



中国科学院研究生教学丛书



现代高分子物理学(上册)

殷敬华 莫志深 主编

科学出版社

中国科学院研究生教学丛书

现代高分子物理学

(上册)

殷敬华 莫志深 主编

科学出版社

2001

中国科学院研究生教学丛书

现代高分子物理学

(下 册)

殷敬华 莫志深 主编

科学出版社

2001

内 容 简 介

本书为中国科学院研究生教学丛书之一。

本书全面介绍高分子物理的主要发展领域和现代高分子物理的主要研究方法及手段。全书共二十六章,分上、下两册出版。本书为上册,主要介绍高分子物理的主要研究领域,包括高分子链结构和聚集态结构、高分子的形态学、晶态结构和液晶态、高分子杂化材料、导电高分子和生物降解高分子结构特点和应用、高聚物共混体系的界面与增容及统计热力学、高聚物的物理和化学改性等。下册主要介绍现代高分子物理的主要研究方法和手段,包括原子力显微镜、X射线衍射、质谱学基础、电子显微镜、热分析、表面能谱、顺磁共振、电子自旋共振波谱、振动光谱和光学显微镜等的基本原理及其在高聚物研究中的应用。各章既有基础理论、基本原理深入浅出的介绍,也有翔实的应用实例。

本书可作为高等院校和研究院所攻读高分子科学硕士和博士学位研究生的教学用书,也可供从事高分子科学研究和高分子材料生产的研究人员、工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代高分子物理学(上、下册)/殷敬华,莫志深主编. —北京:科学出版社, 2001

(中国科学院研究生教学丛书)

ISBN 7-03-008372-5

I. 现… II. ①殷…②莫… III. 高聚物物理学 IV. O631

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 07146 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2001 年 3 月第一次印刷 印张:26 1/2

印数:1—4 000 字数:603 000

定价:120.00 元(上、下册)

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

《中国科学院研究生教学丛书》总编委员会名单

主 任 白春礼

副主任 余翔林 师昌绪 杨 乐 汪尔康 沈允钢
黄荣辉 叶朝辉

委 员 朱清时 叶大年 王 水 施蕴渝 冯克勤
冯玉琳 洪友士 王东进 龚 立 吕晓澎
林 鹏

《中国科学院研究生教学丛书》化学学科编委会成员名单

主 编 汪尔康

副主编 朱清时

编 委 蒋耀忠 庞文琴 袁倬斌 张玉奎 于德泉

《现代高分子物理学》

编 委 会

主 编 殷敬华 莫志深

编 委 (以姓氏笔画为序)

王宏达	王献红	甘志华	任 卉
闫东航	闫寿科	刘子阳	刘志强
刘景江	刘淑莹	安立佳	朱诚身
李 壮	李兴林	何素芹	杨 军
杨宇明	杨德才	张志英	张宏放
张建国	周子南	周恩乐	胡汉杰
姜炳政	唐 涛	莫志深	殷敬华
姬相玲	曾广赋	蒋世春	谢红卫
詹瑞云	蔡玉臣	薄淑琴	

《中国科学院研究生教学丛书》序

在 21 世纪曙光初露,中国科技、教育面临重大改革和蓬勃发展之际,《中国科学院研究生教学丛书》——这套凝聚了中国科学院新老科学家、研究生导师们多年心血的研究生教材面世了.相信这套丛书的出版,会在一定程度上缓解研究生教材不足的困难,对提高研究生教育质量起着积极的推动作用.

21 世纪将是科学技术日新月异,迅猛发展的新世纪,科学技术将成为经济发展的最重要的资源和不竭的动力,成为经济和社会发展的首要推动力量.世界各国之间综合国力的竞争,实质上是科技实力的竞争.而一个国家科技实力的决定因素是它所拥有的科技人才的数量和质量.我国要想在 21 世纪顺利地实施“科教兴国”和“可持续发展”战略,实现邓小平同志规划的第三步战略目标——把我国建设成中等发达国家,关键在于培养造就一支数量宏大、素质优良、结构合理、有能力参与国际竞争与合作的科技大军.这是摆在我国高等教育面前的一项十分繁重而光荣的战略任务.

中国科学院作为我国自然科学与高新技术的综合研究与发展中心,在建院之初就明确了出成果出人才并举的办院宗旨,长期坚持走科研与教育相结合的道路,发挥了高级科技专家多、科研条件好、科研水平高的优势,结合科研工作,积极培养研究生;在出成果的同时,为国家培养了数以万计的研究生.当前,中国科学院正在按照江泽民同志关于中国科学院要努力建设好“三个基地”的指示,在建设具有国际先进水平的科学研究基地和促进高新技术产业发展基地的同时,加强研究生教育,努力建设好高级人才培养基地,在肩负起发展我国科学技术及促进高新技术产业发展重任的同时,为国家源源不断地培养输送大批高级科技人才.

质量是研究生教育的生命,全面提高研究生培养质量是当前我国研究生教育的首要任务.研究生教材建设是提高研究生培养质量的一项重要基础性工作.由于各种原因,目前我国研究生教材的建设滞后于研究生教育的发展.为了改变这种情况,中国科学院组织了一批在科学前沿工作,同时又具有相当教学经验的科学家撰写研究生教材,并以专项资金资助优秀的研究生教材的出版.希望通过数年努力,出版一套面向 21 世纪科技发展、体现中国科学院特色的高水平的研究生教学丛书.本丛书内容力求具有科学性、系统性和基础性,同时也兼顾前沿性,使阅读者不仅能获得相关学科的比较系统的科学基础知识,也能被引导进入当代科学研究的前沿.这套研究生教学丛书,不仅适合于在校研究生学习使用,也可以作为高校教师和专业研究人员工作和学习的参考书.

“桃李不言,下自成蹊。”我相信,通过中国科学院一批科学家的辛勤耕耘,《中国科学院研究生教学丛书》将成为我国研究生教育园地的一丛鲜花,也将似润物春雨,滋养莘莘学子的心田,把他们引向科学的殿堂,不仅为科学院,也为全国研究生教育的发展作出重要贡献。

饶阳祥

前 言

《现代高分子物理学》是一部面向攻读高分子物理、高分子化学、高分子材料、高分子加工及其他相关专业硕士和博士学位研究生的专业课教材。本书是以1978年以来各位作者在中国科学院长春应用化学研究所开设的硕士、博士研究生高分子专业课讲义及其在各自领域科研成果为基础,并吸纳国外最新相关专著的内容,经修改、整理和扩充而汇集而成的一部专著。主要内容设置依据为:读者经过大学阶段的学习,已掌握了高分子物理的基本概念、基本知识和实验方法,在一般大学教科书中已讲述的内容本书不再重复。

本书根据内容分成上下两册出版。上册为高分子物理的主要研究领域,包括高分子的链结构和聚集态结构、高分子的形态学、高分子的晶态结构、高分子的液晶态、高分子杂化材料、导电高分子的化学与物理、生物降解高分子、高聚物共混体系的界面与增容、高分子及其混合体系的统计热力学、高聚物的物理改性、热塑性聚合物的反应加工等。下册为现代高分子物理的主要研究方法和手段,主要内容有原子力显微镜、X射线衍射在聚合物中的应用、有机质谱学基础、电子显微镜在聚合物形态结构研究中的应用、热分析在高聚物中的应用、高聚物的断裂行为及其研究方法、表面分析能谱、核磁共振在分子科学中的应用、电子自旋共振波谱及其在高聚物中的应用、振动光谱、质谱新技术及其在分子科学中的应用以及光学显微镜在聚合物材料研究中的应用等等。

课程安排约为120学时。通过以上课程的学习,使攻读硕士和博士学位的研究生打下扎实的高分子物理专业的理论基础,掌握高分子物理研究的实验方法和手段,学会如何做研究工作,同时对本学科的研究现状、发展趋势、热点和难点有一定的了解。

本书可用作高等院校和科研院所攻读高分子科学硕士和博士学位研究生的教学用书,对从事高分子科研和生产的科技人员和工程技术人员也是一本有价值的参考书。

如上所述,本书系为了满足培养高分子专业研究生的需要而编写的教材。教学工作是一项不断继承和发展的事业,是集体劳动的结晶。在此谨向帮助和支持该项工作的、在中科院长春应用化学研究所长期从事高分子物理科研和教学的前辈和同事们表示衷心的感谢。本书得以出版承蒙中国科学院教育局研究生处和中国科学院长春应用化学研究所研究生部的热情鼓励及大力支持,编者谨表示诚挚谢意。

值得说明的是,根据国家标准,“原子量”应改为“相对原子质量”,“分子量”应改为“相对分子质量”,“数均分子量”应改为“数均摩尔质量”,考虑到本书不仅是一本研究生教材,更被众多的科研和工程人员阅读,所以仍使用习惯用法,特此说明,请读者注意。

限于作者学识水平,本书虽涉及众多领域,但仍不能对现代高分子物理学作完整的概括,缺点和错误在所难免,敬请读者不吝指正。

编 者

2000年3月于中国科学院长春应用化学研究所
高分子物理与化学国家重点实验室

目 录

《中国科学院研究生教学丛书》序	路甬祥(i)
前言	(iii)

上 册

第一章 高分子的分子结构	(1)
§ 1.1 构造	(2)
§ 1.1.1 高分子单体、单体单元和键接结构	(2)
§ 1.1.2 基于过程的高分子	(5)
§ 1.1.3 基于结构的高分子	(6)
§ 1.1.4 一、二和三维大分子	(6)
§ 1.1.5 支化和交联高分子	(10)
§ 1.2 构型	(13)
§ 1.2.1 高分子异构体	(13)
§ 1.2.2 几何异构体	(14)
§ 1.2.3 旋光异构体(链节中含一个 C*)	(14)
§ 1.2.4 旋光异构体(链节中含一个以上 C*)	(18)
§ 1.2.5 无规立构高聚物	(20)
§ 1.3 构象	(20)
§ 1.3.1 微构象和宏构象	(21)
§ 1.3.2 晶体中高分子链的宏构象	(23)
§ 1.3.3 熔体和溶液中高分子链的宏构象	(23)
参考文献	(24)
第二章 晶态高聚物结构	(26)
§ 2.1 高分子结晶特点	(26)
§ 2.1.1 晶胞由链段组成	(26)
§ 2.1.2 折叠链	(27)
§ 2.1.3 高分子晶体的晶胞结构重复单元	(27)
§ 2.1.4 结晶不完善	(27)
§ 2.1.5 结构的复杂性及多重性	(27)
§ 2.2 高分子结晶过程及晶态结构模型	(27)
§ 2.3 高聚物结晶结构的研究	(32)
§ 2.3.1 高分子构筑	(32)
§ 2.3.2 晶体结构	(32)
§ 2.3.3 超分子结构	(33)

§ 2.4 晶态高分子链的基本堆砌·····	(33)
§ 2.4.1 构象·····	(33)
§ 2.4.2 螺旋链符号·····	(34)
§ 2.4.3 晶态高分子链的基本堆砌·····	(34)
§ 2.4.4 某些典型聚合物的晶体结构·····	(38)
参考文献·····	(55)
第三章 聚合物的形态结构 ·····	(57)
§ 3.1 结晶聚合物的形态结构·····	(57)
§ 3.1.1 结晶聚合物的结构模型·····	(57)
§ 3.1.2 结晶聚合物的形态·····	(59)
§ 3.2 非晶态高聚物的结构·····	(80)
§ 3.2.1 引言·····	(80)
§ 3.2.2 无规线团结构模型及证据·····	(83)
§ 3.2.3 局部有序模型及证据·····	(88)
参考文献·····	(96)
第四章 高分子结晶过程——聚合物加工成型过程结晶动力学 ·····	(101)
§ 4.1 高分子结晶过程的一般描述·····	(101)
§ 4.2 聚合物结晶动力学·····	(102)
§ 4.2.1 等温结晶动力学·····	(102)
§ 4.2.2 非等温结晶动力学·····	(108)
§ 4.3 聚合物/聚合物共混体系结晶动力学·····	(114)
§ 4.4 测量技术·····	(117)
§ 4.4.1 差示扫描量热法(DSC)·····	(117)
§ 4.4.2 热台偏光显微镜(HSPOM)·····	(118)
§ 4.4.3 解偏振光强度法·····	(119)
§ 4.4.4 膨胀计法·····	(119)
§ 4.5 聚合物结晶动力学研究中的某些问题·····	(120)
§ 4.5.1 聚合物结晶活化能·····	(120)
§ 4.5.2 成核生长方式的判断·····	(122)
§ 4.5.3 成核分类·····	(122)
§ 4.5.4 聚合物结晶能力·····	(123)
参考文献·····	(124)
第五章 高分子链的远程结构及研究方法 ·····	(126)
§ 5.1 高分子的大小及表征参数·····	(126)
§ 5.1.1 高分子的大小·····	(126)
§ 5.1.2 聚合度·····	(127)
§ 5.1.3 高聚物的统计平均分子量·····	(127)
§ 5.2 平均分子量的测定·····	(129)
§ 5.2.1 质谱法测定高分子的分子量·····	(130)

§ 5.2.2 体积排除色谱	(132)
§ 5.3 高分子链的尺寸及研究方法	(134)
§ 5.3.1 均方末端距及几何计算	(135)
§ 5.3.2 均方旋转半径及与其他尺寸参数间关系	(137)
§ 5.3.3 光散射方法	(138)
§ 5.4 高分子链的形状及散射函数表征方法	(144)
§ 5.4.1 线团状分子	(145)
§ 5.4.2 线团分子的排斥体积	(145)
§ 5.4.3 蠕虫状链	(147)
§ 5.4.4 基本粒子形状的散射函数 $P(\theta)$	(148)
§ 5.5 表征高分子链柔性的参数及实验测定	(150)
§ 5.5.1 表征高分子链柔性的参数	(150)
§ 5.5.2 链柔性参数的实验测定	(151)
参考文献	(153)
第六章 聚合物附生结晶	(155)
§ 6.1 引言	(155)
§ 6.2 聚合物附生结晶的基本研究手段	(156)
§ 6.2.1 光学显微镜	(156)
§ 6.2.2 X射线衍射	(156)
§ 6.2.3 电子显微镜和电子衍射	(156)
§ 6.3 取向聚合物基底的制备和附生聚合物的沉积方法	(157)
§ 6.3.1 取向基底的制备方法	(157)
§ 6.3.2 附生聚合物的沉积方法	(159)
§ 6.4 聚合物在无机化合物基底上的附生结晶	(159)
§ 6.5 聚合物在有机化合物基底上的附生结晶	(161)
§ 6.6 聚合物在聚合物基底上的附生结晶	(162)
§ 6.6.1 聚合物均相附生结晶	(162)
§ 6.6.2 聚合物异相附生结晶	(164)
§ 6.6.3 聚合物拟态附生结晶	(178)
§ 6.7 聚合物附生结晶对材料力学性能的影响	(181)
参考文献	(182)
第七章 热塑性聚合物的反应挤出	(186)
§ 7.1 反应挤出设备	(186)
§ 7.1.1 单螺杆挤出机	(186)
§ 7.1.2 双螺杆挤出机	(187)
§ 7.1.3 挤出机的长度和自由体积	(192)
§ 7.1.4 物料在挤出机中的停留时间	(193)
§ 7.1.5 反应型挤出机的温度控制	(195)
§ 7.2 反应类型	(198)

§ 7.2.1 本体聚合	(198)
§ 7.2.2 降解反应	(199)
§ 7.2.3 交联反应	(200)
§ 7.2.4 接枝反应	(201)
§ 7.2.5 反应共混	(203)
参考文献	(206)
第八章 高聚物的增韧改性	(209)
§ 8.1 一般概念	(209)
§ 8.2 聚苯乙烯的釜中增韧	(211)
§ 8.3 塑料增韧的几个模型	(214)
§ 8.3.1 温度对橡胶粒子体积膨胀的影响	(214)
§ 8.3.2 Mertz 的微裂纹理论和多重银纹理论	(214)
§ 8.3.3 剪切屈服理论	(216)
§ 8.3.4 剪切带和银纹共存理论	(217)
§ 8.3.5 空穴化理论	(217)
§ 8.3.6 逾渗理论	(218)
§ 8.3.7 橡胶增韧塑料理论的最新进展	(219)
§ 8.4 高抗冲聚苯乙烯的改性和增韧机理	(222)
§ 8.4.1 BR、SBR 和 SBS 对 HIPS 断裂韧性的影响	(222)
§ 8.4.2 仪器化冲击仪研究 HIPS/SBS 的断裂机理	(227)
§ 8.4.3 SEBS/HIPS/PS 三元共混体系的冲击性能	(229)
§ 8.4.4 HIPS 的增韧机理	(230)
§ 8.4.5 HIPS 中粒子尺寸的影响	(231)
§ 8.5 有限元分析	(233)
§ 8.5.1 有限元法基本原理	(233)
§ 8.5.2 有限单元法在研究高分子增韧机理中的应用	(235)
§ 8.5.3 孤立橡胶粒子周围的应力分析	(236)
§ 8.5.4 界面性能的影响	(237)
§ 8.5.5 粒子尺寸的影响	(239)
§ 8.6 影响增韧塑料形变的因素	(240)
参考文献	(243)
第九章 聚合物共混体系的界面与增容	(245)
§ 9.1 前言	(245)
§ 9.1.1 聚合物共混体系的基本问题	(245)
§ 9.1.2 聚合物共混体系增容作用的物理本质	(247)
§ 9.1.3 增容剂在共混物中的分布	(247)
§ 9.1.4 聚合物共混体系增容作用与界面的研究方法	(247)
§ 9.2 微相分离型增容剂结构参数及浓度对其界面行为和胶束行为的影响	(249)

§ 9.2.1 增容剂结构参数对其界面行为的影响	(249)
§ 9.2.2 增容剂浓度对其界面行为的影响	(255)
§ 9.2.3 增容剂结构参数对其胶束行为的影响	(259)
§ 9.2.4 接枝共聚物型增容剂	(261)
§ 9.3 增容剂对共混物界面状况与结晶性能的影响	(263)
§ 9.3.1 增容剂对共混物界面层的作用	(263)
§ 9.3.2 增容剂对不相容高聚物界面的增强机理	(266)
§ 9.3.3 含结晶性聚合物共混物的增容作用	(269)
§ 9.4 均相型增容剂的增容作用	(270)
§ 9.4.1 均聚物型增容剂	(270)
§ 9.4.2 无规共聚物型增容剂	(271)
§ 9.4.3 可反应性增容剂	(274)
§ 9.5 共混物相形态与增容作用	(276)
参考文献	(277)
第十章 有机高分子/无机物纳米杂化材料	(282)
§ 10.1 无机材料、有机高分子材料及生物物质的特点	(282)
§ 10.2 无机物纳米微粒的结构特性	(282)
§ 10.3 制备手段	(283)
§ 10.4 无机、有机物纳米杂化的基本原理	(285)
§ 10.5 杂化类型	(285)
§ 10.5.1 分子间小分子杂化	(285)
§ 10.5.2 分子内自杂化	(286)
§ 10.5.3 大分子混合杂化	(286)
§ 10.5.4 大分子间反应杂化	(287)
§ 10.5.5 预聚体杂化	(288)
§ 10.5.6 嵌段共聚物杂化	(288)
§ 10.6 杂化材料的表征	(288)
§ 10.6.1 跟踪反应过程	(289)
§ 10.6.2 结构表征	(290)
§ 10.7 结构型杂化材料	(292)
§ 10.7.1 加入少量一种组分改善力学性能	(292)
§ 10.7.2 可调节的性能	(292)
§ 10.8 功能型杂化材料	(293)
§ 10.8.1 荧光材料	(293)
§ 10.8.2 非线性光学材料	(293)
§ 10.8.3 电致发光材料	(294)
§ 10.8.4 生物材料	(294)
§ 10.8.5 其他材料	(294)
§ 10.9 应用和前景	(294)

参考文献	(295)
第十一章 导电高分子的化学与物理	(298)
§ 11.1 导电高分子的化学	(299)
§ 11.1.1 导电高分子的合成化学	(299)
§ 11.1.2 本征型导电高分子的典型合成方法	(300)
§ 11.2 本征型导电高分子的载流子	(306)
§ 11.3 本征型导电高分子的掺杂及掺杂态结构	(310)
§ 11.3.1 导电高分子的氧化还原掺杂	(311)
§ 11.3.2 质子酸掺杂	(312)
§ 11.3.3 自掺杂	(314)
§ 11.3.4 二次掺杂	(315)
§ 11.3.5 典型导电高分子的掺杂态结构	(315)
§ 11.4 本征型导电高分子的导电机制	(316)
§ 11.5 本征型导电高分子的高次结构	(317)
§ 11.6 导电高分子的溶液性质	(318)
§ 11.6.1 本征态导电高分子的溶液行为	(318)
§ 11.6.2 掺杂态聚苯胺的溶液行为	(319)
§ 11.7 导电高分子的热学行为	(320)
§ 11.7.1 导电高分子的热稳定性	(320)
§ 11.7.2 导电高分子的导热性质	(320)
§ 11.8 导电高分子的应用	(321)
§ 11.8.1 导电高分子的氧化还原性能与应用	(321)
§ 11.8.2 导电高分子的电学性能及应用	(323)
§ 11.8.3 导电高分子的掺杂反掺杂性能及应用	(324)
§ 11.8.4 其他应用	(324)
§ 11.9 导电高分子领域存在的问题及可能的解决方法	(324)
参考文献	(326)
第十二章 液晶态和高分子液晶	(328)
§ 12.1 引言	(328)
§ 12.2 液晶态	(328)
§ 12.2.1 基本的液晶基元	(330)
§ 12.2.2 液晶的热力学性质	(330)
§ 12.2.3 液晶光学性质和织构	(331)
§ 12.2.4 液晶相分类	(333)
§ 12.3 高分子液晶	(338)
§ 12.3.1 液晶基元高分子化	(338)
§ 12.3.2 液晶高分子网络化	(342)
§ 12.3.3 聚合物分散液晶	(343)
§ 12.3.4 聚合物稳化液晶	(343)

§ 12.4 液晶显示技术简介·····	(344)
参考文献·····	(345)
第十三章 高分子及其混合体系的统计热力学·····	(346)
§ 13.1 Flory-Huggins 格子模型理论·····	(346)
§ 13.1.1 引言·····	(346)
§ 13.1.2 Flory-Huggins 格子模型概述·····	(346)
§ 13.1.3 Flory-Huggins 格子模型理论的应用与发展·····	(348)
§ 13.2 状态方程理论·····	(359)
§ 13.2.1 引言·····	(359)
§ 13.2.2 Flory-Orwoll-Vrij(FOV)理论·····	(360)
§ 13.2.3 Sanchez-Lacombe(SL)理论·····	(364)
§ 13.2.4 状态方程理论在 高分子混合体系中的应用·····	(371)
参考文献·····	(379)
第十四章 生物降解高分子的结构特点及其应用·····	(382)
§ 14.1 天然生物降解高分子·····	(382)
§ 14.1.1 淀粉·····	(383)
§ 14.1.2 纤维素·····	(384)
§ 14.2 微生物聚酯·····	(385)
§ 14.2.1 P3HB 的微生物合成·····	(385)
§ 14.2.2 微生物共聚酯的合成·····	(387)
§ 14.2.3 微生物聚酯的性质·····	(387)
§ 14.2.4 微生物聚酯的生物降解性·····	(388)
§ 14.2.5 微生物聚酯的应用·····	(388)
§ 14.3 化学合成型生物降解高分子·····	(389)
§ 14.3.1 聚羟基乙酸(PGA)、聚乳酸(PLA)及其共聚物(PGLA)·····	(389)
§ 14.3.2 聚(ϵ -己内酯)(PCL)·····	(393)
§ 14.3.3 聚原酸酯[Poly(ortho ester)]和聚羧酸酐[Poly(anhydride)]·····	(395)
§ 14.4 结束语·····	(403)
参考文献·····	(403)

目 录

下 册

第十五章 原子力显微镜	(409)
§ 15.1 原子力显微镜原理.....	(409)
§ 15.1.1 检测系统	(410)
§ 15.1.2 扫描系统	(411)
§ 15.1.3 反馈控制系统	(412)
§ 15.2 原子力显微镜基本成像模式.....	(414)
§ 15.2.1 接触成像模式	(414)
§ 15.2.2 非接触成像模式.....	(415)
§ 15.2.3 敲击成像模式	(415)
§ 15.2.4 升降成像模式	(416)
§ 15.3 原子力显微镜的分辨率.....	(416)
§ 15.4 原子力显微镜作为表面分析工具——力学曲线.....	(418)
§ 15.5 原子力显微镜工作环境	(420)
§ 15.6 与 AFM 相关的显微镜及技术	(420)
§ 15.6.1 侧向力显微镜	(420)
§ 15.6.2 磁力显微镜	(421)
§ 15.6.3 静电力显微镜	(422)
§ 15.6.4 化学力显微镜	(422)
§ 15.6.5 力调制显微镜	(423)
§ 15.6.6 相检测显微镜	(423)
§ 15.6.7 纳米压痕技术	(424)
§ 15.6.8 纳米加工技术	(425)
§ 15.7 AFM 假象	(425)
§ 15.8 AFM 的一些应用	(427)
§ 15.8.1 AFM 在分子领域的应用	(427)
§ 15.8.2 AFM 在生物大分子中的应用	(430)
参考文献.....	(432)
第十六章 X 射线衍射在聚合物中的应用	(433)
§ 16.1 X 射线性质.....	(433)
§ 16.1.1 X 射线产生及其性质	(433)
§ 16.1.2 X 射线谱	(434)
§ 16.1.3 X 射线吸收	(436)