

◎ 纳米技术应用丛书

纳米抗菌技术

● 丁浩 童忠良 杜高翔 编



化学工业出版社

T3383
1034
2

纳米技术应用丛书

纳米抗菌技术

丁 浩 童忠良 杜高翔 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书全面介绍了各种纳米抗菌材料的抗菌原理、抗菌方法、产品的性能及国内外发展情况、市场前景、分类、特性、制造方法、抗菌性能的评价方法、用途及应用实例。全书共 8 章。第 1 章介绍国内外纳米抗菌材料与技术的发展状况与发展趋势等。第 2 章介绍了纳米抗菌剂的特性与抗菌原理、制备技术。第 3 章到第 8 章分别介绍了纳米抗菌塑料、纳米食品抗菌包装材料、纳米金属抗菌材料、纳米陶瓷抗菌材料、纳米抗菌纺织纤维材料的抗菌原理、性能、加工方法、应用领域和发展前景等。第 8 章介绍纳米建材与家电抗菌技术。

本书适合从事纳米抗菌材料的科研、生产及管理人员阅读,也可作为大专院校相关专业教师、学生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

纳米抗菌技术/丁浩,童忠良,杜高翔编. —北京:
化学工业出版社, 2007. 10
(纳米技术应用丛书)
ISBN 978-7-122-01306-4

I. 纳… II. ①丁…②童…③杜… III. 抗微生物性-
纳米材料 IV. TB383

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 155680 号

责任编辑: 黄丽娟 奚志刚
责任校对: 凌亚男

文字编辑: 林 媛
装帧设计: 于 兵

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 北京云浩印刷有限责任公司
850mm×1168mm 1/32 印张 11 $\frac{3}{4}$ 字数 314 千字
2008 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着人类物质财富的增长和社会的全面进步，人们越来越关心环境问题，特别是环境引发的对人类健康和生活质量的影响。一方面，治理和消除工业生产造成的污水、废气和固体废物的污染成为社会可持续发展的重要范畴；另一方面，降低和有效防止人居环境中微生物对人类生活的干扰和危害、减轻由此引发的病菌感染也逐渐成为社会的共识。特别是在中国这样人口众多的发展中国家，在经济快速增长的同时，为人们创造一个清洁、卫生和有益于身体健康的生活环境，对降低各种疾病的诱发和传播无疑具有重要的意义。

在控制环境微生物的众多措施中，无机抗菌因具有持效、安全和卫生等优点而成为重要的控制微生物的手段。其中，作为以纳米技术和抗菌技术相结合而开发的新一代无机抗菌功能材料——纳米抗菌材料自 20 世纪 90 年代在国际上兴起后便获得了迅速发展，目前已广泛应用于家电、建材、通信、包装、建筑等许多领域。我国纳米抗菌材料本身起步晚，理论基础薄弱，应用研究滞后，技术上存在不完备等问题，但发展速度快，也面临着更大机遇。为了普及这一技术，加快纳米抗菌材料和技术的发展与应用，本书作者将自己多年的研究成果和应用经验加以整理，并参考大量文献编撰成书。本书主要介绍了纳米抗菌材料研究和应用的进展状况，也介绍了一些研究经验并提出今后的研究方向。由于纳米抗菌材料和技术涉及的行业较多，内容复杂，加之作者水平所限，不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

本书内容丰富，涵盖面广，重点突出，实用性强。对从事纳米抗菌材料技术创新的广大同仁来说，本书具有较好的参考价值。

本书共分 8 章，第 1、2、5、8 章由丁浩编写，第 3、4、7 章

由童忠良编写，第6章由杜高翔编写，由丁浩统稿。

本书在编写中参阅了大量文献，仅向这些文献的作者表示衷心的感谢。本书在出版过程中，高洋、高新、王书乐、童凌峰、方芳、陈军军、崔春芳等同志在资料收集、插图及计算机输入和编排方面做了大量工作，在此一并致谢。

编者

2007年2月

出版者的话

纳米技术是在 20 世纪 80 年代末、90 年代初才逐步发展起来的前沿、交叉性新兴学科，它具有创造新生产工艺、新物质和新产品的巨大潜能，它将在 21 世纪掀起一场新的产业革命。

当前，国际纳米技术的发展进入了一个新的阶段，纳米技术提升了现有产业和产品的水平，纳米技术与传统技术的结合也构成了纳米技术发展的新局面。世界发达国家和地区十分重视发展纳米技术，大幅度增加了对发展纳米技术的投入，重点发展实用技术，加快了纳米技术实用化的进程。我国也非常重视纳米技术研究，建成了一些纳米技术研究基地，国内有一半的省市将发展纳米技术列为“十五”规划。国内一些著名高校及科研院所已形成了一支支从事纳米技术研究的队伍，并在国际上取得了一系列令人瞩目的成果。

为了促进我国纳米材料和技术的快速发展，推进纳米技术的实用化进程，化学工业出版社组织相关专家编写了《纳米技术应用丛书》。本套丛书的特点是：较全面地介绍纳米技术在传统领域中的应用研究以及对传统产业改造的现状与前景；突出实用性，介绍的相关纳米技术不仅经实践证明是可靠的，而且是有应用前景的实用技术。

《纳米技术应用丛书》共 9 本，包括《纳米半导体技术》、《纳米空气净化技术》、《纳米抗菌技术》、《纳米润滑技术》、《纳米复相陶瓷》、《纳米功能涂料》、《纳米阻燃材料》、《纳米材料与生物技术》以及《纳米技术与太阳能利用》。相信本套丛书对推动我国纳米技术健康有序的发展将起到积极作用。

2004 年 5 月

目 录

第 1 章 纳米抗菌材料与技术的发展	1
1.1 纳米技术的基本概念与研究领域	1
1.1.1 世界纳米技术发展态势和特点	2
1.1.2 纳米抗菌材料的特点	9
1.1.3 银与纳米无机抗菌剂及机理	10
1.1.4 纳米无机抗菌剂的性能指标	13
1.1.5 纳米抗菌技术发展与应用的重要意义	14
1.2 纳米抗菌技术与微生物抑制	17
1.2.1 抗菌的概念	17
1.2.2 纳米抗菌技术	19
1.3 纳米抗菌剂与微生物	23
1.3.1 微生物危害与控制	23
1.3.2 杀菌剂的必备条件	40
1.3.3 纳米抗菌材料安全性的研究	46
1.3.4 纳米抗菌材料的评价	50
1.4 纳米抗菌材料的测试和表征	56
1.4.1 抗菌材料的测试与技术分类	56
1.4.2 抗菌材料的测试仪器与试验方法	59
1.4.3 试验方法的标准化	63
1.5 国内外纳米抗菌材料和技术的进展现状	64
1.5.1 国外纳米抗菌材料应用	64
1.5.2 国内纳米抗菌材料应用	68
1.5.3 国内纳米产业化发展状况	70
1.5.4 纳米抗菌材料的未来发展方向	73
参考文献	77
第 2 章 纳米抗菌剂制备技术	79
2.1 概述	79

2.1.1	纳米抗菌剂微粒尺寸效应	79
2.1.2	纳米抗菌剂的特性	80
2.2	无机抗菌剂产品状况	81
2.2.1	无机抗菌剂的分类	81
2.2.2	无机抗菌剂的抗菌机理	81
2.2.3	天然纳米抗菌孔材料的物质组成和特性	82
2.2.4	国内外纳米抗菌剂的产品现状	82
2.3	纳米无机和有机复合抗菌剂的制备技术	85
2.3.1	纳米无机和有机复合抗菌新技术	85
2.3.2	技术水平、新颖性和独特性	86
2.3.3	技术研究的成果	87
2.3.4	纳米复合抗菌剂制备技术	89
2.3.5	纳米无机抗菌剂抗菌机理	90
2.3.6	纳米抗菌材料的作用机制	93
2.4	以沸石和黏土为载体的抗菌材料的制备技术	94
2.4.1	以沸石为载体的无机抗菌剂	95
2.4.2	以黏土矿物为载体的无机抗菌剂	96
2.4.3	金属离子抗菌剂目前研究和应用存在的问题	97
2.5	新型无机抗菌材料 STK 的制备技术	98
2.5.1	三种无机抗菌材料抗菌方式的深入研究	98
2.5.2	新型无机抗菌材料 STK 的制备路线	99
2.5.3	新型无机抗菌材料 STK 的特点	99
2.5.4	新型无机抗菌材料 STK 的应用	100
2.6	光催化型无机抗菌剂的制备技术	101
2.6.1	纳米 TiO_2 的光催化机理	101
2.6.2	TiO_2 光催化氧化动力学	101
2.6.3	纳米 TiO_2 光催化型抗菌剂的制备方法	102
2.6.4	纳米 TiO_2 光催化剂载体及加载工艺	103
2.7	纳米抗菌材料的制备技术	105
2.7.1	反应原理	105
2.7.2	制备工艺	105
2.7.3	制备方法	105
2.7.4	产品的技术指标	107

2.8 耐高温纳米抗菌剂的制备技术	107
2.8.1 新型耐高温纳米抗菌剂实验方法	108
2.8.2 新型耐高温纳米抗菌剂制备技术	109
2.9 国内纳米抗菌剂产品的应用	112
2.9.1 纳米光催化 TiO_2 的应用	112
2.9.2 “载银纳米二氧化钛 (AT) 抗菌剂”的应用	117
2.9.3 纳米抗菌整理剂的应用	118
2.9.4 纳米 ZnO 抗菌母粒制备技术的应用	119
2.9.5 缓释型载银抗菌 SiO_2 纳米多孔块材的合成	121
2.9.6 抗菌解毒除味母粒	121
2.9.7 多元纳米复合抗菌杀菌材料	122
参考文献	123
第3章 纳米塑料抗菌技术	125
3.1 概况	125
3.1.1 塑料抗菌剂	125
3.1.2 抗菌剂的应用	125
3.1.3 塑料制品与抗菌剂	129
3.1.4 纳米塑料抗菌剂的发展趋势	131
3.2 国内外抗菌塑料技术进展	133
3.2.1 国外抗菌塑料的技术及应用	133
3.2.2 国内抗菌塑料的技术与现状	134
3.3 纳米塑料的性能	136
3.3.1 纳米塑料的高强度和高耐热性	136
3.3.2 纳米塑料的高阻隔与高阻透性	137
3.3.3 纳米塑料的高阻燃窒息性	137
3.3.4 纳米塑料的增强增韧及耐热性能	138
3.3.5 纳米塑料的抗老化、耐磨性及透明性能	140
3.3.6 纳米塑料良好的导电性	141
3.3.7 纳米塑料的各向异性	142
3.3.8 纳米塑料的热力学原理及性能	142
3.3.9 纳米塑料的加工性能	143
3.4 典型的纳米塑料	145
3.4.1 纳米通用塑料	145

3.4.2	纳米工程塑料	145
3.4.3	纳米特种工程塑料	146
3.4.4	纳米功能塑料	147
3.4.5	纳米抗菌纤维增强塑料	149
3.5	纳米抗菌塑料的制备技术	149
3.5.1	插层复合法	150
3.5.2	溶胶-凝胶法	153
3.5.3	直接分散法	154
3.5.4	原位聚合法	156
3.5.5	其他合成法	157
3.6	纳米抗菌 PP-R 给水管生产	158
3.6.1	概述	158
3.6.2	纳米无机抗菌色母粒的制备	158
3.6.3	抗菌 PP-R 管制造	160
3.6.4	抗菌 PP-R 给水管质量评价	161
3.7	纳米抗菌塑料研究进展	161
3.7.1	无机纳米抗菌塑料研究进展	161
3.7.2	纳米 CaCO_3 在 UPVC 管材生产中的应用	165
3.7.3	有机纳米塑料研究进展	170
3.7.4	金属纳米塑料研究进展	171
3.7.5	纳米塑料材料加工方法研究方向	172
3.7.6	可工业化生产的纳米塑料	173
3.8	纳米抗菌塑料产品实例	173
3.8.1	纳米热固性塑料产品	173
3.8.2	纳米改性通用塑料产品	176
3.8.3	纳米工程塑料产品	177
3.8.4	纳米特种工程塑料产品	179
3.8.5	纳米塑料材料性能实例	181
3.9	纳米抗菌塑料产品应用实例	185
3.9.1	纳米抗菌塑料产品应用概况	186
3.9.2	安迪美抗菌塑料及其制品的生产举例	187
3.9.3	Conval-PAg40B 纳米抗菌剂产品实例	190
3.10	纳米抗菌塑料开发中的问题	196

参考文献	197
第4章 纳米技术与食品抗菌材料	199
4.1 概述	199
4.1.1 食品抗菌技术与食品中的微生物	199
4.1.2 食品中有害微生物的危害	202
4.1.3 食品防腐剂	206
4.1.4 纳米技术抗菌特点	208
4.1.5 食品中的抗菌与灭菌方法	209
4.2 纳米抗菌与食品抗菌材料的发展现状	217
4.2.1 纳米复合耐高温食品抗菌材料	217
4.2.2 纳米生物杀菌保鲜材料	218
4.2.3 纳米复合耐溶抑藻材料	218
4.2.4 纳米食品医药颗粒	218
4.2.5 蛋壳膜可回收贵金属	219
4.2.6 沸石在食品增补剂中的应用	219
4.2.7 日本用水产废弃物加工抗菌性海鲜调味品	219
4.3 纳米技术在食品抗菌材料的应用	219
4.3.1 食品抗菌塑料制品的应用	220
4.3.2 食品抗菌陶瓷应用	221
4.3.3 食品抗菌不锈钢产品	221
4.4 纳米食品抗菌包装材料发展趋势	221
4.4.1 概述	221
4.4.2 纳米复合包装材料	222
4.4.3 纳米抗菌包装材料	222
4.4.4 纳米型功能(智能)包装材料	223
4.4.5 纳米涂层材料	223
4.4.6 纳米黏合剂和密封胶	223
4.4.7 纳米发光材料与防伪印刷	224
4.4.8 食品纳米包装市场调查	225
4.5 纳米技术与食品包装抗菌材料的应用	226
4.5.1 食品纳米抗菌包装材料应用分类与特征	226
4.5.2 食品抗菌复合软包装应用	229
4.5.3 食品软包装与纳米抗菌薄膜应用	230

4.5.4	纳米抗菌保鲜包装在液体奶包装中的应用	234
4.5.5	“纳米”技术在包装和食品机械上的应用	235
4.6	纳米光催化剂技术在食品抗菌材料的应用	237
4.6.1	光催化剂功能与应用	237
4.6.2	纳米 TiO_2 光催化剂	238
4.6.3	纳米技术无机抗菌型除味剂	239
	参考文献	240
第5章	纳米金属抗菌材料与技术	241
5.1	纳米金属材料概念	241
5.2	纳米金属材料技术动态	242
5.3	纳米金属材料的性能	243
5.4	纳米金属的制备方法	249
5.4.1	物理法	249
5.4.2	化学法	251
5.4.3	纳米金属块体材料的制备方法	253
5.5	纳米金属材料的应用及发展	253
5.5.1	纳米金属材料研究取得的成就	253
5.5.2	纳米金属材料的应用	254
5.5.3	纳米金属材料研究存在的问题	256
5.5.4	纳米金属材料的研究现状	258
5.5.5	纳米金属材料的产业化前景与展望	259
5.6	纳米抗菌不锈钢应用及发展	260
5.6.1	含铜的抗菌不锈钢	260
5.6.2	含银的抗菌不锈钢	263
5.6.3	抗菌不锈钢抗菌性能评价方法	266
5.6.4	金属表面的微生物膜	266
5.7	液态金属抗菌剂	267
5.7.1	含金属离子的液态抗菌剂	268
5.7.2	含金属离子的液态抗菌剂的特点	268
5.7.3	液态金属抗菌剂制备方法	269
5.7.4	液态金属抗菌剂抗菌效果及毒理检测结果	270
5.8	载银纳米金属离子抗菌材料	271
5.8.1	纳米银离子抗菌材料的制备方法	271

5.8.2 银的安全性 with 危险性	274
5.8.3 银离子抗菌剂应用实例	274
参考文献	275
第 6 章 纳米陶瓷抗菌材料与技术	277
6.1 概述	277
6.1.1 纳米抗菌陶瓷定义	278
6.1.2 纳米抗菌陶瓷的分类	278
6.1.3 纳米抗菌陶瓷的抗菌原理	278
6.2 纳米抗菌陶瓷技术研究内容与进展	282
6.2.1 纳米抗菌陶瓷技术研究内容	282
6.2.2 纳米抗菌陶瓷技术研究进展	283
6.3 纳米抗菌陶瓷产品的种类、特点与必要性	284
6.3.1 纳米抗菌陶瓷产品的种类	284
6.3.2 纳米抗菌陶瓷的特点	285
6.3.3 纳米抗菌陶瓷产品的必要性	286
6.4 纳米陶瓷材料的性能与表征和评价	287
6.4.1 纳米陶瓷材料的性能	287
6.4.2 纳米陶瓷材料的表征	288
6.4.3 纳米陶瓷材料的评价	289
6.5 纳米抗菌陶瓷材料的制备技术	290
6.5.1 抗菌陶瓷制备	290
6.5.2 纳米抗菌陶瓷的制造工艺	291
6.5.3 纳米抗菌陶瓷的粉体制备	292
6.6 纳米抗菌陶瓷技术现状	296
6.6.1 国内纳米抗菌材料规模	296
6.6.2 精细陶瓷	297
6.6.3 功能结构陶瓷	298
6.6.4 纳米抗菌陶瓷企业新材料发展现状	298
6.7 纳米抗菌技术在陶瓷中的应用	303
6.7.1 纳米抗菌卫生陶瓷的应用	303
6.7.2 陶瓷用纳米无机抗菌剂的应用方式	304
6.7.3 纳米抗菌技术在陶瓷中应用存在的问题	305
6.8 开发现状与展望	306

6.8.1	纳米银系抗菌剂展望	306
6.8.2	纳米抗菌陶瓷行业的发展趋势	306
	参考文献	307
第7章	纳米纺织纤维与抗菌技术	309
7.1	概况	309
7.1.1	概念与意义	310
7.1.2	纺织材料与抗菌	310
7.1.3	纺织品抗菌机理	312
7.1.4	无机纳米抗菌剂抗菌除臭机理	313
7.2	纳米纺织品与抗菌技术现状	316
7.2.1	纳米抗菌纺织品现状	316
7.2.2	纳米抗菌技术新成果	318
7.2.3	纺织纳米涂层技术新进展	319
7.2.4	纳米抗菌材料在生产中的若干问题	321
7.3	抗菌纺织纤维材料的表征和评价	322
7.3.1	抗菌防臭纤维及制品抗菌效果的评价	322
7.3.2	除臭纤维及纺织品效果的评定	325
7.4	抗菌防臭与除臭纤维和纺织品的制备及性能	325
7.4.1	抗菌防臭与除臭纤维和纺织品的制造方法	325
7.4.2	纺织印染中的共混技术	328
7.4.3	抗菌性能及纤维的力学性能	330
7.5	纳米技术在纺织产品上的应用	330
7.5.1	拒水拒油技术的采用	330
7.5.2	亲水亲油技术的采用	331
7.5.3	抗菌除臭纳米材料在纺织上的应用	331
7.5.4	抗紫外线面料的开发	332
7.5.5	纳米级远红外涤纶短纤维产品	333
7.5.6	纳米防静电织造物材料	333
7.5.7	纳米级纤维产品	334
7.5.8	纳米材料的其他应用	334
7.6	纳米纺织纤维抗菌剂的开发	335
7.6.1	Amicor 抗菌纤维抗菌剂	335
7.6.2	纳米复合抗菌防臭抗菌剂	337

7.7 纳米抗菌技术在纺织纤维材料中的应用	338
7.7.1 纳米层状银系无机抗菌远红外纤维	338
7.7.2 远红外纤维和凉爽型化纤	339
7.7.3 纳米抗静电及纳米导电纤维	340
7.7.4 纳米防紫外线纤维	342
7.7.5 纳米功能性纤维	344
参考文献	345
第8章 纳米建材与家电抗菌技术	347
8.1 概述	347
8.2 纳米 TiO_2 抗菌涂料	348
8.3 绿色抗菌功能涂料	350
8.4 杀菌涂料的研制及测试	351
8.4.1 杀菌涂料的配方	352
8.4.2 涂料杀菌能力检测	352
8.5 纳米抗菌水性木器涂料	353
8.6 纳米技术与家电抗菌的发展现状	354
8.7 电冰箱中的纳米抗菌技术	355
8.7.1 FS-ZN 抗菌塑料及抗菌技术在海尔冰箱中的应用	355
8.7.2 纳米抗菌技术在美菱冰箱中的应用	358
8.8 洗衣机中的纳米抗菌技术	359
8.8.1 洗衣机与抗菌技术	359
8.8.2 洗衣机中的纳米抗菌技术	360
8.9 纳米技术在其他家电产品中的应用	361
8.9.1 纳米银与抗菌手机	361
8.9.2 纳米抗菌功能的电动自行车	361
参考文献	361

第1章 纳米抗菌材料与技术的发展

1.1 纳米技术的基本概念与研究领域

“纳米”是英文 nanometer 的译名，是一种度量单位，1 纳米为百万分之一毫米，也即十亿分之一米，约相当于 45 个原子串起来那么长。纳米结构通常是指尺寸在 100nm 以下的微小结构。1982 年扫描隧道显微镜发明后，便诞生了一门以 0.1~100nm 长度为研究对象的学科，它的最终目标是直接以原子或分子来构造具有特定功能的产品。因此，纳米技术其实就是一种用单个原子、分子制造物质的技术。

从迄今为止的研究状况看，关于纳米技术分为三种概念。第一种概念是 1986 年美国科学家德雷克斯勒博士在《创造的机器》一书中提出的分子纳米技术。根据这一概念，可以使组合分子的机器实用化，从而可以任意组合所有种类的分子，可以制造出任何种类的分子结构。这种概念的纳米技术未取得重大进展。第二种概念把纳米技术定位为微加工技术的极限，也就是通过纳米精度的“加工”来人工形成纳米大小的结构的技术。这种纳米级的加工技术也使半导体微型化即将达到极限。现有技术即便发展下去，从理论上讲终将会达到限度。这是因为，如果把电路的线幅变小，将使构成电路的绝缘膜变得极薄，这样将破坏绝缘效果。此外，还有发热和晃动等问题。为了解决这些问题，研究人员正在研究新型的纳米技术。第三种概念是从生物的角度出发而提出的。本来，生物在细胞和生物膜内就存在纳米级的结构。

1.1.1 世界纳米技术发展态势和特点

科学界普遍认为，纳米技术是 21 世纪经济增长的一台主要的发动机，其作用可使微电子学在 20 世纪后半叶对世界的影响相形见绌，纳米技术将给医学、制造业、材料和信息通信等行业带来革命性的变革。因此，近几年来，纳米科技受到了世界各国尤其是发达国家的极大青睐，并引发了越来越激烈的竞争。

1.1.1.1 各国竞相出台纳米科技发展战略和计划

由于纳米技术对国家未来经济、社会发展及国防安全具有重要意义，世界各国（地区）纷纷将纳米技术的研发作为 21 世纪技术创新的主要驱动器，相继制定了发展战略和计划，以指导和推进本国纳米科技的发展。目前，世界上已有 50 多个国家制定了国家级的纳米技术计划。一些国家虽然没有专项的纳米技术计划，但其他计划中也往往包含了纳米技术相关的研发。

（1）发达国家和地区雄心勃勃 为了抢占纳米科技的先机，美国早在 2000 年就率先制定了国家级的纳米技术计划（NNI），其宗旨是整合联邦各机构的力量，加强其在开展纳米尺度的科学、工程和技术开发工作方面的协调。2003 年 11 月，美国国会又通过了《21 世纪纳米技术研究开发法案》，这标志着纳米技术已成为联邦的重大研发计划，从基础研究、应用研究到研究中心、基础设施的建立以及人才的培养等全面展开。

日本政府将纳米技术视为“日本经济复兴”的关键。第二期科学技术基本计划将生命科学、信息通信、环境技术和纳米技术作为四大重点研发领域，并制定了多项措施确保这些领域所需战略资源（人才、资金、设备）的落实。之后，日本科技界较为彻底地贯彻了这一方针，积极推进从基础性到实用性的研发，同时跨省厅重点推进能有效促进经济发展和加强国际竞争力的研发。

欧盟在 2002~2007 年实施的第六个框架计划也对纳米技术给予了空前的重视。该计划将纳米技术作为一个最优先的领域，有 13 亿欧元专门用于纳米技术和纳米科学、以知识为基础的多功能