目　录

前言
第一部分　激光基础知识 …… 1
第一章　激光产生的基本原理 …… 1
§ 1-1　物质的原子结构 …… 1
§ 1-2　原子的能级和分布 …… 2
§ 1-3　自发辐射跃迁 …… 4
§ 1-4　受激辐射跃迁 …… 5
§ 1-5　粒子数反转 …… 6
§ 1-6　光学谐振腔 …… 8
第二章　激光的优异特性 …… 9
§ 2-1　方向性好 …… 9
§ 2-2　亮度高 …… 10
§ 2-3　单色性和相干性好 …… 11
第三章　在测绘中几种常用的激光器 …… 12
§ 3-1　激光器的组成 …… 12
§ 3-2　氦-氖气体激光器 …… 13
§ 3-3　红宝石固体激光器 …… 16
§ 3-4　砷化镓半导体激光器 …… 19
第四章　激光在大气中传输对测距的影响 …… 25
§ 4-1　大气吸收 …… 26
§ 4-2　大气散射 …… 26
§ 4-3　大气湍流 …… 28
第二部分　激光在测绘中的应用 …… 30
第五章　红外光电测距仪 …… 32
§ 5-1　相位法测距原理 …… 32

需要全本请访问 www.ertongbook.com

§ 5-2 HGC-1 型红外光电测距仪结构 ……36
§ 5-3 HGC-1 型红外光电测距仪操作方法 ……44
§ 5-4 HGC-1 型红外光电测距仪精度检验 ……45
第六章 精密激光测距仪 ……50
§ 6-1 精密激光测距仪结构 ……51
§ 6-2 距离计算 ……55
§ 6-3 精密激光测距仪操作方法 ……61
第七章 激光地形测绘仪 ……69
§ 7-1 脉冲法激光测距原理 ……69
§ 7-2 激光地形测绘仪结构 ……72
§ 7-3 激光地形测绘仪操作方法 ……78
第八章 激光准直仪 ……79
§ 8-1 波带板激光准直系统工作原理 ……81
§ 8-2 波带板激光准直系统的结构 ……84
§ 8-3 波带板激光准直仪测试情况 ……86
§ 8-4 激光导向仪工作原理 ……87
第九章 激光测高仪 ……88
§ 9-1 激光测高仪技术指标 ……89
§ 9-2 激光测高仪整机结构 ……90
§ 9-3 激光测高仪试验情况 ……92
第十章 人造卫星激光测距 ……93
第十一章 全息照相的测图应用 ……95
§ 11-1 全息照相的基本概念 ……96
§ 11-2 全息摄影立体模型 ……99
第十二章 激光在地图制印中的应用 ……102

第一部分　激光基础知识

第一章　激光产生的基本原理

为要了解激光是怎样产生的，可以先从普通的发光现象说起。大家知道，电灯、日光灯、激光器等所以能够发光，都是与光源内部原子的运动状态有关的。在这一章中，我们先从物质的原子结构谈起，了解物质发光的基本过程，从而进一步说明激光的产生过程以及产生激光的必要条件。

§ 1-1　物质的原子结构

一切物质都是由原子(或离子、分子)构成的，而原子是由两种不同的带电粒子所组成，这就是电子和原子核。原子核带有正电荷，电子带有负电荷，电子围绕着原子核转动，就像月亮围绕地球转动一样。电子一方面由于转动而有离开核的趋向，另一方面又受核的正电荷吸引有靠近核的趋向，原子核和电子之间存在吸引和排斥的矛盾，经过两者矛盾斗争，使原子趋于相对稳定状态。此时吸引力和排斥力达到相对的平衡，就使电子和核之间保持一定的距离，若没有外界的作用，这个距离是不会改变的。

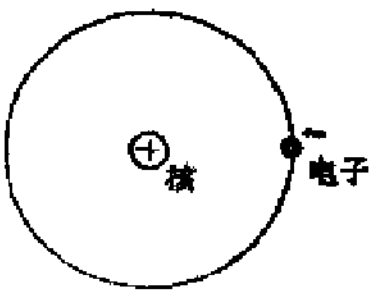


图 1　氢原子模型

原子结构最简单的是氢原子，如

图 1 所示。原子核带有一个正电荷，核外只有一个电子在转动。电子绕核转动就有一定的动能，电子被核吸引就有一定的位能，这动能和位能之和就是原子的内能。核与电子间的距离保持不变，原子的内能也不会改变。如果由于外界的作用使电子与核的距离增大，则原子的内能增大；若使电子与核的距离缩小，则其内能就减少。

§ 1-2 原子的能级和分布

我们日常所遇到的物体运动，其运动能量可以有任何的数值，它们的运动能量的数值是连续性的，而原子的内能却不能连续的变化，也就是说其能量是一档一档地分开的，而不是任意的，这是一切微观粒子(原子、离子、分子等)所共有的属性。

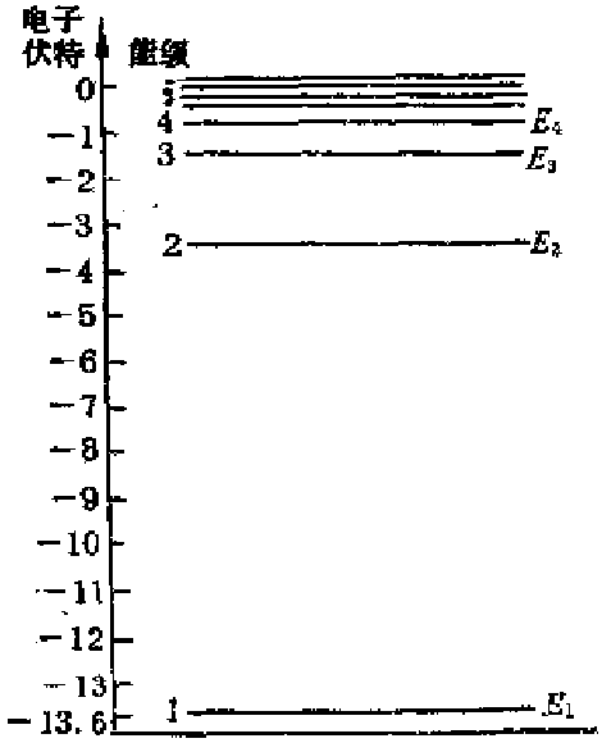


图 2 氢原子的能级图

我们把分裂成一档一档的原子的能量值称为原子的能级。用一条一条的横线代表一档一档的分立能量值，这就形成原子的能级图。例如，氢原子的能级分裂情况如图 2 所示。图中氢原子最低的能级 E_1 称为基态，其余的能级 E_2、E_3、E_4 等都称为高能级(或称为激发态)。

在元素周期表中，氢是最简单的原子，因

此其它原子的能级远比氢原子能级图复杂得多，但这里讲的能级的概念都是适用的。

上面所说的原子的各能级是指这个原子可能具有的能级，在某一个时刻，一个原子当然只能处于某一能级，但实际情况总是大量原子在同一时刻分布在不同的能级上。大量的同类气体原子在运动过程中会互相碰撞，彼此交换能量，有些原子会被激发到高能级，而另外一些原子则处于低能级。在达到热平衡时，在气体的单位体积中处于各个能级上的原子数目的比值是一定的，也就是说，在热平衡时，在单位体积中的同类气体原子在各个能级上的分布，遵循玻耳兹曼分布规律。

由玻耳兹曼分布律知道，处于激发态的原子数目依赖于绝对温度。在两个确定能级上的原子数目的比可以由玻耳兹曼分布律来决定：

$$\frac{N_2}{N_1}=e^{-(E_2-E_1)/kT}$$

式中：k 是玻耳兹曼常数；T 是绝对温度；e 是自然对数。此式表示处于热平衡状态时，在能级 E_2 上的原子数为 N_2，在能级 E_1 上的原子数为 N_1。我们把上式用图线表示，如图 3 所示。由图可见，由于绝对温度 T 为正值，低能级 E_1 上的原子数 N_1 比高能级 E_2 上的原子数 N_2 多，这就是说处于高能级的原子数比处于低能级的原子数少。而且激发态能级越高，处于这个能级上的原子数目就越少，这种分布是原子在能级上的正常分布。

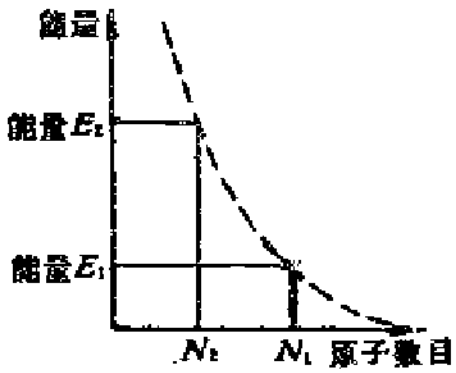


图 3　原子数目按能级的分布

需要全本请访问 www.ertongbook.com

§ 1-3 自发辐射跃迁

从原子按能级的分布规律中我们知道，在正常情况下，较低能级上的原子数目比较高能级上的原子数目多，处在基态的原子数总是占绝大多数。如果要使这些原子（或离子、分子）产生辐射作用，首先就要把处于基态的原子激发到高能级去，例如用光照、用电子碰撞等方法传输给它一定的能量。而原子总是力图使自己的能量状态处于最低值，因为基态的能量最低，所以它处于基态时最稳定，这与物体重心越低越稳定的道理相似。所以原子激发到高能级以后总是力图落到能量较低的能级去。原子从高能级落到低能级的过程称为"跃迁"。原子被激发到高能级后就打破了平衡，产生了内能，因此原子就必然跃迁到低能级去，以达到新的平衡。这种没有受外界的作用，仅由其本身矛盾运动的结果所导致的跃迁，称为自发跃迁。在自发跃迁时，原子从高能级跃迁到低能级，其内能降低了，势必有多余的能量释放出来。释放能量的方式有两种：一种是变为热量辐射，叫做无辐射跃迁；另一种是以光的形式辐射，叫做自发辐射跃迁，如图 4

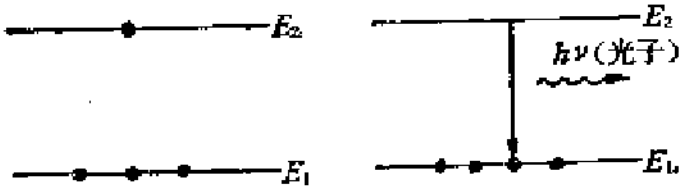


图 4 自发辐射跃迁

所示。其辐射出来的光子的频率 ν 由发生跃迁的两个能级间的能量差所决定。例如，从能级 E_2 向能级 E_1 跃迁，所辐射出来的光的频率 $\nu=\dfrac{E_2-E_1}{h}$。式中 h 是普朗克常数。

我们日常接触到的各种普通光源如电灯、日光灯等发出的光，都是由自发辐射跃迁所产生的。

自发辐射跃迁的特点是每一个原子的跃迁都是自发的，并不是因为受到外界的什么影响；每一个发生辐射的原子都可看作是相互独立的发光单元，它们彼此之间互不联系，它们发出的光子是杂乱无章的，所以自发辐射光是向四面八方辐射。

§ 1-4 受激辐射跃迁

假如有处于高能级 E_2 上的原子，当有外来的光子对它的激发，就会发出一个同样的光子，而原子本身由于失去了能量而从高能级 E_2 跃迁到低能级 E_1 上去，这种跃迁过程称为受激辐射跃迁。如图 5 所示。由受激辐射跃迁所产生的

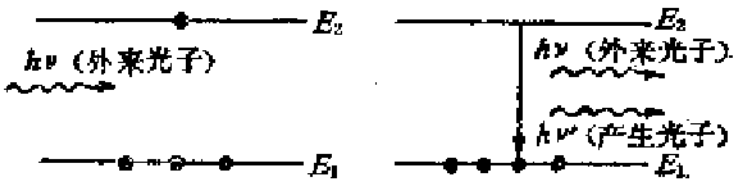


图 5 受激辐射跃迁

光子 $h\nu'$ 与外来的光子 $h\nu$ 有着完全相同的特征。它们的频率、相位以及传播的方向都是一致的。也就是说受激辐射出来的光子与原来入射光子的方向、频率、相位、偏振都是相同的。如果我们用电磁波的观点来描述的话，以入射光子代

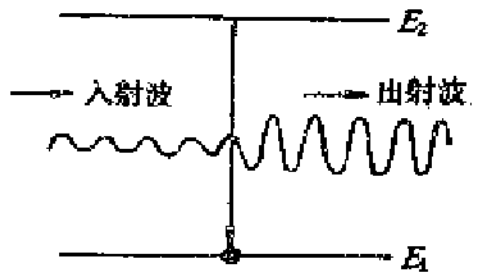


图 6 通过受激辐射跃迁光被放大的示意图

表一个波，在引起受激辐射过程后，这两个光子就代表出射波，这出射波的能量比入射波的能量加大了一倍，即通过受激辐射跃迁，光被加强了。若用电子学上的术语讲，就说光被放大了。如图 6 所示。

当外来的光子激发时，有可能使原子从低能级 E_1 激发到高能级 E_2，这称为光的受激吸收过程。这时原子吸收了光子，光被减弱了。在通常情况下，受激吸收和受激辐射这两个过程是相互矛盾又同时存在的。一般由于处在低能级 E_1 上的原子数目总比处在高能级 E_2 上的原子数目多，因此，相对地说吸收过程总是占优势。如果我们要想使受激辐射占优势，就必须使处于高能级 E_2 上的原子数目超过处于低能级 E_1 上的原子数目，这样就可能使受激辐射过程超过受激吸收过程。如果采用适当的方法和装置，使受激辐射以一定方式持续下去，就能形成一种很强的受激辐射光，这就是激光。所以说受激辐射跃迁是产生激光的重要基础。

§ 1-5 粒子数反转

前面已讲过，原子数按能级的正常分布情况是处于低能级的原子数目总是多于处在高能级的原子数目。因此要想产生激光，首先就要使受激辐射占优势，即要把原子数按能级的正常分布情况反转过来，设法使处于高能级上的原子数目超过低能级上的原子数目，这种状态与热平衡时的正常分布相反，通常叫做“粒子数反转”。

如何实现“粒子数反转”呢？这可以有多种方法来实现。例如：光激励的方法，气体放电的方法，化学反应的方法等。下面我们仅以红宝石激光器为例，说明实现粒子数反转的过程。

在说明红宝石激光器实现粒子数反转的过程前，先来看一个水池的例子。如图 7 (*a*) 所示，水泵把水池 E_1 中的水提升到水箱 E_3 中，水箱 E_3 中的水通过管道 1 迅速地流入水箱 E_2 中，E_2 有两根管道通向 E_1：一根很细的管道 2，一根很粗的管道 3，由于管道 2 很细，流量很小，而管道 3 中间又被活塞 T 所阻塞，因此 E_2 就可以积聚大量的水，以致超过 E_1 的水量。这时当有外力 $h\nu$ 将活塞 T 打开，E_2 中的水就大量地流入 E_1。

红宝石激光器的激发、跃迁以及粒子数反转的建立与这水池的例子是相似的。如图 7 (*b*)。当脉冲氙灯照射红宝石时，使处于基态 E_1 的铬离子大量激发到高能级 E_3 中，由于铬离子在 E_3 中的停留时间很短，即其自发跃迁的几率很

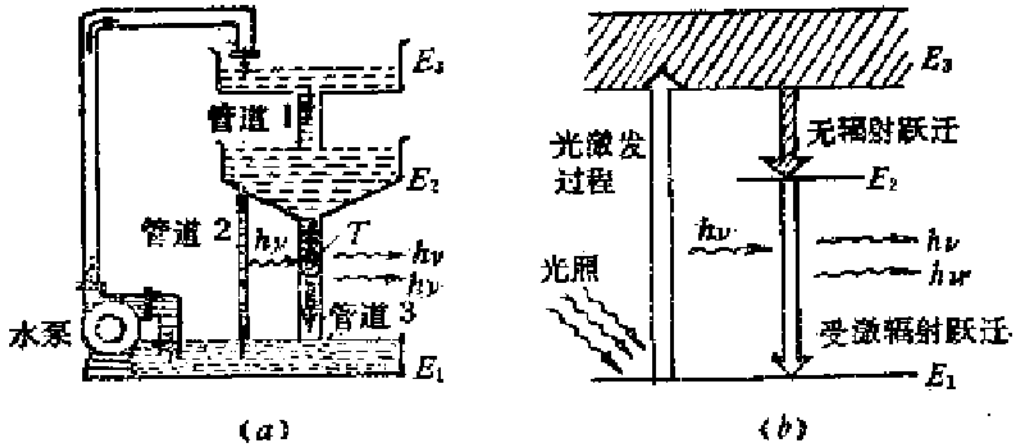


图 7　红宝石激光器能级间粒子数反转的建立

大，所以很快就以无辐射跃迁的方式落入能级 E_2 中，而铬离子在 E_2 中停留的时间较长，即自发辐射几率很小(相当于管道 2 很细)，在 E_2 上就可以大量积聚铬离子。因此，我们把 E_2 这个能级称为“亚稳态”。所谓“亚稳态”就是指原子在它上面停留时间较长。一般的高能态上原子停留的时间很

短，只有 10^{-8}秒，所以原子上去很快就下来，积累不起来，而原子在“亚稳态”则相对的停留时间较长，约 $10^{-4}\sim10^{-5}$秒。当照射的光足够强时，就可能使 E_2 上的铬离子数目 N_2 超过基态的铬离子数目 N_1，这种情况叫做粒子数反转。当有能量为 $h\nu=E_2-E_1$ 的光子激发时，就可能产生能级 E_2 对 E_1 的受激辐射跃迁，但这时发射出来的光还不够强，必须通过光的振荡放大过程使受激辐射光越来越强，才能产生激光。

§ 1-6 光学谐振腔

从以上分析我们知道，实现粒子数反转是产生激光的重要条件。但只是实现粒子数反转还不能产生激光。要产生激光还必须采用一种装置使受激辐射光不断地得到振荡放大。这种装置就是光学谐振腔，它是在能产生激光的工作物质两头加两块相互平行的反射镜，如图 8 所示，光学谐振腔的一块反射镜对激光是全反射的，即反射率为 100%，另一块反射镜对激光能部分透过，激光就从这部分透过的反射镜一端输出。



图 8 光学谐振腔

由于光学谐振腔的作用，在激光器内传播方向与反射镜垂直的光在工作物质中来回反射，使受激辐射光越来越强，

不断的得到放大。这和电子学里的反馈放大技术是相似的，就是把被放大了的光的一部分作为反馈来进一步将光放大，以达到振荡的目的。

是不是粒子数一旦达到反转，加上光学谐振腔就能产生激光呢？还不能。必须使粒子数反转达到一定的程度后，才能产生激光，这是因为在激光的工作物质中除了由于粒子数反转而使受激辐射的光子放大(称为增益)的因素以外，还有一些使光子数减少的因素(称为损耗)，例如，反射镜的透射和吸收，激光工作物质材料的不均匀性所造成的散射等都会引起损耗。只有当光在谐振腔内来回一次所得到的放大大于损耗时，才有可能产生激光。

第二章　激光的优异特性

从上述激光产生的基本原理我们可以知道普通光源是基于自发辐射，而激光是基于受激辐射，由于激光的发光机理与普通光源有着本质的差异，它能够实现在时间和空间上的高度集中，这就决定了激光与普通光源相比具有无与伦比的优异特性。

§2-1　方向性好

普通光源像日光灯，电灯发出的光是向四面八方散射的，即没有方向性，而激光器是沿着一定方向从端面上发光的，光束往前发射时，向周围发散很小，也就是说，光束几乎是一束平行光。因此方向性很好，图9画出了日光灯和激光器的发光情况。地球与月球之间的距离约38万公里，如果激光光束通过发射望远镜从地球发射到月球，光束扩散的

需要全本请访问 www.ertongbook.com

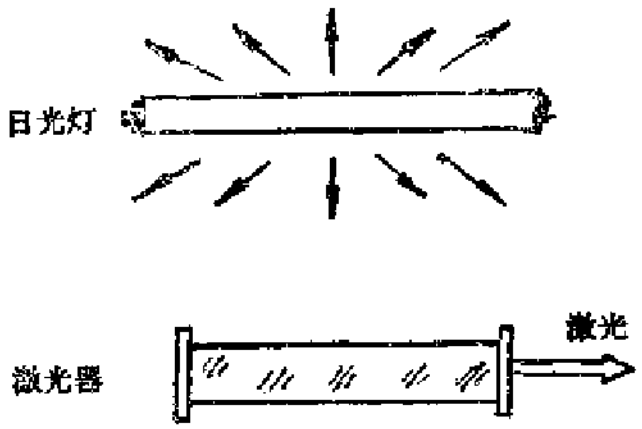


图 9　日光灯和激光器的发光情况

直径不到 2 公里，假如探照灯的光束能射到月球（实际上不可能），则光束扩散直径将达几百公里。这说明激光器的发散角比探照灯光束的发散角小几百倍。利用激光方向性好这一特点，可对月球作精确测距，误差不超过 1 米。在工程测量上可以进行准直定向，在一公里距离上其准直精度可达到 10^{-5} 以上。此外，在国防建设上制成激光雷达，可精确确定目标的方位、距离和速度，对卫星导弹进行精密跟踪。

§2-2　亮　度　高

由于激光具有很好的方向性，使激光在发射方向的空间内光能量高度集中，所以激光的亮度比普通光源高出亿万倍；另外，有些激光器（如调 Q 激光器）其发光时间也很集中，只在千分之几秒甚至于百万分之几秒的极短时间内，激光突然爆发出来，这样就使激光亮度成万倍的提高，可以达到比太阳表面亮度高 100 亿倍。如把高亮度的激光会聚起来，能在几千微米范围内产生上万度的高温，上万个大气压，所以，在很短的时间内，能使一些难熔的物质熔化以至

汽化。

在工业生产中，利用激光的高亮度特点已成功地应用于激光打孔、切割和焊接。在医学上，利用激光的高能量可使剥离的视网膜凝结，还可以做成“光刀”进行细微的外科手术。进一步提高激光能量，可制成激光武器，用来摧毁进犯的敌机和导弹。在测绘方面，可以进行地球到月球的距离测量和卫星大地测量。

§ 2-3 单色性和相干性好

激光的颜色非常纯，也叫做单色性好。光和无线电波一样，也是一种电磁波，只是它们的波长不同而已。不同的颜色就是不同的波长的光作用在眼睛视网膜上引起不同的视觉反映。白光是由各种颜色的光按一定的强度比例混合起来的。普通光源发出的光，颜色都很复杂，有一定的波长范围，称为“谱线宽度”，它是衡量光源单色性好坏的标志。谱线宽度越窄，单色性就越好。激光器发出的光，由于其内部的规律性，使光能在光谱上高度集中，因而谱线宽度很窄，所以激光的单色性很好。由于激光的单色性好，频率单一，有固定的相位差，所以相干性也很好。所谓相干性，就是指两个波之间振动方向一致，频率相同，有确定的相位差。

激光的单色性和相干性好，为精密测量和科学研究提供了极为有利的条件。例如可以用稳定输出的激光波长作为长度计量单位，从而使测量精度和最大可测距离大大提高。单色性越好，可测量的长度就越长，精度也越高。目前，激光精密测长仪已成为理想的精密测量工具，它能在一米长的测量范围内达到0.2微米的精度，可作为“长度基准”。此外，激光的单色性好还可用于精密定位、测速、检查平晶加工质量

等方面。

由于激光具有上述这些优异特性，所以它在国民经济各个方面得到了广泛应用。

第三章　在测绘中几种常用的激光器

§ 3-1　激光器的组成

从激光产生的原理可以知道，一台激光器要能产生激光，必须有三个部分组成，即工作物质、激励能源和光学谐振腔。激光器的原理结构如图 10 所示。

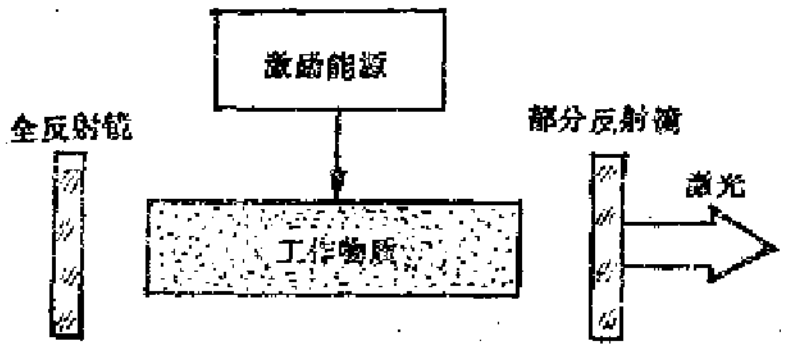


图 10　激光器的原理结构图

工作物质——它的作用是在其特定能级间形成粒子数反转并产生受激辐射。到目前为止，已发现有数百种材料可以用来作为激光器的工作物质，其中包括晶体、玻璃、气体、半导体、有机染料等。应用晶体或玻璃制成的激光器叫做固体激光器，比较常用的固体激光器有红宝石激光器、掺钕的玻璃激光器（简称钕玻璃激光器）、掺钕的钇铝石榴石激光器（简称为 YAG 激光器）等；应用气体材料所制成的激光器叫做气体激光器，气体激光器分为原子气体激光器（如氦-氖激

光器)、分子气体激光器(如二氧化碳激光器)和离子气体激光器(如氩离子激光器);应用半导体材料制成的激光器叫半导体激光器,如砷化镓半导体激光器(GaAs激光器);其他还有化学激光器、液体激光器等。

激励能源——它的作用是激励工作物质,使其产生并维持特定能级间的粒子数反转和相应的受激辐射。激光器的激励方式有光激励(光泵)式、电激励式、化学反应激励式和热激励式等。固体激光器是一种光激励器件,一般用高功率脉冲氙灯作激励光源。气体激光器一般是用气体放电激励。半导体激光器的激励方式有电注入式、光泵式和高速电子束轰击式等。

光学谐振腔——它的作用有两个:一个是保证受激辐射光子在腔内多次往返以产生持续的激光振荡;另一个是对振荡光子的特征(频率、方向等)加以限制,以保证输出激光的方向性和单色性好。

§ 3-2 氦-氖气体激光器 (He-Ne 激光器)

一、He-Ne 激光器结构组成

He-Ne 激光器由放电管、激励电源和谐振腔三个部分组成。如图 11 所示。

放电管由硬质玻璃或石英玻璃制成,管内充有工作物质 He 和 Ne 气体。放电管的尺寸与工作物质的种类、激光波长、增益有关;通常放电管的直径为几个毫米到几十毫米。放电管的长度与输出功率、激光波长有关;管子越长,输出越强。如果需要波长比较单一,那么管子短些为好,放电管的长度可在十几厘米到几米之间。放电管的两端接有两个电极,即阳极和阴极,阳极用钨钽合金制成,阴极发射电子,

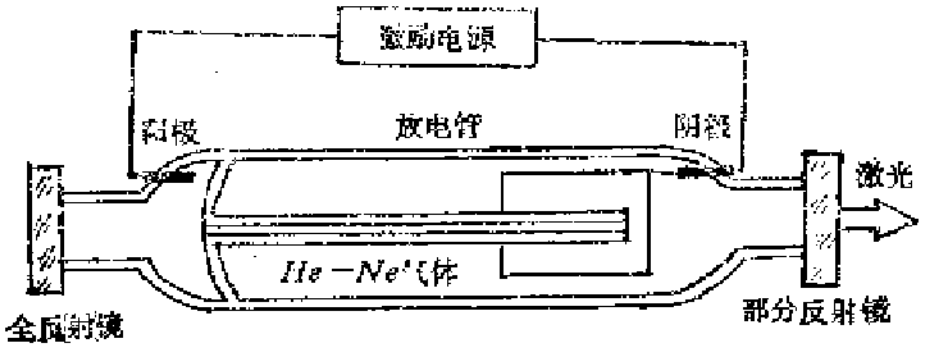


图 11　氦-氖激光器结构示意图

通常选用发射能力强的金属(如钼、镍等)，做成圆筒状以增加其发射面积。

激励电源一般多采用气体放电方式，可用直流、交流或高频等多种方式供电。目前用得最多的是直流电源放电，直流电源电压一般上千伏，直流电流几毫安到几十毫安。采用直流电源放电的优点是电源简单，激光输出稳定。

谐振腔两个反射镜镀有多层介质膜，其中一个反射镜对激光波长（如 6328 埃）是完全反射的，另一个反射镜可以部分透光，激光就从这部分透光的反射镜输出。

He-Ne 激光器的结构形式，按谐振腔反射镜和放电管的连接关系，可分为内腔式、外腔式和半内腔式(或半外腔式)三种。图 11 所表示的为内腔式结构，即其反射镜和放电管是连接在一起的。一般在测距仪中比较多的是采用这种结构形式。如果反射镜和放电管是分开的，即为外腔式结构，如果有一块反射镜与放电管相连，而另一块反射镜与放电管相分离，则为半内腔式或半外腔式结构。

二、He-Ne 激光器的工作原理

为了说明He-Ne激光器激光的产生，我们画出氦原子和氖原子的能级图如图 12 所示。图中每个能级都有一个能级符

号，如：1^1S、2^1S、2^3S 和 $1S$、$2S$、$3S$、$2P$、$3P$ 等。这些符号名称是按照一定的"法则"来命名的，我们这里不作解释了。读者可以参看有关原子结构书籍。氖原子能级 $1S$、$2S$、$3S$ 并不是一个能级，而是各有 4 个能级组成。$2P$、$3P$ 各有10个能级组成。

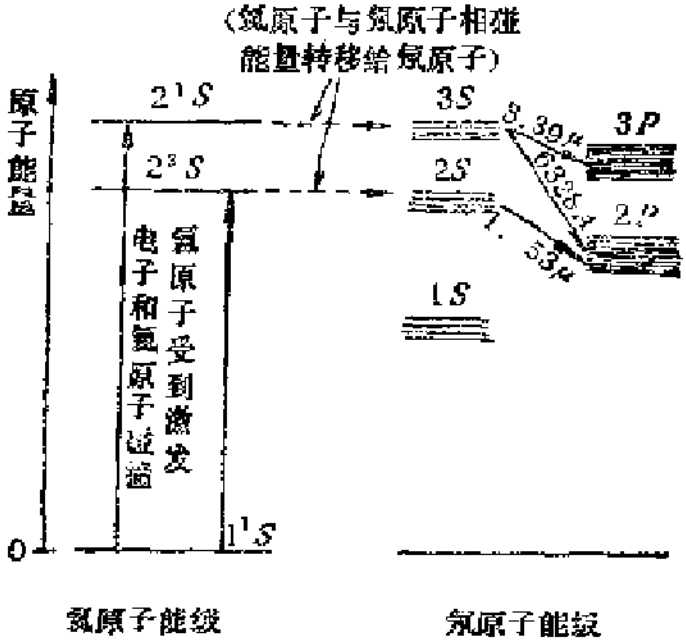


图 12 氦原子与氖原子的能级图

当在放电管中通以适当的电流时，放电管中的电子就会和氦原子发生碰撞，其结果是把氦原子从基态 1^1S 激发到高能态 2^1S 和 2^3S 上，处于高能态 2^1S 和 2^3S 的氦原子与处于基态能级的氖原子发生碰撞，氦原子就会把能量转移给氖原子，使氖原子处于激发能级 $2S$ 和 $3S$ 上，而氦原子把能量转给氖原子以后就跃迁回到基态能级 1^1S 上。由于在放电过程中，这种碰撞的几率很大，所以就有大量的氖原子激发到高能态 $2S$ 和 $3S$ 上。但是氖原子处于 $2P$ 和 $3P$ 能级的数目则很少。$3P$ 能级低于 $3S$ 能级，$2P$ 能级低于 $2S$ 能级，所以在 $3S$ 和 $3P$ 之间、$3S$ 和 $2P$ 之间、$2S$ 和 $2P$ 之

需要全本请访问 www.ertongbook.com