

公安科技丛书

激光及其应用

纪光 编著

法學堂



群众出版社

公安科技丛书（一）

激光及其应用

纪 光 编著

三 平
3 D₁₂₀
M P₂

（内部发行）

群 众 出 版 社

一九八一年·北京

激 光 及 其 应 用

群众出版社出版、发行

京 安 印 刷 厂 印 刷

787×1092毫米 32开本 5.125印张 104千字

1981年4月第1版 1981年4月第1次印刷

(内部发行)

定价, 0.46元

编 者 的 话

实现四个现代化，是全党全国人民当前和今后一个时期的中心工作。四个现代化的关键是科学技术现代化。

现代科学技术，正以空前的规模，迅速向前发展，并推动工农业生产不断提高。许多最新科学技术，不仅直接间接地用于工农业生产，而且用于军事和谍报活动，形成了军事和谍报科学技术。

公安工作的任务是保卫四化建设的顺利进行，因而它本身也迫切需要现代化。为此，我社在出版公安科技各种专业书籍的同时，编辑了这一套《公安科技丛书》，分辑陆续出版。内容是公安科技涉及到的各个学科的基础理论、基本知识以及新技术的应用。目的是普及和交流公安科学技术知识，提高公安人员的科学技术水平，加速公安工作的现代化。

同志们读后有什么意见和要求，希望及时告诉我们，以便续编时改进。

群众出版社编辑部

一九八〇年五月

前 言

激光是六十年代出现的一门新型的科学技术，十多年来有了非常迅速的发展。它在工农业生产、国防建设和科学实验等领域都有广泛的应用，有的已取得很好的成效。激光技术用于公安保卫工作也有广阔的前景。

为实现公安技术的现代化，普及和宣传激光技术，我们编写了这本小册子。

全书共分三章。除激光的基本原理外，还介绍了几种典型的固体、气体、半导体和调谐激光器。考虑到公安业务的特点，提出了激光在公安业务上的可能应用。

书中收集和引用了1979年以前国内外的有关资料。限于篇幅，加之激光技术发展非常迅速，书中无法将新资料全部引入。特别是由于我们的业务水平有限，叙述问题难免深度不够，也可能有缺点和错误，请读者批评指正。

目 录

第一章 激光的基础知识

§ 1.1 激光技术产生的历史条件	(1)
§ 1.2 激光的特点	(2)
§ 1.2.1 亮度高和方向性好	(2)
§ 1.2.2 单色性好和相干性好	(3)
§ 1.3 激光的产生	(5)
§ 1.3.1 原子结构和能级	(5)
§ 1.3.2 光的发射和吸收	(6)
§ 1.3.3 粒子数反转和激光的产生	(9)
§ 1.4 激光工作物质的增益	(10)
§ 1.4.1 增益线形	(10)
§ 1.4.2 增益系数	(13)
§ 1.4.3 牵频效应	(19)

第二章 激光器

§ 2.1 激光振荡器	(22)
§ 2.1.1 谐振腔的作用	(22)
§ 2.1.2 谐振腔的种类和反射镜的选择	(23)
§ 2.1.3 谐振腔的调整	(24)
§ 2.1.4 振荡阈值条件	(27)
§ 2.1.5 激光模式	(32)
§ 2.1.6 锁模	(38)
§ 2.2 脉冲激光器	(42)
§ 2.2.1 振荡器的Q值	(42)

§ 2.2.2	脉冲激光器	(43)
§ 2.2.3	行波放大技术	(45)
§ 2.3	各种激光器	(45)
§ 2.3.1	固体激光器	(46)
§ 2.3.2	气体激光器	(56)
§ 2.3.3	半导体激光器	(71)
§ 2.3.4	可调谐激光器	(76)

第三章 激光的应用

§ 3.1	激光在公安保卫工作中的可能应用	(83)
§ 3.1.1	激光报警器	(83)
§ 3.1.2	激光火情报警	(87)
§ 3.1.3	激光真迹传真	(89)
§ 3.1.4	激光在观察和监视上的应用	(90)
§ 3.1.5	激光在交通管理中的应用	(92)
§ 3.1.6	激光武器用于治安	(94)
§ 3.1.7	激光在刑事侦察上的应用	(95)
§ 3.2	激光光谱及其在公安业务上的应用	(97)
§ 3.2.1	激光光谱的特点	(98)
§ 3.2.2	激光微区光谱及其应用	(99)
§ 3.2.3	激光荧光光谱及其应用	(101)
§ 3.2.4	激光拉曼光谱及其应用	(103)
§ 3.3	激光化学及其应用	(105)
§ 3.3.1	激光化学反应原理及其特点	(105)
§ 3.3.2	红外光化学的应用	(107)
§ 3.4	全息照相及其应用	(108)
§ 3.4.1	全息照相	(108)

§ 3.4.2	光学信息处理及其应用	(115)
§ 3.5	激光电视及其应用	(121)
§ 3.5.1	扫描射线激光电视工作原理	(121)
§ 3.5.2	激光电视的优点及其在军事和公安上 的应用	(124)
§ 3.5.3	激光电视的发展情况	(125)
§ 3.6	激光通信	(127)
§ 3.6.1	激光通信的特点	(128)
§ 3.6.2	激光通信的原理和结构	(129)
§ 3.6.3	激光通信概况	(129)
§ 3.6.4	半导体通信机	(130)
§ 3.6.5	光导纤维通信	(131)
§ 3.6.6	光纤也可以传输图象	(136)
§ 3.7	激光“距离选通”技术及其应用	(136)
§ 3.7.1	光在水中的传播	(137)
§ 3.7.2	激光在大气中的传播	(138)
§ 3.7.3	“距离选通”技术	(140)
§ 3.7.4	激光是“距离选通”技术的 理想光源	(142)
§ 3.7.5	实现“距离选通”的三种方案	(142)
§ 3.7.6	“距离选通”技术的应用	(144)
§ 3.8	激光的其他应用	(147)
§ 3.8.1	激光在工业中的应用	(147)
§ 3.8.2	激光在军事上的应用	(148)
§ 3.8.3	激光受控热核聚变	(150)
§ 3.8.4	激光在农业及生物学上的应用	(151)

§ 3.8.5	激光在医学上的应用	(151)
§ 3.8.6	激光在科研和其他方面的应用	(152)
结束语		(154)

第一章 激光的基础知识

激光技术的出现不是偶然的。它是光学、光谱学、原子物理学和微波电子学等各部门科学技术综合发展的结果，是现代光量子理论与现代工业技术相结合的产物。为了清楚地了解激光技术产生的历史背景，掌握激光器的工作原理，简要回顾一下光学发展史是有益的。

§ 1.1 激光技术产生的历史条件

激光技术的出现使古老的光学领域产生了革命性的变化。光学是一门研究光的现象和本质的科学。早在两千多年以前，人类就已开始对它进行了研究。到十七世纪初，人们围绕着解释光的直线传播、光的反射和折射等现象，形成了两种迥然不同的理论。一种是牛顿的微粒说，另一种是惠更斯的波动说。在很长的一段时期内，微粒说理论占据统治地位。1801年托马斯·杨研究了光的干涉现象，并成功地运用光波的迭加原理解释了这一现象，从实验上证实了光的波动说理论的正确性。此后，波动说才为人们普遍接受。1864年，麦克斯韦创立了电磁波理论，确认光波也是电磁波。1888年赫兹在实验上证实了电磁波的存在。至此，完美的电磁波理论使光的波动说完全占领了光学领域。但是，后来科学和实践的进一步发展，又使波动说遇到了新的困难。黑体辐射，

光的发射与吸收，光电效应，光压现象以及光化学反应等一系列新的光学现象用波动说理论无法解释，人们又想到了微粒说理论。1900年，普朗克提出了电磁辐射的量子理论，解释黑体辐射现象获得成功。1905年，爱因斯坦完善了光量子理论，提出了光子学说。1917年他根据光子学说提出了辐射的自发发射和受激发射的概念，解释了光的发射和吸收现象。根据光量子理论，光电效应，光压现象等都得到了圆满的解释。1925年薛定谔和海森堡分别建立了量子力学体系；稍后，狄拉克等人又建立了量子电动力学。现代量子理论圆满地解释了光的粒子和波动两重性，丰富和发展了原子和分子光谱学理论，奠定了光与物质相互作用的理论基础，在理论上为激光技术的诞生打下了基础。

另一方面，无线电电子学的发展使电磁波谱不断向短波方向扩展，电磁波发射技术不断改进和完善。特别是1958年做成了红宝石微波量子放大器以后，在技术上为实现光频段受激放大准备了条件。两年以后，即1960年，第一台红宝石激光器在实验室里诞生了。此后，各种激光器相继出现了。

§ 1.2 激光的特点

激光器是与普通光源不同的一种新颖光源。激光本身有许多特点，这些特点主要概括为下面四个方面。这就是：亮度高，方向性好，相干性好和单色性好。激光的这四个特点是相互关联的，是由激光器的发光机制所决定的。

§ 1.2.1 亮度高和方向性好

亮度高和方向性好是激光的紧密相关的两个特点。所谓

亮度，指的是光源在单位面积上向某一方向的单位立体角内发射的光功率。普通光源是向所有方向发射光辐射的，不能实现光功率的高度集中。由于普通光源都有一定大小，即使利用光学系统，也不能得到好的平行光束。而激光的方向性极好，比最好的探照灯还要好几千倍。和普通光源相比，亮度也成亿倍地提高。这是因为激光是定向发射的，发射光束几乎是平行光束，用光学系统能将光功率高度集中。激光的亮度可以比太阳表面的亮度还要高 10^{10} 倍。这样高的亮度，普通光源是无法达到的。

由于激光有这样好的方向性和这样高的亮度，所以在实际中有很多应用。一束激光被聚焦后，在焦点附近能产生几千度到几万度的高温，任何对激光有一定吸收的金属和非金属材料，都容易被熔化或气化。所以，用激光进行精密焊接、打孔和切割等是很有效的。

特别是会聚亮度很高的巨脉冲激光，能在直径为几微米到几十微米的范围内产生几百万度的高温、几百万个大气压的高压和每厘米几千万伏的强电场。这样的高温、高压和强电场作用于物质，出现了一些新的物理和化学效应，比如非线性光学效应，多光子效应以及激光诱发化学反应等等。

由于激光束是亮度很高方向性很好的光频电磁波，在测距、通讯等方面极有用途。特别是有些国家正在研究用激光作“死光”武器，已经取得了一定的进展。

§1.2.2 单色性好和相干性好

这也是相关的两个特点。单色性指的是光的波长范围很窄，也就是说颜色很单纯。普通光源的波长范围很宽，根本

不能和激光相比，就是较好的单色光源氪灯，其单色性也不及激光的十万分之一。例如氪—氖激光器所发射的激光谱线宽度为千万分之一埃^①。光源单色性越好，相干性也就越好。所谓相干性，一般来讲是指不同空间或不同时间光波的振幅和位相的相互关联性。两列相干的光波，其总强度不是两列波强度的简单相加，而是依它们的位相关系而定。在光学上，描述光源相干性包括两个方面，一是空间相干性，一是时间相干性。相干性的好坏用相干长度和相干面积来衡量。相干长度与相干面积的乘积叫做相干体积。相干长度用于度量时间相干性；相干面积用于度量空间相干性。一般光源相干长度仅有几个毫米或稍长一些，而氪—氖激光器的相干长度则有几十公里。

一个相干性好、单色亮度高的激光束，在精密测量、干涉量度以及全息照相等方面很有用处。

总之，就其物理本质而言，激光是一种光子简并度很高的相干光，也就是说，具有相同频率、相同位相、相同偏振方向和相同传播方向的光子数很多。和一般光源相比，激光器的光子简并度要高出许多个数量级。一般光源在温度为 6000°K 时光子简并度仅有 10^{-3} 量级，而激光器的光子简并度高达 10^{16} 以上。所以，激光器出现以后，与其有关的一些新兴学科，例如激光光谱学、激光化学、激光生物学以及强光光学等等也随之发展起来了。

① $1 \text{ 埃} (\text{\AA}) = 10^{-10} \text{ 米}$

§ 1.3 激光的产生

§ 1.3.1 原子结构和能级

激光器工作原理与激光工作物质的原子（或离子、分子）的结构有关。为此，有必要先介绍一下原子的结构。

1911年卢瑟福在实验的基础上，提出了原子的有核结构假设。这个假设认为，原子由带正电的原子核和带负电的电子所组成。原子中的电子围绕原子核作轨道运动。按照经典理论，很难说明为什么负电子不被原子核的正电荷所吸引而撞到核上。1913年，玻尔在综合了普朗克的量子论，爱因斯坦的光子学说和卢瑟福的原子模型的基础上，提出了三个假设。（1）玻尔认为，电子围绕原子核运动的轨道不是任意的，而是限制在一些分立的能量范围内。同样，原子的能量也取一些确定的分立值，分别对应于电子可能占据的不同轨道。这些轨道叫做原子的稳定态轨道。在稳定态轨道上运动的电子不吸收光子也不发射光子；（2）当原子中的电子从一个稳定态轨道转移到另一个稳定态轨道时，原子的能量会增加或者减少，同时伴随着光子的吸收和发射；（3）电子的轨道运动的角动量也不取任意值，必须取 $h/2\pi$ 的整数倍。 h 是普朗克常数。

由玻尔的假设，容易求出质量最小的氢原子的轨道半径 r 和能量 E ：

$$r = h^2 n^2 / 2\pi^2 m e^2, \quad E = 2\pi^2 m e^4 / h^2 n^2, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

其中， e 为电子电荷， m 为电子质量。

原子的能量由在核周围轨道上运动的电子的动能和势能

之和表示。其值取某些确定的分立值。越靠近外层轨道的电子，其能量就越大。通常把原子中电子运动轨道用水平直线表示，代表原子的能量，这就是所谓能级。下面的直线表示原子的低能级，上面的直线表示原子的高能级。如图 1—1 所示。

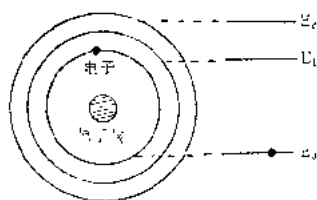


图 1—1 原子模型和原子能级

原子失去外层电子就成为离子。离子的能级结构与原子的能级结构类似。

分子是由原子构成的。分子的能级结构比原子复杂得多。分子除有电子能级外，还有迭加在电子能级上的原子核相对平衡位置振动所引起的振动能级和迭加在振动能级上的

整个分子围绕其重心转动所引起的转动能级。分子的能级是由电子-振动-转动能级组成的带状能级。

§ 1.3.2 光的发射和吸收

为简便起见，我们只考虑双能级系统，用 E_2 表示高能级，用 E_1 表示低能级。

光的吸收：一般情况下，原子处在能量最低状态，我们称之为基态。当频率适当的光子通过介质时，光子会被介质的原子所吸收，使原子从基态低能级上升到激发态高能级，这个过程叫做光子的吸收跃迁或叫做原子的激发。原子吸收的光子能量可以用公式表示：

$$h\nu = E_2 - E_1。$$

ν 是光子频率。原子的吸收如图 1—2 所示。

使原子从基态低能级激发到高能级的方法叫做激励或“泵浦”。激励方法很多，除光激励外，还有电激励、热激励和化学激励等等。

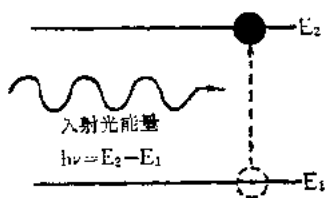


图 1—2 光的吸收

光的发射：原子总是力图使自己的能量状态处于最低值。所以，原子被激发到高能级以后，总是力图回到能量较低的能级上去。原子从高能级回到低能级并伴有光辐射出现的过程叫做发射跃迁。1917年，爱因斯坦证明，原子发射跃迁有两种形式。一种是自发辐射跃迁，另一种是受激辐射跃迁。如图 1—3 和图 1—4 所示。

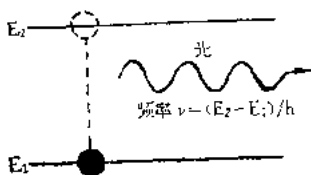


图 1—3 光的自发辐射

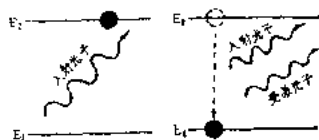


图 1—4 光的受激辐射

自发辐射跃迁是原子在不受外界影响的情况下，无规则地回到低能级的跃迁。这种跃迁所发射出来的光子频率为 $\nu = (E_2 - E_1) / h$ 。普通光源如电灯，日光灯，氙灯等发射的光辐射就是自发辐射跃迁产生的。

受激辐射跃迁是在一个其能量等于两个能级之间能量差的外来光子的感应下，原子从高能级跃迁回到低能级，同时辐射出一个其频率、位相、偏振和传播方向都和外来光子相

同的光子。所以，受激辐射跃迁有时又叫做感应辐射跃迁。受激辐射跃迁是产生激光的一个必要条件。

原子从高能级回到低能级的跃迁，除光辐射跃迁外，还有一种无辐射跃迁。在发生无辐射跃迁的过程中，多余的能量变成了原子系统内部的热能。很多激光器工作过程中，有这种无辐射跃迁过程。

自发辐射跃迁过程中发射的光子是非相干的；受激辐射跃迁过程中发射的光子是相干的。

能级的寿命：能级的寿命是一个很重要的概念。原子激发到高能级以后，它们在高能级上停留的平均时间称为原子在该能级的平均寿命。用“ τ ”表示。一般情况下， $\tau=10^{-8}$ 秒。由于原子（或离子、分子）系统内部结构的特点和其他因素的影响，原子各能级的平均寿命各不相同，有的能级寿命长些，长达几毫秒或更长些；有的能级寿命短些，甚至比 10^{-8} 秒还短。平均寿命较长的能级叫做亚稳态能级，亚稳态能级是产生激光必须考虑的条件之一。

一般，原子在高能级停留的时间越长，从高能级回到低能级的机会就越少。反之，原子在高能级停留的时间越短，从高能级返回到低能级的机会也就越多。所以，通常用原子能级的平均寿命“ τ ”的倒数表示原子自发跃迁的几率 $A = \frac{1}{\tau}$ 。所谓跃迁几率就是指原子从一个能级转移到另一个能级的机会或可能性。1917年爱因斯坦确定了吸收几率系数 B_{12} ，自发发射几率系数 A_{21} 和受激发射几率系数 B_{21} 之间的关系：

$$A_{21} = \frac{1}{\tau} = \frac{\hbar \omega_{21}^3}{\pi^2 c^3} \cdot B_{21} = -\frac{4e^2 \omega_{21}^3}{3\hbar c^3} \cdot \frac{1}{g_2} \left| \hat{y}_{21} \right|^2 ;$$