层膜的形成机理,对老化过程中不同时段样品进行解剖,发现该层膜在不同时段扩展的大小不一样,而且均是从金丝焊盘周围开始扩散,在图 6 中清晰可见。初步评估该层物质的形成可能与金丝有关。为了进一步判断该层薄膜的来源,本文又做了如下实验:金丝焊线之后在整段金丝的周围涂敷一层硅胶胶体并烘烤固化,确保硅胶能把整根金丝围住,然后再按照常规封装工艺进行制作,经过处理之后的白光 LED 在老化的过程中发现,其光衰速度大幅降低,见图 5,解剖后蓝光芯片顶面也未发现薄膜状物质。从而进一步推断该层薄膜状物质可能与封装体内金丝周围的物质有关。这引起对封装结构的注意,因为同样用硅胶配粉,在大

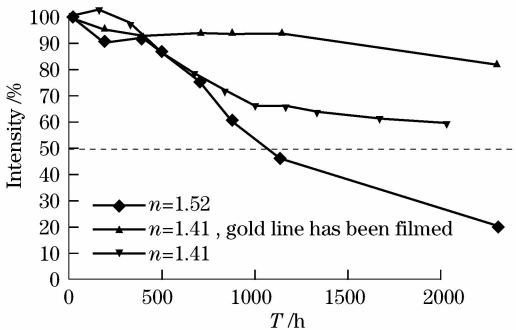


图 5 不同折射率硅胶封装的白光 LED 的光衰情况
Fig. 5 White LED light attenuation for different refractive index

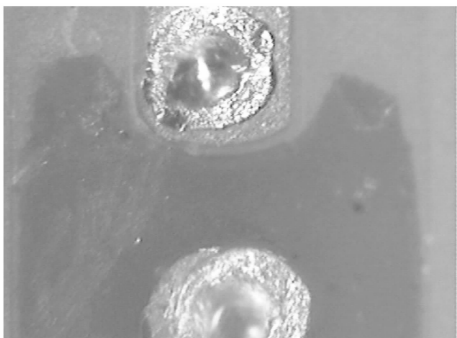


图 6 芯片顶层形成的薄膜

Fig. 6 The thin film on top of the chip

功率白光 LED 的封装中却没有这一现象的出现,为什么在单管型等小功率白光 LED 上却存在这一现象呢?

因此,有必要再对比一下两者的封装结构。传统单管型白光 LED 的封装结构,主要是在支架(铁或铜材料)的碗底处固定 LED 发光晶片,然后在晶片上焊金丝,把晶片的两个电极引入到支架上,形成电路通路,然后在晶片上涂敷适量的荧光粉胶,最后再用环氧树脂胶体把整个头部灌封为一体,如图 7 所示。

再对比一下大功率白光 LED 的封装设计,如图 8 所示。大功率白光 LED 是在热沉顶部固定 LED 晶片,金丝一端焊接在 LED 晶片的电极上,另一端焊在陶瓷支架内部的电极上,在 LED 晶片上涂敷荧光粉后,再用硅胶填充支架和透镜形成的内部空间。

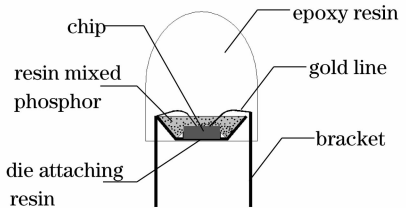


图 7 单管型白光 LED 封装结构

Fig. 7 Lamp type white LED structure

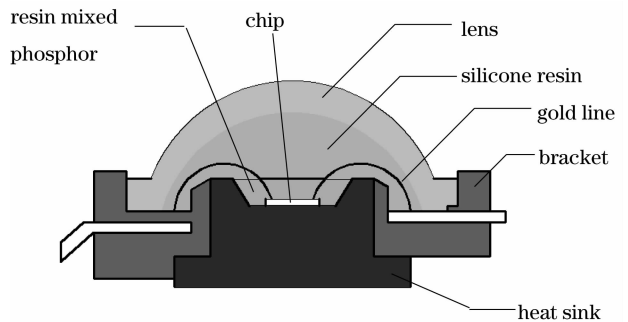


图 8 1 W 白光 LED 封装结构

Fig. 8 1 W white LED structure

两种封装结构尽管看上去有很大不同,但均由支架(热沉)、蓝光芯片、荧光粉胶体、透镜、金丝等组成。这两种封装之间的区别之一在于单管型白光 LED 的金丝被两种不同的物质包围,靠近芯片段由荧光粉胶体包围,靠近支架焊点处,由灌封环氧树脂包围。而 1 W 功率型白光 LED 的金丝全部被一种材料既荧光粉胶体(和填充硅胶一样)包围。本文认为,正是由于单管型白光 LED 这一结构特点,为某种物质沿着金丝扩散到芯片顶层提供可能。

但是这层膜产生的物理化学过程仍需进一步深入研究,这对单管型白光 LED 的光衰起着决定性的作用。

5 结 论

单管型白光 LED 的光衰一直是受到十分关注

的问题,国内外已对此进行了卓有成效的研究,取得了不少进展。本文用不同胶体封装单管型白光 LED,并对比其光衰减过程,针对老化过程中出现快速光衰的问题,通过解剖的方法,发现了两个重要现象,一是发现有些固晶胶在老化过程中会产生黄变甚至黑化,二是发现硅胶作为配粉胶时,有时会在蓝光芯片上表面出现一层深黄色薄膜。上述两种现象是导致单管型白光 LED 快速光衰的重要原因,出现的这两种现象至今为止未见报道。因此,本文通过实验,得到如下结论:

1) 在选择固晶胶时,除了考虑固晶胶的粘结性能、透光率、 T_g 点温度(玻璃化转移温度)等指标外,还要特别注意应选择性能稳定、耐黄变的胶体,以降低在老化过程中对光的吸收。

2) 对于单体单管型白光 LED,配粉胶用量虽少,但其作用却非常关键。使用环氧树脂胶体,其半光衰时间通常较短,而且蓝光芯片亮度越高,其光衰速度就越快,整个衰减过程趋于线性下降,基本不会稳定在某一点上。

3) 使用硅胶作为配粉胶体,对半光衰时间会有一定改善,但很多硅胶使用效果并不理想。为了防止在蓝光芯片和配粉胶之间生成一层新薄膜,需要改善金丝与配粉胶之间的键合性能,以防止金丝另一端的物质沿着金丝扩散到芯片表面,或者改善单管型白光 LED 的封装材料和结构,使这种物质不再出现。

国内封装制造的单管型白光 LED 半光衰时间多集中在数千小时以内。这样的白光 LED,造成其光衰的主要因素是固晶胶和配粉胶,而蓝光芯片、荧光粉、支架、灌封胶等材料对光衰的贡献处于相对次要的位置。这两种材料直接与蓝光芯片接触,正确选择和使用好固晶胶和配粉胶是制备长寿命单管型白光 LED 的关键,同时,芯片、胶体、支架、金丝等不同材料之间的相互作用也应得到相当重视,这为深入研究白光 LED 的封装结构、不同物质之间的匹配及其相互作用提供了新的研究方向和课题。由于条件所限,本文没有给出物质变性的深层机理,有待进一步研究。

参 考 文 献

- Daniel A. Steigerwald, Jerome C. Bhat, Dave Collins *et al.*. Illumination with solid state lighting technology[J]. *IEEE J. Selected Topics in Quantum Electronics*, 2002, 8(2): 310~320
- Hao Wu, Xinmin Zhang, Chongfeng Guo *et al.*. Three-band white light from InGaN-based blue LED chip precoated with green/red phosphors[J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2005, 17(6): 1160~1162
- Xu Jiangfeng, Chen Qiuling. Anti-reflection coating designed by genetic algorithm[J]. *Chin. J. Lasers*, 2008, 34(9): 1271~1275
徐江峰,陈秋灵.增透膜的遗传算法设计[J]. *中国激光*, 2008, 34(9):1271~1275
- Lin Li, Guojun Liu, Zhanguo Li *et al.*. 810-nm InGaAlAs/AlGaAs double quantum well semiconductor lasers with asymmetric waveguide structures[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2008, 6(4): 268~270
- Chen Jingbo, Wang Jing, Miao Hongli *et al.*. Effect of the YAG: Ce³⁺ Phosphor on the light output attenuation of white LED[J]. *J. Optoelectronics Laser*, 2008, 19(4): 453~455
陈静波,王晶,苗洪利等. YAG: Ce³⁺ 荧光粉对白光 LED 衰减的影响[J]. *光子·激光*, 2008, 19(4):453~455
- Wu Haibin, Wang Changling, He Sumei *et al.*. Research of color rendering of white LED based on red and green phosphors[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, 28(9): 1777~1782
吴海彬,王昌铃,何素梅等. 绿荧光粉的白光 LED 显色性研究[J]. *光学学报*, 2008, 28(9):1777~1782
- Nadarajah Narendran, Yimin Gu. Life of LED-based white light sources[J]. *IEEE J. Display Technology*, 2005, 1(1): 167~171
- N. Narendran, Y. Gu, J. P. Freyssonier *et al.*. Solid-state lighting: failure analysis of white LEDs[J]. *J. Crystal Growth*, 2004, 268(3-4): 449~456
- Atsushi Okuno. Unique white LED packaging systems[C]. *Fifth International Conference on Electronic Packaging Technology*, 2003, 225~229
- Pan Yuexiao, Wu Mingmei, Su Qiang. Tailored Photoluminescence of YAG: Ce Phosphor Through Various Methods[J]. *J. Physics and Chemistry of Solid*, 2004, 65: 845~850
- Wu Haibin, Wang Changling. Experimental research on influence of packing materials of white LED on its luminous decay[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, 25(8): 1091~1094
吴海彬,王昌铃.白光 LED 封装材料对其光衰影响的实验研究[J]. *光学学报*, 2005, 25(8):1091~1094
- R. Mueller-Mach, G. O. Mueller, M. R. Krames *et al.*. High-power phosphor-converted light-emitting diodes based on III-nitrides[J]. *IEEE J. Selected Topics in Quantum Electronics*, 2002, 8(2): 339~345
- Nadarajah Narendran. Improved performance white LED[C]. *Fifth International Conference on Solid State Lighting, Proc. SPIE*, 2005, 5941: 45~50
- Wu Haibin, Wang Changling. Effect of different die attach materials on performance of super light emitting diodes[J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2007, 18(4): 6~9
吴海彬,王昌铃.不同固晶材料对超高亮度 LED 性能的影响[J]. *照明工程学报*, 2007, 18(4):6~9
- Pan Yongqiang, Wu Zhensen, Hang Lingxia. Optical thin films interaces roughness cross-correlated properties and light scattering[J]. *Chin. J. Lasers*, 2008, 35(6): 916~920
潘永强,吴振森,杭凌侠.光学薄膜界面粗糙度互相关特性与光散射[J]. *中国激光*, 2008, 35(6):916~920
- Gang Yao, Liangbi Su, Xiaodong Xu *et al.*. Powder synthesis and spectroscopic properties of ytterbium-doped yttrium oxysulfide[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2008, 6(2):133~136