

光电测试技术实验

实验 1 精密位移量的激光干涉测量

一. 实验目的

1. 了解泰曼——格林干涉测量的原理；
2. 掌握微米及亚微米量级位移量的激光干涉测量方法；
3. 了解激光干涉测量方法的优点和应用场合。

二. 实验仪器设备

CSYGLJT1 激光多功能光电测量综合试验仪。

三. 实验要求

1. 预习教材中的相关内容。
2. 阅读并熟悉本次实验的内容。
3. 设计并正确连接电路。
4. 测量并记录实验数据。
5. 实验结束将仪器归位。

四. 实验任务

本实验采用泰曼—格林（Twyman-Green）干涉系统，T—G 干涉系统是著名的迈克尔逊白光干涉仪的简化。用激光为光源，可获得清晰、明亮的干涉条纹，其原理如图 1-1 所示。

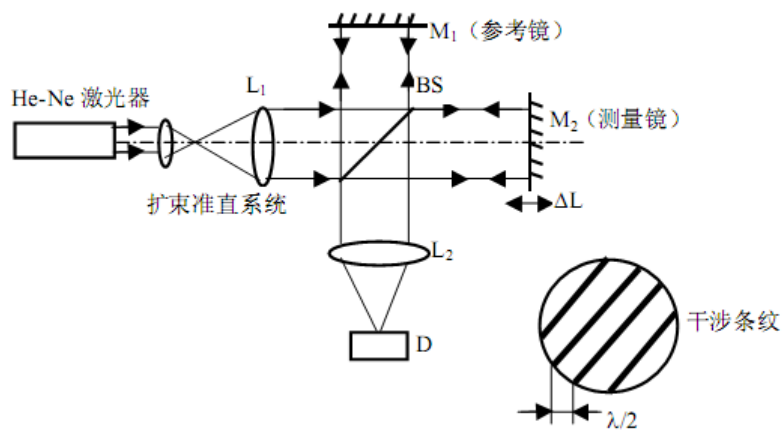


图 1-1 T—G 干涉系统

激光通过扩束准直系统 L1 提供入射的平面波（平行光束）。当设光轴方向为 Z 轴，则此平面波可用下式表示：

$$U(Z) = Ae^{ikz} \quad (1-1)$$

式中 A 为平面波的振幅， $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 为波数， λ 为激光波长。

此平面波经半反射镜 BS 分为二束，一束经参考镜 M1，反射后成为参考光束，其复振幅 U_R 用下式表示

$$U_R = A_R e^{i\phi_R(z_R)} \quad (1-2)$$

式中 A_R 为参考光束的振幅， $\phi_R(z_R)$ 为参考光束的位相，它由参考光程 Z_R 决定。

另一束为透射光，经测量镜 M2 反射，其复振幅 U_t ，用下式表示：

$$U_t = A_t e^{i\phi_t(z_t)} \quad (1-3)$$

式中， A_t 为测量光束的振幅， $\phi_t(z_t)$ 为测量光束的位相，它由测量光程 Z_t 决定。

此二束光在 BS 相遇，由于激光的相干性，因而产生干涉条纹。干涉条纹的光强 $I(x, y)$ 由下式决定

$$I(x, y) = U \cdot U^* \quad (1-4)$$

式中 $U = U_R + U_t$ ， $U^* = U_R^* + U_t^*$ ，而 U^* ， U_R^* ， U_t^* 为 U ， U_R ， U_t 的共轭波。

当反射镜 M1 与 M2 彼此间有一交角 2θ ，并将式 (15-2)，式 (15-3) 代入式 (15-4)，且当 θ 较小，即 $\sin\theta \approx \theta$ 时，经简化可求得干涉条纹的光强为：

$$I(x, y) = 2I_0(1 + \cos kl2\theta) \quad (1-5)$$

式中， I_0 为激光光强， l 光程差， $l = z_R - z_t$ 。

式 (1-5) 说明干涉条纹由光程差 l 及 θ 来调制。当 θ 为一常数时，干涉条纹的光强如图 1-2 所示。当测量在空气中进行，且干涉臂光程不大，即略去大气的影响，则

$$l = N \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (1-6)$$

式中 N 为干涉条纹数。

因此，记录干涉条纹移动数，已知激光波长，由式 (15-6) 即可测量反射镜的位移量，或反射镜的轴向变动量 ΔL 。干涉条纹的计数，从图 1 中知道，定位在 BS 面上或无穷远上的干涉条纹由成像物镜 L2 将条纹成在探测器上，实现计数。测量灵敏为：当

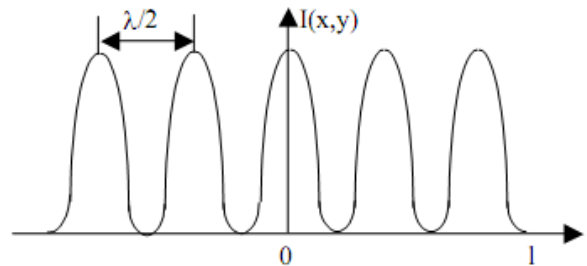


图 1-2 干涉条纹光强分布

$N=1$, 则 $\Delta l = \frac{\lambda}{2}$, $\lambda = 0.63\mu m$, 则 $\Delta l = 0.3\mu m$

如果细分 N , 一般以 $1/10$ 细分为例, 则干涉测量的最高灵敏度为 $\Delta l = 0.03\mu m$ 。

实验光路如图 1-3 所示, 激光器 1 发出的激光经衰减器 2 (用于调节激光强度) 后, 经

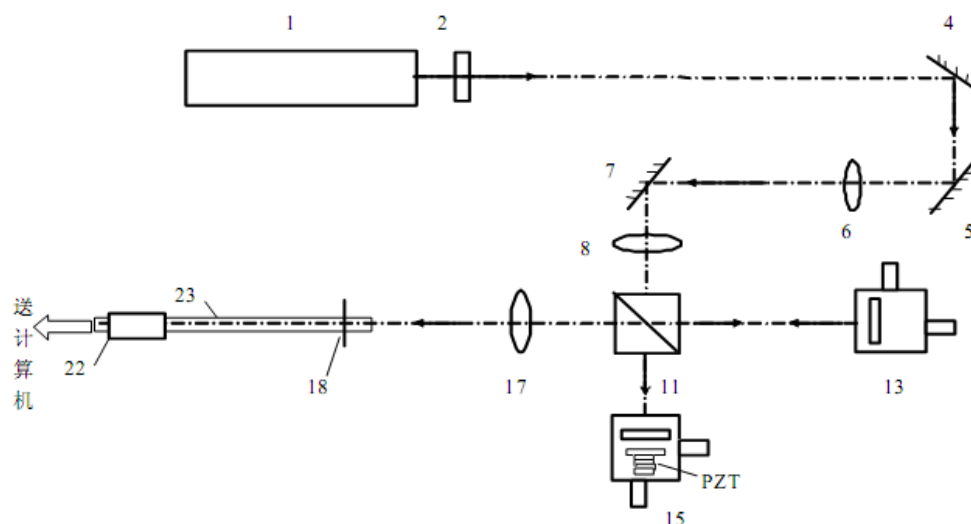


图 1-3 实验光路

反射镜 4, 5 进入扩束准直物镜 6, 8 (即图 1-1 中的 L_1), 由分光镜 11 (即图 1-1 中 BS) 分成二束光, 分别由反射镜 13 (即图 15-1 中的 M_1), 15 (M_2) 反射形成干涉条纹并经成像物镜 17 (即图 1-1 中 L_2) 将条纹成于 CCD 22 上 (即 D), 这样在计算机屏上就可看到干涉条纹, 实现微位移的测量。

实验步骤如下:

1、公共部分:

- (1) 开机, 激光器 1 迅速起辉, 待光强稳定。
- (2) 检查 CCD22 上电信号灯亮否。
- (3) 调整光路时若移开反射镜 3, 10, 扩束激光;
移入反射镜 3, 反射镜 10, 不扩束激光;

2、本实验步骤

- (1) 扩束
- (2) 在组合工作台 13, 15 上分别装平面反射镜, 调节工作台 13, 15 上调平调向测微器, 使二路反射光较好重合 (在成像物镜 17 后焦面上, 两反射光会聚的焦斑重合)
- (3) 打开计算机, 然后微调工作台上测微器, 在显示屏上看见干涉条纹
- (4) 调整 CCD 在轨道上的位置, 使干涉条纹清晰, 锁定 22, 再调节可调光阑 19 孔径

位置，

序号	驱动位移量 (L)	条纹数 (N)	$N \cdot \frac{\lambda}{2}$ 测量位移量 (L)	备注
1				
2				
3				
4				

其中 $\lambda = 632.8nm$

五. 实验报告

1. 记录数据并进行数据处理。

实验 2 面形的三维干涉测量及评价

一. 实验目的

1. 了解表面三维形貌的高精度实时测量原理；
2. 实测一个平面光学零件的表面形貌；
3. 对评价指标 PV，RMS 的定义有所掌握。

二. 实验仪器设备

CSYGLJT1 激光多功能光电测量综合试验仪。

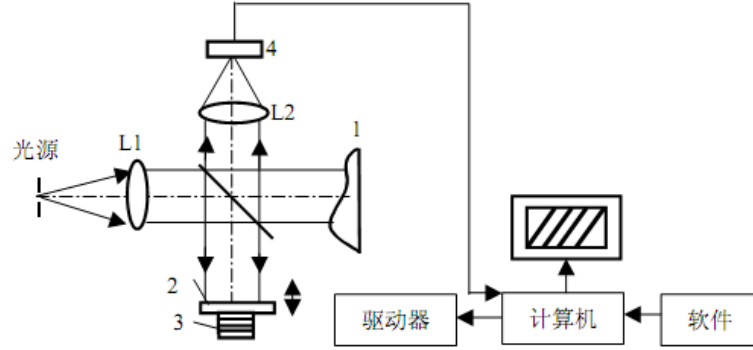
三. 实验要求

1. 预习教材中的相关内容。
2. 阅读并熟悉本次实验的内容。
3. 设计并正确连接电路。
4. 测量并记录实验数据。
5. 实验结束将仪器归位。

四. 实验任务

随着电子技术与计算机技术的发展，并与传统的干涉检测方法结合，产生了一种新的位相检测技术——数字干涉技术，这是一种位相的实时检测技术。这种方法不仅能实现干涉条

纹的实时提取，而且可以利用波面数据的存储功能消除干涉仪系统误差，消除或降低大气扰动及随机噪声，使干涉技术实现 $\lambda/100$ 的精度，这是目前干涉仪精度最高的近代方法。其原理如图 2-1 所示。



L1，准直物镜；L2，成像物镜；1，被测件；2，参考镜；
3，压电陶瓷（PZT）；4，成像光电器件（CMOS）

图 2-1 数字干涉系统

图中的实验系统仍采用 T-G 干涉仪，但参考镜 2 由压电陶瓷 PZT 驱动，产生位移。此位移的频率与移动量由计算机控制。设参考镜的瞬时位移为 li ，被测表面的形貌（面形）为 $w(x, y)$ ，则参考光路和测试光路可分别用下式表示：

$$U_R = a \cdot \exp[i2k(s + li)] \quad (2-1)$$

$$U_t = b \cdot \exp\{i2k[s + w(x, y)]\} \quad (2-2)$$

式中 a, b 为光振幅常数。

参考光与测试光相干产生干涉条纹，其瞬时光强由式 (2-1) 与式 (2-2)，可得：

$$I(x, y, li) = 1 + r \cos 2k[w(x, y) - li] \quad (2-3)$$

$r = 2ab/(a^2 + b^2)$ 是干涉条纹的对比度。

式 (16-3) 说明，干涉场中任意一点的光强都是 li 的余弦函数。由于 li 随时间变化，因此式 (16-3) 的光强是一个时间周期函数，可用傅里叶级数展开。设 $r=1$ ，则

$$I(x, y, li) = a_0 + a_1 \cos 2kli + b_1 \sin 2kli \quad (2-4)$$

式中 $a_0 = a^2 + b^2$ ， $a_1 = 2ab \cos 2kw(x, y)$ ， $b_1 = 2ab \sin 2lw(x, y)$ 。

由三角函数的正交性，可求出 Fourier 级数的各个系数，即

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n I(x, y, li) \\ a_1 &= \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n I(x, y, li) \cos 2kli \\ b_1 &= \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n I(x, y, li) \sin 2kli \end{aligned} \right\} \quad (2-5)$$

从而求得被测波面，由下式给出：

$$w(x, y) = \frac{1}{2k} \operatorname{tg}^{-1} \frac{b_1}{a_1} = \frac{1}{2k} \operatorname{tg}^{-1} \frac{\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n I(x, y, li) \sin 2kli}{\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n I(x, y, li) \cos 2kli} \quad (2-6)$$

式中 $li = \frac{\lambda}{2n} \cdot i$, $i = 0, 1, 2, 3, \dots$

为进一步降低噪声，提高测量精度，可用 P 个周期进行驱动扫描，测量数据作累加平均，即

$$w(x, y) = \frac{1}{2k} \operatorname{tg}^{-1} \frac{\sum_{i=1}^{n \cdot p} I(x, y, li) \sin 2kli}{\sum_{i=1}^{n \cdot p} I(x, y, li) \cos 2kli} \quad (2-7)$$

式 (16-7) 说明孔径内任意一点的位相可由该点上的 $n \times p$ 个光强的采样值计算出来，因此，可获得整个孔径上的位相。除实现自动检测外，还可以测定被测件的三维形貌。

高精度光学平面零件的面形精度可用下列二个评价指标，如图 2-2 所示。

1. PV 值——是表面形貌的最大峰谷值；
2. RMS 值——是表面形貌的均方根值，RMS 的定义是：

$$RMS = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{N-1}}$$

式中， $v = x_i - T$ ， x_i 单次测值，

$$T = \frac{\sum x_i}{N}, \quad N \text{ 重复测定次数。}$$

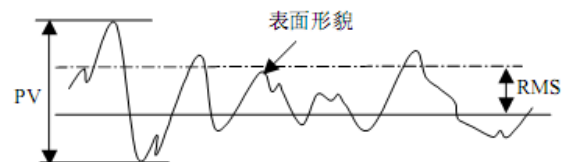


图 2-2 面形精度的评价

实验步骤如下：

1. 摆放实验光路，如图 2-3 所示。

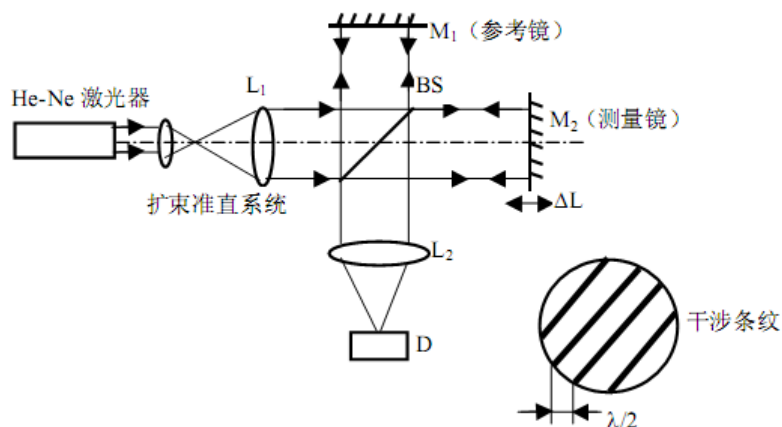


图 2-3 T-G 干涉系统

2. 调节工作台上的测微螺杆并启动压电晶体工作电源，使反射镜产生轴向位移，在计算机上看到条纹平移。
3. 将工作台上的平面反射镜换成曲面或台阶面（其干涉条纹的形状与反射面面形有对应定量关系）。
4. 调整 CCD 在轨道上的位置，使干涉条纹清晰。
5. 调节可调光阑孔径位置，滤除寄生干涉光。
6. 测量程序操作参见软件操作说明书。

序号	PV	RMS	EM	等高图（凹或凸）
1				
2				

五. 实验报告

1. 记录数据并进行数据处理。

实验 3 巴俾特原理及细丝直径测量

一. 实验目的

1. 了解巴俾特（Babinet）原理；
2. 利用互补测定法测量细丝直径。

二. 实验仪器设备

CSYGLJT1 激光多功能光电测量综合试验仪。

三. 实验要求

1. 预习教材中的相关内容。
2. 阅读并熟悉本次实验的内容。
3. 设计并正确连接电路。
4. 测量并记录实验数据。
5. 实验结束将仪器归位。

四. 实验任务

激光衍射互补测定法的原理是基于巴俾特原理,如图 3-1 所示。设一个任意形状的开孔,在平面波照射下,在接收屏上的复振幅用 U_1 表示;用同一平面波照射其互补屏时,在接收屏上其复振幅用 U_2 表示。当互补屏叠加时,开孔消失,在接收屏上的光强分布也应消失,合成复振幅应为零,即

$$U = U_1 + U_2 = 0$$

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= -U_2 \\ \text{即 } |U_1|^2 &= |U_2|^2 \end{aligned} \right\}$$

上式说明,两个互补屏所产生的衍射图形,其形

状和光强完全相同,仅位相相差 $\pi/2$ 。这就是巴俾特

原理。对激光衍射条纹来说,原来是亮条纹的位置上互补时将出现暗条纹。利用这个互补原理,就可以测定各种细丝和薄带的尺寸。

为获得明亮的远场条纹,一般用透镜在焦面上形成夫朗和费条纹,如图 17-2 所示。设透镜的焦距为 f' ,细丝直径为 d ,则计算公式为:

$$d \sin \theta = n\lambda$$

$$\sin \theta = \frac{x_n}{\sqrt{x_n^2 + f'^2}}$$

$$d = \frac{n\lambda \cdot \sqrt{x_n^2 + f'^2}}{x_n}$$

故
实验内容

1. 摆放实验光路,如图 3-3 所示。

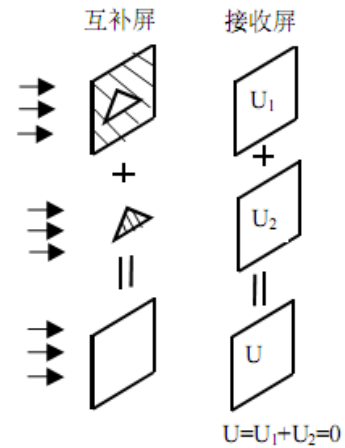


图 3-1 巴俾特原理示意图

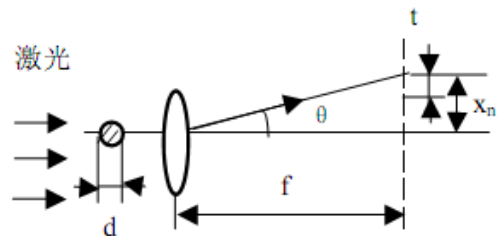


图 3-2 互补法测量的计算

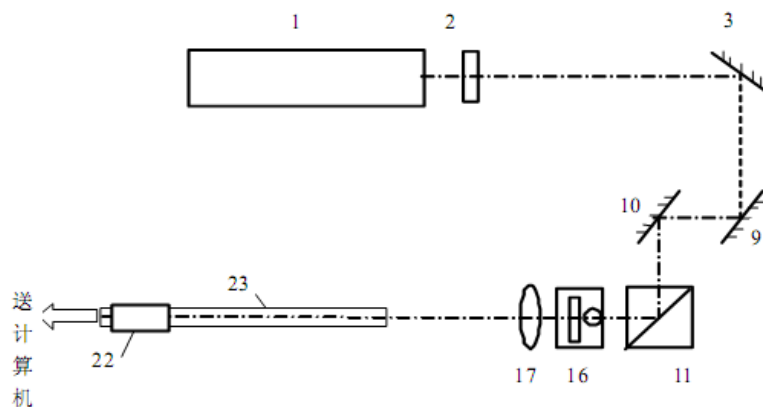


图 3-3 T-G 干涉系统

2. 激光不扩束。
3. 将分光镜 11 转 90° 。
4. 试件夹 16 中装入衍射试件(微屏系列，细丝系列)
5. 移动 CCD23 使图像清晰，锁定 22。
6. 利用计算机程序实现定标和计量。
7. 记录微屏系列对应一级，二级三级衍射圆环和细丝衍射条纹分布尺寸。
8. 将结果与实验六和实验七中同样大小微孔与狭缝所产生的衍射圆环与条纹分布对比。

	衍射级 (n)	X_n	d	$\bar{d}$
细丝	1			
	2			
	3			
微屏	1			
	2			
	3			

五. 实验报告

1. 记录数据并进行数据处理

实验 4 半导体激光器/半导体二极管的 P-I-U 特性测试

一. 实验目的

1. 通过测量 LD 半导体激光器阈值电流、LED 发光二极管和 LD 半导体激光器的输出功率-电流 (P-I) 特性曲线和电压-电流(U-I)特性曲线。

2. 计算阈值电流 (I_{th}) 和外微分量子效率。
3. 对 LED 发光二极管和 LD 半导体激光器工作特性有个基本了解。

二. 实验仪器设备

- 1、YSLD3125 型半导体激光二极管 (带尾纤出, FC 型接口)
- 2、YSLED3215 型发光二极管
- 3、ZY606LD/LED 电流源
- 4、光功率计
- 5、万用表

三. 实验要求

1. 预习教材中的相关内容。
2. 阅读并熟悉本次实验的内容。
3. 设计并正确连接电路。
4. 测量并记录实验数据。
5. 实验结束将仪器归位。

四. 实验任务

1、激光器一般知识

激光器是使工作物质实现粒子数反转分布产生受激辐射, 再利用谐振腔的正反馈, 实现光放大而产生激光振荡的。激光, 其英文 LASER 就是 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (受激辐射的光放大) 的缩写。

激光的本质是相干辐射与工作物质的原子相互作用的结果。尽管实际原子的能级是非常复杂的, 但与产生激光直接相关的主要是两个能级, 设 E_u 表示较高能级, E_l 表示较低能级。原子能在高低能级间跃迁, 在没有外界影响时, 原子可自发的从高能级跃迁到低能级, 并伴随辐射一个频率为

$$\nu = (E_u - E_l)/h$$

的光子, 这过程称为自发辐射。

若有能量为 $h\nu \geq E_u - E_l$ 的光子作用于原子, 会产生两个过程, 一是原子吸收光子能量从低能级跃迁到高能级, 同时在低能级产生一个空穴, 称为受激跃迁或受激吸收, 此激发光子消失; 二是原子在激发光子的刺激下, 从高能级跃迁到低能级, 并伴随辐射一个频率

$$\nu = (E_u - E_l)/h$$

的光子，这过程称为受激辐射。

受激辐射激发光子不消失，而产生新光子，光子增加，而且产生的新光子与激发光子具有相同的频率、相位和偏振态，并沿相同的方向传播，具有很好的相干性，这正是我们所需要的。

受激辐射和受激吸收总是同时存在的，如果受激吸收超过受激辐射，则光子数的减少多于增加，总的效果是入射光被衰减；反之，如果受激辐射超过受激吸收，则入射光被放大。实现受激辐射超过受激吸收的关键是维持工作物质的原子粒子数反转分布。所谓粒子数反转分布就是工作物质中处于高能级的原子多于处于低能级的原子。所以原子的粒子数反转分布是产生激光的必要条件。

实现粒子数反转可以使受激辐射超过受激吸收，光在工作介质中得到放大，产生激光。但工作介质的增益都不足够大，若使光单次通过工作介质而要产生较强的光，就需要很长的工作物质，实际上这是十分困难，甚至是不可能的。于是就想到了用光学谐振腔进行光放大。所谓光学谐振腔，实际上是在激光器两端，面对面地装两块反射镜，如下图所示：

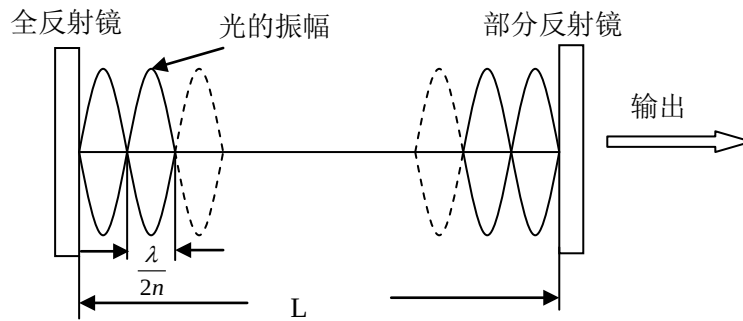


图 4.1 光学谐振腔结构图

一块几乎全反射，一块为部分反射，激光可透过部分反射镜射出。被反射回到工作介质的光，可在工作介质中多次往返，设往返次数为 m ，则有效长度为：

$$L_{eff} = 2mL \quad (m=1, 2, 3, 4\ldots)$$

L 为工作介质的实际长度。

由于谐振腔内工作介质存在吸收，反射镜存在透射和散射，而且只有沿轴线方向的光才被放大，因此光受到一定损耗，当增益和损耗相当时，在谐振腔内建立起稳定的激光振荡。即一个激光器， m 有一个确定的值。

谐振腔的另一个作用是选模，光在谐振腔内反射时，反射波将和入射波发生干涉，为

了能在腔内形成稳定的振荡，必须满足相干相长的条件，也就是沿腔的纵向（轴线方向）形成驻波的条件，这个条件是：

$$L = q \frac{\lambda}{2n} \text{ 或 } \lambda = \frac{2nL}{q}$$

式中， λ 为波长， n 是工作介质的折射率， $q=1, 2, 3, 4, \dots$ ，为某一整数，为驻波波幅的个数，它表征了腔内纵向光场的分布，称为激光的纵模， $q=1$ 称为单纵模激光器， $q \geq 2$ 称为多纵模激光器。每个驻波的频率是不一样的，第 q 个驻波的频率：

$$\nu_q = q \frac{c}{2L}$$

以上两式都说明，虽然由于导带和价带是由许多连续能级组成的有一定宽度的能带，两个能带中不同能级之间电子的跃迁会产生许多不同波长的光波，但只有符合激光振荡的相位条件的那些波长存在，不符合激光振荡的相位条件的那些波长的光将衰减掉，这些波长取决于激光器工作物质的纵向长度 L 。

多纵模激光器输出 q 个波长的光，但幅度不一样，幅度最大的称为主模，其余的称为边模。

2、半导体激光器的结构

半导体是由大量原子周期性有序排列构成的共价晶体，由于邻近原子的作用，电子所处的能态扩展成能级连续分布的能带，如下图（a）所示，能量低的能带称为价带，能量高的能带称为导带，导带底的能量 E_u 和价带顶的能量 E_l 之间的能量差 $E_u - E_l = E_g$ 称为禁带宽度或带隙，不同的半导体材料有不同的带隙。本征半导体中导带和价带被电子和空穴占据的几率是相同的，N 型半导体导带被电子占据的几率大，P 型半导体价带被空穴占据的几率大。如下图（b）、(c)所示。

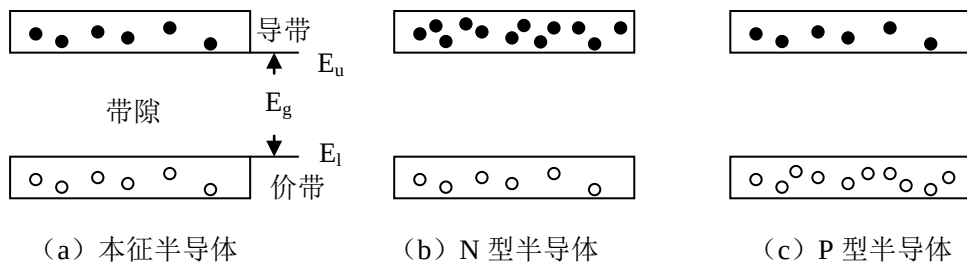


图 4.2 半导体激光器的电子和空穴分布

半导体激光器的结构多种多样，基本结构是下图所示的双异质结平面条形结构。这种结

构由三层不同类型半导体材料构成，中间层通常为厚度为 $0.1\sim 0.3\mu\text{m}$ 的窄带隙 P 型半导体，称为有源层，作为工作介质，两侧分别为具有较宽带隙的 N 型和 P 型半导体，称为限制层。具有不同带隙宽度的两种半导体单晶之间的结构称为异质结。有源层与右侧的 N 层之间形成的是 P-N 异质结，而与左侧的 P 层之间形成的是 P-P 异质结，故这种结构又称 N-P-P 双异质结构，简称 DH 结构。

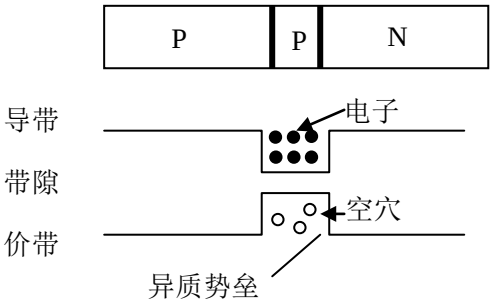


图 4.3 半导体激光器的基本结构

施加正向偏压后，就能使右侧的 N 层向有源层注入电子，左侧的 P 层向有源层注入空穴，但由于左侧的 P 层带隙宽，导带的能态比有源层高，对注入电子形成势垒，注入到有源层的电子不可能扩散到 P 层，同理，注入到有源层的空穴也不可能扩散到 N 层。这样，注入有源层的电子和空穴被限制在 $0.1\sim 0.3\mu\text{m}$ 的有源层内，形成了粒子数的反转分布。

前后两个晶体解理面作为反射镜构成谐振腔。

给半导体激光器施加正向偏压，即注入电流是维持有源层介质的原子永远保持粒子数的反转分布，自发辐射产生的光子作为激发光子诱发受激辐射，受激辐射产生的更多新光子作为新的激发光子诱发更强的受激辐射。

3、半导体激光器的主要特性

(1) 输出电压特性

LD 和 LED 都是半导体光电子器件，其核心部分都是 P-N 结。因此其具有与普通二极管相类似的 U-I 特性曲线，如下图所示：

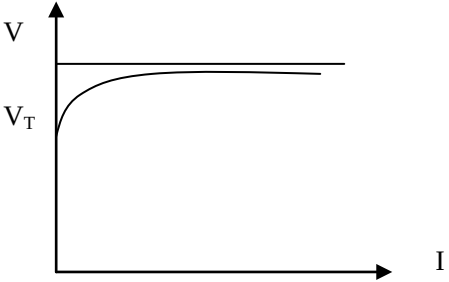


图 4.4 激光器输出 V-I 特性曲

由 U-I 曲线我们可以计算出 LD/LED 总的串联电阻 R 和开门电压 U_T 。

(2) 输出光功率特性

激光器光功率特性通常用输出光功率与激励电流 I 的关系曲线，即 P-I 曲线表示。

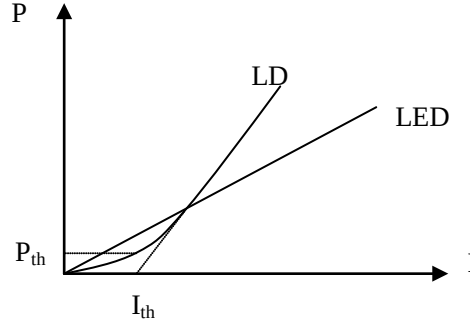


图 4.5 LD/LED 的 P-I 特性曲线

在结构上，由于 LED 与 LD 相比没有光学谐振腔。因此，LD 和 LED 的功率-电流关系特性曲线则有很大的差别。LED 的 P-I 曲线基本上是一条近似的直线。从图 5 中可以看出 LD 的 P-I 曲线有一阈值电流 I_{th} ，只有在工作电流 $I_f > I_{th}$ 部分，P-I 曲线才近似一根直线。而在 $I_f < I_{th}$ 部分，LD 输出的光功率几乎为零。

给半导体激光器注入电流，就是给激光器有源层半导体工作介质注入能量，对价带上的载流子（电子）进行激发，当注入电流较小时，导带和价带间载流子不能形成反转分布，这时从导带上跃迁到价带上的载流子主要以自发辐射为主，产生的是荧光，即非相干光。当注入电流达到一定值时，导带和价带间载流子才能形成反转分布，产生受激辐射，激光器才有激光（即相干光）输出，这个一定值成为阈值电流。阈值电流以后，随着注入电流的增大，导带和价带间粒子数差值增大，激光增益系数增大，输出功率增加，并与注入电流近似成线性关系，如下式所示：

$$P = P_{th} + (I_f - I_{th}) \cdot \frac{\eta_D h f}{e}$$

式中 I_f 为注入电流， $h = 6.628 \times 10^{-34} J \cdot S$ 为普朗克常数， $f = \frac{c}{\lambda}$ 为入射光频率， $c = 3.0 \times 10^8 m/s$ 为光速， λ 为入射光波长， e 为电子电量， η_D 为外微分量子效率， I_{th} 为阈值电流， P_{th} 为阈值功率。

根据 P-I 曲线可以求出激光器的阈值电流 I_{th} 和外微分量子效率 η_D ：将 P-I 曲线的线性部分作直线与横坐标相交，交点处的电流即为激光器的阈值电流；曲线线性部分的斜率为

$\frac{\eta_D hf}{e}$ ，由曲线求得斜率，可计算 η_D

实验注意事项：

- （1）通电之前，电流源确保“粗调”“细调”旋钮在最小值位置。这样可防止冲击电流损坏 LD。
- （2）确认 LD 或 LED 已经插接良好后，打开电源开关。此时电源输出为零，LD 或 LED 尚未发光。
- （3）恒功测量：将切换开关拨到恒功档，顺时针缓慢调节输出功率“粗调”旋钮，LD 射出激光。改调“细调”旋钮，可将 LD 输出调至要求的数值（用一台光功率计来测量 LD 的输出功率）。通过 Iop 显示窗口可以读出输出电流值，通过 Im 显示窗口可以读出探测电流值。

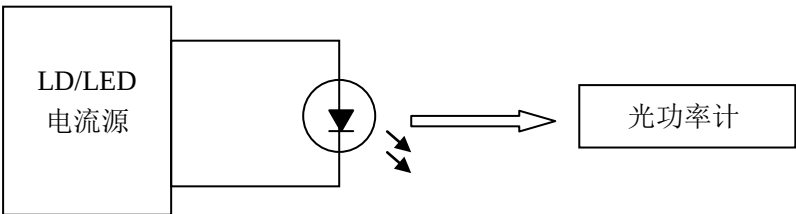
注意：LED 内部没有探测器，故不能用恒功档测试，只能用恒流档进行测试。

- （4）恒流测量：将切换开关拨到恒流档，该方式下“细调”旋钮无效，Im 窗口显示读数无效。只需要调节输出功率“粗调”旋钮即可，通过 Iop 显示窗口可以读出输出电流值。

实验步骤如下：

激光器测试实验装置如下

- 1、按图连接线路，连接图如下。



- 2、因 YSLD3125 型半导体激光器为 Pointer 型，将电流源“DVD、Pointer”管切换钮置于 Pointer，恒功恒流切换置于恒功，“粗调”和“细调”置于最小。开启电流源，缓慢调节电流旋钮使电流由 0mA 逐渐增加到 18mA，每隔 3mA 记录 LD 的电压值和光功率值，绘制 P-I 曲线和 U-I 曲线。切记电流最大不能超过 40mA，否则会损坏激光器!! 注意：LD 为静电敏感元件，因此操作者不要用手直接接触激光器引脚以及与引脚连接的任何测试点和线路，以免损坏激光器。

表 1 LD 的 P-I-U 实验测试数据

I (mA)	0	3	6	9	12	15	18
--------	---	---	---	---	----	----	----

U (V)							
P (μW)							

3、开启 LED 的驱动电源（恒流档测量），缓慢调节“粗调”旋钮逐渐增加工作电流，使电流由 $0mA$ 逐渐增大到 $30mA$ ，每隔 $5mA$ 记录 LED 的电压值和光功率值。绘制 LED 的 P-I 曲线和 U-I 曲线。

表 2 LED 的 P-I-U 实验测试数据

I (mA)	0	5	10	15	20	25	30
U (V)							
P (μW)							

4、通过 P-I 曲线的线性部分作直流与横坐标相交，交点处的电流值即为激光器的阈值电流，计算外微分量子效率 η_D 。

注意：插拔激光器之前，务必先把输出功率“粗调”旋钮调到最小，然后关闭电源开关，这是因为带电插拔 LD 会造成 LD 的劣化。

五. 实验报告

1. 在坐标纸上作出 YSLED3215 型发光二极管的 U-I 曲线和 P-I 曲线。
2. 在坐标纸上做出 YESLD3125 型半导体激光器的 U-I 曲线和 P-I 曲线，并确定出阈值电流和外微分量子效率。
3. 回答串联电阻 R 对于 LD/LED 的应用性能有何影响？
4. 为什么 LD/LED 的输出特性有较大差异？