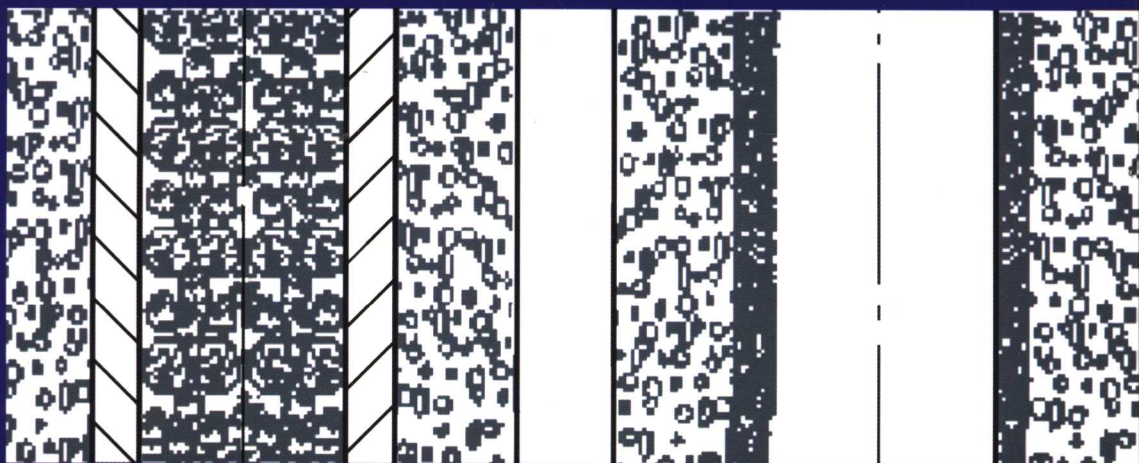


无机绿色高新精细化工技术与产品丛书

王大全 主编

无机抗菌新材料与技术

童忠良 等编写



化学工业出版社
化学与应用化学出版中心

无机绿色高新精细化工技术与产品丛书

王大全 主编

无机抗菌新材料与技术

童忠良 等编写



化学工业出版社
化学与应用化学出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

无机抗菌新材料与技术/童忠良等编写. —北京: 化学工业出版社, 2006. 5

(无机绿色高新精细化工技术与产品丛书)

ISBN 7-5025-8845-0

I. 无… II. 童… III. 无机化合物-抗微生物性-纳米材料 IV. TB383

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 058688 号

无机绿色高新精细化工技术与产品丛书

王大全 主编

无机抗菌新材料与技术

童忠良 等编写

责任编辑: 孙绥中

文字编辑: 朱 恺

责任校对: 郑 捷

封面设计: 胡艳玮

*

化学工业出版社 出版发行
化学与应用化学出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市万龙印装有限公司装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 30¼ 字数 605 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8845-0

定 价: 65.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

丛书序言

可持续发展战略、循环经济与高新技术的发展已促使世界通用化工向绿色高新精细化工延伸。无机化工正向技术密集程度高、保密性强、市场竞争激烈和附加价值高的无机绿色高新精细化工发展。它将以多功能或专一性能的产品为国民经济、国防军工服务，为提高人民生活水平做出贡献；并将为我国调整产业和产品结构，增加出口创汇能力，提高经济效益、社会效益和环境效益发挥积极作用。

结合国内外发展趋势，根据国家“八五”、“九五”、“十五”国民经济发展计划和“863”、“973”等国家高技术研究发展计划，中国化工学会精细化工专业委员会选择了一批国内外市场急需的项目，以绿色高新技术及产品为主要方向，以技术和产品的应用为主线，组织行业的有关专家，编写或编著了这套《无机绿色高新精细化工技术与产品丛书》，并将以分册的形式陆续出版。首批为：《无机晶须》、《无机抗菌新材料与技术》、《固体酸与精细化工》、《有机改性无机绿色功能材料与技术》。这套丛书以研究开发方向明确、信息丰富、技术含量大为特点，可供广大读者研究开发、生产、应用参考。

由于水平有限，且缺乏经验，难免会有错误和不足之处，敬希广大读者批评指正。

王大全

2005年5月9日

前言

人们在解决了温饱走进小康生活的时候，生活环境和身体健康已经变成了人们关注的两大课题，健康空气、健康住宅、健康水、健康食品等代表了当今产品的新潮流。有害细菌一直是影响人类健康和寿命的主要因素。特别是2003年SARS的出现和2004年及2005年禽流感的肆虐，给人们敲响了警钟，提醒人们有必要更好地解决环境与健康的问题。它给人类提出了深层次的思考。一方面人与自然协调发展的理念和行动已经显得比在任何历史时期都要重要；另一方面营造一个清洁的空气环境，保持人们身心健康将会给人类免遭疾病侵袭、战胜各类病魔提供保证。因此在抗菌、杀菌、消毒与疾病防治方面，更深层的研究开发是必要的。近年来由于CO₂的增加、地球变暖和大气污染促使细菌繁殖，引起微生物环境的变化，呼吸道疾病和心脏病的人数增加，传染病的感染率和发生率逐步上升。为此如何创造出健康的空气环境是人类追求的目标。

纳米抗菌材料是国际上20世纪90年代兴起的，并迅速发展起来的新一代功能材料，具有自主抑制或杀灭其表面微生物的功能。随着人们生活水平的提高和对健康卫生要求的提高，对抗菌材料的需求也越来越高，目前该材料已经广泛应用于家电、建材、通讯、包装、建筑等许多领域。

我国纳米抗菌材料本身起步晚，发展速度快，理论基础薄弱，应用研究滞后，技术上存在不完备等问题，而将纳米技术和抗菌技术结合起来开发的纳米抗菌材料的研究所面临的困难将更多并且机遇也将更大。①如何为无机纳米抗菌材料普及推广，应用于医院、住宅、公共场所，纺织品以及文具、家具、生活用品等各方面，能为环境的长效消毒、防病和提高人体免疫力等方面做出更大贡献，都是我们研究面临的问题。②现在突出的矛盾是纳米抗菌材料在实际生产中的使用，例如，纳米抗菌粉体材料在特种涂料中的应用和纳米抗菌粉体在塑料、

合成纤维中的分散问题和复合材料界面问题。③国际上纳米抗菌材料的市场正在形成之中，我国纳米抗菌材料一出现就要对国内外大市场进行开拓，给我国纳米抗菌材料技术的发展提供了机遇。

由于本书内容丰富、覆盖面广、重点突出、实用性强，对从事抗菌材料技术创新的广大同仁们来说，本书不失为一本十分有价值的参考书。

本书共分12章，第1章、第2章、第3章、第10章由童忠良教授编写，第4章、第8章由李斐隆（台湾省）研究员、沈光新工程师编写，第5章、第6章由杨飞华博士、韩文彬工程师编写，第7章、第9章由崔春芳研究员、周木生高级工程师编写，第11章由陈德全高级工程师、童忠良教授编写；全书由童忠良教授统稿。

本书编写出版得到了北京昊华世纪化工应用技术研究院、武汉宏慧高新科技有限公司、台湾省的阳实业有限公司给予的大力支持，特别是王月春、耿鑫、高洋等同志为本书的资料收集、插图及计算机输入和编排付出了大量精力，在此一并致谢。

本书编写时间仓促，再加之编者水平有限，不妥之处在所难免，恳请读者指正。

童忠良

2005年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 无机抗菌材料的发展和分类	1
1.1.1 无机抗菌材料的发展概况	1
1.1.2 无机抗菌剂的分类	3
1.1.3 无机抗菌材料的特点	10
1.1.4 无机抗菌剂的抗菌机理	10
1.1.5 无机抗菌剂的性能指标	11
1.2 抗菌的概念	11
1.2.1 广义抗菌和狭义抗菌	11
1.2.2 抗菌、防腐、消毒、抑菌	12
1.3 抗菌与微生物	12
1.3.1 微生物危害与控制	12
1.3.2 工业杀菌剂的必备条件	23
1.3.3 无机抗菌材料的安全性	29
1.3.4 无机抗菌材料的应用价值	29
1.4 无机抗菌材料的测试和表征	33
1.4.1 抗菌材料的测试与技术分类	33
1.4.2 抗菌材料的测试仪器与试验方法	35
1.4.3 试验方法的标准化的	38
1.5 无机抗菌材料的研究进展	39
1.5.1 功能材料和纳米抗菌材料技术	39
1.5.2 国外抗菌材料及其应用技术	40
1.5.3 国内抗菌材料生产应用技术	42
1.6 国内抗菌材料产业化发展状况与发展趋势	43
1.6.1 国内抗菌材料的产业化发展状况	43
1.6.2 国内抗菌材料市场的未来发展趋势	45
1.7 加快发展绿色高新抗菌新材料的建议	45
1.7.1 发展绿色高新抗菌新材料的建议	45
1.7.2 加强科技创新能力	47

1.7.3 加速抗菌材料研究成果向产业化的转化	47
1.7.4 加强国际学术交流与合作	47
参考文献	47

第2章 纳米抗菌剂	49
2.1 纳米抗菌剂概述	49
2.1.1 纳米抗菌剂微粒尺寸效应	49
2.1.2 纳米抗菌剂的特性	50
2.2 建筑材料的纳米杀菌防霉剂	50
2.2.1 微生物对装饰材料的危害	50
2.2.2 防霉、杀菌剂的作用机理	52
2.2.3 装饰材料的防腐和防霉	53
2.3 防霉、杀菌剂的筛选与应用	55
2.3.1 杀菌防霉剂的种类和性能	55
2.3.2 防霉、杀菌剂的筛选	55
2.3.3 防霉、杀菌剂的使用方法	57
2.3.4 纳米抗菌剂发展趋势	59
2.3.5 甲壳素杀菌纤维发展趋势	59
2.4 无机抗菌剂产品状况	60
2.4.1 无机抗菌剂	60
2.4.2 无机抗菌剂的抗菌机理	60
2.4.3 天然纳米抗菌孔材料的物质组成和特性	61
2.4.4 日本纳米抗菌剂的产品状况	61
2.5 有机抗菌剂	63
2.5.1 有机抗菌剂的种类	65
2.5.2 有机抗菌剂的抗菌机理	86
2.6 天然抗菌剂	87
2.6.1 壳聚糖	87
2.6.2 山梨酸	90
2.6.3 山梨酸钾	92
2.6.4 黄姜根醇	93
2.6.5 孟宗竹提取物	93
2.6.6 日柏醇	94
2.7 高分子抗菌剂	94
2.8 光催化型无机抗菌剂	95
2.8.1 纳米 TiO_2 的光催化机理	95
2.8.2 TiO_2 光催化氧化动力学	95

2.8.3	TiO ₂ 光催化氧化动力学	96
2.8.4	纳米 TiO ₂ 光催化的制备方法	96
2.8.5	纳米 TiO ₂ 光催化剂载体及加载工艺	96
	参考文献	98

第3章 纳米抗菌与食品抗菌材料

3.1	食品中的微生物危害与纳米抗菌特点和食品灭菌方法	99
3.1.1	食品中的微生物	99
3.1.2	食品中有害微生物的危害	101
3.1.3	食品防腐剂	104
3.1.4	纳米抗菌材料的抗菌特点	104
3.1.5	食品工业中防腐防霉的化学法	106
3.1.6	食品灭菌消毒防腐防霉的物理方法	108
3.1.7	家庭食品防腐防霉的化学方法	112
3.2	纳米抗菌与食品抗菌材料的发展现状	113
3.3	纳米抗菌与食品抗菌材料的产品	114
3.4	纳米技术在食品抗菌材料的应用	116
3.4.1	食品抗菌塑料制品的应用	116
3.4.2	食品抗菌陶瓷应用	117
3.4.3	食品抗菌不锈钢产品	118
3.5	纳米技术在食品包装抗菌材料的应用	119
3.5.1	食品抗菌复合软包装新动向	119
3.5.2	全球食品包装纳米产品销售市场调查	119
3.5.3	抗菌包装材料	120
3.5.4	食品抗菌设备与冰箱抗菌	122
3.6	纳米光催化剂技术在食品抗菌材料中的应用	123
3.6.1	光催化剂功能与应用	123
3.6.2	纳米氧化钛光催化剂	124
3.6.3	光催化剂纳米抗菌除味剂	124
3.6.4	纳米抗菌与冰箱除味剂	125
	参考文献	125

第4章 纳米抗菌精细陶瓷材料

4.1	纳米抗菌精细陶瓷材料的定义和分类	126
4.1.1	纳米抗菌精细陶瓷材料的定义和研究内容	126
4.1.2	纳米抗菌精细陶瓷的分类、种类及抗菌技术的必要性	126
4.2	纳米抗菌精细陶瓷材料的表征和评价	129

4.2.1	纳米抗菌精细陶瓷材料的表征	129
4.2.2	纳米抗菌精细陶瓷材料的评价	130
4.3	纳米抗菌技术在精细陶瓷中的应用	130
4.3.1	纳米抗菌精细陶瓷材料的制备方法	130
4.3.2	纳米抗菌精细陶瓷材料的应用	135
4.4	纳米抗菌陶瓷	138
4.4.1	纳米抗菌陶瓷企业新材料发展现状	138
4.4.2	抗菌精细陶瓷的抗菌剂类型和选择	140
4.4.3	纳米抗菌陶瓷的抗菌原理	141
4.4.4	纳米抗菌陶瓷的制备	145
4.4.5	纳米羟基磷灰石的研究	147
4.4.6	载银羟基磷灰石抗菌陶瓷粉体的应用	153
4.4.7	耐高温纳米抗菌剂的研究	155
4.4.8	纳米抗菌卫生陶瓷的应用	159
4.5	纳米抗菌技术在陶瓷中应用存在的问题	161
4.5.1	技术难题	161
4.5.2	抗菌检测问题	161
4.5.3	市场“鱼目混珠”问题	162
4.6	开发现状与展望	162
4.6.1	纳米银系抗菌剂展望	162
4.6.2	纳米抗菌陶瓷行业的发展趋势	163
	参考文献	163

第5章	纳米抗菌纺织纤维材料	165
5.1	国内外纳米抗菌纺织品的发展现状	165
5.1.1	抗菌纺织品的发展	165
5.1.2	纳米抗菌纺织品现状	167
5.2	抗菌纺织纤维材料的基本概念及机理	169
5.2.1	抗菌纺织纤维材料的基本概念	169
5.2.2	纳米无机抗菌防臭剂及其作用机理	170
5.3	抗菌防臭与除臭纤维和纺织品的制备及性能	175
5.3.1	抗菌防臭与除臭纤维和纺织品的制造方法	175
5.3.2	抗菌性能及纤维的力学性能	177
5.4	纳米抗菌纺织纤维	178
5.4.1	纳米氧化锌 (ZnO) 在合成纤维中的应用开发	178
5.4.2	纳米抗菌除臭	181
5.4.3	纳米反射红外线和抗红外线化纤	182

5.4.4 电磁波屏蔽织物	182
5.5 纳米抗菌纺织纤维的开发	183
5.5.1 Amicor 抗菌纤维抗菌剂	183
5.5.2 纳米复合抗菌防臭抗菌剂	184
5.6 纳米抗菌技术在纺织纤维材料中的应用	185
5.6.1 应用的技术基础	186
5.6.2 纳米抗静电及纳米导电纤维	187
5.6.3 纳米蓄热保暖纤维	189
5.6.4 纳米远红外线保健纤维	191
5.6.5 纳米防紫外线纤维	192
5.6.6 纳米功能性纤维	194
5.7 纳米抗菌纤维应用产品简述	196
5.7.1 Amicor 纳米抗菌纤维产品	196
5.7.2 英国纳米智能纤维产品	197
5.7.3 日本纳米功能纤维产品	197
5.7.4 中国纳米抗紫外功能织物产品	198
5.7.5 德国、美国纳米抗菌型纺织产品	199
5.7.6 中国纳米阻燃织物产品	199
5.8 载银纳米抗菌材料实例	199
5.8.1 制备 MFS350 的技术路线	199
5.8.2 MFS350 的技术特性	200
5.8.3 MFS350 的抗菌效果	200
5.8.4 银系抗菌纤维工艺特点及实例	200
5.9 抗菌纺织纤维材料的表征和评价	202
5.9.1 抗菌防臭纤维及制品抗菌效果的评价	202
5.9.2 除臭纤维及纺织品效果的评定	204
参考文献	205

第 6 章 纳米抗菌生物医学材料	206
6.1 纳米抗菌生物医学材料概论	206
6.1.1 纳米抗菌生物医学材料发展简述	207
6.1.2 纳米抗菌生物学研究	208
6.1.3 纳米抗菌医药生物技术快速发展	210
6.2 纳米抗菌生物材料和生物医学材料的定义和分类	211
6.2.1 纳米抗菌生物医学材料的定义	211
6.2.2 纳米抗菌生物医学材料的研究内容	211
6.2.3 纳米抗菌生物医学材料分类	212

6.3 纳米生物医学材料与抗菌的人工器官	214
6.3.1 抗菌的人工心脏与人工心脏瓣膜	214
6.3.2 抗菌的人工肺	215
6.3.3 抗菌的人工膀胱	216
6.3.4 抗菌的人工皮肤	217
6.3.5 抗菌的人工肾	220
6.3.6 抗菌的人工骨	224
6.4 纳米抗菌无机生物医学材料	227
6.4.1 生物抗菌陶瓷的优点、缺点及医学应用	228
6.4.2 生物抗菌陶瓷的分类	229
6.4.3 生物抗菌陶瓷的形状和相	230
6.4.4 生物抗菌陶瓷-组织反应的影响因素、反应和结合的类型	230
6.4.5 生物抗菌惰性陶瓷	231
6.5 有机纳米生物医学材料	233
6.5.1 纳米抗菌高分子材料	234
6.5.2 人工合成的新型纳米材料——树状聚合物	236
6.6 纳米抗菌生物复合材料	237
6.6.1 纳米抗菌生物医用复合材料组分材料的选择要求	237
6.6.2 纳米抗菌生物医用复合材料的研究现状与应用	238
6.6.3 纳米抗菌生物医用复合材料的研究趋势与展望	241
6.7 纳米组织工程材料	242
6.7.1 生物活性材料	243
6.7.2 纳米陶瓷	245
6.7.3 纳米碳材料	245
6.8 纳米技术与抗菌生物医学	246
6.8.1 纳米技术与生物医学的结合	246
6.8.2 纳米碳管在生物医学上的应用	247
6.8.3 细胞分离采用的纳米化技术	251
6.8.4 纳米药物的作用与纳米化抗菌技术	252
6.8.5 纳米技术在消毒药中的应用	254
6.8.6 Ablynx 的公司纳米抗体应用实例	255
6.9 纳米抗菌生物医学材料的应用与发展趋势	259
6.9.1 纳米抗菌技术在生物材料中的应用	259
6.9.2 纳米抗菌生物医学材料的发展趋势	261
6.10 抗菌材料在医疗领域的应用	262
6.10.1 纳米管在医疗与工业中的应用	262
6.10.2 抗菌材料在医疗器械中的应用	264

6.10.3 抗菌材料在医院设施中的应用	268
6.11 纳米抗菌生物医学材料的表征和评价	273
6.11.1 纳米抗菌生物医学材料的生物功能性	273
6.11.2 纳米抗菌生物医学材料的生物相容性	273
6.11.3 纳米抗菌生物医学材料的评价	276
6.11.4 纳米抗菌生物医学材料的生物安全性评价	276
6.11.5 生物医学材料的消毒与灭菌	276
参考文献	277

第7章 纳米金属抗菌材料	278
7.1 概述	278
7.2 纳米抗菌金属材料的性能	279
7.3 纳米抗菌金属的制备方法	284
7.3.1 纳米抗菌金属的制备方法	284
7.3.2 纳米抗菌金属的制造方法	284
7.3.3 纳米抗菌金属块体材料的制备方法	287
7.4 纳米抗菌金属材料的应用及发展	287
7.4.1 纳米抗菌金属材料研究取得的成就	287
7.4.2 纳米抗菌金属材料的应用	288
7.4.3 纳米金属材料研究存在的问题	289
7.4.4 纳米金属材料的研究现状	290
7.4.5 纳米金属材料的发展及挑战	292
7.4.6 纳米金属材料的产业化前景与展望	293
7.5 纳米抗菌不锈钢应用及发展	293
7.5.1 含铜的抗菌不锈钢	294
7.5.2 含银的抗菌不锈钢应用	296
7.5.3 抗菌不锈钢抗菌性能评价方法	298
7.5.4 金属表面的微生物膜	298
7.6 液态金属抗菌剂	299
7.6.1 含金属离子的液态抗菌剂	300
7.6.2 含金属离子的液态抗菌剂的特点	300
7.6.3 抗菌金属离子制备方法	301
7.6.4 抗菌金属离子效果及毒理检测结果	301
7.7 载银纳米金属离子抗菌材料	302
7.7.1 纳米银离子抗菌材料的制备方法	303
7.7.2 银的安全性与危险性	304
7.7.3 银离子抗菌剂应用实例	304

参考文献	305
------------	-----

第8章 纳米抗菌工程塑料材料

307

8.1 塑料抗菌剂概况	307
8.1.1 塑料用抗菌剂的发展	307
8.1.2 国内外抗菌塑料的技术及应用	308
8.2 纳米抗菌塑料的性能	310
8.2.1 高强度和高耐热性	311
8.2.2 高阻透性	311
8.2.3 高阻燃窒息性	311
8.2.4 增强、增韧及耐热性能	311
8.2.5 抗老化、耐磨性及透明性能	312
8.2.6 良好的导电性	313
8.2.7 纳米抗菌塑料的各向异性	313
8.2.8 纳米抗菌塑料的热力学原理及性能	314
8.2.9 纳米抗菌塑料的加工性能	314
8.3 典型的纳米抗菌塑料	315
8.3.1 纳米抗菌通用塑料	315
8.3.2 纳米抗菌工程塑料	316
8.3.3 纳米抗菌特种工程塑料	317
8.3.4 纳米抗菌功能塑料	317
8.3.5 纳米抗菌纤维增强塑料	319
8.4 纳米抗菌塑料的制备方法	319
8.4.1 插层复合法	319
8.4.2 溶胶-凝胶法	321
8.4.3 直接分散法	322
8.4.4 原位聚合法	323
8.4.5 其他合成法	324
8.5 纳米抗菌塑料研究进展	324
8.5.1 无机纳米抗菌塑料研究进展	325
8.5.2 有机纳米抗菌塑料研究进展	327
8.5.3 金属纳米抗菌塑料研究进展	328
8.5.4 纳米塑料材料加工方法研究方向	329
8.5.5 可工业化生产的纳米塑料	329
8.6 纳米抗菌塑料产品及纳米塑料材料性能实例	330
8.6.1 纳米抗菌热固性塑料产品	330
8.6.2 纳米改性抗菌通用塑料产品	331

8.6.3 纳米抗菌工程塑料产品	332
8.6.4 纳米抗菌特种工程塑料产品	334
8.6.5 纳米抗菌塑料材料性能实例	335
8.7 纳米抗菌塑料产品应用实例	337
8.7.1 纳米抗菌塑料产品应用概况	337
8.7.2 Conval-40B 纳米抗菌剂产品简介	337
8.8 纳米抗菌塑料成型产品	341
8.8.1 Imperm [®] -纳米尼龙 MXD6	341
8.8.2 纳米聚丙烯 Nano-PP; N.6H	342
8.9 纳米抗菌塑料开发中的问题	342
参考文献	344

第9章 纳米抗菌涂料与抗菌装饰材料

9.1 纳米抗菌涂料概况	345
9.2 纳米抗菌涂料	346
9.2.1 纳米二氧化钛产品物理性质	346
9.2.2 纳米 TiO ₂ 的结构特性	349
9.2.3 纳米 TiO ₂ 的光催化作用机理	349
9.2.4 纳米 TiO ₂ 抗菌涂料	351
9.2.5 纳米抗菌涂料与吸附除味剂	354
9.2.6 纳米负离子健康涂料	354
9.2.7 纳米 TiO ₂ 在抗菌涂料中的分散稳定性	355
9.2.8 纳米 TiO ₂ 抗菌涂料的研究	358
9.2.9 纳米空气净化涂料	359
9.3 纳米抗菌粒子制备方法	364
9.3.1 纳米 TiO ₂ 的表面自清洁	364
9.3.2 纳米 TiO ₂ 配制纳米抗菌涂料	367
9.3.3 VOC 和绿色抗菌功能涂料	369
9.4 抗菌涂料用抗菌剂及应用情况	371
9.4.1 活性基团的杀菌剂和防霉剂	372
9.4.2 非汞型防霉、杀菌剂在涂料中的应用	373
9.4.3 杀菌剂和防霉剂在装饰材料中的应用	376
9.4.4 应用纳米抗菌剂存在的问题	376
9.4.5 纳米抗菌剂研究存在的问题	377
9.4.6 使用纳米抗菌材料应注意几个方面	377
参考文献	378

第 10 章 纳米抗菌环境分离材料——无机膜	379
10.1 纳米无机膜概况	379
10.1.1 无机膜发展概况	379
10.1.2 无机膜及其特点	380
10.1.3 纳米无机膜的分类和结构	382
10.2 纳米无机膜分离技术	384
10.2.1 膜分离技术与分离膜	384
10.2.2 用小孔进行物质分离的膜技术	386
10.3 纳米无机膜的制备方法	388
10.3.1 烧结法	388
10.3.2 阳极氧化法	390
10.3.3 水热晶化法	390
10.3.4 化学提取法	390
10.3.5 化学气相沉积法	390
10.3.6 喷雾热分解法	391
10.3.7 溶胶-凝胶法	391
10.3.8 典型的两种溶胶-凝胶路线	392
10.4 纳米无机膜涂层技术	396
10.4.1 纳米无机膜涂层和功能基的组合	396
10.4.2 分子自组装的合成方法	397
10.4.3 薄膜和涂层的合成	399
10.4.4 功能性基的组合	402
10.5 纳米无机膜涂层应用实例	402
10.5.1 涂层及纳米级的表面设计	402
10.5.2 陶瓷膜在酸性废水处理中钛白粉产品的回收	403
10.6 纳米无机膜的应用领域	408
10.6.1 食品、饮料和生物技术领域	411
10.6.2 无机膜与膜设备化工发展概况	412
10.6.3 无机陶瓷膜在超细粉体中的应用	413
10.6.4 陶瓷膜技术在纳米氧化钛的工艺应用	417
10.6.5 无机膜分离技术与设备在石油化工中的应用	418
10.6.6 膜技术在环保抗菌材料中的应用	421
参考文献	430

第 11 章 纳米抗菌材料的评价方法与标准	431
11.1 纳米抗菌材料的评价的意义	431
11.2 纳米抗菌材料的评价的基本要求	432

11.2.1	抗菌材料抗菌作用能力·····	432
11.2.2	抗菌性能评价菌种选择·····	433
11.3	纳米抗菌材料表征的基本条件·····	433
11.3.1	抗菌检测基本条件·····	434
11.3.2	表征试验设备和器皿·····	435
11.3.3	试验用试剂和菌种·····	435
11.4	纳米抗菌材料测试方法·····	437
11.4.1	抗霉性能测试方法·····	438
11.4.2	无机抗菌剂制品的抗菌性能检测·····	440
11.4.3	光化学制备纳米银溶胶及其灭菌性能表征·····	443
11.5	测试方法及评价标准·····	445
11.5.1	抗菌剂的抗菌性测定·····	445
11.5.2	抗菌材料及其制品抗菌性能的评价·····	447
11.6	抗菌评价相关标准汇总·····	450
11.6.1	国内外抗菌评价标准汇总·····	450
11.6.2	抗霉菌评价标准·····	451
11.7	抗菌评价相关标准实例·····	451
11.7.1	抗菌织物·····	451
11.7.2	化妆品防腐功效测试与评价·····	457
11.7.3	水性涂料罐内防腐功效测试与评价·····	459
11.7.4	抗霉性能天然环境暴露试验方法·····	460
11.8	抗菌纺织品及其产品的标准化评价·····	461
11.9	纳米抗菌塑料及其产品的测试评价方法·····	464
11.10	七项纳米材料国家标准发布·····	465
	参考文献·····	465