

LED 结温、热阻构成及其影响

王桥立,夏志清,文 静

(深圳三升高科技股份有限公司,广东深圳 518057)

摘 要:LED PN 结温上升会引起 LED 光学、电学和热学性能的变化,甚至过高的结温还会导致封装材料(例如环氧树脂)、荧光粉物理性能变坏,LED 发光衰变直至失效,因此分析 LED 结温、热阻构成,如何降低 PN 结温升,是应用 LED 的重要关键所在。

关键词:发光二极管;结温;热阻

中图分类号:TN312+.8 **文献标识码:**B

LED Junction Temperature, a Thermal resistance and its impact

WANG Qiao-li, XIA Zhi-qing, WEN Jing

(Shenzhen SANSUN Hi-tech Co.,Ltd., ShenZhen 518057, China)

Abstract: LED PN junction temperature increases will cause LED optical, electrical and thermal properties of the changes, or even excessive junction temperature can lead to packaging materials (such as epoxy resin), phosphor deterioration of physical properties, LED luminescence decay until Failure, The analysis of LED junction temperature, a heat resistance, how to reduce the PN junction temperature rise, LED application is an important key.

Keywords:LED; junction temperature; thermal resistance

对于一个 LED 发光管来讲,在确定的环境温度下,当热阻较小时,光通量几乎与正向电流成正比增加。当热阻较大时,由于 PN 结温度上升,在正向电流加大到某值时,光通量将趋于饱和,随后逐渐下降。因此设法降低 PN 结温和 LED 的热阻是提高 LED 光效最直接的途径之一。本文就此论述 LED 本身的结温、热阻构成及其影响。

1 LED 结温产生的原因

LED 结温是指 P-N 结区的温度,通常被理解成

LED 芯片的温度。其形成是由于 LED 空穴、电子运动,一部分能量产生有效的光电效应,发出光子;另一部分是以发热的形式消耗掉了,从而导致 PN 结区芯片发热。对于一个封装好的 LED 发光管来讲,产生结温有两个原因,其一为出光效率低,说明大多数电能转换成热能,产生了结温,其二为 LED 封装的散热能力。散热能力是产生结温高低的关键条件,散热能力强,结温下降,反之散热能力差时结温将上升,其结果将会导致出光效率更低,更进一步推动结温的上升。说明在相同的环境,热阻小(即散热能力强),光通量几乎与正电流成正比例增加。

2 LED 热阻的构成

LED 热阻描述为 LED 散热通道上的两个节点之间热功率流的阻值,热阻单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$,通常用 R_{θ} 表示,其数学表达式为: $R_{\theta}=\Delta T/P_D$,其中 ΔT 为温度差, P_D 为两个节点的热功率流。从公式中得知, ΔT 与 R_{θ} 成正比例关系。热阻越大,温差大,散热能力越差(当 LED 热功率流不变时)。

通常 LED 器件在应用中,结构热阻分布为芯片衬底、衬底与 LED 支架的粘结层、LED 支架、LED 器件外挂散热体及自由空间的热阻,热阻通道成串联关系,用数学公式表述为 $R_{\theta}=R_{\theta s}+R_{\theta z}+R_{\theta j}+R_{\theta w}+R_{\theta f}$ 。

其中 R_{θ} 是 LED 器件的总热阻, $R_{\theta s}$ 为衬底的热阻, $R_{\theta z}$ 为粘结层热阻, $R_{\theta j}$ 为支架热阻, $R_{\theta w}$ 为外挂散热体热阻, $R_{\theta f}$ 为自由空间热阻。

从封装器件本身来讲,热阻主要来源为衬底 $R_{\theta s}$ 和衬底到支架的粘合层 $R_{\theta z}$,以及支架热阻 $R_{\theta j}$,在 LED 器件应用中则重点考虑,外挂散热体热阻 $R_{\theta w}$ 和自由空间热交换热阻 $R_{\theta f}$ 。

因此分两步来计算热阻 R_{θ} 。假定芯片衬底是一个 $200\mu\text{m}$ 的正方形,银胶的厚度为 $100\mu\text{m}$ 。已知银胶的导热系数为 $20\text{W}/\text{m}\cdot\text{k}$,则粘接层的热阻 $R_{\theta z}=h/\rho_{\text{银胶}}\cdot s=0.1\div(20\times 0.001\times 0.2\times 0.2)=125^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。若 LED 衬底是 GaAs,则导热系数为 $18\text{W}/\text{m}\cdot\text{k}$,求得其热阻 $R_{\theta s}=138^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。

铁支架到空气的热阻可求得为 $4.2^{\circ}\text{C}/\text{W}$,则 LED 封装器件总热阻为 $138+125+4.2=267.2^{\circ}\text{C}/\text{W}$,若 LED 使用的环境温度为 65°C ,它最大能承受的电功率 0.2W ,因此有必要选用高导热系数材料作衬底和高导热系数粘结材料作粘结层,如选用硅衬底和 AuSn 或铅锡 PbSn 等合金材料取代银胶作粘结层,将大大提高 LED 芯片承受的电功率能力。

从应用 LED 器件考虑,外挂散热体和自由空间的热对流交换,则根据电功率和散热体匹配进行合理的结构设计。合理的结构将降低 LED 结温,改善 LED 发光效果。

根据表 1、2 得知,由于环氧胶是低热导材料,因此 PN 结处产生的热量很难通过透明环氧向空气中散热,大部分热量通过衬底、银浆、管壳、环氧粘接

表 1 常用热沉材料的热导系数

材料	碳钢	黄铜	铝合金	金	银	锡	锌	纯铜	纯铝	纯铁	环氧胶	银浆
热导系数 ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{k}$)	36.7~39.2	109	162	315	427	67	121	398	236	81.1	25	20~30

表 2 LED 衬底材料的热导系数

材料	Si	Al_2O_3	CaAs	SiC
热导系数	75	25	18	49

层、PCB 与外挂散热体向外发散。显然相关材料的导热能力将直接影响 LED 器件的散热性能。

3 LED 结温对光电性能的影响

3.1 LED 结温在高于正常能承受的温度 125°C 时,产生不可恢复的永久性的衰变

通常有三种原因促使高温下 LED 输出性能的永久性衰减。其一,由于各外延层之间存在着或多或少的晶格失配,从而在界面上形成大量的诸如位错等结构缺陷。在较高温度时,这些缺陷会快速增殖、繁衍,直至侵入发光区,形成大量的非辐射复合中心,严重降低器件的注入效率与发光效率;其二,在高温条件下,材料内的微缺陷及来自界面与电极的快速扩散杂质也会引入发光区,形成大量的深能级,同样会加速 LED 器件性能的衰变;其三,高温时,LED 封装环氧胶的变性、发黄,出光效率下降衰变。通常,LED 用的封装环氧胶存在着一个重要特性,即当环氧胶温度超过一个特定温度 $T_g=125^{\circ}\text{C}$ 时,封装环氧的特性将从一种钢性的类玻璃状态转变成一种柔软的似橡胶态的物质。此时材料的膨胀系数急剧增加,形成一个明显的拐点,这个拐点对应的温变即为环氧树脂的玻璃状转化温度,其值通常为 125°C 。当器件在此温度附近或高于此温度变化时,将发生明显的膨胀或收缩,致使芯片电极与引线受到额外的应力而发生过度疲劳乃至脱落损坏,造成 LED 永久性损坏。显然工作温度越高,这种过程将越快。

3.2 当结温上升时,LED 的发光波长变长,颜色发生红移,显示效果发生偏色

LED 的发光波长一般可分成峰值波长与主波长

二类,前者表示光强最大的波长,而主波长可由 X、Y 色度坐标决定,反映了人眼可感知的颜色。显然,结温所引起的 LED 发光波长的变化将直接造成人眼对 LED 发光颜色的不同感受。对于一个 LED 器件,发光区材料的禁带宽度值直接决定了器件发光的波长或颜色。InGaAlP 与 InGaN 材料属 III-V 族化合物半导体,它们的性质与 GaAs 相仿,当温度升高时,材料的禁带宽度将减小,导致器件发光波长变长,颜色发生红移。通常可将波长随结温的变化表示如下:

$$\lambda(T_2) = \lambda(T_1) + \Delta T K (\text{nm} / ^\circ\text{C})$$

其中: $\lambda(T_2)$ ——结温 T_2 时的波长

$\lambda(T_1)$ ——结温 T_1 时的波长

3.3 当 LED 结温上升时,LED 正向电压值 V_f 值下降

LED 在 I_f 为常量时,LED PN 结上的正向电压 V_f 具有负温度系数特性,即随着 PN 结温上升, V_f 成线性下降关系。但在高温情况下,由于结区缺陷和杂质的大量增殖与集聚,将造成额外复合电流的增加,而使正向电压下降,甚至出现恶性循环。通常,恒流是 LED 工作的较好的模式,如果在恒压条件下,由于温升效应使正向电压下降、正向电流增加,并形成恶性循环,最终导致器件损坏。

(上接第 53 页)

综上所述,取

$$N = \left\lfloor \frac{M}{2} \right\rfloor \quad ([" "] \text{ 表示取整数部分}) \quad (6)$$

时可以达到最佳的效果。

实际应用中我们发现,当 M 为奇数但值比较大时, N 到底取哪个值对实际效果的影响并不明显,因为此时 N 的值也较大,MSB 的重复次数已经足够,而多出的 $\frac{1}{2^{N-1}}$ 相对整个 PWM 周期并不明显。

5 结 论

笔者利用前述的 MBI5026 驱动 IC 实现了一个横向 400 像素,2 行扫描 8 位 256 级灰度的 LED 显示屏,在灰度实现上分别采用了普通 PWM,传统脉冲打散以及新的打散算法,采用传统脉冲打散算法时,当行选通时间分为四段,即工作频率提高四倍时已经是系统的最高工作频率,若再提高则无法正常工作。同一实验室的四位同事参与了对屏幕灰度表

3.4 LED 结温上升,发光效能随之变差

在 3.1 中已描述结温上升,外延层之间存在晶格失配,形成位错结构缺陷、快速繁衍、降低注入效率和发光效率。随着温度上升,光通量下降,当升至最大极限结温 125°C 时,光通量就会急剧下降,直至损坏。

综上所述,LED PN 结温上升会引起 LED 光学、电学和热学性能的变化,甚至过高的结温还会导致封装材料(例如环氧树脂)、荧光粉物理性能变坏,LED 发光衰变直至失效,因此分析 LED 结温、热阻构成,如何降低 PN 结温升,是应用 LED 的重要关键所在。在实际应用中关注 LED PN 结温度,设法降低 PN 结温和 LED 的热阻,是提高 LED 光效最直接的途径。LED 应用其前景不可限量,把握应用 LED 的基本要素,是通向产业化发展的必由之路。

作者简介:王桥立(1968-),湖南人,西安电子科技大学自动控制理论及应用系硕士,高级工程师,深圳三升高科技股份有限公司主要创始人,公司董事长兼总经理,中国光学光电子行业协会 LED 显示应用分会副理事长,中国光电子协会 LED 显示应用分会技术专家组成员,深圳平板显示行业协会副会长,深圳市专家工作委员会委员,E-mail: wq@szboe.com。

现力的主观测评。将主观感受为无闪烁、灰度均匀、色彩柔和的定为 5 分,根据各自的主观感受给三种算法的灰度表现效果分别打分(0~5 分范围),然后取平均值。最终的比较结果如下表所示。

结果表明,本文提出的算法,能够在保证较低的工作频率的条件下,提高灰度表现力,降低图像闪烁感。

表 1 不同算法实现效果的比较

实现算法	普通 PWM	传统脉冲打散算法	新算法
最高工作频率	5.37MHz	21.47 MHz	5.37 MHz
灰度表现力	3	3.75	4.25

参考文献(略)

作者简介:程宇(1981-),男,河南焦作人,电子工程学院电路与系统专业硕士研究生,主要从事嵌入式系统、LED 显示方面的研究工作,E-mail: chengyu_es@126.com。

LED结温、热阻构成及其影响

作者: [王桥立](#), [夏志清](#), [文静](#), [WANG Qiao-li](#), [XIA Zhi-qing](#), [WEN Jing](#)
 作者单位: [深圳三升高科技股份有限公司, 广东深圳, 518057](#)
 刊名: [现代显示](#)
 英文刊名: [ADVANCED DISPLAY](#)
 年, 卷(期): 2008, (6)
 引用次数: 1次

相似文献(10条)

1. 学位论文 [王晓明](#) [发光二极管的寿命评价及可靠性研究](#) 2006

随着发光二极管(LED)广泛应用于显示屏、交通信号灯、汽车用灯、液晶背光源、灯饰和照明光源等领域,其可靠性测试研究已成为当前的热点问题。如何延长LED的使用寿命,提高LED的可靠性,增大其发光功率一直是人们不懈的努力和追求的目标,高可靠性、长寿命也是将来半导体照明全面普及的前提。然而,对LED进行寿命评价和可靠性研究的比较全面系统的工作尚不多见,本文针对我实验室LED的研发进行综合全面系统的寿命评价和可靠性研究,详细介绍了进行寿命试验的方法、外推寿命的理论模型、影响LED寿命的热特性和常见的失效机理。本文主要从以下几方面展开了可靠性的研究工作:

1. LED现状:简单介绍了LED的发展历程、发光原理、应用前景和国内外研发现状。
2. 可靠性研究方法:论述了LED寿命评价和可靠性研究中常用的一些基本概念和理论依据,详细介绍了以温度为应力的加速寿命试验进行外推寿命时使用的数学模型——Arrhenius模型。
3. 新型红光LED加速寿命试验:对实验室研发的新型隧道再生AlGaInPLED进行了加速寿命试验,介绍了详细的试验过程,20mA下,该LED在80℃和100℃环境温度下的寿命分别为9550h和5440h,根据Arrhenius模型推算出该LED在正常使用条件(20mA, 25℃)下的寿命为79525小时,并分析几种可能的失效机理,提出几种改善措施。
4. LED的热特性分析:分析结温对LED器件性能的影响,包括结温对光通量的影响、结温对电压的影响、结温对波长的影响以及结温对寿命的影响;采用一种测量LED结温的新方法,即双芯片结构测量了单有源区和隧道再生多源区LED器件的结温曲线和热阻,单有源区LED热阻的平均值为0.302℃/mW,隧道再生双有源区LED热阻的平均值为0.277℃/mW,对比二者的结温和热阻,介绍了减少温升效应的对策。
5. 大功率GaN基LED的可靠性研究:介绍了大功率GaN基LED的应用情况,对比南韩产蓝光LED和新世纪产蓝光LED分别做了温度应力下的加速寿命试验,根据Arrhenius模型推算二者在正常使用条件下的寿命分别为1.9万小时和2.6万小时,分析了可能的失效机理并提出了几点提高可靠性的方法。本文得到了信息产业部《半导体照明高亮度功率白光LED器件芯片开发及产业化》项目和北京市科委《高效高亮度单芯片半导体照明器件的研发与产业化》(项目编号: D0404003040221)项目的支持,在此表示感谢!

2. 期刊论文 [徐光明](#), [姬文飞](#), [严华锋](#) [发光二极管灯具工作结温的检测方法及应用 -光源与照明](#)2009(3)

发光二极管(LED)灯具工作结温是产品性能的重要性能指标,工作结温直接影响到LED灯具的使用寿命,但目前国内在这方面标准的制订相对落后。通过对LED灯具工作结温检测原理的介绍,阐述了LED实验室采用的检测方法 & 检测过程,并应用于LED灯具的设计开发中。

3. 学位论文 [赵光华](#) [大功率白光LED结温非接触测量技术探讨与实现](#) 2009

发光二极管(LED)由于其亮度高、节能效率高、寿命长、可靠性高、易驱动等特点,在“半导体照明工程”中渐露头角;而且,安装使用简单、体积相对较小的大功率LED器件在大部分的照明应用中将取代传统小功率LED器件,成为主流半导体照明器件。可是,大功率LED器件的热稳定性检测和散热问题是一个突出的问题,如果保持PN结的结温不在允许范围内,LED将无法获得稳定的光输出和维持正常的器件寿命。本文在充分调研大功率LED的结温测量方法基础上,研究了大功率LED结温的非接触光谱测量方法和技术,利用白光LED发光功率谱中蓝光与白光的功率比值来测量结温,可以避免破坏器件的整体性,并剔除了由于电学器件接入而带来的系统误差。实现了一套基于光谱测量方法的非接触大功率白光LED结温测量系统,测量不同类型的LED光源的光谱和结温关系。实验结果表明:无论对冷白还是对暖白LED管,无论是电流还是环境温度引起的结温的变化,LED管光谱中W/B都随结温呈现线性变化,即:大功率白光LED的结温非接触光谱测量方法是可行、可靠的,具有实际应用价值。本文在实验论证基础上,提出了非接触式大功率LED的结温光谱测量仪器的雏形结构,可能为大功率白光LED的结温测量有所贡献。

4. 期刊论文 [刘卫华](#), [李有群](#), [方文卿](#), [莫春兰](#), [周毛兴](#), [刘和初](#), [熊传兵](#), [江风益](#), [LIU Wei-hua](#), [LI You-qun](#), [FANG Wen-qing](#), [MO Chun-lan](#), [ZHOU Mao-xing](#), [LIU He-chu](#), [XIONG Chuan-bing](#), [JIANG Feng-yi](#) [Si衬底GaN基LED的结温特性 - 发光学报](#)2006, 27(2)

结温是发光二极管的重要参数之一,它对器件的内量子效率、输出功率、可靠性及LED的其他一些性能有很大的影响。首次报道Si衬底GaN基LED的结温特性。利用正向降压法测量Si衬底上GaN基LED的结温,通过与蓝宝石衬底上GaN LED的结温比较,发现Si衬底GaN LED有更低的结温,原因归结为Si有更好的导热性。同时也表明:用Si作GaN LED的衬底在大功率LED方面具有更大的应用潜力。

5. 会议论文 [徐光明](#), [庄灿阳](#) [LED灯具工作结温的检测方法及应用](#) 2009

LED灯具的工作结温是产品性能的重要指标,工作结温直接影响到LED灯具的使用寿命,但目前国内在这方面标准的制订则相对落后。文章介绍了亚明LED实验室采用的检测方法 & 检测过程,并应用于LED灯具的设计开发的情况。

6. 期刊论文 [蔡伟智](#), [Cai Weizhi](#) [功率发光二极管的寿命预测 - 半导体技术](#)2008, 33(10)

针对功率发光二极管(LED)的使用寿命问题,提出了利用阿伦尼斯模型预测功率发光二极管器件寿命的方法,以器件输出功率P下降到初始值P0的50%为失效判据,通过对功率蓝光GaN LED芯片两个结温点的高温恒定应力加速寿命实验结果进行分析计算,求出了功率蓝光GaN LED器件在正常应力条件下的期望寿命,确定阿伦尼斯模型在功率发光二极管寿命实验过程中的适用性,为预测功率发光二极管寿命提供理论依据。

7. 学位论文 [刘立明](#) [发光二极管及半导体激光器特性参数测试研究](#) 2007

半导体发光器件如发光二极管(LED)和激光器二极管(LD)在和人类生活相关的许多领域都获得了广泛应用。医学、国防等领域的应用都对于器件质量和可靠性有非常苛刻的要求,而测量实际使用过程中器件参数的微小变化是预测器件可靠性最有效的手段,因此研究器件在使用状态下的特性参数精确测量方法具有重要的意义。文章介绍了LED、LD的发光机理、结构和各种特性参数的涵义,并对各特性参数的测试方法进行了详细分析。利用自己构建的测试系统对5mm封装的InGaAlP红光和蓝光LED、InGaAlP基绿光和蓝光LED、InGaAlP基荧光物质转换白光LED的V-I特性、P-I特性、空间辐射功率分布、光谱功率分布、微观光度、结温、光谱的关系,还对FP型LD的V-I特性、P-I特性、远场分布、光谱功率分布、偏振特性进行了测量。建立了完整的半导体发光器件参数测试评价手段。在实现通用参数全面测量的基础上,重点研究了LED微观光度测量方法以及结温与光谱特性的关系。没有吸收的光学系统具有亮度传递守恒的特性,所以用于光学系统照明的LED,测量其亮度具有特殊重要的意义。利用自己建立的微观光度测量装置,对5mm封装的InGaAlP红光和蓝光LED, InGaAlP基绿光和蓝光LED,以及InGaAlP基荧光物质转换白光LED的进行了测量。结果表明,在正向电压大于20mA的情况下其亮度大小符合白光LED:黄光LED:绿光LED:红光LED:蓝光LED的关系。白光LED的亮度达到 1.6×10^5 (cd/m²)。掌握LED的光谱特性与其色温的关系,即可以在不影响灯具工作的情况下,非接触地检测灯具中LED的结温,预测LED灯具的寿命。对于红光和黄光LED,它们的峰值波长随结温的升高而增大,而两者间具有非常好的线性关系;对于荧光物质转换的白光LED,它光谱功率分布曲线上全光谱的能量与蓝光部分的能量之比(简称白蓝比或W/B)随结温的升高而减小,且W/B跟结温间具有良好的线性关系。红光、黄光及白光LED光谱功率分布跟结温的这些特殊关系为非接触光谱法LED结温提供了理论依据,而非接触法作为非损伤测量的手段,对LED在实际使用中的测量是相当重要的。

8. 学位论文 林亮 GaN基大功率倒装焊LED的电学、热学性质以及老化机理研究 2007

GaN基大功率倒装焊蓝光和白光LED(以下简称大功率LED)具有耗电量小、寿命长等优点,将在特种照明、景观照明、汽车照明和通用照明中被广泛应用,是半导体器件研究的热点。本论文主要研究了大功率LED的电学性质、热学性质和老化机理。工作内容和主要结果如下: 1)系统研究了大功率LED的I-V特性、C-f和 $1/C'2>-V$ 特性等电学性质。首次用一组参数方程给出了大功率LED的I-V特性曲线,方程中电流由扩散电流项、复合电流项和并联电阻项三部分组成,电压由结电压和串联电阻电压两部分组成。研究发现,大功率LED正向小偏压和反向偏压下电流较大,其形成原因分别为经由表面能级的复合过程和通过漏电通道的泄漏过程;由于浅能级的存在,大功率LED的C-f曲线随温度增加向高频方向漂移;由于量子阱中掺杂浓度不均匀, $1/C'2>-V$ 曲线具有台阶状结构;由于本征载流子浓度和p型GaN自由载流子浓度随温度上升而变大, $1/C'2>-V$ 曲线截距和斜率的绝对值在温度上升时变小。 2)首次利用红外成像法研究了大功率LED的芯片的温度分布。根据测量结果,芯片温度分布不均匀,高温区集中在电流密集且导热不好的电极周围区域,剩下大部分工作区域结温最高值和最低值相差相对较小。在电流的热效应和屏蔽量子限制斯塔克效应共同作用下,随着电流增加峰值波长有一段区域保持常数,而半高宽度则一直变宽。 3)采用有限元方法计算了芯片电流密度分布和温度分布。计算结果显示电流在电极附近聚集严重,电极附近的电流密度平均是其它区域的5倍以上;温度在芯片四个角上偏高,这些区域容易过热。电极焊点既聚集电流又传导热量,所以计算显示温度分布的不均匀性远小于电流密度分布的不均匀性。 4)研究了大功率LED的老化机理。一般老化开始时电极引线键合处的钝化会使电压升高,热沉上面的电极氧化会使电压升高,而电流的退火作用会使电压降低,产生的漏电通道会使电压缓慢降低。老化使金属原子沿位错线析出形成并联电阻通道,导致漏电流增加。从C-f曲线可以看到老化并没有产生大量新的深能级或者浅能级。

9. 会议论文 毛德丰、郭伟玲、贾学校、张勇辉、高国、沈光地 功率LED热学特性研究 2008

LED发光机理是电子在能带间跃迁产生光,其产生的热量不能靠辐射发出,故LED是冷光源。当外加电应力作用达到LED芯片的阈值时,电子与空穴的辐射复合发生电致作用将一部分能量转化为光能,而无辐射复合产生的晶格振荡会将其余的能量转化为热能。本文通过对不同颜色的1W功率LED及不同功率的GaN基白光LED结温和热阻的测量,研究分析功率LED的热特性,给出了不同器件的热阻和结温变化规律。

10. 期刊论文 姬文飞、徐光明、严华锋 发光二极管灯具散热器优化结构设计 -光源与照明2009(3)

大功率发光二极管(LED)的散热是通过设计铝制散热器来散热的。LED的散热分为热传导与热对流两种方式。通过对不同结构的散热器的模拟和仿真,改变散热器的鳍片(FIN)的高度和间距对LED的内部温度有不同的效果,由此可以得到LED散热器的最佳优化设计结果。通过实验,证实了该优化设计的效果。

引证文献(1条)

1. 张楼英、周丽、张家雨、罗宗南、崔一平 大功率LED的光衰机制研究[期刊论文]-半导体技术 2009(5)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_xdxs200806014.aspx

下载时间: 2010年4月27日