

现代物理基础丛书

40

# 激光光谱学

(原书第四版)

## 第2卷：实验技术

[德] 沃尔夫冈·戴姆特瑞德 著  
姬 扬 译



科学出版社

现代物理基础丛书 40

# 激光光谱学

(原书第四版)

## 第2卷：实验技术

[德] 沃尔夫冈·戴姆特瑞德 著  
姬 扬 译

科学出版社

北 京

图字: 01-2011-6660

## 内 容 简 介

本书是 W. Demtröder 教授撰写的两卷本激光光谱学教科书的第 2 卷。这套教科书共分两卷,全面地介绍了激光光谱学的基本原理和实验技术,详尽描述了激光光谱学当前研究的全貌。作者多年从事激光光谱学的研究工作,对学科前沿动态了如指掌。全书的文笔简练、叙述翔实,更配有大量插图和实例,是一本非常优秀的教科书。

第 2 卷介绍了激光光谱学的实验技术、最新进展以及多种应用范例。以理论介绍和实例说明相结合的形式,详细地说明了多普勒限制的激光吸收谱和激光荧光谱(第 1 章)、非线性光谱学(第 2 章)、激光拉曼光谱学(第 3 章)、分子束的激光光谱学(第 4 章)、光学泵浦和双共振技术(第 5 章)、时间分辨的激光光谱学(第 6 章)、相干光谱学(第 7 章)和碰撞过程的激光光谱学(第 8 章),然后更专门讲述了激光光谱学领域的最新进展如激光冷却、玻色-爱因斯坦凝聚和光梳技术等(第 9 章),最后用实例介绍了激光光谱学在材料表征、化学分析、环境监测以及健康医疗方面的应用(第 10 章)。这些内容都是第 1 卷介绍的激光光谱学基本原理的具体应用。

本书可供物理系或光学工程系的高年级本科生和研究生使用;利用激光光谱技术开展研究工作的科研人员,包括物理学、化学和生物学领域的研究人员,光学工程、精密测量、环境监测甚至医药研究等领域中的工作人员也能够从本书中发现有用的实验方法和技术。

Translation from the English language edition:

*Laser Spectroscopy. Vol.2: Experimental Techniques* by Wolfgang Demtröder. Copyright©2008. 2003, 1996, 1981 Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Springer-Verlag Berlin Heidelberg is part of Springer Science+Business Media. All rights reserved

## 图书在版编目(CIP)数据

激光光谱学:原书第四版.第 2 卷,实验技术/(德)戴姆特瑞德(Demtröder, W.)著;姬扬译. —北京:科学出版社,2012

(现代物理基础丛书/杨国桢主编;40)

ISBN 978-7-03-033612-5

I. ①激… II. ①戴… ②姬… III. ①激光光谱学-实验技术 IV. ①O433.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 027524 号

责任编辑:钱 俊 鲁永芳/责任校对:朱光兰

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏立印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012 年 3 月第 一 版 开本: B5 (720 × 1000)

2012 年 3 月第一次印刷 印张: 38 1/2

字数: 743 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 译者的话

激光诞生于五十多年以前。随着激光的发明,各种新概念、新原理和新技术层出不穷,激光在基础科学研究和实际应用领域中的发展也是日新月异。只需要最简单的几个例子就可以说明激光的重要性:在基础研究方面,1997年、2001年和2005年的诺贝尔物理学奖分别授予激光研究领域的三组共九位科学家,分别表彰他们在激光冷却、玻色-爱因斯坦凝聚以及光的量子理论和光梳技术方面的贡献;在应用方面,激光光谱学正在物理研究、材料表征、化学分析、环境监测以及健康医疗方面大显身手,甚至辽阔的太空也正在见识它的本领——“嫦娥计划”中的月球地貌探测仅仅是激光光谱学的一个简单应用实例而已。

德国戴姆特瑞德教授(W. Demtröder)撰写的这本激光光谱学教科书,分为两卷,全面地介绍了激光光谱学的基本原理和实验技术,详尽地描述了激光光谱学当前研究的全貌。

本书历史悠久而又屡次增修,均由施普林格公司(Springer-Verlag)出版。1977年出版了德文版(*Grundlagen und Techniken der Laserspektroskopie*);1981年出版了英文版(*Laser Spectroscopy Basic Concepts and Instrumentations*);1996年和2003年出版了英文版的第二版和第三版;2008年出版英文第四版的时候,由于篇幅的原因,本书被拆分为两卷,分别讨论基本原理和实验技术(*Laser Spectroscopy Vol. 1: Basic Principles* 和 *Vol. 2: Experimental Techniques*)。2008年,世界图书出版公司获得施普林格公司授权,在中国大陆地区影印发行英文版第三版。

国内很早就有了本书的译本,但是,由于年代久远以及版权方面的原因,现在已经很难找到了。1980年,科学出版社出版了黄潮根据德文版翻译的《激光光谱学的基础和技术》,该书的序言是在1978年10月完成的,表明翻译工作是在德文原著刚刚出版之后就开始了。1989年,科学出版社出版了严光耀、沈珊雄和夏慧荣根据英文第一版翻译的《激光光谱学:基本概念和仪器手段》。在过去二十多年中,国内学者也编著了一些关于激光光谱学的图书,大多都在一定程度上参考了这本著作。

由于工作关系,我对于激光光谱学一直很感兴趣,但是直到2008年才接触到这本书。通读一遍之后,感觉受益良多,2009年夏末秋初,决定用业余时间翻译这本书,原因大致如下:一方面觉得激光光谱学非常重要,对自己的研究工作有很大的启发价值,希望认真地学习一下;另一方面自己刚刚翻译完了一本书,兴犹未尽,自以为余勇可贾。现在看来,这个举动有些过于轻率冒昧,不免有头脑发热而

一时冲动之嫌。实际上,在第三稿出来之前,我都不敢去调查一下是不是已经有过译本了,生怕自己泄气。在翻译过程中,时有鸡肋之感,屡兴投笔之意,但总算坚持下来了。侥幸的是,在全书翻译完了之后,我发现以前的译本已经无法跟上激光光谱学飞速发展的步伐,而且现在国内也有了英文第三版的影印本,许多人都觉得无需什么中文译本了,大约没有什么人再去做这种费力不讨好的事情了。回顾本书的翻译过程,当然感慨良多,但是,“此中有真意,欲辩已忘言”,正如托尔金在《魔戒》中所言,“历史往往就是这样:小人物不得不挺身而出,因为伟人们正在忙于他顾”。虽然我已经为本书的翻译工作投入了大量的时间和精力,但是限于个人能力,疏漏之处在所难免,请读者谅解。如有翻译不当之处,请多加指正,来信请寄 [jiyang@semi.ac.cn](mailto:jiyang@semi.ac.cn)。

感谢半导体超晶格国家重点实验室和中国科学院半导体研究所多年来的支持,感谢国家自然科学基金委员会、中国科学院和国家科学技术部的支持。感谢国家科学技术部对本书翻译出版工作的支持。我也感谢全家人多年来的鼓励和帮助,特别是妻女对我假翻译图书之名而行逃避家务之举所表现出来的无尽体谅和巨大耐心。

无论从科研教学还是实际应用的角度来看,这本译著都值得借鉴,衷心希望它的出版能够有助于我国激光光谱学研究领域的发展。

姬 扬

2011 年 8 月 25 日

## 第 2 卷序言 \*

《激光光谱学》第 2 卷讲述了各种不同的实验技术，它们用于探测微小浓度的原子或分子、没有多普勒效应的光谱、激光拉曼光谱、双共振技术、多光子光谱和时间分辨光谱。在这些领域中，新技术的发展和实验仪器的改进非常引人注目。许多新思想使得光谱工作者能够攻克以前不能解决的问题。例如，用频率梳直接测量光波的绝对频率和相位，或者用可见光区域的飞秒激光的高次谐波来获得阿秒区域的时间精度。飞秒非线性光学参量放大器的发展已经显著地提高了激发态分子中高速动力学过程的测量水平，对于眼内视网膜中的视觉过程或叶绿素分子中的光合作用的详细研究来说，它已经是必不可少的工具。

特别是，激光光谱学在化学、生物医药学以及在解决技术问题的应用方面，发展非常迅猛。最后一章中的几个例子可以说明这一点。

为了学习第 2 卷的一些章节，需要了解一些光谱技术或仪器的基本知识。因此，在讨论激光光谱学基础知识的时候，就会提到第 1 卷的内容。

在每章结尾处都附有一些习题，这有助于检查学生对相应章节主题的理解程度。解答部分在本书结尾处。

我感谢施普林格出版社的 Dr. Th. Schneider，感谢他的耐心和鼓励；我感谢 LE-TeX 公司的 Mrs. St. Hohensee，感谢她在排版和印刷方面的工作。有许多人指出了上一版中的错误和可能的改进方式，从而提高了新版的质量，我非常感谢他们。许多同事允许我使用他们的研究工作中的图表，我非常感谢。

敬请读者提出改进本教材的建议，我将非常感谢。

Wolfgang Demtröder

Kaiserslautern

2008 年 3 月

---

\* 译者注：本序言为原作者在本书第 2 卷前特意添加。

## 第四版序言

自 1960 年第一台激光器诞生以来,已经将近五十年了,激光光谱学不仅仍然是一个热门的研究领域,而且还扩展到其他许多科学、医药和技术领域,获得了引人瞩目的进展,得到了越来越多的应用。激光光谱学的重要性及其得到的广泛认同,可以用下述事实来证明:在过去的十年里,诺贝尔物理学奖有三次授给激光光谱学和量子光学领域的九位科学家。

这种健康的发展部分地基于新实验技术,例如,改善了已有的激光器,发明了新型的激光器,研制了飞秒区域的光学参量振荡器和放大器,产生了阿秒脉冲,用光学频率梳实现了测量绝对光学频率和相位的革命,发展了不同的方法产生原子和分子的玻色-爱因斯坦凝聚体,验证了原子激光是光学激光的粒子等价物。

这些技术进步在化学、生物学、医药学、大气研究、材料科学、测量学、光学通讯网络和其他许多工业领域得到了大量的应用。

即使仅仅介绍这些新发展中的一部分成果,这本书也会变得太厚了。因此,我决定将本书分为两卷。第 1 卷讲述激光光谱学的基础知识,即基本光谱物理学、光学仪器和技术。此外还简短地介绍了激光物理学,并且讨论了光学共振腔的作用以及实现可调谐窄带激光器的技术,这些都是激光光谱学的主要工具。介绍了不同类型的可调谐激光器,实际上更新和扩充了第三版中前六章的内容。为了提高本书作为教材对于学生的价值,第 1 卷增加了一些习题并在末尾给出了解答。第 2 卷讨论的是激光光谱学的各种技术。与第三版相比,增添了许多新进展,尽量让读者能够紧跟当前激光光谱学的发展步伐。

我感谢所有为本书的新版本做出了贡献的人们。施普林格出版社的 Dr. Th. Schneider 总是支持我,在我不能按期完成时总是充满耐心。LE-TeX 公司的 Claudia Rau 负责排版,许多同事允许我使用他们研究工作的图表。一些读者给我指出了错误或者提出了可能的改进方案。我非常感谢他们。

我希望这个新版本将会和以前的几个版本一样得到大家的认可,希望它能够增进大家对激光光谱学这一引人入胜的领域的兴趣。如发现任何错误或提出改进的建议,请不吝指正。我将尽快地回答问题。

Wolfgang Demtröder

Kaiserslautern

2008 年 4 月

## 第三版序言

激光光谱学继续在快速地发展和扩张。自本书的上一版出版以来，出现了许多的新想法，建立发展了许多基于老想法的新技术。因此，为了跟上这些发展，有必要在第三版中将一些新技术包括进来。

首先，改进了外共振腔中的倍频技术，研制了更为可靠的大输出功率的连续参量振荡器，发展了可调谐的窄带紫外光源，它们拓展了相干光源在分子光谱学中的应用。此外，实现了用于分析低分子浓度或测量弱跃迁（如分子中的谐波跃迁）的新型灵敏探测技术。例如，共振腔环路衰减光谱学可以用极高的灵敏度测量绝对吸收系数，特殊的调制技术能够探测的最小吸收系数达到了  $10^{-14}\text{cm}^{-1}$ ！

可调谐飞秒和亚飞秒激光器方面的发展更是令人印象深刻，经过放大之后，它们能够产生足够大的输出功率，可以用来产生高次谐波，其波长达到了 X 射线范围，脉冲宽度则在阿秒范围。用液晶阵列控制脉冲形状，可以相干地控制原子和分子的激发，在条件合适的情况下，利用这些经过整形的脉冲，可以影响和控制化学反应。

在测量学领域内，连续锁模飞秒激光器产生的频率梳的应用是一个巨大的进步。现在可以将铯原子钟的微波频率与光学频率进行直接比较，使用稳频激光在光学频率范围内进行频率测量的稳定性和绝对精度都远远超过了铯原子钟。这种频率梳也可以让两个独立的飞秒激光器同步。

原子和分子的激光冷却以及玻色-爱因斯坦凝聚体的许多实验有了飞速的发展，得到了引人瞩目的结果，极大地增进了我们对微观尺度上光与物质相互作用以及极低温下原子间相互作用的认识。相干物质波（原子激光）的实现以及物质波之间的干涉效应的研究已经证明了量子力学的一些基本要素。

激光光谱学的最大进展是在化学和生物学中的应用，以及作为诊断和治疗工具在医药学中的应用。此外，在解决技术问题方面，例如表面的检查、样品的纯度检验或者化学组分分析，激光光谱学都提供了新技术。

虽然有了很多的新进展，但是，在介绍激光光谱学的基本要素、解释基本技术的时候，新版本并没有什么改变。上面提到的新发展和新文献被添加进来，但不幸的是，篇幅显著增加了。因为这本教科书面对的是本领域的初学者以及对激光光谱学的某些特殊方面非常熟悉但想概要地了解整个领域的研究人员，所以我并不想改变教科书的一般写法。

许多读者指出了上一版中的错误，提出了改进的建议。我向他们表示感谢。如



果能够对新版本提出类似的建议，我将不胜感谢。

许多同事允许我使用他们的研究结果和图表，我非常感谢他们。感谢 Dr. H. Becker 和 T. Wilbourn 认真地阅读了手稿，感谢施普林格出版社的 Dr. H. J. Koelsch 和 C.-D. Bachem 在编辑过程中给予的有益帮助，感谢 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 的 Jelonek、Schmidt 和 Vöckler 在植字和排版中的帮助。负责以前几个版本的 Dr. H. Lotsch 为新版本提供了他的计算机文件，我非常感谢。最后，感谢我的夫人 Harriet，为了让我得到充足的时间来写作这个新版本，她付出了巨大的努力。

Wolfgang Demtröder

Kaiserslautern

2002 年 4 月

## 第二版序言

在本书第一版出版以后的 14 年间，激光光谱学领域有了显著的扩张，出现了许多新的光谱技术。时间分辨率已经达到了飞秒尺度，而激光的稳定度达到了毫赫兹的量级。

激光光谱学在物理学、化学、生物学和医药学中的各种应用，以及它在解决技术和环境问题方面的贡献更是引人注目。因此，有必要发行更新版来介绍一部分新进展。虽然新版本坚持了第一版中的理念，但是增加了一些新的光谱技术，如光热光谱学和速度调制光谱学。

整整一章用来介绍时间分辨光谱学，包括超短光脉冲的产生和探测。相干光谱学的原理已经获得了广泛的应用，有专门的一章来介绍它。将激光光谱学和碰撞物理学结合起来，为研究和控制化学反应提供了新的推动力，它也有专门的一章。此外还用了很多篇幅介绍原子和离子的光学冷却和陷俘。

我希望新版本能够像第一版那样受欢迎。当然，教科书永远不会完美无缺，总是可以改进的。因此，如果发现错误或者有任何关于改正和改进的建议，请不吝指教。如果本书有助于激光光谱学的教学，能够将过去 30 年间我在这一领域中进行研究所经历的一些快乐传递出去，我将非常高兴。

许多人帮助我完成了这个新版本。许多朋友和同事提供了工作成果的抽印本和图表，我非常感谢他们。感谢我组里的研究生，他们提供了许多用于说明各种技术的例子。Mrs. Wollscheid 绘制了许多图片，Mrs. Heider 输入了部分修正内容。特别感谢施普林格出版社的 Helmut Lotsch，他为本书付出了辛苦的工作，在我不能按时完成的时候，他表现出了极大的耐心。

最后，感谢我的夫人 Harriet，对于家庭损失的许多周末时间，她给予了充分的理解，帮助我获得了充足的时间来写作这本书的扩充版。

Wolfgang Demtröder  
Kaiserslautern  
1995 年 6 月

# 第一版序言

激光对光谱学的影响非常重要。激光是非常强的光源，它的谱能量密度要比其他非相干光源高好几个数量级。此外，因为它的带宽很窄，单模激光的谱分辨本领远远超过传统的光谱仪。在激光出现之前，因为其他光源强度不够高或者分辨率不够好，许多实验都不能做，现在都可以用激光来做了。

现在已经有了成千上万条激光谱线，它们覆盖了从真空紫外区到远红外区的整个光谱范围。特别有趣的是连续可调谐激光器，在许多情况下可以用它替代选择波长的器件，例如光谱仪或干涉仪。与光学混频技术结合起来，这种连续可调谐的单色相干光源几乎可以提供任何大于 100nm 的波长。

激光的高强度和单色性产生了一类新的光谱技术，可以更为详细地研究原子和分子的结构。激光为光谱学工作者提供了各种新的实验可能性，激励他们在此领域开展富有活力的研究工作，雪崩般出现的大量出版物证明了这一点。激光光谱学的近期进展可以参见各种激光光谱学会议的会议论文集 (*Springer Series in Optical Sciences*)，皮秒现象的会议论文集 (*Springer Series in Chemical Physics*) 以及关于激光光谱学的单行本 (*Topics in Applied Physics*)。

然而，对于普通人或者本领域的初学者来说，通常很难从散见于多种期刊的大量文章中找到关于激光光谱学原理的连贯介绍。在前沿的研究论文和基本原理与实验技术的基本表述之间有着一条鸿沟，本书就是为了缩小这一差距。它面向的是想要更为仔细地研究激光光谱学的物理和化学工作者。对原子和分子物理学、电动力学以及光学有所了解的学生，应该能够跟得上。

因为已经有了很多非常好的教科书，所以，对于激光的基本原理，本书只进行了简单的介绍。

另一方面，本书详细介绍了对于光谱学应用非常重要的那些激光特性，例如，不同类型激光器的频谱、线宽、振幅和频率的稳定性、可调节性和调节范围，广泛地讨论了许多光学元件和光谱学实验仪器，例如，反射镜、棱镜和光栅、单色仪、干涉仪和光探测器等。为了成功地开展一个实验，必须了解现代光谱仪器的详细知识。

每章都举例说明讨论的主题。每章末尾的习题可以检验读者的理解程度。虽然各章引用的文献还远谈不上齐备，但是应当可以激起读者进一步研究的兴趣。对于许多主题，本书仅仅是简要地介绍了一下，更多的细节以及更为深入地处理可以参见文献。文献的选择并非为了说明优先权，仅仅是为了教学的目的，是为了更加深

入地说明各章的主题。

本书介绍的激光在光谱学中的应用仅仅限于自由的原子、分子或离子的光谱学。当然，它在等离子体物理学、固体物理学或者流体力学中也有着广泛的应用，但是它们超出了本书的范围，所以不予讨论。希望这本书会对学生和研究人员有所帮助。虽然本书旨在介绍激光光谱学，但是也有助于理解关于激光光谱学特殊问题的高深文章。因为激光光谱学是一个非常引人入胜的研究领域，如果本书能够将我在实验室中寻找新线索、发现新结果的过程中所体会到的激动和快乐之情传递给读者的话，我将会非常高兴。

有许多人帮助我完成了这本书，我感谢他们。特别是我的研究小组里的学生，他们的实验工作提供了许多示例，他们花费了很多时间来阅读清样。许多同事为我提供了他们论文中的图表，我非常感谢他们。特别感谢 Mrs. Keck 和 Mrs. Ofiara，她们输入了手稿，感谢 Mrs. Wollscheid 和 Mrs. Ullmer，她们绘制了图片。最后，我要感谢 Dr. U. Hebgen、Dr. H. Lotsch、Mr. K.-H. Winter 以及施普林格出版社的其他同事，面对着一个力争在短时间内完成这本书但有些拖拉的作者，他们表现出了巨大的耐心。

Wolfgang Demtröder

Kaiserslautern

1981 年 3 月

# 目 录

译者的话

第 2 卷序言

第四版序言

第三版序言

第二版序言

第一版序言

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 第 1 章 多普勒限制的激光吸收谱和激光荧光谱 .....    | 1  |
| 1.1 在光谱学中使用激光的优点 .....           | 1  |
| 1.2 吸收光谱学的高灵敏方法 .....            | 4  |
| 1.2.1 频率调制 .....                 | 5  |
| 1.2.2 共振腔内的激光吸收光谱学 (ICLAS) ..... | 11 |
| 1.2.3 共振腔环路衰减光谱学 .....           | 18 |
| 1.3 直接测量被吸收的光子 .....             | 23 |
| 1.3.1 荧光激发光谱学 .....              | 23 |
| 1.3.2 光声光谱学 .....                | 27 |
| 1.3.3 光热光谱学 .....                | 31 |
| 1.4 电离光谱学 .....                  | 35 |
| 1.4.1 基本技术 .....                 | 35 |
| 1.4.2 电离光谱的灵敏度 .....             | 37 |
| 1.4.3 脉冲激光和连续激光引起的光电离过程 .....    | 38 |
| 1.4.4 共振双光子电离与质谱测量技术相结合 .....    | 40 |
| 1.4.5 热离子二极管 .....               | 41 |
| 1.5 光电流光谱学 .....                 | 42 |
| 1.6 速度调制光谱学 .....                | 45 |
| 1.7 激光磁共振和斯塔克光谱学 .....           | 46 |
| 1.7.1 激光磁共振 .....                | 47 |
| 1.7.2 斯塔克光谱学 .....               | 49 |
| 1.8 激光诱导荧光 .....                 | 50 |
| 1.8.1 利用激光诱导荧光的分子光谱学 .....       | 51 |
| 1.8.2 激光诱导荧光的实验特点 .....          | 53 |

|              |                     |            |
|--------------|---------------------|------------|
| 1.8.3        | 多原子分子的激光诱导荧光        | 55         |
| 1.8.4        | 利用激光诱导荧光谱确定粒子数分布    | 56         |
| 1.9          | 不同方法的比较             | 59         |
| 1.10         | 习题                  | 62         |
| <b>第 2 章</b> | <b>非线性光谱学</b>       | <b>65</b>  |
| 2.1          | 线性吸收和非线性吸收          | 65         |
| 2.2          | 非均匀展宽谱线的饱和          | 72         |
| 2.2.1        | 烧孔                  | 72         |
| 2.2.2        | 兰姆凹坑                | 76         |
| 2.3          | 饱和光谱学               | 79         |
| 2.3.1        | 实验装置                | 79         |
| 2.3.2        | 交叉信号                | 83         |
| 2.3.3        | 共振腔内的饱和光谱学          | 84         |
| 2.3.4        | 用兰姆凹坑稳定激光的频率        | 87         |
| 2.4          | 偏振光谱学               | 89         |
| 2.4.1        | 基本原理                | 89         |
| 2.4.2        | 偏振信号的谱线线形           | 90         |
| 2.4.3        | 偏振信号的幅度             | 95         |
| 2.4.4        | 偏振光谱学的灵敏度           | 97         |
| 2.4.5        | 偏振光谱学的优点            | 100        |
| 2.5          | 多光子光谱学              | 100        |
| 2.5.1        | 双光子吸收               | 100        |
| 2.5.2        | 没有多普勒效应的多光子光谱学      | 103        |
| 2.5.3        | 聚焦对双光子信号幅度的影响       | 106        |
| 2.5.4        | 没有多普勒效应的双光子光谱学的一些例子 | 107        |
| 2.5.5        | 多光子光谱学              | 109        |
| 2.6          | 非线性光谱学的特殊技术         | 112        |
| 2.6.1        | 饱和干涉光谱学             | 112        |
| 2.6.2        | 没有多普勒效应的激光诱导二色性和双折射 | 114        |
| 2.6.3        | 外差偏振光谱学             | 116        |
| 2.6.4        | 不同非线性技术的组合          | 116        |
| 2.7          | 结论                  | 118        |
| 2.8          | 习题                  | 118        |
| <b>第 3 章</b> | <b>激光拉曼光谱学</b>      | <b>120</b> |
| 3.1          | 基本知识                | 120        |

|       |                            |     |
|-------|----------------------------|-----|
| 3.2   | 线性激光拉曼光谱学的实验技术             | 124 |
| 3.3   | 非线性拉曼光谱学                   | 129 |
| 3.3.1 | 受激拉曼散射                     | 130 |
| 3.3.2 | 相干反斯托克斯拉曼光谱学               | 135 |
| 3.3.3 | 共振 CARS 和 BOX CARS         | 138 |
| 3.3.4 | 超拉曼效应                      | 140 |
| 3.3.5 | 非线性拉曼光谱学的小结                | 141 |
| 3.4   | 特殊技术                       | 142 |
| 3.4.1 | 共振拉曼效应                     | 142 |
| 3.4.2 | 表面增强的拉曼散射                  | 142 |
| 3.4.3 | 拉曼显微术                      | 143 |
| 3.4.4 | 时间分辨拉曼光谱学                  | 144 |
| 3.5   | 激光拉曼光谱学的应用                 | 144 |
| 3.6   | 习题                         | 146 |
| 第 4 章 | 分子束的激光光谱学                  | 147 |
| 4.1   | 缩减多普勒宽度                    | 147 |
| 4.2   | 超声分子束的绝热冷却                 | 154 |
| 4.3   | 冷分子束中的团簇和范德瓦耳斯分子的形成以及它们的光谱 | 161 |
| 4.4   | 分子束的非线性光谱学                 | 166 |
| 4.5   | 快离子束中的激光光谱学                | 168 |
| 4.6   | 快离子束激光光谱学的应用               | 170 |
| 4.6.1 | 放射性元素的光谱                   | 170 |
| 4.6.2 | 分子离子的光致碎裂谱                 | 171 |
| 4.6.3 | 激光光致脱离光谱学                  | 173 |
| 4.6.4 | 高速分子束的饱和光谱学                | 173 |
| 4.7   | 冷离子束中的光谱学                  | 174 |
| 4.8   | 分子束激光光谱学和质谱学的结合            | 175 |
| 4.9   | 习题                         | 177 |
| 第 5 章 | 光学泵浦和双共振技术                 | 179 |
| 5.1   | 光学泵浦                       | 180 |
| 5.2   | 光学-射频双共振技术                 | 184 |
| 5.2.1 | 基本考虑                       | 185 |
| 5.2.2 | 分子束中的激光-射频双共振光谱学           | 187 |
| 5.3   | 光学-微波双共振                   | 190 |
| 5.4   | 光学-光学双共振                   | 193 |

|              |                       |            |
|--------------|-----------------------|------------|
| 5.4.1        | 复杂吸收谱的简化              | 194        |
| 5.4.2        | 阶梯式激发和里德伯态的光谱         | 198        |
| 5.4.3        | 受激发射泵浦                | 206        |
| 5.5          | 双共振光谱学的特殊探测模式         | 208        |
| 5.5.1        | 光学—光学双共振偏振光谱学         | 208        |
| 5.5.2        | 偏振标记                  | 211        |
| 5.5.3        | 微波—光学双共振偏振光谱          | 212        |
| 5.5.4        | 烧孔和离子凹坑的双共振光谱         | 213        |
| 5.5.5        | 三重共振光谱学               | 214        |
| 5.5.6        | 光结合光谱                 | 215        |
| 5.6          | 习题                    | 216        |
| <b>第 6 章</b> | <b>时间分辨的激光光谱学</b>     | <b>217</b> |
| 6.1          | 激光短脉冲的产生              | 217        |
| 6.1.1        | 脉冲激光的时域波形             | 218        |
| 6.1.2        | Q-开关激光                | 219        |
| 6.1.3        | 腔倒空                   | 221        |
| 6.1.4        | 激光的模式锁定               | 223        |
| 6.1.5        | 飞秒脉冲的产生               | 232        |
| 6.1.6        | 光脉冲压缩                 | 237        |
| 6.1.7        | 利用啁啾激光镜获得小于 10fs 的光脉冲 | 241        |
| 6.1.8        | 光纤激光器和光学孤立子           | 243        |
| 6.1.9        | 波长可调的超短脉冲             | 247        |
| 6.1.10       | 超短光脉冲的整形              | 251        |
| 6.1.11       | 高功率超短激光脉冲的产生          | 252        |
| 6.1.12       | 通向阿秒区                 | 258        |
| 6.1.13       | 产生短脉冲的小结              | 261        |
| 6.2          | 超短脉冲的测量               | 261        |
| 6.2.1        | 条纹相机                  | 262        |
| 6.2.2        | 用于测量超短脉冲的光学关联器        | 263        |
| 6.2.3        | 光学栅极开关技术              | 272        |
| 6.2.4        | 直接场重构的谱相位干涉技术         | 274        |
| 6.3          | 用激光测量寿命               | 276        |
| 6.3.1        | 相移方法                  | 278        |
| 6.3.2        | 单脉冲激发                 | 279        |
| 6.3.3        | 延时符合技术                | 281        |



|       |                        |     |
|-------|------------------------|-----|
| 6.3.4 | 快分子束中的寿命测量             | 282 |
| 6.4   | 皮秒到阿秒范围的光谱学            | 285 |
| 6.4.1 | 液体中碰撞弛豫过程的泵浦/探测光谱      | 287 |
| 6.4.2 | 半导体中的电子弛豫过程            | 288 |
| 6.4.3 | 飞秒跃迁态动力学               | 288 |
| 6.4.4 | 分子振动的实时观测              | 290 |
| 6.4.5 | 原子内壳层过程的阿秒光谱学          | 291 |
| 6.4.6 | 瞬态光栅技术                 | 292 |
| 6.5   | 习题                     | 294 |
| 第 7 章 | 相干光谱学                  | 295 |
| 7.1   | 能级交叉光谱学                | 296 |
| 7.1.1 | 汉勒效应的经典模型              | 297 |
| 7.1.2 | 量子力学模型                 | 300 |
| 7.1.3 | 实验装置                   | 302 |
| 7.1.4 | 例子                     | 303 |
| 7.1.5 | 受激的能级交叉光谱学             | 304 |
| 7.2   | 量子拍光谱                  | 306 |
| 7.2.1 | 基本原理                   | 307 |
| 7.2.2 | 实验技术                   | 308 |
| 7.2.3 | 分子量子拍光谱学               | 311 |
| 7.3   | 受激拉曼绝热传递技术             | 313 |
| 7.4   | 激发和探测原子和分子中的波包         | 314 |
| 7.5   | 光学脉冲序列的干涉光谱学           | 317 |
| 7.6   | 光子回声                   | 319 |
| 7.7   | 光学章动和自由感应衰减            | 325 |
| 7.8   | 外差光谱学                  | 326 |
| 7.9   | 关联光谱学                  | 328 |
| 7.9.1 | 基本考虑                   | 328 |
| 7.9.2 | 零差光谱学                  | 332 |
| 7.9.3 | 外差关联光谱学                | 334 |
| 7.9.4 | 荧光关联光谱学和单分子探测          | 336 |
| 7.10  | 习题                     | 338 |
| 第 8 章 | 碰撞过程的激光光谱学             | 339 |
| 8.1   | 碰撞谱线展宽和谱线位移的高分辨率的激光光谱学 | 340 |
| 8.1.1 | 碰撞过程的亚多普勒光谱学           | 340 |