



# 团 体 标 准

T/CASAS 059—2025  
T/CSA 104—2025

---

## 光治疗用柔性 LED 光源 辐照度均匀性测试方法

Testing method for the uniformity of irradiance of flexible LED light source in phototherapy

2025 - 09 - 08 发布

2025 - 09 - 08 实施

第三代半导体产业技术创新战略联盟  
中关村半导体照明工程研发及产业联盟

发布



## 目 次

前言.....	III
引言.....	IV
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 试验条件.....	2
6 样品.....	2
6.1 一般要求.....	2
6.2 样品制备.....	3
7 仪器设备.....	3
7.1 辐照度均匀性测试装置.....	3
7.2 夹具.....	4
8 试验步骤.....	5
8.1 辐照度测试点位的选择.....	5
8.2 样品安装.....	5
8.3 辐照度均匀性测试.....	6
9 试验数据处理.....	7
10 试验报告.....	7
附录 A（资料性） 柔性 LED 光源辐照度测试记录表.....	8
参考文献.....	9



## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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专利的责任。

本文件由第三代半导体产业技术创新战略联盟（CASA）与中关村半导体照明工程研发及产业联盟（CSA）联合制定发布，版权归CASA与CSA共同所有，未经CASA与CSA许可不得随意复制；其他机构采用本文件的技术内容制定标准需经CASA或CSA允许；任何单位或个人引用本文件的内容需指明本文件的标准号。

本文件主要起草单位：中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、北京创盈光医疗科技有限公司、中国科学院半导体研究所、纳微朗科技有限公司、长春希达电子技术有限公司、吉林省电子信息产品检验研究院、广东省东莞市质量监督检测中心、哈尔滨医科大学、上海交通大学医学院附属瑞金医院伤骨科研究所、吉林大学白求恩第一医院、中关村半导体照明联合创新重点实验室（宽禁带半导体超越照明材料与技术全国重点实验室）、厦门市产品质量监督检验院、苏州大学、固安翌光科技有限公司、湖南纳昇电子科技有限公司、深圳民爆光电股份有限公司、苏州国科盈睿医疗科技有限公司、北京大学东莞光电研究院、北京第三代半导体产业技术创新战略联盟。

本文件主要起草人：梁静秋、王维彪、陈宇鹏、秦余欣、郑凯丰、何军、杨华、闫春辉、阮程、王兔、邓锡康、张凤民、卢敏、张俐、徐圆圆、葛莉茹、董建飞、于倩倩、童思超、叶飞、顾慧慧、崔锦江、刘强、曹峻松、孙昕、刘佳、赵静。

## 引 言

1967年,匈牙利的Endre Mester研究发现He-Ne激光具有促进小鼠毛发生长和伤口愈合的能力,随着研究的深入,低能量激光刺激多种细胞以改善伤口愈合和细胞生长的可行性创造了一种低能量激光疗法(low-level laser therapy, LLLT)或者光生物调节疗法(Photobiomodulation, PBM)的学科。LLLT,或者PBM中的光通常不会提高宏观组织温度,功率密度远小于光热效应所需的阈值。

LLLT (Low-level laser therapy)、Photobiomodulation是美国国家医学图书馆定义的官方医学主题词(Medical Subject Heading, MeSH), Photobiomodulation(PBM)或者Photobiomodulation therapy(PBMT)是首选术语。虽然, LLLT术语初始采用激光光源,但PBM触发光生物调节有效性的主要决定参数是波长和剂量,所以非相干光源如卤素灯、白炽灯、有机发光二极管(OLED)、发光二极管(LED)、滤光片组合光源等同样有效。

低功率密度的光治疗是具有非侵入性、非致癌性、非创伤性的特点,允许同时使用药物治疗相关疾病,几乎没有副作用。在非常低的光的辐射水平下,光子被存在于细胞内的发色团吸收。线粒体呼吸链中细胞色素C氧化酶(CCO)对光子的吸收是触发PBM效应的主要机制之一。光照血红素解离释放一氧化氮(NO)分子信使,刺激血管局域膨胀,促进组织的血液流动。红光—近红外光照射细胞色素C氧化酶(cytochrome C oxidase, CCO)催化中心,把氧气分子还原的可用电子数增加,增大线粒体膜的电势,提高三磷酸腺苷(ATP)、环磷酸腺苷和活性氧(reactive oxygen species, ROS)的浓度水平,进而提高细胞新陈代谢。光照血红素解离释放NO分子信使,刺激血管局域膨胀,促进组织的血液流动。红光—近红外光照射细胞色素C氧化酶(cytochrome C oxidase, CCO)催化中心,把氧气分子还原的可用电子数增加,增大线粒体膜的电势,提高ATP、环磷酸腺苷和活性氧(reactive oxygen species, ROS)的浓度水平,进而提高细胞新陈代谢。光激活淋巴系统促进代谢物排除,光刺激干细胞信号通路,调节细胞转录等等。PBM可以通过提供能量促进细胞的生长和修复,并增强组织和器官的分子维护,也可以让巨噬细胞的信号转变为修复信号,从而抑制炎症,对抗细菌、病毒或真菌的微生物感,光激活淋巴系统促进代谢物排除,光刺激干细胞信号通路,调节细胞转录;光可以刺激Ca<sup>2+</sup>离子通道以及其它刺激信使等等。PBM可以通过刺激线粒体产生ATP为细胞提供能量促进细胞生长和修复,并增强组织和器官的分子维护,也可以让巨噬细胞的信号转变为修复信号,从而抑制炎症,对抗细菌、病毒或真菌的微生物感。

在这个非常低的剂量下,细胞吸收能量,但不产生明显变化(温度或光化学损伤)。随着吸收光子数量的增加,细胞代谢的刺激开始影响细胞活性,产生积极的PBM效应,光子的数量和传输速率对PBM效益有显著影响。当光子数量增加到特定水平以上时,细胞刺激就会消失,如果光子数量进一步增加,就会发生抑制和细胞损伤。

随着对PBM机制和光生理作用认识的不断深入,在目标组织上一般建议有效光治疗参数功率密度小于100 mW/cm<sup>2</sup>,对于细胞能量密度建议0.01 J/cm<sup>2</sup>~6 J/cm<sup>2</sup>;对于活体组织能量密度10 J/cm<sup>2</sup>~80 J/cm<sup>2</sup>,也有在组织表面建议值高达50 J/cm<sup>2</sup>,但更大的剂量将失去有益效果,甚至可能有害。面向光治疗的柔性LED光源在使用状态下光照的辐照度、均匀性指标是达到目标光治疗效果的核心参数。

# 光治疗用柔性 LED 光源 辐照度均匀性测试方法

## 1 范围

本文件描述了光治疗用柔性LED光源（以下简称“光源”）弯曲及拉伸条件下辐照度均匀性测试方法，包括测试原理、试样、仪器和设备、试验条件、试验步骤、数据处理和试验报告。

本文件适用于光源在平面、弯曲、拉伸等物理状态下光接收面的光辐照度均匀性测试，其他光治疗光源的光照均匀性测试方法可根据适用性参照执行。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

GB/T 2900.65 电工术语 照明

GB/T 19022—2003 测量管理体系 测量过程和测量设备的要求

## 3 术语和定义

GB/T 2900.65界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**辐[射]照度 irradiance**

$E_e$ ;  $E$

真实或假想表面上的某点处，入射辐通量的面密度。

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dA} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\Phi_e$ ——辐通量；

$A$  ——辐通量入射的面元的面积。

注：单位为：瓦每平方米( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ )或瓦每平方厘米( $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ )。

[来源：GB/T 2900.65—2023，845-21-53，有修改]

### 3.2

**等效接收面 equivalent receiving area**

接收柔性LED光源光照的非实际存在的平面或曲面。

注：等效测量实际光照接收面的辐照度分布。

### 3.3

**分布辐射计 gonioradiometer**

测量表面方位辐射分布特性的辐射计。

注：用于等效接收面上各点的光谱辐照度测量。

### 3.4

**测量距离 measurement distance**

沿光出射法线方向，辐照度测量点与光源之间的直线距离。

注：测量时辐射计探头面垂直于光出射法线方向。

3.5

**辐照度均匀性 irradiance uniformity**

等效接收面辐照度分布的均匀性。

注：实际表征辐照度均匀性时，在接收面上选取多个采样点的辐照度数值进行辐照度均匀性计算，采样点选取原则是全面、随机、样本量充足。

3.6

**辐照度均匀度 irradiance uniformity parameter**

N

用于表征等效接收面辐照度均匀性的参数。

注：0≤N≤1，N数值越大辐照均匀性越好。

3.7

**拉伸度 tensile percentage**

性LED光源因力的作用引起拉伸后，其光电性能和安全性能未发生显著变化，拉伸后长度与其初始长度之比，以百分率表示，拉伸度也可称为拉伸率。

拉伸度计算公式如下：

$$TP = \frac{L_1}{L_0} \times 100\% = \frac{L_0 + a}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

TP——柔性LED光源拉伸度；

L<sub>0</sub>——光源长度，单位为(mm)；

L<sub>1</sub>——光源拉伸后长度，单位为(mm)；

a ——光源拉伸变量，单位为(mm)。

4 原理

为确保辐照度均匀性测试的准确性，采用等效接收面法，通过全面、随机选取充足样品量进行测试。测试中，固定辐射计探头，移动光源，实现对不同采样点的辐照度测量。通过光源与辐射计探头的平移、定轴旋转等相对运动，精确测量各采样点的辐照度。

5 试验条件

测试环境条件应满足以下要求：

- a) 试验环境温度要求为15℃~35℃；
- b) 试验环境相对湿度不超过65%；
- c) 试验环境气压范围为1标准大气压±15%，即86 KPa~116 KPa；
- d) 试验环境照度不大于1 lx，对测试无明显影响。

6 样品

6.1 一般要求

样品应具有以下代表性：

- a) LED阵列光源中所有LED无明显异常和缺陷，保证相同性能参数LED光源的辐照度性能一致；
- b) 样品各部分拉伸状态力学性能一致。

## 6.2 样品制备

### 6.2.1 哑铃形样品

哑铃形状样品如图1所示，哑铃形状样品便于进行拉伸状态下的辐照度均匀性测试试验。

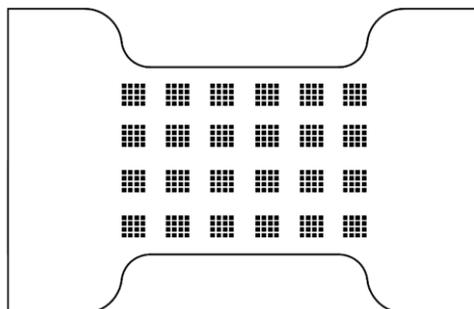


图1 哑铃形样品的形状

### 6.2.2 长方形样品

长方形样品如图2所示，长方形样品便于进行柱面辐照度均匀性测试试验。

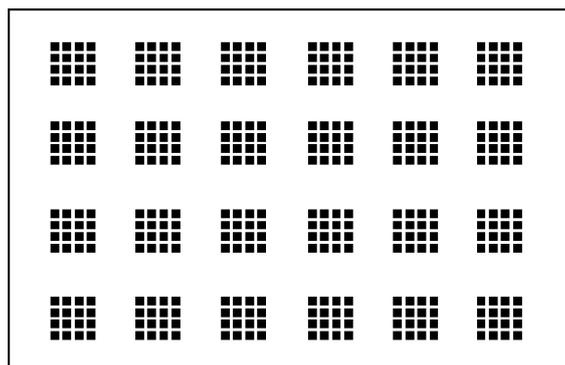


图2 长方形样品的形状

## 7 仪器设备

### 7.1 辐照度均匀性测试装置

辐照度均匀性测试装置示意图如图3、图4所示，分别针对LED阵列光源平面状态和LED阵列光源弯曲柱面状态，包含柔性LED光源夹具、位移及拉伸装置、分布式辐射计、辐射计探头、光纤等部分。

柔性LED光源通过夹具，固定于精位移装置中；位移装置用于实现平移、升降、旋转等调节功能，实现等效接收面的采样点定位，且能调节测量距离；夹具用于固定柔性LED光源，拉伸装置实现拉伸光源功能。

仪器X、Y、Z方向位移精度(重复精度)优于 $50\ \mu\text{m}$ ，辐照度测量误差应不超过1%，旋转方向角度精度优于 $10'$ 。仪器的计量按照GB/T 19022—2003中第7章的要求执行；光源辐照度的测试记录参见附录A。

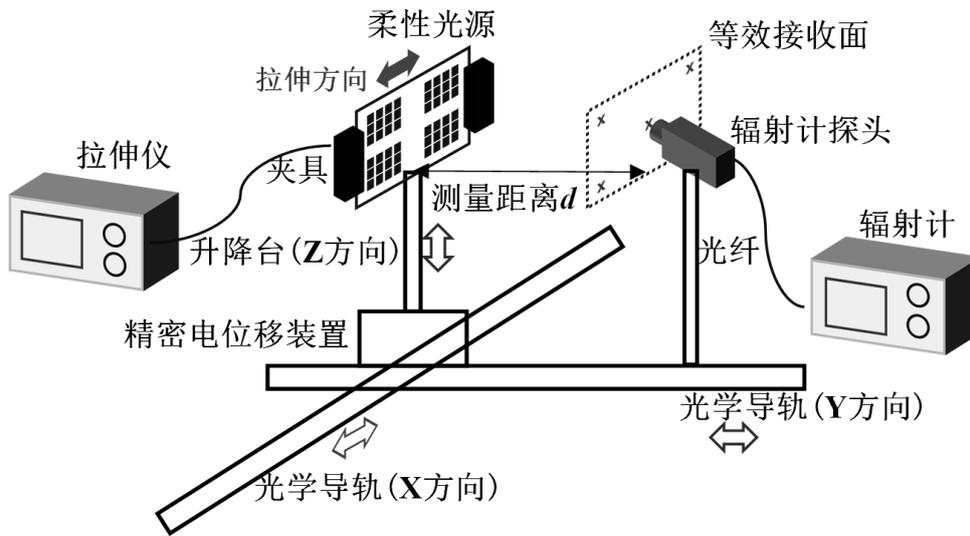


图3 平面型辐照度均匀性测试装置示意图

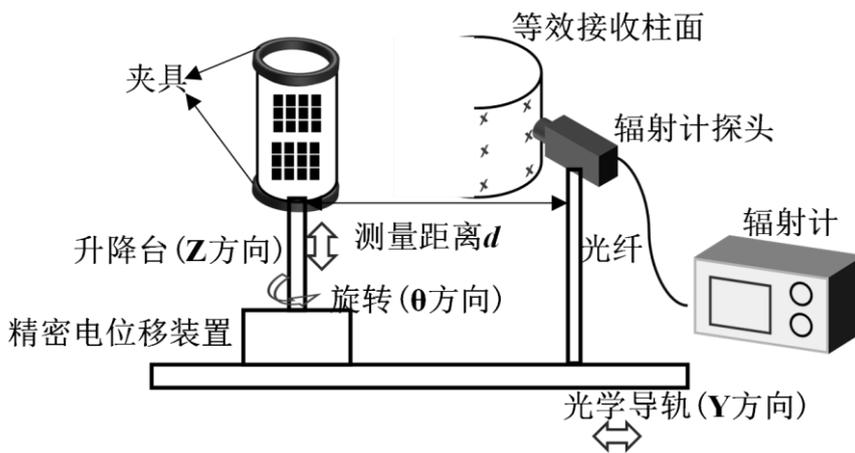


图4 柱面型辐照度均匀性测试装置示意图

## 7.2 夹具

### 7.2.1 夹具要求

测试夹具应符合以下要求：

- 夹具应便于无损装卸试样；
- 夹具应能清晰展示使用状态，包括方向、受力点等；
- 夹具不影响光源测试及测试结果；
- 夹具设计需满足测试需求，如旋转轴和动态状态转换。

### 7.2.2 夹持面要求

测试夹具应符合以下要求：

- 采用硅胶保护夹具，保证夹持面不打滑、不剪切、不破坏试样；
- 确保夹具夹持面平行对齐，且两夹具夹持面在拉伸方向上中线对齐；
- 固定面设计连接孔，以实现与测试仪固定端和移动端的对接。

## 8 试验步骤

### 8.1 辐照度测试点位的选择

#### 8.1.1 平面型辐照度测量

将等效接收面上光辐照区域平均划分为9个或25个子区域，也可根据光辐照区域的实际大小划分其他数量多区域，在各个子区域中随机选取测试点，获得多个辐照度数值。

注：子区域数量可根据光辐照尺寸和光斑均匀度要求设置，规定相邻子区域单元间距不超过相邻LED发光单元间距的1/2，如当LED发光单元间距为1mm时，相邻子区域单元间距应 $\leq 0.5$  mm。

随机选取测试点方法：通过计算机数学软件随机产生9个或25个数对 $(i, j)$  ( $0 < i < 1, 0 < j < 1$ )， $i$ 表示测试点在单个子区域中X方向归一化坐标， $j$ 表示测试点在单个子区域中Y方向归一化坐标，例如 $(0.5, 0.5)$ 表示子区域的中心位置坐标。

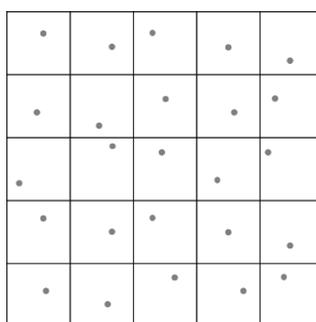


图5 平面辐照度测量点选取方法

#### 8.1.2 柱面型辐照度测量

柱面辐照度测量在等效接收面上的取测量点分布， $\theta$ 向旋转角度范围为 $360^\circ$ ，旋转角度间隔为 $60^\circ$ ，Z轴向位移取5个或7个等间隔测试点。也可根据光辐照区域的实际长度增加Z轴测试点数目。

注：Z轴向测试点间距不超过Z轴向相邻LED发光单元间距的1/2，如当LED发光单元在Z轴向间距为1 mm时，测试点间隔应 $\leq 0.5$  mm。

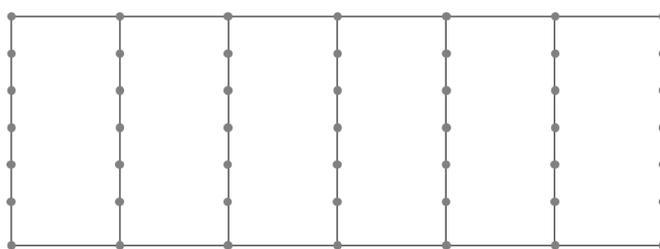


图6 柱面辐照度测量点选取方法

## 8.2 样品安装

### 8.2.1 平面型

将待测样品沿拉伸方向固定于两测试夹具上，试验段位于待测样品中部，各夹持面施加均匀一致的夹持力。

### 8.2.2 柱面型

采用夹具将待测样品以圆柱型分布，各夹持点施加均匀一致的夹持力。

### 8.3 辐照度均匀性测试

#### 8.3.1 测试目的

用于柔性LED阵列光源的辐照度均匀度的性能标准测试程序，包括常规平面/拉伸状态和柱面状态的辐照度均匀性测试。

#### 8.3.2 辐照度均匀性测试步骤

辐照度均匀性测试按以下步骤进行：

a) 点亮待测样品并打开测试设备及仪器，稳态时间 $\geq 15$  min；

注：电压与电流值变化小于 $\pm 5\%$ 即为稳定工作；

b) 根据测试设备类型，设置待测样品的初始测试距离和初始状态，例如将待测样品拉伸至指定状态；

c) 确定平面和柱面LED阵列光源等效接收面的有效照度计算区域：平面LED阵列光源等效接收面有效照度计算区域按图5所示，长度 $m$ 与宽度 $n$ ，以对角顶端LED芯片作为上顶点和下顶点；柱面阵列光源等效接收接收面有效照度计算区域如图6所示，长度 $m_0$ 与宽度 $n$ ；

d) 调节精密电位移装置Y轴位移，按照初始测试距离要求移动至指定位置；

e) 针对不同状态的LED阵列光源，通过调节相应的平移或旋转装置，实现辐射计对等效接收面上不同测试点的辐照度测量：

1) 平面型：如图1（a）调节精密电位移装置X和Z轴向位移，按照预设选取的辐照度测量采样点坐标依次逐点测量；

2) 柱面型：如图1（b）调节圆柱体夹具在Z方向位移和 $\theta$ 方向旋转角度，按照预设选取的辐照度测量采样点坐标依次逐点测量。

注：每一测量采样点的辐照度经三次读数并取平均值作为该采样点的测量辐照度值，如三次测量辐照度值相对偏差超过10%，需重新测量该采样点。

f) 测试距离分别设置 $d$ 为3 mm、5 mm、10 mm，并重复上述步骤对三个测量距离的等效接收面进行辐照度均匀度测试；

g) 针对平面LED阵列光源，输入拉伸度至拉伸仪，将试样拉伸至指定位置，按照上述测试步骤测量不同待测样品拉伸状态下辐照度。

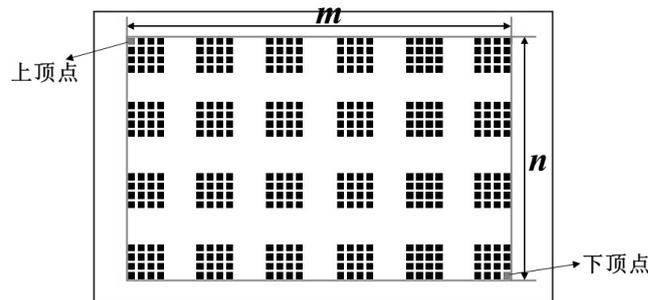


图7 长方形试样长度/宽度测量均匀度计算有效区域

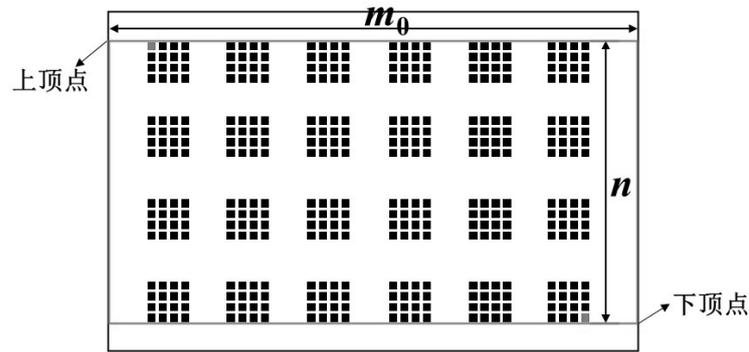


图8 圆柱形试样长度/宽度测量均匀度计算有效区域

## 9 试验数据处理

等效接收面c测量了*i*个测试点的辐照度，每个采样点测量的辐照度分别为 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3 \cdots E_i$ ，此时辐照度均匀度计算方法为：

$$N = \left(1 - \frac{\left| \frac{\sum_{x=1}^i E_x}{i} - E_i \right|_{max}}{\frac{\sum_{x=1}^i E_x}{i}} \right) \times 100 \% \dots \dots \dots (3)$$

式中：

$N$ ——辐照度均匀度

$E_1$ ——采样点1的辐照度

$E_i$ ——采样点*i*的辐照度

## 10 试验报告

报告应至少包括以下项目：

- a) 本文件编号；
- b) 测试的日期和时间；
- c) 柔性LED光源信息；
- d) 待测样品名称，类型，批号；
- e) 生产日期；
- f) 参考样品；
- g) 样品照片；
- h) 测试环境条件；
- i) 测试照明条件；
- j) 柔性LED光源的几何形状；
- k) 测试人员；
- l) 测试设备；
- m) 测试模式；
- n) 测试结果。
- o) 观察到的异常现象。

附录 A

(资料性)

柔性 LED 光源辐照度测试记录表

柔性LED光源辐照度测试记录表参见表A.1。

表A.1 柔性 LED 光源辐照度测试记录表示例

产品名称 型号规格		组别				
检测项目		环境条件				
测试 仪器仪表	型号:	计量有效期				
	编号:					
检测依据 标准条款		样品 照片				
测试条件及技术要求	样品形状:					
	样品长度:					
	工作电流/电压:					
样品编号与测量序次	测试结果					
1-1						
1-2						
1-3						
2-1						

### 参 考 文 献

- [1] GB/T 39388—2020 照度计和亮度计的性能表征方法
  - [2] T/CASAS 049—2025 光治疗用柔性LED光源 拉伸度测试方法
-

