



发光二极管 ——第51届国际物理奥林匹克竞赛 实验第2题解答

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于2021年7月17日至25日由立陶宛承办。实验第二题“发光二极管”为在脉冲驱动和连续电流驱动2种驱动模式下测试发光二极管(LED)的伏安特性,满分10分。本文参考官方解答,给出该题的详细答案。

A.1 因为在题目中已经指出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,而且在脉冲模式下, $T_j = T_{PCB}$, 所以为了测量室温以及40℃、60℃、80℃下LED在3~50 mA驱动电流下的电流-电压关系,需要首先根据第一题中(参见本刊2024年第5期)得到的结果将热敏电阻电压与温度联系起来,或者使用题目中给出的公式(5),即下面近似公式确定温度与电压的关系,从而确定LED为室温以及40℃、60℃、80℃。

$$T(U) = 3500 / (9.9 - \ln(1/U - 0.3)) \quad (1)$$

利用平板电脑中的程序自动采集LED的伏安特性数据,室温以及40℃、60℃、80℃下LED在3~50 mA驱动电流下的电流-电压关系曲线如图1所示。对于线性分布的实验数据,一般测量数据量在8组是比较适合的。当实验数据为非线性关系时,就要测量更多的数据以准确画出曲线。对于本题,要求至少有15个数据点。画图时要准确标记坐标轴和测量范围,并且曲线平滑。

A.2 按题目要求,将测得的室温以及40℃、60℃、80℃下,3、10、20、40 mA驱动电流 I_{LED_pulsed} 时的 U_{LED_pulsed} 值填入表格,见表1。表格中包含16个数据,每个数据的分数占本题总分数的 $\frac{1}{16}$ 。竞赛

中分数的给定主要取决于测量结果的准确性,即所有测量值中误差最大的五个结果的误差的平均值。若该值在3%以内,得满分;在4%~7%之间,得分为满分值的0.7;在8%~10%之间,得分为满分值的0.5;在11%~12%之间,得分为满分值的0.2。

A.3 根据表1中数据点,画出 $U_{LED_pulsed}(I_{LED_pulsed}, T)$ 关系曲线,如图2所示。图中4条线都应该呈现明确的线性趋势,坐标轴和测量范围应准确标出。

计算得到3、10、20、40 mA不同脉冲电流下的电压对温度的线性依赖关系 $\frac{\Delta U(I)}{\Delta T}$, 即曲线斜率,见表2。竞赛中数据的得分也是根据结果的准确

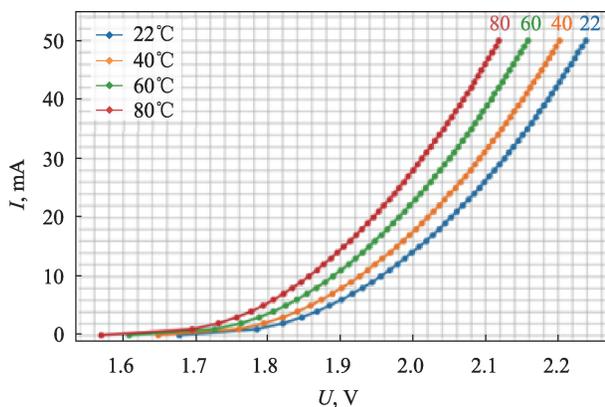


图1 不同温度下LED的电流-电压关系曲线

表1 不同温度与脉冲电流下的电压值(V)

I_{LED}	室温 22℃	40℃	60℃	80℃
3 mA	1.844	1.818	1.785	1.754
10 mA	1.954	1.925	1.888	1.855
20 mA	2.048	2.020	1.982	1.945
40 mA	2.186	2.150	2.108	2.070

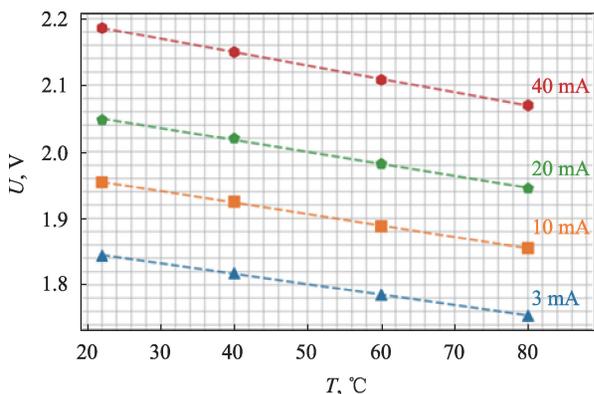


图2 由表1中数据得到的 $U_{LED, pulsed}(I_{LED, pulsed}, T)$ 关系曲线

表2 不同脉冲电流下的 $(\Delta U(I)/\Delta T)$

I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
$\frac{\Delta U(I, T)}{\Delta T}$	-1.55 mV/K	-1.7 mV/K	-1.8 mV/K	-2.0 mV/K

性。如果 $\Delta U(I)/\Delta T$ 的误差在 5% 以内, 得本题的满分, 若误差在 6%~10%、11%~15% 或 16%~20% 之间, 所得分数分别为本题的满分值乘以加权系数 0.7、0.5 和 0.2。

B.1 连续驱动模式下, 3mA~50 mA 的 LED 的电流-电压关系曲线 $I_{LED, continuous}(U_{LED, continuous})$ 如图 3 所示。画图时要标明坐标轴和分度值, 数据在正确的测量范围内, 曲线平滑, 并且在确定的点画出斜率。同样, 因为参量之间的关系不是线性关系, 要保证数据量充足才能够准确描绘出曲线的形状, 对于本题要求至少有 15 个数据点。

驱动电流 I_{LED} 为 3、10、20、40 mA 时的 LED 电压 U_{LED} 、PCB 温度 T_{PCB} 、电压差 $\Delta U = U_{LED, pulsed} - U_{LED, continuous}$ 见表 3。竞赛中虽然本部分要填写完整的表格, 但

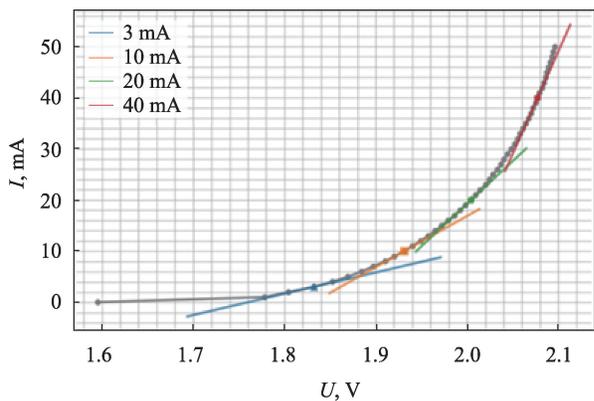


图3 连续驱动模式下 LED 的电流-电压关系曲线

表3 不同驱动电流下的 LED 相关参数

I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
U_{LED}	1.830 V	1.93 V	2.00 V	2.08 V
ΔU	0.014 V	0.024 V	0.048 V	0.106 V
T_{PCB}	~25~30 °C	~30~35 °C	~33~37 °C	~35~40 °C
T_j	~32.3 °C	~43 °C	~49 °C	~76.5 °C

是只对 U_{LED} 和 T_{PCB} 进行评分, 每个单元格的分值为本小题总分的 1/8, 并在考虑误差的情况下去乘以加权系数。不对 T_j 和 ΔU 进行评估, 是因为它们可能取决于室温等因素。

B.2 利用 B.1 题中所画出的图, 计算 3、10、20、40 mA 时 LED 的动态电阻的倒数 $1/\frac{dU}{dI} = \frac{dI}{dU}$, 如表 4。在图 3 中画出这些点处的切线 $\frac{dI}{dU}$ 。

B.3 试题要求计算在电流为 3、10、20、40 mA 时半导体芯片温度 T_j 与 PCB 温度 T_{PCB} 的温差 $\Delta T(P)$ 。 ΔT 的计算公式如式(2), 计算时要用到 A.2、B.1 和 A.3 部分的数据。计算结果见表 5。

$$\Delta T = \frac{U_{plused} - U_{continuous}}{\frac{\Delta U(I, T)}{\Delta T}} - (T_{PCB, continuous} - T_{PCB, plused}) \quad (2)$$

ΔT 与电功率的关系曲线如图 4 所示。

注意: 在 B.1 题测量过程中, PCB 的温度不是固定值, 在大电流下 PCB 的温度会升高到比室温高 7 °C, 在计算 ΔT 时必须要考虑这一因素。可以认为 LED 的发热等于电功率 ($P = I_{LED} \times U_{LED}$), 忽略通过发光消耗的能量。图 4 的曲线应具有显著的线性趋势。根据图线的斜率求得 LED 热阻 $\frac{d}{dP} (\Delta T(P)) = 400 \text{ K/W}$ 。

此外, 试题当中要求的是 3、10、20、40 mA 时的数据采集和画图, 并由图中曲线的斜率计算 LED 热

表4 不同驱动电流下 LED 的动态电阻倒数

I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
$\frac{dI}{dU}$	41.6 mA/V	100 mA/V	166.7 mA/V	400 mA/V

表5 不同驱动电流下半导体芯片温度 T_j 与 PCB 温度 T_{PCB} 的温差 ΔT

I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
ΔT	5.0 K	12 K	20 K	37 K

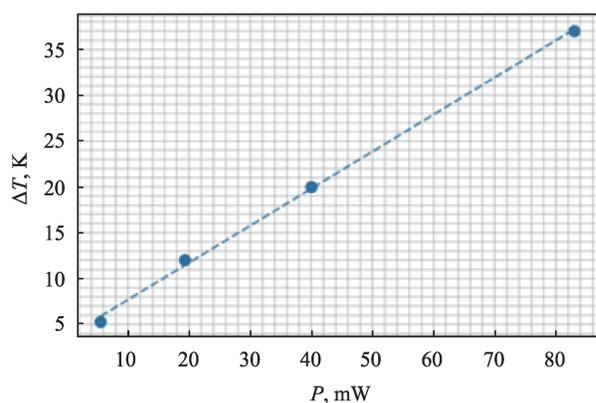


图4 半导体芯片温度 T_i 与 PCB 的温度 T_{PCB} 的温差 ΔT 与电功率的关系曲线

阻。但是,对于一般的作图,当两个参量之间满足线性关系,要采集更多组数据,通常要求8组数据,至少也要采集5组数据,而不是本题当中的4组数据。

C.1 当电压稳定在 $U_{LED}=U_{20\text{mA}}$ 时,由温度导致的实际流过 LED 的电流计算式为公式(3),公式当中的 $\frac{\Delta U(20\text{mA}, T)}{\Delta T}$ 和 $\frac{dI(20\text{mA}, U)}{dU}$ 要在 A.3 和

B.2 部分的数据中查找。

$$I_{LED}(U_{20\text{mA}}, T) = 20\text{mA} - (T - T_{\text{room}}) \cdot \frac{\Delta U(20\text{mA}, T)}{\Delta T} \cdot \frac{dI(20\text{mA}, U)}{dU} \quad (3)$$

计算得到 PCB 温度为 0°C 和 40°C 时 LED 中实际流过的电流值分别为 13.3mA 和 25.7mA 。

本题与第一题实验是一脉相承的。本实验考试仪器是集成化电路板和部分小元器件,实验操作通过平板电脑上的软件进行,需要适应和熟练使用。根据题目中的操作要求,逐个接近实验,不难得到需要的结果。

* * * * *

欢迎读者朋友参与“物理竞赛”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 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

科学家发现可能引发孤独症的人类独有基因

研究人员发现了两种影响突触发育的人类特异性基因,可能有助于解释孤独症等神经发育障碍,为治疗提供了新的途径。

由 Pierre Vanderhaeghen 教授领导的一个研究小组,与哥伦比亚大学(Columbia University)和巴黎高等师范学院(Ecole Normale supsarmrieure)的科学家一起,发现了只存在于人类 DNA 中的两个基因和一个名为 SYNGAP1 的关键基因之间的联系。该基因在智力残疾和孤独症谱系障碍中发生突变,他们的研究发表在《神经元》(*Neuron*)期刊上。

以前曾有研究人员发现,将 SRGAP2B 和 SRGAP2C 两个人类独有基因引入小鼠大脑皮层神经元时,其可以减缓突触的发育。但关闭后,突触的发育速度会显著加快。这反映了在某些形式的孤独症谱系障碍中观察到的突触加速发育。

Vanderhaeghen 研究组研究了 SRGAP2B 和 SRGAP2C 对人类神经元发育显著影响背后的潜在遗传机制。他们专注于 SYNGAP1 基因,这是一种已知

与智力残疾和孤独症谱系障碍有关的重要疾病基因。他们发现 SRGAP2 和 SYNGAP1 基因共同作用,控制人类突触发育的速度。特别是 SRGAP2B 和 SRGAP2C 增加了 SYNGAP1 基因的水平,甚至可以逆转缺乏 SYNGAP1 基因的神经元的一些缺陷。这一发现增加了我们对人类特异性分子如何影响神经发育疾病途径的理解,揭示了为什么这些疾病在我们物种中更为普遍。

Vanderhaeghen 教授认为,这些工作使我们对形成人类突触缓慢发展的分子机制有了更清晰的了解。与人类大脑进化有关的基因也有可能改变特定大脑疾病的表达。这类研究可能具有重要的临床意义:更多的研究可以用于了解人类特定的大脑发育机制如何影响学习和其他行为,以及其失调会怎样导致大脑疾病。可以想象,一些人类特有的基因产物可能成为创新的药物靶点。

(高凌云编译自2024年10月17日 SciTechDaily 网站)