



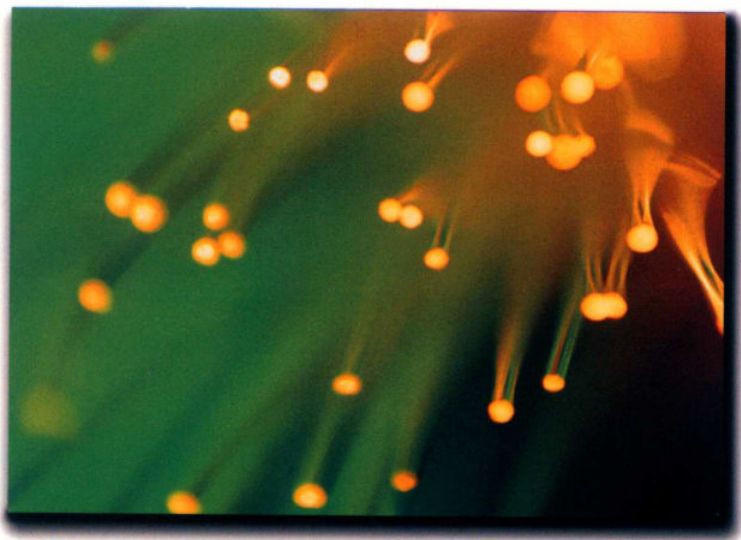
职业技术教育课程改革规划教材
光电技术应用技能训练系列教材

激

光打标知识与技能训练

JIGUANG DABIAO ZHISHI
YU JINENG XUNLIAN

主 编 陈毕双 王小兴
副主编 黄 健 莫衡阳
程 娟 杨望虎
主 审 唐霞辉





职业技术教育课程改革规划教材
光电技术应用技能训练系列教材

激

光打标知识与技能训练

JIGUANG DABIAOZHISHI
YU JINENG XUNLIAN

主 编 陈毕双 王小兴
副主编 黄 健 莫衡阳 程 娟 杨望虎
参 编 李 杨 余 红 杨 晨 唐志忠
主 审 唐霞辉

贵州师范学院内部使用



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书在讲述激光技术基本理论和测试方法的基础上,通过完成具体的技能训练项目来实现掌握激光打标基础理论知识和职业岗位专业技能的教学目标,每个技能训练项目由一个或几个不同的训练任务组成,主要包括:激光打标图形处理技能训练、激光打标软件使用技能训练、激光打标材料加工技能训练和激光打标典型产品实战技能训练。

本书可作为大专院校、职业技术学院光电类专业的激光加工类理论知识和技能训练一体化课程教材,也可作为激光行业企业员工的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

激光打标知识与技能训练/陈毕双,王小兴主编. —武汉:华中科技大学出版社,2018.8
职业技术教育课程改革规划教材. 光电技术应用技能训练系列教材
ISBN 978-7-5680-4508-7

I. ①激… II. ①陈… ②王… III. ①激光打标机-职业教育-教材 IV. ①TB486

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 191338 号

激光打标知识与技能训练

Jiguang Dabiao Zhishi yu Jineng Xunlian

陈毕双 王小兴 主编

策划编辑:王红梅
责任编辑:余涛
封面设计:秦茹
责任校对:曾婷
责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)
武汉市东湖新技术开发区华工科技园

电话:(027)81321913

邮编:430223

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部
印 刷:武汉科源印刷设计有限公司
开 本:787mm×1092mm 1/16
印 张:10.5
字 数:252千字
版 次:2018年8月第1版第1次印刷
定 价:28.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

编审委员会

主任:王又良(中国光学学会激光加工专业委员会主任)

副主任:朱 晓(华中科技大学激光加工国家工程中心主任,教授,博导;

湖北省暨武汉激光学会理事长;武汉中国光谷激光行业协会会长)

张庆茂(中国光学学会激光加工专业委员会副主任,华南师范大学信息光电子科技学院院长)

委员:唐震辉(华中科技大学激光加工国家工程中心副主任,教授;

中国光学学会激光加工专业委员会副秘书长)

吕启涛(大族激光科技产业集团股份有限公司首席技术官,博士;
中组部千人计划入选者)

牛增强(深圳市联赢激光股份有限公司首席技术官,博士)

杨永强(华南理工大学机械与汽车工程学院教授)

王中林(武汉软件工程职业学院机械学院院长,教授;

中国光学学会激光加工专业委员会职业教育工作小组副组长)

熊政军(中南民族大学激光和智能制造研究院院长,教授)

陈一峰(武汉船舶职业技术学院光电制造与应用技术专业负责人,教授)

陈毕双(深圳技师学院,激光技术应用教研室主任,高级讲师)

胡 峥(武汉仪表电子学校信息技术专业部主任,高级讲师;
中组部万人计划入选者)

刘善琨(湖北省激光行业协会秘书长)

侯若洪(广东省激光行业协会会长;深圳光韵达光电科技股份有限公司
总经理)

陈 焱(深圳市激光智能制造行业协会会长;大族激光智能装备集团总经理)

闵大勇(苏州长光华芯光电技术有限公司董事长)

赵裕兴(苏州德龙激光股份有限公司董事长)

王小兴(深圳镭霆激光科技有限公司董事长,总经理)

王 瑾(大族激光科技产业集团股份有限公司精密焊接事业部总经理)

王志伟(深圳市铭镭激光设备有限公司总经理)

董 彪(武汉天之逸科技有限公司董事长)

序 言

激光及光电技术在国民经济的各个领域的应用越来越广泛,中国激光及光电产业在近十年得到了飞速发展,成为我国高新技术产业发展的典范。2017年,激光及光电行业从业人数超过10万人,其中绝大部分员工从事激光及光电设备制造、使用、维修及服务等工作,需要掌握光学、机械、电气、控制等多方面的专业知识,需要具备综合、熟练的专业技术技能。但是,激光及光电产业技术技能型人才培养的规模和速度与人才市场的需求相去甚远,这个问题引起了教育界,尤其是职业教育界的广泛关注。为此,中国光学学会激光加工专业委员会在2017年7月28日成立了中国光学学会激光加工专业委员会职业教育工作小组,希望通过这样一个平台将激光及光电行业的企业与职业院校紧密对接,为我国激光和光电产业技术技能型人才的培养提供重要的支撑。

我高兴地看到,职业教育工作小组成立以后,各成员单位围绕服务激光及光电产业对技术技能型人才培养的要求,加大教学改革力度,在总结、整理普通理实一体化教学的基础上,开始构建以激光及光电产业职业活动为导向、以校企合作为基础、以综合职业能力培养为核心,将理论教学与技能操作融会贯通的一体化课程体系,新的教学体系有效提高了技术技能型人才培养的质量。华中科技大学出版社组织国内开设激光及光电专业的职业院校的专家、学者,与国内知名激光及光电企业的技术专家合作,共同编写了这套职业技术教育课程改革规划教材——光电技术应用技能训练系列教材,为构建这种一体化课程体系提供了一个很好的典型案例。

我还高兴地看到,这套教材的编者,既有职业教育阅历丰富的职业院校老师,还有很多来自激光和光电行业龙头企业的技术专家及一线工程师,他们把自己丰富的行业经历融入这套教材里,使教材能更准确体现“以职业能力为培养目标,以具体工作任务为学习载体,按照工作过程和学习者自主学习要求设计和安排教学活动、学习活动”的一体化教学理念。所以,这套打着激光和光电行业龙头企业烙印的教材,首先呈现了结构清晰完整的实际工作过程,系统地介绍了工作过程相关知识,具体解决了做什么、怎么做的工作问题,同时又基于学生的学习过程设计了体系化的学习规范,具体解决学什么、怎么学、为什么这么做、如何做得更好的问题。

一体化课程体现了理论教学和实践教学融通合一、专业学习和工作实践学做合一、能力培养和工作岗位对接合一的特征,是职业教育专业和课程改革的亮点,也是一个十分辛

苦的工作,我代表中国光学学会激光加工专业委员会对这套教材的出版表示衷心祝贺,希望写出更多的此类教材,全方位满足激光及光电产业对技术技能型人才的要求,同时也希望本套丛书的编者们悉心总结教材编写经验,争取使之成为广受读者欢迎的精品教材。



中国光学学会激光加工专业委员会主任

二〇一八年七月二十八日

前 言

自从1960年世界上第一台激光器诞生以来,激光技术不仅应用于科学技术研究的各个前沿领域,而且已经在工业、农业、军事、天文和日常生活中得到了广泛应用,初步形成较为完善的激光技术应用产业链条。

激光技术应用产业是利用激光技术为核心生成各类零件、组件、设备以及各类激光应用市场的总和,其上游主要为激光材料及元器件制造产业,中游为各类激光器及其配套设备制造产业,下游为各类激光设备制造和激光设备应用产业。其中,激光技术应用中、下游产业需求员工最多,要求最广,主要就业岗位体现在激光设备制造、使用、维修及服务全过程,需要从业者掌握光学、机械、电气、控制等多方面的专业知识,具备综合熟练的专业技能。

为满足激光技术应用产业对员工的需求,国内各职业院校相继开办了光电子技术、激光加工技术、特种加工技术、激光技术应用等新兴专业来培养激光技术的技能型人才。由于受我国高等教育主要按学科分类进行教学的惯性影响,激光技术应用产业链条中需要的知识和技能训练分散在各门学科的教学之中,专业课程建设和教材建设远远不能适应激光技术应用产业的职业岗位要求。

有鉴于此,国内部分开设了激光技术专业 and 课程的职业院校与国内一流激光设备制造和应用企业紧密合作,以企业真实工作任务和工作过程(即资讯—决策—计划—实施—检验—评价六个步骤)为导向,兼顾专业课程的教学过程组织要求进行了一体化专业课程改革,开发了专业核心课程,编写了专业系列教材并进行教学实施。校企双方一致认为,现阶段激光技术应用专业应该根据办学条件开设激光设备安装调试和激光加工两大类核心课程,并通过一体化专业课程学习专业知识、掌握专业技能,为满足将来的职业岗位要求打下基础。

本书就是激光加工类核心课程中的一体化课程教材之一。具体来说,就是以常见激光打标典型产品实战技能训练过程为学习载体,学生必须掌握打标机基本操作知识与技能、激光打标图形处理知识与技能、激光打标软件知识与技能、激光打标材料知识与技能以及激光打标典型产品知识与技能,能够基本胜任激光打标岗位工作任务。

本书主要通过讲述知识的基础上完成技能训练项目任务来实现教学目标,每个技能训练项目由一个或几个不同的训练任务组成,主要有以下四个技能训练项目。

项目一:激光打标图形处理技能训练。

项目二:激光打标软件技能训练。

项目三:激光打标材料技能训练。

项目四:激光打标典型产品实战技能训练。

由于以真实技能训练项目代替了大部分纯理论推导过程,本书特别适合作为职业院校激光技术应用及其相关专业的一体化课程教材,也可作为激光打标机生产制造企业和用户的员工培训教材,同时适合激光设备制造和激光设备应用领域的相关工程技术人员自学。

本书各章节的内容由主编和副主编集体讨论形成。第1章、第2章、第6章第3节由深圳技师学院陈毕双执笔编写,第3章第1节由武汉仪表电子学校程娟执笔编写,第4章第1节、第6章第5节由深圳镭霆激光王小兴执笔编写,第3章第3节、第4章第2节、第5章第1节、第6章第4节由深圳技师学院黄健执笔编写,第3章第2节、第5章第2节、第6章第1节由深圳技师学院杨望虎执笔编写,第6章第2节由武汉华工激光莫衡阳执笔编写。深圳华天激光李杨、惠州镭凌激光余红、武汉软件职业技术学院杨晟和鞍山技师学院唐志忠提供了大量的原始资料及编写建议,深圳技师学院激光技术应用教研室的全体老师和许多同学参与了资料的收集整理工作,全书由陈毕双统稿。

中国光学学会激光加工专业委员会、广东省激光行业协会和深圳市激光智能制造行业协会的各位领导和专家学者一直关注这套技能训练教材的出版工作,华中科技大学出版社的领导和编辑为此书的出版做了大量组织工作,在此一并深表感谢。

本书在编写过程中参阅了一些专业著作、文献资料 and 企业的设备说明书,谨向其作者表示诚挚的谢意。

本书承蒙华中科技大学光电学院唐霞辉教授仔细审阅,提出了许多宝贵意见,在此一并深表感谢。

限于编者的水平和经验,本书还存在错误和不妥之处,希望广大读者批评指正。

编者

2018年08月

目 录

1 激光与激光打标基础知识	(1)
1.1 激光概述	(1)
1.1.1 激光的产生	(1)
1.1.2 激光的特性	(6)
1.2 激光制造概述	(8)
1.2.1 激光制造技术领域	(8)
1.2.2 激光制造分类与特点	(9)
1.2.3 激光加工设备基础知识	(12)
1.2.4 激光与加工材料相互作用的机理	(14)
1.3 激光打标与激光打标机概述	(18)
1.3.1 激光打标概述	(18)
1.3.2 激光打标机系统组成	(21)
1.4 激光安全防护知识	(26)
1.4.1 激光加工危险知识	(26)
1.4.2 激光加工危险防护	(31)
2 激光打标产品质量判断及测量方法	(36)
2.1 激光光束主要参数与测量方法	(36)
2.1.1 激光光束参数基本知识	(36)
2.1.2 电光调 Q 激光器静/动态特性测量方法	(40)
2.1.3 激光光束功率/能量测量方法	(42)
2.1.4 激光光束焦距确定方法	(45)
2.1.5 激光光束焦深确定方法	(46)
2.2 打标产品尺寸误差测量方法	(47)
3 激光打标图形处理知识与技能训练	(49)
3.1 激光打标图形处理知识	(49)
3.1.1 图形的分类和特点	(49)
3.2 激光打标图形处理软件知识	(51)
3.2.1 CorelDRAW 12 界面介绍与基本命令	(51)
3.2.2 CorelDRAW 处理打标图形综合案例	(62)
3.2.3 AutoCAD 2008 界面介绍与基本命令	(76)
3.3 打标图形处理技能训练	(78)
3.3.1 CorelDRAW 12 打标图形处理技能训练	(78)
3.3.2 AutoCAD 2008 软件打标图形处理技能训练	(80)

4 激光打标软件知识与技能训练	(83)
4.1 激光打标软件基础知识与技能训练	(83)
4.1.1 激光打标软件基础知识	(83)
4.1.2 激光打标软件基本操作技能训练	(94)
4.2 激光打标软件专项知识与技能训练	(96)
4.2.1 条形码打标知识与技能训练	(96)
4.2.2 变量文本(跳号)打标知识与技能训练	(100)
4.2.3 飞行打标知识与技能训练	(105)
4.2.4 位图打标知识与技能训练	(109)
4.2.5 旋转打标知识与技能训练	(114)
5 激光打标材料知识与技能训练	(121)
5.1 非金属材料打标知识与技能训练	(121)
5.1.1 PVC材料打标知识与技能训练	(121)
5.1.2 亚克力打标知识与技能训练	(123)
5.1.3 皮革打标知识与技能训练	(125)
5.1.4 木制品打标知识与技能训练	(127)
5.2 金属材料打标知识与技能训练	(129)
5.2.1 不锈钢材料打标知识与技能训练	(129)
5.2.2 铝合金材料打标知识与技能训练	(132)
6 激光打标典型产品知识与实战技能训练	(135)
6.1 金属名片激光打标知识与实战技能训练	(135)
6.1.1 金属名片激光打标信息搜集	(135)
6.1.2 制订工作计划和技能训练	(137)
6.2 不锈钢餐具激光打标知识与实战技能训练	(140)
6.2.1 不锈钢餐具激光打标信息搜集	(140)
6.2.2 制订工作计划及技能训练	(141)
6.3 PVC工卡激光打标知识与实战技能训练	(144)
6.3.1 PVC工卡激光打标信息搜集	(144)
6.3.2 制订工作计划与技能训练	(145)
6.4 环形不锈钢戒指激光打标知识与实战技能训练	(148)
6.4.1 环形不锈钢戒指制作信息搜集	(148)
6.4.2 制订工作计划与技能训练	(149)
6.5 矿泉水瓶编号流水线激光飞行打标知识与实战技能训练	(152)
6.5.1 矿泉水瓶编号流水线激光飞行打标信息搜集	(152)
6.5.2 制订工作计划与技能训练	(153)
参考文献	(157)

激光与激光打标基础知识

1.1 激光概述

1.1.1 激光的产生

1. 光的产生

1) 物质的组成

世界上能看到的任何宏观物质都是由原子、分子、离子等微观粒子构成。其中，分子是原子通过共价键结合形成的，离子是原子通过离子键结合形成的，所以归根结底，物质是由原子构成的，如图 1-1 所示。

2) 原子的结构

原子是由居于原子中心的带正电的原子核和核外带负电的电子构成的，如图 1-2 所示。

根据量子理论，同一个原子内的电子在不连续的轨道上运动，并且可以在不同的轨道上运动，如同一辆车在高速公路上可以开得快、在市区里就开得慢一样。

在图 1-3 所示的玻尔的原子模型中，电子分别可以有 $n=1$ 、 $n=2$ 、 $n=3$ 三条轨道，原子对应不同轨道有三个不同的能级。

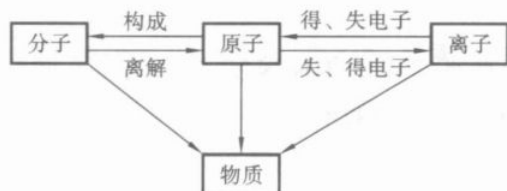


图 1-1 物质的组成

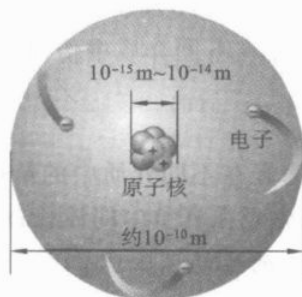


图 1-2 原子的结构

当 $n=1$ 时,电子与原子核之间距离最小,原子处于低能级的稳定状态,又称为基态。

当 $n>1$ 时,电子与原子核之间距离变大,原子跃迁到高能级的非稳定状态,又称为激发态。

3) 原子的发光

激发态的原子不会长时间停留在高能级上,它会自发地向低能级的基态跃迁,并释放出它的多余的能量。

如果原子是以光子的形式释放能量,这种跃迁称为自发辐射跃迁,此时宏观上可以看到物质正在以特定频率发光,其频率由发生跃迁的两个能级的能量差决定:

$$\nu = (E_2 - E_1) / h \quad (1-1)$$

式中: h 为普朗克常数, $6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; ν 为光的频率, s^{-1} 。

自发辐射跃迁是除激光以外其他光源的发光方式,它是随机跃迁过程,发出的光在相位、偏振态和传播方向上彼此无关。

由此可以看出,物质发光的本质是物质的原子、分子或离子处于较高的激发状态时,从较高能级向低能级跃迁,并自发地把过多的能量以光子的形式发射出来的结果,如图 1-4 所示。

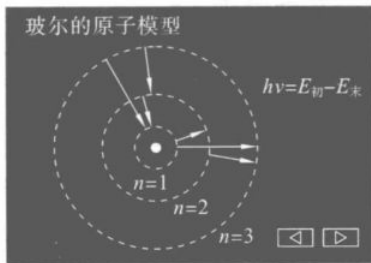


图 1-3 玻尔的原子模型

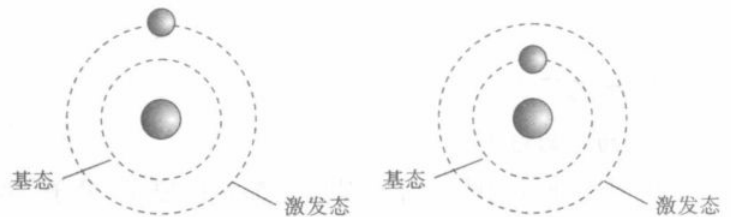


图 1-4 物质发光的本质

2. 光的特性

1) 波粒二象性

光是频率极高的电磁波,具有物理概念中波和粒子的一般特性,简称具有波粒二象性。光的波动性和粒子性是光的本性在不同条件下表现出来的两个侧面。

(1) 电磁波谱:把电磁波按波长或频率的次序排列成谱,称为电磁波谱,如图 1-5 所示。

(2) 可见光谱:可见光是一种能引起视觉的电磁波,其波长范围为 $380 \sim 780 \text{ nm}$,频率范围 $3.9 \times 10^{14} \sim 7.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ 。

(3) 光在不同介质中传播时,频率不变,波长和传播速度变小。

$$u = \frac{c}{n}, \quad \lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad (1-2)$$

式中: u 为光在不同介质中的传播速度; c 为光在真空中的传播速度; λ 为光在不同介质中的波长; λ_0 为光在真空中的波长; n 为光在不同介质中的折射率。

2) 光的波动性体现

光在传播过程中主要表现出光的波动性,我们可以通过光的直线传播定律、反射定律、折射定律、独立传播定律、光路可逆原理等证明光在传播过程中表现出波动性。

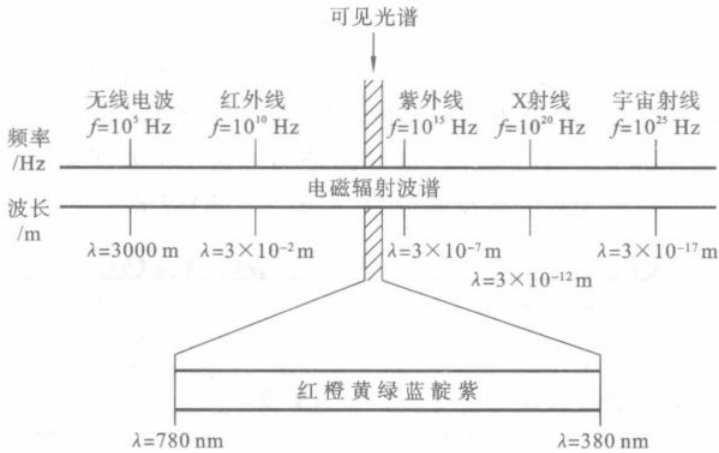


图 1-5 电磁波谱示意图

光在低频或长波区波动性比较显著,利用电磁振荡耦合检测方法可以得到输入信号的振幅和相位。

3) 光的粒子性体现

光在与物质相互作用过程中主要表现出光的粒子性。

光的粒子性就是说光是以光速运动着的粒子(光子)流,一束频率为 ν 的光由能量相同的光子所组成,每个光子的能量为

$$E = h\nu \tag{1-3}$$

式中: h 为普朗克常数, $6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; ν 为光的频率, s^{-1} 。

由此可知,光的频率愈高(即波长愈短),光子的能量愈大。

光在高频或短波区表现出极强的粒子性,利用它与其他物质的相互作用可以得到粒子流的强度,而无需相位关系。

3. 激光的产生

1) 受激辐射发光——激光产生的先决条件

处在高能级 E_2 上的粒子,由于受到能量为 $h\nu = E_2 - E_1$ 的外来光子的诱发而跃迁到低能级 E_1 ,并发射出一个频率为 $\nu = (E_2 - E_1)/h$ 的光子的跃迁过程称为受激辐射过程,如图 1-6(a)所示。

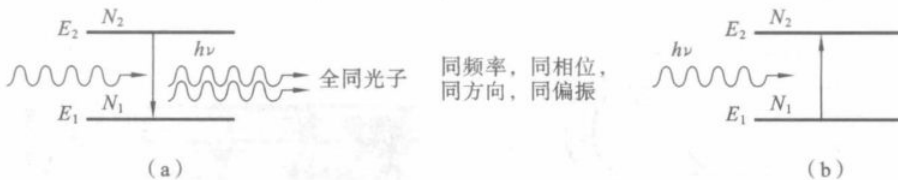


图 1-6 受激辐射与受激吸收过程

受激辐射过程发出的光子与入射光子的频率、相位、偏振方向以及传播方向均相同,且有两倍同样的光子发出,光被放大了一倍,它是激光产生的先决条件。

受激辐射存在逆过程——受激吸收过程,如图 1-6(b)所示。受激辐射的过程是复制产生光子,受激吸收过程是吸收消耗光子,激光产生的实际过程要看哪种作用更强。

2) 粒子数反转分布——激光产生的必要条件

(1) 玻尔兹曼定律:热平衡状态下,大量原子组成的系统粒子数的分布服从玻耳兹曼定律,处于低能级的粒子数多于高能级的粒子数,如图 1-7(a)所示,此时受激辐射<受激吸收。为了使受激辐射占优势从而产生光放大,就必须使高能级上的粒子数密度大于低能级上的粒子数密度,即 $N_2 > N_1$,称为粒子数反转分布,如图 1-7(b)所示。

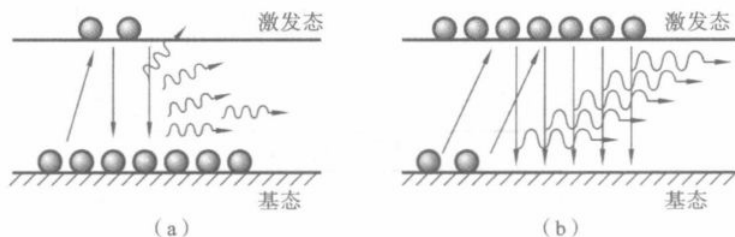


图 1-7 玻尔兹曼定律与粒子数反转状态

实现粒子数反转是激光产生的必要条件。

(2) 实现粒子数反转分布:在激光器的实际结构上,通过改变激光工作物质的内部结构和外部工作条件这样两个途径来实现持续的粒子数反转分布。

① 给激光工作物质注入外加能量:如果给激光工作物质注入外加能量,打破工作物质的热平衡状态,持续地把工作物质的活性粒子从基态能级激发到高能级,就可能在某两个能级之间实现粒子数反转,如图 1-8 所示。



图 1-8 粒子数反转的外部条件

注入外加能量的方法在激光的产生过程中称为激励,也称为泵浦。常见的激励方式有光激励、电激励、化学激励等。

光激励通常是用灯(脉冲氙灯、连续氙灯、碘钨灯等)或用激光器作为泵浦光源照射激光工作物质,这种激励方式主要为固体激发器所采用,如图 1-9 所示。

电激励是采用气体放电方法使具有一定动能的自由电子与气体粒子相碰撞,把气体粒子激发到高能级,这种激励方式主要为气体激光器所采用,如图 1-10 所示。

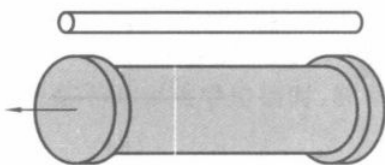


图 1-9 光激励示意图



图 1-10 电激励示意图

化学激励则是通过化学反应产生一种处于激发态的原子或分子,这种激励方式主要为化学激光器所采用。

② 改善激光工作物质的能级结构:在实际应用中能够实现粒子数反转的工作物质主要有三能级系统和四能级系统两类。

三能级系统如图 1-11(a)所示,粒子从基态 E_1 首先被激发到能级 E_3 ,粒子在能级 E_3 上是不稳定的,其寿命很短(约 10^{-8} s),很快地通过无辐射跃迁到达能级 E_2 上。能级 E_2 是亚稳态,粒子在 E_2 上的寿命较长($10^{-3} \sim 1$ s),因而在 E_2 上可以积聚足够多的粒子,这样就可以在亚稳态和基态之间实现粒子数反转。

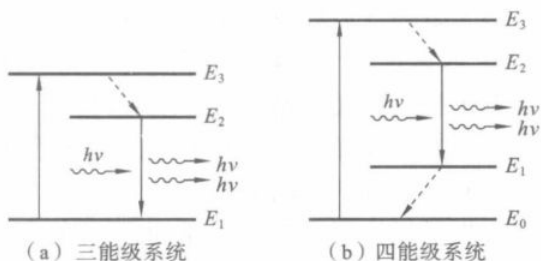


图 1-11 三能级系统和四能级系统

此时若有频率为 $\nu=(E_2-E_1)/h$ 的外来光子的激励,将诱发 E_2 上粒子的受激辐射,并使同样频率的光得到放大。红宝石就是具有这种三能级系统的典型工作物质。

三能级系统中,由于激光的下能级是基态,为了达到粒子数反转,必须把半数以上的基态粒子泵浦到上能级,因此要求很高的泵浦功率。

四能级系统如图 1-11(b)所示,它与三能级系统的区别是在亚稳态 E_2 与基态 E_0 之间还有一个高于基态的能级 E_1 。由于能级 E_1 基本上空的,这样 E_2 与 E_1 之间就比较容易实现粒子数反转,所以四能级系统的效率一般比三能级系统的高。

以铷离子为工作粒子的固体物质,如铷玻璃、掺铷钇铝石榴石晶体以及大多数气体激光工作物质都具有这种四能级系统的能级结构。

三能级系统和四能级系统的能级结构的特点是都有一个亚稳态能级,这是工作物质实现粒子数反转必需的条件。

3) 光学谐振腔——激光持续产生的源泉

(1) 谐振腔功能:虽然工作物质实现了粒子数反转就可以产生相同频率、相位和偏振的光子,但此时光子的数目很少且传播方向不一。

如果在工作物质两端面加上一对反射镜,或在两端面镀上反射膜,使光子来回通过工作物质,光子的数目就会像滚雪球似地越滚越多,形成一束很强且持续的激光输出。

把由两个或两个以上光学反射镜组成的器件称为光学谐振腔,如图 1-12 所示。

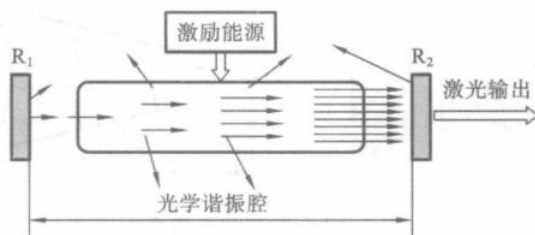


图 1-12 光学谐振腔

(2) 谐振腔结构:两块反射镜置于激光工作物质两端,反射镜之间的距离为腔长。其中,反射镜 R_1 的反射率接近 100%,称为全反射镜,也称为高反镜;反射镜 R_2 部分反射激光,称为部分反射镜,也称为低反镜(半反镜)。

全反射镜和部分反射镜不断引起激光器谐振腔内的受激振荡,并允许激光从部分反射镜一端输出,故部分反射镜又称激光器窗口。

在谐振腔内,只有沿轴线附近传播的光才能被来回反射形成激光,而离轴光束经几次来

回反射就会从反射镜边缘逸出谐振腔,所以激光光束具有很好的方向性。

4) 阈值条件——激光输出对器件的总要求

有了稳定的光学谐振腔和能实现粒子数反转的工作物质,还不一定能产生激光输出。

工作物质在光学谐振腔内虽然能够产生光放大,但在谐振腔内还存在着许多光的损耗因素,如反射镜的吸收、透射和衍射,以及工作物质不均匀造成的光线折射和散射等。如果各种光损耗抵消了光放大过程,也不可能产生激光输出。

用阈值来表示光在谐振腔中每经过一次往返后光强改变的趋势。

若阈值小于1,意味着往返一次后光强减弱。来回多次反射后,它将变得越来越弱,因而不可能建立激光振荡。因此,实现光振荡并输出激光,除了具备合适的工作物质和稳定的光学谐振腔外,还必须减少损耗,达到产生激光的阈值条件。

5) 产生激光的充要条件

(1) 要有含亚稳态能级的工作物质。

(2) 要有合适的泵浦源,使工作物质中的粒子被抽运到亚稳态并实现粒子数的反转分布,以产生受激辐射光放大。

(3) 要有光学谐振腔,使光往返反馈并获得增强,从而输出高定向、高强度的激光。

(4) 要满足激光产生的阈值条件。

综上所述,激光(laser)的产生就是受激辐射的光放大效应(light amplification by stimulated emission of radiation)可以顺利进行的过程。

1.1.2 激光的特性

1. 激光的方向性

1) 光束方向性指标——发散角 θ

激光光束发散角 θ 是衡量光束从其中心向外发散程度的指标,如图 1-13 所示。通常把发散角的大小作为光束方向性的定量指标。

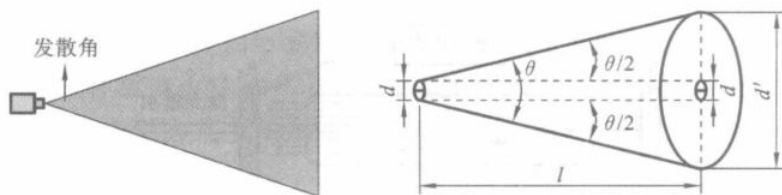


图 1-13 光束的发散角

2) 激光光束的发散角 θ

普通光源向四面八方发散,发散角 θ 很大。例如,点光源的发散角约为 4π 弧度。

激光光束基本上可以认为是沿轴向传播的,发散角 θ 很小,例如,氦氖激光器发散角约为 10^{-3} 弧度。

对比一下可以发现,激光束的发散角 θ 不到普通光源的万分之一。

使用激光照射距离地球约 38 万千米的月球,激光在月球表面的光斑直径不到 2 km。若换成看似平行的探照灯光柱射向月球,其光斑直径将覆盖整个月球。

2. 激光的单色性

1) 光束单色性指标——谱线宽度 $\Delta\lambda$

光束的颜色由光的波长(或频率)决定,单一波长(或频率)的光称为单色光,发射单色光的光源称为单色光源,如氩灯、氦灯、氖灯、氢灯等。

真正意义上的单色光源是不存在的,它们的波长(或频率)总会有一定的分布范围,如氖灯红光的单色性很好,谱线宽度范围仍有 0.00001 nm 。

波长(或频率)的变动范围称为谱线宽度,用 $\Delta\lambda$ 表示,如图 1-14 所示。通常把光源的谱线宽度作为光束单色性的定量指标,谱线宽度越小,光源的单色性越好。

2) 激光光束的谱线宽度

普通光源单色性最好的是氩灯,其发射波长为 605.8 nm ,谱线宽度为 $4.7 \times 10^{-4} \text{ nm}$ 。波长为 632.8 nm 的氦氖激光器产生的激光谱线宽度小于 10^{-8} nm ,其单色性比氩灯的好 10^5 倍。

由此可见,激光束的单色性远远超过任何一种单色光源。

3. 激光的相干性

1) 光束相干性指标——相干长度 L

两束频率相同、振动方向相同、有恒定相位差的光称为相干光。

光的相干性可以用相干长度 L 来表示,相干长度 L 与光的谱线宽度 $\Delta\lambda$ 有关,谱线宽度 $\Delta\lambda$ 越小,相干长度 L 越长。

2) 激光光束的相干长度

普通单色光源如氩灯、钠光灯等的谱线宽度在 $10^{-3} \sim 10^{-2} \text{ nm}$ 范围,相干长度在 1 mm 到几十厘米的范围。氦氖激光器的谱线宽度小于 10^{-8} nm ,其相干长度可达几十千米。

由此可见,激光光束的相干性也远远超过任何一种单色光源。

4. 激光的高亮度

1) 光束亮度指标——光功率密度

光束亮度是光源在单位面积上向某一方向的单位立体角内发射的功率,简述为光功率/光斑面积,单位为 W/cm^2 。由此看出,光束亮度实际上是光功率密度的另外一种表述形式。

2) 激光光束的光斑面积小

激光光束总的输出功率虽然不大,但由于光束发散角小,其亮度也高。例如,发散角从 180° 缩小到 0.18° ,亮度就可以提高 100 万倍,如图 1-15 所示。

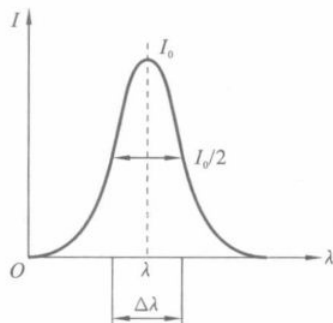


图 1-14 光束的谱线宽度

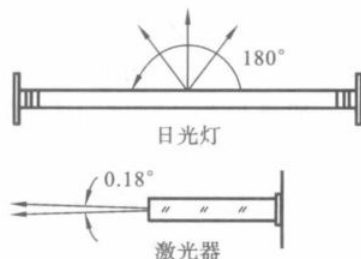


图 1-15 激光亮度