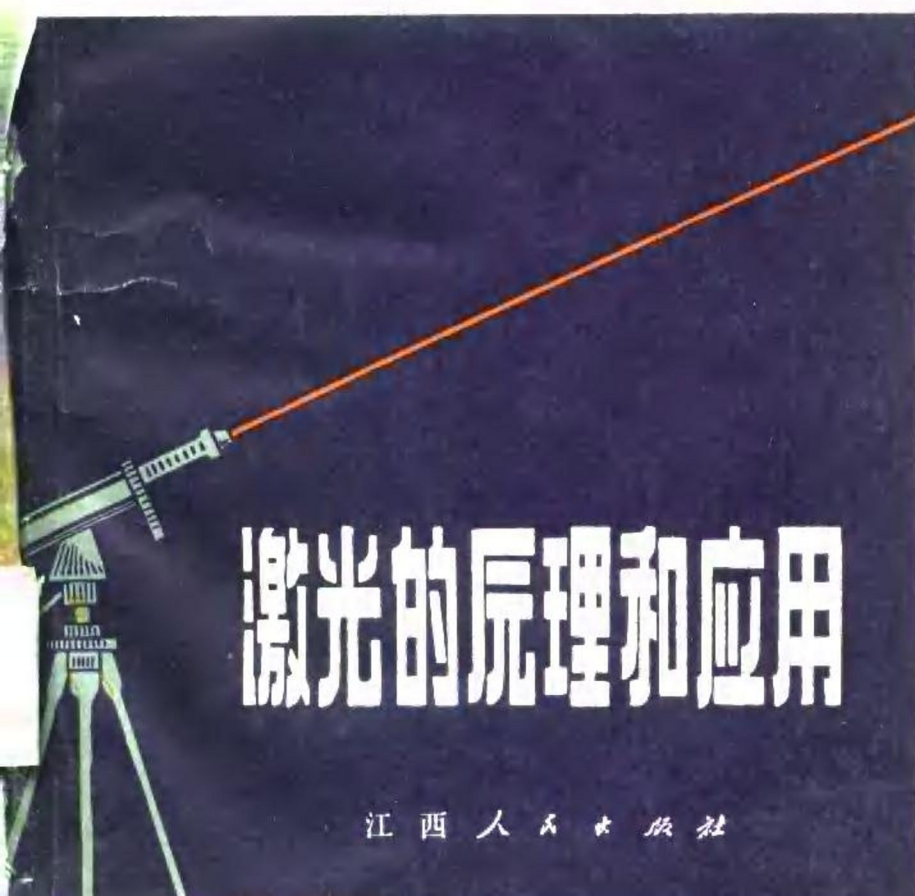




JIGUANG
DIYUANLI
HEYINGYONG



激光的原理和应用

江西人民出版社

激光的原理和应用

王 虚 怀 编

江西人民出版社出版

(南昌百花洲3号)

江西省新华书店发行 江西新华印刷厂印刷

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张 $2\frac{1}{8}$ 字数4.2万

1978年11月第1版 1978年11月江西第1次印刷

印数: 1—6,000

统一书号: 13110·5 定价: 0.18元

内 容 简 介

本书主要阐述激光的原理、激光的特点，并对典型激光器作了分析，对激光的应用和发展趋势也作了扼要介绍。

本书为科学普及读物，可供从事激光研究和使用的技术人员、广大工农兵群众参考。

(16)	 硅基陶瓷材料
(18)	 硅基陶瓷材料
(19)	 目 录

引 言.....	(1)
第 一 章：激光.....	(2)
第 二 章：激光的产生及原理.....	(9)
一、分子、原子、离子、光子.....	(9)
二、光子与原子的关系.....	(14)
三、激光的产生.....	(18)
四、激光器的结构.....	(23)
第 三 章：激光的特点.....	(28)
一、高亮度.....	(28)
二、方向性好.....	(29)
三、单色性好.....	(29)
四、相干性好.....	(30)
五、能量集中.....	(31)
第 四 章：典型激光器分析.....	(32)
一、气体激光器.....	(32)
二、固体激光器.....	(39)
三、半导体激光器.....	(44)
第 五 章：激光的应用及发展趋势.....	(49)
一、在工业方面的应用.....	(49)
二、在农业方面的应用.....	(54)
三、在医学方面的应用.....	(55)

四、在国防方面的应用.....	(57)
五、在科学研究方面的应用.....	(59)
六、激光技术的发展趋势.....	(61)

引 言

激光，是以原子物理、量子理论、光学和电子学为基础，并随着现代科学技术和国防现代化的发展，于本世纪六十年代才发展起来的前沿科学技术之一。

它一出现，就以它那独有而宝贵的“颜色纯、能量高度集中、方向性强、相干性好”等特性，尤如一颗耀眼的新星强烈地吸引着人们！引起了科学工作者的浓厚兴趣和高度重视。

当前，我国人民在以英明领袖华主席为首的党中央领导下，高举毛主席的伟大旗帜，承先启后，继往开来，为在本世纪内把我国建设成为一个具有现代农业、现代工业、现代国防和现代科学技术的强大的社会主义国家而努力奋斗。

激光，是实现四个现代化的重要科学技术之一。为了普及激光技术知识，特编写了这本《激光的原理和应用》，供同志们参考。

由于我的水平有限，加之时间仓促，书中缺点和错误在所难免，恳切希望广大读者给予指正。

本书承江西大学物理系罗树文同志帮助校正，在此，表示衷心的感谢。

王 虚 怀

一九七八年三月

第一章 激 光

光，是日常生活中大家很熟悉的一种自然现象。又是人们在自然界中赖以生存的重要条件之一。没有阳光，万物就不能生长；没有灯光，夜晚就什么也看不见……，一句话，离开了光，人类就无法生存。俗语说：“阳光、空气、水”是人们的生活三要素。可见，“光”在人类生活中起着多么重要的作用。

随着科学技术的发展，人们对光的认识也越来越深入，应用也越来越广泛。“激光”是用现代科学技术、材料和设备武装，而在近十多年才迅速发展起来的一种新颖光源。

那末，什么叫激光呢？

激光就是通过受激辐射（产生受激辐射的装置叫激光器）而产生的颜色很纯、相干性好、能量高度集中的光。

“激光”是我国一种通俗的习惯叫法，国外称“*Laser*”（莱塞）。它是由五个英文字*Light amplification by stimulated emission of radiation*的字头缩写而成，意思是“辐射的受激发射的光放大器”。中文书中一般译成“受激辐射式光放大器”或“光激励器”或“激光器”。

关于光的受激辐射现象，早在1917年，爱因斯坦在解释黑体辐射时，就提出了受激辐射的概念；1928年，德国的两个科学家在研究气体放电时，通过负色散，证实了受激辐射的存在；1954年，世界上第一个激光零件试验研究成功。自

1960年7月美国休斯公司研制成世界上第一台红宝石激光器以来，到现在已有18个年头了，国外激光器的应用现已发展到几千种。我国在1962年就已制成激光器，现已发展到各方面广泛应用。如：工业上用来加工微孔、切割、焊接；农业上用于缩短发芽期、改良品种、提高抗寒抗病能力；医学上用于眼的网膜剥离、破坏癌细胞、细胞外科；国防军事方面用于雷达、卫星、导弹、精密跟踪、反卫星系统等。

方毅同志在全国科学大会上的报告指出：“激光科学技术是六十年代开始发展起来的最活跃的科学技术领域之一。”下面我们从十个方面来加以理解：

(1)目前世界上性能最好的计算机是什么？根据目前科学技术发展水平来看，是激光计算机。据有的资料介绍：激光计算机的计算速度每秒超过一万亿次，并且，可以同时处理十万个以上的大量信息。相当于几千台电子计算机同时运行的工作量。让我们对电子计算机的今昔作一对比。世界上第一台电子数字计算机是一九四六年问世的“埃尼阿克”计算机（以下简称埃），是美国奥伯丁武器试验场为了满足计算弹道的需要而研制成功的。与反映当前水平的微型计算机F8相比较：在体积上，埃为84.9立方米，F8为0.0003立方米，两者相差30万倍；在功耗方面。埃耗电140千瓦，F8耗电2.5瓦，两者相差56000倍；在重量方面，埃为30吨，F8还不到半公斤，两者相差6万倍以上；在管子方面，埃用了近18000个真空管，F8仅在集成电路上用了近两万个元件；在电阻方面，埃用了7万只，F8则无，用有源器件当电阻；在电容方面，埃用了一万只，F8只用了两只，两者相差

5000倍；在稳定性方面，埃为数小时，F8为数年，可靠性提高一万倍；在运算速度方面，埃每秒5000次，微型机每秒10万次左右。

计算机的发展经历了这样一个过程：即算盘—→手摇计算机—→电子计算机—→激光计算机。由此我们可以看出，从每秒钟运算不到一次的算盘，到现在的世界先进水平每秒运算一亿次的巨型电子计算机，到未来的每秒钟运算万亿次的激光计算机，科学技术的现代化对于人类的活动带来多么深刻的变化！

(2)目前世界上最准确的精密长度测量是什么？在科学技术不发达的过去，长度测量作为历史回忆倒是挺有趣的。从秦始皇统一度量衡以来，最早的计量方法是我国工程营造尺。它是以一百颗黍粒密接起来的长度称一尺。西藏土地测量方法更有意思，它是用一个人端着一杯滚烫的茶，跑到这杯茶可以喝时所跑过的距离为计量标准。直到1790年，人们才决定把从北极通过巴黎到赤道子午线长度的一千万分之一称为一米（公尺）。激光测量是目前最精密的长度测量。下面通过测量月球到地球的距离这个例子来加以说明：18世纪，天文学上测量月球到地球距离的方法，是通过三角学方法换算出来的，其误差高达3.2公里，到1957年以后，用微波雷达测量月球到地球的距离，精度为 ± 1.1 公里。六十年代激光问世以来，人们多次用激光测量月球，在遥遥384000公里的月球到地球的距离中，测量误差只有几厘米，还不到一指之长！

(3)目前世界上性能最好的电视机是什么？是激光电视

机，根据我国研制成功的激光彩色电视机来看，具有如下优点：因为它是能流传送，不需要在真空条件下工作，显示图象可以放大到 3×4 平方米，甚至更大，由于亮度高，白天都可以在普通房间里观看，而不需要暗室设备，而且颜色鲜艳，图象清晰。

(4) 目前世界上最好的化学定向反应方法是什么？是激光化学定向反应。利用一定的化学键，只能吸收一定波长的光。我们用一定波长的激光，便只能对一定的化学键作用而使它激发。当这个被激发的化学键所获得的能量足以引起某种化学反应时，原来的分子便断开，这个化学键而转化为新的分子，只要选择好激光的波长，便能有选择的“剪裁”分子。即使对一些吸收光波相差甚微的化学键（即原子的同位素组成不同的化学键），也可能仅对其中一种化学键起作用。如：铀²³⁵是制造原子能的重要原料，而自然界中的天然铀²³⁵只占0.7%，绝大部分是铀²³⁸，占了99.3%。要发展原子能工业，必须想办法使铀²³⁸经过同位素分离成铀²³⁵。原来采用气体扩散法，一次只能分离0.7%，后改用离心法，每次分离达9%，用选择适当波长激光化学反应方法一次就可分离60%。由此可见，科学技术的革新将给社会上创造巨大的财富。

(5) 当代超级新技术的形成求助于什么？虽然激光的功率不大，但在时间上和空间上集中起来（即能量高度集中），是非常惊人的。据有关资料介绍，它的最大功率可达几十兆瓦，时间可短到几微微秒，压力每平方厘米达上百万公斤，温度可达几十万度以上。现代科学技术中许多超高

温、超高压、超大功率的解决，往往求助于激光。

(6)当代世界上最准的时钟是什么？是激光手表。让我们对手表的发展史作一简短的回忆：最早的手表是用机械传动的。目前，电子手表已经进行第四代演变，第四代称之为数字显示全电子手表，年表时误差在 $30''\sim 1'$ 之间，由于激光手表是以光频定时，准确度更高。据有关资料介绍：采用激光计时误差可达到一百万年误差一秒，这样，也就不要我们每天去费心拨针对时了。

(7)激光对物质有何作用？在未出现激光以前，普通光对物质的作用是“弱光效应”。出现激光以后，激光对物质的作用是“强光效应”。实验分析证明：在高强度激光对物质作用时，能把一个分子打碎成原子，竟一下子吸收数以几十计的光子，产生“强光效应”，由于这种多光子吸收，一些本来对这一波长的光透明物质产生了强烈的吸收，一些本来对这一波长光产生强烈吸收的物质，在这种高强度激光作用下，却变成了透明体，且具有比原有光谱方法分辨率高达几百万倍，很可能引起化学科学的重大突破。

(8)核激光技术的研究将产生哪些变化？国外用中子轰击氦——3同位素，使其分裂成质子和氦，当有氦原子存在时，这些粒子引起受激发射，产生1.79微米波长的高能光束，使原子裂变直接换成光能。目前，核激光仍处在初步发展阶段中，有人预言，未来采用核激光作为部分能源所需之话，甚至会比电力作用还较为优越。

(9)目前又快又简单的印刷技术是什么？据国外有关资料介绍：采用激光印刷技术，每小时印刷速度最高可达120万

行，每秒印刷7万个符号，相当于一般快速印刷机的十倍，主要部件是符号发生器和静电复制机。

(10)目前，世界上有广阔前景的通信设备是什么？是激光通信。是利用激光在特种玻璃纤维中传输，把通信信息从一地传到另一地的一种有线通信方式。理论上可同时传送一百亿路电话，或播送一千万路电视，比毫米波大一万倍，即使全世界每个人都同时通话也用不完。激光通信之所以能有这样大的本领是因为激光频率比无线电波频率高出百万倍，频率越高，信息量越多。从一百多年前制成第一架电话机到现在，我国已在京、沪、杭实现了1800同轴电缆载波通信，随着科学技术的发展，通信也将发达起来。假如全部采用激光通信，我们不妨进行一下科学设想：在全世界普及了激光电视电话后，人们就可以随手按上十几位的键盘号码，几分钟内，彼此就可以“面对面”的通话。

从上面十个例子可以看出：现代科学技术许多新领域往往是和激光科学技术联系在一起。为此，我国在制定科学技术八年规划纲要时，要求把激光等八个影响全局的综合性科学技术领域、重大新兴技术领域和带头学科，放在突出的地位，集中力量，做出显著成绩，以推动整个科学技术和整个国民经济高速度发展。

至于激光技术的发展和运用将会引起科学和生产发生怎样的变革？目前尚难估计。据我国许多著名科学家称“激光技术是我国用辛勤的汗水浇灌出来的五朵金花之一。”国外对激光也作过许多评论，称激光为“六十年代的原子能”，有人曾预测说：“到二十一世纪，激光的应用范围将象今天

电子技术应用一样广泛”。

毫无疑问，随着科学技术的发展，激光技术在人类的生产斗争和科学实验活动中将发挥更加巨大的作用。

第二章 激光的产生及原理

平时我们接触到的光，如“火光”（燃烧发出的）、“灯光”（各种灯和蜡烛发出的）、“阳光”（太阳发出的），这些光有一个共同的特点：（1）向四面八方辐射；（2）各个方向甚至同一方向上辐射的光，其频率、位相、偏振态都不相同。这种光就是我们日常所见到的普通光，而激光则不同，为了说明激光产生的原理，先介绍一些名词。

一、分子、原子、离子、光子

（一）分 子

世界上任何单纯的物质都是由很多很多同样的分子组成的。分子就是保持物质基本化学性质的最小个体。如：食盐是由食盐分子（ $NaCl$ ）所组成；水是由水分子（ H_2O ）所组成。

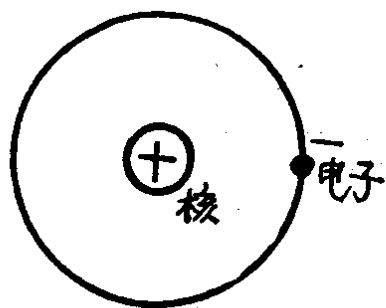
分子有如下特点：（1）物质发生物理变化时，其分子的性质并不改变，如盐或水，即使把它分成细小的颗粒，仍然保持盐或水的化学性质；（2）物质内的分子都是在不停地无规则的运动着，分子之间有一定间隔，相互之间有一定的作用力，间隔大的是气体，间隔小的是固体，受热受冷分子之间的间隔会产生胀缩等；（3）同一种物质的分子，其性质、大小、重量都相同，如水，不管是河里的水，塘里的

水，井里的水还是海里的水，只要是水，它们的分子性质都是相同的。

(二) 原子

1803年，英国道尔顿首先提出原子量的概念，他认为，分子可以通过化学反应分解成原子，而原子是用任何化学方法都不能分解的最小粒子。每种元素的原子都有一定的重量，世界上成千上万的物质，都是由有限的若干种原子组成。如：氧分子(O_2)由两个氧原子组成；食盐分子($NaCl$)，用氯和钠两种原子组成。……目前，世界上已发现的元素有105种。

原子的有核模型结构是在1911年英国物理学家卢瑟福观察到用 α 粒子轰击原子时发生的散射而得以证实。原子的有核模型指出：原子好象一个太阳系，所以，有的书上又称此



模型为原子的行星式模型，如：最简单的氢原子（见图1）。它是由位于中心的原子核和围绕原子核按一定轨道运动的一个电子组成。氢原子核体积小（原子核半径只有原子半径的十万分之

几）、而且重（核重量是电子重量的1836倍！）、并带有等于一个电子电荷的正电荷。所以说，原子是由带正电、重量重、体积小的原子核和围绕原子核按一定轨道运动的小而轻带负电的电子所组成，通常原子核所带的正电量和周围电子带的负电量相等，故宏观物体不显出带电性质；又如：铝原子围绕原子核运动的则有十三个电子（见图2），分三层，

内层 2 个，中层 8 个，外层 3 个。

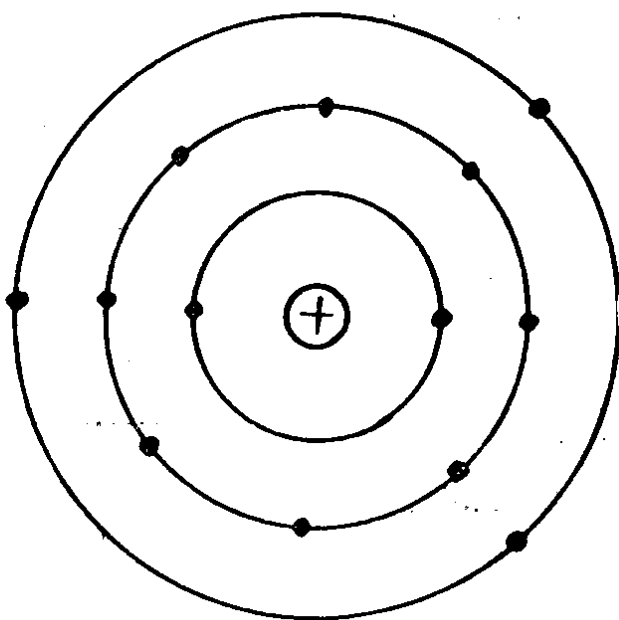


图 2 铝原子模型

原子内层的电子离核近，受原子核的吸引力大，而处于最外层的电子离核最远，受原子核的吸引力最小，很活泼，称为原子的价电子。如图 2 中铝原子的最外层有 3 个价电子。8 个价电子的气体原子最稳定，通常称之为惰性气体。

7 个价电子的原子最容易从外界获得一个电子，1 个价电子的原子最容易失去这个电子（如硷金属）。

（三）离 子

如果原子外层电子吸收外来的能量，使电子的能量增加（速度增大），电子就要跃到离核较远的轨道上运动。关于原子轨道问题，早在 1913 年，27 岁的玻尔在卢瑟福实验的基础上，就曾大胆提出：电子在原子中只能沿着一组特殊的轨道运动，带电粒子虽然作加速运动，但并不辐射能量，只有电子从一个能级跳到另一个能级时，才辐射出光来，以后，

越来越多的实验证明：玻尔的理论是正确的，建立粒子在能级跃迁原理。值得注意的是，电子获得能量是不连续的，是一挡一挡的。根据玻尔关于原子轨道的研究结果，并经以后量子力学的计算和实验证实：电子绕原子核运动时，其能量是一系列不连续的数值，由于能量的不连续性，决定了电子运动的轨道也不能连续的变化，而只是限制在一系列特定的轨道上（详细内容请参阅有关书籍）。人们把这一挡一挡轨道称为原子的能级，表示为 $E_1, E_2, \dots$ ，转画成横线（见图3）。当电子获得的能量足够大，原子核拉不住，电子就会脱离这个原子而能自由运动，此时原子呈正电性，该带电原子称为正离子。由此可见，离子就是原子失去或获得电子后形成的一种带电粒子。失去电子的离子带正电，叫正离子（或称阳离子），得到电子的离子带负电，叫负离子（或称阴离子）。

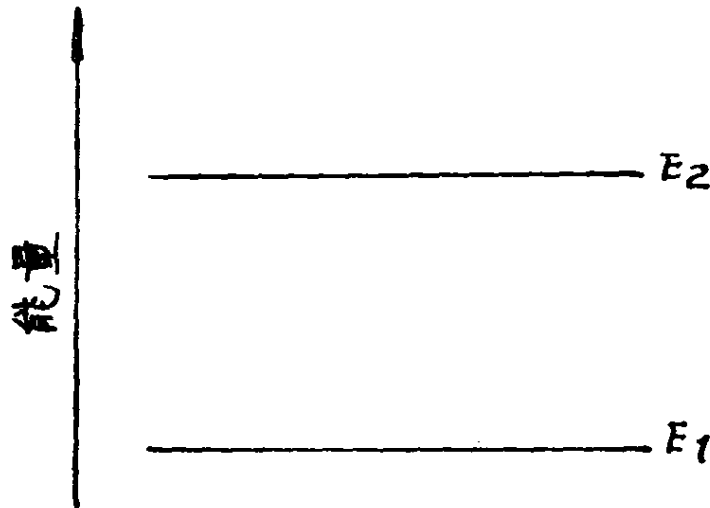


图3 双能级系统

离子具有光学特性，某些物质进行离子交换时，能构成