

普通高等教育“十二五”规划教材
国家级光电工程实验教学示范中心系列实验教材

测控技术与仪器 专业实验教程

主 编 王凌云
副主编 刘 红 苏 拾

清华大学出版社

测控技术与仪器 专业实验教程

主 编 王凌云

副主编 刘 红 苏 拾

参 编 张 宁 王 菲 孙小伟 张 晖 杨成禹

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书针对测控技术与仪器专业的多门专业课,结合高校专业设置特点和实验设备的具体情况,在作者多年教学实践的基础上编写而成。

本书包含了测控技术与仪器专业的全部专业课的实验,涵盖范围广。全书分为8篇。第1篇为光电检测技术实验;第2篇为传感与检测技术实验;第3篇为精密测量技术实验;第4篇为智能仪器原理及应用实验;第5篇为测试与计量技术基础实验;第6篇为虚拟仪器实验;第7篇为激光原理及应用实验;第8篇为光电测控技术及系统实验。

本书适合作为大专院校测控技术与仪器专业的通用实验教材。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

测控技术与仪器专业实验教程 / 王凌云主编. —北京:清华大学出版社, 2013

ISBN 978-7-302-33295-4

I. ①测… II. ①王… III. ①测量系统—控制系统—高等学校—教材 ②电子测量设备—高等学校—教材 IV. ①TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 168808 号

责任编辑:孙 坚 洪 英

封面设计:傅瑞学

责任校对:刘玉霞

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:19

字 数:448 千字

版 次:2013 年 9 月第 1 版

印 次:2013 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:38.00 元

产品编号:051559-01

前 言

本书针对测控技术与仪器专业的多门专业课,结合高校专业设置特点和实验设备的具体情况,在作者多年教学实践的基础上编写而成。本书旨在提高学生的动手与动脑能力,对测控技术与仪器专业课程体系实验环节进行了相关的研究,进一步突显专业特色,明确课程定位,规范实验教学大纲,完善现有的实验课程计划。本书的编写有鲜明的专业方向,十分重视工程实践经验和工程实践能力的培养。

本书共 8 篇。第 1 篇为光电检测技术部分,包括光伏型器件、光导型器件、半导体制冷、铁磁材料等 9 个实验,并在最后给出了 8 个光电检测课程设计题目及具体要求;第 2 篇为传感与检测技术部分,系统地介绍了传感器的基本特性,包括差动变压器、电容式传感器、涡流传感器、霍尔传感器、压电传感器及光纤传感器等 9 个实验;第 3 篇为精密测量技术部分,包括基于多种测量设备的测量方法及误差分析实验;第 4 篇为智能仪器原理及应用部分,包括智能仪器的主要部分 A/D 转换、D/A 转换、直流电机控制、步进电机控制及温度传感器的硬件组成、硬件电路设计及具体软件编程;第 5 篇为测试与计量技术基础部分,包括典型信号的时域、频域分析、信号幅度调制与解调及钢管无损检测等实验原理及具体实验内容;第 6 篇为虚拟仪器部分,包括基于 NI ELVIS II 软件设计的电子温度计、运放滤波器、数字 I/O 口及 LED 交通灯等 6 个实验;第 7 篇为激光原理及应用部分,包括激光频率分裂及模式竞争、高斯光束传输变换特性、激光光纤耦合、半导体激光器、脉冲固体激光器等 10 个实验;第 8 篇为光电测控技术及系统部分,讲述了 Signal VBScript 编程语言、频率混叠和采样定理、采样信号量化误差分析定理的分析与验证,给出了典型信号的时域波形分析、波形的合成和分解、FFT 谱分析中的能量泄漏及用窗函数提高 FFT 谱精度等 10 个实验。

本书由王凌云主编,具体编写分工如下:王凌云编写第 4 篇、第 6 篇;刘红编写第 5 篇;苏拾、孙小伟编写第 3 篇;张宁编写第 1 篇;张晖编写第 2 篇;王菲编写第 7 篇;杨成禹编写第 8 篇。

本书适合作为测控技术与仪器专业通用实验教材,包含了此专业全部专业课程的实验,涵盖范围广,可供此专业的所有学生使用。

限于作者水平,书中难免存在错误和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者
2013 年 7 月

第 1 篇 光电检测技术	1
第 1 章 普朗克常量测定仪	1
第 2 章 光敏电阻特性参数及其测量	10
第 3 章 电阻元件伏安特性测量实验仪	15
第 4 章 太阳能电池特性测试实验仪	19
第 5 章 硅光电池特性实验仪	22
第 6 章 半导体制冷实验仪	30
第 7 章 铁磁材料居里温度实验仪	36
第 8 章 PN 结正向压降温度特性测试仪	40
第 9 章 光电检测课程设计	43
第 2 篇 传感与检测技术	45
第 1 章 传感器基本特性概述	45
第 2 章 电桥性能测试	47
第 3 章 差动变压器性能测试	51
第 4 章 电容式传感器位移测量	54
第 5 章 涡流传感器	56
第 6 章 霍尔传感器位移测量	60
第 7 章 压电传感器加速度测量	61
第 8 章 光纤传感器	62
第 9 章 热电偶温度测量	65
第 3 篇 精密测量技术	69
第 1 章 用接触式干涉仪检定量块	69
第 2 章 用卧式测长仪测量内径	75
第 3 章 用投影仪测量菱形组合件	78
第 4 章 在万能工具显微镜上用测量刀测锥度误差	82
第 5 章 用自准直测量仪测量车床导轨的直线度误差	88
第 6 章 平面度误差的测量	93
第 7 章 用光学分度头测量圆度误差	98
第 8 章 用电动轮廓仪测量表面粗糙度	103

第 9 章 三坐标测量机(CMM)对典型零件的测量和评价	107
第 10 章 激光跟踪仪测量空间曲面轮廓	112
第 11 章 激光雷达测量工具球尺寸	116
第 12 章 Indoor GPS(iGPS)三维空间点的获取	120
第 13 章 基于视觉测量的乒乓球图像特征提取	125
第 14 章 扫描隧道显微镜观察纯金表层原子结构及表面相变	129
第 15 章 原子力显微镜对金的观测	133
第 4 篇 智能仪器原理及应用	139
第 1 章 基于 ADC 0809 的数据采集系统	139
第 2 章 D/A 转换实验	144
第 3 章 直流电机控制实验	147
第 4 章 步进电机控制实验	150
第 5 章 温度传感器实验	154
第 5 篇 测试与计量技术基础	157
第 1 章 利用李萨如图形测频实验	157
第 2 章 典型信号的时域波形分析	160
第 3 章 典型信号的频谱分析	164
第 4 章 典型信号的相关分析	168
第 5 章 信号幅度调制与解调实验	172
第 6 章 PC 上的测量资源应用实验	177
第 7 章 称重实验台应用实验	183
第 8 章 钢管无损检测实验	186
第 9 章 环形输送线实验台综合实验	191
第 6 篇 虚拟仪器	195
第 1 章 NI ELVIS II 工作环境	195
第 2 章 电子温度计	203
第 3 章 AC 电路工具	208
第 4 章 运放滤波器	215
第 5 章 数字 I/O	224
第 6 章 LED 交通灯显示	231
第 7 篇 激光原理及应用	239
第 1 章 激光器频率分裂及模式竞争实验	239
第 2 章 高斯光束传输变换特性实验	243
第 3 章 激光光纤耦合实验	246
第 4 章 激光光束特性参数测量实验	249

第 5 章 半导体激光器实验	254
第 6 章 脉冲固体激光器实验	259
第 7 章 半导体泵浦固体激光器实验	263
第 8 章 声光调 Q 激光器实验	267
第 9 章 相位式激光测距实验	269
第 10 章 激光扫描技术实验	272
第 8 篇 光电测控技术及系统	275
第 1 章 DRVI 可重构虚拟仪器实验平台	275
第 2 章 Signal VBScript 编程语言	277
第 3 章 频率混叠和采样定理	278
第 4 章 采样信号量化误差分析	280
第 5 章 常用数字信号生成实验	282
第 6 章 典型信号的时域波形分析	284
第 7 章 波形的合成和分解	286
第 8 章 典型信号的频谱分析	288
第 9 章 FFT 谱分析中的能量泄漏	290
第 10 章 用窗函数提高 FFT 谱精度	292
参考文献	294

光电检测技术

第 1 章 普朗克常量测定仪

当光束照射到某些金属表面时,会有电子从金属表面逸出,这种现象称为光电效应。对光电效应现象的研究,使人们进一步认识到光的波粒二象性的本质,促进了光的量子理论的建立和近代物理学的发展。现在根据光电效应制成的光电器件已经被广泛地应用于工农业生产、科研和国防等各个领域。

本仪器采用 LED 来代替汞灯光源,加深学生对 LED 和光电效应的理解。

一、实验目的

- (1) 观测光电效应的实验现象。
- (2) 测量光电管的伏安特性曲线,验证截止电压的存在。
- (3) 验证爱因斯坦的光电效应方程,并根据爱因斯坦方程测量普朗克常量的数值。

二、实验设备

THQPC-3 型普朗克常量测定仪。主要包括信号处理、阳极电压源、LED 驱动、LED 控制、采集卡、上位机软件等部分。

三、实验原理

1. 光电效应

在一定频率的光的照射下,电子从金属表面逸出的现象称为光电效应,从金属表面逸出的电子称为光电子。图 1.1.1 是研究光电效应实验规律和测量普朗克常量的实验原理图。图中,A、K 组成抽成真空的光电管,A 为阳极,K 为阴极。当频率为 ν 的光射到金属材料做成的阴极 K 上时,就有光电子逸出金属。若在 A、K 两端加上电压 U 后,光电子将由 K 定向运动到 A,在回路中形成光电流 I_0 。

由实验可得光电效应的基本实验规律如下:

(1) 光强 P 一定时,随着光电管两端电压 U 的增大,光电流 I 增大达到饱和。对不同的光强,饱和光电流 I_0 与入射光的光强 P 成正比,其伏安特性曲线如图 1.1.2 所示。

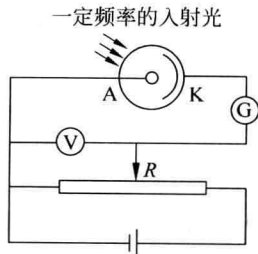


图 1.1.1 光电效应的原理图

(2) 当光电管两端加反向电压时,光电流逐渐减小,当光电流减小到零时,所对应的反向电压值称为截止电压 U_0 ,如图 1.1.2 所示,这表明此时具有最大动能的光电子刚好被反向电压所阻挡,即

$$\frac{1}{2}mV_m^2 = eU_0 \quad (1.1.1)$$

式中, m 、 V_m 和 e 分别是电子的质量、速度和电荷量。

(3) 当改变入射光的频率 ν 时,截止电压 U_0 随之改变。 U_0 与 ν 呈线性关系,如图 1.1.3 所示。

实验表明,无论光强多大,照射时间多长,只有当入射光的频率 $\nu > \nu_0$ 时,才能产生光电效应。 ν_0 称为截止频率,其对应的波长称为截止波长,亦称红限。另外对于不同的金属材料做成的阴极,截止频率 ν_0 也不同。

(4) 光电效应是瞬时效应,只要入射光频率 $\nu > \nu_0$,一经光线照射,立刻产生光电子。

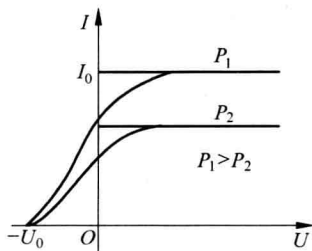


图 1.1.2 光电管的伏安特性曲线

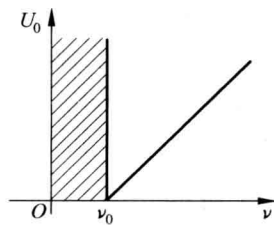


图 1.1.3 光电管的伏安特性曲线

2. 光电效应方程

1905 年,爱因斯坦提出了光量子理论,成功地解释了光电效应。他认为一束频率为 ν 的光是一束以光速 c 运动的、具有能量 $h\nu$ 的粒子流,这些粒子称为光量子,简称光子。 h 为普朗克常量。当光照射到金属表面时,光子一个一个地打在金属表面上,金属中的电子要么不吸收能量,要么就吸收一个光子的全部能量。只有当这个能量大于电子脱离金属表面约束所需要的逸出功 A 时,电子才会以一定的初动能逸出金属表面,根据能量守恒有

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - A \quad (1.1.2)$$

上式称为爱因斯坦方程。它成功地解释了光电效应的规律。由式(1.1.2)可知,要能够产生光电效应,需要 $\frac{1}{2}mv^2 \geq 0$,即 $h\nu - A \geq 0$, $\nu \geq \frac{A}{h}$,而 $\frac{A}{h}$ 是截止频率 ν_0 。

实验时,只要测量出不同频率的光对应的截止电压 U_0 ,作 $U_0-\nu$ 曲线,可得一条直线:

$$\begin{aligned} eU_0 &= \frac{1}{2}mv^2 = h\nu - A \\ U_0 &= \frac{h\nu}{e} - \frac{A}{e} = \frac{h\nu}{e} - \frac{h\nu_0}{e} \end{aligned} \quad (1.1.3)$$

从直线斜率 $\frac{h}{e}$ 可求出普朗克常量 h 。从直线与横坐标轴的交点可求出阴极金属的截止频率 ν_0 。式(1.1.3)中 e 为电子电量(公认值 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$)。

3. 光电管的伏安特性曲线

如图 1.1.4 所示,实线是实验测得的伏安特性曲线,虚线表示的是理论曲线,两条曲线的区别在于实验测量的光电流中包含有其他的干扰电流。

(1) 暗电流和本底电流:暗电流是由于电子的热运动以及光电管的壳漏电等原因使阴极未受到光照时也会产生电子流。本底电流是由于各种杂散光所产生的光电流。暗电流和本底电流还随外加电压的变化而变化。

(2) 阳极电流:在制作光电管时,阳极上也会被溅射到阴极材料,所以只要有光照射到阳极上,阳极上的阴极材料也会发射光电子,产生阳极电流。由于上述干扰电流的存在,当分别用不同频率的入射光照射光电管时,实际测得的光电流是各种电流的代数和,致使光电流的截止电压点不再是光电流的零点,而是实测曲线中直线部分和曲线部分相接处的点,称为抬头点。抬头点所对应的电压就是 $-U_0$ 。

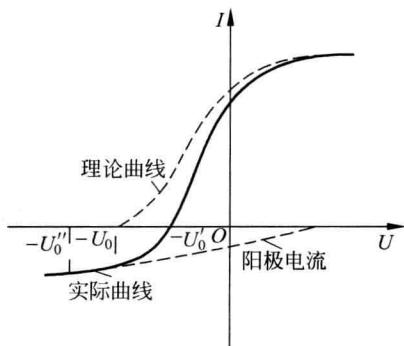


图 1.1.4 实际的伏安特性曲线

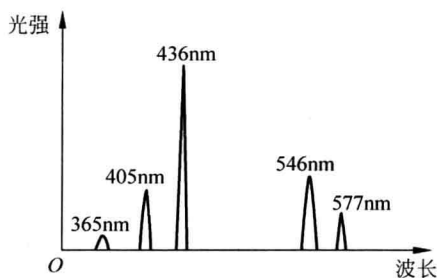


图 1.1.5 汞灯光谱

4. 汞灯和 LED 的发光原理

(1) 汞灯的发光原理

汞灯是线光谱光源,汞灯的光谱曲线如图 1.1.5 所示。

汞灯的发光原理同日光灯的发光原理一样,属气体放电,是利用通过其中的电流作用而使气体产生光辐射的原理,即气体放电的电致发光原理而制成。

这种光谱为原子所发,根据能级理论,原子中电子从高能级间跃迁到低能级,产生光辐射。从能级图可以看到各种谱线系的能级跃迁间距的差别,跃迁间距越大,所发光的波长越短。不同的原子具有不同间距的能级图,也就具有不同的线光谱。

(2) LED 的发光原理

发光二极管是由 III-VI 族化合物,如 GaAs、GaP、GaAsP 等半导体制成的,其核心是 PN 结,因此具有一般 PN 结的特性。另外在一定条件下,它还具有发光特性,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)和多数载流子(多子)发生复合而发光,如图 1.1.6 所示。理论和实验证明,光的峰值波长 λ 和材料的禁带宽度 E_g 有关,即

$$\lambda = \frac{1240}{E_g}$$

式中, E_g 单位为 eV, 如要产生可见光(波长范围为 390~760nm), 半导体材料的禁带宽度 E_g 应该在 3.18~1.63eV 之间。 λ 的单位为 nm。

发光二极管发出的光并非单一波长, 其波长大体按图 1.1.7 所示。由图 1.1.7 可知, 在 LED 的所发之光中有某一波长的光 λ_0 (图中对应的波长为 450nm) 的光强最大, 该波长称为峰值波长。半角宽度 $\Delta\lambda$ (图中的 $\Delta\lambda=20\text{nm}$) 表示 LED 的光谱纯度, 是指图中一半光强所对应的两波长之差(图中一半光强对应的波长分别为 440nm、460nm)。

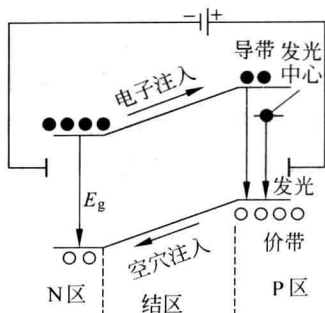


图 1.1.6 PN 结注入发光原理

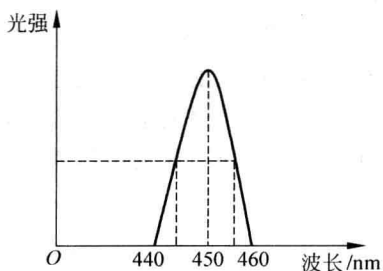


图 1.1.7 LED 光谱

无论是汞灯光源经过干涉滤光片后得到的光还是 LED 直接发出的光都不是单一波长的光, 汞灯加滤光片得到的光是分别以 365、405、436、546、577nm 为中心的有一定宽度的连续光谱, LED 发出的光也是以某一波长为中心的有一定宽度的连续光谱, 只是汞灯经过滤光片后得到的光的光谱宽度比 LED 发出的光的光谱宽度要小。

由 LED 的发光光谱图可知, LED 无法产生单一波长的光, 但是当 $\Delta\lambda$ 足够小时, 我们可以近似地认为 LED 发出的光为单一波长的光。因此采用几种不同颜色的 LED 就可以代替汞灯光源和滤色片来获得光源的传统方法, 并且 LED 的发光稳定性更高。

四、实验内容与步骤

1. 准备

(1) 将 THQPC-3 型普朗克常量测定仪接通电源, 并将 THQPC-3 型普朗克常量测定仪实验箱后面的钮子开关置于“自动测量”, 将“阳极电压指示”调节到“-5.00”, 将“LED 驱动电流指示”调节到“0.50”, 并预热 10min。

(2) 将“电流量程切换”置于“ 10^{-11} ”的挡位, 按单片机的“复位”键, 使 LED 全部处于“灭”状态。

(3) 调节“调零”电位器使“光电流指示”为“0.00”, 仪器进入测试状态。

2. 测试

1) 观测光电效应的基本规律

(1) 光频率一定时, 观察光电流变化时光强的变化。

将 LED(P) 点亮, 使“阳极电压指示”为“0.00”。“电流量程切换”选取“ 10^{-9} ”的挡位。调节“LED 驱动电流调节”电位器, 使“LED 驱动电流指示”从小到大慢慢增加, 观察“光电流

指示”的变化(可以观察到光电流随光强的增大而增大)。

(2) 观察同一种频率的光在不同光强下的截止电压是否相同,进而判断光电子的能量与光强的关系。

“电流量程切换”选取“ 10^{-10} ”挡位,调节“色光选择”按钮,将 LED(P) 点亮,然后调节“阳极电压调节”电位器,使“光电流指示”为“0.00”。

调节“LED 驱动电流调节”电位器,使“LED 驱动电流指示”从小到大慢慢增加,观察“光电流指示”的变化(如果光电流保持为零,就说明电子的能量与光强无关。另外,由于杂散光和光电管的暗电流影响,光电流会有微小变化)。

(3) 观察不同频率的光对应的截止电压,进而判断截止电压与光频率的关系。调节“电流量程切换”选取“ 10^{-10} ”挡位,调节“LED 驱动电流调节”电位器,使“LED 驱动电流指示”为“05.0”。调节“色光选择”按钮,依次将 LED(P)、LED(B)、LED(G)、LED(Y)、LED(R) 点亮,并分别调节“阳极电压调节”电位器,使“光电流指示”为“0.00”,观察每个 LED 对应的阳极电压的绝对值是否随着波长的增大而减小(如果是,就说明光电子的能量与光频率成正比)。

(4) 光源采用红外 LED 时,观察光强变化时光电流的变化。

调节“电流量程切换”选取“ 10^{-10} ”挡位,调节“色光选择”按钮,将 LED(I) 点亮,调节“阳极电压调节”电位器,使“阳极电压指示”为“0.00”。调节“LED 驱动电流调节”电位器,使“LED 驱动电流指示”从“0.00”变化到“20.0”,观察“光电流指示”的变化(如果光电流一直为零,说明光电效应存在截止频率)。

2) 手动测量截止电压

利用光电效应测量普朗克常量的关键是通过测量截止电压及其与频率的关系,进而求得 h 的值。但是由于存在光电管阳极的光电子发射以及弱电流测量上的困难等原因,使得利用 I - V 曲线确定截止电压有很大的随意性,从而不可避免地造成了系统误差。因此,能否准确地确定截止电压是实验的关键。由于光电效应中存在反向电流(反向电流起主要作用)和暗电流,导致了实际测量的曲线和理论曲线之间有一定的差异。根据不同特性的光电管测出的 I - V 曲线采用两种常用的方法确定截止电压。

交点法:适用于光电特性曲线的正向电流上升很快,而反向电流很小的情况。

拐点法:适用于反向电流很大,而且饱和得很快的情况。

对于反向电流很大,而且饱和缓慢的情况,上述两种方法均会产生较大的误差,同时又考虑到 LED 光源的单一性相对汞灯比较差,经过大量的实验,在确定截止电压时采用了一种新的方法——假设法,具体的操作如下:

(1) 粗略测量截止电压的范围

① 调节“电流量程切换”选择“ 10^{-10} ”挡位,调节“色光选择”按钮,将 LED(P) 点亮,调节“LED 驱动调节”电位器,使“光电流指示”为“-10.0”。

② 调节“阳极电压调节”电位器,使“阳极电压指示”从“-5.00”变化到“0.00”,观察“光电流指示”的变化,每间隔 0.50V 记录一次“光电流指示”的数据,并将对应的“光电流指示”数据记录在表 1.1.1 中。

③ 通过调节“色光选择”按钮,分别使 LED(B)、LED(G)、LED(Y)、LED(R) 点亮,重复上述操作。实验中测量 LED(G)、LED(Y)、LED(R) 的数据时,“电流量程选择”选择

“ 10^{-11} ”。

④ 分析表 1.1.1 中的数据,找出每个 LED 对应的“光电流”开始发生变化的“阳极电压”范围。

表 1.1.1 实验数据

阳极电压/V	光电流/mA				
	LED(P)	LED(B)	LED(G)	LED(Y)	LED(R)
-5.00					
-4.50					
-4.00					
-3.50					
-3.00					
-2.50					
-2.00					
-1.50					
-1.00					
-0.50					
0.00					

(2) 精确测量截止电压

① 调节“电流量程切换”选择“ 10^{-10} ”的挡位,调节“色光选择”按钮,将 LED(P)点亮,调节“LED 驱动电流调节”电位器,调节“LED 驱动电流”时,以光电流为参考,调节“LED 驱动电流”使“光电流”为“-10.0”。调节“阳极电压调节”电位器,使“阳极电压指示”在-2.20~-1.70V 之间变化,每间隔 0.02V 记录一次“光电流指示”的数据,并将数据记录在表 1.1.2 中。

② 调节“电流量程切换”选择“ 10^{-10} ”的挡位,调节“色光选择”按钮,将 LED(B)点亮,调节“LED 驱动电流调节”电位器,调节“LED 驱动电流”时,以光电流为参考,调节“LED 驱动电流”使“光电流”为“-10.0”。调节“阳极电压调节”电位器,使“阳极电压指示”在-1.70~-1.20V 之间变化,每间隔 0.02V 记录一次“光电流指示”的数据,并将数据记录在表 1.1.2 中。

③ 调节“电流量程切换”选择“ 10^{-11} ”的挡位,调节“色光选择”按钮,将 LED(G)点亮,调节“LED 驱动电流调节”电位器,调节“LED 驱动电流”时,以光电流为参考,调节“LED 驱动电流”使“光电流”为“-10.0”。调节“阳极电压调节”电位器,使“阳极电压指示”在-1.30~-0.80V 之间变化,每间隔 0.02V 记录一次“光电流指示”的数据,并将数据记录在表 1.1.2 中。

④ 调节“电流量程切换”选择“ 10^{-11} ”的挡位,调节“色光选择”按钮,将 LED(Y)点亮,调节“LED 驱动电流调节”电位器,调节“LED 驱动电流”时,以光电流为参考,调节“LED 驱动电流”使“光电流”为“-10.0”。调节“阳极电压调节”电位器,使“阳极电压指示”在-1.00~-0.50V 之间变化,每间隔 0.02V 记录一次“光电流指示”的数据,并将数据记录在表 1.1.2 中。

⑤ 调节“电流量程切换”选择“ 10^{-11} ”的挡位,调节“色光选择”按钮,将 LED(R)点亮,调节“LED 驱动电流调节”电位器,调节“LED 驱动电流”时,以光电流为参考,调节“LED 驱动电流”

使“光电流”为“-10.0”。调节“阳极电压调节”电位器,使“阳极电压指示”在-0.90~-0.40V 之间变化,每间隔 0.02V 记录一次“光电流指示”的数据,并将数据记录在表 1.1.2 中。

⑥ 分析表格 1.1.2 中的数据,分别找出“光电流指示”开始连续变化所对应的截止电压值,并将数据记录在表 1.1.3 中。

表 1.1.2 实验数据

LED(P)		LED(B)		LED(G)		LED(Y)		LED(R)	
电压/V	光电流/mA	电压/V	光电流/mA	电压/V	光电流/mA	电压/V	光电流/mA	电压/V	光电流/mA
-2.20		-1.70		-1.30		-1.00		-0.90	
-2.18		-1.68		-1.28		-0.98		-0.88	
-2.16		-1.66		-1.26		-0.96		-0.86	
-2.14		-1.64		-1.24		-0.94		-0.84	
-2.12		-1.62		-1.22		-0.92		-0.82	
-2.10		-1.60		-1.20		-0.90		-0.80	
-2.08		-1.58		-1.18		-0.88		-0.78	
-2.06		-1.56		-1.16		-0.86		-0.76	
-2.04		-1.54		-1.14		-0.84		-0.74	
-2.02		-1.52		-1.12		-0.82		-0.72	
-2.00		-1.50		-1.10		-0.80		-0.70	
-1.98		-1.48		-1.08		-0.78		-0.68	
-1.96		-1.46		-1.06		-0.76		-0.66	
-1.94		-1.44		-1.04		-0.74		-0.64	
-1.92		-1.42		-1.02		-0.72		-0.62	
-1.90		-1.40		-1.00		-0.70		-0.60	
-1.88		-1.38		-0.98		-0.68		-0.58	
-1.86		-1.36		-0.96		-0.66		-0.56	
-1.84		-1.34		-0.94		-0.64		-0.54	
-1.82		-1.32		-0.92		-0.62		-0.52	
-1.80		-1.30		-0.90		-0.60		-0.50	
-1.78		-1.28		-0.88		-0.58		-0.48	
-1.76		-1.26		-0.86		-0.56		-0.46	
-1.74		-1.24		-0.84		-0.54		-0.44	
-1.72		-1.22		-0.82		-0.52		-0.42	
-1.70		-1.20		-0.80		-0.50		-0.40	

(3) 测量普朗克常量

① 根据表 1.1.3 中的数据拟合出 $U_0 \sim \nu$ 曲线,如果是一条直线则证明爱因斯坦方程的

正确性。

② 计算出直线的斜率 K , 则 $h=eK$, 并与理论值 $h=6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 作比较, 并计算实验相对误差 σ 。

3) 自动测量截止电压和普朗克常量

(1) 准备工作

- ① 用串口线将 THQPC-3 型普朗克常量测定仪实验箱和计算机连接起来;
- ② 在计算机上安装 THQPC-3 型普朗克常量测定仪的实验软件, 并打开上位机软件;
- ③ 将 THQPC-3 型普朗克常量测定仪实验箱后面的按钮开关置于“自动测量”;
- ④ 打开电源开关, 并对“光电流”进行调零。

(2) 测量

① 调节“色光选择”按钮点亮 LED(P), 电流量程切换选取“ $\times 10^{-10}$ ”, 调节“LED 驱动电流调节”电位器, 使“光电流指示”为“-10.0”。在上位机界面上单击“波长”的下拉菜单, 选择“388”, 然后单击“刷新”按钮, 50s 后光电管在 LED(P) 照射下的 $I-V$ 曲线就显示在对应的方框内, 并且通过一定的算法计算出对应的截止电压, 并显示在方框的下方。

② 调节“色光选择”按钮点亮 LED(B), 电流量程切换选取“ $\times 10^{-10}$ ”, 调节“LED 驱动电流调节”电位器, 使“光电流指示”为“-10.0”。在上位机界面上单击“波长”的下拉菜单, 选择“444”, 然后单击“刷新”按钮, 50s 后光电管在 LED(B) 照射下的 $I-V$ 曲线就显示在对应的方框内, 并且通过一定的算法计算出对应的截止电压, 并显示在方框的下方。

③ 调节“色光选择”按钮点亮 LED(G), 电流量程切换选取“ $\times 10^{-11}$ ”, 调节“LED 驱动电流调节”电位器, 使“光电流指示”为“-10.0”。在上位机界面上单击“波长”的下拉菜单, 选择“499”, 然后单击“刷新”按钮, 50s 后光电管在 LED(G) 照射下的 $I-V$ 曲线就显示在对应的方框内, 并且通过一定的算法计算出对应的截止电压, 并显示在方框的下方。

④ 调节“色光选择”按钮点亮 LED(Y), 电流量程切换选取“ $\times 10^{-11}$ ”, 调节“LED 驱动电流调节”电位器, 使“光电流指示”为“-10.0”。在上位机界面上单击“波长”的下拉菜单, 选择“499”, 然后单击“刷新”按钮, 50s 后光电管在 LED(Y) 照射下的 $I-V$ 曲线就显示在对应的方框内, 并且通过一定的算法计算出对应的截止电压, 并显示在方框的下方。

⑤ 调节“色光选择”按钮点亮 LED(R), 电流量程切换选取“ $\times 10^{-11}$ ”, 调节“LED 驱动电流调节”电位器, 使“光电流指示”为“-10.0”。在上位机界面上单击“波长”的下拉菜单, 选择“499”, 然后单击“刷新”按钮, 50s 后光电管在 LED(R) 照射下的 $I-V$ 曲线就显示在对应的方框内, 并且通过一定的算法计算出对应的截止电压, 并显示在方框的下方。

⑥ 5 条曲线都测量完成后单击“曲线拟合”按钮, 5 条曲线会显示在右侧的大方框内, 在大方框的右侧显示的是爱因斯坦光电效应方程曲线, 拟合出爱因斯坦直线的斜率, 并计算出普朗克常量的数值以及与理论值的相对误差。

五、实验数据

根据表 1.1.3 中的数据拟合出 $U_0 \sim \nu$ 的关系曲线, 并计算出普朗克常量 h , 并与理论值 $h=6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 作比较, 并计算实验相对误差 σ (表中的数据不可能完全在一条直线

上,作直线时要尽量使各个点均匀地分布在直线两侧)。

表 1.1.3 实验数据

λ/nm	388	444	499	581	622	$h/10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$	σ
$\nu/10^{14}\text{Hz}$	7.732	6.757	6.012	5.164	4.823		
$-U_0/\text{V}$							

六、思考题

- (1) 爱因斯坦光电效应方程的物理意义是什么?
- (2) 什么是截止频率? 什么是截止电压?
- (3) 实验测得的光电管的伏安特性曲线与理想曲线有何不同? 实验中如何确定截止电压?
- (4) 实验结果的精度和误差主要取决于哪几个方面?

第 2 章 光敏电阻特性参数及其测量

一、实验目的

- (1) 了解光敏电阻的基本原理及特性。
- (2) 了解 LED 发光二极管的驱动电流和输出光功率的关系。
- (3) 掌握光敏电阻的应用方法。

二、实验仪器

THQGM-1 型光敏电阻特性实验仪、双踪示波器。

三、实验原理

1. 光敏电阻

光敏电阻又称光导管,它的工作原理基于光电导效应:在无光照时,光敏电阻具有很高的阻值。在有光照时,当光子的能量大于材料禁带宽度,价带中的电子吸收光子能量后跃迁到导带,激发出可以导电的电子-空穴对,使电阻降低;光线越强,激发出的电子-空穴对越多,电阻值越低。光照停止后,自由电子与空穴复合,导电性能下降,电阻恢复原值。光敏电阻几乎都是用半导体材料制成的光电器件。光敏电阻没有极性,纯粹是一个电阻器件,若在两端加一电压,则电路中的电流随光强弱而变化,这种现象在非接触式光电控制中十分有用。使用时既可加直流电压,也可加交流电压,光敏电阻的暗电阻一般为兆欧级,亮电阻在千欧以下。

图 1.2.1 为光敏电阻的原理结构。它是涂于玻璃底板上的一薄层半导体物质,半导体的两端装有电极,金属电极与引出线端相连接,光敏电阻就通过引出线端接入电路。为了防止周围介质的影响,在半导体光敏层上覆盖了一层漆膜,漆膜的成分应使它在光敏层最敏感的波长范围内透射率最大。其时间常数一般在毫秒级,光敏电阻具有特性稳定、寿命长、价格低等优点。



图 1.2.1 光敏电阻的原理结构

光敏电阻通常用在陶瓷或硅衬底上沉积一层半导体材料 CdS 或 CdSe 制成。外覆一层透明树脂构成光学透镜用于光的聚焦,CdS 或 CdSe 半导体材料在无光照射状态下,自由载流子很少,当受光照射时,载流子增加,电阻减小。其值与所用材料和制作工艺等相关,伴随着电阻的改变,其光响应时间也会改变。光敏电阻对不同的光波长,其灵敏度也不同。CdS 的峰值响应波长在 600nm 附近,CdSe 的峰值响应波长在 750nm 附近。

光敏电阻的特性如下所述。

1) 光谱特性

光敏电阻对不同波长的光,光谱灵敏度不同,而且不同种类光敏电阻峰值波长也不同。