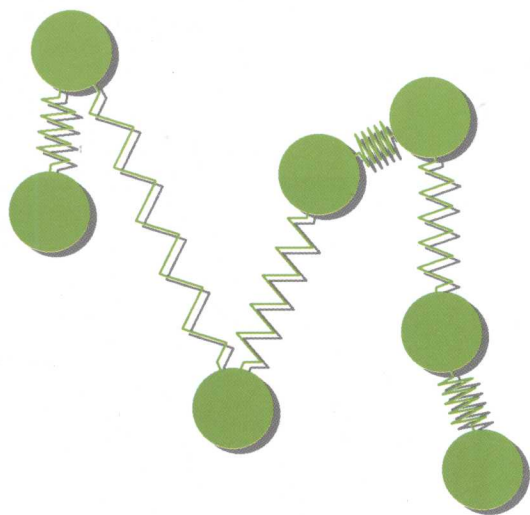


高分子物理学

——理解其结构和性质的基本概念

〔德〕G. 斯特罗伯 著

胡文兵 蒋世春 门永锋 王笃金 译



“十一五”国家重点图书出版规划项目
现代化学基础丛书 15

高分子物理学

——理解其结构和性质的基本概念

科学出版社

北京

图字:01-2008-1068 号

内 容 简 介

高分子物理学是高分子科学的一个关键组成部分。本书以系列讲座的形式介绍了这一材料科学中的重要分支领域,主要着力于基本概念而不是实验技术和理论方法。本书以一个实验科学家多年的研究视角由浅入深地对高分子物理学研究领域中的的一些基本概念作了较为生动而详细的介绍,内容涵盖从链构象、高分子溶液、共混物和嵌段共聚物以及半晶态的结构,到力学和介电响应、导电高分子、微观动力学、非线性力学以及变形屈服和断裂等性能。高分子科学研究中常用的散射实验(原理到应用)也在本书附录中作了介绍。

本书可作为化学化工、材料科学和物理学等领域的本科生和研究生相关课程的教材和参考书,也可供有关领域的专家、学者阅读参考。

Translation from the English language edition:

The Physics of Polymers by Gert Strobl

Copyright © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007

All Rights Reserved

该翻译版由 Springer 出版公司授权,仅限在中华人民共和国销售,不得出口。

图书在版编目(CIP)数据

高分子物理学:理解其结构和性质的基本概念/(德)G. 斯特罗伯著;胡文兵等译. —北京:科学出版社, 2009

(现代化学基础丛书;15/朱清时主编)

ISBN 978-7-03-022441-5

I. 高… II. ①斯… ②胡… III. 高聚物物理学 IV. O631

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 098999 号

责任编辑:袁 琦/责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

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>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年4月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2009年4月第一次印刷 印张: 25 1/2

印数: 1—2 500 字数: 485 000

定价: 60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

《现代化学基础丛书》编委会

主 编 朱清时

副主编 (以姓氏拼音为序)

江元生 林国强 佟振合 汪尔康

编 委 (以姓氏拼音为序)

包信和 陈凯先 冯守华 郭庆祥

韩布兴 黄乃正 黎乐民 吴新涛

习 复 杨芑原 赵新生 郑兰荪

卓仁禧

《现代化学基础丛书》序

如果把牛顿发表“自然哲学的数学原理”的 1687 年作为近代科学的诞生日,仅 300 多年中,知识以正反馈效应快速增长;知识产生更多的知识,力量导致更大的力量。特别是 20 世纪的科学技术对自然界的改造特别强劲,发展的速度空前迅速。

在科学技术的各个领域,化学与人类的日常生活关系最为密切,对人类社会发展产生的影响也特别巨大。从合成 DDT 开始的化学农药和从合成氨开始的化学肥料,把农业生产推到了前所未有的高度,以致人们把 20 世纪称为“化学农业时代”。不断发明出的种类繁多的化学材料极大地改善了人类的生活,使材料科学成为了 20 世纪的一个主流科技领域。化学家们对在分子层次上的物质结构和“态-态化学”、单分子化学等基元化学过程的认识也随着可利用的技术工具的迅速增多而快速深入。

也应看到,化学虽然创造了大量人类需要的新物质,但是在许多场合中却未有效地利用资源,而且产生了大量排放物造成严重的环境污染。以至于目前有不少人把化学化工与环境污染联系在一起。

在 21 世纪开始之时,化学正在两个方向上迅速发展。一是在 20 世纪迅速发展在惯性驱动下继续沿各个有强大生命力的方向发展;二是全方位的“绿色化”,即使整个化学从“粗放型”向“集约型”转变,既满足人们的需求,又维持生态平衡和保护环境。

为了在一定程度上帮助读者熟悉现代化学一些重要领域的现状,科学出版社组织编辑出版了这套《现代化学基础丛书》。丛书以无机化学、分析化学、物理化学、有机化学和高分子化学五个二级学科为主,介绍这些学科领域目前发展的重点和热点,并兼顾学科覆盖的全面性。丛书计划为有关的科技人员、教育工作者和高等院校研究生、高年级学生提供一套较高水平的读物,希望能为化学在新世纪的发展起积极的推动作用。

生活+

中文版序

这本高分子物理教科书中文版的问世使我感到非常欣慰。十几年来我一直定期参加在中国举行的高分子物理国际研讨会。高分子物理是一个飞速发展的研究领域,在这个材料科学的重要领域,我见证了中国同事的成就。在很多大学中,高分子物理已经成为培养化学、物理及工程学院中高分子专业学生的重要课程。对于年轻的学生而言,如果能有一本母语的教科书伴随着国际流行的英语文献的使用,那将会特别有帮助。我本人从去年在位于成都的四川大学所举办的两个星期的讲习班上也体会到了这一点。为讲习班准备的中文讲稿显然使得学生更加容易理解所讲的内容。本书的翻译工作主要由胡文兵教授、门永锋教授和蒋世春博士承担。他们非常适合承担此项工作——他们三人都是国际上小有影响的科学家,并且他们作为博士研究生或博士后都在弗赖堡工作过,同时他们也参与了本书中收录的部分成果的研究工作。我对他们的努力表示衷心的感谢,并祝愿这本高分子物理学的中文版取得成功。

斯特罗伯

2008年1月于弗赖堡

中文版序(原文)

Das Erscheinen einer chinesischen Ausgabe meines Polymerphysik-Lehrbuches erfüllt mich mit Freude. Seit mehr als zehn Jahren erlebe ich als regelmäßiger Teilnehmer an den "Polymer Physics" Tagungen in China die schnell wachsenden Forschungsaktivitäten und sehe die Erfolge der chinesischen Kollegen in diesem wichtigen Gebiet der Materialwissenschaften. An zahlreichen Universitäten im Land ist die Polymerphysik zu einem wichtigen Teil der Ausbildung von Studenten der Polymerwissenschaften in den Fakultäten für Chemie, Physik und Ingenieurwesen geworden. Insbesondere für jüngere Studierende ist es dabei sicher hilfreich, neben der international verbreiteten englischsprachigen Literatur auch ein Lehrbuch in der Landessprache benutzen zu können. Ich konnte dies im letzten Jahr während eines zweiwöchigen Kurses an der "Sichuan University" in Chengdu auch selbst feststellen. Das zur Verfügung gestellte Manuskript in chinesischer Sprache erleichterte offensichtlich den Zugang zum Verständnis. Die Übersetzung meines Buches wurde von Prof. Hu Wenbing, Prof. Men Yongfeng und Dr. Jiang Shichun vorgenommen. Die Arbeit war hier in besten Händen-alle drei sind international renommierte Wissenschaftler, und sie waren bei ihren Aufenthalten als Doktorand oder Postdoktorand in Freiburg auch an Arbeiten beteiligt, deren Ergebnisse in das Buch aufgenommen wurden. Ich bin ihnen für ihr Engagement außerordentlich dankbar und wünsche der chinesischen Fassung der "Physics of Polymers" nun viel Erfolg.

Freiburg, Januar 2008



译者前言

高分子物理学是高分子科学的一个重要组成部分。随着石油化工业和高分子材料工业及相关产业的发展,近年来高分子物理科学取得了长足的发展,因此,高分子物理学基础教材也需要得到及时的更新。众所周知,越是贴近科学研究前沿的教材,其陈述就越是应当摆脱经典教科书的口吻。由位于德国弗赖堡的阿尔伯特-路德维希大学物理系的 Strobl 教授撰写的这本高分子物理教材,从一个实验科学家多年的研究视角由浅入深地对高分子物理学研究领域中的一些基本概念作了较为生动而详细的介绍。Strobl 教授是世界著名的高分子物理学家,曾任欧洲物理学会高分子物理分会主席。这本教材以系列讲座的形式介绍了这一高分子科学的重要分支领域,主要着眼于基本概念而不是实验技术和理论方法。本书涵盖从链构象、高分子溶液、共混物和嵌段共聚物以及半晶态的结构,到力学和介电响应、导电高分子、微观动力学、非线性力学以及变形屈服和断裂性能等高分子物理的基本内容。高分子科学研究中常用的小角散射实验也在本书附录中从原理到应用作了较详尽的介绍。本书是作者集三十多年来在高分子物理学研究领域的教学和科研经验之大成,既详细地介绍了本领域的基本概念,又较全面地反映了当前学科发展的前沿,并对一些学术界尚有争议的问题发表了作者个人独到的看法。因此,本书的写作风格与现行的高分子物理学教材有所不同,阅读此书既有利于学习有关高分子物理学的基础知识,又有利于培养从事科学研究的创新性思维,并适合从事本领域学术研究的科技人员作为学术参考书。此书在 1996 年出版第一版时就得到普遍好评,许多欧洲发达国家和美国的国际知名大学均采用此书作为高分子物理学教科书。我们的翻译是基于 2007 年出版的第三版。本书适合化学化工、材料科学和物理学等领域的本科生和研究生作为相关课程的教材和参考书,也可供有关领域的专家学者阅读参考,并适合从事塑料、橡胶和纤维等高分子材料的生产、加工和应用领域的广大科学技术人员作为学习资料参考。我们有理由相信,本书的翻译出版将进一步推动我国高分子科学的发展,符合在 21 世纪前 20 年将我国建设成为一个创新型国家的基本战略目标。

本书的前言、第 1、3、4、5 章由胡文兵翻译,第 6、7、8 章由蒋世春翻译,第 9、10 章和附录由门永锋翻译,第 2 章由王笃金翻译。本书译者也借此机会向长期支持其工作的家属、师长、同事和课题组成员致谢! 特别感谢姜志勇对第 10 章翻译的帮助! 也向大力帮助我们的原著作者 Strobl 教授和科学出版社的袁琦编辑致谢! 由于译者的水平有限,错译、漏译或其他不妥之处在所难免,敬请读者不吝指正。

第三版前言

自第一次印刷此书以来,现在已经过去十年多了。我很高兴地说,这是一次成功的努力。今天在世界各地的图书馆、高分子科学实验室和个人手中可找到几千本此书,包括对中国的特殊版和日语翻译版。此书显然填补了空白。经过这么一段时间以后,该是修改和适当扩展此书内容的时候了。最近几年我继续工作于此目标。新的章节和段落的基础还是在弗赖堡给物理和化学专业学生的讲义,因此,原先写作中的教学风格得以延续。努力的结果展示在这儿,它们包括一些主要的改变:

- 光电活性共轭高分子在过去十年吸引了许多科学家,作为显示材料已经达到了商业化的应用,新写的第7章处理光电响应的物理基础,此外还讨论掺杂产生的共轭高分子惊人的导电性质。

- 聚电解质也显示出很特别的性质,其作为超吸水剂使用而广为大众所了解,许多研究者,包括理论科学家和实验科学家都醉心于库仑力所引起的有序现象,聚电解质的性质在本书不同的章节中讨论,如3.3, 8.4和9.2节。

- 熔体结晶的基本理解作为高分子物理的经典领域在过去十年已经发生了变化。新的实验提供了新的见解。因此,本书第5章重新撰写,挑选一些图来显示新结果,构造新推得的定律,在5.3节也包括还未被普遍接受的“多阶段模型”来解释所有观察到的新结果。

- 第10章也包括一些实质性的变化,同样来自理解的进展。介绍了一些控制半晶高分子剪切变形的原理,由此可构造机械-流变模型(10.1节)。

除了这些导致书的内容增加超过一百页的主要变化以外,还有很多微小的修订和变化,其中许多是对读者评注的反应。在此我很乐意对他们建设性的批评表示深深的谢意。我希望这种批评能继续,因为这意味着真正的帮助。

在撰写新章节时,我得到著名同事 Heinz Bässler 教授(马尔堡), Jürgen Heinze 教授(弗赖堡)和 Manfred Schmidt 教授(美因茨)的建议,在此表达我的谢意。

最后,但也很重要,非常感谢我的秘书 Christina Skorek 的工作,如果没有她最有效地写出 TEX 文件并准备所有的图,所有三版书都将不会成为现实。

Gert Strobl

2006年10月于弗赖堡

第一版前言

我们为本系(译者注:指弗赖堡大学物理系)物理专业的研究生提供的凝聚态物理课程超出了普通固体物理课程,还包括简单液体、液晶和高分子物理。在固体物理方面已有大量的教材可供选择,关于液体和液晶物理学的优秀文集也能见到,但是到目前为止还没有一本水准相当并且涵盖高分子物理学主要内容的书。撰写本书的目的是为了写一本介绍高分子物理学最基本内容的教材,并且希望它能与 Kittel 关于固体物理学、Egelstaff 关于液体物理学以及 de Gennes 关于液晶物理学的著作处在同一水平,本书作为一个尝试来满足这一需要以填补空白。目标固然定得很高,可能在初步尝试中难以达到,但是一旦有了初步的努力并建立了框架结构,其他高分子物理学家在将来就有希望也挑起此重担并做得更好。

对我个人来说,写这样一本教材确实是一种有很高价值的经历。现在这个时代,科学有很强的多元化倾向,我们存在很大的危险与甚至是相邻的分支方向失去接触,同时也失去看见并评估自己工作相关性的能力。学生却有这种敏感性并经常对一个话题的重要性有更好的感觉。作为教师在教学生时,第一重要的总是提供动机并讲清楚某一问题的作用和相关性。确实,对我来说,这需要一个确切的检查以帮助我分辨主要现象和次要作用。随着时间的推移,年长的科学家会变得越来越熟悉复杂的、有时甚至是人造的概念,然而年轻学生第一次面临这样一种解释时,自然的反应是凭直觉区分有洞察力的要领和较少吸引人的复杂思考方式。因此,写一本教材也意味着对高分子物理学当前的状况进行检查。如果有可能紧凑地展示这一领域,在既清晰又引人入胜的要领辅助下令人信服地解释主要性质,这本书就很好地成形了。这是我在讲课时已经得到并在现在的写作中进一步巩固的印象。通过人们对简单液体或液晶的理解能力进行多方面比较之后,说明目前的理解水平相当令人满意。因此,写一本关于高分子物理学综合教材的目标可以达到,我唯一不确定的是自己是否已经成功地证明了这一点。

由于受限于自身的经历,我难以熟悉各章所处理的所有问题。我所处的位置肯定不能避免所有的错误。希望这些错误只是一些小错误。无论如何,我将很感激读者的反映和意见以及指出我处理中的错误之处。M. H. Wagner 教授(斯图加特)和 L. Könczöl 博士(弗赖堡)友情阅读了第 7 章和第 8 章,根据其意见,对一些不正确的结论已经做了修正。这里我再次对他们表示感谢。

即使在学术界我们都使用英语,但对于一个母语非英语的人来说写一本书又是另一回事。正如我不喜欢读一些糟糕的德语,我猜想英美科学家一定会有同感。

对当时还是弗赖堡的博士后 Sandra Gilmour 博士在写作开始时的帮助表示感谢。在手稿完成后,版面编辑又对文稿做了全面修改,但他评论道“句子结构非常具有德语味,使母语读者常感到别扭”。对此我只有希望这一“特点”不会给理解带来困难并希望得到谅解。

两年前的第一版文稿源于课堂讲义,这是本书在写作上有“教学风格”的原因,写作的重点放在了当今已经成功地构建起高分子物理学基本理解的各种概念上。写作集中在主要现象上,包括结构的形成和外力(主要是机械力)作用下的行为。这意味着许多在特定场合下可能很重要的深入研究没有被涉及。因此,本教材不代表一个综合文集,而更应当看作是一个“界面”,突出显示概念间彼此相关性的基础,为进入高分子科学的各个领域提供帮助。在每一章末尾“更进一步阅读”所给出的推荐、插图和附录中提供的文献所选择的工作意味着可以开辟更深入研究的途径。

读者可能会发现一个活跃的研究领域在本书中完全消失了,即聚合物的光学和电学性质。掺杂共轭聚合物的高导电性、聚合物光发射电极的电致萤光、聚偏氟乙烯顺磁及偶电性只是其中的几个例子。这一忽略没有好的原因,只是我不想本书负载具有不同特点的另一个话题,其大多采用已知来自于半导体和低摩尔质量分子物理学的概念。正如已经提到的,此书写作的初衷是为了物理专业学生和第一次希望进入高分子科学研究领域的物理学家,有兴趣的大分子化学家和化学工程师也会发现其有用。理解的前提条件并不特殊,所需要的只是相当于物理化学课程水平的现象学和统计热力学背景以及一些相关的数学知识。

当然,如果此书能找到许多读者,我将很高兴。事实上对于大多数物理学家来说,高分子物理学在很大程度上是未知的,结果很少被包含在凝聚态物质行为的大学课程中。考虑到高分子材料的广泛应用以及所发展起来描述其性质的引人入胜的物理概念,这一现象是很难理解的。因此,本书如果能够帮助拓宽物理学家的普遍知识以更好地理解高分子物理学,为改变现状贡献一份力量,这将是我的愿望。

Gert Strobl

1995年11月于弗赖堡

我们很高兴第一版能够被读者广泛地接受,以至我们不得不在仅仅一年后出版第二版。我们借此机会校正所出现的不可避免的错误。

Gert Strobl

1997年6月于弗赖堡

目 录

丛书序

中文版序

中文版序(原文)

译者前言

第三版前言

第一版前言

第 1 章 链的组成和构造	1
第 2 章 单链构象	12
2.1 旋转异构态	12
2.2 螺旋	15
2.3 线团	17
2.3.1 理想链	20
2.3.2 扩张链	35
2.4 持续链	42
2.5 伊辛链	44
第 3 章 高分子溶液	52
3.1 稀溶液和亚浓溶液	52
3.2 排除体积力的屏蔽	62
3.3 聚电解质溶液	68
3.3.1 电荷的凝聚和屏蔽	68
3.3.2 链伸展、盐效应和链间有序化	73
3.3.3 渗透压	77
第 4 章 高分子共混物和嵌段共聚物	81
4.1 高分子混合物的 Flory-Huggins 处理	81
4.2 相分离机制	94
4.3 临界涨落和旋节线分解	98
4.3.1 临界散射	100
4.3.2 分解动力学	108
4.4 嵌段共聚物相	115
4.4.1 层状结构	117

4.4.2	预转变现象	119
第5章	高分子的半晶状态	125
5.1	结构的表征	126
5.1.1	形态元素	126
5.1.2	结构参数	131
5.2	结晶和熔融动力学	137
5.3	结构发展的定律	145
5.4	次级结晶的机理	156
5.4.1	插入模式	159
5.4.2	表面结晶和熔化	161
5.5	从取向的熔体中结晶	165
第6章	力学和介电响应	170
6.1	响应函数	171
6.1.1	黏弹性	171
6.1.2	取向极化	174
6.1.3	普适关系	175
6.2	松弛模式	180
6.2.1	单时间松弛过程	181
6.2.2	滞后和松弛时间谱	185
6.3	特定松弛过程和流动行为	188
6.3.1	局部过程	189
6.3.2	玻璃态-橡胶态转变和熔体流动	191
6.3.3	玻璃化转变温度	206
6.3.4	部分结晶体系的松弛	212
第7章	共轭高分子	218
7.1	电光活性	220
7.1.1	激发和自由电荷	220
7.1.2	电致发光	225
7.2	掺杂效应	228
7.2.1	电导率	228
7.2.2	磁性和反射率	232
第8章	微观动力学	236
8.1	涨落耗散定理	236
8.2	Rouse 模型	239
8.2.1	应力松弛	245
8.2.2	介电正则模式	249
8.3	高分子熔体的缠结效应	251
8.4	溶液黏度	259

8.4.1	中性高分子:流体动力学作用	259
8.4.2	聚电解质:库仑作用	266
第9章	非线性力学	269
9.1	橡胶弹性	272
9.1.1	理想橡胶的固定连接点模型	274
9.1.2	Cauchy 应变张量	280
9.1.3	Finger 本构方程	283
9.2	中性和电解质凝胶的溶胀	290
9.3	非牛顿熔体的流动	295
9.3.1	流变学材料函数	296
9.3.2	Lodge 液体	301
9.3.3	应力-光学定则	307
第10章	形变、屈服和断裂	315
10.1	半晶高分子的剪切形变	317
10.1.1	临界应变	318
10.1.2	拉伸应力的组成	325
10.1.3	成颈力学	328
10.1.4	纤维状的有序态	332
10.2	银纹	339
10.3	脆性断裂	344
10.3.1	线性断裂力学	346
10.3.2	缓慢裂缝生长模式	348
附录 A	散射实验	353
A.1	基础	353
A.1.1	基本方程	354
A.1.2	时间分辨的散射实验	357
A.2	可见光、X 射线和中子散射实验中的绝对强度	359
A.3	小角散射性质	362
A.3.1	Guinier 定理	362
A.3.2	前向散射	364
A.4	特殊高分子体系	365
A.4.1	二元共混体系和嵌段高分子	365
A.4.2	两相层状体系	371
附录 B	符号集(略)	377
附录 C	参考书籍	377
参考文献		381

第 1 章 链的组成和构造

高分子*，也就是所谓的大分子 (**macromolecules**)，是由大量的分子单元通过共价键连接而构建起来的，它们通常代表由碳原子与氢、氧、氮及卤素等原子组成的有机化合物。在这一章，我们将简要介绍其化学组成和分子几何构造的主要特征，并举例说明如何对此进行描述。

让我们先来看一看具有特别简单结构的聚乙烯 (**polyethylene, PE**)，如图 1.1 所示，构建链的重复单元或单体单元 (**monomeric unit**) 的 CH_2 —(亚甲撑)基团数目决定聚合度 (**degree of polymerization**)，后者被标记为符号 N 。大分子通常从可反应的低摩尔质量的化合物开始由聚合过程得到。“聚乙烯”的名字指该过程通常基于乙烯 (**ethylene**)。作为第二个例子，图 1.2 显示另一种通用高分子的化学组成，即聚苯乙烯 (**polystyrene, PS**)，这里，苯基作为侧基 (**side groups**) 悬挂在 **C—C 主链 (backbone chain)** 上。表 1.1 有选择地给出其他一些常见高分子的重复单元的化学组成和常用的简化形式，从聚丙烯到聚碳酸酯，大多数高分子具有碳原子构造的柔顺主链，但有时主链也有一些杂原子。从聚醚酮到聚酰胺，表中接下来所列的四种高分子是具有刚硬主链的例子。主链不仅仅是碳基，也可以由硅原子组成，同样可杂有其他元素。最后两种材料，聚二甲基硅氧烷和聚四甲基苯撑硅氧烷是相应的例子。

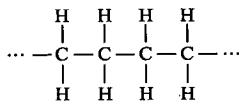
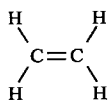


图 1.1 乙烯和聚乙烯

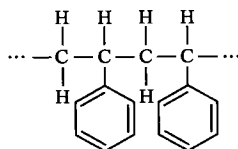


图 1.2 聚苯乙烯

所有以上这些高分子都是电中性的。如果链是带可离子化基团的单体构造而成，即该基团可解离成固定在链上的阳离子或阴离子以及带相反电荷的可移动抗衡离子，就可得到聚电解质 (**polyelectrolyte**)。表 1.2 收集了几个典型的例子，前三个化合物是合成高分子，另两个例子是生物高分子，即纤维素和淀粉取代基离子化的衍生物。

* 也叫聚合物，对应英文 **polymer**。——译者注

表 1.1 一些常见的高分子

结构式	名称
$\left[\text{CH}_2 - \overset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{CH}}} \right]_n$	polypropylene PP
$\left[\text{CH}_2 - \overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3}{ }{\text{C}}} \right]_n$	polyisobutylene PIB
$\left[\text{CH}_2 - \overset{\text{O}}{\parallel}{\underset{\text{CH}_3}{ }{\text{C}}} - \text{O} - \text{CH}_3 \right]_n$	poly(methylmethacrylate) PMMA
$\left[\text{CH}_2 - \overset{\text{O}}{\parallel}{\underset{\text{H}}{ }{\text{C}}} - \text{O} - \text{C} - \text{CH}_3 \right]_n$	poly(vinylacetate) PVAc
$\left[\text{CH}_2 - \overset{\text{O}}{\underset{\text{CH}_3}{ }{\text{CH}}} \right]_n$	poly(vinylmethylether) PVME
$\left[\text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right]_n$	polybutadiene PB
$\left[\overset{\text{C} = \text{CH}}{\underset{\text{CH}_3}{ }} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right]_n$	polyisoprene PI
$\left[\text{CH}_2 - \overset{\text{Cl}}{\underset{\text{H}}{ }{\text{C}}} \right]_n$	poly(vinyl chloride) PVC
$\left[\text{CH}_2 - \overset{\text{Cl}}{\underset{\text{Cl}}{ }{\text{C}}} \right]_n$	poly(vinylidene chloride) PVDC

续表

结构式	名称
$\left[\begin{array}{c} \text{F} \\ \\ \text{CH}_2 - \text{C} \\ \\ \text{F} \end{array} \right]_n$	poly(vinylidene fluoride) PVDF
$\left[\text{CF}_2 - \text{CF}_2 \right]_n$	poly(tetrafluoroethylene) PTFE
$\left[\begin{array}{c} \text{CH} - \text{CH}_2 \\ \\ \text{CN} \end{array} \right]_n$	poly(acrylonitrile) PAN
$\left[\text{O} - \text{CH}_2 \right]_n$	poly(oxymethylene) POM
$\left[\text{O} - (\text{CH}_2)_2 \right]_n$	poly(ethyleneoxide) PEO
$\left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \quad \quad \quad \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{N} - (\text{CH}_2)_6 - \text{N} - \text{C} - (\text{CH}_2)_4 - \text{C} \end{array} \right]_n$	poly(hexamethylene adipamide) nylon 6,6
$\left[\begin{array}{c} \text{O} \quad \quad \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \\ \text{C} - (\text{CH}_2)_5 - \text{N} \end{array} \right]_n$	poly(ϵ -caprolactam) nylon 6
$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2 - \text{C} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_n$	poly(α -methylstyrene)
$\left[\text{O} - \text{C}_6\text{H}_4 \right]_n$	poly(α -phenylene oxide) PPO
$\left[\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} - (\text{CH}_2)_5 - \text{O} \end{array} \right]_n$	poly(ϵ -caprolactone) P ϵ CL