

激光 在工业与技术中的 应用

〔西德〕 D. 比姆贝格 W. 恩利施 H. 罗滕科尔贝尔
G. 泽格 H. 施泰因比希勒 著

7708
42



72711/112

激光在工业与技术中的应用

D. 比姆贝格 W. 恩利施

〔西德〕 H. 罗滕科尔贝尔 G. 泽格 著

H. 施泰因比希勒

孙义雁 译

1108715

科学出版社

1980

内 容 简 介

本书简述了激光器的基本理论,介绍了激光在材料加工、全息干涉测量、数据处理以及空气污染监测等工业和技术中的各种应用。

全书共分七章,语言通俗易懂,图文并茂,结合实例与现状进行探讨。

本书可供从事激光研究和应用的科技人员及高等院校有关专业的师生阅读。

D. Bimberg, W. Englisch, H. Rottenkolber,
G. Seger, H. Steinbichler

LASER IN INDUSTRIE UND TECHNIK

Lexika-Verlag, 1977

激光在工业与技术中的应用

【西德】 D. 比姆贝格 W. 恩利施 H. 罗滕科尔贝尔 著
G. 泽格 H. 施泰因比希勒
孙义雁 译

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1980年11月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1980年11月第一次印刷 印张: 6

印数: 0001—8,120 字数: 129,000

统一书号: 15031·309

本社书号: 1910·15—10

定价: 0.75 元

译 者 的 话

《激光在工业与技术中的应用》一书是西德最近陆续出版的一套介绍最新技术的丛书中的一册。

本书的一些作者是多年来从事激光的研究、发展与应用
的物理学家和工程师(并任西德埃斯林根技术学院讲师)。

本书密切结合激光的实际应用论述了激光的基本理论,并以大量实例、图表和数据介绍了激光这项新技术较成熟的以及带方向性的应用领域和发展现状。例如:利用激光进行材料加工(焊接、切割、打孔、动平衡、微调等)、全息干涉测量(无损检验、形变的定性与定量分析、判断部件的结构缺点等)、全息数据处理技术(集成电路的制作、数据存储、自动的符号识别、空间显示)以及利用激光控制空气污染(利用激光测量气体与尘粒)。

书中所叙述的内容对我国从事激光应用研究的科研人员是有一定启发和帮助的。本书也可以作为有关科研管理人员的科技读物及大学有关专业师生的教学参考书。

为了使同志们更了解这本书,把原书中的前言和导言也一并译出。

本书译完后,曾请荣烈润同志以及颜炳玉和赵克恭同志校阅,在此谨表谢意。

在翻译与校核中,已对原书中明显错误之处作了更正。但由于译者的水平有限,难免仍有谬误之处,希望读者指正。

译 者

一九七八年六月十九日 于北京

前 言

世界上,人类知识的资料在与日俱增。由于这种增加的速度异常神速,其结果是各门学科中的基础知识日益扩大、新的研究课题层出不穷、革新的技术不断出现。

因此,国民经济的各部门和各个企业如果它们要在竞争中站得住脚的话,都必须作相应的调整。而对于每个人来说,则要活到老,学到老。

在这个过程中,特别是对于在职的专业人员来说,教育与专业丛书“接触与钻研”是一个助手。这套丛书:

- 能够使人接触到最新的科学知识与最新技术;
- 章节划分清楚、结构系统、语言通俗易懂、图文并茂、实例与状况探讨多;
- 能够使人在其职业实践中获得的专业知识进一步深化;
- 可以作为补充读物,它介绍了人们在以前教育中所没有学到过的专门知识;
- 容易使人了解目前刚具有现实意义的专业。

在出版“接触与钻研”这套丛书中,埃斯林根技术学院、莱克希卡出版社、职业教育-成人教育-基础知识与技术出版社进行了组织严密的、卓有成效的紧密合作。

对陆续出版的这套丛书各分册之题目作了系统性的选择。本册的内容是将学校教育的有关材料加以扩充,并作了以科学为基础的、切合实际的加工。本书完整地综述了激光的基础知识及其在工业中的应用现状。

这本书对于从事埃斯林根技术学院教育工作的人来说，也一定是很重要的。此外，内容这么广泛地来论述激光的相应领域，这在德语的书籍中还是第一本。

期待读者在对此书内知识材料的深入钻研中，能够得到埃斯林根技术学院和出版社所希望的益处。

埃斯林根技术学院科学主任

W. 巴尔茨

导 言

六十年代初激光的发现，发出了科技世界中真正动听的乐曲。人们紧张地期待着激光在应用中有一个“大的突破”。现在大家都知道，激光的应用已经不是一个突破，而是有许多突破了。这虽不是大轰动，但确实是令人鼓舞的。

激光有无数的应用可能性，这里有四个实例：今天，我们的孩子在学校里就知道激光了，因为依靠激光的帮助使整个衍射与干涉实验比利用钠蒸气灯更直观更简单；几年以前，在法兰克福地下铁道的挖掘工程中，已经采用激光作为既经济又精密的准直仪；在医学中，例如在眼外科中，激光也找到了稳固的地位；在今后几年内，激光定会与玻璃纤维相结合，而使我们的信息传递系统来一个革命。因为在技术上最现代化系统的应用就意味着能在竞争中保持优胜的地位，所以在工业中，五、六年之前就已经开始了激光的一些应用，其中有不少应用从来没有中止过。

突出的事实是：在科学、技术、医学和教育中，激光不是只有一种用途，而是有无数种不同的用途，况且现在也已经有了从气体激光器到半导体激光器不同种类的大量激光器。我们的科学家和技术人员将会不断想出新的激光材料和新的用途。

自从一九七一年以来，埃斯林根技术学院如同其它德国的深造机构一样，在“接触与钻研”大纲中一般都有激光应用的教程。这些教程可以帮助在职人员懂得激光的物理技术基本理论，以及使他们认识到激光在三个范围内，并在一定程度

上已成熟的应用可能性。这三个范围是：

1. 材料的精加工与粗加工。在这里，激光是作为能源的。
2. 测量技术和数据处理。在这里，是利用激光光源的很好干涉性(相干性)。
3. 在受尘埃、气体污染的工作场所与环境中保护人类，这是目前极其重要的问题。在这里，则是利用激光光谱的纯粹性。

在埃斯林根的各个讲师的讲稿，一部分是以他们的工作及原始文献为基础的。但是没有一本可适用于作为基础教材，并且包括有足够广泛应用范围这样水平的教科书。

由于这个原因，我们要向已故的埃斯林根技术学院院长克鲁珀教授、“接触与钻研”丛书出版者——工学博士 W. 巴尔茨和工程师 E. 维普勒致以特别的谢意，感谢他们发起将教程的内容作重要的扩充与重新加工而成为此书。有了这本书，有关的知识就能被更多的感兴趣者所读到。本书的每一章都是由一位对此很有权威的作者写作的，而且作者尽力保持知识加工的一定统一性。

第一章是为理解应用必不可少的激光基本理论。在这里，为了明了起见，放弃了数学的推导，但无损于论述的正确性。对于全息照相(第四章和第五章)不感兴趣的读者可以自信地跳过第二章“相干光学导论”。而相干光学在没有数学和不对难以理解的概念“相干性”作较确切解释的情况下就无法引出来。如果没有“相干光学导论”这一章的话，那么我们在一些有关应用的章节里就不能理解有些图示方法和计值方法。

在以后的五章里，特别详细地论述了上面已经提到过的激光在工业和技术中的应用范围。为了直观起见，尚有一百

多幅图片,这种直观对广大的读者来说又是十分有益的。

各章的作者也广泛地得到了教程的其他讲师的支持,作者从他们那里获得情报、资料,并同他们进行很有帮助的讨论。为此,也应向 H. 赫布里希、P. 塞勒、博士 W. 乌尔默和教授、博士 F. 韦希特尔表示衷心感谢。

D. 比姆贝格

一九七七年一月于

格勒诺布尔(法国)

目 录

译者的话

前言

导言

1 激光基本理论	1
1.1 导言	1
1.2 在激活物质中的光放大	3
1.3 在光谐振腔内的耦合	9
1.4 脉冲发生	15
1.5 辐射特性	20
1.6 激光器类型	21
1.6.1 固体激光器	21
1.6.2 液体激光器	24
1.6.3 气体激光器	25
1.6.4 半导体激光器	29
2 相干光学导论	31
2.1 导言	31
2.2 相干性和干涉性	31
2.3 全息照相术	35
3 材料加工	39
3.1 导言	39
3.2 利用激光进行材料加工的基本理论	39
3.2.1 用于材料加工的重要激光特性	39
3.2.2 材料参数的影响	43

3.2.2.1	反射和吸收	43
3.2.2.2	导热性	45
3.2.3	加工过程	46
3.2.4	根据利用激光的材料加工性对不同材料的分类	50
3.2.5	用于材料加工的激光器	54
3.3	利用激光进行材料加工的技术	56
3.3.1	精加工	57
3.3.1.1	精密焊接	59
3.3.1.2	打孔	65
3.3.1.3	动平衡	67
3.3.1.4	电阻的微调	68
3.3.2	粗加工	69
3.3.2.1	金属的加工	70
3.3.2.2	有机塑料和有机天然材料的加工	79
3.3.2.3	无机非金属材料的加工	85
3.4	研究所与公司简介	88
4	全息干涉测量法	90
4.1	说明	90
4.2	全息干涉测量法的测量原理	90
4.3	全息干涉测量法	92
4.3.1	双重曝光法	92
4.3.2	瞬时观察法(实时法)	93
4.3.3	连续曝光法(时间平均法)	93
4.4	全息干涉图象的定量分析	95
4.4.1	一般问题	95
4.4.2	椭圆面法	95
4.4.3	双曲面法	100
4.5	全息干涉测量法在技术上的应用	102
4.5.1	材料的无损检验	102

• x •

4.5.2	在静态与动态应力下对部件结构缺陷的判断	109
4.5.3	用等高线图形的形状检验	112
4.5.4	透射式的全息干涉测量法	113
5	全息照相法在数据处理中的应用	115
5.1	导言	115
5.2	集成电路的制作	115
5.3	数据存储	117
5.3.1	全息存储器的结构	117
5.3.2	数字式光偏转器的作用原理	119
5.3.3	图象编排单元(页面编排器)	121
5.3.4	可擦去的全息图	123
5.3.5	顺序的全息存储	125
5.4	自动符号识别	126
5.5	空间显示	127
5.6	结语	128
6	颗粒型空气污染的测定	129
6.1	导言	129
6.2	利用散射光进行尘埃测量的基本理论	129
6.3	在利用散射光进行尘埃测量中激光光源的优越性	133
6.4	实际应用	134
6.4.1	微粒大小的分析	134
6.4.1.1	不均匀的气溶胶	134
6.4.1.2	高的微粒浓度	136
6.4.1.3	天然气溶胶	138
6.4.1.4	快变气溶胶	139
6.4.2	表面的测定	143
6.4.3	细微尘粒在肺中沉积比的显示	144
6.4.4	特殊形状尘粒的选择性测定	146

6.5 结语	147
7 空气污染的遥测	149
7.1 引言	149
7.2 气体试样的激光光谱分析	151
7.2.1 喇曼散射测量法	152
7.2.2 共振荧光测量法	154
7.2.3 共振吸收测量法	155
7.3 利用激光雷达技术远距离分析空气污染	162
7.3.1 利用激光雷达对颗粒型空气污染方位的遥测	162
7.3.2 气体型空气污染的遥测分析	164
参考文献	171

1 激光基本理论

1.1 导 言

虽然在六十年代初激光(Laser)这个词简直还不存在——在专业术语中也找不到它，可是现在激光这个词已经是日常用语的一个概念了。它是由英语词组“Light amplification by stimulated emission of radiation”(通过光的受激发射的光放大)中主要单词开头字母的组合而成的。这个词组本身已经对我们在下面要说的激光器作用原理作出了极其简略而又确切的解释：

光通过物质而受激发射，所以我们就把这种发射称作激发射或感应辐射。这种发射放大了同样波长的光。发射是建立在光和物质之间相互作用的基础之上的。我们进而可以把光看作是电磁波，它与其它电磁波例如无线电波或伦琴射线的区别仅在于波长上。只是为了解释少数几个概念，例如噪音，才有必要回到光的微粒观念上来谈到关于光子。光子的能量 E 是通过定律

$$E = h\nu \quad (1.1)$$

而给出的。在这里， h 是普朗克常数， ν 是频率。频率为 ν 的经放大的光是在具有激光激活物质的谐振腔内这样被反射的：它在激活物质中重新会激起光发射。这样就形成了振荡。由一光放大器 and 一谐振腔组成的系统具有振荡器(例如，就象我们在通讯技术中所知道的那种振荡器)的特性。这里就适用动量守恒的基本定律。因此，就会出现：能量必定供

给激光激活物质,并以此放出能量(光,参见公式 1.1)。为了对我们的物质进行抽运,就需要机械装置。这种机械装置主要是与材料有关,它与各种类型的激光器一起将在第 1.6 节中进行论述。为了说明抽运、激活物质(光放大器)和谐振腔之间的关系,图 1.1 画出了一台激光器原理示意图。

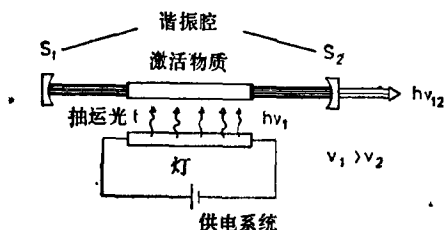


图 1.1 一台光激励的激光器示意图。它是由抽运光源及供电系统、激活物质和带两块反射镜的谐振腔组成。其中一块反射镜几乎是全反射的,另一块反射镜则是用来作光的输出耦合

在这个例子中是光抽运。与许多别的人类“发明”不同,激光不是建立在利用自然界中进行着的一个过程基础上的,而它是人类发明所给出的一个真正产物。在自然界中本没有激光。爱因斯坦于 1917 年创立了受激发射的理论基础。科普费尔曼和拉登堡曾在 1928 年首次以实验证实了此理论。1954 年,汤斯论述了第一台微波激光器(Maser, 这里的 M 是指微波)。1960 年,梅曼及其同事终于实现了第一台激光器。这是一台红宝石激光器。正如我们可以在第 1.2 节中看到的那样,它完全是一台非典型的激光器。过了几年之后,出现了可以在各种不同波长中工作的激光器。图 1.2 给出了这样的印象。

在这里,光的概念不是限制在可见光谱这个很小的范围之内。目前工作的激光仪器之波长是在 1 毫米 (10^{-3} 米) 与

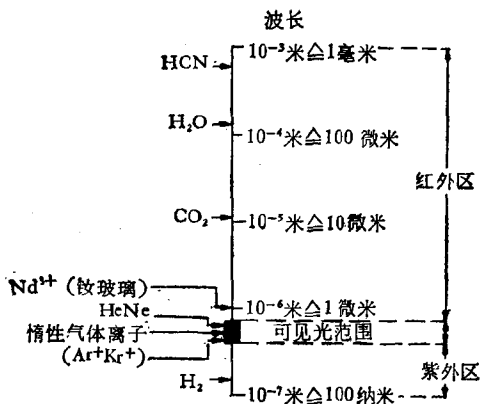


图 1.2 激光器可应用的光谱范围一览表。给出了一些典型物质的波长。许多物质能够发射出不同波长的激光谱线。在这种情况下,可以通过谐振腔的调整来选择这一种波长或那一种波长

100 毫微米 (10^{-7} 米) 之间。激光原理的一个长处正是在于许多原则上可用的不同波长。因为不同的应用要求不同的波长, 对此, 我们在以后还要讲到。

为了接着研究在光谱谐振腔中光波的振荡, 在下一节里我们将论述光与物质之间的相互作用。我们深信, 同样的基本的机械作用能够解释激光的作用原理, 不管激光器是发射 1 毫瓦连续功率还是发射 1 千兆瓦脉冲峰值功率, 也不管它是以 1 毫米的波长还是以 100 毫微米的波长进行工作。

1.2 在激活物质中的光放大

能量激励状态取决于原子核、原子、分子等等的特性, 能量激励状态的存在是与物质的结构具有不可分割的联系。如果以氢原子作为例子的话, 那么由于库仑吸引而靠近质子的

电子不仅能够处于基态，而且也能处于比基态离原子核更远的一系列激励状态。在这种激励状态中，电子具有较高的势能。最基本的物理定律表示：每个系统总是企图回到势能最小的平衡状态中。因此，在绝对零点上的氢原子，它既不能自行跃迁到激励状态，也不可能维持这种状态，而是在经过有限的时间之后又跃迁到低势能的状态，我们把这段有限的时间称为激励状态的寿命 τ 。

对于电子层和对于原子核来说，各个原子或离子具有激励状态（因此也具有能级系统）。它们的相应能量是有很大差别的。原子核能量是相当大的（ γ 射线），但现在对激光过程我们不提它。

在分子、液体和固体中，原子是互相振动的。在分子中，原子还能围绕着分子连接轴线旋转。每个振动或旋转都需要一定的能量。不管能级系统是源于电子的、振动的，还是源于旋转的（也可能是源于混合形式的），我们都能观察到电磁辐射与任意那一种系统之间的相互作用。由此而推导出的结论一般都是适用的。

现在我们开始来讨论一个两能级的系统，参见图 1.3。能级 1 和 2 不应是衰减，而是无限清楚的，并具有能量 E_1 和 E_2 。为明了起见，我们在下面均提电子，所以也就不会使一般适用的说法受到限制。在能态 1 和 2 中，分别有 n_1 和 n_2 个电子。在热平衡情况下，关系式 $\frac{n_2}{n_1}$ （电子层电子数比值）是由玻耳兹曼分布给出的：

$$n_2/n_1 = \exp(-\Delta E/kT) \quad (1.2)$$

在这里， $\Delta E = E_2 - E_1$

如果能量密度为 I 、频率为 $\nu_{12} = \frac{\Delta E}{h}$ 的电磁波碰到一