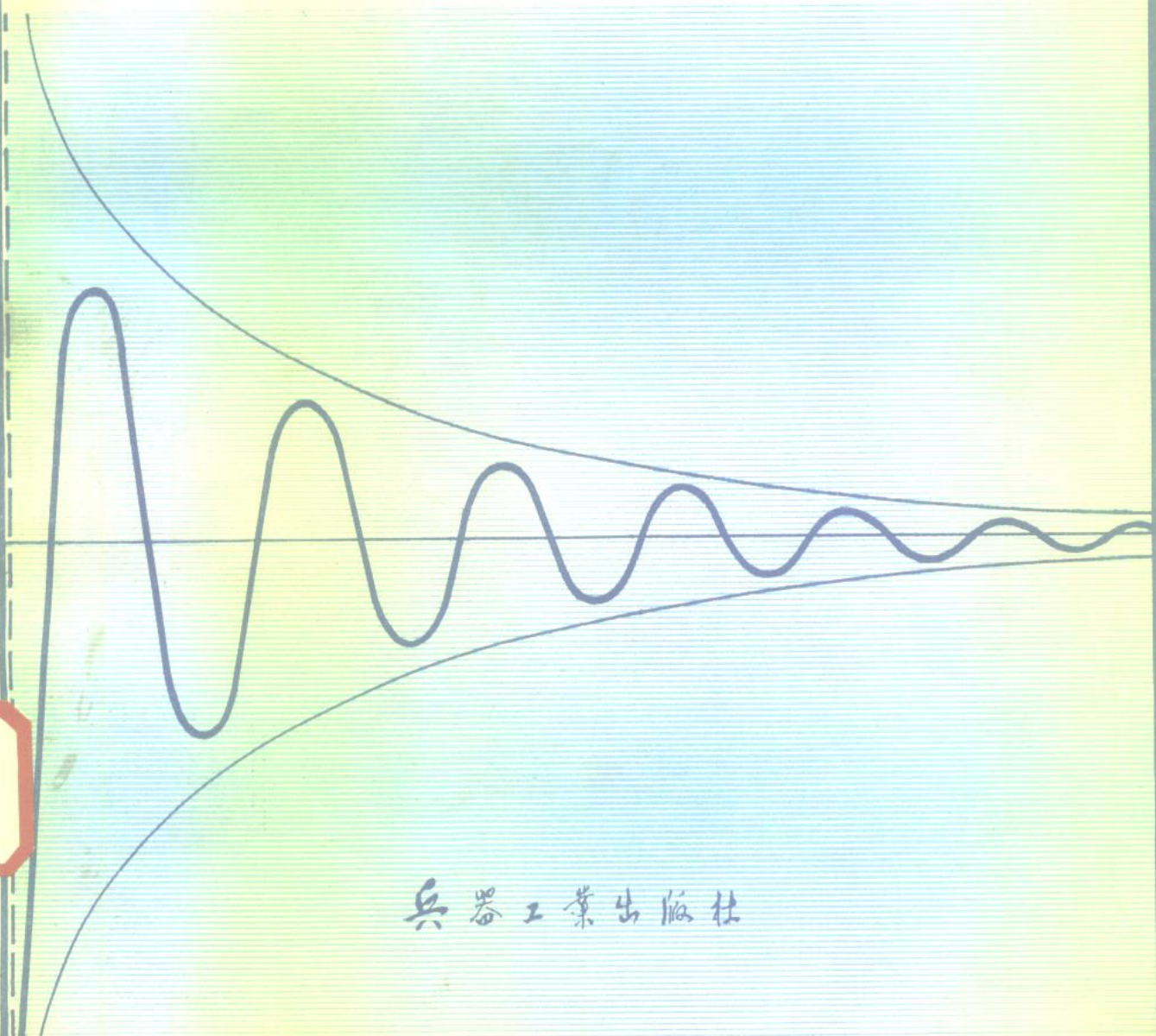


普通高等教育
兵工类规划教材

光电技术实验

刘振玉 主编



兵器工业出版社

(京)新登字 049 号

内 容 简 介

DZ01/05

本书是一本实验教材。全书包括：光电探测器性能参数测试；弱光信号探测方法；光学调制器原理和信号解调方法；摄像机信号应用原理及光电系统举例五个部分内容，总共有 28 个实验项目。它比较系统、全面地反映了光电系统中的基本技术问题。

本书适合作为工程光学类专业本科生或硕士生教材。也可供有关专业工作人员参考。

光 电 技 术 实 验

刘振玉 主编

*

兵器工业出版社出版

(北京市海淀区车道沟 10 号)

新华书店总店科技发行所发行

各地新华书店经销

北京理工大学印刷厂印装

*

开本：787×1092 1/16 印张：11.5 字数：276.1 千字

1993 年 3 月第一版 1993 年 3 月第一次印刷

印数：001—1260 定价：3.00 元

ISBN 7-80038-530-2/TN·24 (课)

出版说明

遵照国务院国发[1978]23号文件精神,中国兵器工业总公司承担全国高等学校兵工类专业教材的规划、编审、出版的组织工作。自1983年兵总教材编审室成立以来,在广大教师的积极支持和努力下;在国防工业出版社、兵器工业出版社和北京理工大学出版社的积极配合下,已完成两轮兵工类专业教材的规划、编审、出版任务。共出版教材211种。这批教材出版对解决兵工专业教材有无问题、稳定教学秩序、促进教学改革、提高教学质量都起到了积极作用。

为了使兵工类专业教材更好地适应社会主义现代化建设需要,特别是国防现代化培养人才的需要,反映国防科技的先进水平,达到打好基础、精选内容、逐步更新、利于提高教学质量的要求,我们以提高教材质量为主线,完善编审制度、建立质量标准、明确岗位责任,建立了由主审审查、责任编委复审和教编室审定等5个文件。并根据兵工类专业的特点,成立了九个专业教学指导委员会和两个教材编审小组。以加强对兵工类专业教材建设的规划、评审和研究工作。

为贯彻国家教委提出的“抓好重点教材,全面提高质量,适当发展品种,力争系统配套,完善管理制度,加强组织领导”的“八五”教材建设方针。兵总教材编审室在总结前两轮教材编审出版工作的基础上,于1991年制订了1991~1995年兵工类专业教材编写出版规划。共列入教材220种。这些教材都是从学校使用两遍以上、实践证明是比较好的讲义中遴选的。专业教学指导委员会从兵工专业教材建设的整体考虑对编写大纲进行了审查,认为符合兵工专业培养人才要求,符合国家出版方针。这批教材的出版必将为兵工专业教材的系列配套,为教学质量的提高、培养国防现代化人才,为促进兵工类专业科学技术的发展,都将起到积极的作用。

本教材由马俊芝主审,经中国兵器工业总公司光电技术专业教学指导委员会复查,兵总教材编审室审定。

限于水平和经验,这批教材的编审出版难免有缺点和不足之处,希望使用本教材的单位和广大读者批评指正。

中国兵器工业总公司教材编审室

1992年11月

前 言

本教材是在北京理工大学工程光学系多年使用的实验课讲义和实验室建设的基础上编写而成的。是一本实用性较强的专业基础课教材。本教材与“光电技术”教材配合使用。

本教材包括五个方面的内容。即：光电探测器性能参数测试；光电弱信号的探测方法；光学调制器原理及信号解调方法；摄像器件的使用及其信号处理方法；光电技术的综合应用。全书共有 28 个实验项目。本书较系统全面地反映了“光电技术”的基本技术问题。在实验项目安排上注意了由浅入深的次序。在原理叙述上力求深入浅出。每项实验都提出了明确的实验报告要求。大多数项目有思考题。

本教材适合于光电子技术，光学仪器等专业本科生使用。目录中注有“*”的项目既可作为本科生加选内容，也可作为研究生实验内容。

本教材由刘振玉主编。周仁忠教授草拟了全书的实验项目。参加编写的有：刘振玉、蓝天、顾若玮、曹根瑞、银空。参加原实验讲义编写和实验装置制作的还有：（以姓氏笔划为序）王苏生、卢春生、陈永昆、吴泽言、周仁忠、张化朋、魏平等。光电技术基础教研室的其他成员也做了不少工作。

长春光机学院副教授马俊芝担任了本教材的主审工作。沈柯教授对本教材进行了复审。在此，我们表示衷心的感谢。

由于水平所限，缺点和错误在所难免。恳切希望读者批评指正。

光电技术基础教研室

1992 年 4 月

目 录

第一部分 光电探测器

实验一 光电探测器光谱响应度的测量.....	(1)
实验二 光电探测器响应时间的测试.....	(5)
实验三 光电探测器探测度的测量.....	(9)
实验四 光电倍增管的静态和时间特性测试	(13)
实验五 光电探测器输出信号的信噪比匹配	(21)
* 实验六 雪崩光电二极管	(26)

第二部分 光电弱信号探测

实验七 低噪声放大器	(31)
实验八 有源滤波器	(37)
* 实验九 锁相环	(42)
* 实验十 锁相放大器	(52)
* 实验十一 取样积分原理	(60)
* 实验十二 光子计数	(64)

第三部分 光学调制器原理及信号解调方法

实验十三 光学调制盘	(72)
实验十四 光栅莫尔条纹测长原理	(78)
实验十五 光电轴角编码器	(83)
* 实验十六 声光调制器	(89)
* 实验十七 光外差原理	(96)

第四部分 摄像器件的使用及其信号处理方法

* 实验十八 光电信号的采样、保持	(101)
实验十九 摄像机信号应用原理.....	(109)
实验二十 线阵 CCD 像传感器的驱动原理	(118)
* 实验二十一 一维光强分布测试仪应用实验	(126)
* 实验二十二 二维光强分布的立体显示	(133)
* 实验二十三 图像的数据采集	(137)
* 实验二十四 干涉图的数据处理	(141)

第五部分 光电技术综合应用

实验二十五	光电报警（半自拟）	(154)
* 实验二十六	光电定向	(157)
* 实验二十七	激光多普勒测速	(166)
* 实验二十八	莫尔三维测量	(172)

第一部分 光电探测器

光电探测器可将一定的光辐射转换为电信号，然后经过信号处理，去实现某种目的。它是光电系统的核心组成部分，其性能直接影响着光电系统的性能。因此，无论是设计还是使用光电系统，深入了解光电探测器的性能参数都是很重要的。

通常，光电探测器的光电转换特性用响应度表示。响应特性用来表征光电探测器在确定入射光照下输出信号和入射光辐射之间的关系。主要的响应特性包括：响应度、光谱响应、时间响应特性和探测度等性能参数。

本部分实验内容主要是光电探测器性能参数测量和光电探测器的一般使用方法，并注意列举了几种常用的光电探测器的使用方法。

实验一 光电探测器光谱响应度的测量

光谱响应是光电探测器的基本性能参数之一，它表征了光电探测器对不同波长入射辐射的响应，通常热探测器的光谱响应较平坦，而光子探测器的光谱响应却具有明显的选择性。一般情况下，以波长为横坐标，以探测器接收到的等能量单色辐射所产生的电信号的相对大小为纵坐标，绘出光电探测器的相对光谱响应曲线。典型的光子探测器和热探测器的光谱响应曲线如图 1-1 所示。

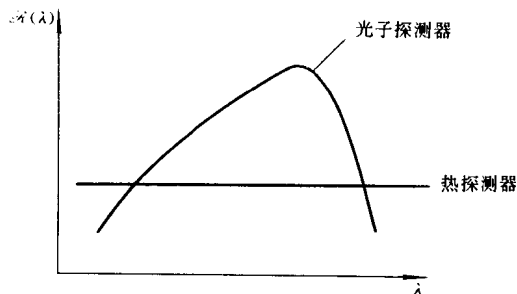


图 1-1 典型光电探测器的光谱响应

一、实验目的

1. 加深对光谱响应概念的理解；
2. 掌握光谱响应的测试方法；
3. 熟悉热释电探测器和硅光电二极管的使用。

二、实验内容

1. 用热释电探测器测量钨丝灯的光谱辐射特性曲线；
2. 用比较法测量硅光电二极管的光谱响应曲线。

三、基本原理

光谱响应是光电探测器对单色入射辐射的响应能力。电压光谱响应度 $\mathcal{R}_v(\lambda)$ 定义为在波长为 λ 的单位入射辐射功率的照射下，光电探测器输出的信号电压，用公式表示，则为

$$\mathcal{R}_v(\lambda) = \frac{V(\lambda)}{P(\lambda)} \quad (1-1)$$

而光电探测器在波长为 λ 的单位入射辐射功率的作用下,其所输出的光电流叫做探测器的电流光谱响应度,用下式表示

$$\mathcal{R}_i(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{P(\lambda)} \quad (1-2)$$

式中, $P(\lambda)$ 为波长为 λ 时的入射光功率, $V(\lambda)$ 为光电探测器在入射光功率 $P(\lambda)$ 作用下的输出信号电压。 $I(\lambda)$ 则为输出用电流表示的输出信号电流。为简写起见, $\mathcal{R}_v(\lambda)$ 和 $\mathcal{R}_i(\lambda)$ 均可以用 $\mathcal{R}(\lambda)$ 表示。但在具体计算时应区分 $\mathcal{R}_v(\lambda)$ 和 $\mathcal{R}_i(\lambda)$, 显然, 二者具有不同的单位。

通常, 测量光电探测器的光谱响应多用单色仪对辐射源的辐射功率进行分光来得到不同波长的单色辐射, 然后测量在各种波长的辐射照射下光电探测器输出的电信号 $V(\lambda)$ 。然而由于实际光源的辐射功率是波长的函数, 因此在相对测量中要确定单色辐射功率 $P(\lambda)$ 需要利用参考探测器(基准探测器)。即使用一个光谱响应为 $\mathcal{R}_f(\lambda)$ 的探测器为基准, 用同一波长的单色辐射分别照射待测探测器和基准探测器。由参考探测器的电信号输出(例如为电压信号) $V_f(\lambda)$ 可得单色辐射功率 $P(\lambda) = V_f(\lambda) / \mathcal{R}_f(\lambda)$, 再通过(1-1)式计算即可得到待测探测器的光谱响应。其测量原理框图见图 1-2。

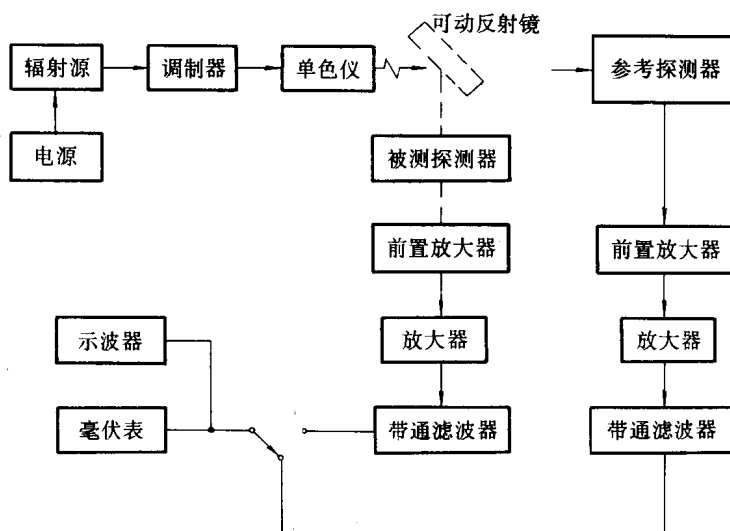


图 1-2 光谱响应测试原理图

本实验采用图 1-3 所示的实验装置。用单色仪对钨丝灯辐射进行分光, 得到单色光功率 $P(\lambda)$ 。

这里用响应度和波长无关的热释电探测器作参考探测器, 测得 $P(\lambda)$ 入射时的输出电压为 $V_f(\lambda)$ 。若用 $\mathcal{R}_f$ 表示热释电探测器的响应度, 则显然有

$$P(\lambda) = \frac{V_f(\lambda)}{\mathcal{R}_f K_f} \quad (1-3)$$

这里 K_f 为热释电探测器前放和主放大放大倍数的乘积, 即总的放大倍数。在本实验中, $K_f = 100 \times 330$, $\mathcal{R}_f$ 为热释电探测器的响应度, 实验中在所用的调制频率下, $\mathcal{R}_f = 900 \text{ V/W}$ 。

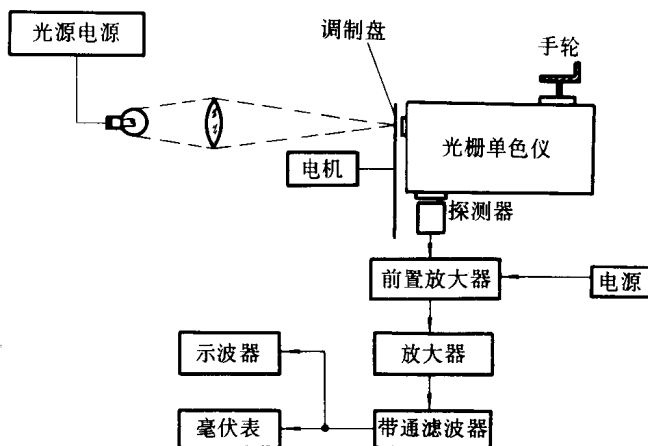


图 1-3 光谱响应测试装置图

然后用硅光电二极管测量相应的单色光, 得到输出电压 $V_o(\lambda)$, 从而得到光电二极管的光

谱响应度

$$\mathcal{R}(\lambda) = \frac{V(\lambda)}{P(\lambda)} = \frac{V_b(\lambda)/K_b}{V_f(\lambda)/\mathcal{R}_f K_f} \quad (1-4)$$

式中 K_b 为硅光电二极管测量时总的放大倍数, 这里 $K_b = 150 \times 330$ 。

四、实验装置

实验装置示于图 1-3。用钨丝灯作光源, 用 6V5A 直流稳压电源对钨丝灯供电, 光源发出的光由聚光镜会聚于单色仪的入射狭缝上, 并在狭缝前用同步电机带动的调制盘对入射光束进行调制。光栅单色仪把入射光分解成单色光并从出射狭缝射出。转动单色仪的波长手轮可以改变出射光的波长(参见图 1-4)。在出射狭缝后分别用热释电探测器和硅光电二极管进行测量, 所得光电信号经放大后由毫伏表指示。

下面简要介绍实验装置的各个部分

1. WD30 光栅单色仪的光学系统

图 1-4 是单色仪光学系统的示意图, 聚光镜把光源发出的光会聚于单色仪入射狭缝 S_1 上, 光束经狭缝 B_1 射向球面反射镜 M_1 。由于 S_1 位于 M_1 的焦面上, 因此, 经球面镜 M_1 反射后的光束为平行光束。平行光束经平面光栅分光后不同的波长以不同的入射角投向球面反射镜 M_2 。球面镜 M_2 把分光后的光焦在焦面上。形成波长不同的一系列光谱线。出射狭缝 S_2 位于球面镜 M_2 的聚焦面上。把狭缝 S_1 和 S_2 开得很窄, 测量时转动手轮使光栅转动, 在出射狭缝 S_2 处就会得到各个光谱分量的输出。输出光的波长可在手轮计数器上读出。仪器备有四块光栅, 分别对应着可见光和红外区四个光谱段。本实验采用第二块光栅(1200 线/mm), 此时的输出波长为手轮计数器读数的二倍(单位: $\text{\AA}$, $1 \text{\AA} = 0.1 \text{nm}$)。

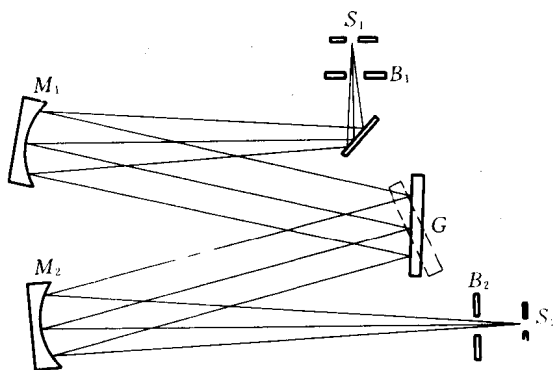


图 1-4 WD30 光栅单色仪光学系统图

2. 热释电探测器

本实验所用的热释电探测器是钽酸锂热释电器件, 前置放大器与探测器装在同一屏蔽壳里。前放工作时需要正 12V 电压。为减小噪声, 用干电池供电。图 1-5 示出了热释电探测器的典型调制特性。

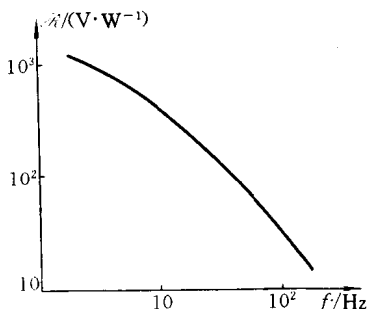


图 1-5 热释电探测器的典型调制特性

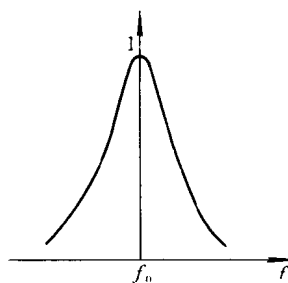


图 1-6 选频放大器的频率特性

3. 选频放大器

由于分光后的光谱辐射功率很小,虽然热释电探测器和光电二极管都带有前置放大器,但仍需接选频放大器放大。选频放大器的频率特性如图 1-6 所示。其中心频率 f_0 与调制频率一致(这里为 25Hz)。

4. 钨丝灯的电源电压在 0~6V 可调

5. 调制盘的电机使用 220V 电压

五、实验步骤

1. 打开光源开关,调整光源位置,使灯丝通过聚光镜成像在单色仪入射狭缝 S_1 上, S_1 的缝宽调整在 0.2mm。把出射狭缝 S_2 开到 1mm 左右,人眼通过 S_2 能看到与波长读数相应的光,然后逐渐关小 S_2 ,最后开到 $S_2=0.2\text{mm}$ 。

注意:狭缝开大时不能超过 3mm,关小时不能超过零位,否则将损坏仪器!

2. 在光路中靠近 S_1 的位置放入调制器,并接通电机电源。

3. 把热释电器件光敏面对准出射狭缝 S_2 ,并连接好放大器和毫伏表,然后为探测器加上电池电压正 12V。

4. 转动光谱手轮,记下探测器的入射波长及毫伏表上相应波长的输出电压值,并填入表 1-1。

5. 用光电二极管换下热释电器件,给光电二极管加上正 12V 电压,重复步骤 4,将数据记入表 1-1。

表 1-1 光谱响应测试实验数据

入射光波长 $\lambda/\mu\text{m}$	用热释电时 毫伏表输出 V_f	硅光电二极管 经放大后输出 V_d	光谱功率 $P(\lambda)$	响应度 $R(\lambda)$
0.5				
1.2				

六、实验报告

1. 画出光源的光谱辐射分布曲线;
2. 画出硅光电二极管的光谱响应曲线;
3. 分析实验结果,并确定硅光电二极管的峰值响应波长 λ_p 和截止波长 λ_c 。

七、思考题

1. 单色仪入射狭缝和出射狭缝的宽度分别控制着哪些物理量? 测量时开大些好还是开小些好?
2. 如果在测量过程中,用热释电器件和光电二极管测量时,二者光源光强度不一致是否仍能保证结果的正确性? 如果二者的调制频率不同呢?
3. 在测量光谱响应度 $\mathcal{R}(\lambda)$ 时,如果实验室没有参考(基准)探测器,能否想办法测得 $\mathcal{R}(\lambda)$?
4. 如何改进实验装置? 提高测量精度和速度?

实验二 光电探测器响应时间的测试

通常,光电探测器输出的电信号都要在时间上落后于作用在其上的光信号,即光电探测器的输出相对于输入的光信号要发生沿时间轴的扩展。扩展的程度可由响应时间来描述。光电探测器的这种响应落后于作用信号的特性称为惰性。由于惰性的存在,会使先后作用的信号在输出端相互交叠,从而降低了信号的调制度。如果探测器观测的是随时间快速变化的物理量,则由于惰性的影响会造成输出严重畸变。因此,深入了解探测器的时间响应特性是十分必要的。

一、实验目的

1. 了解光电探测器的响应度不仅与信号光的波长有关,而且与信号光的调制频率有关;
2. 掌握发光二极管的电流调制法;
3. 熟悉测量探测器响应时间的方法。

二、实验内容

1. 用探测器的脉冲响应特性测量响应时间;
2. 利用探测器的幅频特性确定其响应时间。

三、基本原理

表示时间响应特性的方法主要有两种,一种是脉冲响应特性法,另一种是幅频特性法。

1. 脉冲响应

响应落后于作用信号的现象称为弛豫。对于信号开始作用时的弛豫称为上升弛豫或起始弛豫;信号停止作用时的弛豫称为衰减弛豫。弛豫时间的具体定义如下:

如用阶跃信号作用于器件,则起始弛豫定义为探测器的响应从零上升为稳定值的 $(1 - 1/e)$ (即 63%)时所需的时间;衰减弛豫定义为信号撤去后,探测器的响应下降到稳定值的 $1/e$ (即 37%)所需的时间。这类探测器有光电池、光敏电阻及热电探测器等。另一种定义弛豫时间的方法是:起始弛豫为响应值从稳态值的 10% 上升到 90% 所用的时间;衰减弛豫为响应从稳态值的 90% 下降到 10% 所用的时间。这种定义多用于响应速度很快的器件,如光电二极管,雪崩光电二极管和光电倍增管等。

若光电探测器在单位阶跃信号作用下的起始阶跃响应函数为 $[1 - \exp(-t/\tau_1)]$,衰减响应函数为 $\exp(-t/\tau_2)$,则根据第一种定义,起始弛豫时间为 τ_1 ,衰减弛豫时间为 τ_2 。

此外,如果测出了光电探测器的单位冲激响应函数,则可直接用其半值宽度来表示时间特性。为了得到具有单位冲激函数形式的信号光源,即 δ 函数光源,可以采用脉冲式发光二极管、锁模激光器以及火花源等光源来近似。在通常测试中,更方便的是采用具有单位阶跃函数形式亮度分布的光源。从而得到单位阶跃响应函数,进而确定响应时间。

2. 幅频特性

由于光电探测器惰性的存在,使得其响应度不仅与入射辐射的波长有关,而且还是入射辐射调制频率的函数。这种函数关系还与入射光强信号的波形有关。通常定义光电探测器对正弦光信号的响应幅值同调制频率间的关系为它的幅频特性。许多光电探测器的幅频特性具有如下形式

$$A(\omega) = \frac{1}{(1 + \omega^2 \tau^2)^{1/2}} \quad (2-1)$$

式中, $A(\omega)$ 表示归一化后的幅频特性; $\omega = 2\pi f$ 为调制圆频率; f 为调制频率; τ 为响应时间。

在实验中可以测得探测器的输出电压 $V(\omega)$ 为

$$V(\omega) = \frac{V_0}{(1 + \omega^2 \tau^2)^{1/2}} \quad (2-2)$$

式中 V_0 为探测器在入射光调制频率为零时的输出电压。这样, 如果测得调制频率为 f_1 时的输出信号电压 V_1 和调制频率为 f_2 时的输出信号电压 V_2 , 就可由下式确定响应时间

$$\tau = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{V_1^2 - V_2^2}{(V_2 f_2)^2 - (V_1 f_1)^2}} \quad (2-3)$$

为减小误差, V_1 与 V_2 的取值应相差 10% 以上。

由于许多光电探测器的幅频特性都可由式(2-1)描述, 人们为了方便地表示这种特性, 引出截止频率 f_c 。它的定义是当输出信号功率降至超低频一半时, 即信号电压降至超低频信号电压的 70.7% 时的调制频率。故 f_c 频率点又称为三分贝点或拐点。由式(2-1)可知

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} \quad (2-4)$$

实际上, 用截止频率描述时间特性是由式(2-1)定义的 τ 参数的另一种形式。

在实际测量中, 对入射辐射调制的方式可以是内调制, 也可以是外调制。外调制是用机械调制盘在光源外进行调制, 因这种方法在使用时需要采取稳频措施, 而且很难达到很高的调制频率, 因此不适用于响应速度很快的光子探测器, 所以具有很大的局限性。内调制通常采用快速响应的电致发光元件作辐射源。采取电调制的方法可以克服机械调制的不足, 得到稳定度高的快速调制。

四、实验仪器

1. 信号发生器一台;
2. 示波器一台(CS-1022 型);
3. 电源一台;
4. 毫伏表一个;
5. 发光二极管(GaAs, 可见光发光二极管)及电阻等元件若干。

图 2-1 为本实验装置框图。图中把发光二极管负载上的调制电压输入到示波器的 x 轴作为外触发同步脉冲, 把光电探测器负载两端的输出信号电压输入到示波器的 y 轴输入端。

下面简要介绍 CS-1022 型示波器的外触发工作方式 and 10% 到 90% 的上升响应时间的测试方法。

(1) 外触发同步工作方式

当示波器的触发源选择 ext 挡时, CS-1022 型示波器右下角的外触发输入插座上的输入信号成为触发信号。在很多应用方面, 外触发同步更为适用于波形观测。这样可以获得精确的

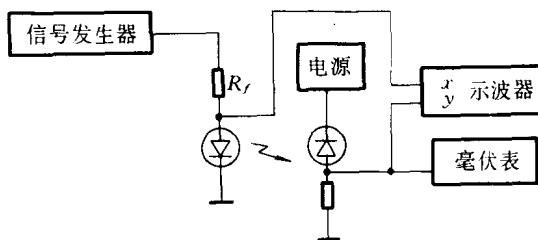


图 2-1 响应时间测试装置框图

触发而与馈送到输入插座 CH1 和 CH2 的信号无关。因此,即使当输入信号变化时,也不需要再进一步触发。

(2) 10%到 90%的上升响应时间的测试

(i)将信号加到 CH1 输入插座,置垂直方式于 CH1。用 V/div 和微调旋钮将波形峰峰值调到 6div。

(ii)用 $\blacktriangleleft$ 位移旋钮和其它旋钮调节波形,使其显示在屏幕垂直中心。将 t/div 开关调到尽可能快速的档位,能同时观测 10%和 90%两个点。将微调置于校准档。

(iii)用 $\blacktriangleleft\blacktriangleright$ 位移旋钮调节 10%点,使与垂直刻度线重合,测量波形上 10%和 90%点之间的距离(div)。将该值乘以 t/div ,如果用“ $\times 10$ 扩展”方式,再乘以 $1/10$ 。

请正确使用 10%、90%线。在 CS-1022 型示波器上,每个 0%、10%、90%和 100%测量点都标记在示波管屏幕上。

使用公式:

上升响应时间 $t_r = \text{水平距离}(\text{div}) \times t/\text{div}$ 挡位 $\times$ “ $\times 10$ 扩展”的倒数($1/10$)。

[举例]

例如,水平距离为 4div, t/div 是 $2\mu\text{s}$ (见图 2-2)。代入给定值:

上升响应时间 $= 4.0(\text{div}) \times 2(\mu\text{s}) = 8\mu\text{s}$

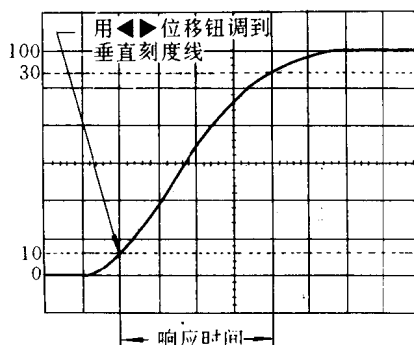


图 2-2 上升响应时间测量举例

五、实验步骤

1. 硅光电二极管响应时间的测量

(1)将信号发生器调到方波输出档。调节信号发生器的输出,使发光二极管的工作电流不超过其额定工作电流。可通过负载电阻两端的电压来测量。

(2)调节示波器的扫描时间和触发同步,使光电二极管对光脉冲的响应在示波器上得到清晰的显示。

(3)在光电二极管的负载为 $1\text{k}\Omega$ 时,改变其偏置电压。观察并记录在零偏及不同反偏下光电二极管的响应时间,并填入表 2-1。

表 2-1 硅光电二极管的响应时间与偏置电压的关系

偏置电压 E/V	0	5	12	15	
响应时间 t_r/s					

(4)在反向偏压为 15V 时,改变探测器的偏置电阻,观察探测器在不同偏置电阻时的脉冲响应时间。记录填入表 2-2。

表 2-2 硅光电二极管的响应时间与负载电阻的关系

负载电阻 R_L/Ω	51	100	1k	10k	100k
响应时间 t_r/s					

2. 测量 CdSe 光敏电阻的响应时间

将 GaAs 发光二极管换为可见光发光二极管,在偏置电压为 15V,负载电阻为 $10\text{k}\Omega$ 的条

件下测量 CdSe 光敏电阻的响应时间。测量方法同上。

3. 用幅频特性测量 CdSe 的响应时间

将信号发生器调到正弦波输出。测量 CdSe 在不同调制频率时的输出电压。测量时应保证光源在不同的调制频率下具有相同的峰值辐射功率。由幅频特性确定的响应时间,在理论上等于由 0 上升到稳态值的 63% 所确定的脉冲上升响应时间。(选作)改变偏置电压和负载电阻,观察光敏电阻的响应时间是否变化。

4. 用截止频率测量 CdSe 光敏电阻的响应时间

改变正弦波的频率,可以发现随着调制频率的提高,CdSe 负载电阻两端的信号电压将减小。测出其衰减到超低频的 70.7% 时的调制频率 f_c ,并由式 2-4 确定响应时间 τ 。

六、实验报告

1. 列出表 2-1,表 2-2 并解释光电二极管的响应时间与负载电阻和偏置电压的关系。
2. 列出用脉冲响应法测得的 CdSe 光敏电阻的响应时间,并与用幅频特性法测出的响应时间相比较。
3. 写出用截止频率测得的 CdSe 的响应时间。并比较这三种方式的特点。

七、思考题

1. CdSe 光敏电阻在弱光和强光照射下的响应时间是否相同? 为什么?
2. 如欲测量响应速度更快的光电探测器的响应时,则必须提高光源的调制频率,试想还有哪些方法。

实验三 光电探测器探测度的测量

探测度是衡量光电探测器对于微弱信号的极限探测能力的一个重要指标。这一性能指标对光电探测器在弱光探测和军事方面的应用具有重要意义。

探测度这一参数最初是从噪声等效功率 NEP 引出的。NEP 的定义如下：

当探测器输出的基频信号电压的有效值 V_s 等于噪声均方根电压 V_n 时，投射到探测器上的已调制辐射功率 P_s (基频分量的均方根值)，称作光电探测器的噪声等效功率。用公式表示，则为

$$\text{NEP} = \frac{P_s}{V_s/V_n} \quad (3-6)$$

这里，NEP 的单位为 W。

噪声等效功率又称为最小可测功率，因此光电探测器的 NEP 值越小，其探测本领越强，这显然不符合人们的心理习惯。人们习惯上认为探测器的性能越好，表征它性能的参数应越大。因此通常由 NEP 的倒数定义探测度 D ，用公式表示，则为

$$D = \frac{1}{\text{NEP}} = \frac{V_s/V_n}{P_s} \quad (3-2)$$

探测度 D 可以理解为每单位(瓦)辐射功率照射在探测器上得到的信噪比。 D 越大，表明探测器的探测能力越强。 D 的单位为 W^{-1} 。

理论与实验均表明，噪声等效功率与探测器的光敏面积 A_d 和测量系统的带宽 Δf 乘积的平方根成正比，即

$$\text{NEP} \propto (A_d \Delta f)^{\frac{1}{2}} \quad (3-3)$$

亦即

$$D(A_d \Delta f)^{\frac{1}{2}} = \text{常数} \quad (3-4)$$

其中 A_d 为探测器的光敏面积，单位为 cm^2 ； Δf 为测量系统的带宽，单位为 Hz。为了消除光敏面积和测量带宽的影响，便于对不同类别的探测器进行比较，人们引入归一化探测度 D^* (又称为比探测度)。 D^* 被定义为 D 与 $(A_d \Delta f)^{\frac{1}{2}}$ 的乘积，即

$$D^* = D(A_d \Delta f)^{\frac{1}{2}} = \frac{(A_d \Delta f)^{\frac{1}{2}}}{\text{NEP}} = \frac{V_s/V_n}{P_s} (A_d \Delta f)^{\frac{1}{2}} \quad (3-5)$$

D^* 的单位是 $(\text{cm} \cdot \text{Hz}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{W}^{-1})$ 。它表示探测器接收面积为 1cm^2 ，工作带宽为 1Hz 时，在单位入射辐射功率照射下所输出的信噪比。为简化起见，通常也把 D^* 叫做探测度。

通常在 D^* 后将测量条件一并标出，如所用的黑体光源的温度、调制频率、测量系统的带宽等，测量值以 $D^*(T, f, \Delta f)$ 标出。例如 $D^*(800, 500, 1)$ 。

为了描述光电探测器对不同单色光的探测能力强弱，还引入光谱探测度 D_s^* 。它表示器件对波长为 λ 的辐射的探测度。 D_s^* 的测量结果以 $D_s^*(\lambda, f, \Delta f)$ 标出。

一、实验目的

1. 掌握光电探测器探测度的测试方法；
2. 深入了解光导探测器的探测度与调制频率的关系。

二、实验内容

1. 利用黑体辐射测量 PbS 光导探测器的积分响应度、最小可探测功率及探测度；
2. 测量响应度和探测度与调制频率的关系。

三、基本原理

根据定义,探测度可表示为

$$D^* = \frac{V_s/V_n}{P_s} (A_d \cdot \Delta f)^{\frac{1}{2}} \quad (3-6)$$

其中,探测器的接收面积 A_d 和放大器的工作带宽 Δf 在一定的测量系统中为定值,因此,只要测得探测器输出信噪比 V_s/V_n ,便可根据计算得到的 P_s 求出 D^* 。

本实验用 500K 黑体作辐射源。

根据普朗克公式,黑体在单位面积上,在单位波长间隔内发射的辐射功率为

$$L_{B\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (3-7)$$

式中,普朗克常数 $h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$;玻尔兹曼常数 $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$;光速 $c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; λ 为辐射波长; T 为绝对温度。

黑体在 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 波段范围内的辐射功率为

$$L = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{B\lambda} d\lambda$$

PbS 光敏元件的响应波段为 $1 \sim 3 \mu\text{m}$,在此波段内的辐射功率为

$$L_{\text{PbS}} = \int_1^3 \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} d\lambda$$

经数值积分计算得 $L_{\text{PbS}} = 6.439 \times 10^{-3} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ 。

探测器接收到的功率 P_s 为

$$P_s = L_{\text{PbS}} \frac{A_d}{\pi r^2} A_b \epsilon m$$

式中, A_d 为探测器面积; A_d/r^2 为接收视场立体角; A_b 为黑体光栏孔径面积; r 为黑体光栏孔径至探测器灵敏面的距离; ϵ 为辐射系数,取 0.98; m 为调制转换系数,这里取 0.28(三角波调制)。

当黑体辐射炉和探测器确定后,上述参量就是一些常数。因此探测器的接收功率就是确定的。而相应的探测器的输出电压和噪声电压可以测出,因此可计算出探测器的响应度和探测度。

由实验一可知,光电探测器的响应度为

$$\mathcal{R}_v = \frac{V_s}{P_s}$$

在本实验中 P_s 为 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 波长范围内的积分功率,因而 $\mathcal{R}_v$ 为积分响应度。

四、实验步骤

实验装置如图 3-1 所示。

1. 接通循环冷却水,开通水泵,接通黑体辐射炉电源(用自耦变压器供电23V),并使黑体温度维持在 227°C ,即绝对温度 500K 。

2. 接通探测器的偏置电源(+50V)及放大器供电电源(+12V)。

3. 把频谱分析仪的旋钮放在适当位置:

- (1)将输入线放在 Amplifer Input 位置;
 - (2)将左侧第二个旋钮放在 Direct 测量位置;
 - (3)将 Weighting Network 放在 $20\sim 40000$ 位置;
 - (4)将 Meter Switch 放在 Slow 一侧的 RMS 位置上;
 - (5)将 Frequency Selector 放在 Frequency Analysis 位置上。
4. 把放大器的输出端与频谱分析仪的输入相连接,并接通频谱分析仪电源开关。
5. 接通调制盘电机的电源。
6. 用频谱分析仪测量输出信号电压。

改变频谱分析仪的 Meter Range(表头量程)和 Range Multiplier(量程倍率),使之在调节频谱分析仪的频率手轮时,指针有明显的变化(切记,量程太小会使指针打表头)。然后缓慢调节频率手轮使表头指针有最大的读数值,记下此时的频率值及输出电压值。

7. 测量噪声电压 V_n 。用黑纸遮挡住黑体辐射源窗口,测量与调制频率 f 相应的噪声电压。

8. 改变电机电压(即改变调制频率),测量不同调制频率下的输出信号电压和噪声电压。并将测量结果填入表 3-1。

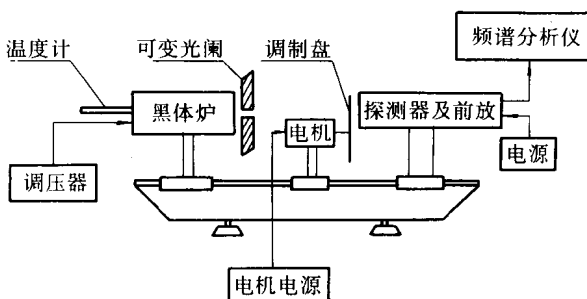


图 3-1 探测度测试实验装置图

表 3-1

f/Hz								
V/mV								
V_n/mV								

五、使用仪器及元件

1. 2107 型频谱分析仪;
2. 晶体管稳压电源;
3. 自耦变压器;
4. 黑体炉;
5. PbS 元件及放大器;。

六、实验报告

1. 根据实验结果,计算 PbS 光导探测器的响应度、最小可探测功率及探测度,并将它们与调制频率的关系列表,作图。