

预习	操作记录	实验报告	总评成绩

《大学物理实验》课程实验报告

专业：实验人姓名：学号：

参加人姓名：

日期： 年 月 日 室温：相对湿度：

实验9 LED 综合特性测试实验

[实验前思考题]

阐述发光二极管的基本工作单元和工作原理？

一、实验目的:

1. 了解 LED 的相关特性, 包括他的电学特性及空间分布特性;
2. 掌握如何测 LED 的电学特性和空间分布特性。

二、仪器设备

1. LED 电源 I (恒流源) (BEM-5036), 2 LED 电源 II (恒压源) (BEM-5035), 3 (程控) 脉冲电源 (BEM-5037), 4 温控电源 (BEM-5038), 5 照度计及探头, 可见光 (BEM-5409), 6 光纤光谱仪 (BIM-6001-06), 8 温控系统 BEM-5040、9 积分球 BEM-5216-15、10 LED 夹具及夹具支架, BEM-5217、11 光源调整平台 BEM-5214、12 光阑筒带支架 BEM-5215, 13 光阑 BC-121154, 14 观察屏, BEM-5410, 15 导轨 BEM-5201-06, 16 托板, BEM-5204-50, 17 托板 BEM-5204-30, 18 升降调节架 BEM-5205-25, 19 连接杆 BEM-5209-09, 20 石英光纤 BIM-6102。

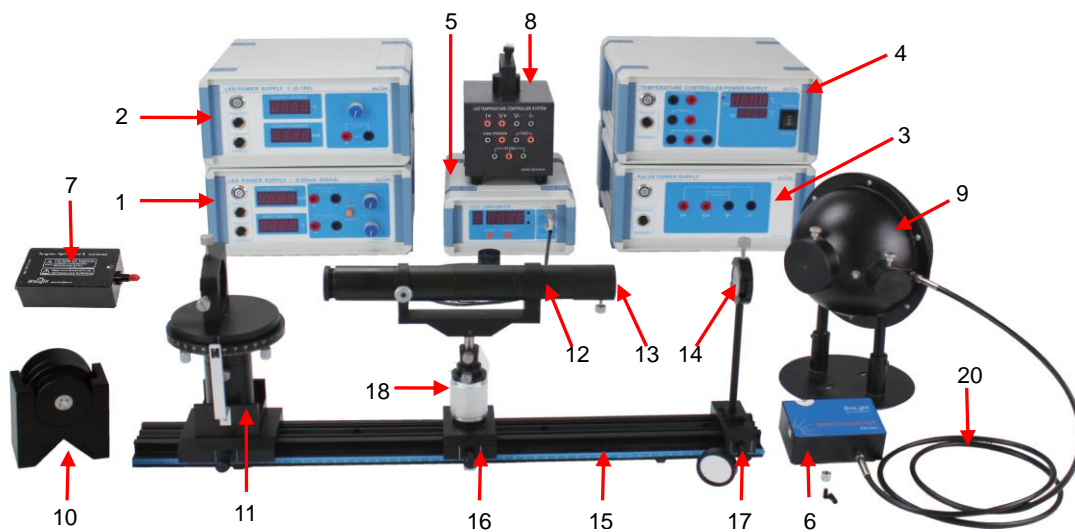


图 1 实验电路图

三、简介

发光二极管 (light emission diode LED) 现已广泛应用于户外显示屏、交通灯、汽车灯及电子设备和工业设备指示灯等方面, 因其具有体积小、功耗低、寿命长、反映速度快、适合量产等诸多优点; 同时, 发光二极管也符合节能、环保的绿色照明光源。目前它已进入功能性照明领域, 正在逐步进入普通照明领域, 以替代白炽灯和荧光灯。它是继白炽灯、荧光灯、高强度气体放电灯 (HID 后的第四代新光源。对其物理参数的测量和研究是具有重大的经济效益和社会意义。

发光二极管 (以下简称 LED), 是电能转换成光能的能量转换装置。发光二极管 LED 的核心材料是 III-V 族化合物, 如 GaAs (砷化镓)、GaAsP (磷砷化镓)、AlGaAs (砷化铝镓) 等半导体制成, 其核心是 P-N 结, 具有一般的 P-N 结伏安特性, 即正向导通、反向截止、击穿的特性。它的发光是由半导体中的电子-空穴的复合产生的, LED 是一种直接注入电流的发光器件, 是半导体晶体内部受激电子从高能级回复到低能级时, 发射出光子的结果。对于大量处于高能级的粒子各自分别自发发射一系列频率为 ν 的光波, 其中, $\nu = E_g / h$, E_g 是半导体带隙宽度, $\Rightarrow \lambda = 1240 / E_g$, E_g 的单位是 eV, λ 的单位是 nm, 但各波列之间没有固定的相位关系, 它们可以有不同的偏转方向, 而且每个粒子所发射的光沿所有可能的方向传播, 这就是通常所说的自发发射跃迁。在正向电压下, 电子由 N 区注入 P 区, 空穴由 P 区注入 N 区。进入对方区域的少数载流子 (少子) 一部分与多数载流子 (多子) 复合而发光。

四、实验准备

(一) 电学部件简介

1. LED 电源 I (恒流源) (0-50mA/500mA)

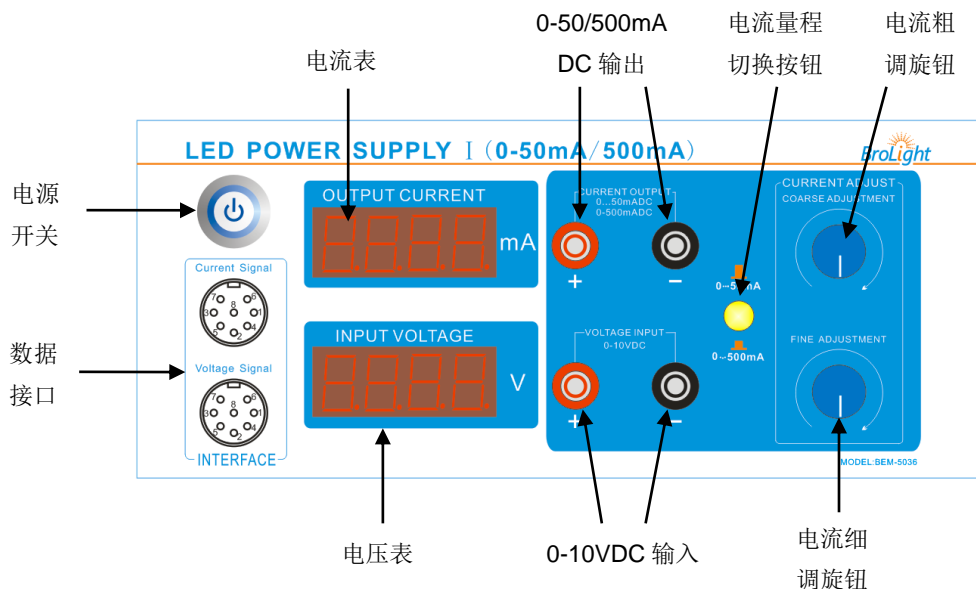


图2 LED电源 I

- 电源开关：设备的电源开和关选择。
- 数据接口：连接到数据采集器。
- 0-50/500mADC输出：输出0~50mA/500mADC电流。
- 0~10VDC输入：用来测量LED两端的电压。
- 电流量程切换按钮：设置恒流源输出电流量程范围 (0~50mA/0~500mA)。
- 电流粗调旋钮：粗调输出电流大小。
- 电流细调旋钮：细调输出电流大小。

2.LED 电源 II (恒压源), 0~10V

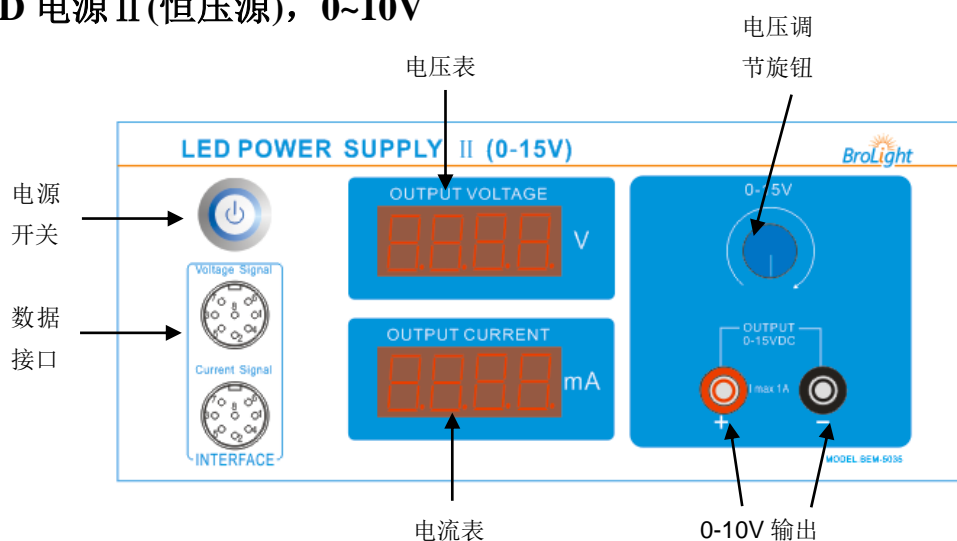


图3 LED 电源 II (恒压源)

- 电源开关：设备的电源开和关。
- 数据接口：连接到数据采集器。

- 0-10V输出：输出0-10VDC电压。
- 电压调节旋钮：调节输出电压大小。
- PV：当前温度值，0~100℃，精度±0.1℃
- SV：设定温度值，0~100℃，精度±0.1℃

3、照度计



图4 照度计

- FUNCTION：光照度(lux)及光通量(lm)两个功能测量的切换按钮。
- RANGE：用于量程切换。
- A端口：测量照度的探头连接端口。
- B端口：测量光通量的探头连接端口。
- 后面板上USB接口为照度计提供电源的同时与上位机软件实现通讯。
- 照度计探头用于光信号的检测

4、电源线、USB 线的连接（适用于恒压源、恒流源、脉冲电源和温控电源）

若使用过程中保险丝损坏，可打开保险盒，更换保险丝。



图5 电源线等

注意:在您连接任何导线之前, 请确认所有电源处于关闭状态, 所有的电压、电流调节旋钮都应逆时针旋到底。请使用正确的输入电压(AC200~240V)。

警告:只有在电源输出为0时(电源调节逆时针旋转到底), 才可切换电源和实验仪的档位, 更换LED组件以及开启、关闭电源, 否则可能导致电源或仪器损坏。

(二) 机械部件介绍

1.光源夹具

- 直插型LED光源夹具, 正面LED插口, 用于发光二极管的插装。
- 反面导线接口用于导线的连接



图6 光源夹具

(三)、二维空间机械组件

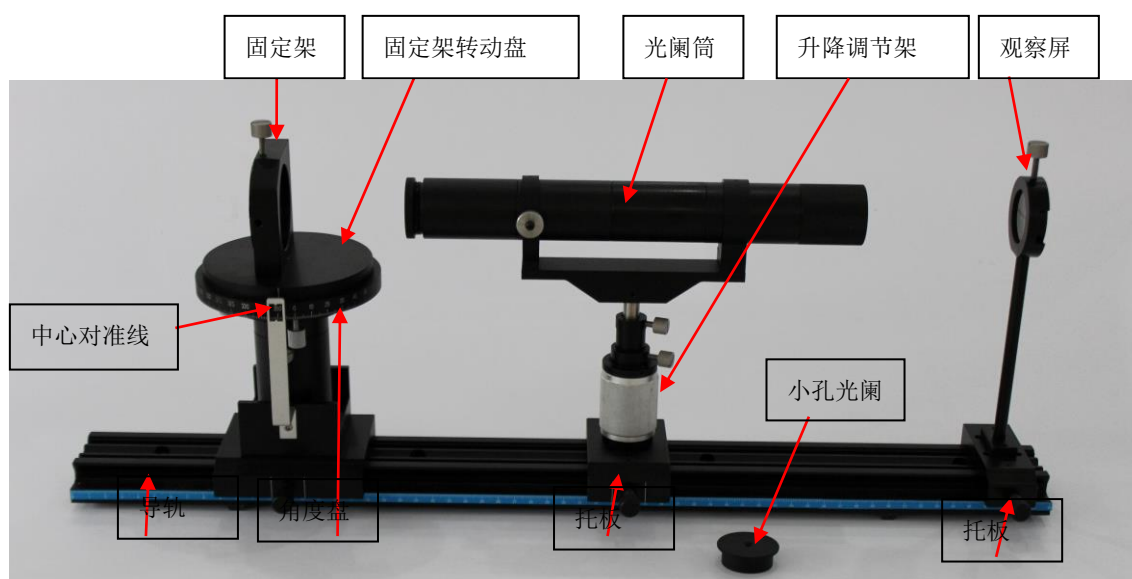


图7 二维空间机械组件

- 1) 固定架: 用于固定光源夹具, 内径 50mm;
- 2) 固定架转动盘: 与固定架锁定在一起, 用来转动光源夹具, 从而转动实验光源;
- 3) 角度刻线盘: , 刻线盘角度范围 0~360°, 最小刻度为 1°;
- 4) 中心对准线: 用于准确读取角度值和准直固定架使用;
- 5) 光阑筒: 也称平行光管, 消除外界杂散光, 共四节, 单独节次光阑筒可以单独作为光阑使用, 具体选择依据实验环境杂散光的影响情况而定, 光阑筒末端可安装光度探头, 始端为直径 5mm 光阑孔;
- 6) 小孔光阑:用于精确调整光路;

- 7) 光阑筒支撑架：用于连接光阑筒与杆的连接装置和对光阑筒的安装固定；
- 8) 观察屏：用于光路的调整，可在调整时观察屏中心的十字叉；
- 9) 托板：含 50mm 拖板和 90mm 拖板，当角度盘装置和升降调节架固定于拖板之上，拖板可在导轨上自由滑动和位置固定，用于调节实验光源与光探头的实验距离；
- 10) 导轨：长度 600mm，可于两侧粘贴标尺，用于距离标识。

实验一 光电测试实验

1.1 伏安特性测试实验

一、实验目的

- 1、测量 LED 正向伏安特性，掌握拐点电压、正向开启电压及工作电流的概念，并对比分析不同发光颜色的 LED 拐点电压和工作电压的异同。
- 2、测量 LED 的反向(反向电压限制为-5V)伏安特性，了解发光二极管的反向截止的特性。

二、实验原理

1、测量 LED 的伏安特性

伏安特性反映了在 LED 两端加电压时，电流与电压的关系，如图 8 所示。在 LED 两端加正向电压，当电压较小，不足以克服势垒电场时，通过 LED 的电流很小。当正向电压超过死区电压（图 1-1 中的正向拐点）后，电流随电压迅速增长。正向工作电流指 LED 正常发光时的正向电流值，根据不同管子的结构和输出功率的大小，其值在几十毫安到 1 安之间，实验中设置最大电流为 50mA。正常工作电压指 LED 正常发光时加在二极管两端的电压。允许功耗指加于 LED 的正向电压与电流乘积的最大值，超过此值，LED 会因过热而损坏。

在 LED 两端加反向电压，只有微安级的反向电流。反向电压超过击穿电压（一般为几十伏）后，管子被击穿损坏。为安全起见，激励电源提供的最大反向电压应低于击穿电压（实验设置最大反向电压为 5V）。

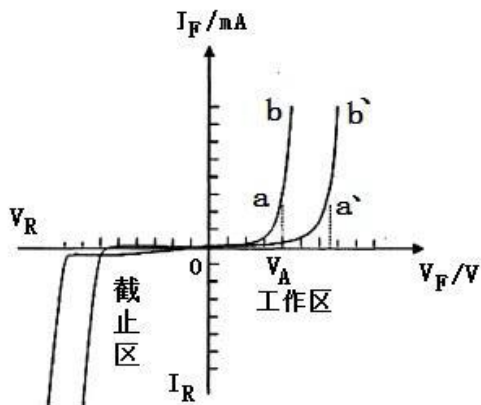


图 8 LED 的伏安特性曲线图

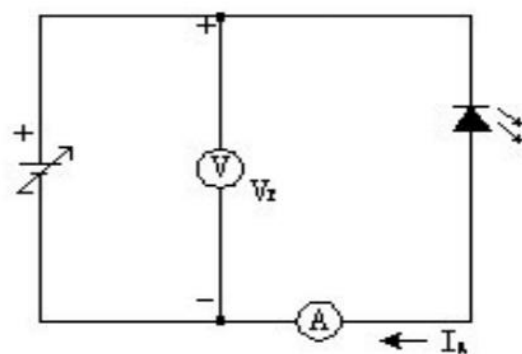


图 9 伏安特性测量原理图

反向电性能：采用恒压源供电，增加恒压源电压，监测流过 LED 的电流，当电流达到设定的反向漏电流值时，测量此时的电压即反向电压，原理如图 9。根据设定的反向电压调节恒压源，测出流过 LED 的反向漏流。

正向电性能：正向伏安特性采用恒压源供电，增加正向恒压源电压，同时恒压源自带的电流表监测流过 LED 的电流，原理与 1-2 类似，电压方向改为正向即可。使用恒压源的优点

是能更全面地测量 LED 的正向伏安特性，可观察正向死区，测量拐点电压（也叫开启电压）。

注意：在更换 LED 之前，请将电源输出调节至零并关闭电压源或电流源，以免导致 LED 的损坏！使用恒压源时，LED 的电流不能超过 50mA，否则会烧坏 LED 灯珠。

三、实验设备清单

序号	名称及规格参数	型号	数量
1	可调恒压电源，0-10V	BEM-5035	1
2	LED 灯夹具及夹具支架， $\Phi 50\text{mm}$	BEM-5217	1
3	白、红、绿、黄 LED，工作电流 20mA		各 1
4	电源线	BC-100075	1
5	USB 线	BC-100080	1
6	4mm 香蕉插头导线 红色，800mm	BC-100084	1
7	4mm 香蕉插头导线 黑色，800mm	BC-100083	1

四、实验步骤（注：利用软件自动采集应选用恒压源作正反向伏安特性测试）

1、按照实验清单核对实验部件，按照 11 实验搭建图，连接电源线。用红黑导线连接恒压电源的输出端和 LED 夹具的电流端。选择白色（或红、绿、黄）LED 正负极对应插装到夹具的正负极插口上（**注意：LED 的较长脚为正极，对应夹具的“+”端口**）。

2、用 USB 数据线将恒压源后面板 USB 接口与电脑相连接。


3、将恒压源电压调节旋钮逆时针调节到底，打开恒压源电源开关，此时输出电压及输出电流为 0。

4、打开 LED 实验软件，将软件界面选为**光电测试实验界面**，选择**伏安特性测试实验**（参考下图 4-35-13 伏安特性测试实验软件界面介绍）。

5、在软件界面内点击“打开端口”图标  端口标志变亮，说明恒压电源与计算机通讯成功。（注：若打开端口失败，请检查 USB 线是否连接正确，或者关闭软件重新打开并再次尝试连接打开端口）

6、点击“数据采集方式”选择为“正向”。

7、点击“采集数据”按钮，记录此时数显表的 LED 的电压、电流数值到软件对应的图表处。

8、调节电压调节旋钮，慢慢增加 LED 的电压（建议每次增加 0.5V），再次点击“采集数据”按钮，记录相应的电压、电流数值，直至观察到 LED 第一次亮，稍稍左右旋转电压调节旋钮，找到 LED 从不亮到“恰好”开始亮，电流表头“刚好”出现电流值时，在软件界面内再次点击采集按钮 。

9、接下来应以 0.05V 的电压步长增加输出电压值，并在软件中同步采集电压、电流值，直至电流接近 40mA 时，终止“正向”测试实验。**注意：电流值不超过 40mA，否则 LED 易烧毁。**

10、按逆时针方向旋转电压调节旋钮至底，软件设置“数据采集方式”为“反向”，同时将 LED 反向插装于夹具（或者将导线反接到电源正负极），从 0V 开始，以一定电压步长（推荐用 1V），依次采集对应电压、电流值，直至电压到达 5V 为止，保存数据，至此 LED 灯的正反向伏安特性测试已经完成。**每次做完一次数据可将数据导出，以便之后数据导入分析。**

11、在软件中点击“清空”图标，依次更换不同颜色的 LED 灯，重复步骤 3~10，分别完成并

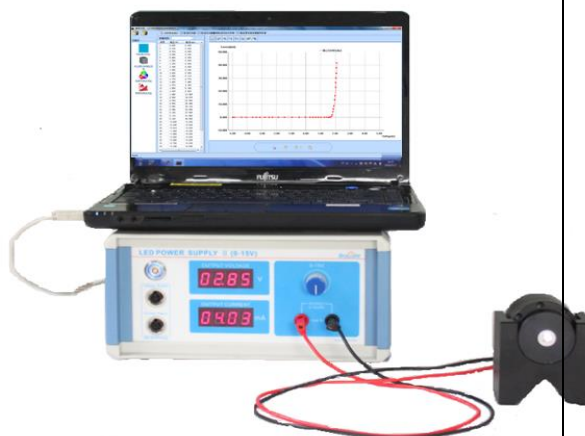


图 10 伏安特性实验搭建图

保存 LED 的正反向伏安特性测试曲线。最后可在实验界面内导入前面所做的实验结果，进行对比分析（注意导入数据之前先点击“清空”按钮，清空当前界面内的数据）。

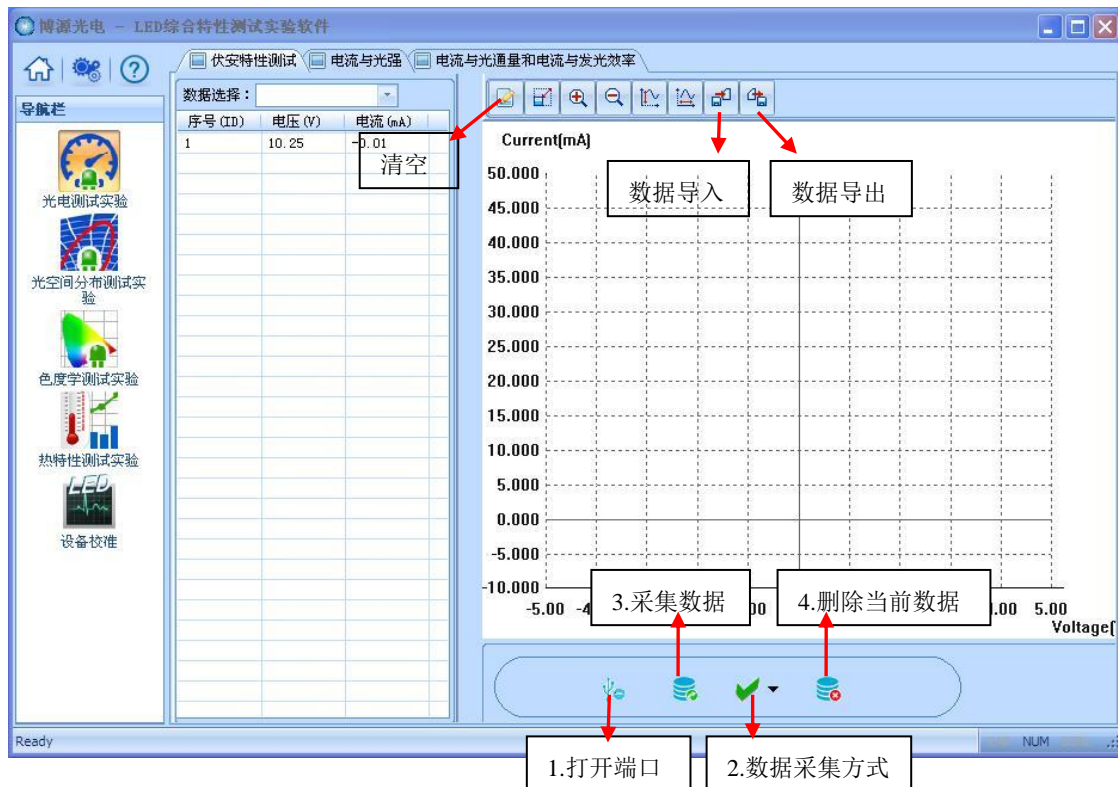


图 11 伏安特性测试实验软件界面介绍

五、分析：

- 1、LED 反向漏流、开启电压、工作电压的概念？
- 2、从伏安特性曲线中，你能得到 LED 哪些电学性质？
- 3、对比开启电压，分析不同颜色 LED 开启电压异同的原因，请从能带的角度深入分析。
- 4、根据 LED 伏安特性曲线图，分析 LED 为什么需要恒流驱动？

1.2 电流与光强实验

一、实验目的

- 1、掌握 LED 发光强度的概念及其测量方法。
- 2、了解 LED 发光强度随电流变化的规律，并对比分析不同发光颜色 LED 发光强度随电流变化的响应异同。

二、实验原理

光强 $I(\text{cd})$ 是描述 LED 光度学特性最为重要的参数，它表征了光源在指定方向上单位立体角内发射的光通量 $\Phi(1\text{m})$ ，在不同的空间角下，LED 将表现出不同的光强大小。国际照明委员会（CIE）专门提出了平均光强 $I(\text{cd})$ 的概念：照射在离 LED 某一距离处光探测器上的光通量 $\Phi(1\text{m})$ ，与照射时的立体角 Ω 所构成的比值。若探测器面积为 S ，测量距离为 d ，则立体角 Ω 为 S 与 d^2 的比值，而光照度 $E(1\text{x})$ 为单位面积上受到的光通量 $\Phi(1\text{m})$ ，几者关系如下：

$$I(\text{cd}) = \frac{d\Phi(lm)}{d\Omega}$$
$$E(lx) = \frac{d\Phi(lm)}{dS}$$
$$\Omega = \frac{S}{d^2}$$

(2-1)

故 $I(\text{cd})=d^2 \cdot E(\text{lx})$ ，单位为 cd（坎德拉），实际测量时用照度计探头测量照度值 $E(\text{lx})$ 后再通过软件计算出发光强度。由此可见，对于发光强度值，其概念要建立在光源可视为点光源的条件下，要求其测试条件达到“远场条件”要求。

从某个层面来看，平均发光强度与传统意义的发光强度的概念已没那么紧密的联系，而仅与测试条件的设计有关。关于 LED 在近场条件下的测量，CIE 推荐了两个标准化条件：CIE 平均光强测试标准条件 A 和 CIE 平均光强测试标准条件 B。对这两个条件要求是这样描述的：所用的照度计探测器面积为 $10 \times 10 \text{mm}^2$ ，相应探头圆入射孔直径为 11.3mm ，LED 放置条件为面向探测器，并且要求探测器的机械中心与 LED 的机械轴重合。两个条件的区别之处是：LED 顶端到探测面的距离，立体角和平面角（全角）的不同，CIE 标准条件 A 和标准条件 B 如下：

表图 4-35-1 CIE 规定 LED 平均光强的条件 A 和条件 B

	测量距离（mm）	探测面积（mm ² ）	立体角 Ω（sr）	平面角 α（度）
条件 A	316	100	0.001	2
条件 B	100	100	0.01	6.5

注：立体角 Ω 为 S 与 d² 的比值。平面角 α 为由 LED 顶端到照度计探测面边缘之间的夹角。

如图 12 为 LED 平均光强的测量框图，D 为被测 LED 器件，G 为电流源，PD 是包括面积为 A 的光阑 D₁ 的光度探测器，D₂D₃ 为消除杂散光光阑，d 为被测 LED 器件与光阑 D₁ 之间的距离。测量时，只需将被测 LED 器件按如图形式加以规定的电流，在光度测量系统测量平均 LED 光强即可。

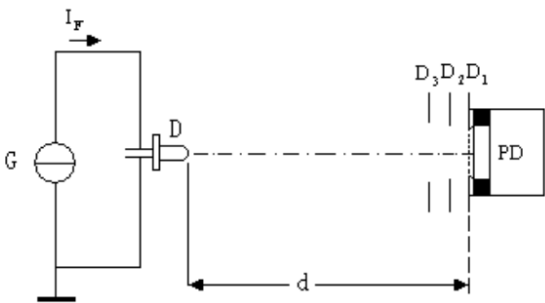


图 12 LED 平均光强的测量框图

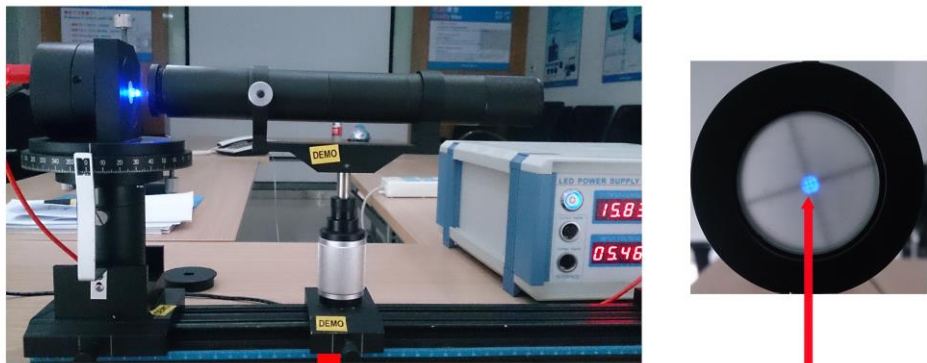
三、实验设备清单

序号	名称及规格参数	型号	数量
1	导轨 长 600mm	BEM-5021-06	1
2	托板, 宽 50mm	BEM-5204-50	2
3	光源调整平台, $\Phi 110\text{mm}$, 360 刻度	BEM-5214	1
4	光阑筒带支架, $\Phi 5\text{mm}$, 270mm	BEM-5215	1
5	升降调节架, 可调范围 25mm	BEM-5205-25	1
6	观察屏, $\Phi 30\text{mm}$	BEM-5410	1
7	可调恒流电源, 0-50/500mA	BEM-5036	1
8	照度计及探头, CHL 可见光/0.6m	BEM-5409	1
9	LED 灯夹具及夹具支架, $\Phi 50\text{mm}$	BEM-5217	1
10	电源线	BC-100075	1
11	USB 线	BC-100080	2
12	4mm 香蕉插头导线, 红色 , 800mm	BC-100084	2
13	4mm 香蕉插头导线, 黑色 , 800mm	BC-100083	2

四、实验内容

1、调整准直光路:

第一步: 将光阑筒对准LED光源, 进行粗调。



第二步: 将光源与探头的距离调至316mm, 也就将下红线距离调至205.5mm。



第三步: 从观察屏背面观察亮斑的位置, 通过细调光阑筒的高低水平方位, 将光斑调至观察屏的十字叉丝中心。

图 13 光路调节过程

在进行第三步时, 可将小孔光阑放置在光阑筒末端, 然后进行准直调整

五、实验步骤：

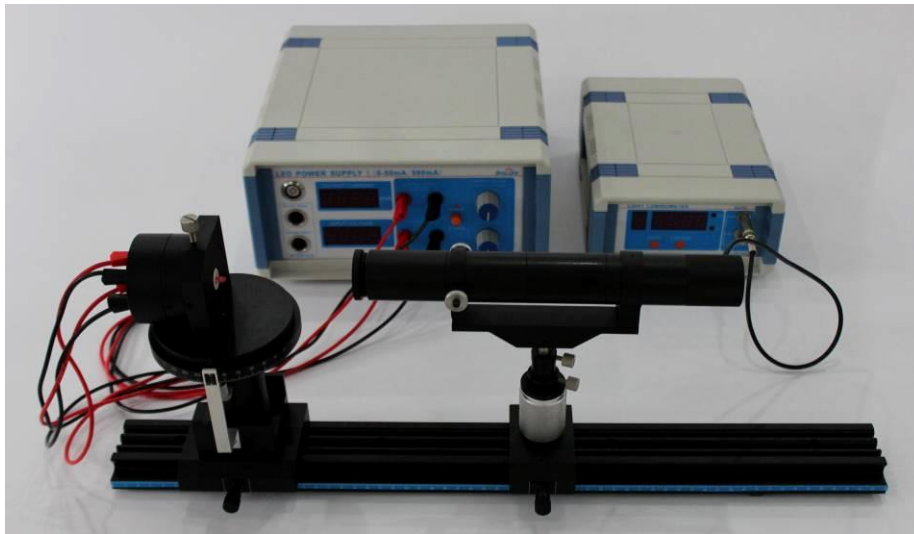


图 14 电流-光强测试实验搭建图

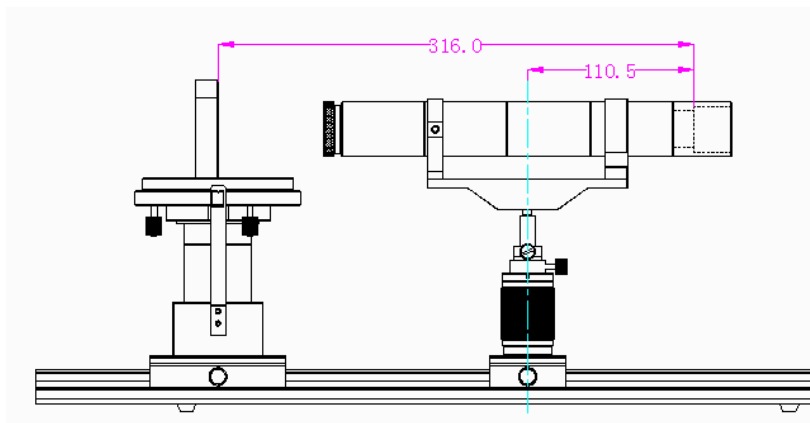




图 15 光路距离示意图

- 1、核对包含图 14 中所示实验部件。用 4 根实验导线连接好 LED 夹具电流端、电压端和恒流源电流输出端和电压输入端，将 LED 插装于夹具上，把夹具固定在光源调整平台上，此时应将转动盘上的刻线与中心线对齐。将照度计探头探头的保护盖拧下并置于光阑筒末端，并将照度计连接头插于面板的 A 端口（lux）。（注意：放置探头时轻拿轻放，避免破坏光阑筒的调整状态！）（注意：LED 的较长脚为正极，对应夹具的“+”端口）
- 2、将被测 LED 顶端与照度计探头的距离调整为 316mm（CIE127 标准推荐的光强测试标准 A 条件），如图 15 示意，实际调整时读取两个托板上的刻线距离差为 205.5mm 即可（ $316 - 110.5 = 205.5$ ）。
- 3、将恒流源电流调节旋钮均逆时针旋转到底，连接电源导线，连接 USB 线到计算机 USB 端口，打开恒流源电源。然后用 USB 连接线将照度计连接到计算机的 USB 端口。
- 4、照度量程的选择，具体做法为：按“Function”键，“lux”对应指示灯亮，打开电流源，将电流调至 20mA（按实验最大电流范围来调节，原则上最大测量电流不要超过 40mA），按“RANGE”键将量程调为“4”档，观察照度计是否溢出，溢出显示为“EEEE”，若溢出，再按“RANGE”键，依次将量程换为“3”“2”“1”，直至出现未溢出那一档量程为止，并将此档作为本次实验的照度量程，然后将电流调节旋钮回调至最小，显示为 0。
- 5、打开软件，将软件选为“光电测试实验”模块，选择“电流与光强”实验，点击打开端口“”，端口标志变亮，说明恒流源及照度计都与计算机正常通信。（注：若打开端口失败，

请检查USB线是否连接正确，或者关闭软件重新打开并再次尝试连接打开端口)

6、点击采集数据“”按钮，采集当前的电流值与光强值并显示到软件界面内，逐渐增大电流，电流步进间隔依实际测量的 LED 的工作电流而定（一般 1mA）。采集每个测量电流与其对应照度计照度值，直至电流达到最大为止（一般不超过 40mA），最终完成 LED 的电流与光强特性曲线的测量，导出并保存实验结果。

7、调节恒流源输出电流为零，依次更换红、绿、黄 LED，在软件中点击“清空”实验界面，重复步骤 1~6，分别完成并保存白、红、绿、蓝四种 LED 的电流-光强特性测试曲线。最后可在实验界面内导入前面所做的实验结果，进行对比分析（注意导入数据之前先点击“清空”按钮，清空当前界面内的数据）。

六、分析：

- 1、对比观察四组曲线，分析光强响应异同的原因？
- 2、分析电流-光强曲线，分析光强随电流增大的变化趋势？

实验二 光空间分布测试实验

2.1 测量 LED 输出光空间分布特性

一、实验目的

- 1、掌握 LED 的光空间分布曲线（配光曲线）的概念及其测量方法。
- 2、掌握 LED 半强度角和偏差角的概念及其测量方法。

二、实验原理

发光二极管的芯片结构及封装方式不同，输出光的空间分布也不一样，图 4-35-23 给出其中两种的分布特性。图 16 的发射强度是以最大值为基准，此时方向角定义为零度，发射强度定义为 100%。当方向角改变时，发射强度相应改变。发射强度降为峰值的一半时，对应的角度称为方向半值角。

发光二极管出光窗口附有透镜，可使其指向性更好，如图 16（a）的曲线所示，方向半值角大约为 $\pm 7^\circ$ 左右，可用于光电检测，射灯等要求出射光束能量集中的应用环境。图 16（b）所示曲线为未加透镜的发光二极管，方向半值角大约为 $\pm 50^\circ$ ，可用于普通照明及大屏幕显示等要求视角宽广的应用环境。

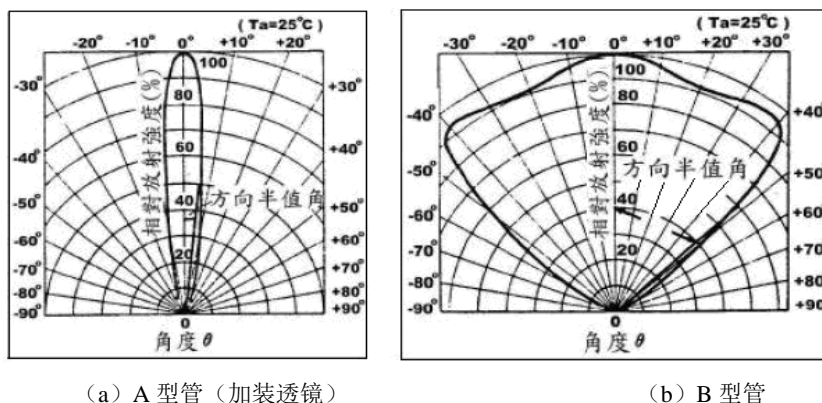


图 16 两种发光二极管的角度特性曲线图

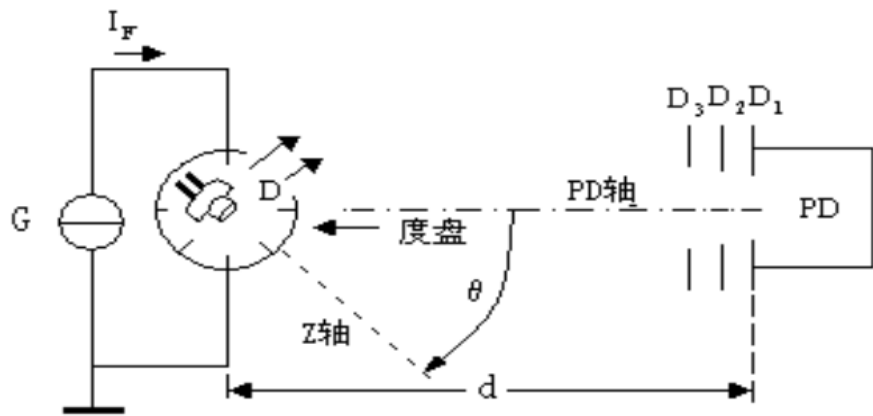


图 17 LED 光空间分布测量原理图

图 17 为光空间分布、偏差角、半强度角的测试原理图，D 为含角度盘的光源夹具，用于测角度和固定光源，G 为电流源，PD 是包括面积为 A 的光阑 D1 的光度探测器，D2、D3 为消除杂散光光阑，d 为被测 LED 器件与光阑 D1 之间的距离， θ 为 Z 轴和探测器轴之间的夹角。

三、实验设备清单

序号	名称及规格参数	型号	数量
1	导轨 长 600mm	BEM-5021-06	1
2	托板，宽 50mm	BEM-5204-50	2
3	光源调整平台， $\Phi 110\text{mm}$ ，360 刻度	BEM-5214	1
4	光阑筒带支架，270mm	BEM-5215	1
5	升降调节架，可调范围 25mm	BEM-5205-25	1
6	观察屏， $\Phi 30\text{mm}$	BEM-5410	1
7	可调恒流电源，0-50/500mA	BEM-5036	1
8	照度计及探头，CHL 可见光/0.6m	BEM-5409	1
9	LED 灯夹具及夹具支架， $\Phi 50\text{mm}$	BEM-5217	1
10	电源线	BC-100075	1
11	USB 线	BC-100080	2
12	4mm 香蕉插头导线，红色，800mm	BC-100084	2
13	4mm 香蕉插头导线，黑色，800mm	BC-100083	2

四、实验搭建

参考实验 1.2 的电流与光强特性实验搭建。

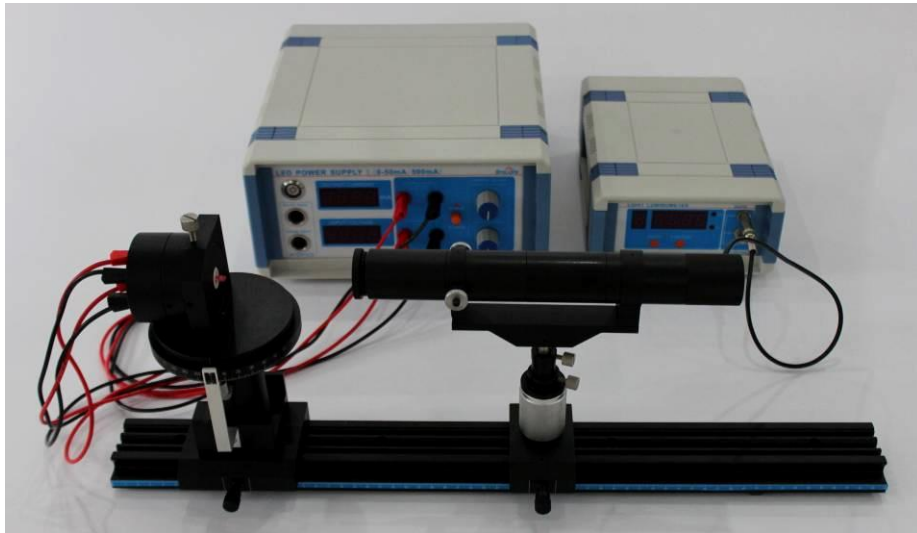



图 18 光空间分布测试实验搭建图

五、实验步骤

- 1、核对上图 18 中所示实验部件。用 4 根实验导线连接好 LED 夹具电流端、电压端和恒流源电流输出端和电压输入端，将 LED 插装于夹具上，把夹具固定在光源调整平台上，此时应将转动盘上的刻线与中心线对齐。将照度计探头探头的保护盖拧下并置于光阑筒末端，并将照度计连接头插于面板的 A 端口（lux）。（**注意：LED 的较长脚为正极，对应夹具的“+”端口**）
- 2、用 USB 连接线将照度计连接到计算机的 USB 端口。（**注意：此时只需要照度计与电脑用 USB 数据线相连接，而恒流源不需要与电脑连接，应从电脑上拔掉**）。
- 3、照度量程的选择，具体做法为：按“Function”键，“lux”对应指示灯亮，打开电流源，将电流调至 20mA（按实验最大电流范围来调节，原则上最大测量电流不要超过 40mA），按“RANGE”键将量程调为“4”档，观察照度计是否溢出，溢出显示为“EEEE”，若溢出，再按“RANGE”键，依次将量程换为“3”“2”“1”，直至出现未溢出那一档量程为止，并将此档作为本次实验的照度量程，然后将电流调节旋钮回调至最小，显示为 0。
- 4、打开软件，将软件选为“光空间分布测试实验”界面，点击打开端口“”，端口标志变亮，说明照度计与计算机正常通信。（**注：若打开端口失败，请检查USB线是否连接正确，或者关闭软件重新打开并再次尝试连接打开端口**）
- 5、记下此时固定架转动盘中心线对应角度盘上角度值 θ_0 。（如图4-35-26， $\theta_0=0$ ），然后将角度盘与固定架转盘共同向左或者向右旋转 90° ，作为空间起始角 -90° 的位置（软件默认从 -90° 开始采集至 $+90^\circ$ ）。

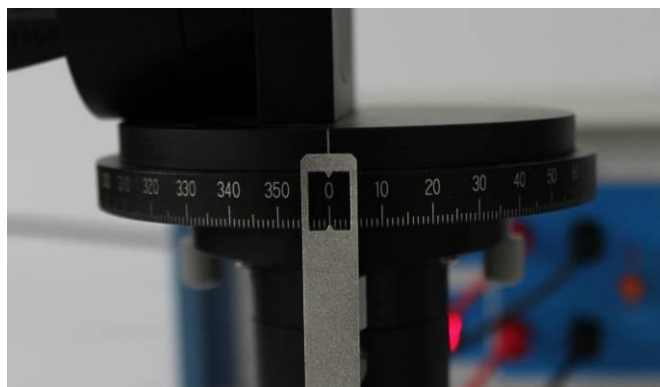



图19 角度读取方法

- 6、将恒流源电流调节旋钮均逆时针旋转到底，打开电源开关，将电流调节到 LED 对应的工作

电流处，一般为 20mA。

7、以 -90° 位置的角度作为起始状态，在软件中设置好角度步长间隔，然后按照设置的角度步长，转动角度盘，每转动一个步长，就在软件界面内点击采集数据“”按钮，采集当前的角度位置的光强值，直到转动到 $+90^\circ$ 的位置为止。数据采集完成后，点击“画图√”按钮，即可将光空间分布曲线在软件界面内描绘出来。然后点击“导出数据”按钮，保存当前的配光曲线。

角度步长选择建议：圆头 LED 推荐 45° 范围以内角度步长内用 2° 以内的角度步长，其余范围可随意灵活选择，草帽管推荐 60° 范围以内角度步长建议 5° 以内，总之，按照预计有效发光范围合理选择角度步长。

8、更换 LED，重复上述步骤，完成其他封装形状 LED 灯的光空间分布曲线。最后可在实验界面内导入前面所做的实验结果，分析异同（注意导入数据之前先点击“清空”按钮，清空当前界面内的数据）。

注意：尽量将电流输出调整为零，然后关闭电源之后，再进行更换 LED 灯，以免造成 LED 灯的不可逆性损坏。

六、计算：

- 1、计算半强度角；
- 2、计算偏差角；

七、分析：

- 1、什么是配光曲线，谈谈你对配光目的的认识？
- 2、对比观察不同封装 LED 光空间分布的异同，分析光空间分布与 LED 封装透镜的关系？
- 3、根据你对 LED 实际应用的认识，说说你对窄视角、大视角、偏视角等光空间分布 LED 分别可应用到哪些实际场合？

拓展：

- 1、请从以下问题中挑选一个进行资料阅读，并用自己的话总结：
 - 1) micro-LED 的优势及待解决的问题。
 - 2) LED（发光二极管）、LD（激光器）、SLD（超辐射二极管）的区别。
 - 3) 蓝光 LED 的发展。
 - 4) 量子点（quantum dot）显示。