

普通高等教育材料科学与工程专业规划教材

表面科学与技术

姚寿山 李戈扬 胡文彬 编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育材料科学与工程专业规划教材

表面科学与技术

姚寿山 李戈扬 胡文彬 编
钱苗根 审阅

机械工业出版社

本书体现了现代科学技术学科间的交叉和学科整合的需要,首先阐述了与材料表面科学技术密切相关的基本概念和基本理论,然后分类讨论分析了应用广泛的有发展前景的各类现代表面技术的特点、适用范围、典型设备、工艺措施和应用实例,并论述了当今最新的表面分析和检测技术的内容和功能。本书共分 12 章,主要内容有:表面技术的意义、目的与应用;表面科学的某些基本概念和基本理论,包括固体表面的物理化学特征、表面摩擦与磨损和表面腐蚀基本理论;电镀与化学镀,化学转化膜,表面涂敷技术;表面改性技术,气相沉积技术,表面微细加工技术,表面复合处理技术;表面分析与测试技术。

本书涉及多学科领域,专业知识面宽广,内容丰富,既可作为材料科学与工程及相关专业本科生和研究生的专业课程的教材,又可作为从事各类表面技术的科学研究、设计、生产和应用的各类科研人员和工程技术人员的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

表面科学与技术/姚寿山等编. —北京:机械工业出版社, 2005.1
普通高等教育材料科学与工程专业规划教材
ISBN 7-111-15564-5

I. 表... II. 姚... III. 金属表面保护—高等学校—教材
IV. TG174.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 114368 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑:张祖凤 责任编辑:董连仁 版式设计:冉晓华
责任校对:罗莉华 封面设计:张 静 责任印制:洪汉军
北京瑞德印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行
2005 年 1 月第 1 版第 1 次印刷
1000mm × 1400mm B5·10.75 印张·414 千字
定价:26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821, 88379646

68326294, 68320718

封面无防伪标均为盗版

前 言

表面、表面现象和表面过程是自然界中普遍存在的,也是人们日常生活时时刻刻直接面对的。广义地说,表面科学与技术是研究表面现象和表面过程并为人类造福或被人们利用的科学技术。人们研究、探索和利用表面科学与技术已有几千年的历史,但是,表面科学技术的迅速发展还是从19世纪工业革命开始的,最近30多年发展更为迅速。多年来,人们不断对传统表面科学与技术进行深入的科学研究、改进和创新,不断探索新的表面技术领域,使得表面科学与技术成为国际性的热门学科,为新材料、光电子、微电子等许多先进产业的迅速发展奠定了科学技术基础。大力加强表面科学与技术这门新学科的建设,是教育改革的需要,也是科技发展和经济建设的需要。

表面科学与技术涉及的学科领域广,专业知识面宽,内容丰富。它不仅是一门具有广博精深知识面和极高实用价值的基础技术,也是一门新兴的边缘性学科。表面科学与技术的发展,在学术上丰富了材料科学、冶金学、机械学、电子学、物理学和化学等学科,为此开辟了一系列新的研究领域。

本书是在我们编写《表面技术概论》讲义和出版《现代表面技术》一书的基础上,经过多年的教学实践后重新组织编写的。本书不仅适合各大专院校有关专业师生作为教材使用,也适合有关科研机构、工业、农业、生物、医药工程等领域中从事管理、研究、设计和制造方面的人员阅读。

本书共分12章,其中第1、2、3、8、11章由姚寿山教授编写,第9、10、12章由李戈扬教授编写,第4、5、6、7章由胡文彬教授编写。全书由姚寿山教授统稿;由钱苗根研究员审稿。上海交通大学材料科学与工程学院的部分研究生也给予了许多具体的帮助,在此,我们谨向他们表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,征求了有关教师、学生以及从事表面科学与技术工作的科技人员和工程技术人员的意见和建议,并参阅和引录了许多文献资料,努力使本书成为精品;但由于我们学识水平有限,本书必然存在不少问题,我们殷切希望各位专家和读者批评指正。

编 者
2004年9月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 表面技术的意义、目的、途径与应用	1
1.1.1 表面技术的意义	1
1.1.2 表面技术的目的与途径	2
1.1.3 表面技术的应用	2
1.2 表面技术的分类、技术内容及发展	9
1.2.1 表面技术的分类	9
1.2.2 表面技术的发展	15
第2章 固体表面的物理化学特征	20
2.1 固体表面的结构	20
2.1.1 固体的理想表面和清洁表面	21
2.1.2 固体的实际表面	27
2.1.3 固体表面的成分偏聚	28
2.1.4 微纳米固体粒子的表面	29
2.2 固体表面的吸附	30
2.2.1 吸附现象	31
2.2.2 表面吸附热力学	35
2.2.3 表面吸附力	36
2.2.4 固体表面的吸附理论	38
2.2.5 固体表面的化学反应	40
2.3 固体表面原子的扩散	42
2.3.1 随机行走扩散理论与宏观扩散系数	42
2.3.2 表面扩散定律	44
2.3.3 表面的自扩散和多相扩散	45
2.3.4 表面向体内的扩散	46
第3章 表面摩擦与磨损	48
3.1 摩擦	48
3.1.1 摩擦的定义和分类	48
3.1.2 摩擦理论	49
3.1.3 影响摩擦的因素	51
3.2 磨损	52

3.2.1 磨损的定义和分类	53
3.2.2 磨损的评定	54
3.2.3 粘着磨损	55
3.2.4 磨料磨损	59
3.2.5 表面疲劳磨损	61
3.2.6 腐蚀磨损	62
3.2.7 磨损理论	64
第4章 表面腐蚀基本理论	66
4.1 金属表面的电化学腐蚀	66
4.1.1 腐蚀的起因	66
4.1.2 电位-pH图	69
4.1.3 腐蚀速率	73
4.2 金属的钝化	75
4.2.1 金属钝化现象与阳极钝化	75
4.2.2 金属的自钝化	78
4.2.3 金属的钝化理论	80
4.3 自然条件下的金属腐蚀	83
4.3.1 大气腐蚀	83
4.3.2 海水腐蚀	88
4.3.3 土壤腐蚀	91
第5章 电镀与化学镀	95
5.1 电镀与电刷镀	95
5.1.1 电沉积的基本知识	95
5.1.2 电沉积过程与电沉积理论	98
5.1.3 电刷镀	102
5.1.4 电镀层质量的影响因数	104
5.1.5 电镀在工业生产中的应用	109
5.2 化学镀	115
5.2.1 化学镀概述	115
5.2.2 化学镀镍	116
5.2.3 化学镀铜	123
第6章 化学转化膜	127
6.1 氧化处理	127
6.1.1 钢铁的化学氧化	127
6.1.2 有色金属的化学氧化	129
6.1.3 铝及铝合金的阳极氧化	131
6.2 磷化处理	139

6.2.1 磷化膜	140
6.2.2 钢铁的磷化处理	140
6.2.3 有色金属的磷化处理	141
6.3 铬酸盐处理	142
6.3.1 铬酸盐膜的形成过程	142
6.3.2 铬酸盐膜的组成与结构	143
6.4 溶胶-凝胶成膜	143
6.4.1 溶胶-凝胶膜的制备过程	144
6.4.2 溶胶-凝胶膜的应用	145
第7章 表面涂敷技术	147
7.1 涂料与涂装	147
7.1.1 涂料的组成	147
7.1.2 涂料的分类	148
7.1.3 常用涂料的性能	149
7.1.4 涂料成膜机理	150
7.1.5 涂膜防护机理	151
7.1.6 涂装工艺	153
7.2 表面粘结	154
7.2.1 粘结剂的组成与分类	154
7.2.2 粘结原理	155
7.2.3 主要粘结剂及其应用	156
7.3 堆焊	157
7.3.1 异种金属堆焊的基本原理	157
7.3.2 堆焊层组织结构	157
7.3.3 常用堆焊材料与堆焊方法	158
7.4 热喷涂	161
7.4.1 热喷涂种类与特点	161
7.4.2 热喷涂原理	162
7.4.3 热喷涂材料与应用	164
7.4.4 喷涂层的性能测试与质量检验	165
7.5 电火花表面涂敷	167
7.5.1 电火花表面涂敷的原理	168
7.5.2 电火花表面涂敷层的特性	168
7.5.3 电火花表面涂敷的应用	170
7.6 热浸镀	171
7.6.1 热浸镀原理	171
7.6.2 热浸镀镀层性能及应用	173

第 8 章 表面改性技术	176
8.1 金属表面形变强化	176
8.1.1 表面形变强化原理	176
8.1.2 表面形变强化的主要方法及应用	177
8.2 表面热处理	184
8.2.1 感应加热表面淬火	185
8.2.2 火焰加热表面淬火	188
8.2.3 接触电阻加热表面淬火	190
8.2.4 浴炉加热表面淬火	190
8.2.5 电解液加热表面淬火	190
8.2.6 高能束加热表面淬火	191
8.2.7 表面光亮热处理	191
8.3 金属表面化学热处理	193
8.3.1 概述	193
8.3.2 渗硼	194
8.3.3 渗碳、渗氮	198
8.3.4 渗金属	204
8.3.5 渗其他元素	207
8.3.6 表面氧化和着色处理	208
8.3.7 电化学热处理	208
8.3.8 真空化学热处理	210
8.4 离子束表面扩渗处理	210
8.4.1 等离子体的物理概念	210
8.4.2 离子渗氮	211
8.4.3 离子渗碳与离子碳氮共渗	213
8.4.4 离子渗金属及其他元素	214
8.5 高能束表面处理	215
8.5.1 激光表面处理	215
8.5.2 电子束表面处理	225
8.5.3 高密度太阳能表面处理	228
8.6 离子注入表面改性	229
8.6.1 离子注入的原理	230
8.6.2 沟道效应和辐照损伤	231
8.6.3 离子注入的特征	231
8.6.4 离子注入表面改性的机理	232
8.6.5 离子注入的应用	233
第 9 章 气相沉积技术	239

9.1 薄膜的特征与分类	239
9.1.1 薄膜的定义与特征	239
9.1.2 薄膜的种类与应用	239
9.1.3 薄膜的制备方法	241
9.2 蒸发镀膜	241
9.2.1 蒸发镀膜的原理	241
9.2.2 蒸发源与蒸发方式	244
9.2.3 薄膜的形成	245
9.2.4 合金与化合物的蒸镀	247
9.2.5 分子束外延	248
9.3 溅射镀膜	249
9.3.1 溅射镀膜的原理	249
9.3.2 气体的辉光放电	252
9.3.3 溅射镀膜的工艺方法	253
9.3.4 溅射薄膜的生长特点	256
9.4 离子镀膜	257
9.4.1 离子镀膜的原理与装置	257
9.4.2 离子镀膜层的特点	258
9.4.3 其他采用离子的镀膜方法	259
9.4.4 离子镀的应用	260
9.4.5 物理气相沉积三种基本方法的比较	261
9.5 化学气相沉积	262
9.5.1 化学气相沉积的基本工艺过程	262
9.5.2 化学气相沉积的工艺方法	264
9.5.3 化学气相沉积薄膜的特点	266
9.5.4 化学气相沉积金刚石薄膜	266
第 10 章 表面微细加工	268
10.1 光刻加工	268
10.1.1 光刻	269
10.1.2 刻蚀	273
10.2 其他微细加工方法	277
10.2.1 LIGA 加工	277
10.2.2 机械微细加工	279
10.2.3 放电微细加工	280
10.2.4 激光束微细加工	280
10.2.5 电子束微细加工	281
10.2.6 离子束微细加工	281
10.2.7 超声波微细加工	282

第 11 章 表面复合处理技术	284
11.1 表面复合热处理	284
11.1.1 表面复合化学热处理	284
11.1.2 表面热处理与表面化学热处理的复合处理	286
11.2 表面热处理与其他表面技术的复合处理	287
11.2.1 表面热处理与表面形变强化的复合处理	287
11.2.2 表面镀覆与表面热处理的复合处理	287
11.2.3 烧结与表面热处理的复合处理	288
11.2.4 覆盖层与表面冶金化的复合处理	288
11.3 高能束辅助表面沉积与涂镀复合处理	289
11.3.1 等离子(离子束)辅助复合表面处理	289
11.3.2 激光等辅助复合气相沉积和复合涂镀处理	292
11.4 复合镀	293
11.4.1 复合镀的特点	294
11.4.2 复合镀的机理	294
11.4.3 化学镀复合材料	297
11.4.4 复合镀层的种类与性能	301
11.5 高分子材料表面金属化技术	306
11.5.1 高分子材料表面金属化技术的工艺和特点	306
11.5.2 应用与前景	307
第 12 章 表面的分析与测试	309
12.1 表面的分析方法及应用	309
12.1.1 材料表征方法简介	309
12.1.2 表面的微结构分析	311
12.2 表面检测	321
12.2.1 外观检查	321
12.2.2 表面层的厚度测定	321
12.2.3 表面镀、涂层的结合强度测定	323
12.2.4 表面的力学性能测量	324
12.2.5 表面层的内应力测量	325
12.2.6 薄膜电阻的测量	327
参考文献	328

第1章 绪 论

1.1 表面技术的意义、目的、途径与应用

1.1.1 表面技术的意义

人们使用表面技术已有悠久的历史。我国早在战国时代已进行钢的淬火,使钢的表面获得坚硬层。欧洲使用类似的技术也有很长的历史。但是,表面技术的迅速发展还是从19世纪工业革命开始的,尤其是近几十年发展更为迅速,特别在以下方面显示出巨大的生命力。

1) 材料的疲劳断裂、磨损、腐蚀、氧化、烧损以及辐照损伤等,一般都是从表面开始的,而它们带来的破坏和损失是十分惊人的。例如仅腐蚀一项,全世界每年损耗金属达一亿吨以上。1975年美国一年的腐蚀损失达820亿美元,占国民总产值的4.9%;1995年,美国因腐蚀造成的损失上升到3000亿美元。1983年,我国因腐蚀造成的损失至少400亿元人民币。统计表明,工业发达国家因腐蚀破坏造成的经济损失约占国民经济总产值的2%~4%,超过水灾、火灾、地震和飓风等造成经济损失的总和。由于摩擦磨损,美国每年材料损失高达200亿美元;英国每年摩擦磨损造成的经济损失超过51500万英镑;1986年我国摩擦磨损造成的经济损失也超过国民总产值的1.8%。据资料报道,在各种机电产品的过早失效破坏中约有70%是由腐蚀和磨损造成的。因此,采用各种表面技术,改善材料表面性能,加强材料表面防护具有十分重要的意义。

2) 随着经济和科学技术的迅速发展,人们对各种产品抵御环境作用能力和长期运行的可靠性、稳定性等提出了越来越高的要求。要求产品能在高温、高压、高速、高度自动化和恶劣的工况条件下长期稳定运转。例如,飞船或洲际导弹的头部锥体和翼前沿,在几十倍音速下与大气层摩擦产生巨大热量,使头部的表面温度升高到4000~5000℃,如果表面没有氧化铝、氧化锆、氧化钽、石英纤维、陶瓷纤维或碳纤维等隔热涂层、防火涂层和烧蚀涂层来保护基体金属,其结果是不可想像的。再如,人造卫星在宇宙中的温度控制也是靠表面涂层来实现的。太阳照射面温度可达+200℃,而太阳未照射面的温度可低到-200℃,只有采用温控涂层才能保证卫星中电子仪器的正常工作。

在许多情况下,构件、零部件和元器件的性能和质量,主要取决于材料表面的性能和质量。例如采用先进的表面技术,严格控制材料表面成分和结构,同时

进行高精度的微细加工，使许多电子元器件如电阻器、电容器、电感器、传感器、记忆元件、超导元件，微波声学器件、薄膜晶体管、集成电路基片等，不仅可做得越来越小，大大缩小了产品的体积和减轻了质量，而且生产的重复性、成品率和产品的可靠性、稳定性都获得显著提高。

3) 许多产品的性能主要取决于表面的特性和状态，而表面（层）很薄，用材十分少，因此表面技术可节约材料、节约能源等，以最低的经济成本来生产优质产品。同时，许多产品要求材料表面和内部具有不同的性能或者对材料提出其他一些棘手的难题，如“材料硬而不脆”、“耐磨而易切削”、“体积小而功能多”等，此时表面技术就成了必不可少或惟一的途径。

4) 使用表面技术有可能在更广阔的领域中制备各种新材料和新器件。目前表面技术已在制备高临界温度超导膜、金刚石膜、纳米多层膜、纳米粉末、纳米晶体材料、多孔硅、碳 60 等新型材料中起关键作用，同时又是在许多光学、光电子、微电子、磁性、量子、热工、声学、化学、生物等功能器件的研究和生产上的最重要的基础之一。表面技术的应用使材料表面具有原来没有的性能，大幅度拓宽了材料的应用领域，充分发挥材料的潜力。

1.1.2 表面技术的目的与途径

1. 对于固体材料来说，使用表面技术的主要目的

1) 提高材料抵御环境作用的能力。

2) 赋予材料表面某种功能特性，包括光、电、磁、热、声、吸附、分离等各种物理和化学性能。

3) 实施特定的表面加工来制造构件、零部件和元器件等。

2. 表面技术赋予材料表面某种功能特性的主要途径

1) 施加各种覆盖层，主要采用各种涂层技术，包括电镀、电刷镀、化学镀、涂装、粘结、堆焊、熔结、热喷涂、塑料粉末涂敷、热浸涂、搪瓷涂敷、陶瓷涂敷、真空蒸镀、溅射镀、离子镀、化学气相沉积、分子束外延制膜、离子束合成薄膜技术等。此外，还有其他形式的覆盖层，例如各种金属经氧化和磷化处理后的膜层、包箔，贴片的整体覆盖层，缓蚀剂的暂时覆盖层等。

2) 用机械、物理、化学等方法，改变材料表面的形貌、化学成分、相组成、微观结构、缺陷状态或应力状态，即采用各种表面改性技术。主要有喷丸强化、表面热处理、化学热处理、等离子扩渗处理、激光表面处理、电子束表面处理、太阳能表面处理、离子注入表面改性等。

1.1.3 表面技术的应用

表面技术的应用遍及各行各业，包含的内容十分广泛，可以用于耐蚀、耐磨、修复、强化、装饰等，也可以是光、电、磁、声、热、化学、生物等方面的应用。表面技术所涉及的基体材料不仅有金属材料，也包括无机非金属材料、有

机高分子材料及复合材料。把这些技术恰当地应用于构件、零部件和元器件，可以获得巨大的经济和社会效益。

1. 表面技术在结构材料以及工程构件和机械零部件上的应用

结构材料主要用来制造工程建筑中的构件、机械装备中的零部件以及工模具等，在性能上以力学性能为主，同时在许多场合又要求兼有良好的耐蚀性和装饰性。表面技术在这方面主要起着表面防护、耐磨、强化、修复、装饰等重要作用。

表面防护主要指材料表面防止化学腐蚀和电化学腐蚀等能力。工程上常用价廉的构件定期更换旧的腐蚀件，但在许多情况下必须采用一些措施来防止或控制腐蚀。如一方面改进工程构件的设计、改变构件的成分、减小或消除材料中的电化学不均匀因素、控制环境、采用阴极保护法等；另一方面，采用表面技术改变材料表面的成分和结构以及施加覆盖层等，能显著提高材料或制件的防护能力。

耐磨是指材料在一定摩擦条件下抵抗磨损（磨料磨损、粘着磨损、疲劳腐蚀、冲蚀、气蚀等）的能力。它与材料特性以及载荷、速度、温度等磨损条件有关。采用适当的表面技术是提高材料或制件耐磨性的有效途径之一。

强化与防护一样，这里主要指通过各种表面强化处理来提高材料表面抵御除腐蚀和磨损之外的环境作用的能力。例如疲劳破坏，它也是从材料表面开始的，通过表面处理，如化学热处理、喷丸、滚压、激光表面处理等可以显著提高材料疲劳强度。又如许多制品要求表面强度和硬度高，而心部韧性好，以提高使用寿命，通过合理的选择材料和表面强化处理，就能满足这个要求。不少表面技术如堆焊、电镀与电刷镀、热喷涂、粘结等，不仅可修复尺寸精度，而且往往还可提高表面性能，延长使用寿命。

表面装饰主要包括光亮（镜面、全光亮、亚光、光亮缎状，无光亮缎状等）、色泽、花纹（各种平面花纹，刻花和浮雕等）、仿照（仿贵金属，仿大理石，仿花岗石等）多方面特性。用恰当的表面技术，可对各种材料表面进行装饰，不仅方便、高效，而且美观、经济，因此应用广泛。

2. 表面技术在功能材料和元器件上的应用

材料根据所起的作用大致可以分为结构材料和功能材料两大类。功能材料主要指那些具有优良的物理、化学和生物等功能及相互转化功能的材料。被用于非结构目的之高技术材料的功能材料，常用来制造各种装备中具有独特功能的核心部件，起着十分重要的作用。

功能材料与结构材料相比较，除了两者性能上的差异和用途不同之外，另一个重要特点是材料通常与元器件“一体化”，即功能材料常以元器件形式对其性能进行评价。

材料的许多性质和功能与表面组织结构密切相关，因而通过各种表面技术可制备或改进一系列功能材料及其元器件。表 1-1 是表面技术在功能材料和元器件

上的部分应用概况。

表 1-1 表面技术在功能材料和器件上的部分应用概况

作 用	简要说明	常用技术	应用举例
光 学 特 性	反射性、防反射性	电镀、化学转化处理、涂装、气相沉积	反射镜、防眩零件
	增透性		激光材料增透膜
	光选择透过		反射红外线、透过可见光的隔热膜
	分光性、偏光性		用多层介质膜组成的分光镜、起偏器
	光选择吸收		太阳能选择吸收膜
	发光、光记忆		光致发光材料、薄膜光致变色材料
电 学 特 性	导电性	涂装、化学镀、气相沉积等	表面导电玻璃
	超导性		用表面扩散制成的 Nb-Sn 线材
	约瑟夫逊效应		约瑟夫逊器件
	各种电阻特性		膜电阻材料
	绝缘性		绝缘涂层
	半导体性		半导体材料（膜）
	波导性		波导管
磁 学 特 性	低接触电阻特性	气相沉积、涂装等	开关
	存储记忆、磁记录		磁泡材料、磁记录介质
声 学 特 性	电磁屏蔽	涂装、气相沉积等	电磁屏蔽材料
	声反射和声吸收		吸声涂层
热 学 特 性	声表面波	电镀、涂装、气相沉积等	声表面波器件
	导热性		散热材料
	热反射性		热反射镀膜玻璃
	耐热性、蓄热性		耐热涂层、集热板
	热膨胀性		双金属温度计
	保温性、绝热性		保温材料
化 学 特 性	吸热性	大多数表面技术	吸热材料
	选择过滤性		分离膜材料
	活性		活性剂
	耐蚀		防护涂层
	防沾污性		医疗器件
功 能 转 换	杀菌性	涂装、气相沉积、粘结、等离子喷涂	餐具镀银
	光↔电转换		薄膜太阳能电池、电致发光器件
	热↔电转换		电阻式温度传感器、薄膜加热器
	光—热转换		选择性涂层
	力—热转换		减振膜
	力—电转换		电容式压力传感器
	磁↔光转换		磁光存储器、光磁记录材料

3. 表面技术在人类适应、保护和优化环境方面的一些应用

表面技术在人类适应、保护和优化环境方面有着一系列应用，并且其重要性日益突出。这里举例如下：

(1) 净化大气 人类在生产和生活中使用了各种燃料、原料，产生大量的

CO₂、NO₂、SO₂ 等有害气体，引起温室效应和酸雨，严重危害了地球环境，因此要设法回收、分解和替代它们。用涂覆和气相沉积等表面技术制成的触媒载体等是其有效途径之一。

(2) 净化水质 膜材料是重要的净化水质的材料，可用来处理污水、化学提纯、水质软化、海水淡化等，这方面的表面技术正在迅速发展。

(3) 抗菌灭菌 有些材料具有净化环境的功能，其中二氧化钛光催化剂很引人注目。它可以将一些污染的物质分解掉，使之无害，同时又因有粉状、粒状和薄膜等形状而便于利用。研究发现，过渡金属 Ag、Pt、Cu、Zn 等元素能增强 TiO₂ 的光催化作用，而且具有抗菌、灭菌作用（特别是 Ag 和 Cu）。据报导，日本已利用这种表面技术开发出一种把具有吸附蛋白质能力的磷灰石生长在二氧化钛表面而制成高功能二氧化钛复合材料。它能够完全分解吸附的菌类物质，不仅可以半永久性使用，而且还可以制成纤维和纸，广泛用于抗菌材料。

(4) 吸附杂质 表面技术制成的吸附剂，可以除去空气、水、溶液中的有害成分，具有除臭、吸湿等作用。例如在氨基甲酸乙酯泡沫上涂覆铁粉，经烧结后成为除臭剂，用于冰箱、厨房、厕所、汽车内。

(5) 去除藻类污垢 运用表面化学原理制成特定的组合电极，例如 Cl-Cu 组合电极，用来去除发电厂沉淀池、热交换器、管道等内部的藻类污垢。

(6) 活化功能 远红外光具有活化空气和水的功能，而活化的空气和水有利于人的健康。例如在水净化器中加上能活化水的远红外陶瓷涂层装置，取得很好的效果，已经投入实际应用。

(7) 生物医学 具有一定的理化性质和生物相容性的生物医学材料已受到人们的高度重视。使用医用涂层可在保持基体材料特性的基础上，增进基体表面的生物学性质，或阻隔基材离子向周围组织溶出扩散，或提高基体表面的耐磨性、绝缘性等，推动生物医学材料的发展。例如在金属材料上涂以生物陶瓷，用作人造骨、人造牙、植入装置导线的绝缘层等。目前，制备医用涂层的表面技术有等离子喷涂、气相沉积、离子注入、电泳等。

(8) 治疗疾病 用表面技术和其他技术制成的磁性涂层敷在人体的一定穴位，有治疗疼痛、高血压等功能。涂敷驻极体膜，具有促进骨裂愈合等功能。有人认为，频谱仪、远红外仪等设备能发出一定的波与生物体细胞发生共振，促进血液循环，活化细胞，治疗某些疾病。

(9) 绿色能源 大量能源的使用往往产生严重污染，因此应大力推广绿色能源，如太阳能电池、磁流体发电、热电半导体、海浪发电、风能发电等，以保护人类环境。表面技术是许多绿色能源装置如太阳能电池、太阳能集热管、半导体制冷器等制造的重要技术之一。

(10) 优化环境 表面技术将在人类控制自然、优化环境上起很大的作用。

例如人们正在积极研究能调光、调温的“智慧窗”，即通过涂敷或镀膜等方法，使窗可按人的意愿来调节光的透过率和光照温度。

4. 表面技术在研究和生产新型材料中的应用

各种表面技术可以适当地复合起来，发挥更大的作用。材料经表面处理或加工后可以获得许多不寻常（远离平衡态）的结构形式，因此表面技术在研制和生产新型材料方面是十分重要的。表 1-2 列出了这方面的一些重要应用。

表 1-2 表面技术在研制和生产新型材料中的应用举例

序号	新型材料	简要说明	表面技术及其所起作用
1	金刚石薄膜 (Diamond Film)	金刚石结构，硬度 80 ~ 100GPa；室温热导率达 11W/(cm·K)，是铜的 2.7 倍；绝缘性和化学稳定性较好；在很宽的光波段范围内透明；禁带宽度比 Si、GaAs 等半导体材料宽。它在微电子技术、超大规模集成电路、光学、光电子等领域有良好的应用前景	过去金刚石材料制备是在高温高压条件进行的，现在利用热化学气相沉积 (TCVD) 和等离子体化学气相沉积 (PCVD) 等表面技术在低压或常压条件就可以制得
2	类金刚石碳膜 (Diamond Like Carbon Film)	非晶态和微晶结构的含氢碳膜，又名 i-C 膜、a-C:H 膜等，其原子结构为 sp^3 和 sp^2 。类金刚石碳膜的一些性能接近金刚石膜，如高硬度，高热导率，高绝缘性，良好的化学稳定性，从红外到紫外的高光学透过率等。它可用于光学器件保护膜和增透膜、工具的耐磨层、真空润滑层等	所用的表面技术与制备金刚石薄膜相似，通常用低能量的碳氢化合物的等离子体分解或碳离子束沉积技术来制得，因而设备较简单，成本较低，容易实现工业生产；主要缺点是结构为亚稳态等
3	立方氮化硼薄膜 (Cubic Boron Nitride Film)	具有立方结构，硬度仅次于金刚石，耐热性和化学稳定性比金刚石更好；具有高电阻率、高热导率；掺入某些杂质可成为半导体。它用于半导体、电路基板、光电开关以及耐磨、耐热、耐蚀涂层	不仅能在高压下合成，也可在低压下合成，具体方法很多，主要有化学气相沉积 (CVD) 和物理气相沉积 (PVD) 两类
4	超导薄膜 (Superconducting Film)	用 YBaCuO 等高温超导薄膜可望制成微波调制、检测器件、超高灵敏的电磁场探测器件、超高速开关存储器件，用于超高速计算机等	采用真空蒸发、溅射、分子束外延等方法制备。沉积膜为非晶态，经高温氧化后转变为具有较高转变温度的晶态薄膜
5	LB 薄膜 (Langmuir Blodgett Film)	LB 膜是有机分子器件的主要材料。它是由羧酸及其盐、脂肪酸烷基族以及染料、蛋白质等有机物构成的分子薄膜。LB 膜在分子聚合、光合作用、磁学、微电子、光电器件、激光、声表面波、红外检测、光学等领域中有广泛的应用	将有机高分子材料溶于某挥发性有机溶剂中，然后滴在水或其他溶液表面，待溶剂挥发后，液面保持恒温和被施加一定的压力，沿液面形成致密单分子膜，接着将膜层转移、组装到固体载片，可制备几层到数百层 LB 膜
6	超微颗粒型材料 (Ultramicro-grained Materials)	超微颗粒尺寸为 1 ~ 10nm。由于超细颗粒的表面效应、小尺寸效应和量子效应，使超微颗粒在光学、热学、电学、磁学、力学、化学等方面有着许多奇异的特性。例如能显著提高许多颗粒型材料的活性和催化率，增大磁性颗粒的磁记录密度，提高化学电池和燃料电池的效率，增大对电磁波的吸收能力等；也可作为添加剂，制成导电的合成纤维、橡胶、塑料或者成为药剂的载体，提高药效等	通常用机械粉碎的方法，很难得到颗粒下限尺寸为 1 μ m，所以超微颗粒要用表面技术来制备。例如用气相沉积的方法，即在低压惰性气体中加热金属或化合物，使其蒸发后冷凝，而控制惰性气体的种类与气压就可以得到不同粒径的颗粒

(续)

序号	新型材料	简要说明	表面技术及其所起作用
7	纳米固体材料 (Nanosized Materials)	指尺寸小于 15nm 的超微颗粒, 其力学、热学、磁学等性能与同成分普通固体材料有很大的差异。例如纳米陶瓷有一定的塑性, 可进行挤压和轧制, 然后退火使晶粒长大到微米量级, 再变成普通陶瓷。又如纳米陶瓷导热性优良; 纳米金属强度更高等	通常是用气相沉积等方法制备纳米粉粒, 然后在高压下压制成型, 或再经一定热处理制成纳米固体材料
8	超微颗粒膜材料 (Ultramicrograined Film Materials)	是将超微颗粒嵌于薄膜中构成的复合薄膜、在电子、能源、检测、传感器等许多方面有良好的应用前景	用两种在高温下互不相溶的组元制成复合靶, 然后在基片上生成复合膜。改变靶膜中组分比例, 可改变膜中颗粒大小和形态
9	非晶硅薄膜 (Amorphous Silicon Film)	带宽为 1.7~1.8eV, 太阳辐射峰附近的光吸收系数比晶态硅大一个数量级。制备工艺简便, 成本低廉, 可制成摄像管的靶、位敏检测器件和复印鼓等	等离子体化学气相沉积等
10	微米硅 (Microcrystalline Silicon; $\mu\text{-Si}$)	又称纳米晶, 晶粒尺寸约 10nm。带宽 2.4eV, 电子与空穴迁移率都高于非晶硅两个数量级, 光吸收系数介于晶体硅与非晶硅之间。可取代掺氢的 SiC 作非晶硅太阳能电池的窗口材料, 以提高其转换效率, 也可制作异质结双极型晶体管、薄膜晶体管等	等离子体化学气相沉积、磁控溅射等
11	多孔硅 (Porous Silicon)	多孔硅的孔隙度为 60%~90%。室温下受蓝光激发出可见光, 也能电致发光。它可制成频带宽、量子效率高的光检测器, 其禁带宽度明显超过晶体硅	以硅为原料在以氢氟酸为基的电解液中阳极氧化而制得
12	碳 60 (Buckminster Fullerene)	由 60 个碳原子组成空心圆球状分子。它的四周由 12 个正五边形碳环(碳-碳单键结构)和 20 个正六边形碳环(苯环式)构成。 C_{60} 物理性质相对稳定, 化学性质相对活泼。这类材料的 T_c 已超过 40K	碳 60 是 Rohlfling 等人在 1984 年将碳蒸气骤冷淬火时通过质谱图发现的
13	纤维补强陶瓷基复合材料 (Fiber Reinforced Ceramic Matrix Composite)	是以各种金属纤维、玻璃纤维、陶瓷纤维为增强体, 以水泥、玻璃陶瓷等为基体, 通过一定的复合工艺结合在一起所构成的复合材料。这类材料具有高强度、高韧性和优异的热学、化学稳定性, 是一类新型结构材料。目前, 除了纤维增强水泥基复合材料、碳-碳复合材料等已获得实际应用外, 还有许多重要的纤维补强陶瓷仍处于实验室阶段, 但在一系列高新技术领域中有着良好的应用前景	复合材料在力学中, 只有通过界面才能使增强剂和基体二者起到协同作用。界面是影响复合材料性能的关键之一。在一些重要的复合材料中, 例如碳纤维补强陶瓷基复合材料等, 纤维必须通过一定的表面处理, 使纤维与基体“相容”
14	梯度功能材料 (Functionally Gradient Materials)	连续地改变两种不同性质材料的组成和结构, 使其结合部位的界面消失, 得到组织连续变化、功能连续平稳变化的非均质材料。它提高耐热性与力学强度, 有效地解决热应力问题, 可望用于航空、航天、核工业、生物、传感器、发动机等许多领域	许多表面技术如等离子喷涂、离子镀、离子束合成薄膜技术、化学气相沉积、电镀、电刷镀等, 都是制备梯度功能材料的重要方法

5. 其他表面技术

(1) 表面湿润和反湿润技术 湿润是一种重要的表面现象, 人们有时要求液体在固体表面上有高度润湿性, 而有的却要求有不润湿性, 这就需要人们在各种