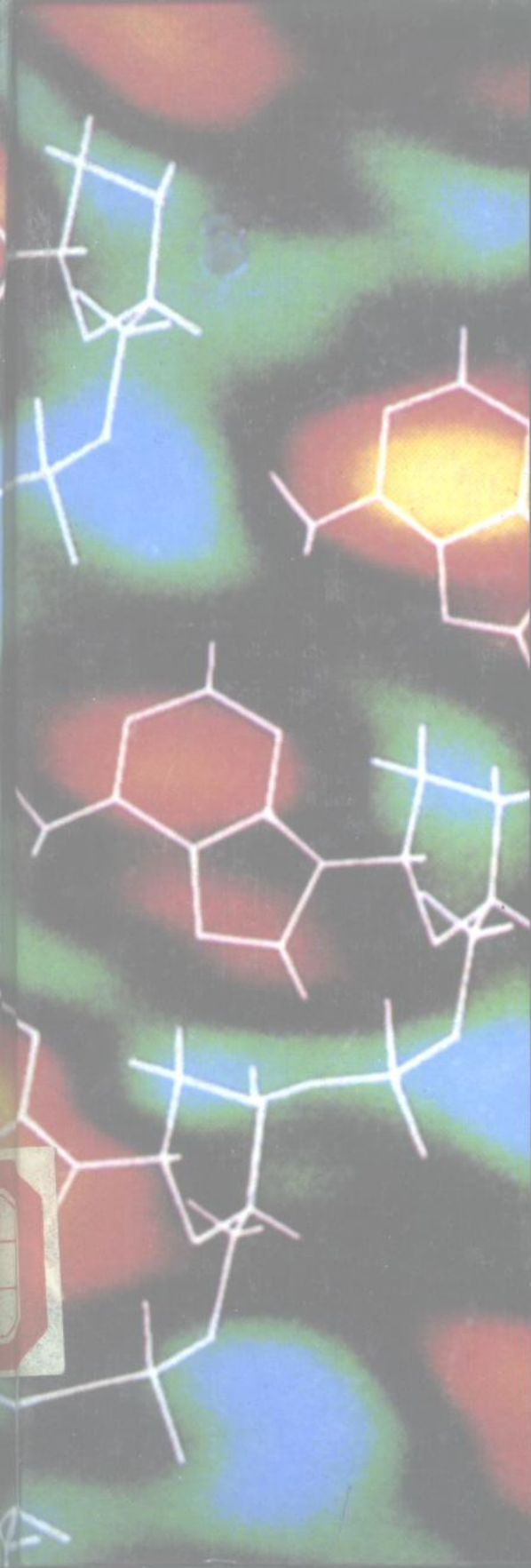


扫描隧道显微术及其应用

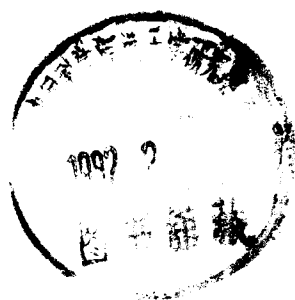
白春礼 编著

上海科学技术出版社



扫描隧道显微术及其应用

白春礼 编著



上海科学技术出版社

9310073

责任编辑 E 微

扫描隧道显微术及其应用

白春礼 编著

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所经销

上海群众印刷厂照排 江苏如东印刷厂印刷

开本 787×1092 1/20 印张 12 插页 8 ·字数 229,000

1992 年 10 月第 1 版 1992 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—1,000

ISBN7-5323-2787-6/O · 161 定价:16.00 元

(沪)新登字 108 号

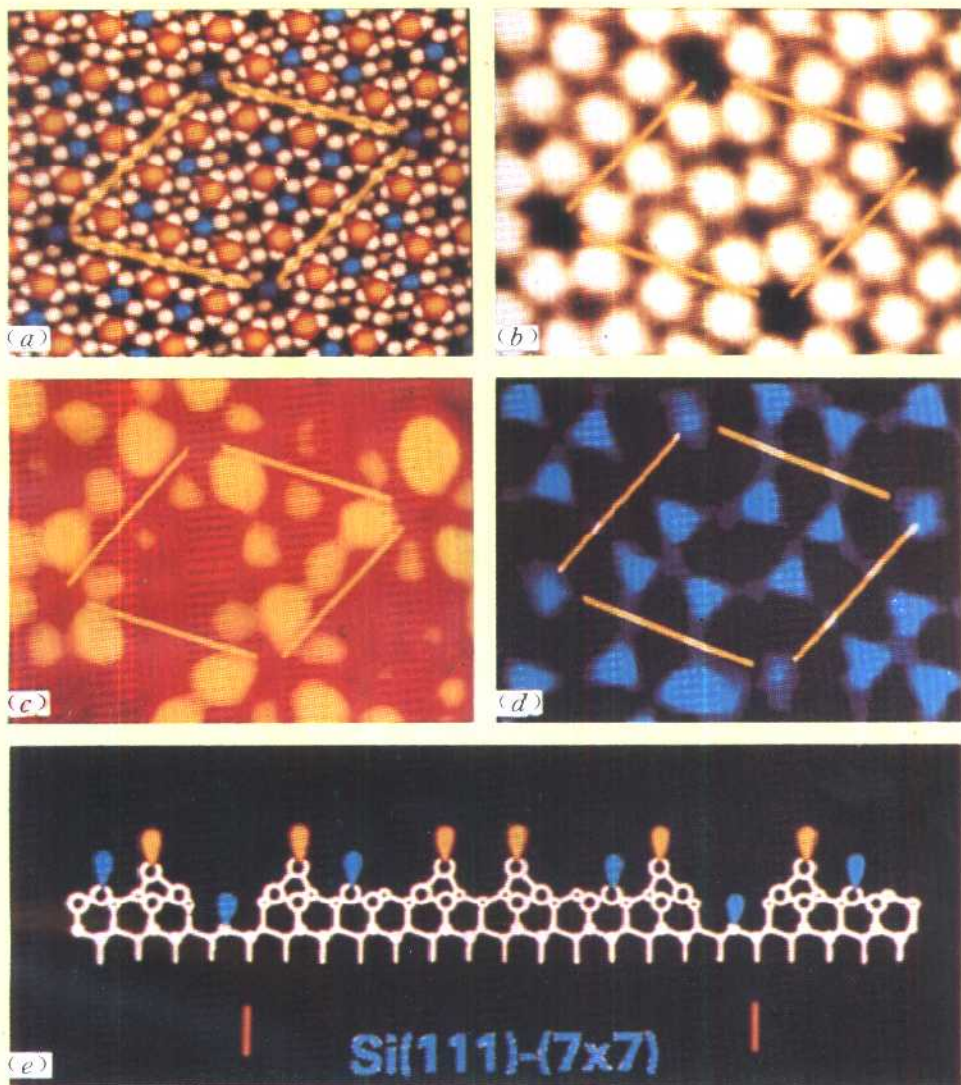


图 3-8

(a) 用计算机模拟的Si(111)- 7×7 结构顶视图

(b) 空态形貌象

(c) 在 E_F 和 -0.35 eV 之间的吸附原子状态

(d) 在 -0.6 eV 和 -1 eV 之间的剩余原子态

(e) 表面剖面线图示

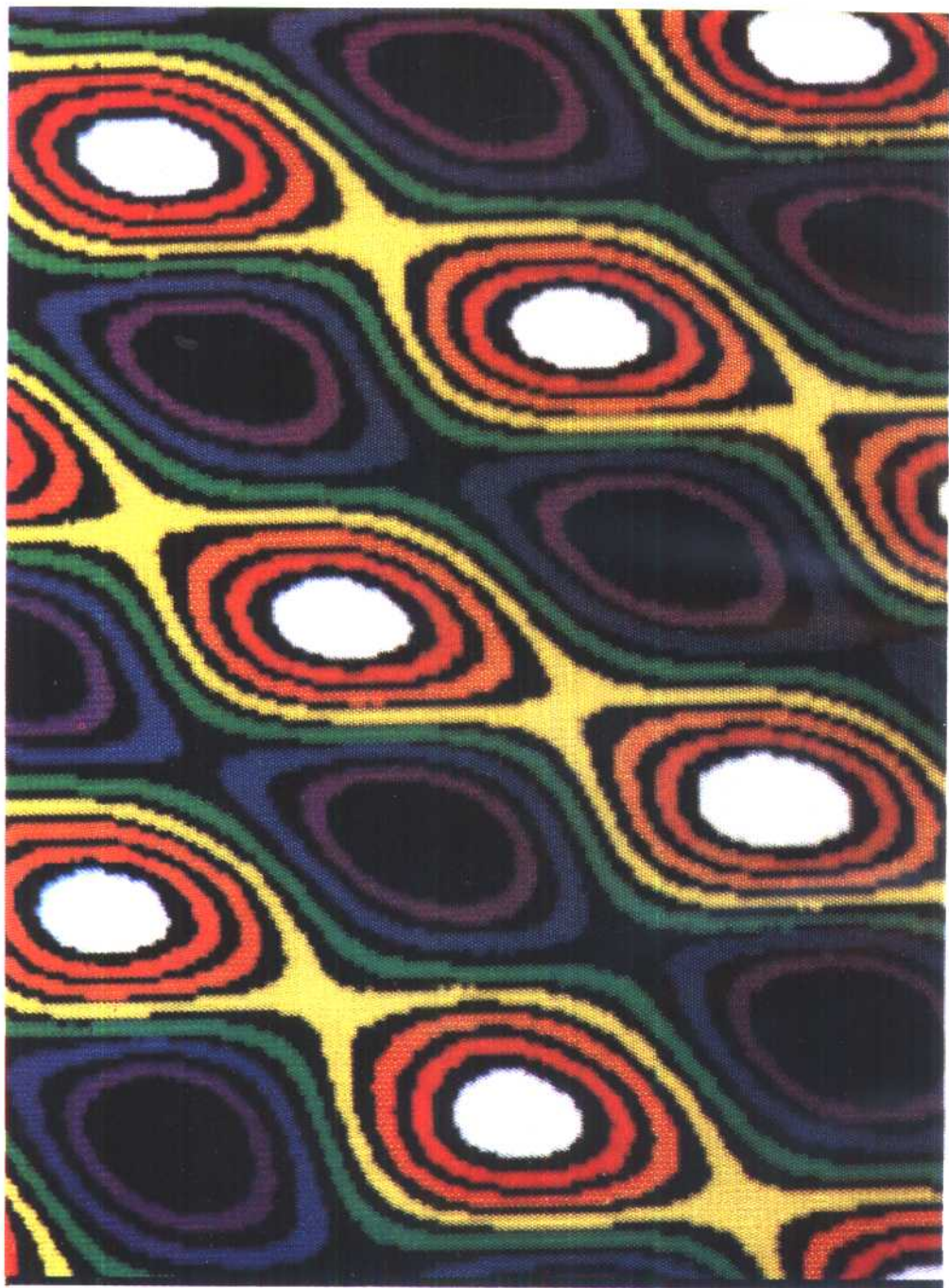


图 5-10 亮氨酸晶体表面的AFM象

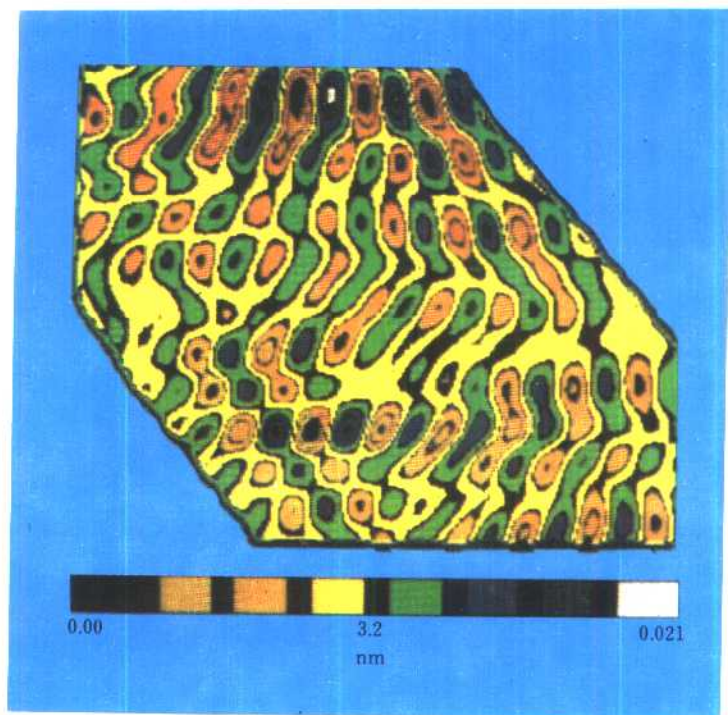
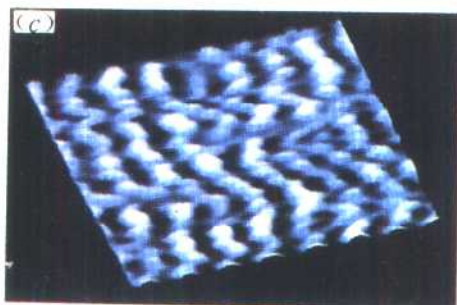
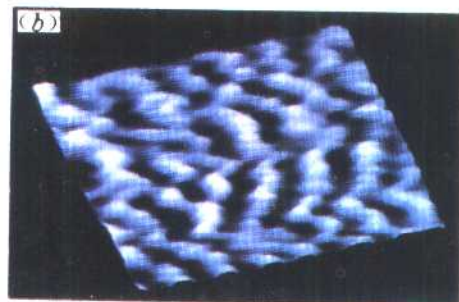
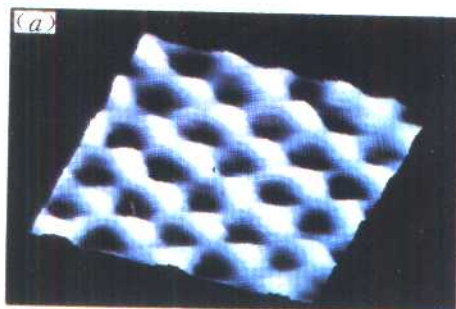


图 5-11

聚合的单层 n -(2-氨基乙基)二十三碳-10,12-二酮酰胺分子AFM图象, 图象显示出平行排列的分子边一边间距约为 0.5 nm

图 5-12 计算机处理过的AFM图象

- (a) 覆盖水溶液的晶态云母表面结构, 图象大小为 $2.6\text{nm} \times 2.6\text{nm}$
 (b) 表面覆盖水层
 (c) 干燥样品



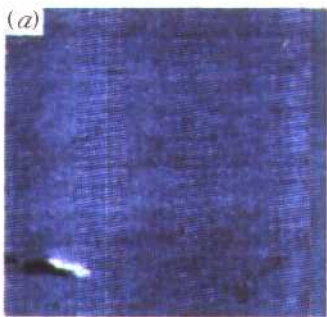
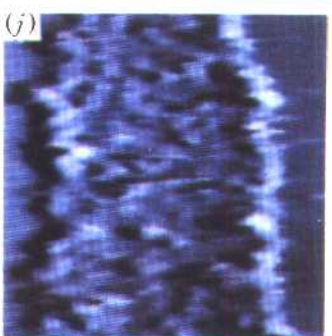
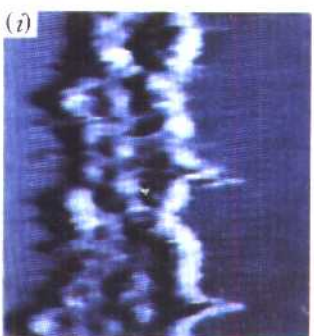
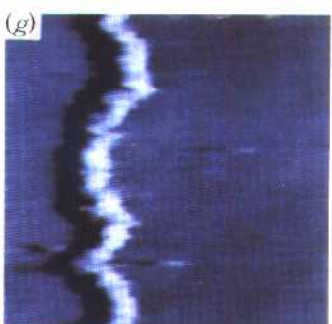
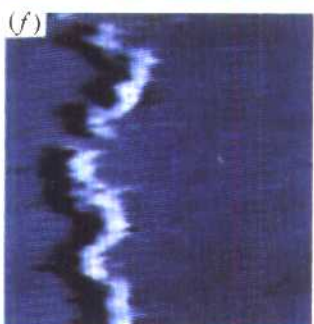
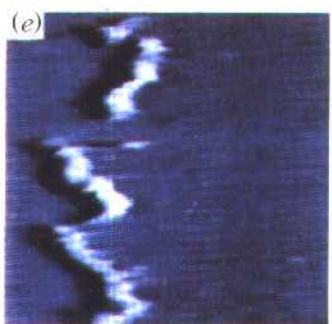
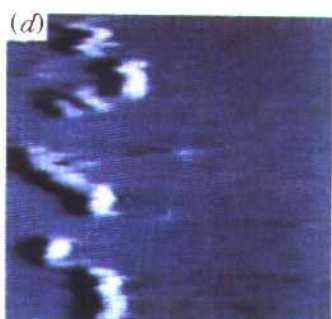
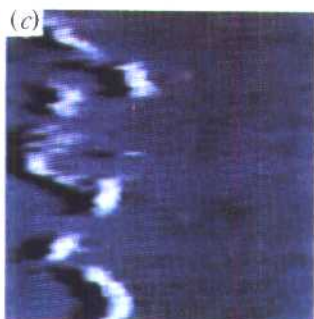
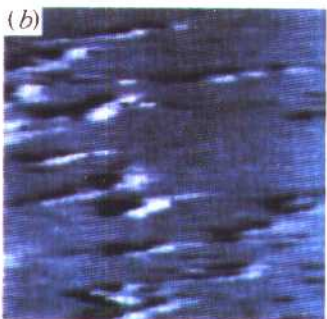


图 5 -13 人血液蛋白-血纤维蛋白原块凝过程的10个AFM图象



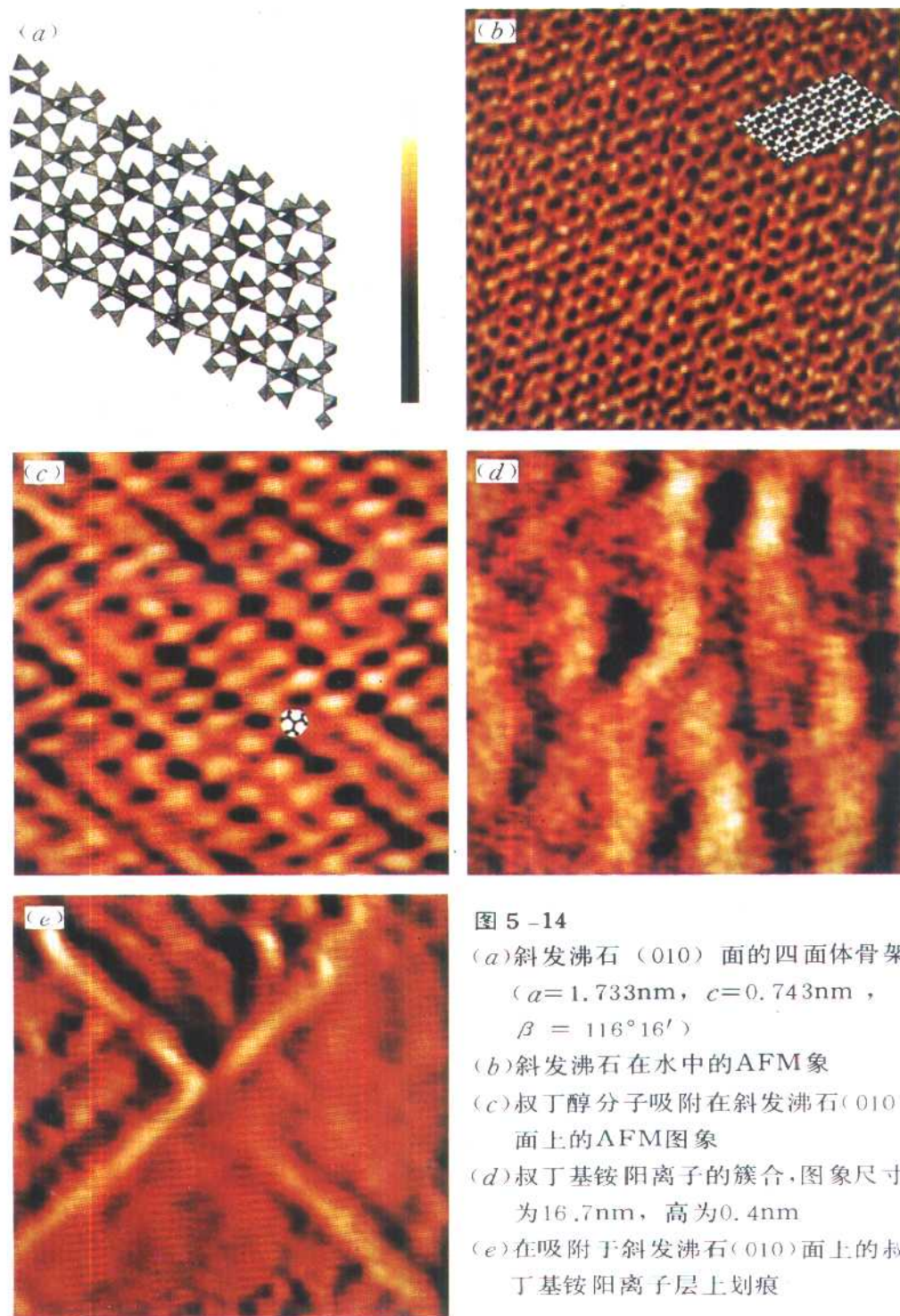


图 5-14

- (a)斜发沸石 (010) 面的四面体骨架
 $(a=1.733\text{nm}, c=0.743\text{nm}, \beta=116^{\circ}16')$
- (b)斜发沸石在水中的AFM象
- (c)叔丁醇分子吸附在斜发沸石(010)面上的AFM图象
- (d)叔丁基铵阳离子的簇合,图象尺寸为16.7nm, 高为0.4nm
- (e)在吸附于斜发沸石(010)面上的叔丁基铵阳离子层上划痕

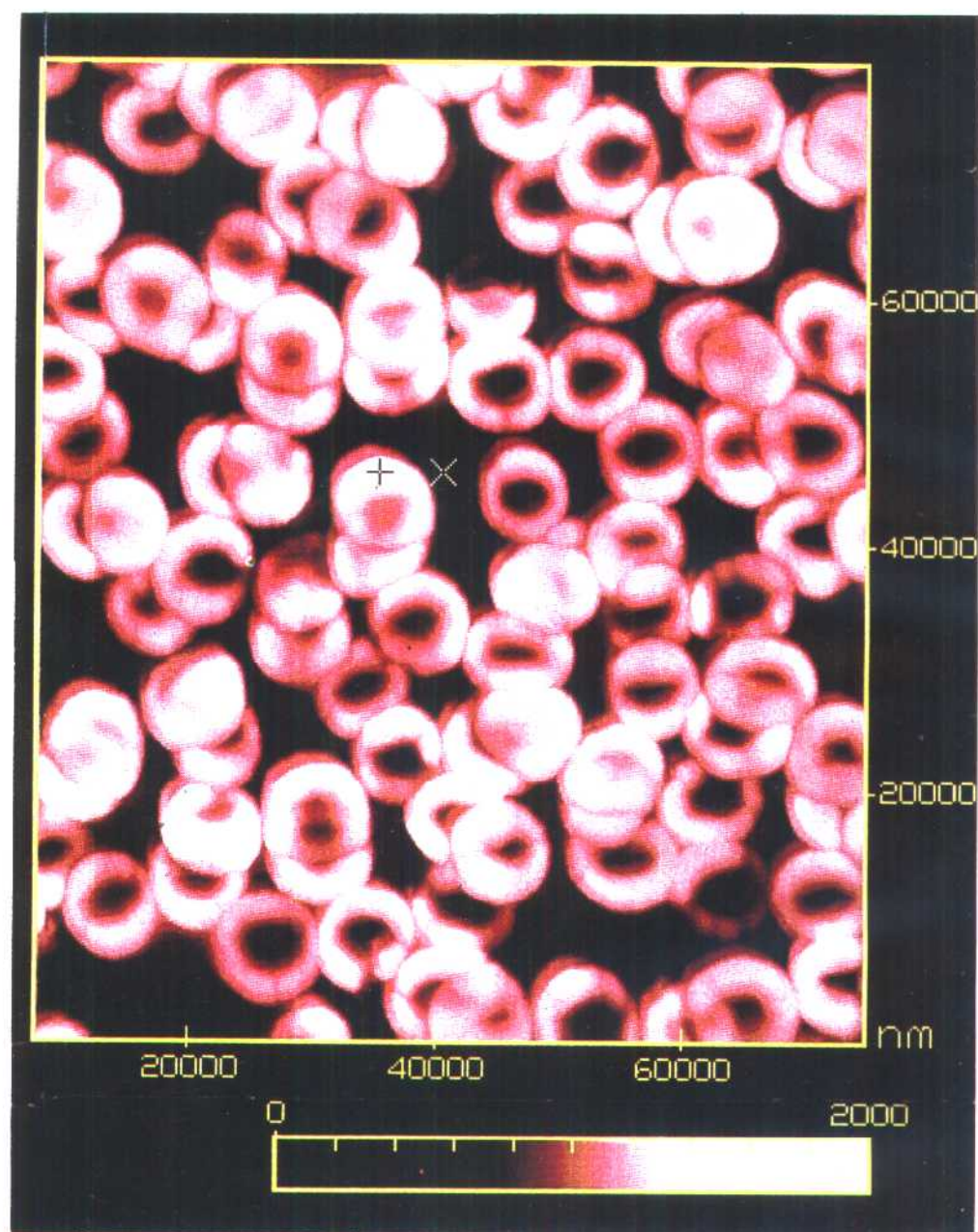


图 5-15 红血细胞的AFM形貌象

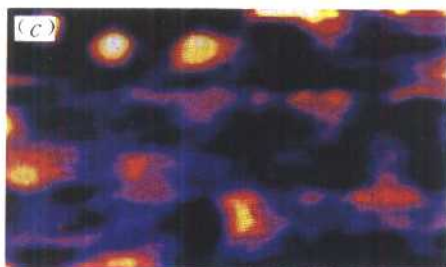
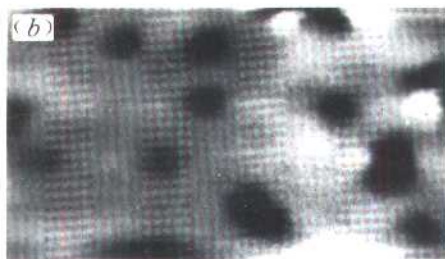


图 5-31

- (a)核微孔膜过滤器的SICM形貌象,图中示出直径为 $0.8\ \mu\text{m}$ 的小孔
(b)用平面灰度象表示的相同数据
(c)从小孔内流出的离子电流的SICM伪彩色象

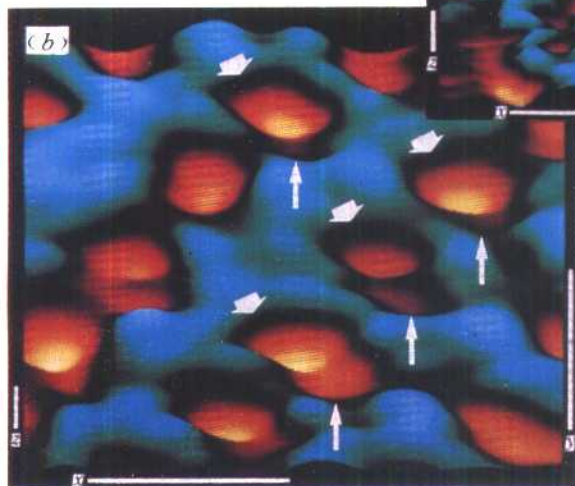
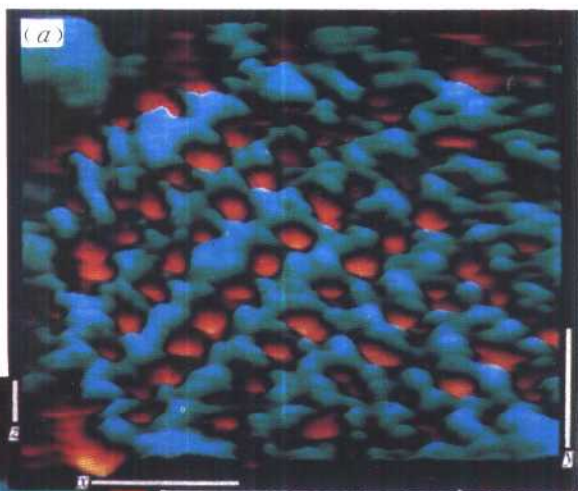
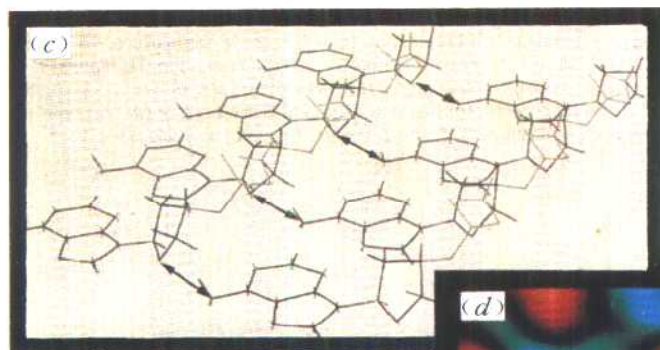


图 8-5 Dunlap 等人所获得的 Poly(dA) 吸附在石墨表面的 STM 图象

- (a)三维立体图象
(b)对中央部分进行选区放大,细箭头是腺嘌呤碱基的嘧啶环,粗箭头指示咪唑环



(c) 作者建立的分子模型示意图
(d) 将模型覆盖在(b)上显示吻合良好

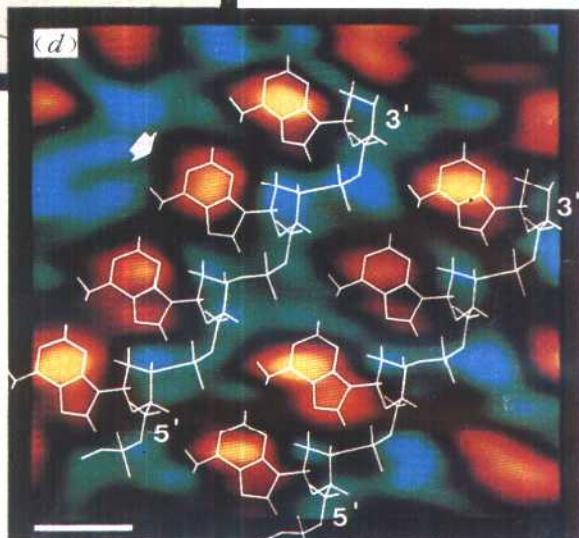
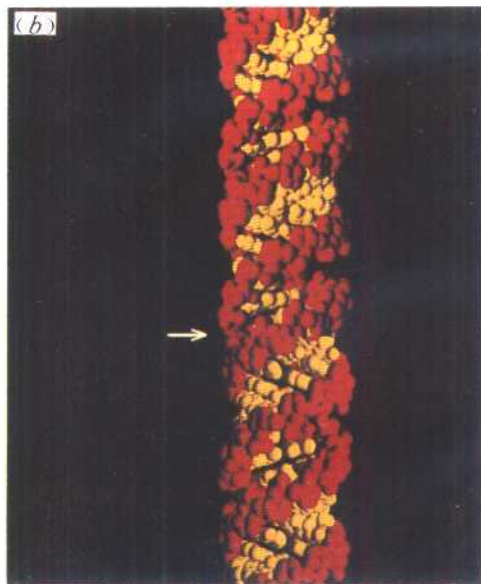
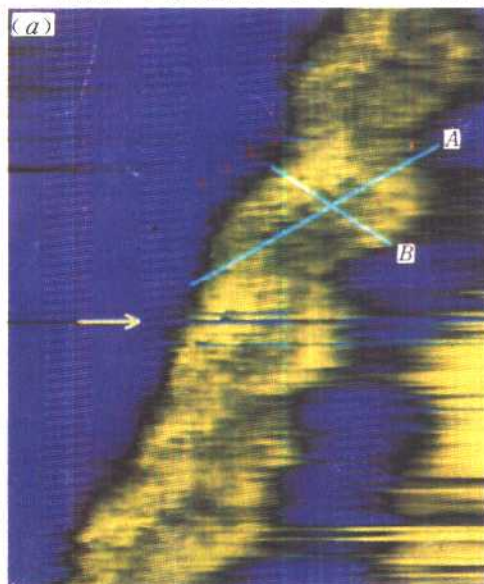


图 8-6 真空中A-DNA的STM
图象

(a) A-DNA的STM原始数据图
(b) 由晶体结构数据得到的A-DNA模型



内 容 提 要

本书介绍扫描隧道显微术这一新型表面分析技术的原理和应用. 第一章介绍扫描隧道显微镜 (STM) 的基本原理及与电子显微镜和场离子显微镜的比较; 第二章论述隧道效应理论的有关概念; 第三章介绍隧道谱的原理、实验技术和应用; 第四章着重讲述 STM 仪器结构和 STM 针尖的制作; 第五章介绍在 STM 原理基础上发展起来的一系列扫描探针显微镜, 如原子力显微镜 (AFM)、激光力显微镜 (LFM)、磁力显微镜 (MFM)、弹道电子发射显微镜 (BEEM)、光子扫描隧道显微镜 (PSTM) 等的原理、仪器结构、实验技术和应用. 第六章至第九章分别以具体的实例介绍 STM 在金属和半导体表面结构、表面吸附质的结构和表面反应、生物体系、表面微细加工等方面的应用.

本书的一个特点是, 以大量的图表来帮助读者迅速准确地掌握一些基本概念. 同时, 由于 STM 及其有关技术正处在迅速发展时期, 因此也指出了目前存在的一些困难和今后研究的方向.

本书可作为从事本领域工作的科研人员或对其应用有兴趣的物理、化学、生物、材料、微电子等领域的科研、教学人员的参考书. 本书亦适合研究生和大学高年级学生阅读.

0976/50
25.

序 言

自从 1986 年扫描隧道显微镜 (STM) 的发明者 Binnig 和 Rohrer 荣获诺贝尔物理奖以来, STM 这一新型的表面分析技术引起了越来越多的物理学、化学、生物学、材料科学、微电子科学等领域的工作者的关注和兴趣, 其理论、实验技术和应用研究也得到了迅速的发展。

本书是在我们现有的工作经验和阅读了大量文献资料的基础上写成的, 力求对 STM 及相关技术的原理、实验技术和应用研究有一个概括的描述。在上海科技出版社和 Springer 出版公司的支持下, 本书得以中、英文版分别出版。但愿能对从事本领域工作的和有兴趣的教学和科研人员起到抛砖引玉的作用。由于作者的水平有限, 加之时间仓促, 缺点、错误之处在所难免, 敬祈读者批评指正。

我的同事郭军、高凡、江河、叶坚和王大文博士参加了本书部分章节的撰写。夏越同志在文稿的打印方面付出了大量的劳动。上海科技出版社的编辑仔细地审阅、加工了中文稿, 在此谨表谢忱。

白春礼

1991 年于北京中关村

第一章

绪论

§ 1.1 透射电镜与扫描电镜·····	[3]
§ 1.2 场离子显微镜·····	[6]
§ 1.3 扫描隧道显微镜(STM)·····	[9]
§ 1.4 STM 的局限性与发展 ·····	[13]

第二章

隧道效应理论

§ 2.1 隧道效应认识的发展历史·····	[16]
§ 2.2 隧道电流理论·····	[20]
2.2.1 隧道效应中的 I - V 关系 ·····	[21]
2.2.2 针尖与样品表面态的处理·····	[24]
§ 2.3 针尖-样品表面相互作用模型 ·····	[26]
2.3.1 隧道电流·····	[26]
2.3.2 隧道电导率·····	[28]
2.3.3 针尖的隧道激活轨道·····	[30]
2.3.4 双针尖与干涉效应·····	[31]

第三章

隧道谱和隧道谱象

§ 3.1 隧道谱的概念·····	[35]
§ 3.2 实验方式·····	[39]
3.2.1 电流-电压隧道谱 ·····	[40]
3.2.2 电流-间隙特性 ·····	[41]

3.2.3 恒电流形貌图(CCT)	[41]
3.2.4 电流成象隧道谱(CITS).....	[42]
§ 3.3 能量分辨率.....	[43]
§ 3.4 应用实例.....	[44]
3.4.1 表面态.....	[45]
3.4.2 表面电子结构.....	[48]
3.4.3 超导特性.....	[50]
§ 3.5 隧道谱技术中有待解决的问题.....	[52]

第四章

STM 仪器

§ 4.1 振动隔绝系统.....	[55]
§ 4.2 机械设计.....	[58]
4.2.1 压电陶瓷.....	[59]
4.2.2 三维扫描控制器.....	[62]
4.2.3 针尖与样品位置粗调.....	[64]
4.2.4 在不同环境中工作的 STM	[66]
§ 4.3 电子学.....	[69]
§ 4.4 隧道针尖.....	[72]
4.4.1 钨针尖的制备.....	[73]
4.4.2 铂铱合金针尖的制备.....	[76]
4.4.3 制备针尖的其他方法.....	[80]
§ 4.5 计算机控制系统.....	[84]
4.5.1 硬件.....	[84]
4.5.2 软件.....	[86]
4.5.3 图象处理.....	[88]

第五章

在 STM 基础上发展起来的各种新型显微镜

§ 5.1 原子力显微镜(AFM)	[91]
5.1.1 力传感器.....	[92]
5.1.2 AFM 微悬臂弯曲的检测方式	[97]

5.1.3 AFM 的应用	[100]
§ 5.2 激光力显微镜(LFM)	[105]
§ 5.3 磁力显微镜(MFM)	[108]
§ 5.4 静电力显微镜(EFM)	[109]
§ 5.5 弹道电子发射显微术(BEEM)	[111]
5.5.1 BEEM 的基本原理	[111]
5.5.2 BEEM 实验	[113]
5.5.3 BEEM 的应用	[114]
5.5.4 界面的弹道空穴谱	[119]
§ 5.6 扫描离子电导显微镜(SICM)	[122]
§ 5.7 扫描热显微镜	[124]
§ 5.8 扫描隧道电位仪(STP)	[126]
§ 5.9 光子扫描隧道显微镜(PSTM)	[127]
§ 5.10 扫描近场光学显微镜(SNOM)	[129]

第六章

金属和半导体表面的 STM 研究

§ 6.1 金属表面	[133]
6.1.1 清洁金属表面的几何结构	[134]
6.1.2 吸附引起的表面重构	[135]
§ 6.2 单质半导体表面	[137]
6.2.1 Si(111)- 7×7 表面	[138]
6.2.2 Si(111)- 2×1 表面	[140]
6.2.3 Si(001)表面	[142]
6.2.4 暴露在空气中的硅表面	[144]
6.2.5 锗表面	[145]
6.2.6 Ge-Si(111)表面	[146]
§ 6.3 化合物半导体表面	[147]
6.3.1 GaAs(110)表面	[148]
6.3.2 砷富集的 GaAs(001)表面	[148]
6.3.3 层状半导体	[149]
§ 6.4 半导体表面的电荷密度波	[150]

第七章

表面吸附质的结构与表面反应

- § 7.1 金属膜及半导体硅化物的形成····· [158]
- § 7.2 表面化学反应····· [164]
- § 7.3 在多相催化中的应用····· [171]
 - 7.3.1 负载于适当载体上的清洁催化剂表面形貌····· [172]
 - 7.3.2 观察金属原子簇化合物····· [176]
 - 7.3.3 吸附质/载体系统····· [180]

第八章

STM 在生命科学研究中的应用

- § 8.1 STM 应用于生命科学研究的优越性及其存在的问题····· [185]
- § 8.2 STM 应用于生命科学研究时所采用的特殊技术····· [188]
- § 8.3 核酸的 STM 研究····· [193]
 - 8.3.1 水溶液下的 DNA····· [193]
 - 8.3.2 大气下的 DNA 和 RNA····· [194]
 - 8.3.3 真空中的 DNA····· [195]
 - 8.3.4 DNA 与蛋白质复合物;recA-DNA 复合物的结构····· [197]
 - 8.3.5 经变性处理的 DNA 的二级结构及三级结构····· [197]
- § 8.4 蛋白质的 STM 研究····· [198]
 - 8.4.1 氨基酸和多肽····· [198]
 - 8.4.2 结构蛋白····· [199]
 - 8.4.3 功能蛋白质····· [200]
- § 8.5 生物膜的 STM 研究····· [202]
- § 8.6 大尺度生物样品表面形貌的 STM 研究····· [203]