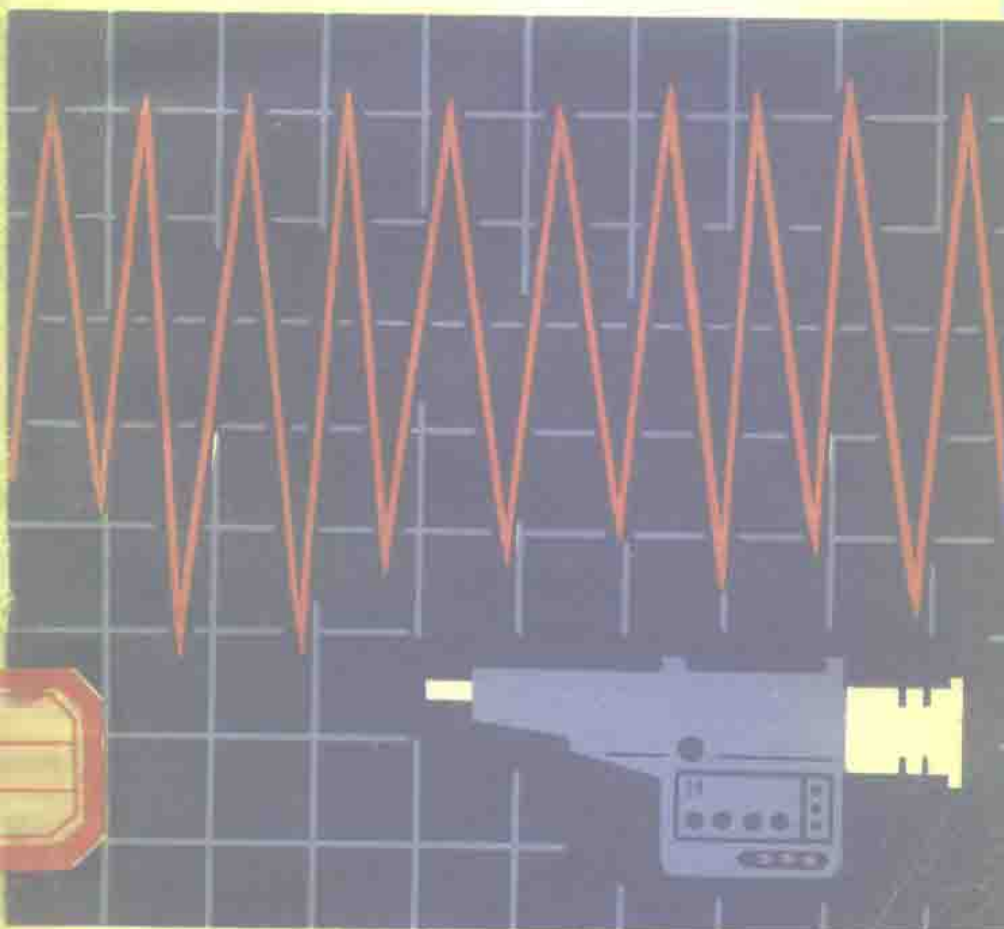


固体激光

GUTIJIGUANG

冷长庚 编著



科学出版社

固 体 激 光

冷长庚 编著

科 学 出 版 社

·1981

内 容 简 介

本书介绍了固体激光器的基本组成、典型激光器件、基本参数测量、固体激光的应用以及激光的防护和对抗的基础知识,可供具有高中文化程度的广大读者阅读,也可供大专院校学生和有关工程技术人员参考。

固 体 激 光

冷长庚 编著

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1981 年 4 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/32

1981 年 4 月第一次印刷 印张: 6 1/2

印数: 0001—5,450 字数: 125,000

统一书号: 15031 · 337

本社书号: 2104 · 15—4

定 价: 0.70 元

前 言

激光是六十年代发展起来的一门新兴科学技术。它的诞生,给“经典光学”带来了无限的生机。

由于激光与以往的光源相比,具有高亮度(高强度)、高方向性、高单色性、高相干性这四个显著的特点,因而从一九六〇年第一台红宝石激光器问世以来,激光的研究一直受到人们很大的重视,并且在许多领域里,激光已得到了愈来愈广泛的应用。

本书对固体激光器的基本组成、几种典型的固体激光器件、固体激光基本参数的测量、固体激光的应用、激光的防护和对抗,做了一些介绍。由于水平所限,缺点和错误一定不少,作者热切地期望读者提出批评和指正。

作 者

一九七九年四月于北京

目 录

前言	i
第一章 基础知识	1
§ 1.1 光学的基本定律	1
§ 1.2 几个基本的光学现象和光的基本效应	4
§ 1.2.1 几个基本的光学现象	4
§ 1.2.2 光的基本效应	7
§ 1.3 光的本性	8
§ 1.3.1 光的波动说	8
§ 1.3.2 光的粒子说	10
§ 1.4 光的自发辐射、受激吸收和受激辐射	11
§ 1.5 玻耳兹曼分布和粒子数反转	14
§ 1.6 激光的产生	15
§ 1.7 激光的特性	20
第二章 固体激光器的基本组成	24
§ 2.1 工作物质	24
§ 2.1.1 红宝石	25
§ 2.1.2 钕玻璃	29
§ 2.1.3 掺钕钇铝石榴石	32
§ 2.2 光泵	37
§ 2.2.1 脉冲氙灯	38
§ 2.2.2 连续氙灯	50

§ 2.3 聚光冷却系统	52
§ 2.3.1 聚光器	52
§ 2.3.2 冷却系统	56
§ 2.4 谐振腔	59
§ 2.4.1 谐振腔的 Q 值	61
§ 2.4.2 谐振腔的种类和稳定性	63
§ 2.4.3 谐振腔的模式	65
§ 2.5 电源	69
§ 2.5.1 脉冲电源	69
§ 2.5.2 连续电源	79
第三章 几种固体激光器简介	85
§ 3.1 普通脉冲激光器	85
§ 3.1.1 普通单脉冲激光器	85
§ 3.1.2 普通重复频率脉冲激光器	87
§ 3.2 连续激光器	89
§ 3.3 调 Q 脉冲激光器	91
§ 3.3.1 转镜调 Q 脉冲激光器	92
§ 3.3.2 染料调 Q 脉冲激光器	94
§ 3.3.3 电光调 Q 脉冲激光器	95
§ 3.4 连续泵浦声光调 Q 激光器	104
§ 3.5 单模激光器	108
§ 3.6 倍频激光器	114
§ 3.7 参量振荡器	119
§ 3.8 锁模激光器	120
§ 3.9 大功率激光器	125
§ 3.10 大能量激光器	126
第四章 固体激光器输出参数测量	128

§ 4.1 脉冲能量和连续功率的测量	128
§ 4.1.1 直接量热法	129
§ 4.1.2 热电法	130
§ 4.1.3 光电法	131
§ 4.1.4 光化学法	133
§ 4.1.5 光压法	133
§ 4.1.6 光学衰减器	134
§ 4.2 脉冲宽度的测量	139
§ 4.3 光束发散角的测量	145
§ 4.4 波长和谱线宽度的测量	147
第五章 固体激光的应用	151
§ 5.1 固体激光在工业上的应用	153
§ 5.2 固体激光在农业上的应用	155
§ 5.3 固体激光在自然科学中的应用	155
§ 5.4 固体激光在军事上的应用	158
§ 5.4.1 激光测距	159
§ 5.4.2 激光雷达	175
§ 5.4.3 激光侦察	176
§ 5.4.4 激光制导	177
§ 5.4.5 激光通信	180
§ 5.4.6 激光武器	182
第六章 激光防护和激光对抗	188
§ 6.1 激光防护	188
§ 6.2 激光对抗	197

第一章 基础知识

激光是一种新型光源。光学上将凡能发光的物体均称为光源。太阳是自然界中的光源,我们称它为“自然光源”,而蜡烛、各种各样的电灯,则是人制造出来的,称它们为“人造光源”,激光便是一种人造的新型光源。

光学是研究光的本性、光的传播规律和现象、光与物质的相互作用的一门学科。尽管激光具有许多特点,但究其本质,仍是光的一种,因此它也与普通光一样,遵守光学上的基本定律。在这一章中,我们首先简要地谈谈光学的基本定律、基本的光学现象和光的基本效应(它们在历史上对人类认识光的本性有着重大的意义,在今天对于我们也仍然是重要的),在此基础上,再讨论激光是怎样产生的,它与以往的光源相比,具有哪些特点。

§ 1.1 光学的基本定律

为叙述方便起见,我们先谈谈点光源、光线和光束这三个光学中最基本的概念。

光学上将一个没有尺寸的发光的“几何点”,称为“点光源”。点光源发出的光,在空间的各个方向上是均匀的。

“光线”是指具有方向的几何直线，这条几何直线能够传输能量，光线的方向就是能量传播的方向。

光学上将一束光线称为“光束”。最简单的光束为“同心光束”和“平行光束”，同心光束是指由同一点发出的或相交于同一点的一束光线（显然点光源发出的是同心光束），平行光束是指由一组互相平行的光线组成的光束。

光学的基本定律如下所述：

1. 光的直线传播定律

光在均匀介质中按直线传播，这就是光的直线传播定律的内容。

由光的直线传播定律，可以导出“光路可逆定理”：如果沿着与一条光线相反方向投射另一条光线的话，两者重合但传播方向相反。

2. 诸光束独立定律

诸光束的传播和所产生的作用是互相独立的，与是否有其它光束存在无关，各光束从不同方向甚至从相反方向传播时，彼此也毫无妨碍，各自产生自己的作用。

3. 光的反射定律和折射定律

光在通过两种介质的界面时，将产生反射和折射，如图 1.1 所示，并遵循如下的规律：

反射定律：反射光线位于入射面内（入射面为入射光线

与法线所在的平面),且反射角等于入射角,即

$$\varphi' = \varphi \quad (1.1)$$

折射定律: 折射光线位于入射面内, 且入射角的正弦与折射角的正弦之比为

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \chi} = n \quad (1.2)$$

式中 φ 为入射角, χ 为折射角, n 为第二种介质对第一种介质的折射率 (相对折射率)。

折射定律的另一种表示方法为:

$$n_1 \sin \varphi = n_2 \sin \chi \quad (1.3)$$

式中, n_1 、 n_2 分别为第一种介质和第二种介质的绝对折射率。

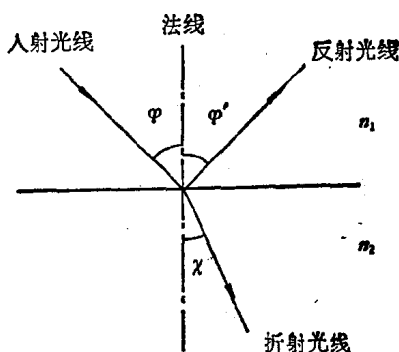


图 1.1 光在两种介质界面上的反射和折射

4. 光的吸收定律

当一束强度为 I_0 的平行光束通过介质时, 它的强度将因被介质吸收而减弱, 它通过厚度为 d (厘米) 的介质后, 其强度 I 为

$$I = I_0 e^{-\alpha d} \quad (1.4)$$

式中, α 称为介质的吸收系数 (单位为厘米⁻¹), e 为尤拉常数 (即自然对数的底数, $e \approx 2.72$)。

§ 1.2 几个基本的光学现象 和光的基本效应

§ 1.2.1 几个基本的光学现象

1. 光的衍射

通俗地说,当光束在传播的道路上遇到小孔或障碍物,而小孔或障碍物的几何尺寸与光波波长可比拟时,光束会明显地绕到小孔或障碍物后面,这类现象称为光的“衍射”(或“绕射”)。

常见的有圆孔衍射和方孔衍射,其衍射花样如图 1.2 所示。

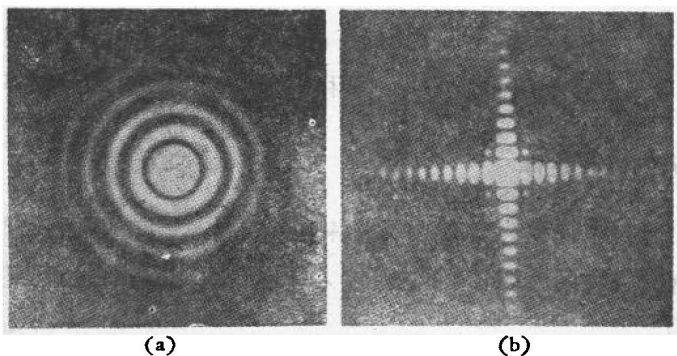


图 1.2 圆孔衍射 (a)与方孔衍射 (b)

平行光的圆孔衍射(称为夫琅和费圆孔衍射)是具有普遍意义的一种衍射,当一束平行光(波长为 λ 的单色光)穿过一

个直径为 D 的圆孔时, 在后面的屏上我们将看到如图 1.2 (a) 所示的衍射花样, 中间的圆形亮斑 (称为“爱里斑”) 所对应的半孔径角为 θ , 如图 1.3, 且有

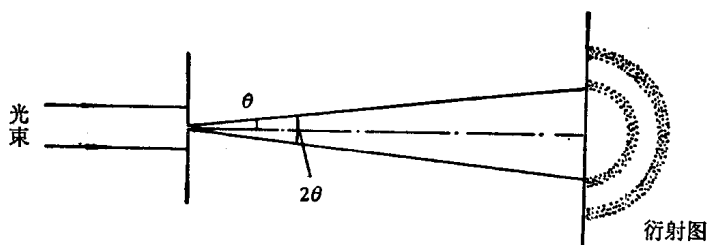


图 1.3 平行光圆孔衍射的半孔径角示意图

$$\theta = \frac{1.22 \lambda}{D} \quad (1.5)$$

2. 光的干涉现象

历史上的一个有代表性的干涉实验的装置, 如图 1.4 所示, 由单色点光源 S 发出的光, 经两面彼此有一个很小夹角的

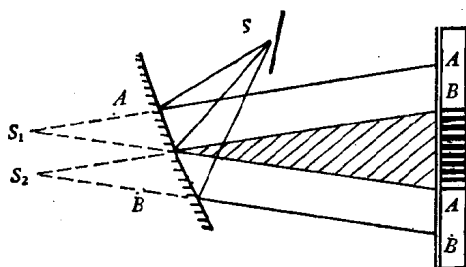


图 1.4 菲涅耳双面镜干涉实验装置示意图

反射镜 A 、 B 反射, 形成两个光束, 在屏上两个光束相交的部

分将出现明暗相间的条纹(称为“干涉条纹”),而不是两个光束强度之和¹⁾,这种现象称为“光的干涉”。这个例子只是干涉现象的一个,还有许多种干涉现象。

光学上称能够互相干涉的光束为“相干光束”(而干涉现象的产生,必须满足一定的条件,即“相干条件”)。

3. 光的偏振

当一束光垂直于方解石晶体(亦称冰洲石)的天然界面入射时,会产生两个光束,如图 1.5 所示,其中一个光束的方向

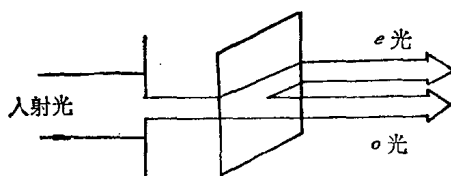


图 1.5 光垂直于方解石晶体的天然界面时的双折射现象

为入射光束的延长线,而另一个光束则发生偏折。前一种光线遵守普通的折射定律,将它称为“寻常光线”(或称为 o 光);而后一种光线违反普通的折射定律,将它称为“非常光线”(或称为 e 光)。寻常光线对方解石晶体的任何方向都具有相同的折射率(记为 n_o),而非常光线的折射率(记为 n_e)却随光线对晶体的不同取向而改变。这种光学现象,称为光的双折射。

1) 在光产生干涉现象时,仍遵守能量守恒定律,只是光强的分布发生了变化。

对光的双折射的研究表明，寻常光线与非常光线除在晶体中的传播方向不同外，它们还具有不同的振动方向，且互相垂直，它们在各自的平面内振动。

光学上称在一个平面内振动的光，为线偏振光(或平面偏振光)。

§ 1.2.2 光的基本效应

光在与物质相互作用时，会产生各种效应，我们只介绍三种最基本的效应。

1. 光的热效应

光的热效应是我们最熟悉的一种效应，当光照射物体而被物体吸收时，光辐射能将转换为热能，使物体发热。这一效应表明，“光”具有能量。

2. 光电效应

当某些金属或半导体受到某些颜色的光照射时，会发射电子(称为“光电子”)，此即为光电效应。光电管、光电倍增管便是根据光电效应而制成的光电元件。

3. 光的化学效应

某些颜色的光，可以使照相底片感光(发生光化学反应)，照相技术就是基于这种最简单的光化学效应。

§ 1.3 光的本性

人类在长期观察各种光学现象和各种光的效应的基础上,对光的本性,出现了两种对立的学说,一种是“波动说”,另一种是“粒子说”(或“微粒说”)。波动说认为光是一种波动(类似于水波、声波),粒子说则认为光是由一颗一颗粒子(微粒)组成的。这两种学说在历史上长期存在,互相争论。

现代人类对光的本性的认识是,光既具有波动性又具有粒子性,即认为光具有“波粒二象性”。

§ 1.3.1 光的波动说

光的波动说认为光是一种波动,光在本质上是一种电磁波,并具有电磁波的一切性质。

1. 速度

光的传播速度与电磁波一样,在真空中约为每秒 30 万公里,精确地取光在真空中的速度为 $c = 2.997925 \times 10^8$ 米/秒(爱森, 1950 年)¹⁾。光在折射率为 n 的介质中传播时,其速度为

$$v = \frac{c}{n} \quad (1.6)$$

1) 光速是一个十分重要的基本物理量,目前仍在用激光对光速做更精确的测量。

2. 频率与波长

光与电磁波一样具有频率和波长。光的频率 ν 是在一秒的时间内振动的次数(频率单位为赫兹),而完成一次振动所需的时间称为周期 T ,光在一个周期时间里向前传播的距离称为波长 λ ,它们之间的关系为

$$\nu = \frac{1}{T}. \quad (1.7)$$

光的频率 ν 与波长 λ 之积等于 c (在真空中)

$$\nu \lambda = c \quad (1.8)$$

在折射率为 n 的介质中传播时,光的频率 ν 不变,而波长为

$$\lambda_{\text{介质}} = \frac{\lambda_{\text{真空}}}{n}. \quad (1.9)$$

3. 横波

光与电磁波一样,也是一种横波,它的振动方向与传播方向垂直,如图 1.6 所示,即光波与电磁波一样,是由彼此垂直且均与传播方向垂直的电矢量 E 和磁矢量 H 组成,电矢量与磁矢量以相同的位相振动。

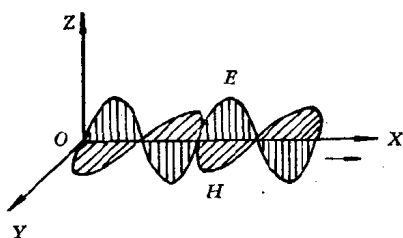


图 1.6 电磁波的振动方向与传播方向示意图

§ 1.3.2 光的粒子说

光的粒子说认为,光是由一颗一颗的“光子”或“光量子”组成的。光子具有能量、质量和动量。

1. 光子的能量

光子的能量 E 为

$$E = h\nu \quad (1.10)$$

式中, h 为普朗克常数 ($h = 6.625 \times 10^{-27}$ 尔格·秒), ν 为频率(秒 $^{-1}$)。

2. 光子的质量

根据爱因斯坦相对论,光子的动质量 m 与能量 E 之间的关系为

$$E = mc^2 \quad (1.11)$$

因 $E = h\nu$, 所以光子的动质量为

$$m = \frac{h\nu}{c^2} \quad (1.12)$$

根据相对论理论,光子无静止质量(即光子的静止质量 m_0 等于零)。

3. 光子的动量

既然光子是一种运动着的粒子,它也必然具有动量,光子