

 电子信息与电气学科规划教材·光电信息科学与工程专业

光电信息

综合实验与设计教程

王庆有 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

电子信息与电气学科规划教材·光电信息科学与工程专业

光电信息综合实验 与设计教程

王庆有 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

前 言

随着科学技术的发展, 机器制造业已经由自动化过渡到智能化阶段, 尤其是信息技术的发展对光电信息产业的需要越来越迫切, 光信息科学与技术、光电信息工程等专业像雨后春笋般地诞生在国内各个高等学校, 为光电信息产业培养了大批人才, 促进了光电信息技术的进一步发展。但是, 仍然存在着两难(企业用人难, 毕业生就业更难)的问题。将提高学生动手、动脑能力放在首位, 已经成为很多高校教学改革的方向, 如何利用实验教学环节来提高动手能力显得尤为重要。为找寻解决两难的关键和适应光电信息技术发展的需要, 我们组织了 9 所高校的 20 余名在光电信息领域具有很高造诣的一线教师与实验工作者着手编写了这本《光电信息综合实验与设计教程》, 以便适应光电信息技术迅猛发展对人才培养的需要。

本书以新的实验室建设理念为指导思想, 以提高学生动手与动脑能力为目标, 努力为培养新一代创新型高科技人才, 适应高速发展的现代科学技术的需要服务。编写过程中参考了很多学校的相关实验教学设备和一些具有创意性的实验仪器, 结合作者多年从事实验室工作的感受和对实验室建设的成功经验, 同时提出了新的实验室建设理念: “自设实验题目, 自搭实验系统, 创业基础坚实, 择业广受欢迎。”

按着教学规律将本书分为综合实验与综合设计两篇。

第一篇的综合实验共有 8 章, 涵盖了光、机、电和算等多学科的实验, 包括基础理论(或称验证性)的实验教学内容与创新性和实训性的实验内容。其主导思想是为学生提供“自设实验题目”的参考, 先让学生按教材提供的实验方法与步骤完成规定的各种实验。在实验方法与步骤的讲述方面贯穿了引导学生自己搭建实验装置或系统的主线, 让学生在自己搭建的系统上完成各种功能的调试, 调试过程使学生得到锻炼与提高, 同时调动学生的学习兴趣与创新意识, 愿意根据所学课程设置新的实验题目, 再利用自搭的实验系统完成理论课需要进行的实验。在实验过程中增长才干, 养成务实、开拓与进取的优良学风。

第一篇介绍的内容较多、较广, 可以根据各校、各专业或本课程的特点选用适当的章节进行实验, 尽管自搭实验系统花费的时间与精力较大, 但学生的收获将比过去的“黑匣子”、“傻瓜式”或“模块化”实验教学仪器要大得多。

第二篇的综合设计由 4 章构成。首先编排一些简单而基础的实验设计; 然后根据先易后难的原则安排一定量的课程设计课题, 也筛选了一些具有代表性的毕业设计课题, 引用了一些综合性、实用性和创新性强的设计课题, 目的是使学生学会从事设计所必须掌握的知识和技能; 最后列举一些难度较高且具有当前水平的设计实例, 目的是使学生了解、认识与掌握当前光电信息方向的科技发展水平的设计内容。有些设计内容并不是按着实际设计论文或设计说明书的格式描述的, 而是侧重讨论并指出课题的设计关键点、难点和创新点, 把那些重复的内容尽量简化。

在本书编写过程中参考了一些光电信息方面的“十五”、“十一五”国家级规划教材, 主要有:

《光电技术(第 2 版)》: 王庆有主编, 电子工业出版社。

《光电传感器应用技术》: 王庆有主编, 机械工业出版社。

《工程光学》: 郁道银主编, 机械工业出版社。

《光电图像处理》: 刘文耀主编, 电子工业出版社。

《光电子技术》: 姚健全主编, 高等教育出版社。

《光学》：赵健林主编，高等教育出版社。

还参考了黎敏、廖延彪主编，武汉大学出版社出版的《光纤传感器原理与应用》，以及王庆有主编，电子工业出版社出版的《图像传感器应用技术》等教材。

本书由天津大学王庆有主编，并负责全书的策划与统稿。来自天津大学、长春理工大学、西安工业大学等 9 所高等院校的光电信息技术领域的 20 多位一线教师与实验室的高级工程技术人员，组成教材编写组，分别编写了各自擅长的部分。可以说，本书的出版，是编写组成员集体智慧的结晶。

本书编写组成员有：天津大学的王庆有、陈晓冬、王晋疆、齐龙和刘宏利，吉林大学的赵静荣，中南大学的徐富新、李幼真、刘雁群和吴承德，长春理工大学的付跃刚、徐熙平和周见红，西安工业大学的倪晋平、田会和马卫红，南昌航空大学的王庆和黎芳芳，天津工业大学的尚可可，浙江师范大学的钱惠国，淮海工学院的王惠明。除此之外，在本书编写过程中有很多同行朋友提供了许多很有价值的材料和建议，在此深表感谢。

本书由西安工业大学刘缠牢教授、天津理工大学蒋振平副教授主审；在本书编写过程中，天津工业大学的尚可可、天津市耀辉光电技术有限公司的于洪明、张慧霞、刘晓芳等付出了巨大劳动；本书的出版得到了很多高校光信息科学与技术、光电信息工程等专业的领导与教师的大力支援与关注。在此，一并表示感谢。还要感谢天津市耀辉光电技术有限公司、天津市开希机器视觉技术有限公司领导与员工的大力协助，天津大学精密仪器与光电子工程学院领导与同事的大力支持。

编 者

目 录

第一篇 基础理论与技术实验

第 0 章 光电信息实验的预备知识	(2)
0.1 光电信息方向的实验室	(2)
0.2 光电综合实验平台简介	(2)
0.3 光电信息实验基本规则	(6)
第 1 章 光电传感器原理与变换电路实验	(7)
1.1 光源与光度辐射度参数的测量实验	(7)
1.2 光敏电阻特性参数及其测量实验	(12)
1.3 光敏电阻的变换电路实验	(16)
1.4 光电二极管特性参数及其测量实验	(18)
1.5 光电电池的偏置与基本特性实验	(23)
1.6 光电三极管特性参数及其测量实验	(27)
1.7 光电倍增管电流倍增特性与特性参数测试实验	(31)
1.8 光电耦合器特性参数测量实验	(36)
1.9 热敏器件与热释电探测器实验	(40)
1.10 PSD 实验	(42)
1.11 LED 角度特性参数测量实验	(45)
1.12 LED 光谱特性的测量与光栅光谱仪实验	(46)
第 2 章 线阵 CCD 传感器原理与应用实验	(49)
2.1 线阵 CCD 原理与驱动特性实验	(49)
2.2 线阵 CCD 输出特性测量实验	(52)
2.3 利用线阵 CCD 进行物体外形尺寸测量实验	(54)
2.4 线阵 CCD 的 A/D 数据采集实验	(59)
2.5 用软件提取边缘信号的二值化实验	(61)
2.6 用线阵 CCD 测量物体的倾斜角度实验	(63)
2.7 条码的测量与识别实验	(66)
2.8 用线阵 CCD 测量物体的振动实验	(71)
2.9 利用线阵 CCD 对运动物体进行图像扫描实验	(73)
第 3 章 面阵 CCD 图像传感器实验	(77)
3.1 面阵 CCD 原理及驱动实验	(77)
3.2 面阵 CCD 的数据采集与计算机接口实验	(79)
3.3 面阵 CCD 尺寸测量实验	(81)
3.4 面阵 CCD 颜色识别实验	(84)
3.5 图像的点运算实验	(86)
3.6 图像的几何变换处理实验	(89)
3.7 图像增强实验	(92)

3.8	图像边缘检测与轮廓信息处理实验	(97)
3.9	典型图像分析方法实验	(100)
3.10	微光像增强器原理与应用实验	(104)
第4章	应用光学与光学系统实验	(107)
4.1	光学实验必备知识	(107)
4.2	组装远心照明光源与测量薄凸透镜的焦距实验	(110)
4.3	位移法测量薄凸透镜焦距实验	(113)
4.4	组装显微镜系统实验	(114)
4.5	组装透射式幻灯机实验	(115)
4.6	透镜组节点、焦距测量实验	(117)
4.7	保罗棱镜及其转向功能实验	(119)
4.8	光的偏振现象与偏振光应用实验	(120)
4.9	透镜的傅里叶性质及常用函数与图形的光学频谱分析实验	(124)
4.10	4f 光学系统 FT 及 IFT 系统实验	(126)
第5章	光的衍射与干涉实验	(129)
5.1	夫琅禾费衍射实验	(129)
5.2	夫琅禾费单缝衍射实验	(131)
5.3	夫琅禾费圆孔衍射实验	(134)
5.4	双缝干涉实验	(136)
5.5	利用夫琅禾费衍射测量细丝直径实验	(138)
5.6	利用衍射测量物体位置与振动实验	(139)
5.7	菲涅耳直边衍射实验	(140)
5.8	菲涅耳圆孔衍射实验	(141)
5.9	全场衍射测量微小变形量实验	(142)
5.10	干涉现象与迈克耳孙干涉仪的构建实验	(143)
5.11	利用迈克耳孙干涉系统测量微位移实验	(146)
第6章	光电检测技术实验	(148)
6.1	纳米量级微弱振动的监测实验	(148)
6.2	材料拉伸变形量的测量实验	(150)
6.3	物体颜色的测量与识别实验	(151)
6.4	物体二维空间位置测量实验	(154)
6.5	光栅与莫尔条纹原理实验	(156)
6.6	光电信息调制与解调实验	(158)
第7章	光纤通信与光纤传感实验	(162)
7.1	光纤、光缆的分类与识别实验	(162)
7.2	光纤传输信号原理与损耗测试实验	(165)
7.3	多模光纤数值孔径测试实验	(168)
7.4	光纤的接续(含熔接)与扩展实验	(171)
7.5	光纤连接器结构、型号识别与应用实验	(173)
7.6	波分复用(WDM)原理与合、分波实验	(174)
7.7	WDM 器件的串扰与损耗测试实验	(179)
7.8	光纤传感原理实验	(182)

7.9	光纤温度传感器原理与应用实验	(184)
7.10	光纤压力传感器原理与应用实验	(186)
7.11	光纤光开关特性与应用实验	(187)
7.12	光纤通信原理与应用实验	(189)
7.13	光发射机消光比的测量实验	(191)
7.14	音频模拟信号传输实验	(193)
第 8 章	激光原理与应用实验	(195)
8.1	半导体激光二极管 (LD) 原理的认识性实验	(195)
8.2	激光器 (含 LD) 的输出特性测量实验	(197)
8.3	LD 伏安特性测量实验	(200)
8.4	LD 光源发光空间特性与发光半角宽度的测量实验	(201)
8.5	LD 发光光谱特性的测量实验	(204)
8.6	激光电光调 Q 实验	(207)
8.7	激光器晶体角度匹配倍频实验	(210)
8.8	YAG 脉冲激光器的装调和最佳耦合角选取实验	(213)
8.9	He-Ne 多谱线激光器测试实验	(215)
第二篇 综合性、开发性设计		
第 9 章	光电信息转换技术实验开发与设计	(220)
9.1	激光扫描法测量物体外径实验	(220)
9.2	像偏移法测量位移实验	(222)
9.3	激光多普勒测速仪实验	(222)
9.4	干涉法测量表面平整度实验	(223)
9.5	电光调制实验	(224)
9.6	声光调制器实验	(229)
第 10 章	光电信息课程设计	(232)
10.1	光功率测量方法与光功率计的设计	(232)
10.2	照度测量方法与照度计的设计	(234)
10.3	发光强度测量仪的设计	(236)
10.4	亮度测量方法与亮度计的设计	(238)
第 11 章	光电信息技术方向毕业设计课题	(241)
11.1	光电遥控多功能开关的设计	(241)
11.2	沿路标自动行驶车辆的方向与速度的控制设计	(251)
11.3	太阳转动保持最高接收效率的跟随系统	(257)
11.4	高速飞行体飞行姿态采集与分析的研究	(262)
11.5	旋转物体内孔表面质量的检测与分析	(265)
11.6	浮法玻璃板在线检测玻璃表面的“贴锡”缺陷	(267)
11.7	透明薄膜厚度的测量	(269)
11.8	利用干涉技术测量光学膜层的厚度	(273)
第 12 章	综合性与创新性设计课题	(276)
12.1	瓷砖外形尺寸的测量	(276)
12.2	利用面阵 CCD 拼接技术测量大尺寸轴径	(279)

12.3	物体表面质量测量技术研究(面阵 CCD)	(281)
12.4	物体边界检测仪的设计	(283)
12.4.1	技术要求	(283)
12.4.2	物体边界位置检测方法	(284)
12.4.3	物体边界位置检测系统的设计原则	(290)
12.5	大米自动分选机色选系统设计	(290)
12.5.1	色选系统与大米自动分选机的技术要求	(291)
12.5.2	色选系统的线阵 CCD 图像传感器	(293)
12.5.3	大米自动分选机色选系统的设计原则	(295)
12.6	成像系统像质评价和光学传递函数的测量	(296)
12.6.1	光学成像系统像质评价	(296)
12.6.2	光学全息技术主要功能及其应用	(297)
12.6.3	光学传递函数的测量方法	(297)
12.7	光栅尺的设计	(301)
12.7.1	基本概念和技术要求	(301)
12.7.2	光栅莫尔条纹与线阵 CCD	(302)
12.7.3	光栅尺的设计原则	(303)
附录 A	光电综合实验平台软件资料	(305)
附录 B	TCD2252D 手册	(312)
附录 C	TCD1251UD 线阵 CCD	(315)
附录 D	线阵 CCD 应用开发实验仪(LCCDAD-II)编程手册	(321)
附录 E	图像采集软件编程指导	(332)

第一篇

基础理论与技术实验

本篇包括第 1~8 章, 介绍各种光电传感器(分立与集成)、光学系统、光源、光纤与光纤传感器等的实验, 可充分调动学生的主观能动性, 提倡动脑思索, 动手操作, 独立自主地完成各种实验。每个实验几乎都安排了一定数量的思考题或讨论题, 目的是让学生做实验之前能够充分认识实验, 掌握通过实验应该解决的问题和完成实验后能否联想出更有价值的知识。

本篇内容丰富, 其中很多实验具有重要的应用价值, 作者有意将其实验过程与调试中遇到的问题进行详细的介绍, 目的是使读者能够通过实验掌握其中的精华, 扩展应用面。希望读者能够通过这些实验充分认识光电信息所涵盖的内容和它的影响力。

第0章 光电信息实验的预备知识

0.1 光电信息方向的实验室

1. 实验室的基本要求

光电信息实验涉及光学内容,应该在具有暗室条件的实验室内进行;光电系统处理的光信息常常比较微弱,在明亮的实验室很难观测与调试,需要在暗室里观测与调节系统;为排除背景辐射与人员晃动等扰动对光电系统的影响,也应该配备暗室条件。

暗室还要配备便于控制的照明光源(如LED照明灯等),以便在调试过程中,观看与记录数据。当然,照明光源又应该以不影响相邻实验设备为最佳。

光电实验室的供电电源(室内用电)必须可靠接地,确保仪器设备与实验人员的安全。绝对不能用双线供电的不安全电源,它不能保证仪器设备的安全运转,尤其是微电子设备比较脆弱,容易受突变电磁场的冲击,良好的接地能够确保设备与操作人员的安全。

光学器件与精密设备的保存环境要求很高,受潮后容易“发霉”或“生锈”,都将降低它们的性能或受到损毁。因此,光电实验室要对湿度有一定的要求,应将长期不用的光学元器件放入密闭的“干燥皿”内。当然,安装除湿控温设备更好。

2. 实验仪器与设备

光电信息技术的实验涉及很多学科,内容极其丰富。例如,光电检测与控制技术方向、光电子方向、光通信方向、机器视觉技术方向、光谱分析和太阳能光电技术方向等。一些学校将光电信息专业分成若干个专门化,为适应各个不同专业与专门化,设置很多实验室,开出的实验项目更多,本书用9章篇幅都不能将其全部介绍出来。光电信息技术方面的实验仪器与设备更多,而且正在迅速发展,教学的需要是实验设备生产厂商为之奋斗的动力。这些仪器设备丰富了光电信息实验教学内容,有利于教学工作的展开。但是,仪器设备的设计思路不同,设备差异很大,现存两种截然不同的设计思路。

一种是以厂家工程技术人员为主导,把整个实验系统拆分成若干个“模块”或“组件”,规定了用户的装配程序和步骤,并以实验指导方式向学生介绍接线或“用法”,学生通过简单的连接便能组装成各种实验系统,这种实验设备的特点是各组实验结果数据一致性很好,操作简便,易于管理。本可由学生通过实验得到的动手锻炼的工作被厂家技术人员做了,使学生失去了锻炼与思索机会,造成他们动手、动脑能力不强,他们只能观看到实验现象而不能体会搭建过程遇到的各种困难,没有动脑思索的空间和利用书本知识分析问题产生的原因与探索解决困难的方法,更不能体会通过各种努力最终完成实验的乐趣。用这样实验设备培养出来的学生动手、动脑能力低下,对理论知识认识浅薄,不受企业欢迎。

另一种是在“自设实验题目,自搭实验系统”的新实验室建设理念指导下产生的实验教学仪器设备,本书介绍的“光电综合实验平台”就是这种新理念的代表作品。

0.2 光电综合实验平台简介

光电综合实验平台的设计思想是以如何提高学生的动手、动脑能力,学到扎实的基础知识与基本技能为前提,以综合各种基本光电技术实验的一机多能为出发点设计的专利产品。它为

光电信息方向各类专业的学生提供了动手搭建各种实验系统的基本器材与条件,使学生能在各种实验教学指导书所提供的原理、步骤与方法指导下自主完成各种实验系统的搭建、调试与数据采集工作,使学生动手、动脑能力得到充分的提高。

目前,由天津市耀辉光电技术有限公司研发并生产的专利产品主要有 GDS-II、GDS-III与 GDS-IV等三种型号的光电综合实验平台,其外形分别如图 0.1-1、图 0.1-2 和图 0.1-3 所示。

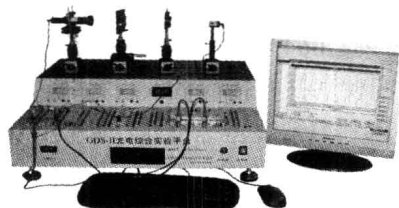


图 0.1-1 GDS-II 型光电综合实验平台

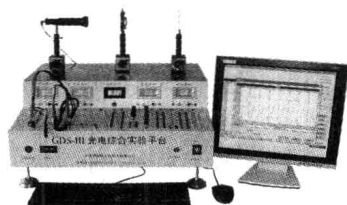


图 0.1-2 GDS-III 型光电综合实验平台

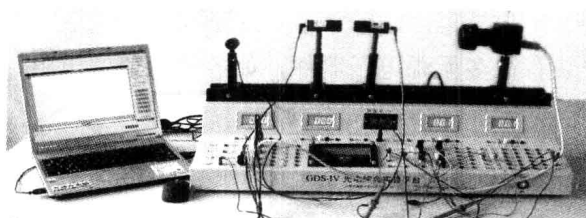


图 0.1-3 GDS-IV 型光电综合实验平台

这三款光电综合实验平台的外形结构有很大差异,但是它们具有很多共同的特点(共性),也存在着许多不同的功能与特色(个性)。

1. 共性

① 它们都是光、机、电和算有机结合的教学实验仪器。只是 GDS-IV 型平台内部没有计算机系统,它必须外接计算机才能完成各种实验。它们内部都具有高速 A/D 数据采集系统。

② 它们都配有光学平台(组装光学系统的部分),在其上能够通过磁性表座或其他类型的夹持装置将各种光学元器件、光电传感器及其他固定与调整装置组装成实验系统。

③ 平台上安装有独立电源的数字电压表、电流表和照度计等数字仪表。这些数字仪表的量程都能够通过按键开关进行切换、扩展量程,用来测量电路任意部位的电气参数(电压或电流)与光度参数,提高学生电子测量技术水平。

④ 具有电子元器件组装平台,其上安装有相当数量的有源与无源电子器件,为组装、调试各种光电变换电路提供便利条件,提高学生搭建电路的能力。

⑤ 具有阶梯波、锯齿波与方波发生信号的输出端口,供光电信息技术实验所用。还有 +12V、+5V(仪器上标注 V_{CC}) 等搭建电路常用的电源和 0~200V 连续可调的稳压电源,以便满足特种光电传感器(如雪崩光电二极管)特性测量与应用实验的需要。

⑥ 具有虚拟示波功能与伏安特性图示的功能,便于在光电技术实验过程中观察各部分电路的工作波形,检测电气参数,观察各种光电传感器件的伏安特性曲线与时间响应特性曲线。

⑦ 仪器内部安装有高速 A/D 数据采集系统,能够方便地与各种具有 USB 接口的计算机构成各种功能的数据采集系统,完成单元光电传感器以及集成图像传感器(如线阵与面阵 CCD 传感器)的原理、应用方面的数据采集工作。

⑧ 仪器内部提供 DEMO 演示软件与 SDK 开发软件包,便于学生与教师利用该平台完成各种自设实验题目的设计、科技开发和创新研究课题所需要的软件支持。DEMO 演示软件为学生与教师利用该平台开发设计提供示例,SDK 开发软件包将为他们提供利用系统采集的数据

进行后续开发设计工作。

⑨ 具有易损易换电子元器件盒, 盒内安装有各种有源易损与易换器件, 它既为光电变换实验电路提供所用的三极管、二极管与集成放电器等有源器件, 又为更换其他任意类似器件提供方便, 因为它们被安装在容易插拔的管座中。还为测试与扩充所用器件的种类提供便利条件。例如, 生产厂商无法提供给用户市场所有的器件, 灵活的接插件为用户提供了所有的需要, 只要将需要测试的器件替换上就能够利用平台的其他资源进行测试与实验工作。

⑩ 易损易换盒内还装有现场可编程逻辑电路 (EPM7064) 及其开发系统, 并且将有用的 I/O 口连接到平台工作面上的插孔中, 可以利用专用配件 (开发接口板及连接线) 与 Quater II 或 maxplus II 软件对 I/O 口进行编程、设计与开发, 再利用示波器等仪器对所设计的 I/O 口进行观测与分析, 检查所编逻辑电路的正确性, 或为后续电路提供信号源。

⑪ 正因为它们具有⑤、⑥、⑦、⑧、⑨和⑩六种功能, 才使它不仅是实验、实训教学的设备, 还能够用来做课程设计、毕业设计和其他光电信息方面创新设计的“样机”或做科技开发设计的“母机”。

⑫ 实验平台上还安装有很多无源电子器件, 如各种阻值的电阻、电位器 (或可变电阻) 与电容, 为实验过程中调试电路参数提供便利条件。

⑬ 仪器提供几十条长短不一的易插连接导线、弹性插头与插座等级联结构, 利用它们能够完成各种电路的搭建、调试与参数测试工作。

2. 个性

① GDS-II 型光电综合实验平台的光学平台面积较大, 能够组装更为复杂的光电系统, 完成更多功能的实验, 是最为理想的实验教学平台。

② GDS-III 型光电综合实验平台的光学平台面积较 II 型小, 在其上所能组装 (或搭建) 的光电系统种类也比 II 型稍微少一些, 但是, 基本够学生搭建光电信息实验和设计系统所用。

③ GDS-IV 型光电综合实验平台的光学平台是导轨方式的, 因此, 它只能搭建简单的沿直线分布的光电系统, 而不能像 II、III 型平台那样搭建出平面分布的复杂光电系统。它是为那些偏向于电学知识要求较多专业 (如测控专业) 而设计的简易型。

④ 电子元器件的配置数量也不相同, II 型最多, IV 型最少, 当然它所能完成的实验内容也与型号有关。

⑤ II、III 型平台内部均装有相关应用软件与 SDK 开发软件的计算机系统, 不必再配备其他计算机系统等外设, 而 IV 型平台内部没有计算机, 它只能通过 USB 接口与外部计算机相连接。如图 0.1-3 所示为 IV 型平台与笔记本计算机共同完成光电传感器伏安特性测量实验的情况。在使用外部计算机之前必须首先安装实验软件。

3. 相关配件

为了能够帮助学生利用光电综合实验平台搭建出更多的实验系统, 完成更多的实验内容, 平台配备有很多相关配件。配件种类很多, 这里分类介绍重点配件。

(1) 光源类

光源类配件内容很多, 如各种颜色的 LED 光源、远心照明光源和激光光源 (气体与半导体) 等。

① LED 光源具有一定的单色性, 而且, 它的亮度与工作电流有较好的线性关系, 利用该特性可以做成近似的“线性”光源完成相关光电实验。

② 远心照明光源是几何量测量的重要光源, 很多光电检测系统都有它的参与。

③ 激光更是重要光源之一, 它具有很多优良特性。激光的种类、名称与它的工作物质、

输出光的方式和形状等相关，将在本书中有关章节详细介绍。

(2) 光学元器件

光学元器件包含各种焦距的正、负透镜，反光镜，分光镜，棱镜，显微目镜，牛顿环和保罗棱镜等光学元器件，这些光学元器件为完成现代光学实验提供基本器材。

(3) 各种夹持器

所有的光学元器件都需要夹持器夹持，光电器件也需要夹持器才能将其构建成系统，这些夹持器在搭建光电实验系统中起到重要的作用。夹持器的种类也很多，将分别在有关实验中详细说明。

(4) 安装、固定与调整机构

利用安装、固定与调整机构完成实验系统的搭建、固定位置与调整参数，使学生搭建出的系统满足实验指导书的要求。

(5) 实验装置

在搭建实验系统过程中，可能会遇到很难搭建的复杂系统，花费的时间和精力是实验学时所不允许的，为此企业将这些内容设计成相应的“实验装置”或专用的实验仪器，通过这些装置或仪器的配合才能完成以动脑、动手为目的的实验。实验装置或仪器的种类和内容都很多，分别安排在各个实验内容中介绍。

4. 设备结构及功能

利用平台或在其上能够搭建出多种类型的实验，表现出它的平台特性。熟悉它的结构为利用它搭建各种实验系统提供方便。

如图 0.1-4 所示为光电综合实验平台的结构图，各部分功能介绍如下。

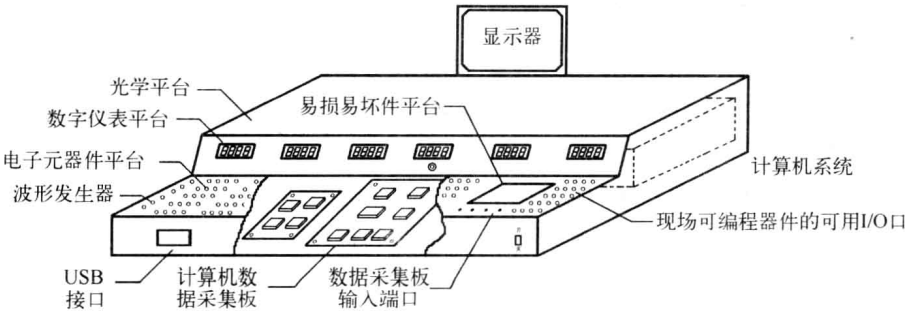


图 0.1-4 GDS-II 光电综合实验平台结构

① 计算机系统。它是一台完整的计算机，主机装于仪器内部，显示器与鼠标、键盘等置于仪器外部，构成整体性强的仪器系统。它能够独立完成所有微型计算机的功能。

② 光学平台。由导磁不锈钢材料构成，其上以矩阵方式分布着很多 M6 螺孔（为安装各种光学部件所用），通过这些螺纹孔与磁性表座等器材能够搭建出各种实验系统。

③ 数字仪表平台。数字仪表包括数字电压表、数字电流表和数字照度计，它们都具有独立电源的特性，可以对电路中的任何部位进行测量，不会影响被测电路。数字照度计可以自动切换量程，其探头较小易于测量实验过程中的各种光度量。

④ 电子元器件平台。包括无源器件电阻、电容与可变电阻等，有源器件二极管、三极管和集成放大器等都通过 $\phi 2$ 插座引出到电子元器件平台上，供搭建电路所用，其容值与阻值均标注在插孔处，方便选用。有源器件均插在“易损易换盒”内的插座中，既便于将损坏的器件换掉又方便采用更多其他功能的元器件进行实验。

⑤ 计算机数据采集板。计算机数据采集板含有波形发生器、多路并行数据采集系统、线阵 CCD 和面阵 CCD 图像采集卡等。它能够与计算机软件系统构成多种功能的“虚拟仪器”，

例如,各种传感器的伏安特性图示意、图像采集与图像分析仪等。因为有了它才使仪器具有综合实验平台之称。

⑥ 现场可编程逻辑电路。将 CPLD 安装于平台易损易换盒内,并通过编程专用工具和 Quater II 软件写出设计电路,利用引出到面板上的 I/O 插孔引出,再利用电子元器件平台上提供的有源、无源器件与电源搭建后续电路将其放大到负载所需要的程度,完成各种功能。

0.3 光电信息实验基本规则

为确保光电信息技术实验的顺利进行,保障人身安全,避免损坏设备,要求实验人员必须严格遵守下述实验规则与注意事项,在教师的指导下有秩序、按步骤地进行。

① 在实验之前,实验人员必须阅读实验指导书所要求的实验基础知识,并阅读必要的参考资料。明确实验目的,了解实验内容及步骤,有条件者最好带着习题与思考题中的问题进行实验。

② 必须严格按照指导教师制定的步骤进行实验,不得自行更改实验系统或实验电路,如果确实需要变更,应该及时请教指导教师,征得同意后方可实施。否则,可能会损坏实验仪器或配件,由此造成的损失自负。

③ 要爱护实验仪器、示波器和计算机等实验设备,不允许将其他不相关的仪器在未经指导教师许可的情况下与实验仪器进行连接。

④ 所有与实验仪器相关的线缆,如电源线、示波器的地线、计算机与实验仪器的 USB 数据线等,应该在断电情况下进行连接,严禁带电插拔连接线缆。

⑤ 应集中精力,认真按实验指导教师规定的内容与操作步骤进行实验,不要随心所欲无计划无目的地进行实验。

⑥ 在实验过程中如果遇到突发事故(跳闸断电等)或者出现异常现象时应立即切断实验设备的电源,并及时报告指导教师,征询解决办法,不允许自做主张、自行处置。否则,应承担由此引起的相关责任。

⑦ 所有实验设备都应当有良好的接地线,并在确保接地线连接良好的情况下方能开机上电。

⑧ 做每个实验之前都应该认真预习实验指导书的提示内容,特别注意实验所需设备、配件、实验原理、实验步骤和讨论等内容,尤其在需要临时进行拆装、改造实验装置时更应该按照实验指导书中规定的步骤与方法进行。

⑨ 应该仔细阅读实验指导书后面的附录,附录内容包括“实验设备使用说明书”、“部件说明书”、“软件使用说明书”等,它是完成实验并使之达到实验目的的重要参考资料,必须事前阅读有关部分。

⑩ 每节实验课结束时都要将实验仪器设备回复到初始状态,关掉电源(简称关机)。在关机时一定要仔细观察实验设备中是否含有计算机系统,凡是有计算机系统的实验设备都要首先将“执行的软件”退出后再执行“关机”操作,待计算机系统确实关掉后再关掉其他电源及总电源,以免造成因其他设备的关断而产生“技术死机”,耽误时间。

⑪ 认真完成实验报告,写实验报告的过程是帮助消化吸收的过程,是掌握真知的重要步骤。实验报告除记录实验内容、步骤、现象、数据与结论外,还应该总结自己在搭建实验系统中遇到的问题和解决问题所采用的方法。养成每做完一项实验就要认真做好实验总结与报告的习惯,实验报告中除老师规定的内容外还应该有自己的心得体会和所取得的进步。

上述实验规则与注意事项,是通过实验提高动脑、动手能力的保证,希望每个有志青年努力学好光电信息技术,为我国光电事业的发展,为人类文明程度的提高做出贡献。

第 1 章 光电传感器原理与变换电路实验

1.1 光源与光度辐射度参数的测量实验

1. 实验目的

(1) 通过用棱镜、光栅等分光器件对白光 LED（发光二极管）发出的光进行分光的实验，认识光的光谱组成；通过比较棱镜与光栅分光效果，充分认识光栅是由微小棱镜聚合而成的原理；通过转动光栅的转角观察光谱的移动，掌握光栅分光的特性。

(2) 利用光电综合实验平台上的照度计，测量各种颜色 LED 在不同供电电流 I_L 作用下照度 E_v 的变化，认识 I_L 与 E_v 的关系，理解为什么在有些实验中常用标定（测量） I_L 的方法标定 E_v 。

(3) 通过测量 LED 的供电电流 I_L 与发光强度 I_v 、照度 E_v 的对应关系，掌握发光强度与照度、光出射度间的关系。

2. 实验器材

- ① GDS—II 型（或 III、IV 型）光电综合实验平台主机系统；
- ② 60° 分光棱镜及其夹持装置各 1 个；
- ③ 1200 条线/毫米光栅及其夹持装置各 1 个；
- ④ 发白光的 LED 平行光源（远心照明光源）及其夹持装置各 1 个；
- ⑤ 发蓝色、红色、绿色光的 LED 各 1 只；
- ⑥ 17mm 直径的圆形硅光电池片（连同构成立体角的机构）1 片；
- ⑦ 可调狭缝及其夹持装置各 1 个；
- ⑧ 观测屏及其夹持装置各 1 个；
- ⑨ 磁性表座 4 个。

3. 基础知识

白光是各种颜色（波长或频率）的光谱能量积分形成的复合光。而棱镜，特别是三棱镜具有将白光分解成各种颜色单色光的特性。测量各种波长单色光的照度等参数，将使对光本质的认识更进一步。在实际应用技术中常用到单色光源所具有的特性，提高非接触测量与控制的精确度，各种光电器件对不同波长的光有不同的响应，光电器件光谱响应特性的测量也离不开单色光源。因此，学习并掌握光源参数的测量方法和分光方法对今后学习光电技术是非常重要的。

(1) 棱镜的分光原理

典型的三棱镜如图 1.1-1 (a) 所示，它由 3 个工作面构成，工作面之间互成 α 角，它的横截面（主截面）如图 1.1-1 (b) 所示。当一束白光以入射角 I_1 进入棱镜的 B 点时，将以出射角 I'_1 在三棱镜内射到对面的 D 点。即 BD 光线以入射角 $-I_2$ 入射到 D 点，然后又以出射角 $-I'_2$ 射出 (DE)。显然，出射光 AB 较入射光 DE 偏转了 δ 角，通常将 δ 称为偏向角。

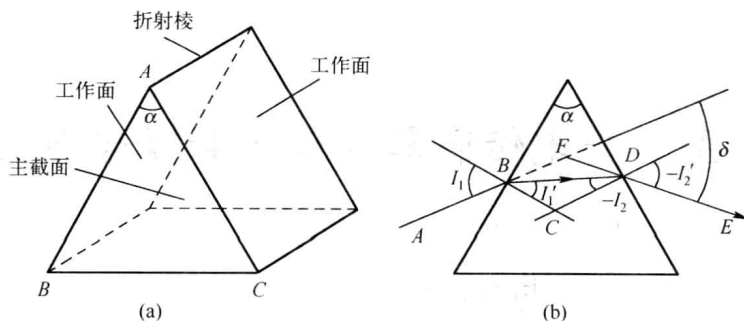


图 1.1-1 三棱镜工作面与三棱镜分光特性

根据《应用光学》所提供的公式

$$\sin \frac{1}{2}(\alpha + \delta) = \frac{n \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{I_1' + I_2'}{2}}{\cos \frac{I_1 + I_2}{2}} \quad (1.1-1)$$

式中, n 为玻璃材料的折射率; α 为棱镜的折射角; I_1 、 I_1' 、 I_2 、 I_2' 分别为光线在两个折射面的入射角和折射角。

由式 (1.1-1) 可知, 光线经棱镜折射以后, 所产生的偏向角 δ 是 I_1 、 α 和 n 的函数。对于给定的棱镜 (α 和 n 为定值), 当入射光为单色光 (λ 为带宽极窄的单值) 时, δ 角仅随 I_1 变化。可以证明当入射光线和出射光线对称于棱镜的法线, 即满足 $I_1 = -I_2'$, $I_1' = -I_2$ 时, 偏向角 δ 有最小值, 常用 δ_m 表示。在最小偏向角的情况下, 式 (1.1-1) 可以写成

$$\sin \frac{(\alpha + \delta_m)}{2} = n \sin \frac{\alpha}{2} \quad (1.1-2)$$

另外, 光学玻璃材料的折射率 n 不但与材料性质有关, 而且与入射光波长 λ 有关。《工程光学》中给出了光学色散的基本公式 (哈特曼公式)

$$n = n_0 + C / (\lambda_0 - \lambda)^\alpha \quad (1.1-3)$$

式中, n_0 、 C 、 λ_0 和 α 为与材料折射率有关的系数。对于折射率较低的玻璃材料, α 值可取为 1; 对于高折射率材料, α 值取为 1.2。系数 n_0 、 C 、 λ_0 可由玻璃材料的参数表中查到。

由上述分析可以得出, 以一定角度入射到三棱镜的白光光线在它的出射面将得到不同颜色的光带, 即三棱镜使白光分成各种波长 (颜色) 的单色光。这个现象称为棱镜的分光效应。

因为单色光的波长越长折射率越小, 波长越短折射率越大, 因此, 含有丰富光谱的白光经三棱镜折射后被分解成一族单色光带。即以一定入射角入射到三棱镜的白光, 在棱镜的出射面形成如同彩虹一样的彩带, 其颜色排列顺序为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫。越靠近棱镜底部的单色光波长越短, 而越远离棱镜底部的单色光波长越长。这种将白光分成各种颜色单色光的现象称为色散。利用色散棱镜可以将含有丰富单色谱线的光分解为各种单一波长的光, 用来分析发光体的化学成分, 即进行光谱分析。因此, 棱镜色散是光谱分析的基础。

棱镜能够分光, 但是分光效率较差, 为了提高分光效率, 可以将多个棱镜微缩并紧密排列, 以便加强分光效率, 这就成为光栅。光栅就是将每毫米几百或几千个微缩棱镜集成起来的光学器件, 集成的棱镜数目越大获得的分光效率越显著。显然 1200pl/mm 的光栅比 600pl/mm 光栅的分光效率高得多。

(2) LED 的发光原理

光电技术中的光源已经逐渐被 LED 发光二极管光源所替代。众所周知, LED 是利用 PN

结在正向偏置下光特性制造出来的器件。有些材料构成的 PN 结在正向电场的作用下，电子与空穴在扩散过程中要产生复合，复合过程中电子从高能级的“导带”跌落至低能级的“价带”，电子在跌落过程中若以辐射的形式释放出多余的能量，则将产生发光或发辐射的现象。如图 1.1-2 所示，为注入式 LED 能带结构，扩散运动中的电子从导带跌入到价带时以辐射的方式释放出多余的能量。它将发出峰值波长为 λ_m 的辐射，关系式为

$$\lambda_m = hc/E_g \tag{1.1-4}$$

式中， E_g 为半导体材料的禁带宽度。

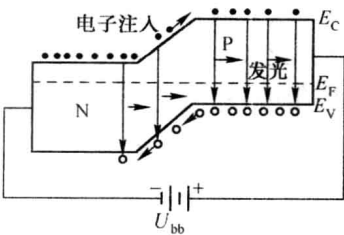


图 1.1-2 注入式 LED 能带结构

目前，已有发各种“单色”光谱的发光二极管（LED）。若在发蓝光的发光二极管上涂荧光物质，由于蓝光 LED 的光谱能量很强，荧光物质将其转换成含有各种光谱成分的光谱集合，表现为发出复合波长的“白光”。常称其为白光发光二极管。

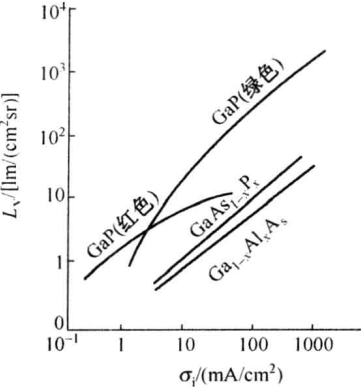


图 1.1-3 发光亮度与电流密度曲线

如图 1.1-3 所示，LED 发光二极管发出的发光亮度 L 与流过 LED 的电流密度 σ 成正比。因此，可以通过控制电流来控制（或调整）发光二极管的亮度。即可以通过改变发光二极管的电流改变投射到探测器表面上的照度。这就是 LED 光源具有的易调整性。利用该特性很容易设计出电光调制器。光纤通信技术中常利用 LED 的这个特性实现长距离的通信。

另外，发光二极管属于半导体发光光源，它具有体积小、发光效率高、寿命长、发光强度易于调节等特点，被广泛应用于测量仪器与照明灯的光源。也被我们选为光电实验平台的光源。

（3）光度参数与辐射度参数

参见《光电技术》、《光电传感器应用技术》等教材第 1 章的内容，光源发出光或物体反射光的能量计算通常用“通量”、“强度”、“出射度”和“亮度”等参数。实际上探测器都有确定的面积，单位面积上所接收的光通量，即为照度。因此，照度是最容易测量的参数，有了照度测量方法不难获得其他光度量，用探测器测量其他光度参数也就不难了。下面先讨论照度参数的测量实验，然后再讨论发光强度的测量实验。

① 辐照度与光照度

辐照度或光照度均为单位探测器表面所接收的辐射通量或光通量。即

$$E_e = \phi_e / S \quad (\text{W/m}^2) \tag{1.1-5}$$

$$\text{或} \quad E_v = \phi_v / S \quad (\text{lx}) \tag{1.1-6}$$

式中， S 为探测器的面积。上述也是通过测量照度来测量光源功率的公式。

② 发光强度

将点光源在给定方向的立体角元 $d\Omega$ 内发射的辐通量 $d\Phi_e$ ，与该方向立体角元 $d\Omega$ 之比，定义为点光源在该方向的辐（射）强度 I_e ，即

$$I_e = d\Phi_e / d\Omega \tag{1.1-7}$$

辐（射）强度的计量单位为瓦（特）每球面度（ W/sr ）。

对可见光，与式（1.1-7）类似，定义发光强度为

$$I_v = d\Phi_v / d\Omega \tag{1.1-8}$$

发光强度的单位是坎德拉（candela），简称为坎[cd]，是照明领域的基本计量单位。