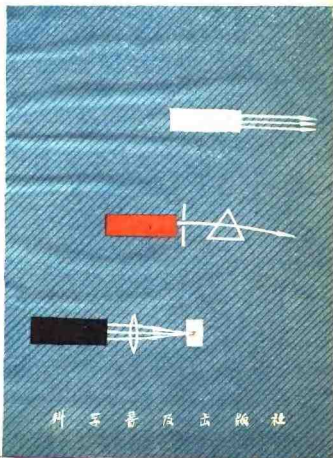


激光讲座

中央人民广播电台科技组
科学普及出版社编辑部 编



内 容 提 要

本书通俗、系统地介绍了激光的产生,激光的特点及其在工业、农业、国防、医疗、科研、通讯等各条战线上的应用和美好远景。读了这本书你就会明白,激光为什么吸引了那么多的人,激光技术为什么在现代科学技术领域中占有重要地位。

本书适合具有初中文化水平的读者阅读,也可以作为中学生的辅助教材。

科 学 广 播
激 光 讲 座
赫 光 生

*

科学普及出版社 出版(北京白石桥紫竹院公园内)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国科学院印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/32 印张: 1 1/4 字数: 25千字
1981年1月第1版 1981年1月第1次印刷
印数: 1—16,000册 定价: 0.14 元
统一书号: 13051·1139 本社书号: 0158

目 录

第一讲	什么是激光.....	1
第二讲	激光的产生.....	5
第三讲	几种常用激光器.....	9
第四讲	激光在工业方面的应用.....	12
第五讲	激光在农业、生物学和医学方面的应用	16
第六讲	激光通讯.....	19
第七讲	激光雷达和激光测量.....	23
第八讲	激光在军事和公安方面的应用.....	27
第九讲	激光技术的发展远景.....	31

第一讲 什么是激光

如果有人向你问起：现在世界上最准确的时钟是什么？最精密的尺子是什么？最亮的光源是什么？能发出最大功率的动力装置又是什么？对于这些问题，你可能感到一时难以回答。如果我们回答说：这一系列标志着当代科学技术新水平的“最”字，都是同激光新技术联系在一起的，那你一定很想知道，激光究竟是怎么一回事。

激光技术是本世纪六十年代初发展起来的最活跃的科学技术领域之一。它的出现，标志着人类掌握和利用光进入了一个新阶段。

一九六〇年第一台激光器的研制成功，宣告了这一新技术的正式诞生。尽管它的发展历史只有二十年，但是它已有力地促进了物理学、化学和生物学等许多基础科学以及一系列应用技术的突破性的进展，激光技术被人们公认为是继量子物理学、无线电技术、原子能技术、半导体技术、电子计算机技术之后的又一重大科学技术新成就。

激光为什么会具有这么强大的生命力呢？

关键在于激光辐射从根本上区别于以往任何一种普通光源所发出的光辐射，从而使激光本身具有一种巨大的应用潜力。

我们在日常生活、生产活动和科学实验当中，都离不开光和发光的光源。比如太阳，是我们经常看到的自然光源，还有日光灯、白炽灯和霓虹灯等人造光源。所有这些自然光源和人造光源所发出的光辐射都有一些共同的弱点：第一、亮度

低,只能作一定范围内的照明用;第二、定向性差,就是说普通光源发出的光不能集中在一个特定的方向上,发射到很远的距离以外;第三个弱点是单色性差,就是说光的颜色不纯。我们知道,普通光源发出的光都是由好几种颜色的光混合在一起的。比如太阳的白光是由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种主要颜色的光混合组成的,而且即使其中的红光、绿光等,也都不是单纯的某一种红光或绿光。因此,用普通光进行精密光学测量时,测量的精度和有效范围都会受到很大的限制。

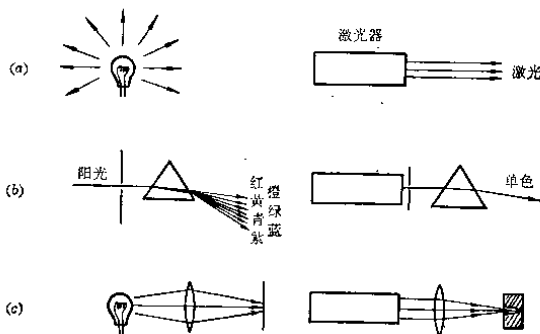


图1 普通光(左)和激光(右)的特性比较

(a) 方向性, (b) 单色性, (c) 亮度特性(普通光不足以烧坏一块木板,而激光足以烧穿钢板)

激光则和普通光完全不同。它具有高亮度、高定向性、高单色性等特点(见图1)。

下面我们就分别谈谈激光的这些特点。

激光的第一个特点是高亮度。平常我们总是说太阳光最亮,只要我们的眼睛直接对着太阳看一会儿,就会感到眼花,睁不开眼。目前,由激光器发出的光的亮度,比太阳光的亮度

要高几十万甚至几千亿倍以上。这么高亮度的光具有很大的威力。它可以轻易地打穿钢铁或其它坚硬的材料。因此，可以说激光是现代科学研究所发明的最亮的光源。

激光的第二个特点是高定向性。前面我们讲过，普通光都是向四面八方散开的，因此，照射的距离和照明的效果都很有限。即使是定向性比较好的探照灯，它的照射距离也只有几公里，原来直径一米左右的光束，不出十里就扩大为直径几十米的大而弱的光斑了。激光器发出的激光束的定向性，要比探照灯的定向性高几千倍以上。同样是直径一米左右的激光束，传输到几公里远的距离以后，光束的直径只扩大几个厘米。因此，如果激光作为探照灯的光束，可以照射到遥远的月亮上去。更有趣的是，它还可以从月球反射到地面上来。这说明激光的定向性是极高的，是普通光所比不了的。

激光的第三个特点是高单色性。刚才我们讲过，白光是由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种不同颜色的光混合组成的。而通常所说的红光、绿光等也都是由好几种相近颜色的光组成的。激光器发射出的激光，单色程度非常高，就是说，它的光谱成分是非常单纯的。激光的单色性程度，比单色性最好的普通光源的单色性程度，还要高出几万倍到几十万倍。因此，用激光可以作多种精密测量，当今世界上最精密的尺子就是利用激光这一特性制成的。激光器发射出的激光，不仅单色性好，而且它的波长可以由人们控制，既可位于可见光谱区，也可位于不可见光谱区，如红外线区或者紫外线区。

由于激光辐射具有高亮度、高定向性、高单色性和可以是不可见光等特点，就决定了它本身有着巨大的应用潜力。比如，利用激光的高亮度和高定向性，可以把光能在时间和空间上高度集中，从而产生高达几千万度以上的温度，使任何一种物质在一瞬间化为一缕“青烟”，激光光能高度集中所产生的

这种效果，在一定意义上来说，可以同核爆炸的效果相比拟。又比如，利用激光的高单色性这个特点，不但可以大大提高精密光学测量技术的精度，而且还提供了建立以激光为基础的时间、长度和频率新标准的可能性。再比如，利用激光可以是不可见光的特点，可以进行保密通讯、导弹制导、红外侦察和警戒等。

那么，为什么激光会具有普通光所没有的这些特点呢？它又是怎样产生的呢？

第二讲 激光的产生

物质是怎么发光的呢？要弄清楚这个问题先得搞清楚物质的微观结构。世界上的物质成千上万，复杂多样。但是，不管有多少种，从根本上来说，它们的基本组成方式却是很相似的，它们都是由一些用肉眼无法直接观察到的微小粒子组成的。从发光机制的角度来看，这些微小的粒子可以分为原子、离子和分子三种。

原子的结构，很象我们的太阳系。太阳系是由一个太阳和九个行星组成的。原子的结构和太阳系很相似，它是由一个原子核和一些电子组成的。原子中的电子不是静止不动的，它们沿着一定的轨道，围绕着原子核旋转。这跟太阳系中的九大行星沿着不同的轨道，围绕着太阳旋转一样。在不同轨道上运动的电子所具有的能量也不同。运动轨道离原子核的距离越远，电子所具有的能量就越大。在没有外界作用的情况下，一般来说原子中的电子都尽可能沿着离原子核比较近的轨道运动(见图2)。但是，如果受到一定的外界能量的作用，原子中个别的电子就可以吸收一部分外界能量，从比较近的轨道跑到比较远的轨道，从而使自己的能量有所增加。这

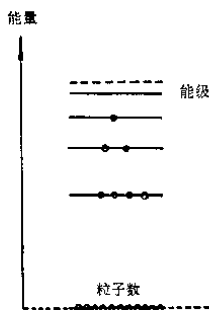


图2 物质体系的能级和能级上的粒子数分布

种现象用专门的术语来说,叫做“跃迁”(见图 3(a))。处于较高能量状态的电子,很不稳定,它总是要或早或晚地返回到原来的比较近的低能态的轨道上运转,根据能量守恒的规则把它从外界所获得的能量,以光能的方式发射出来。发光方式一般有两种:一种是处于能量比较高的轨道上的电子,在没有外界入射光的情况下,自发地跃迁到能量比较低的轨道上,发出光来。物质的这种发光过程,叫作光的自发发射过程(见图 3(b))。这就是我们平常所看到的普通光。这种发光过程的特点是不能人为地加以控制。另外一种方式是,处于能量比较高的轨道上的电子,在一定的外界入射光的刺激作用下,被迫地跃迁到能量比较低的轨道上,并且发出光来。物质的这种发光过程,叫做光的受激发射过程(见图 3(c))。通过这种方式发射的光就是激光。激光发射过程的特点是可以人为地加以控制。

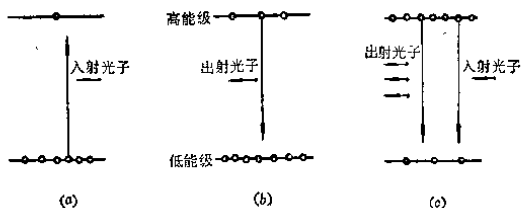


图 3

(a) 受激吸收, (b) 自发辐射, (c) 受激发射

上面我们简单地介绍了原子的构造和它的两种发光过程。离子是由丢掉了一部分外围电子,或者额外地得到了一部分电子的原子所组成的;分子是由两个或两个以上的原子,或者离子所组成的。所以,离子和分子的发光过程基本上和原子的发光过程相同。组成物质的原子、离子或分子,在通常

的情况下，大部分都处于比较低的能量状态或者说比较低的能级之上。在一定的外界能量的作用下，一部分粒子就会吸收外界能量而跃迁到比较高的能量状态或者比较高的能级之上，当它们通过不同的方式重新回到比较低的能级之上的时候，就把从外界吸收的那部分能量以光能的形式发射出来。前面讲过光的发射有两种方式，即自发发射和受激发射。科学家的研究表明，如果较高能级上的粒子数小于较低能级上的粒子数，光的自发发射过程是主要的；如果较高能级上的粒子数大于较低能级上的粒子数，光的受激发射过程是主要的。

在激光器出现以前，所有光源的发光过程，都是属于自发发射过程。因为组成发光物质的大量粒子，都是从许多不同的高能级向许多不同的低能级跃迁，并且发出光来，所以，这些发光粒子之间，彼此各不相关，杂乱无章，这就决定了自发发射的光存在亮度低、方向性差、颜色不纯等弱点。

前面讲过，当高能级上的粒子数目大于低能级上的粒子数目的时候，光的受激发射过程是主要的。因此，要实现受激发光发射，就必须使高能级上的粒子数目大于低能级上的粒子数目，这叫做粒子数反转。人们从这种原理出发，在一九六〇年制成了世界上第一台能够产生出激光的新型装置——激光器。

激光器基本上由三个部分组成（见图4）。第一部分是用于产生受激发射的工作物质。工作物质可以是固体，如晶体和玻璃等；也可以是气体，如惰性气体和二氧化碳；还可以是液体。第二部分称为能源激励装置，它通过一定的方式向工作物质输入能量，使工作物质处于粒子数反转状态。第三部分称为光学谐振腔，它是由两块光学反射镜按一定方式组合而成的，工作物质就放置在两块反射镜之间。谐振腔的作用

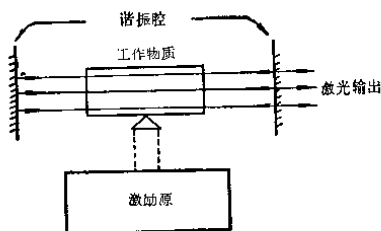


图4 激光器的组成

是使工作物质发出的受激光在两块反射镜之间多次往返，从而在腔内形成持续振荡。

能源激励装置向工作物质输送能量，使工作物质处于粒子数反转状态，而产生光的受激发射。开始时，这种受激发射光的强度很弱，由于光学谐振腔的存在，使得在一定方向上的受激光在两个反射镜之间多次往返，多次通过工作物质，每通过工作物质一次，就激励一部分工作物质发出受激光，即经历一次由受激发射作用所引起的光放大，当往返到足够多的次数，使得光的放大程度等于或者大于腔内的各种损耗作用后，就可以在腔内建立起稳定的持续的相干光振荡，其中一部分振荡光通过一块具有一定透过率的反射镜而输出到腔外，形成我们所需要的激光。这就是激光产生的基本过程。

第三讲 几种常用激光器

激光器是多种多样的,可以按不同的方面进行分类。例如,按照激励方式的不同,可分为光激励式激光器、电激励式激光器、化学反应激励式激光器、热能激励式激光器以及核能激励式激光器等。按照激光器运转方式的不同,可以分为单脉冲式激光器、重复脉冲式激光器、连续式激光器、Q 突变式激光器、单模激光器、稳频激光器以及锁模激光器等。按照激光器输出波长范围的不同,又可分为远红外激光器(波长从 25 微米到 1,000 微米)、中红外激光器(波长从 2.5 微米到 25 微米)、近红外激光器(波长从 0.75 微米到 2.5 微米)、可见光激光器(波长从 4,000 埃到 7,500 埃)、近紫外激光器(波长从 2,000 埃到 4,000 埃)以及真空紫外激光器(波长从 50 埃到 2,000 埃)等。

尽管激光器的分类方式可以是多种的,但最本质的,还是按照工作物质进行分类,因为激光器所使用的工作物质一旦确定之后,所可能采用的激励方式、运转状态和输出波长范围就基本上随之确定下来了。按照工作物质的不同,可以分为固体激光器、气体激光器、半导体激光器和液体激光器等几大类。

首先来谈一下固体激光器。这一类激光器所使用的工作物质是具有特殊发光能力的高质量的光学晶体或者光学玻璃,里面掺有具有发射激光能力的金属离子。固体激光器一般采用光学激励或光泵式激励,它的原理是利用亮度较高的气体放电光源(如脉冲氙灯或连续氪弧灯)作为激励源,通过

适当的聚光器系统,把上述光源的光会聚到固体工作物质中,使工作物质实现粒子数反转并进而产生激光。常用的固体激光器主要有红宝石激光器、掺钕钇铝石榴石激光器以及钕玻璃激光器等三种。

红宝石激光器是一九六〇年美国研制成功的第一种激光器,直到现在还广泛的应用着。其工作物质——红宝石,是把三价铬离子掺入刚玉晶体(Al_2O_3)而人工制成的。发射波长为 6,943 埃 ($\text{\AA}$) 的红色光,运转状态一般为单脉冲式或低重复频率脉冲式,特殊情况下亦可为连续式。

掺钕钇铝石榴石激光器所采用的工作物质,是将三价钕离子掺入钕铝石榴石晶体而人工制成的。发射波长为 1.06 微米 (μm) 的近红外激光。主要用于连续运转或较高重复频率的脉冲式运转,可以获得较高的连续功率或者平均功率。

钕玻璃激光器所使用的工作物质,是把三价钕离子掺入优质光学玻璃中而制成的。发射波长也是 1.06 微米的近红外激光。主要用于单脉冲式运转,由于工作物质的尺寸可做得较大,因此可获得较高的脉冲能量和脉冲功率输出。器件规模也可做得很大。

气体激光器可采用的工作物质最多,激励方式最多样化,发射激光的波长分布也最广。气体激光器所采用的工作物质,可以分别是原子气体、分子气体和离子气体,因此可相应地称为原子气体激光器、分子气体激光器和离子气体激光器。一般的气体激光器主要利用气体放电进行激励。

原子气体激光器的典型代表为氦—氖激光器,其工作物质为氦和氖的混合气体。发射波长为 6,328 埃的红色激光。通常以直流放电激励,连续运转。是目前单色性较好、运转寿命较长、输出为连续可见光的常用激光器之一。

分子气体激光器的典型代表是二氧化碳激光器,工作物

质为二氧化碳分子气体。发射波长为 10.6 微米的中红外激光。可连续运转或脉冲式运转。特点是可以获得较高的输出功率,常用于工业加工或手术治疗。

离子气体激光器的典型代表是氩离子激光器,发射蓝—绿色的可见激光。通常以大电流直流放电激励,连续运转。主要特点是可以获得可见光谱区的高连续功率输出。

半导体激光器的工作物质是半导体材料,它们在一定方式的激励作用下,可实现非常平衡载流子在一定能级或能带间的粒子数反转,并进而产生受激发射。最典型的半导体激光器是以电注入方式进行激励的砷化镓二极管激光器。发射波长约为 0.8 微米左右的近红外激光。可连续运转或高重复频率脉冲运转。主要特点是器件体积十分小,重量很轻,成本较低,运转寿命长,特别适用于红外激光通讯、测距、制导以及自动控制等技术中。

最后,我们谈一下液体激光器,这类激光器所采用的工作物质可以有两种:一种是有机染料溶液,另一种是含有稀土金属离子的无机化合物溶液。

目前最普遍使用的液体激光器是各种染料激光器,例如著名的若丹明 6G 染料激光器,它们通常都采用光泵式激励,单脉冲或高重复频率脉冲式运转,输出的激光波长随所使用染料种类之不同而异,一般处于可见光波段。染料激光器的最大优点是它输出的激光波长可调谐,采用色散选择元件的方法,可在较大范围内连续改变输出激光的波长,因此在各种光谱测量技术中有特殊重要的应用价值。

第四讲 激光在工业方面的应用

利用激光的高亮度和高定向性的特点,可以把光能集中在空间一定的范围内,从而获得比较大的光功率密度,产生几千度到几万度以上的高温。在这么高的温度下,一些高熔点金属和非金属材料都会迅速熔化或者气化,因此可用激光进行特种加工。目前比较成熟的应用有激光打孔、激光焊接、激光切割、激光划片、激光表面处理等。

激光打孔,一般是采用重复脉冲式固体激光器输出的聚焦激光束。可以在各种硬度很高的材料和元件上,打出十分微细的小孔。比如,钟表工业用的宝石轴承、金刚石拉丝模具,由硬质合金制成的锅炉和发动机中使用的喷油咀、喷气发动机上用的涡轮导向叶片、电子束喷枪以及陶瓷、玻璃、橡胶和塑料制器等,都可以利用激光来进行打孔。激光打孔的主要特点是,由于采用光学瞄准,所以定位精度高,打出来的孔形好。可以在金属、金刚石、陶瓷等元件上打出直径为 10 微米,孔径与孔深比为 1:50 的细孔。激光打孔的另一个特点是加工效率非常高,例如用普通机械方法在金刚石上打穿一个孔,要花费几小时,而采用激光打孔则只需要不到 0.01 秒的时间,因此目前国内外的钟表工业已开始采用高度自动化的钻石轴承激光打孔机,生产效率和产品质量都获得显著提高。激光打孔还有一些其它优点,例如不但可以在空气中,也可以在真空中或其它特殊气体环境中进行,还可以穿过玻璃等透明物质进行非接触打孔,也可以借助光学成像方法在盲孔底部或侧深部位进行打孔等。

利用激光,可以焊接用普通方法极难焊合的材料,比如,熔点相差很大的金属、高电阻的金属以及一些非导电的材料等。激光焊接的主要特点是定位精确、操作灵活、焊区范围小,不容易引起焊区周围的热形变和机械形变,不容易产生溅污,可在真空环境下实现非接触式焊接,此外还具有成本低、加工效率高和容易实现自动化等优点。根据加工对象和焊接要求的不同,可分别利用单脉冲式、重复脉冲式以及连续式激光器进行激光焊接。例如,可以采用单脉冲运转的红宝石或者钕玻璃激光器进行单次点焊,采用重复脉冲运转的钕玻璃或者掺钕钇铝石榴石激光器进行多次点焊,采用连续运转的掺钕钇铝石榴石激光器或者二氧化碳气体激光器进行连续焊接等。目前,常用激光焊接各种微型元件,如仪表游丝、各种微型电子元件的引出线以及对各种印刷电路和集成线路进行激光焊接和封固等。在机械制造工业中,利用功率较高的连续激光器可以焊接大块的金属材料。例如,连续功率为六百瓦的掺钕钇铝石榴石激光器可以把6毫米厚的不锈钢与碳钢焊接在一起,焊接速度约为每分钟38厘米;利用连续功率为几万瓦的二氧化碳气体激光器,可以焊接厚度约为5厘米的用于造船的大型钢板,焊接速度约为每分钟1米多,焊区的深度与宽度之比可达10:1。此外,利用高功率连续激光还可以焊接汽车底盘以及各种发动机中的管路和特殊零件等。

激光既然能用来进行打孔和焊接,自然也能用来进行切割。通常利用连续掺钕钇铝石榴石激光器和二氧化碳激光器输出的聚焦激光束,对各种金属和硬质材料、脆性材料、粘性材料、软性材料以及塑料、木材、纸张、纺织品、橡胶、皮革等进行切割。激光切割的优点是切割快,加工量大,切割余量少,切口边缘整齐,此外还具有可以按任意指定图样进行切割以及容易实现自动控制等特点。目前在国内已经试制出功率为

几百瓦级的二氧化碳激光切割机床,可以用来切割5毫米厚的钢板,3毫米厚的石英玻璃管,2毫米厚的陶瓷,100层到150层厚的卡其布以及300层厚的的确良布料等。国外利用连续功率为2万千瓦的二氧化碳激光器,辅助吹氧,可以切割厚25毫米的钢板,切割速度可达每分钟1米。利用激光还可以切割玻璃钢制品。

利用聚焦的连续激光束,能在陶瓷、玻璃、半导体、及集成电路片、薄膜和各种微型元件上进行精密划片或者刻槽。

激光金属表面处理是工业生产中的一种新型工艺。利用激光的辐照作用,可在金属表面形成抗腐蚀性和抗疲劳性很强的非晶态金属层和超精细的均匀微观结构,从而起到给金属表面上光的作用。利用脉冲激光对金属表面的瞬时高温加热作用,可实现激光淬火,从而大大增强诸如活塞、曲轴、阀门、汽缸内膛等零件表面的硬度和抗磨损能力。此外还可以利用激光对金属表面进行合金化处理等。

在冶金工业稀有金属工业方面,激光技术也可以发挥它的独特作用。例如,利用高功率激光的辐照加热作用,可以制成小规模的高温加热装置,来熔化各种高熔点的金属,从而可在实验室范围内进行各种冶金过程的模拟实验,从中取得必要的技术数据并探索各种复杂过程的实验规律。

在印刷工业中,激光技术与电子计算机技术相结合,可以实现从排版、制版直到印刷和装订的高度自动化,从而大幅度地减少工序,简化操作,节省劳力,改善劳动环境和降低印刷成本。

在化学工业中,利用激光的高亮度、高单色和可调谐特性,可以对特定的化学反应进行控制,从而进行光学催化、光学聚合、光学合成、光学提纯和光学分离等过程。激光对于化学工业也具有重大的潜在应用意义,目前,利用激光分离各