



# 发光二极管

## ——第51届国际物理奥林匹克竞赛实验第2题

张春玲 宋峰

(南开大学物理科学学院 3000071)

第51届国际物理奥林匹克竞赛的实验分为两题,第一题是“非理想电容器”,主要研究电容器的性质,包括测量不同温度下和不同电压下两种电容器的电容值,确定温度和电压对电容器电容值的影响,确定负温度系数热敏电阻(NTC热敏电阻)常数,确定测量误差的来源等。第二题“发光二极管”为在脉冲驱动和连续电流驱动两种驱动模式下测试发光二极管(LED)的伏安特性。两道题目共用一套实验器材,每题满分均为10分。本文将对该题进行详细介绍。

### 1. 实验仪器介绍

两个实验题目共用实验器材如图1所示。

1) 含有待测元件和测量模块的印刷电路板

(Printed circuit board, PCB),具体包括:

- +9V, -9V 恒压源(各有2个相同的端子)
  - 2个相同的接地端子(GND)
  - 2个相同的电容端子(IN)
  - 电容切换开关(可切换至电容器  $C_1$  或电容器  $C_2$ )
  - 高阻抗电压表(内置在电路板中)
  - 带有加热器和温度传感器的恒温器
  - 待测电容器  $C_1$  和  $C_2$
  - 待测 LED, 与恒流源和电压表相连
  - 重置按钮(RESET)
  - USB 供电接口
  - 六针数据线接口,用于连接平板电脑
- 2) 电路板电源,具有 USB Micro-B 接头

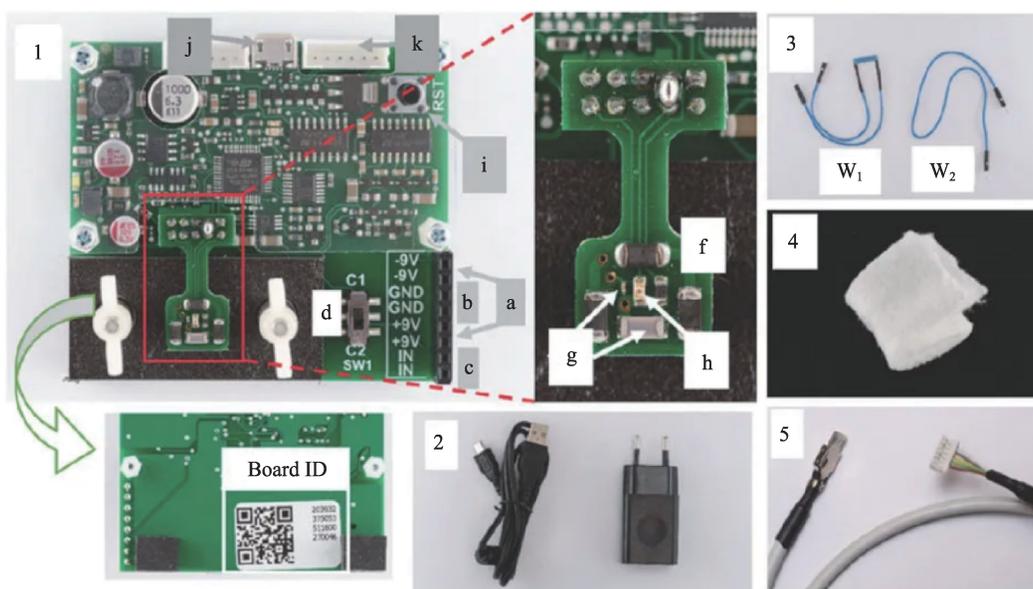


图1 实验器材

- 3) 2根跳线:  $W_1$ (接有 100 M 电阻  $r_1$ )和  $W_2(0 \Omega)$
- 4) 恒温器的绝热材料
- 5) 数据线,用于连接电路板与平板电脑
- 6) 运行实验程序的触摸屏平板电脑(提供实验程序的使用说明)
- 7) 温度计

其中,恒温器的温度可以通过调节加热电流以及使用图 2 所示绝热材料与小塑料板、螺钉的结构进行控制,并假设恒温器上的电容器、热敏电阻和 LED 等元件之间的热平衡可瞬时达到,没有明显的延迟。恒温器的温度由负温度系数的热敏电阻测量,热敏电阻的电阻值与绝对温度的关系为

$$R(T) = R_0 e^{B/T} \quad (1)$$

其中,  $B=3500 \text{ K}$ ,  $R_0$  为热敏电阻常量。在第一题中,要求通过实验测量并推导出  $R_0$  的数值。这里给出其参考数值为  $R_0=0.0341 \Omega$ 。

## 2. 实验简介

与白炽灯由恒定电压驱动不同,LED 通常由恒

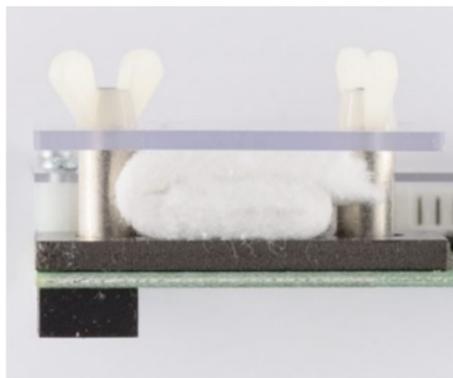


图 2 绝热材料固定照片

定电流驱动。工作电流以及 LED 半导体芯片的温度都会影响 LED 上的电压。本实验题旨在研究 LED 的电学和热学特性,即研究 LED 电压与 LED 电流  $I_{LED}$  和芯片温度  $T_j$  之间的关系:

$$U_{LED} = f(I_{LED}, T_j) \quad (2)$$

LED 半导体芯片与印刷电路板(PCB)的温度分别为  $T_j$ 、 $T_{PCB}$ ,二者之间的热阻  $\Delta T/P$  与电功率  $P$  有关,满足下式:

$$\frac{\Delta T}{P} = \frac{(T_j - T_{PCB})}{P} \quad (3)$$

实验中通过加热电流来控制 PCB 的温度,使用平板电脑中的程序自动采集伏安特性数据,其中测量 PCB 的温度时,需使用第一题所得到的  $R_0$  值。实验电路如图 3 所示。

注意:LED 可被连续电流或短电流脉冲驱动。在短电流脉冲驱动情况下,可认为脉冲持续时间足够短以避免 LED 的发热(例如脉冲持续时间 1 ms,间隔时间至少 100 ms),并且  $T_j = T_{PCB}$ 。在连续模式下,  $T_j > T_{PCB}$ ,可以计算出热阻  $\Delta T/P$ 。

## 3. 实验

A 部分:不同温度下的伏安特性(5分)

第二题和第一题的加热方法相同。因此,可使用第一题中得到的结果将热敏电阻电压与温度联系起来,或者使用以下近似公式:

$$T(U) = \frac{3500}{9.9 - \ln\left(\frac{1}{U} - 0.3\right)} \quad (4)$$

其中,  $T$  是热敏电阻温度,单位为 K,  $U$  是热敏电阻

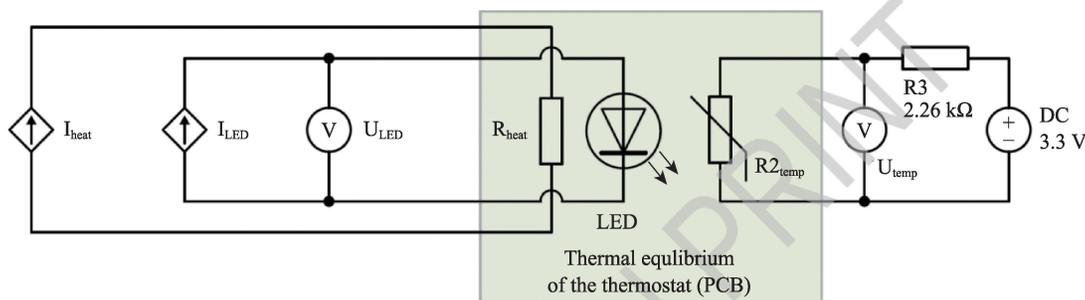


图 3 LED 实验中使用的实验装置。LED 由恒定电流(连续或脉冲模式)驱动,正向电压由高阻抗电压表测量

电压,单位为V。

在脉冲模式下,测量并绘制出从室温到80℃温度范围内的LED的电流与电压的关系图。

A.1 测量并且画出室温以及40、60、80℃下,3~50 mA 驱动电流的电流-电压关系曲线  $I_{LED\_pulsed}$  ( $U_{LED\_pulsed}, T$ )。所有曲线画在同一图中。(2.5分)

A.2 写出室温以及40、60、80℃下,3、10、20、40 mA 驱动电流  $I_{LED\_pulsed}$  时的  $U_{LED\_pulsed}$  值。(1.0分)

A.3 由 A.2 题所列数据点画出  $U_{LED\_pulsed}$  ( $I_{LED\_pulsed}, T$ ) 关系曲线,并从图上估算3、10、20、40 mA 时电压对温度的线性依赖关系  $\Delta U(I)/\Delta T$ 。(1.5分)

B 部分:连续驱动电流模式下测量LED的伏安特性(3.5分)

B.1 在加热器关闭和连续驱动模式下,测量并画出3~50 mA 的电流-电压关系图  $I_{LED\_continuous}$  ( $U_{LED\_continuous}$ )。写出3、10、20、40 mA 时的  $U_{LED\_continuous}$ 、PCB 温度  $T_{PCB}$  以及电压差  $\Delta U = U_{LED\_pulsed} - U_{LED\_continuous}$  的值。(1.5分)

B.2 由于LED的电阻不是常量(依赖于电流),因而用动态电阻  $\frac{dU}{dI}$  来表示。利用 B.1 题中所画出的图计算LED的动态电阻的倒数  $1/\frac{dU}{dI} = \frac{dI}{dU}$ 。写出3、10、20、40 mA 时的  $dI/dU$  值并在图上画出这些点处的切线  $\frac{dI}{dU}$ 。(0.5分)

B.3 在连续驱动模式下,计算并画出半导体芯片温度  $T_i$  与 PCB 温度  $T_{PCB}$  的温差  $\Delta T(P)$  与电功率的关系曲线(在电流为3、10、20、40 mA 时)。从图上估算LED的线性热阻  $\frac{\Delta T}{P}$ 。(1.5分)

注意:假设LED消耗的电能全部转化为热能,以光辐射形式消耗的能量可忽略不计。

C 部分:计算由温度导致的LED电流漂移(1.5分)

LED通常由恒定电流驱动,而不是恒定电压驱动。在任务B.1中测得了20 mA 电流时的恒定电压值  $U_{20\text{mA}}$ 。假设在此电压下,用20 mA 的电流来驱动LED。

C.1 利用B部分计算出的LED特性参数,在电压保持恒定(B.1中测得的电压  $U_{20\text{mA}}$ )、PCB 温度为0℃和40℃时,估算LED中实际流过的电流值。(1.5分)

## 背景知识

发光二极管,简称为LED,由含镓(Ga)、砷(As)、磷(P)、氮(N)等元素的化合物制成,是目前最常用的发光器件,其发光原理是通过电子与空穴复合释放能量而发光。LED最早出现于1962年,随着技术的进步,已经生产出各种波长、有机或无机、不同尺寸的LED,广泛用于照片和显示等领域,如仪器仪表、交通信号灯、景观照明、手机等,具有节能、环保、响应速度快等特点,其伏安特性具有不同的特点,本题对此进行研究。

LED与普通二极管一样,由一个PN结组成,具有单向导电性。当给发光二极管加上正向电压时,从P区注入到N区的空穴和由N区注入到P区的电子,在PN结附近复合,产生自发辐射的荧光。PN结加反向电压时,少数载流子难以注入,故不发光。像晶体二极管、热敏电阻等类元件,它们的伏安特性曲线不是一条直线,这类元件称为非线性元件,其阻值不是常数。二极管的典型伏安特性曲线如图4所示。正向伏安特性曲线很陡,使用时必须串联限流电阻以控制通过二极管的电流。当反向

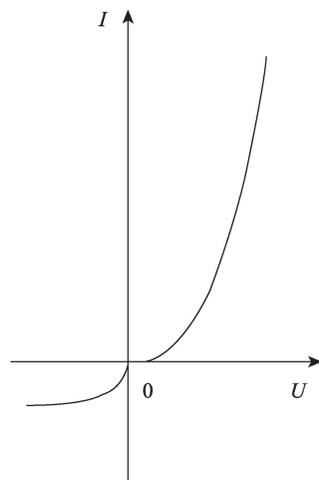


图4 二极管伏安特性曲线

电压达到一定值时,发光二极管会被反向击穿。

本题要求LED的伏安特性以两种模式进行测量:脉冲(A部分)和连续(B部分)。连续运行LED会产生明显的热量,而以脉冲模式运行LED可以最大限度地减少和忽略自热效应。本题需要通过程序来操控实验,要求考生必须能够正确运行自动 $I_{LED}$  ( $U_{LED}$ )测量程序,对于非线性关系的两个物理量,掌

握通过插值法来提取所需的点,并能够准确绘图。

\* \* \* \* \*

欢迎读者朋友参与“物理奥赛”系列专题的有奖竞答活动,并在答案公布前将您的解答发送至[aosai@ihep.ac.cn](mailto:aosai@ihep.ac.cn)邮箱。对于参与并答对每期题目的前20名读者,编辑部将赠阅1年《现代物理知识》杂志。

## 科苑快讯

### 通过人工智能破解化学密码制造更耐用的高性能太阳能电池板



美国伊利诺伊大学(University of Illinois)研究人员将人工智能(artificial intelligence, AI)与自动合成相结合,显著提高了太阳能分子的稳定性,使其比以前的分子稳定4倍,揭示了影响光稳定性的化学因素。新方法揭示了稳定性的潜在化学原理,为有机太阳能电池的分子设计提供了新见解。他们在《自然》(Nature)期刊上发表了论文。

虽然AI是个强大工具,但是人类尚不清楚它是如何做决定的,这被称为“人工智能黑匣子(AI black box)”,而他们把黑匣子变成了透明玻璃球。

其研究动机来自改进有机太阳能电池,使之基于轻薄柔软的材料,而不是目前广泛使用的沉重硅基电

池板。高性能材料在光线下会退化,因此其稳定性令人困扰。

新方法被称为“闭环转移(closed-loop transfer)”,研究人员要求AI优化光收集分子的光稳定性。AI提供合成何种化合物的建议和探索,每轮探索和建议都在不断接近预期结果。5轮闭环实验产生了30种新的候选化学物质,自动化模块化合成升级了AI探索功能。

闭环转移过程不是简单地以人工智能选出的最终产品结束查询,而是进一步揭示使新分子更稳定的隐藏规则。闭环实验进行的同时,另一套算法不断观察所制造的分子,开发出预测光稳定性的化学特征模型。这些模型在实验结束后会为实验室提供可测试假设,要比盲目地寻找化学物质简单得多。

研究人员验证假设,研究了3种结构不同的光收集分子,找到一个特定高能区域具有他们确定的化学性质,并证实选择合适的溶剂可使分子的光稳定性提高4倍。他们相信这种方法可以解决其他材料问题,比如设想一个界面,输入研究人员想要的化学功能,AI将提出测试建议。

(高凌云编译自2024年8月28日SciTechDaily网站)