

大学物理实验

下 册

(应用及近代物理部分)

主 编 王秉超 王廷兴 郭山河
副主编 陈玉琴 田云霞



高等教育出版社

内容简介

本书是在吉林大学公共物理教学中心多年教学经验的基础上,根据“高等院校工科本科大学物理实验教学基本要求”编写而成的。全书分上、下两册。下册共分两章,第四章综合、设计及应用性实验,第五章近代物理实验,共有 34 个基本实验。

本教材可作为高等院校理工科非物理类专业的物理实验课程教材或参考书,也可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验. 下册/王秉超等主编. —北京:高等教育出版社, 2003.12

ISBN 7-04-013098-X

I. 大... II. 王... III. 物理学-实验-高等学校-教材 IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 101021 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷

开 本 787×960 1/16
印 张 12
字 数 220 000

版 次 年 月第 1 版
印 次 年 月第 次印刷
定 价 14.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

策划编辑	胡凯飞
责任编辑	董洪光
封面设计	王凌波
责任绘图	宗小梅
版式设计	张 岚
责任校对	殷 然
责任印制	

目 录

第四章 综合、设计及应用性实验	1
实验 4.1 热敏探测器件的研究	1
实验 4.2 光敏探测器件的研究	4
实验 4.3 光纤传感技术应用的研究	7
实验 4.4 透明液体折射率的测定	13
实验 4.5 分光光度技术的研究	15
实验 4.6 RC 串联电路暂态过程的研究	19
实验 4.7 溶液质量浓度的测定	24
实验 4.8 利用脉冲反射法测固体声速及杨氏模量	27
实验 4.9 气轨上简谐运动的研究	30
实验 4.10 散斑照相测位移	31
实验 4.11 声光效应的基础实验	34
实验 4.12 真空的获得和测量	39
实验 4.13 电子衍射	45
实验 4.14 用光谱仪测介质的吸收曲线	51
实验 4.15 高温超导	54
实验 4.16 验证快速电子的动量与动能的相对论关系	57
实验 4.17 阿贝成像及空间滤波	62
实验 4.18 光学信息处理技术应用	66
实验 4.19 超声波技术应用	72
实验 4.20 电光效应实验	77
实验 4.21 静电复印机原理及使用	85
第五章 近代物理实验	99
实验 5.1 弗兰克 – 赫兹实验	99
实验 5.2 氢原子光谱	103
实验 5.3 迈克耳孙干涉仪的综合使用	112
实验 5.4 塞曼效应测定电子比荷	119
实验 5.5 全息照相	126

实验 5.6	微波特性实验	131
实验 5.7	微波光学实验	140
实验 5.8	微波能量传输——发射与接收	150
实验 5.9	固体激光器输出特性的测定 He - Ne 激光器放电条件的 研究	154
实验 5.10	光电倍增管特性曲线的测定	167
实验 5.11	反射全息术	173
实验 5.12	电子自旋共振(ESR).....	175
实验 5.13	超精细结构光谱的观察与波长差的测量.....	179

第四章 综合、设计及应用性实验

实验 4.1 热敏探测器件的研究

【目的】

1. 了解热敏探测器的特性.
2. 设计并组装简单的温控装置,了解温控装置的原理.

【原理】

1. 热敏电阻研究

热敏电阻是由半导体材料制成的一种电阻值随电阻体的温度变化呈显著变化的热敏器件.热敏电阻有两类:一类是其阻值随温度增加而下降(NTC类),另一类是其阻值随温度增加而增加(PTC类).

热敏电阻以体积小、结构简单、灵敏度高、稳定性好、价格低廉等优点,在工业过程中的温度控制和电子线路的温度补偿以及测量仪器、车辆、办公设备、医疗仪器、家电等领域获得了广泛的应用.

热敏电阻的阻值与温度有如下关系:

$$R_T = R_0 e^{\frac{B}{T}} \quad (4.1.1)$$

式中 T 为热力学温度, R_T 为 T 时的阻值, R_0 为 237.16 K 时的热敏电阻的阻值, B 为指数常数.可见 R_T 与温度 T 之间有非线性关系.若对(4.1.1)式两边取对数,则有 $\ln R_T = B/T + \ln R_0$, 则 $\ln R_T$ 与 $\frac{1}{T}$ 具有线性关系.

2. AD590 研究

集成电路(IC)温度传感器 AD590 是在一块极小的硅片上集成 PN 结温敏元件、信号放大电路、线性补偿电路、调零消振单元构成.其特点是具有测温精度高、重复性好、灵敏度高、线性好、体积小、工作稳定、使用方便等诸多优点. AD590 热敏传感器常用于空调机、冷库、恒温器和电冰箱等家用电器中.

AD590(可换的国产同类产品有 SL590)的特性如下:

工作温度 $-50 \sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$

工作电压 $4 \sim 30\text{ V}$

灵敏度 $1\text{ }\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$

输出电流 $298\text{ }\mu\text{A}(25^{\circ}\text{C})$

【仪器】

数字万用表,热敏电阻,电阻箱,温度计,烧杯或电热杯,温控电路板一块,稳压电源,AD590 传感器,可变电阻(电位器)。

【实验内容与步骤】

1. 研究热敏电阻的 $R_T - T$ 特性(具体实验方案自行设计)

(1) 把热敏电阻与温度计小心放入热水杯中,其开始温度应高于 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上.用数字万用表测量热水冷却过程中的 R_T 与 T 值,直至室温.在热水降温过程中利用搅拌器不断搅拌热水,使水温均匀。

(2) 利用测量数据画出 $R_T - T$ 曲线。

2. 利用温度控制电路设计、组装能够控制一定温度的温控装置.在本次实验中由实验室提供的温度控制电路如图 4.1.1 所示。

在控制电路中采用时基 555 集成电路.这是一种实用的温控电路,其控制器的输出信号由发光二极管 LED_1 和 LED_2 显示.该电路有 ABC 三个输入端,是分别串接热敏电阻 R_T 及调整电阻 R 的.当 R_T 的电阻值随温度变化而

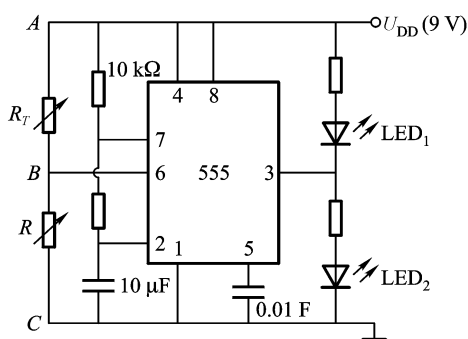


图 4.1.1

变化时, B 点的电势 V_B 随之发生变化.此时 $V_B = \frac{R}{R_T + R} \cdot U_{DD}$, 式中 U_{DD} 为电源电压(9 V).

电路工作原理主要是热敏电阻 R_T 和分压电阻 R 组成的分压值 V_B (555 的 6 脚)与 555 内部阈值电平 $\frac{2}{3} V_{DD}$ 的比较来控制输出状态.当 V_B (6 脚)电压高于 $\frac{2}{3} U_{DD}$ (6 V)时发光二极管 LED_1 亮,低于 $\frac{2}{3} U_{DD}$ 时 LED_2 亮,分压值等于 $\frac{2}{3} U_{DD}$ 时, LED_1 与 LED_2 交替亮.利用该电路,设计组装温度控制装置时,根据设计要求,把

R_T 与 R 分别串接在 AB 或 BC 端。 R_T 与 R 应接在 AB 端还是 BC 端, R 值应为多大? 这是设计者根据设计要求自己计算、自己组装的, 组装完毕经教师检查后接通电源并细心调节 R 值, 观察控制效果。

3. 研究 AD590 的 $t - I$ 特性

实验电路示意图如图 4.1.2 所示。

实验要求: 自行设计实验方案及实验步骤, 测定 AD590 的输出电流从 80°C 至室温时的电流变化值, 并画出 AD590 的 $t - I$ 特性。

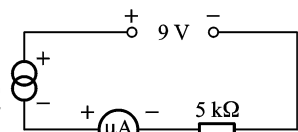


图 4.1.2

注意:

- ① 电源、AD590 及数字万用表(电流挡)的极性。
- ② 实验过程中动作小心, 轻拿轻放温度计及 AD590, 以防损坏。
- ③ 注意使用电热杯或热水杯, 小心烫伤。
- ④ 实验时利用搅拌器不断搅拌热水以保证水温均匀。

4. 利用温度控制电路设计组装温度控制器

本次实验中使用的温度控制电路如图 4.1.3, 控制电路的输出信号由发光二极管 LED_1 和 LED_2 显示。该电路有 ABC 三个输入端, AD590 应接在 AB 端, 调整电阻 R_3 接在 BC 端。

控制电路是由运算放大器 741 组成的电压比较器。电路工作时 741 的 2 脚(称反相端)与 3 脚(正相端)输入信号的极性决定输出电压进入饱和状态的方向。当反

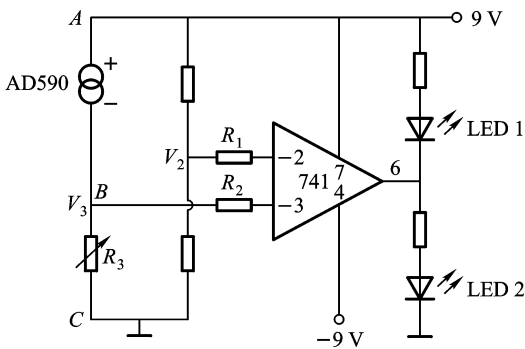


图 4.1.3

相输入(2 脚)电压电势 V_2 比同相(3 脚)输入电压电势 V_3 高时, 输出(6 脚)是负饱和电压(LED_1 亮), 同样, 当 $V_2 < V_3$ 时(LED_2 亮)。电压 V_2 是由 R_1 、 R_2 决定的

$$\text{分压值 } V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{DD}.$$

正相输入端 3 脚的电压 V_3 由 AD590 的电流在电阻 R_3 产生的转换电压决定, 当 AD590 的温度升高时, V_2 值增加, 反之亦然。 R_3 是调节控制温度的。调节 R_3 时先使 AD590 处于控制温度, 然后调节 R_3 使 $V_3 = V_2$ 就行了, 这时发光二极管 LED_1 、 LED_2 应交替亮。组装后反复调试控制效果, 使控制效果最好。

【实验报告要求】

1. 叙述热敏电阻的特性及利用热敏电阻组装温控装置的学习心得.
2. 请你大胆提出利用热敏温控装置解决实际问题的一种方案或设想.
3. 叙述 AD590 的特征及本次实验学习心得.
4. 请你大胆提出利用 AD590 传感器解决实际问题的一种方案或设想.

(郭山河 姜永恒)

实验 4.2 光敏探测器件的研究

【目的】

1. 了解光敏探测器的基本原理及特性.
2. 通过模板设计并组装光电控制器,初步掌握光电控制方法.

【原理】

光敏传感器的基础是光电效应,即利用光子的照射在器件上使电路中产生电流或使电导特性发生变化的效应.根据用途不同分为三类:在光子的作用下使电子从物体表面逸出时,称为外光电效应,如光电管、光电倍增管等;在光子的作用下使物体电阻率改变时,称为内光电效应或光导效应,如光敏电阻(光导管);在光的作用下,使物体产生一定方向的电势时,称为阻挡层光电效应,如光电池、光电晶体管.

光敏电阻、光电二极管、光电池是目前普遍使用的光电转换器件.

1. 光敏电阻

当光子照射时,物体电阻率改变而引起电阻变化的器件称为光敏电阻或光导管.一般在光强时电阻小,光弱时电阻大.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.光敏电阻具有特性稳定、寿命长等优点,其时间常数一般在毫秒级,光敏电阻的结构外形及电路中的示意符号如图 4.2.1(a)(b).

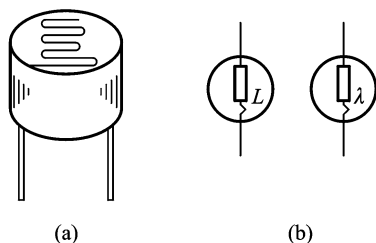


图 4.2.1

2. 光电二极管

它是一个 PN 结,在反向偏置下,受光子照射时,输出电流正比于入射光通

量.它具有体积小、成本低、作用可靠等特点 ,常用于低噪声、高频率、稳定性较高的光电控制电路中.图 4.2.2 表示光电二极管的结构(a) 示意符号(b)及工作电路(c).

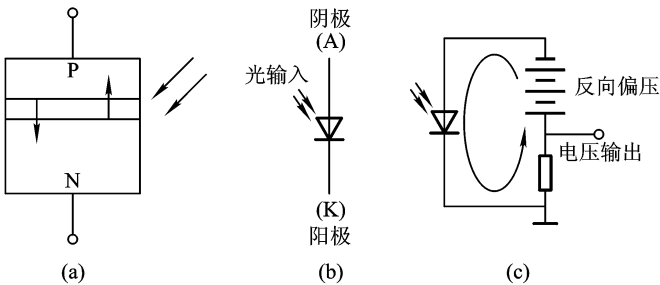


图 4.2.2

3. 光电池

是一种直接将光能转换为电能的器件.光电池的主要特性是光谱特性(光电响应与入射光频率的关系)和光照特性(入射光的照度与输出电流或电压的关系).在光照特性中 ,其输出开路电压与入射光照度成指数关系 ,而输出短路电流与入射光照度成很好的线性关系 ,如图 4.2.3 所示.

光电池的主要用途是作为能源 ,将太阳能转换为电能 ,如航标灯、灯塔、微波站、航天器的电源等 ,也可以当光敏器件使用 ,如光电控制、光度测量、电子计算机、照相机、雷达等 .如图 4.2.4 是硒光电池(a)与硅光电池(b)的结构及示意符号(c).

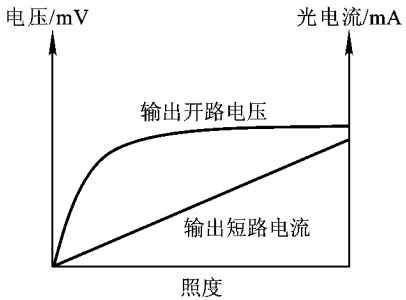


图 4.2.3

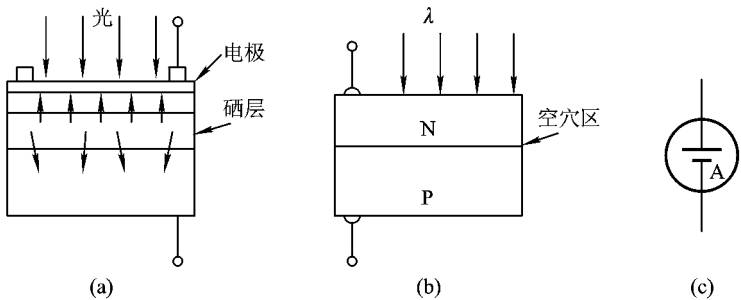


图 4.2.4

【仪器】

数字万用表 稳压电源 光电实验箱(含光敏电阻、光电池、光电二极管),光

电控制电路板(用模板自行组装)。

光电实验箱:是为研究光电器件的特性而设计长方形暗箱,内装有光源,固定光电器件的可移动支架,测量光源与光电器件之间距离的米尺。

【实验内容与步骤】

1. 光敏电阻的电阻光照度变化特性

按图 4.2.5 连好线路,自行选择万用表量程,改变光源与光敏电阻之间的距离(用 r 表示)依次为 5、10、15、20、25、30、...、80 (cm),记录对应的万用表输出值。

画 $R - \frac{1}{r^2}$ 曲线,根据曲线分析讨论光敏电阻的特性。

2. 光电二极管的光电流与照度变化特性

按图 4.2.6 连好线路,实验方法同上,画 $I - \frac{1}{r^2}$ 曲线,并分析讨论结果。

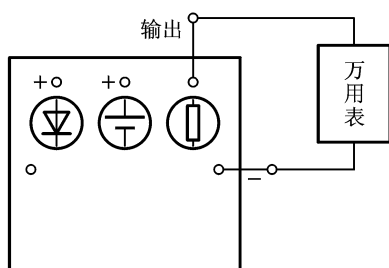


图 4.2.5

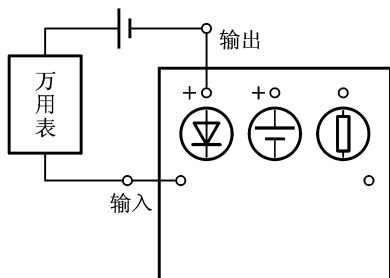


图 4.2.6

3. 光电池的开路电压与光照度的变化特性

按图 4.2.7 连好线路,实验方法同上,画出 $U - \frac{1}{r^2}$ 曲线,并分析讨论结果。

做上述操作时,为避免外界光的干扰,读数时应盖上暗箱盖。

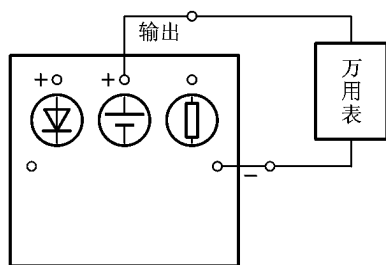


图 4.2.7

【设计内容】

利用模板、光敏电阻或光电二极管组装路灯自动控制装置,学会调试线路并分析观察效果。

光控参考线路如图 4.2.8 所示。控制电路的输出信号由发光二极管 LED_1 、 LED_2 显示。该电路有 ABC 三个输入端,控制电路是由运算放大器 741 组成的电压比较器,电路工作时 741 的 2 脚(称反向端)与 3 脚(称正向端)构成信号输入

端, 输入信号的极性决定输出电压进入饱和状态的方向. 当反相输入(2 脚)电压电势 V_2 比同相(3 脚)电压电势 V_3 高时, 输出(6 脚)是负饱和电压(LED_1 亮), 同样, 当 $V_2 < V_3$ 时(LED_2 亮). 电压 V_2 是由 R_1 、 R_2 决定的分压值 $V_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$ (9 V). 正相输入端 3 脚的电压由通过光敏电阻或光电二极管的电流在电位器上产生的转换电压决定的, 当光敏电阻或光电二极管受光照时, 其处于低阻状态此时 $V_2 < V_3$, 输出是正饱和电压(LED_2 亮), 反之, 当光敏电阻或光电二极管不受光照时, 输出是负饱和电压(LED_1 亮). 注意: 观察现象前, 先调节 10 k Ω 电位器使 $V_2 = V_3$ 就行了. 这时发光二极管 LED_1 、 LED_2 应交替亮. 组装后反复调试控制效果, 使控制效果最好.

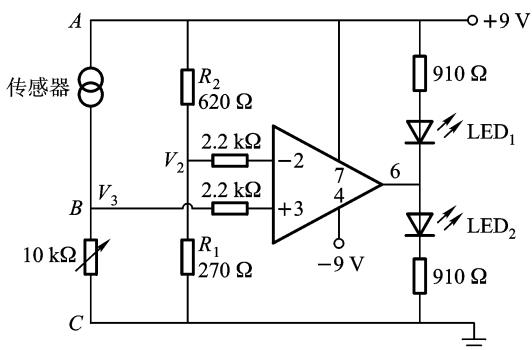


图 4.2.8 传感器控制电路示意图

【实验报告要求】

1. 简述光敏电阻、光电二极管、光电池的特性。
2. 写出实验研究光电传感器及光电控制装置的学习心得。

(郭山河 乔亚力)

实验 4.3 光纤传感技术应用的研究

光纤传感器是以光学技术为基础, 将被敏感的状态以光信号形式取出, 利用光电转换器件实现光电转换的传感器. 目前, 光纤传感器已用于温度、压力、位移、浓度、电磁场量、液位、流量等物理量的测量, 各种类型的光纤传感器达百余种.

【目的】

1. 了解光纤传感的基本原理和方法, 掌握光辐射耦合进光纤的基本方法.

2. 掌握一种应用光纤传感原理,实现浓度检测的系统结构,并完成实际检测.
3. 掌握一种应用光纤传感原理,实现位移量检测的系统结构,并完成检测过程.

4.3.1 光纤中传输性质分析

【原理】

典型的光纤是由折射率(n_1)稍高的纤芯和折射率(n_2)稍低的包层构成.根据几何光学理论,光在光纤中传播主要依据全反射原理.

光线经某一子午面射入光纤时,光纤端面的临界入射角 $2\theta_a$ 称为光纤的孔径角.由图 4.3.1 看到 $2\theta_a$ 表示光纤能收集光的范围.根据折射定律,纤芯与包层之间的临界角 φ_c 与孔径为 θ_a 之间有如下关系:

$$\sin \theta_a = n_1 \cos \varphi_c = n_1 (1 - \sin^2 \varphi_c)^{1/2}$$

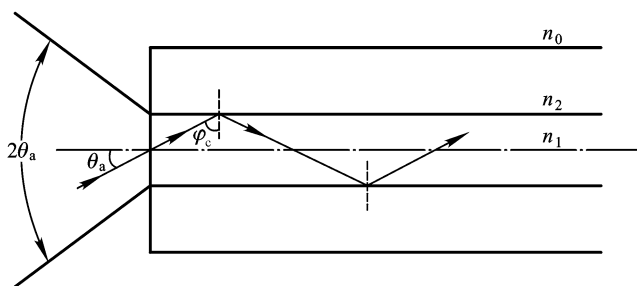


图 4.3.1 光纤的孔径角

因为 $\sin \varphi_c = \frac{n_2}{n_1}$, 则有

$$\sin \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} = N.A. \quad (4.3.1)$$

式中, $N.A$ 称为数值孔径,它决定于光纤的折射率.

当光从光纤的一端射入而从另一端射出时,光强将减弱,这意味着光纤内存在损耗.光纤在传输中损耗的大小由下式决定:

$$\alpha = \frac{10}{L} \lg \frac{P_0}{P_1} \quad (\text{dB/km}) \quad (4.3.2)$$

式中, α 是光纤衰减系数, P_0 和 P_1 分别是光纤的输入和输出光功率, L 是光纤长度.

α 的测量因 P_0 难以确定而不易实现,为此,人们往往采用截断法测量 α .设光纤长度为 L_1 时输出光功率是 P_1 ,当截断一段光纤,使光纤长度为 L_2 ,此时输

出光功率是 P_2 ,于是有

$$\alpha = \frac{\lg \frac{P_1}{P_2}}{L_2 - L_1} \text{ (dB/km)} \quad (4.3.3)$$

利用上式 ,可以较容易测量光纤的损耗.

产生光纤损耗的因素较多 ,包括吸收、散射、弯曲等因素.以光纤弯曲而言 ,光纤的数值孔径同弯曲的关系是

$$N.A_b = \left[n_1^2 - n_2^2 \left(\frac{1 + \rho}{1 - \rho} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.3.4)$$

式中 $\rho = \frac{a}{R}$, a 是光纤纤芯半径 , R 是光纤弯曲半径.显然 ,光纤弯曲使光纤的数值孔径变小 ,使一部分光线泄漏出去.

【仪器】

光纤 ,光电探测器及配置电路 ,机械微调装置 ,透镜等.

【实验内容与步骤】

1. 光纤损耗测量

测量光纤损耗的实验装置结构如图 4.3.2 所示.具体实验要求是 :

- (1) 利用透镜将激光束聚焦到光纤端面 ,通过微调装置实现对准 ;
- (2) 使用光电探测器检测光纤输出光强度 ;
- (3) 剪断 1 ~ 2 m 光纤 ,再次测量输出光强度 ;
- (4) 根据 (4.3.3) 式计算光纤的损耗系数 α .

2. 光纤损耗与光纤弯曲的关系分析

测量装置仍由图 4.3.2 所示 ,具体实验要求是 :

- (1) 将光纤围绕一定半径的实心棒 ,绕过 3 ~ 5 匝 ,测量光纤输出光强度 ;
- (2) 绘出光纤损耗系数 α 随光纤围绕半径 R 的变化曲线 ;
- (3) 利用回归拟合方法确定 α 与 R 的函数关系式.

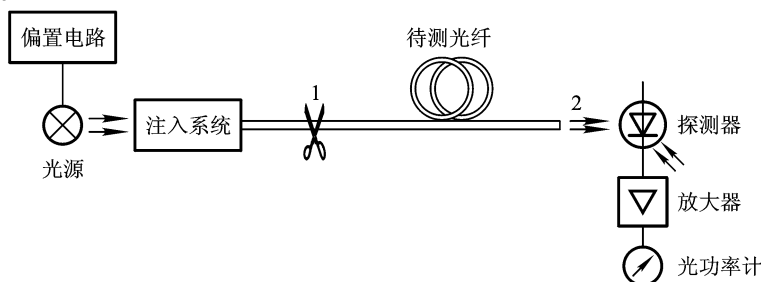


图 4.3.2 光纤损耗测量实验装置图

4.3.2 光纤浓度传感原理研究

【原理】

在石油、化工、冶金等工业领域,都存在着浓度检测问题.对于易燃易爆腐蚀的液体,不宜使用金属探头,亦不宜使用带电流输入的传感器.利用光纤传感技术,可以较好地解决这个问题.

如前所述,光线在光纤中传输的条件是在纤芯与包层之间的界面上满足全反射要求,即入射角 φ_1 满足 $\sin \varphi_1 \geq \frac{n_2}{n_1}$ (n_1 、 n_2 分别是纤芯和包层的折射率).当光纤弯曲时,部分光线因不满足全反射要求,通过界面透射出去,如图 4.3.3 所示.

对给定光纤材料时,出、入射光强度 I 、 I_0 之间有如下关系:

$$I = I_0 e^{-\alpha(r, \lambda, n_2)l} \quad (4.3.5)$$

式中, α 是衰减系数,它同入射光波长、包层折射率 n_2 有关; l 是弯曲光纤的长度.如果将光纤包层去掉,让纤芯直接同液体接触,则上式中 n_2 代表液体折射率.因液体折射率与其质量浓度成正比,所以光纤输出光强的变化随液体折射率变化,即与液体质量浓度 ρ 的变化有关.

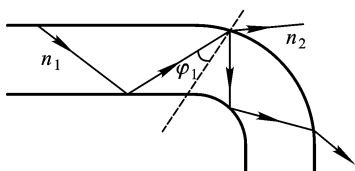


图 4.3.3 光纤中光能量的泄漏

检测光路如图 4.3.4 所示.光路 1 和光路 2 有相同结构,光纤传感头 1 和 2 分别放入标准溶液和待测液体中,分别用两个光电探测器接收两路光强信号,并将其转化成电信号 V_1 和 V_2 ,则有

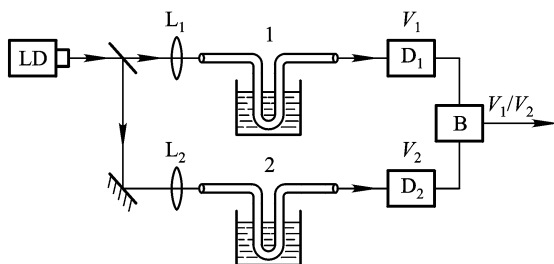


图 4.3.4 双光路光纤检测浓度光路图

$$V_1 = K_1 I_1 = K_1 I_{01} e^{-\alpha(r, \lambda, n_0)l}$$

$$V_2 = K_2 I_2 = K_2 I_{02} e^{-\alpha(r, \lambda, n)l}$$

两路信号相除有

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{K_1 I_{01}}{K_2 I_{02}} e^{-(r \lambda, n - n_0)l} \quad (4.3.6)$$

式中, K_1 、 K_2 是与系统结构有关的系数, 当系统一定时, 它们不变. I_{01} 和 I_{02} 是两路光的入射强度.

从 (4.3.6) 式看到, 在系统结构一定时, 输出信号 $\frac{V_1}{V_2}$ 仅仅是待测液体折射率

n (即质量浓度 C) 的函数. 通过检测 $\frac{V_1}{V_2}$, 可以得到液体的质量浓度.

【仪器】

光纤若干, 两个光电二极管, 放大电路板, 机械调整装置, 聚焦透镜, 配制的液体, 激光器等.

【实验内容与步骤】

1. 按图 4.3.4 所示光路结构, 组装实验系统.

2. 对一组 (10 ~ 15 种) 已配制好质量浓度的溶液进行检测, 得出输出信号 $\frac{V_1}{V_2}$

随质量浓度不同所发生的变化, 并记录下来.

3. 改变溶液温度, 观察输出信号的变化, 并记录下来.

4. 绘制输出信号随质量浓度变化曲线, 分析其线性响应的区间.

4.3.3 光纤位移传感原理研究

【原理】

位移是既容易检测又易于获得高精度检测的基本物理量之一, 压强、振动、加速度等物理量都可转换成位移进行检测, 所以位移传感器是基本传感器, 在这里我们介绍一种强度型光纤微小位移传感器的原理.

图 4.3.5 是反射式光纤位移传感的光路结构示意图. 被耦合进光纤的光照射到被测物体表面, 并产生反射. 反射光经输出光纤后由探测器接收. 因为探测器接收的反射光强与光纤端面到被测物体的距离 L 有关, 所以通过检测反射光强来测定位移.

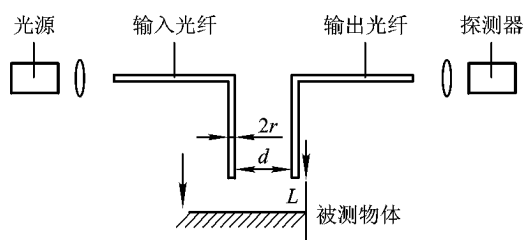


图 4.3.5 光纤位移传感器的结构示意图

设两根光纤之间距离是 d , 光纤半径是 r , 数值孔径为 $N.A$, 这时接收光纤接收反射光的问题, 可以看作是输入光纤的像发出的光与输出光纤之间耦合问题. 由图 4.3.6 可知

$$\tan \theta = \frac{d}{2L}$$

考虑到 $N.A = \sin \theta$, 因此位移 L 为

$$L = \frac{d}{2 \tan(\arcsin N.A)} \quad (4.3.7)$$

显然, 当 $L < d/2 \tan(\arcsin N.A)$ 时, 没有光被耦合到输出光纤中; 当 $L \geq (d + 2r)/2 \tan(\arcsin N.A)$ 时, 输出光纤端面完全与入射光纤的像发出的光锥底面相交, 接收光最强; 当 $d/2 \tan(\arcsin N.A) < L \leq (d + 2r)/2 \tan(\arcsin N.A)$ 时, 被耦合的光强决定于输入光纤的像发出的光锥底面与输出光纤端面交叠的面积, 如图 4.3.6 所示.

由于光纤芯径很小, 可以把光锥与接收光纤端面的交界弧线看成直线. 通过几何分析, 得到交叠面积与光纤端面面积之比 a 是

$$a = \frac{1}{\pi} \left\{ \arccos \left(1 - \frac{\delta}{r} \right) - \left(1 - \frac{\delta}{r} \right) \sin \left[\arccos \left(1 - \frac{\delta}{r} \right) \right] \right\} \quad (4.3.8)$$

式中, $\delta = 2L \tan(\arcsin N.A) - d$ 是重叠面积的高. 两光纤之间光功率耦合效率应是交叠面积与光锥底面积之比, 即

$$\eta = \frac{a \pi r^2}{\pi [2L \tan(\arcsin N.A)]^2} = a \left[\frac{r}{2L \tan(\arcsin N.A)} \right]^2 \quad (4.3.9)$$

根据上式, 可以确定出耦合效率 η 与位移 L 关系. 图 4.3.7 是 $r = 50 \mu\text{m}$, $N.A = 0.5$, $d = 10 \mu\text{m}$ 时, η 与 L 之间的关系曲线.

由图 4.3.7 可见, 当距离 L 很小时(图中 a 段), 耦合效率随距离增加而线性增加, 但变化率较大, 说明曲线 a 段测量时位移范围小, 灵敏度较高. 在上述例子中, 其效率 η 随 L 的变化速率可以达到 $10^{-5}/\mu\text{m}$. 利用这段曲线, 传感器适合于测量小位移、小振动及材料表

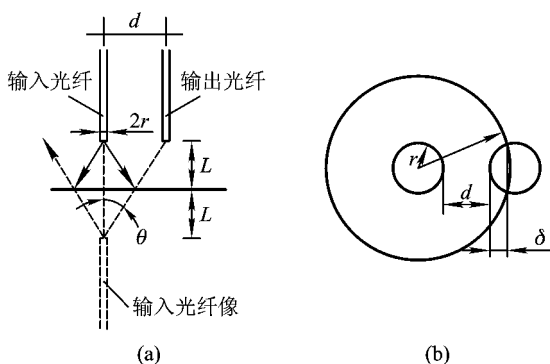


图 4.3.6 光纤位移传感器的结构示意图

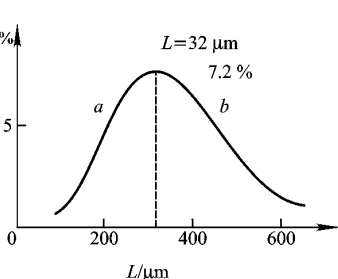


图 4.3.7 耦合效率与位移的关系