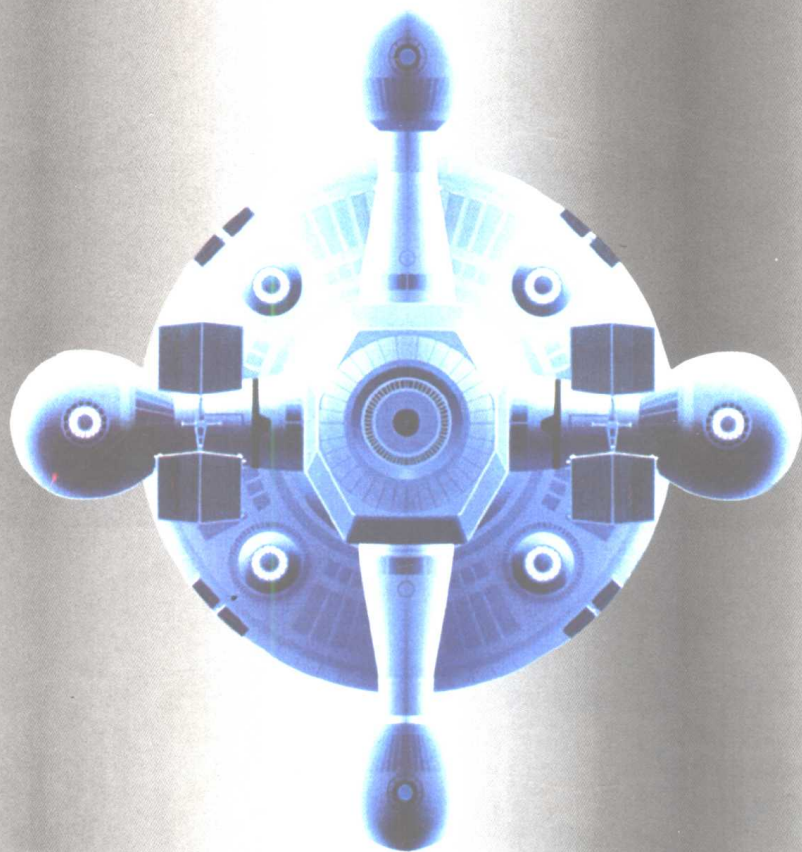


现代表面工程 设计手册

李金桂 主编 肖定全 副主编

国防工业出版社



现代表面工程设计手册

主 编 李金桂

副主编 肖定全

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

现代表面工程设计手册/李金桂主编. —北京:国防工业出版社, 2000. 9

ISBN 7-118-02332-9

I. 现... II. 李... III. 工业产品-表面-工程技术-手册 IV. TB497

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 32381 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 64¼ 1648 千字

2000 年 9 月第 1 版 2000 年 9 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:128.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

编 著 委 员 会

主 编 李金桂

副主编 肖定全

委 员 刘家浚 朱建国 吴再思 吴荫顺 李金桂
肖定全 席时俊 赵 进 赵闰彦 曹 备

审 定 委 员 会

主 任 委 员 师昌绪^①

副主任委员 严东生^① 肖纪美^②

委 员 (按姓氏笔划排序)

丁传贤^② 干福熹^② 师昌绪^① 刘伯操^③

严东生^① 肖纪美^② 沈德忠^② 周克崧

胡如南 闻立时^② 莫龙生 顾真安^②

徐滨士^② 蒋民华^② 颜鸣皋^②

①为两院院士,师昌绪先生曾任中国工程院副院长,严东生先生曾任中国科学院副院长。

②为中国科学院院士或中国工程院院士。

③为俄罗斯科学院名誉院士。

参加编著人员

姓名	单位及职称	参编内容
李金桂	北京航空材料研究院 研究员 教授	策划、全书构思与审定。总论、表面与表面层的设计与选择等
肖定全	四川大学 教授 博士生导师	表面界面与功能效应,电磁功能薄膜,功能薄膜表征、选择与发展。薄膜技术章审定
马宗复	四川大学 教授	表面界面与功能效应
曹 备	北京科技大学 博士	腐蚀学概论、表面与表面层的设计与选择
李久清	北京科技大学 教授	腐蚀学概论
吴荫顺	北京科技大学 教授 博士生导师	腐蚀学概论
刘家浚	清华大学 教授 博士生导师	摩擦学概论
王仁智	北京航空材料研究院 研究员 教授	表面形变强化
席守谋	西北工业大学 教授	表面相变硬化,渗碳、渗氮等
赵闰彦	北京航空材料研究院 高级工程师	电化学沉积、化学氧化、电化学氧化等
邓志威	北京师范大学低能所 博士	微弧阳极氧化陶瓷薄膜
范瑞麟	北京航空材料研究院 高级工程师	表面扩散渗入
张通和	北京师范大学低能所 教授	离子注入
朱建国	四川大学 教授	微电子薄膜、电磁功能薄膜
张 彬	四川大学 副教授	光学薄膜
蔡邦维	四川大学 教授 博士生导师	光学薄膜
彭启才	四川大学 博士 副教授	光电子学薄膜、集成光学薄膜
吕反修	北京科技大学 教授 博士生导师	金刚石薄膜
戴达煌	广州有色金属研究院 教授级高工	类金刚石薄膜、机械薄膜、装饰薄膜
周克崧	广州有色金属研究院 教授级高工 博士生导师	类金刚石薄膜、机械薄膜、装饰薄膜
袁镇海	广州有色金属研究院 教授级高工	类金刚石薄膜、机械薄膜、装饰薄膜
周 尉	复旦大学 博士	激光镀
郁祖湛	复旦大学 教授 博士生导师	激光镀
席时俊	北京铁道科学院金化所 研究员	有机涂层技术
杨松柏	北京铁道科学院金化所 副研究员	有机涂层技术
陈建敏	中科院兰州化物所 研究员 博士生导师	粘结固体润滑涂层
刘若愚	北京航空材料研究院 高级工程师	无机涂层技术
刘邦津	北京钢铁研究院 研究员	热浸镀技术
肖怀斌	武汉防锈材料包装总厂 教授级高工	防锈技术
何国雄	湖南大学 教授	防锈技术
吴再思	中国环境科学出版社 编审	总论,全书统稿
赵 进	北京航空材料研究院 研究员	全书统稿

致 读 者^①

《现代表面工程设计手册》审定委员会在北京审定了由李金桂、肖定全等编著的《现代表面工程设计手册》，提出以下审定意见：

1. 表面工程技术不仅是发展支柱产业的重要技术，而且是现代的一个重要高新技术领域，也是实现材料可持续发展的一项重要措施。编写与出版该手册具有重要的科技意义和经济价值。

2. 该手册结构合理，编著思想新颖，具有创新性，明确地把薄膜技术纳入表面工程，把在物体表面上所发生的各种技术纳入表面工程，是我国第一本关于表面工程技术和产品设计、生产相结合的大型手册，是第一本系统而全面地阐述表面工程三大技术（表面改性、薄膜技术和涂镀层技术）及其新型表面层性能、特点、适用范围的大型工具书，是第一本专门为各行各业、各工程技术领域以及相关产品的设计师和工程师们提供的大型案头著作。

3. 该手册提供了表面改性、涂镀膜层及其协同组合的复合涂镀膜层数千种，可供设计人员进行选择和设计，是一本实用性很强的著作，也是一本现代工程技术发展迫切需要的著作。

《现代表面工程设计手册》审定委员会

师昌绪

严东生

肖纪美

周克敏

陈冲

刘伯章

胡如南

莫祖生

丁传贤

顾真安

干福熹

翁宇

闻立时

顾以泰

徐海士

^① 标题系编者所加。

序

表面处理技术,在我国可追溯到几千年以前。如在 3000 年前,中国就采用了大漆,用以美化或保护器皿或器具的表面。20 世纪 80 年代发掘的秦始皇墓二号坑发现我国 2000 多年前在青铜剑的刃部表面涂有一层含铬的钝化膜,说明我国古代涂层有相当高的技术水平。随着现代科学技术的进步,表面处理技术的发展更是层出不穷,特别是 20 世纪 50 年代以后,三束(电子束、离子束、激光束)的出现,使表面处理技术取得了突飞猛进的进展,引发了表面技术的研究热潮,形成了表面工程学,国际上出版了表面工程杂志,在一些国家建立了表面工程学会、表面工程研究所,大学出现了表面工程学系。在许多工程设计中,把表面处理或改性作为工程的主要内容。因为通过表面的改变,不仅可以提高材料的耐磨损、耐腐蚀、抗高温氧化和疲劳性能,确保产品使用可靠性、安全性,延长使用寿命,美化外观,装饰环境,而且通过表面工程可以使材料或器件具有特殊的声光电磁性能,如吸波隐身、发光吸热等,以满足经济和国防建设的需求。

表面工程又是实现材料可持续发展的一种重要措施。本书所指表面技术包括三个部分,即表面改性、涂镀层及薄膜技术:前二者可以有效地保护基体材料,从而达到节约资源和能源、减少污染的目的;而薄膜技术更是实现器件小型化和多功能化最主要的措施,因而在节约能源与资源方面更为有效。

根据以上各点,表面工程在 21 世纪将会有很大的发展,新的技术将得到更为广泛的应用,那就要求工程师和设计师有意识地、主动地携手合作,将表面工程设计纳入各行各业、各项工程和产品的总体设计之中,则本手册将会发挥更大作用。

以李金桂研究员为主编的作者们都是长期工作在第一线的专家,他们在这—领域都做出了卓有成效的业绩。他们感到表面工程大发展的局面即将到来,以他们多年研究与实践为基础,吸收国内外的成果,编著了这本手册。这是我国第一部有关表面工程设计的书,系统而全面地介绍了表面工程的内涵,为各项工程和产品的的设计提供了详实而有用的信息,为促进和发展表面工程做出了贡献。

我深信各行各业在各项工程和产品的设计、制造和维护过程中自觉地应用表面技术后,必将进一步丰富和发展现代表面工程,使表面工程在我国国民经济和国防建设中做出更大的贡献。

师昌绪
2000.1.20

师昌绪先生是国际著名的材料科学家,中国科学院和中国工程院院士,曾任中国工程院副院长、中国科学院技术科学部主任、国家自然科学基金委副主任。

前 言

20 世纪,人类在科学技术上取得了过去几千年都未能取得的成就和进步,科学技术在国民经济建设和人们的生活中发挥着越来越重要的作用。表面科学、表面工程与其他科学一样,也以前所未有的速度在发展,并取得了巨大的成就。从高科技产品到人们的日常生活用品,都离不开现代科学技术的飞速发展,都离不开现代的表面科学和表面工程。

在太空,当人造卫星飞行时,向地面发回各种信息和资料,这正是依靠薄膜支撑的太阳能电池,将太阳能转化为电能、热能,维持着人造卫星的各种设施正常运行;依靠薄膜支撑的各种表面,实现声光磁电的转换,支撑着微机的工作,协调人造卫星各种设备的自动化运转。

在高空,预警飞机配备有大功率计算机、各种探测器、转换器,探视着空中与地面的各种活动,向有关方面发布着各种信息。而计算机和所有这些设施都是由大量薄膜、涂镀层和表面改性技术支撑着。

在一个现代化城市,高耸入云的是涂着各种防护层或装饰层的微波塔、电视塔;映入你的眼帘的是装饰有阳光控制膜(或低辐射率膜)的大型玻璃幕墙的高层现代化建筑群;进入现代化大厦,大厅里满是金碧辉煌的各种装饰物、壁画与美丽的表面装修;而现代化城市所需的天然气、水、暖气、电话、电源等的传送管道都涂以长寿命防腐蚀涂层,或隐藏或深埋地下。这一切都是与现代表面技术的发展密切相关的。当人们拿着手机,听着音乐,看着电视或是在因特网上与世界各地交流信息时,你可曾想到这也离不开表面技术,手机上的集成电路,磁带,激光盘,电视机的屏幕,计算机内的集成块,终端显示屏,都赖以表面改性、薄膜或涂镀层技术才得以实现。

甚至你的家居庭院装饰,客厅的安排,房间的布置,为了形成一个舒适典雅的环境也需要现代表面工程的设计。一座现代化大型建筑或一架大型飞机的设计或一枚空地导弹的设计,哪一项能离开表面的设计?可以毫不夸张地说:没有现代表面工程的设计,就没有现代电子设备,没有现代电子计算机,也就没有现代航空航天。没有现代表面工程与现代工程实体作为一个系统进行设计,就没有现代化的城市,没有现代化的设施,没有现代人的生活。

世界上任何有固定形状的物体都存在表面,我们制造任何产品都要处理好表面,都要设计好表面。物体美化装饰在表面,大量的损伤也是在表面:腐蚀从表面开始,摩擦磨损在表面进行,疲劳因腐蚀或表面损伤而显著加速,而表面工程技术不仅可使物体具有防止表面各种损伤的性能,而且可使物体具有其他特殊的、超常的性能。通过表面工程设计,充分利用表面工程技术制造出性能优越的表面层,装饰出一个更加美好的世界,创造出更加舒适的生活环境,使现代化城市建设变得更美、更舒适、更雅致;创造出更长寿命、更优异性能的设备,使电子和信息产品变得更轻、更薄、更小,使各种机械设备变得性能更好、更轻巧、更长寿、更少维修,这就是我们编写本手册的主要目的。在 21 世纪即将来临之际,我们将这本手册奉献给各行各业的设计师、工程师们。

表面工程是将材料表面与基体一起作为一个系统进行设计,利用表面改性技术、薄膜技术和涂镀层技术,使材料表面获得它本身没有而又希望具有的性能的系统工程。

表面工程涵盖了在物体表面上所发生的各种技术,可有效地改善和提高材料和产品的性能,

延长产品的使用寿命,节约资源和能源,减少环境污染,是实现材料可持续发展的一项重要措施,也是一个重要的科技领域。在 20 世纪,表面工程取得了突破性的进展,在 21 世纪,表面工程一定会取得更大的发展,表面工程技术必将得到更为广泛的应用,对科学技术和经济发展产生更大的影响。

在新世纪,如果工程师和设计师们主动携手合作,都能有意识地、自觉地将表面工程设计纳入到各行各业的各项工程和产品的总体设计之中,使本手册发挥出更大的作用,这就是本手册编写的初衷,那么本手册的所有作者都将感到十分欣慰。

由于本书在我国是第一本关于表面工程技术与产品设计、生产相结合的大型手册,是第一本系统而全面地阐述表面工程三大技术所形成的新型表面和表面层性能、特点、适用范围的大型工具书,是第一本专门为各行各业各个工程和各项产品设计师、工程师们提供的大型案头书;更由于表面工程是一门新兴学科,现代表面工程技术正处于发展之中,表面工程技术有的已相当成熟,有些则较为年轻,还缺乏广泛应用的实践经验,前者数据充分、规范与标准成熟,后者还在发展,还在完善,不得不多讲些理论与工艺技术,成熟程度不同,写法有些差异;再加上作者的学识有限,因此,本手册不足、不当之处在所难免,恳请读者批评指正,以求共同丰富发展。

以师昌绪、严东生先生为首的十几位中国科学院院士和中国工程院院士关怀本手册的问世,给予了热情的鼓励、帮助和指导,并担任了本手册审定委员会成员,在此表示衷心的感谢。

本手册由李金桂策划并担任主编,进行全书的构思与设计,肖定全为副主编,负责表面界面与薄膜技术。具体分工为:总论李金桂、吴再思;第一章马宗复、肖定全;第二章曹备、李久青、吴荫顺;第三章刘家浚;4.1 李金桂,4.2 王仁智,4.3 和 4.6.9~4.6.11 席守谋,4.4 和 4.5 赵闰彦,4.5.7 邓志威,4.6 范瑞麟,4.7 张通和;5.1 肖定全,5.2 朱建国,5.3 朱建国、肖定全,5.4 张彬、蔡邦维,5.5 和 5.6 彭启才,5.7.1~5.7.4 吕反修,5.7.5~5.7.7 和 5.8 戴达煌、周克崧、袁镇海,5.9~5.11 肖定全;6.1 李金桂,6.2 赵闰彦,6.2.7 郁祖湛、周尉,6.3 席时俊、杨松柏,6.3.5 陈建敏,6.4 刘若愚,6.5 刘邦津,6.6 肖怀斌、何国雄;第七章李金桂、曹备;李金桂、赵进、吴再思负责全书统稿。

本书在编写过程中得到中国航空工业第一集团公司科技部和北京航空材料研究院的关怀与帮助,以及从事表面工程工作众多专家的热情鼓励和大力支持,有的提供了大量的参考资料,有的提出了许多有益的宝贵意见,特别是高万振和李健两位教授按计算机专家系统的思路专门为本书撰写了《耐磨表面工程技术的选用》,但由于本书篇幅的限制,不得不忍痛割爱,没有选进书中。对于以上许多同仁的支持,在此一并表示致谢。

编著委员会
2000 年 3 月 28 日

内 容 简 介

本手册是一部全面系统地介绍现代表面工程技术发展的大型工具书,阐述了表面界面理论、腐蚀学和摩擦学等基础理论,突出地介绍了表面工程三大技术——表面改性技术、涂层技术和薄膜技术的特点、适用范围、选用原则以及改性或涂镀膜层形成的原理,制造技术、设备、工艺,测试技术、方法、标准,质量保证和生产过程控制等成套技术和实用数据。这是一本通俗易懂、图文并茂、先进的、实用性很强的著作。

本书的作者都是长期工作在第一线的专家、教授,他们在自己工作领域内积累了几十年的工作经验。本书也是他们研究和应用经验的总结。

本手册可供机械、电子、航空、航天、兵器、造船、能源、交通、轻工、纺织、冶金、矿山、石油、化工、建筑等诸工业领域的设计、制造、使用、维护修理等方面的设计师和工程师使用,也可供从事表面工程研究和开发的工程技术人员使用,还可供有关专业的大专院校师生和企事业单位领导及科技工作者参考。

目 录

总 论

0.1 表面工程定义和内容	1
0.1.1 表面工程定义	1
0.1.2 表面工程三大技术	2
0.1.3 表面工程内容	6
0.2 三束对表面工程的巨大促进	8
0.2.1 激光束引发的新进展	8
0.2.2 电子束导致的新进步	9
0.2.3 离子束促成的巨大成就	10
0.3 先进的表面工程工艺技术	12
0.3.1 化学气相沉积工艺	12
0.3.2 物理气相沉积工艺	17
0.3.3 离子注入和离子辅助沉积工艺	22
0.3.4 电火花沉积和摩擦表面沉积工艺	23
0.3.5 化学镀和脉冲电镀工艺	23
0.3.6 激光电镀工艺	27
0.3.7 表面工程工艺技术的发展	27
0.4 先进表面工程的应用	27
0.4.1 航空航天工业中的应用	28
0.4.2 电子技术中的应用	31
0.4.3 汽车工业中的应用	32
0.4.4 家电工业中的应用	33
0.4.5 水工工程中的应用	34
0.4.6 海洋工程中的应用	38
0.4.7 城市建设中的应用	39
0.5 表面工程学与现代表面工程设计	44
0.5.1 表面工程学	44
0.5.2 现代表面工程设计	45
0.6 展望	47
参考文献	48

第一章 表面界面与功能效应

49

1.1 序言	49
--------------	----

1.1.1 概述	49
1.1.2 理想表面和真实表面的模型近似	49
1.1.3 表面能与表面过程	52
1.2 表面物理	52
1.2.1 表面完整性	52
1.2.2 表面态及空间电荷层	60
1.2.3 存储	64
1.2.4 形变相变记忆及伪弹性	67
1.2.5 电磁波吸收	67
1.3 表面化学	70
1.3.1 环境	70
1.3.2 表面化学作用	73
1.3.3 酸碱理论与表面酸碱活性中心	77
1.4 表面特性转换与特种功能	81
1.4.1 表面功能转换	81
1.4.2 功能高分子	82
1.4.3 功能陶瓷	84
1.4.4 磁性功能转换	87
1.4.5 光功能材料	91
1.5 表面与界面	98
1.5.1 表面界面过渡	98
1.5.2 界面物理	99
1.5.3 界面化学	100
1.5.4 复合材料界面	104
1.6 现代表面科学技术的发展	108
参考文献	111

第二章 腐蚀学概论 112

2.1 序言	112
2.2 金属氧化与热腐蚀	112
2.2.1 金属氧化热力学	113
2.2.2 金属的氧化膜	115
2.2.3 金属氧化过程动力学	119
2.2.4 影响氧化过程的因素	121
2.3 电化学腐蚀	122
2.3.1 电极电位与腐蚀倾向	122
2.3.2 极化与极化曲线	132
2.3.3 析氢腐蚀与耗氧腐蚀	140
2.3.4 金属的钝化	145

2.4 全面腐蚀与局部腐蚀	147
2.4.1 腐蚀类型	147
2.4.2 全面腐蚀	147
2.4.3 点腐蚀	148
2.4.4 缝隙腐蚀	151
2.4.5 丝状腐蚀	153
2.4.6 电偶腐蚀	155
2.4.7 晶间腐蚀	157
2.4.8 成分选择性腐蚀	159
2.4.9 微生物腐蚀	160
2.5 应力作用下的腐蚀	161
2.5.1 应力腐蚀断裂	161
2.5.2 氢损伤	168
2.5.3 腐蚀疲劳	171
2.5.4 摩耗腐蚀	174
2.6 自然环境中的腐蚀	177
2.6.1 大气腐蚀	177
2.6.2 自然水腐蚀	179
2.6.3 土壤腐蚀	181
2.7 工业介质中的腐蚀	183
2.7.1 酸、碱、盐介质腐蚀	183
2.7.2 工业水腐蚀	186
2.7.3 熔盐腐蚀	188
2.7.4 液态金属腐蚀	189
2.7.5 其他工业环境腐蚀	190
2.8 腐蚀控制方法	191
参考文献	192

第三章 摩擦学概论

3.1 序言	193
3.1.1 固体表面的几何特性	193
3.1.2 固体表面的物理机械特性	198
3.1.3 固体表面的化学特性	202
3.1.4 实际粗糙表面的接触特性	205
3.2 摩擦	209
3.2.1 摩擦的种类与现象	209
3.2.2 摩擦的基本理论及其发展	213
3.2.3 摩擦系数的影响因素	216
3.2.4 摩擦的温度效应	219

3.2.5 摩擦化学	220
3.3 磨损	223
3.3.1 磨料磨损	225
3.3.2 粘着磨损	228
3.3.3 疲劳磨损	231
3.3.4 冲蚀磨损	234
3.3.5 微动磨损	237
3.4 润滑	242
3.4.1 常用润滑剂及其主要性能	242
3.4.2 流体动压及流体静压润滑	245
3.4.3 弹性流体动压润滑	246
3.4.4 边界润滑	248
3.4.5 固体润滑	253
参考文献	257
第四章 表面改性技术	259
4.1 序言	259
4.2 表面形变强化	260
4.2.1 概述	260
4.2.2 术语与符号	262
4.2.3 喷丸强化原理	263
4.2.4 喷(抛)丸强化设备	268
4.2.5 喷丸介质	271
4.2.6 零件上易产生断裂的部位	273
4.2.7 应采用喷丸强化的零件	273
4.2.8 孔挤压强化工艺特性	274
4.2.9 孔挤压强化工艺参数选择	277
4.2.10 孔挤压强化在图纸上的标注	278
4.2.11 孔挤压强化应用范围	278
4.3 表面相变硬化	280
4.3.1 概述	280
4.3.2 感应加热表面淬火	280
4.3.3 激光表面相变硬化层	287
4.4 化学转化	293
4.4.1 概述	293
4.4.2 铝镁钢铜化学氧化膜	293
4.4.3 锌镉铜银钝化膜	296
4.4.4 钢铁磷化膜	300
4.4.5 金属表面着色	304

4.5 电化学转化	304
4.5.1 概述	304
4.5.2 铝及铝合金耐腐蚀膜	305
4.5.3 铝及铝合金耐磨膜	308
4.5.4 铝及铝合金胶接膜	314
4.5.5 铝及铝合金绝缘膜	316
4.5.6 铝及铝合金瓷质膜	317
4.5.7 微弧阳极氧化陶瓷膜	317
4.6 表面扩散渗入	321
4.6.1 概述	321
4.6.2 渗金属工艺	322
4.6.3 铁和钢表面渗层	327
4.6.4 镍和钴基高温合金表面渗层	334
4.6.5 难熔金属表面渗层	341
4.6.6 铜及铜合金表面渗层	343
4.6.7 铝及铝合金表面渗层	344
4.6.8 铁和钢表面渗碳层	344
4.6.9 铁和钢表面渗氮层	348
4.6.10 铁和钢表面碳氮共渗层与氮碳共渗层	350
4.6.11 各种渗层的实用工艺方法	353
4.6.12 渗层工艺过程质量控制	359
4.7 离子注入	361
4.7.1 概述	361
4.7.2 离子注入在微电子工业中的作用	361
4.7.3 离子束改善表面摩擦特性	368
4.7.4 离子注入改善金属表面耐腐蚀特性	376
4.7.5 离子注入在其他材料表面改性中的应用	378
4.7.6 离子束加工技术和设备	382
参考文献	385

第五章 薄膜技术

5.1 序言	387
5.2 微电子薄膜	387
5.2.1 概述	387
5.2.2 半导体薄膜	388
5.2.3 介质薄膜	399
5.2.4 导电薄膜	404
5.2.5 电阻薄膜	414
5.3 电磁功能薄膜	419

5.3.1	概述	419
5.3.2	超导薄膜	419
5.3.3	压电与铁电薄膜	428
5.3.4	磁性薄膜	441
5.4	光学薄膜	450
5.4.1	概述	450
5.4.2	光学薄膜设计的理论基础	450
5.4.3	减反射膜	453
5.4.4	反射膜	456
5.4.5	分光膜	460
5.4.6	截止滤光片	464
5.4.7	带通滤光片	466
5.4.8	其他几种特殊光学薄膜	471
5.4.9	光学薄膜材料	479
5.5	光电子学薄膜	484
5.5.1	概述	484
5.5.2	探测器薄膜	485
5.5.3	光电池薄膜	490
5.5.4	光敏电阻薄膜	492
5.5.5	光学摄像靶薄膜	496
5.5.6	氧化物透明导电薄膜	499
5.5.7	质控与检测	502
5.6	集成光学薄膜	503
5.6.1	概述	503
5.6.2	光波导薄膜	503
5.6.3	光开关薄膜	506
5.6.4	光调制及光偏转薄膜	507
5.6.5	薄膜透镜	511
5.6.6	薄膜激光器	512
5.6.7	质控与检测	513
5.7	金刚石与类金刚石薄膜	515
5.7.1	概述	515
5.7.2	化学气相沉积金刚石膜	516
5.7.3	化学气相沉积金刚石膜的工业化应用	524
5.7.4	化学金相沉积金刚石膜的发展前景	541
5.7.5	类金刚石(DLC)薄膜的制备方法	542
5.7.6	DLC膜的性能	543
5.7.7	DLC膜的应用	547
5.8	机械功能薄膜与装饰功能薄膜	550

5.8.1	概述	550
5.8.2	机械功能薄膜	551
5.8.3	机械功能膜的主要工业应用	559
5.8.4	装饰功能薄膜	576
5.8.5	装饰功能薄膜的工业应用	578
5.8.6	大面积装饰薄膜沉积需要注意的问题	588
5.9	功能薄膜显微组织分析表征	589
5.9.1	概述	589
5.9.2	功能薄膜成分及表面电子态分析表征	589
5.9.3	功能薄膜结构分析表征	591
5.9.4	功能薄膜形貌分析表征	592
5.9.5	功能薄膜显微组织综合分析	593
5.10	功能薄膜设计与选择	595
5.11	功能薄膜的发展趋势	597
5.11.1	概述	597
5.11.2	功能薄膜材料的发展	598
5.11.3	功能薄膜制备与表征技术发展趋势	601
	参考文献	603
第六章	涂镀层技术	608
6.1	序言	608
6.2	电化学沉积技术	609
6.2.1	概述	609
6.2.2	单金属镀	610
6.2.3	合金镀	638
6.2.4	化学镀	649
6.2.5	复合镀	658
6.2.6	电刷镀	665
6.2.7	激光镀	669
6.3	有机涂层技术	674
6.3.1	概述	674
6.3.2	有机涂层用漆料和颜料	678
6.3.3	保护性涂料	686
6.3.4	特殊功能涂料	715
6.3.5	粘结固体润滑涂层	743
6.3.6	涂装技术与设备	752
6.4	无机涂层技术	755
6.4.1	概述	755
6.4.2	抗高温氧化涂层	758