



中华人民共和国国家标准

GB/T 38621—2020

发光二极管模块热特性瞬态测试方法

Transient thermal test method for light emitting diode modules

2020-04-28 发布

2020-11-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 原理 2

5 一般要求 2

6 测试步骤 3

7 结果分析及计算 4

8 测试报告 5

附录 A（资料性附录） 相关测试结果分析示例 6

附录 B（规范性附录） 相对热特性瞬态测试方法 8

参考文献 10



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中华人民共和国工业和信息化部提出并归口。

本标准起草单位：中国科学院半导体研究所、中国电子技术标准化研究院。

本标准主要起草人：赵丽霞、马占红、符佳佳、孙雪娇、李晋闽、刘秀娟、赵英。



发光二极管模块热特性瞬态测试方法

1 范围

本标准规定了由单个、多个发光二极管(LED)芯片或器件组成的 LED 模块热特性瞬态测试方法原理、一般要求、测试步骤、结果分析及计算、测试报告。

本标准适用于单个、多个 LED 芯片或器件封装而成的模块,以及 LED 芯片或器件和其他微电子器件构成的模块热特性测量。其他多芯片或器件封装而成的模块热特性测量也可参考。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

SJ/T 11394—2009 半导体发光二极管测试方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

发光二极管模块 light emitting diode module

LED 模块 LED module

一个或多个 LED 芯片或器件组成的发光单元。

注:可包括提高其光、机、电、热等特性的其他元器件,但是并不包括电子控制装置。

3.2

结温 junction temperature

模块中主要发热部分的半导体 p-n 结的温度。

3.3

基板温度 base temperature

模块功率集中区对应的焊盘点或由制造商指定的测量点的温度。

3.4

热功率 heat power

P_H

LED 模块处于工作状态下,由所提供电总功率减去光辐射功率所得的热损耗功率。

3.5

热阻 thermal resistance

R_{th}

沿热流通道上的温度差与通道上耗散的热功率之比。

3.6

结-基板热阻 thermal resistance from junction-to-base

p-n 结到基板之间的热阻。

3.7

结-环境热阻 thermal resistance from junction-to-ambient

p-n 结到环境之间的热阻。

3.8

瞬态测试 transient test

对一个稳态到另一个稳态快速变化过程中相关物理参数的测量。

3.9

瞬态双界面测量 transient dual interface test

对具有不同接触界面的 LED 模块进行瞬态测试。

4 原理

LED 模块作为光电器件,在恒定小电流下,其电压会随所处工作环境的温度变化而改变,由此可建立电压和温度的对应关系。通过测量稳定状态下的电压值,就可以获得对应温度,进而计算得到稳态热阻,见 SJ/T 11394—2009。但是稳态热阻表征的是整体热学特性,而瞬态测试则可以反映 LED 模块各组成部分的热学特性。

在 LED 模块工作电流快速切换到小电流(自身所产热量忽略不计)的瞬态降温过程中,热由结区通过底部逐步散热传递到外界环境。由于芯片、粘结层、支架、热沉和散热器的导热系数及接触面积不同,会导致不同的散热效果,并影响到降温速度。通过快速记录 LED 模块由工作电流快速切换到小电流的电压变化过程,并利用温度敏感系数 k 转换成瞬态温度响应曲线,即可以得出 LED 模块不同组成部分(芯片、粘结层、支架、热沉和散热器等)的热特性。其测试系统示意图如图 1 所示。

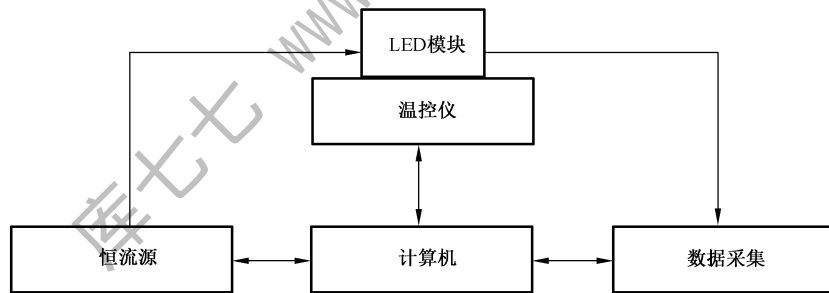


图 1 测试系统示意图

5 一般要求

5.1 测试条件

测试条件如下：

- a) 环境温度:15℃~35℃;
- b) 相对湿度:20%~80%;
- c) 大气压:86 kPa~106 kPa;
- d) 测试环境应无影响测试准确度的机械振动、电磁、光照等干扰。

5.2 测试系统

发光二极管模块热特性瞬态测试系统主要由计算机、恒流源、数据采集系统、温控仪组成。不确定度应符合规范要求,在校准有效期内。其中,温控仪用来控制待测模块的温度,温控仪测温精度应优于 0.5 °C,控制误差应不大于±1 °C。

6 测试步骤

6.1 准备

首先检查并确定测试系统各设备处于良好状态。将各个硬件设备用数据传输线连接,检查硬件连接情况,确保系统连线的正确。

6.2 测试

具体测试步骤如下:

- a) 在温控仪的控温板上涂抹适量导热材料,将 LED 模块放置在温控仪导热材料覆盖的区域,保证 LED 模块和温控仪紧密接触;
- b) 利用恒流源驱动 LED 模块,在恒定小电流条件下(模块的自热效应可以忽略,如 1 W 的 LED 模块可以使用电流 0.1 mA~1.0 mA),通过计算机控制改变温控仪的温度,测试不同温度下 LED 模块对应的电压,得到电压与温度的对应曲线,如图 2 所示,拟合数据,得到温度敏感系数 k ;
- c) 利用恒流源在恒定大电流条件下驱动 LED 模块,使其达到热稳定状态,记录最后热稳态时的电压值;
- d) 将恒流源快速切换到小电流[与步骤 b)所用电流一致],记录对应的电压变化曲线;
- e) 根据电压与温度的对应关系拟合温度敏感系数 k ,并最终获得温度随时间变化的快速冷却曲线,如图 3 所示;
- f) 测试完全结束后关闭所有仪器电源。

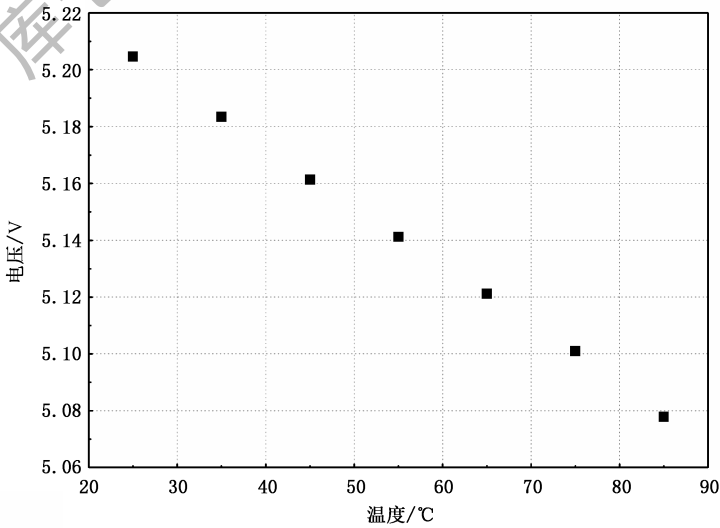


图 2 LED 模块电压与温度的对应关系

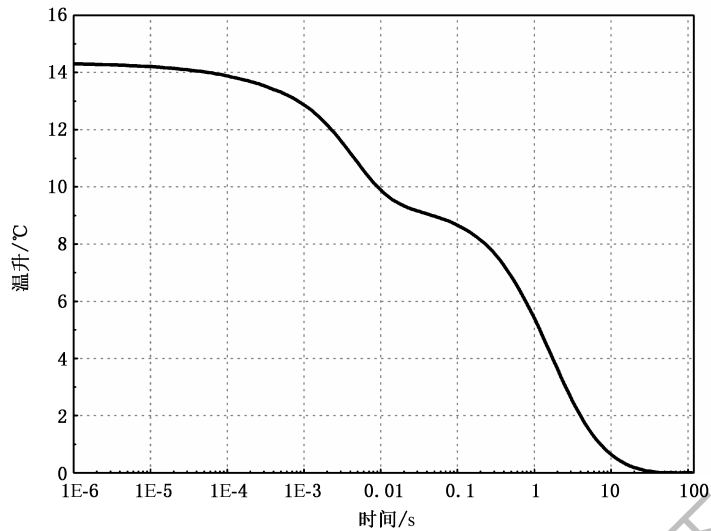


图3 LED模块瞬态快速冷却曲线

7 结果分析及计算

7.1 热阻热容模型及结构函数

当热功率施加到LED模块上,不仅具有热阻 R_{th} ,而且也包含热容 C_{th} ,会有一个温度响应时间 $T(t)$ 。在获得快速冷却曲线后,可以通过一维热流的热阻热容 $R_{th} \cdot C_{th}$ 模型来描述,见公式(1):

$$T(t) = P_H \cdot R_{th} \cdot [1 - \exp(-t/\tau)] \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $T(t)$ ——瞬态温度,单位为开尔文(K);
- P_H ——热功率,单位为瓦(W);
- R_{th} ——热阻,单位为开尔文每瓦(K/W);
- t ——时间,单位为秒(s);
- $\tau = R_{th} \cdot C_{th}$ ——该模型的时间常数。

LED模块由多层材料组成,对应不同的时间常数,因此,其温度响应时间见公式(2):

$$T(t) = P_H \cdot \sum_{i=1}^N R_{thi} \cdot [1 - \exp(-t/\tau_i)] \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $T(t)$ ——瞬态温度,单位为开尔文(K);
- P_H ——热功率,单位为瓦(W);
- R_{thi} ——每一层材料的热阻,单位为开尔文每瓦(K/W);
- t ——时间,单位为秒(s);
- $\tau_i = R_{thi} \cdot C_{thi}$ ——每一层材料对应的时间常数。

对于一维热流传导而言,其热流方程见公式(3):

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{1}{c(x)} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{r(x)} \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- T ——温度,单位为开尔文(K);
- $r(x)$ ——单位长度的热阻,单位为开尔文每瓦(K/W);

$c(x)$ ——单位长度的热容。

总的热阻按公式(4)计算：

$$\rho(x) = \int_0^x r(\delta) d\delta, r(x) = d\rho/dx \quad \dots\dots\dots (4)$$

将变量引入到公式(3),可以得到公式(5)：

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{1}{K(\rho)} \frac{\partial^2 T}{\partial \rho^2}, K(\rho) = c(x)/r(x) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$K(\rho)$ ——一维热流 $R_{th} \cdot C_{th}$ 模型上空间参数的变化,即该一维模型的结构,被称为结构函数。

根据热阻热容模型及结构函数,对测试数据进行分析计算,即可获得 LED 模块热特性的积分结构函数和微分结构函数曲线,参见附录 A 中的图 A.1。

由于结构和材料的不同,器件的不同部分在积分结构函数曲线上的斜率会发生变化,在微分结构函数则会以拐点等形式分割开来。越靠近纵轴代表实际散热路径上越接近模块结区;曲线上平坦的区域代表模块内部热阻大、热容小的结构,陡峭的区域代表内部热阻小、热容大的结构;曲线末端,其值趋向于一条垂直的渐近线,代表热流传导到了空气层中。依据微分结构函数曲线的不同拐点,结合 LED 模块各层具体结构,就可以得到 LED 模块各层材料热阻及总热阻,参见图 A.2。相关测试结果分析示例参见附录 A。

7.2 不同界面相对热特性瞬态测试

瞬态测试 LED 模块热特性需要测试实际的热功率及温度敏感系数,但是 LED 模块在使用过程中,其热功率或温度敏感系数有可能发生改变。采用不同界面相对热特性瞬态测试方法,将更加有利于分辨出不同热特性的变化,具体数据处理见附录 B。

8 测试报告

报告应包括下列内容：

- a) 测试人员；
- b) 使用仪器；
- c) 样品名称、标识等信息；
- d) 测试环境(环境温度、基板温度、湿度等)；
- e) 测试方法；
- f) 测试条件(恒定小电流、恒定大电流等)；
- g) 测试结果(电压电流曲线、快速冷却曲线、结构函数曲线及各组成部分热特性参数等)。



附 录 A
(资料性附录)
相关测试结果分析示例

可以对测得的快速冷却曲线,通过基于一维热流的热阻热容 $R_{th} \cdot C_{th}$ 模型及结构函数进行结果分析和计算,得到积分结构函数和微分结构函数曲线,如图 A.1 所示。

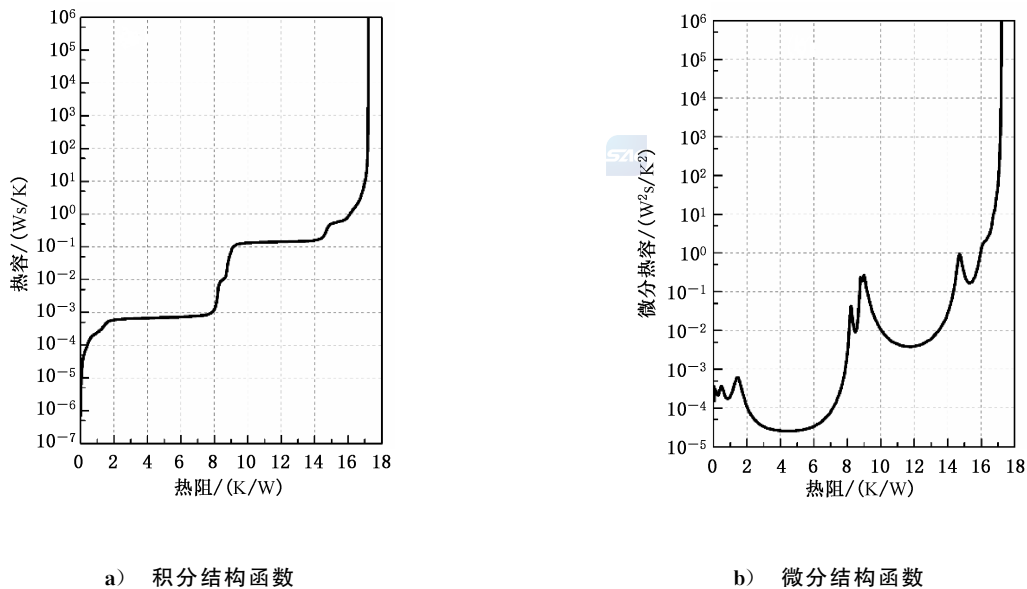


图 A.1 LED 模块热特性曲线

依据微分结构函数曲线的不同拐点,结合 LED 模块各层具体结构,就可以得到 LED 模块各层材料热阻等相关热特性参数,如图 A.2 所示,具体如下:

- 芯片层的热阻为:1.0 K/W;
- 粘结层的热阻为:3.6 K/W;
- 支架的热阻为:0.6 K/W;
- 导热硅脂一的热阻为:5.8 K/W;
- 铝基板的热阻为:1.4 K/W;
- 导热硅脂二的热阻为:2.0 K/W。

最终可以获得该 LED 模块的总热阻为 14.4 K/W。

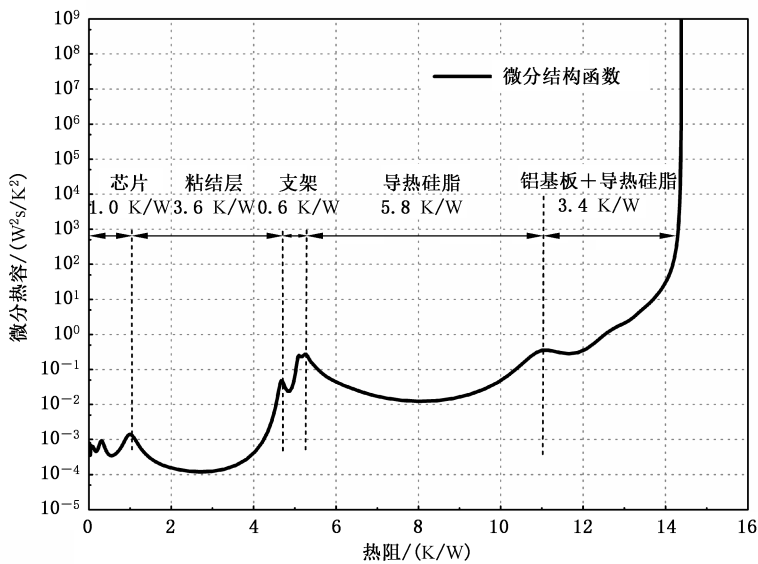


图 A.2 由 LED 模块微分结构函数得出每层材料的热特性参数

附录 B

(规范性附录)

相对热特性瞬态测试方法

采用不同界面相对热特性瞬态测试方法,将更加有利于分辨出不同热特性的变化。根据公式(2),可以得到瞬态热阻 $R_{th}(t)$ 的计算公式,见公式(B.1):

$$R_{th}(t) = \frac{T(t)}{P_{th}} = \sum_{i=1}^N R_{thi} \cdot [1 - \exp(-t/\tau_i)] \quad \text{.....(B.1)}$$

令 $z = \ln(t)$,并用 z 对 $R_{th}(t)$ 取微分,可以得到公式(B.2):

$$b(z) = \frac{d}{dz} R_{th}(z) = \frac{d}{dz} \frac{T(z)}{P_{th}} \quad \text{.....(B.2)}$$

由于 LED 的温度和电压近似为线性关系,公式(B.2)可以转换为公式(B.3):

$$b(z) = -\frac{1}{kP_{th}} \frac{d}{dz} V_f(z) \quad \text{.....(B.3)}$$

为了消除热功率 P_H 及温度敏感系数 k 的影响,对公式(B.3)取对数并归一化,可以得到公式(B.4):

$$B(z) = \ln[b(z)] \quad \text{.....(B.4)}$$

以中功率 LED 模块为例,利用相对热特性瞬态测试分析有无导热硅脂的情况。首先,按第 6 章对具有不同接触界面的 LED 模块进行瞬态热特性测试。第一次测量时可以在冷板和待测模块之间不放置任何热界面材料。第二次测量在界面处放置一层导热硅脂,如图 B.1 所示。

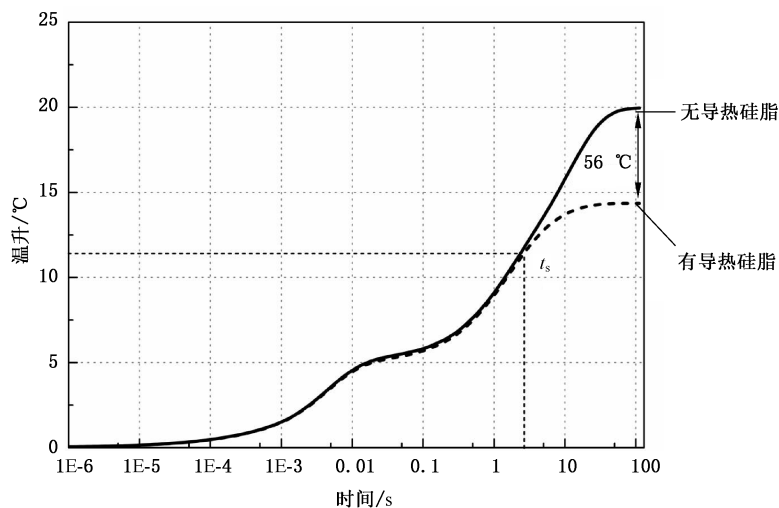


图 B.1 有无导热硅脂的 LED 模块瞬态温度变化曲线



一般热瞬态测试采用降温过程,测得的温度敏感系数为负值,但是为了便于分析,在测瞬态温度曲线时可以使用温度敏感系数的绝对值,那么瞬态温度曲线可以采用温升曲线,而不影响热阻结构函数的计算。

对两次结果进行数据分析,获得微分结构函数曲线,如图 B.2 所示。热界面的不同使得两次测量得到的温度变化曲线和微分结构函数曲线在某个时刻 t_s 出现明显分离。

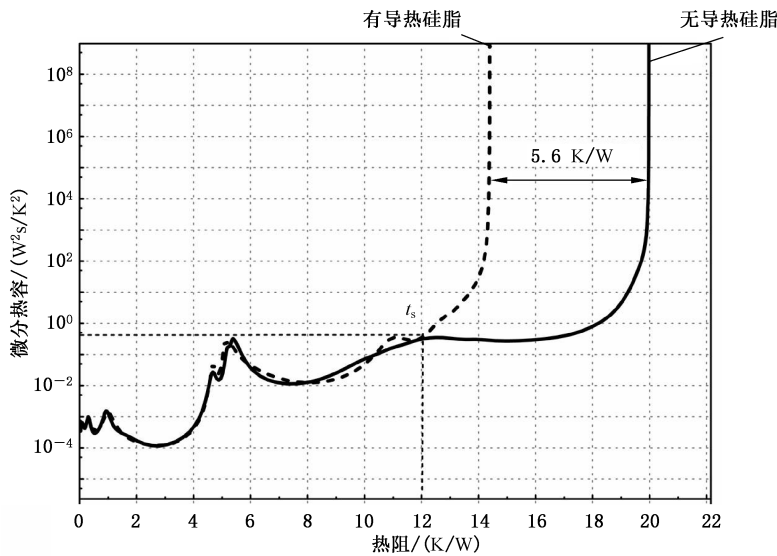


图 B.2 有无导热硅脂的 LED 模块微分结构函数曲线

图 B.3 显示了有无导热硅脂的 LED 模块双界面相对瞬态热特性分析曲线。其中,双峰分别对应芯片与铜柱之间的粘结层以及器件与铝基板之间的界面材料。可以看出有无导热硅脂的 LED 模块在相对热特性曲线中的第二个峰的区域显示出明显的差异。

注：在选择双界面材料时,宜尽可能选择导热差异比较大的界面材料,以便更好地找到分离点。

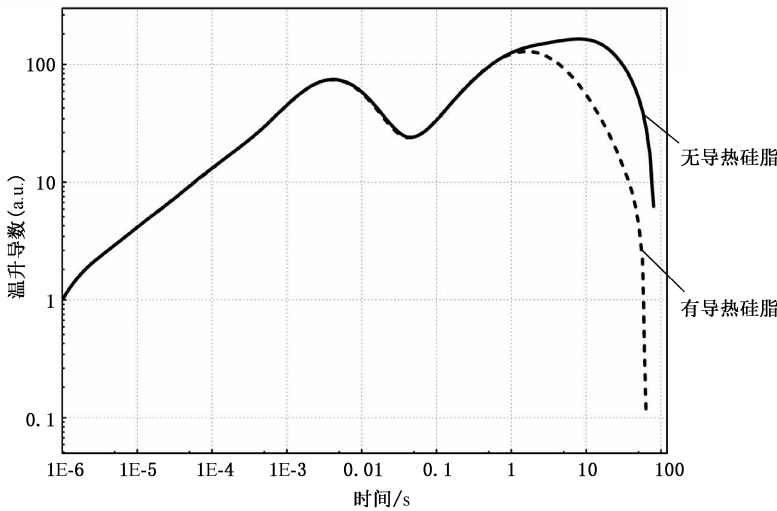


图 B.3 有无导热硅脂的 LED 模块双界面相对瞬态热特性分析曲线

参 考 文 献

- [1] EIA/JESD51-1 Integrated circuits thermal measurement method—Electrical test method (single semiconductor device)
 - [2] EIA/JESD51-14 Transient dual interface test method for the measurement of the thermal resistance junction-to-case of semiconductor devices with heat flow through a single path
 - [3] JESD51-51 Implementation of the electrical test method for the measurement of real thermal resistance and impedance of light-emitting diodes with exposed cooling
 - [4] Transient thermal analysis as measurement method for structural integrity, Chinese Physics B, 2015, 24(6): 47-64.
 - [5] Practical international standard for transient thermal resistance measurements for LEDs, 13th China International Forum on Solid State Lighting, November 15-17, 2016, Beijing, China.
 - [6] GaN 基 LEDs 可靠性及失效机理的研究. 中国科学院大学博士学位论文, 2016.
-