

近代物理实验

主编◎刘 维 崔金刚 兰 铖 主审◎韩书霞

 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

041-33/5

2008

近代物理实验

主编 刘 维 崔金刚 兰 铖
主审 韩书霞

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

近代物理实验是物理专业学生的必修课程,是物理实验的重要组成部分,是一门综合性的实验技术与实验方法课。本书结合编者多年来近代物理实验的教学经验,并在历年来所用物理实验教材的基础上编写而成。本书精选了近代物理方面的实验 34 个,涉及领域包括原子、原子核、固体物理及电子学、统计物理、量子物理、近代光学等,具有现代气息,凝聚了近代优秀的科技成果。

本书可作为高等院校物理专业学生的大学物理实验教材,也可供其他相关人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

近代物理实验/刘维,崔金刚,兰铖主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2008.4
ISBN 978-7-81133-271-1

I. 近… II. ①刘…②崔…③兰… III. 物理学-实验-
高等学校-教材 IV. O41-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 040864 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 14.5
字 数 350 千字
版 次 2008 年 4 月第 1 版
印 次 2008 年 4 月第 1 次印刷
定 价 23.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

近代物理实验是物理专业高年级学生的一门重要基础课,它所涉及的知识面广,综合性和技术性强。对丰富和活跃学生的物理思维,锻炼他们对物理现象的洞察力,引导学生了解实验物理在物理学中的地位,正确认识新物理概念的产生、形成和发展的过程,培养严谨的科学作风都有着非常重要的作用。通过近代物理实验课的学习,同学们还可以掌握科学研究中广泛应用的一些基本实验技术和方法。可以说,近代物理实验是培养学生独立分析和解决问题能力,学习如何用实验方法研究物理现象和物理规律的关键性一环。

本书内容涵盖原子物理、原子核物理、半导体物理、光谱与激光技术、微波技术、磁共振技术、低温技术、计算机技术、传感器技术等诸多方面。

本书共 34 个实验,其中由刘维老师编写的实验有 14 个(二、四、五、十五、十六、二十一~二十八、三十二),崔金刚老师编写的实验有 10 个(三、六~十、十九、二十、三十、三十一),兰铖老师编写的实验有 10 个(一、十一~十四、十七、十八、二十九、三十三、三十四)。最后由刘维老师对本书进行了统稿,王德洪老师绘制了本书的插图,韩书霞老师主审了本书。

在本书编写过程中还曾得到过许多同仁的帮助,同时也参阅了兄弟院校的相关教材,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,时间又比较仓促,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2008 年 1 月

目 录

实验一	微波分光仪	1
实验二	光纤与 LD 光电特性实验	7
实验三	空间滤波实验	13
实验四	高温超导材料特性测试和低温温度计	16
实验五	塞曼效应	26
实验六	超声光栅测声速实验	39
实验七	法拉第效应	45
实验八	脉冲核磁共振	50
实验九	密立根油滴实验	57
实验十	微波的传输特性和基本测量	61
实验十一	用光栅光谱仪研究氢原子光谱	66
实验十二	激光喇曼光谱	75
实验十三	大气物理实验——气象卫星云图接收	83
实验十四	NaI(Tl)单晶 γ 闪烁谱仪	89
实验十五	椭圆偏振仪测量薄膜厚度和折射率	96
实验十六	色度学实验	105
实验十七	单色仪定标	112
实验十八	分子光谱	117
实验十九	数字信号光纤传输技术实验	121
实验二十	音频信号光纤传输技术实验	127
实验二十一	光泵磁共振	133
实验二十二	真空的获得与测量	142
实验二十三	真空镀膜及膜厚测量实验	148
实验二十四	光纤光栅传感器实验	154
实验二十五	光纤干涉仪实验	166
实验二十六	组合干涉仪实验	168
实验二十七	电子能谱仪	171
实验二十八	X 射线衍射仪的使用与物相分析	178
实验二十九	电子顺磁共振	183
实验三十	荧光与荧光显微镜	195
实验三十一	扫描探针显微镜	201
实验三十二	穆斯堡尔效应	206
实验三十三	云纹干涉法实验(一)——拉伸应力集中实验	215
实验三十四	云纹干涉法实验(二)——梁的弯曲实验	224
参考文献		226

实验一 微波分光仪

【实验目的】

1. 利用微波来定性验证电磁波的一些特性和规律,例如反射特性、衍射特性、干涉特性、偏振特性,以及晶体对电磁波的衍射特性。
2. 通过本实验对微波的产生、传播和检测的知识有所了解。

【实验原理】

微波是波长很短、频率很高的电磁波,它具有电磁波的特性,即能产生反射、折射、干涉和衍射等现象。用微波和光波作波动实验所说明的波动现象及其规律是一致的。由于微波的波长比光波的波长在量级上差一万倍左右,因此用微波做波动实验比用光波做波动实验更直观、更方便。本实验利用微波分光仪做六个波动实验,以下分别进行介绍。

1. 反射实验

电磁波是平面波,在传播过程中如遇到障碍物必定会发生反射。若以一块大的金属板作为障碍物,当电磁波以某一入射角投射到此金属板上时,它所遵循的反射定律为反射线在入射线和通过射点的法线所决定的平面上,反射线和入射线分居在法线两侧,反射角等于入射角。

2. 单缝衍射和双缝干涉实验

(1) 单缝衍射

当一平面电磁波入射到一宽度和波长可以比拟的狭缝时,就会发生衍射现象,如图 1-1 所示。在缝后出现的衍射波强度并不是均匀的,它的中央最强,同时也最宽,在中央的两侧衍射波强度迅速减小,直至出现衍射波强度的最小值,即一级极小,此时衍射角为

$$\varphi = \sin^{-1} \frac{\lambda}{a} \quad (1-1)$$

其中, λ 是波长, a 是狭缝宽度,两者取同一长度单位。随着衍射角增大,衍射波强度逐渐增大,直至出现一级极大值,此角度为

$$\varphi = \sin^{-1} \left(\frac{3}{2} \cdot \frac{\lambda}{a} \right) \quad (1-2)$$

(2) 双缝干涉

一平面电磁波垂直入射到一金属板的两条狭缝上,如图 1-2 所示,则每一条狭缝就是次级波波源,由两缝发出的次级波是相干波。因此在金属板的背后空间中将产生干涉现象。当然,光通过一个狭缝时也会有衍射现象。因此实验观察到的现象是衍射和干涉二者结合的结果。

若令双缝的宽度 a 接近波长 λ ,例如所采用的微波波长 $\lambda = 3.2 \text{ cm}$,当 $a = 4.0 \text{ cm}$ 时,单缝的一级极小接近 5.3° 。因此取较大的 b ,干涉强度受单缝衍射的影响小。当 b 较小时,干涉强度受单缝衍射影响大。

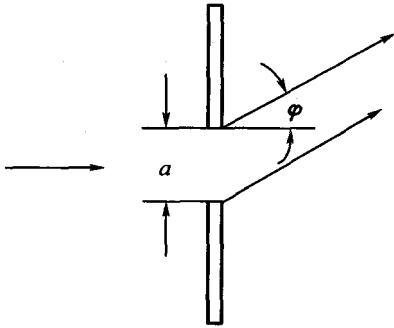


图 1-1 单缝衍射

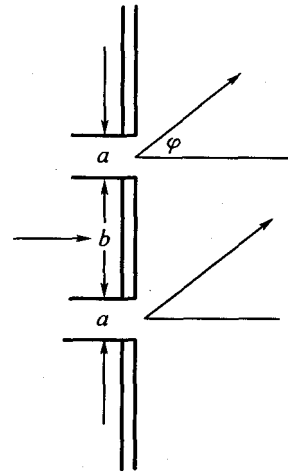


图 1-2 双缝干涉

干涉加强的角度为

$$\varphi = \sin^{-1} \left(k \cdot \frac{\lambda}{d+b} \right) \quad (k = 1, 2, 3, \dots) \quad (1-3)$$

干涉减弱的角度为

$$\varphi = \sin^{-1} \left(\frac{2k+1}{2} \cdot \frac{\lambda}{d+b} \right) \quad (k = 1, 2, 3, \dots) \quad (1-4)$$

3. 迈克尔逊干涉实验

迈克尔逊干涉实验的基本原理如图 1-3 所示,在平面波前进的方向上放置一块成 45° 的半透射板,在该板的作用下入射波分成两束,一束向 A 方向传播,另一束向 B 方面传播,由于 A, B 两板的全反射作用,两列波再次回到半透射板并到达接收装置(喇叭)处,于是接收装置收到两束同频率、振动方向一致的两列波。如果两列波的位相差为 2π 的整数倍,则干涉加强,当位相差为 π 的奇数倍则干涉减弱。在实验中,将 A 板固定, B 板可移动,即可改变两列反射波的位相。

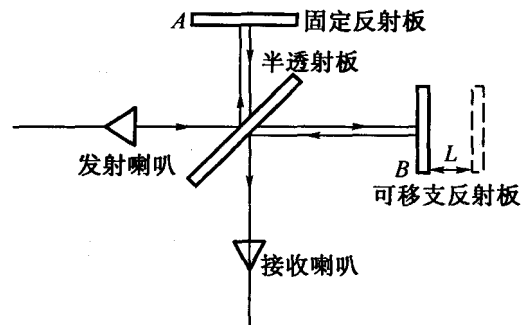


图 1-3 迈克尔逊干涉

4. 偏振实验

平面电磁波是横波,它的电场强度矢量 E 和波长的传播方向垂直。如果 E 在垂直于传播方向平面内沿一条固定的直线变化,这样的横电波叫线极化波,也称为偏振波。我们知道在矩形波导管中传播的微波是 TE_{10} 波,它是竖直偏振(极化)的,如果接收端波导的放置状态与发射端一致,则接收端能接收到微波,其强度为 I_0 。如果接收端波导相对于发射端波导沿中心轴线旋转一角度 φ ,则只有垂直于波导宽面的微波分量在波导中存在,平行于宽面的分量被衰减掉,此时检测到的微波强度为

$$I = I_0 \cos^2 \varphi \quad (1-5)$$

上式就是光学中著名的马吕斯定律。

5. 布拉格衍射实验

晶体具有自然外形和各向异性的性质,这与晶体内的离子、原子或分子在空间按一定的几何规律排列密切相关。晶体内的离子、原子或分子占据着点阵结构,两相邻结点的距离叫做晶体的晶格常数。真实晶体的晶格常数约为 10^{-8} 厘米数量级, X 射线的波长与晶体的晶格常数属同一数量级。实际上晶体起着衍射光栅的作用,因此可以利用 X 射线在晶体点阵上的衍射现象来研究晶体点阵的间距和相互位置的排列,以达到对晶体结构了解的目的。

本实验以微波代替 X 射线,人为制作了一个立方形点阵的模拟晶体,其模型如图 1-4 所示。当微波入射到模拟晶体上时,除了要引起晶体表面点阵的散射外,还要引起晶体内部平面点阵的散射,全部散射互相干涉后产生衍射条纹。

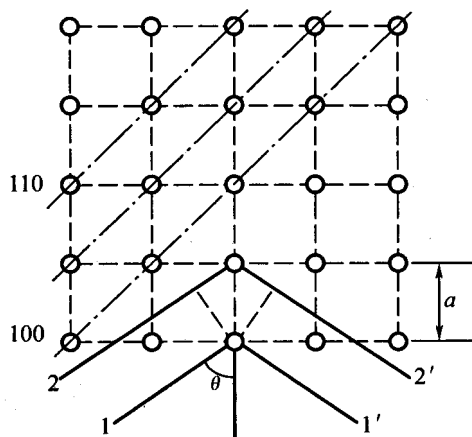


图 1-4 晶体点阵

设相邻散射平面点阵间距为 d , 则从两相邻平面散射出来的射线之间的程差为 $2d\sin\theta$, 则相互干涉加强的条件为

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (1-6)$$

式中, λ 为射线波长, θ 为掠射角(入射线与晶面之间的夹角), n 为反射系数, $n = 1$ 称一级反射, $n = 2$ 称二级反射。此式即为模拟布拉格衍射实验的基本公式。

布拉格公式中的掠射角 θ 可以通过实验直接测定。衍射波的强度随 θ 的改变而改变, 于是可得到 $I - \theta$ 的分布曲线, 由 I 的极大值所对应的 θ 可求出晶面间距 d , 或已知晶面间距 d 来计算 I 极大所对应的 θ 。

【实验仪器】

DH-926 型微波分光仪。

微波分光仪的主要结构如图 1-5 所示。其中 1 为三厘米固体振荡器, 它产生 32.02 mm (出厂前已调整好) 的微波信号; 2 为同轴线, 传输信号源的微波; 3 为可变衰减器; 4 为发射喇叭天线, 把微波能量发射到空间, 当发射喇叭口面的宽边与水平面平行时, 发射信号电矢量的振动方向是垂直的; 5 为接收喇叭天线; 6 为晶体检波器, 把微波信号变成直流信号; 7 为指示器(微安表), 检查 6 给出的直流大小; 8 为具有分度盘的平台; 9 为底盘; 10 为水平调节螺钉; 11 为固定臂; 12 为旋转臂。在平台上, 根据不同实验要求可以放置单缝、双缝、反射板、模拟晶体等。

利用微波分光仪, 我们安排六个模拟光学的实验: 反射、单缝衍射、双缝干涉、偏振、迈克尔逊干涉、布拉格衍射。

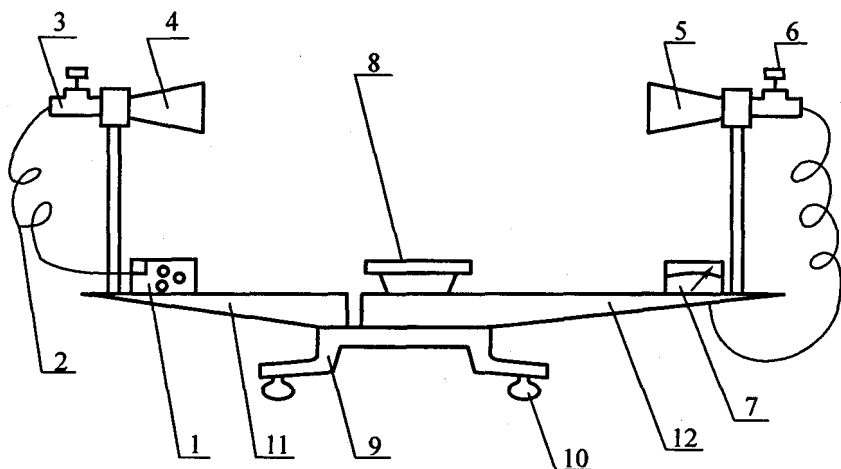


图 1-5 微波分光仪

1—三厘米固体振荡器;2—同轴线;3—可变衰减器;4—发射喇叭天线;5—接收喇叭天线;6—晶体检波器;7—指示器;8—具有分度盘的平台;9—底盘;10—水平调节螺钉;11—固定臂;12—旋转臂

【实验内容】

按图 1-5 连好仪器,调整水平,使两喇叭口面相互正对,并使它们的轴线在同一水平线上,指示两喇叭位置的指针分别指于平台的 90° 刻度处,开启三厘米晶体振荡器电源,预热 5 分钟。

1. 反射实验

如图 1-6 所示,将金属反射板放在支架上,使金属板平面与支座下面小圆盘上的某一对刻线一致,把它们置于小平台 8 上,并使上述一对刻线和平台上 90° 刻度的一对刻度线一致。此时平台上的 0° 刻度与金属板的法线方向一致。

转动小平台 8,使固定臂 11 指向某一角度,其角度读数就是入射角 i ,然后转动活动臂 12,在指示器(微安表)上得到最大值,则活动臂指示的刻度就是反射角 i' 。

作 $i = 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ$ 实验,验证反射定律。

注意:① 如果微安表示值太大或太小,应调整衰减器、固体振荡器或晶体检波器;

② 反射角 i' 读数应取左右两值再平均;

③ 入射角 i 不能超过 70° ,否则接收喇叭可能直接接收入射波。

2. 单缝衍射实验

如图 1-7 所示,预先调整好单缝衍射板的缝宽 a ,把它放在支架上,并使其与支架下面的小圆盘上的某一对刻线一致,此刻度又与平台上一对 90° 刻线一致。转动小平台使固定臂指针指在小平台 180° 处,此时平台的 0° 就是狭缝平面的法线方向。

当衍射角为零度时,调整系统,使微安表指示接近满度。在单缝两侧每改变 2° 衍射角 φ 读取一次表头的读数 I ,记录并绘制 $I - \varphi$ 曲线。

根据波长 λ ,缝宽 a 和单缝衍射公式可知:

极小值
$$a \sin \varphi = \pm k \lambda \quad (k = 1, 2, 3, \dots)$$

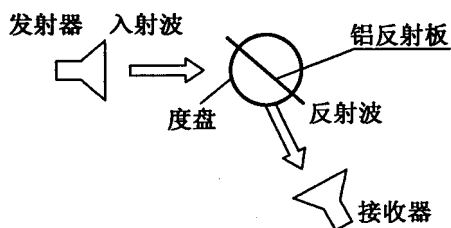


图 1-6 反射实验的配置示意图

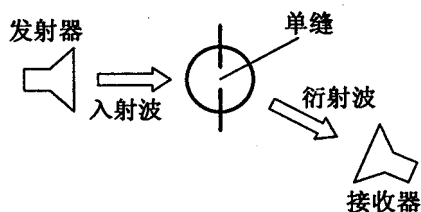


图 1-7 单缝衍射实验配置示意图

极大值 $a \sin \varphi = (2k + 1)\lambda/2 \quad (k = 1, 2, 3, \dots)$

计算出一级极小、一级极大的角度,与实验曲线比较,验证单缝衍射公式的正确性。

注意:在衍射曲线描绘中会发现,中央部分较平,甚至有凹陷,这是由于衍射板不够大引起的,建议取 $a = 70 \text{ mm}$ 。

3. 双缝干涉实验

实验装置的调整与实验步骤 2 相同,只需把单缝衍射板换成双缝干涉金属板。

接收喇叭从双缝平面的法线开始,向左右两侧每转 1° 测一次微安表读数 I ,记录并绘制 $I - \varphi$ 曲线。

根据微波波长,缝宽 a ,缝间距 b 和双缝干涉公式可知:

干涉加强 $(a + b) \sin \varphi = \pm k\lambda \quad (k = 1, 2, 3, \dots)$

干涉减弱 $(a + b) \sin \varphi = \pm (2k + 1)\lambda/2 \quad (k = 1, 2, 3, \dots)$

计算 1, 2 级干涉极小值和 1, 2 级干涉最大值的角度, φ 不宜取得太大,否则会接收到发射喇叭通过板边缘过来的微波。

4. 迈克尔逊干涉实验

按图 1-3 装配仪器,使两喇叭轴线互成 90° ,半透射板(玻璃板)与两喇叭轴线互成 45° ,将读数机构通过它本身带有的螺钉旋固在底座上,再插上反射板,使固定反射板的法线和接收喇叭轴线一致,可移动板的法线与发射喇叭轴线一致。移动 B 到读数机构一端,在其附近找到极大值位置,然后移动读数机构手柄,在微安表上测出几个极大值,相应可从读数机构上测得移动板的移动距离 L ,则由发射喇叭经 A 和 B 反射后到接收喇叭的波程改变量为

$$\delta = 2L$$

又因为当 $\delta = k\lambda (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ 时将在接收喇叭上接收到极大值;而当 $\delta = \pm (2k + 1)\lambda/2 (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ 时将在接收喇叭上接收到极小值。在 n 个极大值下有

$$2L = n\lambda$$

所以

$$\lambda = \frac{2L}{n}$$

计算微波波长,并与给定的 $\lambda = 32.02 \text{ mm}$ 比较,求出误差。

5. 布拉格衍射实验

仿照 X 射线入射真实晶体发生衍射的基本原理,人为制作一个长方形点阵的模拟晶体,以微波代替 X 射线向模拟晶体入射,观察并验证从晶体点阵上反射的波,其产生干涉的条件应满足布拉格方程,晶体点阵如图 1-4 所示。当 $n\lambda = 2d \sin \theta$ 时,干涉加强。

注意:①用模片把模拟晶体球调得上下左右成一方形点阵,晶格常数 $d = 40 \text{ mm}$;

②使被研究晶面的法线和平台上 0° 刻度一致,则入射线与反射线在刻度盘上有相同的示数,操作方便;

③ θ 取值在 $30^\circ \sim 70^\circ$ 间,每隔 2° 测一次数据,记录并绘 $I - \theta$ 曲线,且与理论值比较;

④测量晶体检波器输出微安表示数大小时,可用光电检流计代替微安表。

6. 偏振实验

使发射喇叭宽面处在水平位置,此时发射的电磁波、电矢量 E 在铅直方向。调两喇叭口面相互平行且垂直地面,其轴线在同一水平线上。

由于接收喇叭和一段旋转短波导相联,故喇叭可在 90° 范围内转动,每隔 5° 有一刻线,故转动接收喇叭,得到转角与微安表示数的数据,每 10° 测一次,记录并与马吕斯定律 $I = I_0 \cos^2 \varphi$ 的理论计算结果比较,验证马吕斯定律。

注意:为减少周围环境对测量结果的影响,可拆除平台。

【思考题】

1. 本实验只能“定性”观察和验证电磁波的特性,你认为是什么原因?
2. 在布拉格衍射实验中,反射系数 $n \geq 3$ 的极大值是否存在? 为什么?

实验二 光纤与 LD 光电特性实验

由于 20 世纪 70 年代光纤制造技术和半导体激光器技术取得突破性发展,光纤通信已成为现代社会最主要的通信手段之一。因此了解光导纤维(光纤)的理论知识十分必要。

本实验利用通信用单模光纤和可见光(红光)半导体激光器对光通信过程进行一个开放的、原理性的模拟,以期通过实际操作对光纤本身的光学特性和半导体激光器的电光特性进行一个初步的研究,使我们对光纤和半导体激光器有一个基本的了解和认识。

【实验目的】

1. 了解半导体激光器的电光特性与阈值电流。
2. 通过对输出光的测量和观察,了解和掌握光纤的一些光学特性和参数测量方法,进一步理解和巩固光学的基本原理。

【实验原理】

光纤通信的光学理论是建立在光的全反射理论和波导理论基础上的。现代光通信中使用的光纤一般分为单模光纤和多模光纤两种,它们在结构上的区别主要在于纤芯的几何尺寸上。图 2-1 是光纤结构图,它由三层结构构成,即纤芯、包层和涂覆层。纤芯由掺有少量其他元素的石英玻璃构成(为提高折射率),对于单模光纤,直径约为 9.2 微米,而对于多模光纤,纤芯直径一般为 50 微米。包层由石英玻璃构成;直径约为 125 微米。由于成分的差异它的折射率比纤芯的折射率略微低一些,以满足全反射条件。涂覆层是为了增加光纤的强度和抗弯性、保护光纤,在包层外涂覆的塑料或树脂保护层,其直径约为 245 微米。激光主要在纤芯和包层中传播。

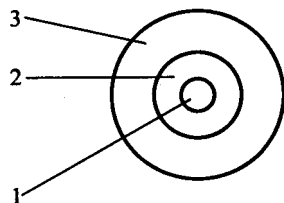


图 2-1 光纤结构图

【实验仪器】

GX1000 光纤实验仪、光学实验导轨、半导体激光器和二维调整架、示波器、功率指示计、光探头和二维调整架。

【实验内容】

1. 光纤端面的处理

为了使激光在输入光纤和输出光纤时有一个理想的状态,如有较高的耦合效率,均匀对称的光斑和模式,一般均需要对光纤的端面进行较为细致的处理。光纤端面的处理主要有两种方法,一种是使用专用刀具进行切割,另一种为研磨处理。在本实验中,我们采用较为简单的手工刀具切割,以使光纤端面较为平整。

2. 光纤的耦合和耦合效率

光纤的耦合是指将激光从光纤端面输入,使激光可沿着光纤进行传输。在本实验中我们采用了一套有五个自由度的调整机构来进行光纤的耦合(半导体激光器被固定在一个二自由度的角度调整架上,光纤固定在一个三自由度的直线调整架上)。首先,我们将经过端面处理的光纤放入光纤夹中压紧,然后装入三维光纤调整架中固定,通过五个自由度的反复、细致地调整,使经过聚焦的激光焦点尽量准确、垂直地落在光纤端面上,以使尽量多的激光进入光纤。由于激光焦点和光纤的端面过于明亮和细小,因此我们无法用肉眼来判断耦合的情况,我们将从光纤的另一端(输出端)通过观察输出光的强弱(光功率)和光斑的情况来判断耦合的情况。当我们将激光耦合进光纤后,我们会在输入端面后的一段光纤壁上看到一些泄漏的激光(光纤成红色),这是一些不满足光纤全反射条件的光从光纤壁上泄漏出来的结果。我们也可以在光纤的任何一段通过强烈弯曲光纤来观察到这种泄漏情况,这是由于强烈的弯曲破坏了该处光纤的轴方向,使一部分光线的全反射条件被破坏,激光从纤芯中泄漏出来进入了涂覆层中。光纤的弯曲会改变光纤中光的传输模式、光强和偏振状态。我们可以通过观察输出端的光斑来观察这些现象,这也是光纤扰模的理论依据。

耦合效率 η 反映了进入光纤中的光的多少,其定义为

$$\eta = (P_i / P_o) \times 100\%$$

其中, P_i 为进入光纤的光功率, P_o 为激光的输出功率。 η 在理论上与光纤的几何尺寸、数值孔径等光纤参数有着直接的关系,在实际操作中它还与光纤端面的处理情况和调整情况有着更直接的关系。在本实验中我们采用光功率计直接测出 P_i 和 P_o 来求出 η 。当然这个 η 同操作者的操作水平有很大关系。

3. 模式

根据光的波导理论,光在光纤中的传播可用电磁波的麦克斯韦方程来描述。在一特定的边界条件下麦克斯韦方程有一些特定的解,这些解代表着一些可在光纤中长期稳定传输的光束,这些光束或解即被我们称为模式。可以证明,对于波长为1 310 nm或1 550 nm的光波,当光芯小于10 μm 时,我们所使用的光纤中将只有一个基模可以稳定传输,它沿径向的光强分布为高斯分布,这种光纤我们称为单模光纤。光纤中的模式除了与光纤本身的参数如折射率、直径有关外,还与光的波长有关。在本实验中虽然我们采用的是单模光纤,但是单模光纤是针对1 310 ~ 1 550 nm光波的,而实验中我们采用的是650 nm的可见激光。因此有时光纤中的模式将不是单模,而是一个简单的多模(如梅花状),而各模式间可能有不同的传输速度、传输路径和偏振态。不同的传输速度将导致光信号的脉冲展宽(色散)。这也是为什么干线网(宽带网)多采用单模光纤,而局域网多采用多模光纤的一个原因。

4. 光在光纤中的传播时间和速度

由于光在介质中的传播速度与介质的折射率成反比,即

$$C = K n^{-1}$$

因此可以断定光在光纤中的传播速度小于光在空气中的传播速度 $C_0 \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。本实验通过测量一串光脉冲信号在一定长度光纤中的传播时间来求出光在光纤中的传播速度,从而算出光纤的平均折射率。

我们在光纤的输入端输入一连串稳定的光脉冲信号,并在光纤的输出端接收这些信号,由于光纤有一定长度因此将引起一个脉冲信号的时间延迟 T_0 ,且

$$T_0 = C_n L$$

其中, C_n 为光在光纤中的速度, L 为光纤长度, 如果我们测出了 T_0 , 则

$$C_n = L/T_0$$

再由

$$C_n/C_0 = n_1/n$$

可求出

$$n_1 = (C_n/C_0) n_0$$

其中, C_n 为光在光纤中的速度, C_0 为光在空气中的速度, n_0 为空气的折射率。

5. 光纤的数值孔径 NA

数值孔径是光纤的光学结构参数, 它表示了光纤收集光的能力, 如图 2-2 所示, 它被定义为刚满足全反射条件的光束入射角的正弦与 n_0 的乘积, 即

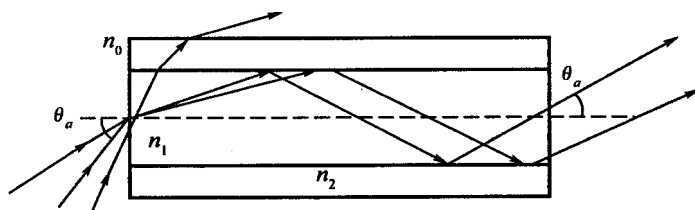


图 2-2

$$NA = n_0 \sin \theta_a$$

大于 θ_a 入射的光线将从包层中泄漏出去, 而小于 θ_a 入射的光线将有可能被约束在光纤中长距离传输, 可以证明 NA 主要由纤芯折射率 n_1 和包层折射率 n_2 决定。本实验是通过测量输出光斑的发散角来算出 NA 的。

6. 光通讯

在现实的光通讯中, 有一部分传输的是声音信号, 如语言、音乐等。本实验将观察通过光纤传输声音信号的过程。

从音频信号源(录音机)发出的信号, 从示波器上观察是一串幅度、频率随声音变化的近似正弦波信号。该信号经调制电路调制后加载在一个 80 kHz 的方波上, 对其相位(频率)进行调制, 并以此调制信号驱动半导体激光器, 使激光器发出一连串经声音调制的光脉冲。该光脉冲进入光纤后经过光纤的传输, 从光纤出光端输出, 被光电二极管接收, 经过放大、还原成电信号。我们可以从示波器上观察到一串与驱动信号相对应的脉冲信号, 这种脉冲信号经解调电路的解调, 再还原成近似正弦波的电信号。这时我们可以从示波器上观察到一系列与音频信号源输出信号相对应的波形。这个近似正弦波的电信号经功率放大后驱动扬声器, 我们便可以听到声音了。

7. 半导体激光器的电光特性

半导体激光器是近年来发展最为迅速的一种激光器, 由于其体积小、质量轻、效率高、成本低的特点已进入了人类社会活动的各个领域。本实验对半导体激光器进行了一些基本的

研究,以掌握半导体激光器的一些基本特性和使用方法。

一般半导体激光器的电流与光输出功率的关系如图 2-3 所示,当电流小于 I_0 时输出功率很小,一般我们认为输出的不是激光;而当电流大于 I_0 时,激光输出功率急剧增大, I_0 即为阈值电流。激光器工作时电流应大于 I_0 ,但也不可过大,以防损坏激光管(本实验已加了保护电路,防止功率过载)。而激光器的调制电流应在 I_0 附近,此时光功率对电流变化的灵敏度较高。

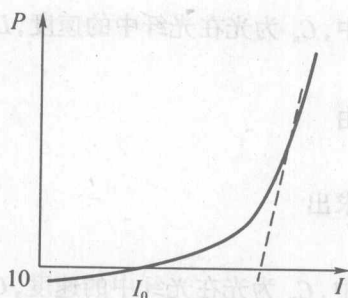


图 2-3

【实验项目及步骤】

(一) 半导体激光器的电光特性

1. 将实验仪功能挡置于“直流”挡,用功率指示计探头换下三维光纤调整架。
2. 打开实验仪电源,将电流旋钮顺时针旋至最大。
3. 调整激光器的激光指向,使激光进入功率指示计探头,使显示值达到最大。
4. 逆时针旋转电流旋钮,逐步减小激光器的驱动电流,并记录下电流值和相应的光功率值。
5. 绘出电流-功率曲线,此即为半导体激光器的电光特性曲线,曲线斜率急剧变化处所对应的电流即为阈值电流。

注意:为防止半导体激光器因过载而损坏,实验仪中已含有保护电路,当电流过大时,光功率会保持恒定,这是保护电路在起作用,而非半导体激光器的电光特性。

(二) 光纤的端面处理和夹持

1. 用光纤剥皮钳剥去光纤两端的涂覆层(如没有剥皮钳,可用刀片小心的刮去涂覆层),长度约 10 mm。

2. 在 5 mm 处用光纤刀刻划一下,用力不要过大,以不使光纤断裂为限。

3. 在刻划处轻轻弯曲纤芯,使之断裂。处理过的光纤不应再被触摸,以免损坏和污染。

4. 将光纤的一端小心地放入光纤夹中,伸出长度约 10 mm,用簧片压住,放入三维光纤架中,用锁紧螺钉锁紧。

5. 将光纤的另一端放入光纤座上的刻槽中,伸出长度约 10 mm,用磁吸压住。

(三) 光纤的耦合与模式

1. 将实验仪功能挡置于直流挡。

2. 调整激光的工作电流,使激光不太明亮,用一张白纸在激光器前前后后移动,确定激光焦点的位置。(激光太强会使光点太亮,反而不宜观察。)

3. 通过移动三维光纤调整架和调整 z 轴旋钮,使光纤端面尽量逼近焦点。

4. 将激光器工作电流调至最大,通过仔细调整三维光纤调整架上的 x 轴、 y 轴、 z 轴旋

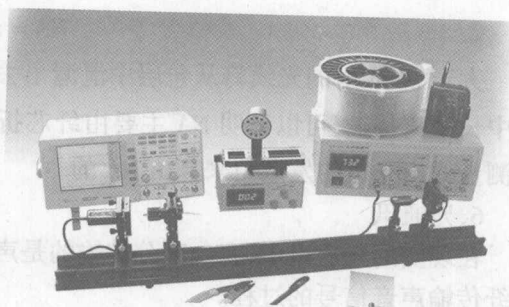


图 2-4

钮和激光器调整架上的水平、垂直旋钮,使激光照亮光纤端面并耦合进光纤。用功率指示计检测输出光强的变化,反复调整各旋钮,直到光纤输出功率达到最大为止。

5. 记下最大功率值,此值与输入端激光功率之比即为耦合效率(不计吸收损耗)。

6. 取下功率指示计探头,换上显示屏,轻轻转动各耦合调整旋钮,观察光斑形状变化(模式变化)。

7. 轻轻触动或弯曲光纤,观察光斑形状变化(模式变化)。

(四)传输时间的测量

1. 如实验项目(二)、(三)的1~4步所述,将激光耦合进光纤,并使输出达到最大。

2. 用二维可调光探头取代原来的功率指示计探头。

3. 用信号线将实验仪发射板中输出波形与双踪示波器的CH1通道相连。

4. 用信号线将实验仪接收板中输入波形(解调前)与示波器的CH2通道相连。

5. 示波器触发拨到CH1通道,显示键置于双踪同时显示(Dual)。

6. 将实验仪功能键置于“脉冲频率”挡,电流置于最大。

7. 打开示波器电源,CH1的电压旋钮置于“2 V/Div”挡上,时间周期旋钮置于10 μ S/Div,旋转“脉冲频率”旋钮,在示波器上应可看到一定频率的方波。

8. 调整实验仪上的“脉冲频率”旋钮,使脉冲频率约为50 kHz。

9. CH2的电压旋钮也置于“2 V/Div”挡上,观察CH2通道上的波形,并同时调整二维可调光探头的位置和光纤输出端面之间的距离,使CH2的波形尽量成为矩形波。

10. 将“扫描频率”置于1 μ S/Div挡,仔细调整“脉冲”频率旋钮,使示波器CH1通道上只显示一个周期。

11. 再仔细调整二维可调光探头的前后位置,使CH2上升沿波形尽量前移(以波形幅度的90%处为准),并记录此时的位置。

12. 取下三维光纤调整架,直接将二维可调光探头置于激光头前,使部分激光进入探头(注意:不要使探头饱和、波形严重失真)。

13. 观察示波器上CH2通道的波形,并同时调整二维可调光探头,使波形尽量与第11步中的波形近似,且上升沿尽量靠前,记录上升沿的位置(以波形幅度的90%处为准)。

14. 将步骤11和13中的上升沿位置相比较,其时间差即为光在光纤中的传输时间。

15. 用光纤长度除以传输时间,即为光在光纤中的传输速度,并由此求出光纤芯的折射率。

(五)模拟(音频)信号的调制、传输和解调还原

1. 按实验项目(二)、(三)的1~4步耦合好光纤。

2. 将实验仪的功能挡置于音频调制挡。

3. 将示波器的CH1和CH2通道分别与“输出波形”和“输入波形”相连。

4. 将示波器“扫描频率”置于10 μ S/Div挡,示波器显示应为近似的稳定矩形波。

5. 从“音频输入”端加入音频模拟信号,这时可观察到示波器上的矩形波的前后沿闪动。

6. 打开实验仪后面板上的“喇叭”开关,应可听到音频信号源中的声音信号。

7. 可分别观察实验仪发射板“调制”前后的波形和接收板“解调”前后的波形。观察、了解音频模拟信号的调制、传输、解调过程和情况。

“喇叭”开关平时应处于“关”状态,以免产生不必要的噪声。

(六)光纤数值孔径的测量。

光纤数值孔径的测量是一项极其繁琐、细致的工作,需要专用附件(选购)和操作人员

真、耐心地耦合光纤,将输出光束的光强调整到近似的高斯分布(基模),并且稳定。

根据光纤数据孔径的定义可知

$$NA = n_0 \sin \alpha$$

其中, α 为光纤输出光的发散角的一半, n_0 为空气折射率。这里主要的实验工作就是求出 α ,而 α 的求出主要依赖于对光斑直径的测量,这里推荐以下两种方法测量光斑直径。

1. 光斑扫描测量法

(1)如实验项目(二)、(三)的1~4步耦合光纤。

(2)用显示屏观察输出光斑形状,并仔细调整各耦合旋钮,尽量使输出成为明亮、对称、稳定的高斯分布。

(3)将数值孔径测量附件置于光纤输出端面前40~80 mm处。

(4)将探头光阑置于0.5 mm或1 mm挡。

(5)仔细调整光纤与探头之间的位置,在光斑中心附近找到功率指示最大的点,调整完毕。

(6)用一维位移架移动探头,使探头扫过整个光斑。记录下光强与位置的关系,绘出光强分布曲线,分布曲线应为近似的高斯曲线。

(7)以该曲线最高点的 $1/e^2$ 处的尺寸作为光斑直径,再测量出光纤端面距测量面的距离,求出 α 。

2. 功率法

(1)如实验项目(二)、(三)的1~4步耦合光纤。

(2)用显示屏观察输出光斑形状,并仔细调整各耦合旋钮,尽量使输出光斑具有明亮、对称、稳定的分布。

(3)将数值孔径测量附件的探头光阑置于 $\Phi 6.0$ 挡,并使之紧贴光纤输出端面,以保证输出光可全部进入探头。用功率指示计检测光纤输出功率,轻微调整耦合旋钮,尽量使功率达到最大。

(4)记下此时的功率指示值。

(5)向后移动附件滑块,由于输出光发散,随着探头向后移动,会有部分光漏出 $\Phi 6.0$ 孔。

(6)仔细调整光纤与探头之间的相对位置,使可探测到的功率为最大功率的90%,而有10%的光功率漏在 $\Phi 6.0$ 孔外,此时的6 mm孔径即为光斑直径。

(7)测量出光纤端面到探头光阑间的距离 H 。

(8)由6 mm直径和 H 即可求出 α 。

【注意事项】

1. 请勿直视激光光束。

2. 如在使用过程中,光纤断在光纤夹中,请务必剔除光纤断头(可用纸片或刀片刮净细缝底部),再安装新的光纤,否则可能损坏光纤夹压片。