

主 编：李青年

薄膜制品设计生产 加工新工艺与应用新技术

实务全书

薄膜制品设计生产加工新工艺与 应用新技术实务全书

主编 李青年

第一卷

本书配有光盘，需要的读者请到多媒体阅览室（新馆 301 室）联系。

文 本 名 称 薄膜制品设计生产加工新工艺与应用新技术实务全书

文 本 主 编 李青年

光盘出版发行 银声音像出版社

出 版 时 间 2004年4月

光 盘 出 版 号 ISBN 7 - 88362 - 568 - 8

定 价 998.00元 (盘配书)

前 言

薄膜科学在物理学和材料学中已形成为一门分支科学，薄膜制品在经济建设中占有重要位置，薄膜制品及其设计生产加工目前正处于一个蓬勃发展的阶段，不论是从科学研究的角度，还是从应用技术来说，薄膜制品及其设计生产加工都占据很重要的地位。

随着聚化合物、物理化学、医学和生理学等学科的不断深入发展，新的薄膜制品及设计生产加工不断的开发，多种薄膜设计生产加工过程开始进入使用领域。由于薄膜制品及其技术生产加工是薄膜制品加工过程的核心，因此了解各种典型薄膜制品的基本结构和性能，并掌握其设计生产加工方法，具有非常重要的意义。

为了使广大读者能够更深刻地了解并掌握薄膜制品设计生产加工新技术新工艺知识，本书编委会特组织了二十余位专门从事薄膜制品研究开发的专家学者，耗时两年，编写出这部《薄膜制品设计生产加工新工艺与应用新技术标准实务全书》。本书内容丰富、层次分明、实用性强、方便查阅，是一部难得的大型工具书。本书主要介绍薄膜制品设计生产加工新工艺和应用最新技术标准，对薄膜制品的设计生产加工新技术新工艺及其应用最新标准做了详细的阐述，可供薄膜制品生产企业、薄膜制品质量监督检测部门、各级质量监督局、薄膜制品研究所（院）应用借鉴，还可作为相关院校师生教学参考书。

前 言

《薄膜制品设计生产加工新工艺与应用新技术标准实务全书》共 12 篇，具体介绍如下：

- 第 1 篇 薄膜制品设计生产加工工艺与应用最新技术标准；
- 第 2 篇 薄膜制品设计生产加工新工艺与应用技术基本理论；
- 第 3 篇 薄膜的形成、结构与缺陷研究；
- 第 4 篇 薄膜材料；
- 第 5 篇 薄膜材料的表征方法；
- 第 6 篇 薄膜的生长过程和薄膜结构；
- 第 7 篇 薄膜制备的新技术和检测手段；
- 第 8 篇 薄膜制备的方法及真空技术基础；
- 第 9 篇 塑料包装薄膜；
- 第 10 篇 塑料农膜与生态环境保护；
- 第 11 篇 纳米薄膜的技术与应用；
- 第 12 篇 塑料薄膜及薄膜试验方法标准规范。

在本书编写过程中，受到各有关单位的大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限，书中难免有错误或不妥之处，敬请广大读者批评指正。

本书编委会

2004 年 4 月

目 录

第 1 篇 薄膜制品设计生产工艺与应用最新技术标准

- 公路交通标志反光膜 (GB/T 18833—2002) (4)
- 石油沥青薄膜烘箱试验法 (GB/T 5304—2001) (25)
- 物理气相沉积 TiN 薄膜技术条件 (GB/T 18682—2002) (32)
- 化学转化膜钢铁黑色氧化膜 规范和试验方法 (GB/T 15519—2002)
..... (63)
- 进出口薄膜晶体管彩色液晶显示器检验方法 (SN/T 1175—2003)
..... (71)

第 2 篇 薄膜制品设计生产加工新工艺与应用技术基本理论

- ▲第 1 章 薄膜的定义及特性 (85)
- 第一节 薄膜的定义 (85)
- 第二节 薄膜材料的分类 (88)
- 第三节 薄膜材料的特殊性 (90)
- 第四节 薄膜结构缺陷 (96)
- 第五节 薄膜的光学特性 (98)

目 录

| | | |
|------|------------------------|-------|
| ▲第2章 | 薄膜材料研究状况及纳米材料技术发展状况 | (103) |
| 第一节 | 软塑包装业的现状及发展 | (103) |
| 第二节 | 纳米材料和技术发展简史 | (109) |
| 第三节 | 纳米技术在飞速发展 | (111) |
| 第四节 | 压电材料的发展 | (115) |
| 第五节 | 薄膜材料研究现状 | (117) |
| ▲第3章 | 薄膜材料及其应用 | (120) |
| 第一节 | 耐磨及表面防护涂层 | (121) |
| 第二节 | 金刚石薄膜 | (130) |
| 第三节 | 集成电路中的薄膜材料 | (137) |
| 第四节 | 集成光学器件 | (144) |
| 第五节 | 磁记录薄膜和光存储薄膜 | (148) |
| ▲第4章 | 薄膜的性能 | (160) |
| 第一节 | 熔融聚合物挤出薄膜的动力学、热力学和结构进展 | (160) |
| 第二节 | 吹胀薄膜的运动学、动力学和物理性能 | (198) |
| 第三节 | 膜泡的不稳定性:实验评价 | (225) |
| 第四节 | 管形膜的光学性能和结构特性 | (238) |
| 第五节 | 新型薄膜材料发展前景 | (259) |

第3篇 薄膜的形成、结构与缺陷研究

| | | |
|------|----------|-------|
| ▲第1章 | 薄膜的形成过程 | (265) |
| 第一节 | 吸附、扩散和凝结 | (265) |
| 第二节 | 核的形成与生长 | (267) |
| 第三节 | 薄膜的形成 | (268) |

目 录

| | | |
|--------|----------------------------|-------|
| ▲第 2 章 | 薄膜的结构 | (271) |
| 第一节 | 薄膜的组织结构 | (271) |
| 第二节 | 薄膜的晶体结构 | (274) |
| 第三节 | 薄膜的表面结构 | (276) |
| 第四节 | 薄膜的附着力与内应力 | (277) |
| ▲第 3 章 | 薄膜的缺陷 | (281) |
| 第一节 | 薄膜的点缺陷 | (282) |
| 第二节 | 薄膜的位错 | (283) |
| 第三节 | 薄膜的晶界与层错 | (285) |
| 第四节 | 薄膜的热处理 | (286) |
| ▲第 4 章 | AlN 薄膜择优取向的研究 | (287) |
| 第一节 | 溅射气压对薄膜择优取向的影响 | (288) |
| 第二节 | 靶基距对薄膜择优取向的影响 | (290) |
| 第三节 | 靶功率对薄膜择优取向的影响 | (292) |
| 第四节 | 氮气浓度对薄膜择优取向的影响 | (294) |
| 第五节 | 基片种类对薄膜择优取向的影响 | (296) |
| 第六节 | 薄膜择优取向机理的探讨 | (298) |
| 第七节 | 薄膜择优取向程度与实验参数之间的函数关系 | (301) |

第 4 篇 薄膜材料

| | | |
|--------|----------------------------|-------|
| ▲第 1 章 | 超硬薄膜材料 | (313) |
| 第一节 | 超硬材料 | (313) |
| 第二节 | 金刚石薄膜 | (319) |
| 第三节 | 金刚石的性质及应用 | (325) |
| 第四节 | 类金刚石薄膜材料 | (328) |
| 第五节 | CN _x 薄膜材料 | (346) |

目 录

| | | |
|--------|---------------------------|-------|
| ▲第 2 章 | 智能薄膜材料 | (354) |
| 第一节 | 形状记忆合金薄膜材料 | (355) |
| 第二节 | NiTi 形状记忆合金薄膜的制备和表征 | (357) |
| 第三节 | 形状记忆合金及薄膜的应用 | (359) |
| ▲第 3 章 | 新型半导体薄膜材料 | (361) |
| 第一节 | 概 述 | (361) |
| 第二节 | 硅基非晶态半导体薄膜 | (362) |
| 第三节 | 多晶硅和微晶硅薄膜 | (398) |
| 第四节 | a-Si:H 太阳电池 | (414) |
| 第五节 | 薄膜晶体管与大面积液晶显示器 | (433) |
| ▲第 4 章 | 纳米薄膜材料 | (448) |
| 第一节 | 纳米多层膜涂层 | (450) |
| 第二节 | 纳米复合硬质涂层 | (452) |
| 第三节 | 应用及展望 | (456) |
| ▲第 5 章 | 介质薄膜材料 | (457) |
| 第一节 | 概 述 | (457) |
| 第二节 | 电介质薄膜及应用 | (459) |
| 第三节 | 铁电薄膜及应用 | (467) |
| 第四节 | 压电薄膜及应用 | (478) |
| ▲第 6 章 | 三族元素氮化物(III-N)薄膜材料 | (490) |
| 第一节 | 三族元素氮化物半导体材料的重要性 | (490) |
| 第二节 | 材料制备与生长 | (491) |
| 第三节 | III-N 化合物的光学性质 | (495) |
| ▲第 7 章 | 高温超导薄膜材料 | (497) |
| 第一节 | 概 述 | (497) |

目 录

| | | |
|--------|-----------------|-------|
| 第二节 | 高温超导薄膜制备方法 | (500) |
| 第三节 | 高温超导薄膜材料的结构和性质 | (506) |
| 第四节 | 高温超导薄膜材料的应用 | (513) |
| ▲第 8 章 | 磁性氮化铁薄膜材料 | (528) |
| 第一节 | 概 述 | (529) |
| 第二节 | 氮化铁薄膜材料的相结构 | (530) |
| 第三节 | 氮化铁薄膜材料的制备与表征 | (532) |
| ▲第 9 章 | 巨磁阻薄膜材料 | (538) |
| 第一节 | 概 述 | (538) |
| 第二节 | 磁性多层膜的巨磁阻效应 | (540) |
| 第三节 | 颗粒膜的巨磁阻效应 | (543) |
| 第四节 | 自旋阀多层膜的巨磁阻效应 | (548) |
| 第五节 | 掺杂稀土锰氧化物的巨磁电阻效应 | (551) |

第 5 篇 薄膜材料的表征方法

| | | |
|--------|------------------|-------|
| ▲第 1 章 | 薄膜厚度控制及测量 | (561) |
| 第一节 | 沉积率和厚度监测仪 | (562) |
| 第二节 | 膜厚度测量 | (566) |
| ▲第 2 章 | 薄膜结构的表征方法 | (570) |
| 第一节 | 扫描电子显微镜 | (570) |
| 第二节 | X 射线衍射方法 | (573) |
| 第三节 | X 射线织构分析 | (574) |
| 第四节 | 低能电子衍射和反射式高能电子衍射 | (575) |
| 第五节 | 红外光谱分析 | (577) |
| 第六节 | 原子力显微镜分析 | (578) |

目 录

| | | |
|------|------------------------|-------|
| ▲第3章 | 薄膜成份的表征方法 | (579) |
| 第一节 | 原子内的电子激发及相应的能量过程 | (580) |
| 第二节 | X射线光电子能谱 | (582) |
| 第三节 | 俄歇电子能谱 | (583) |
| 第四节 | Rutherford背散射技术 | (585) |
| ▲第4章 | 原子化学键合表征 | (588) |
| 第一节 | 能量损失谱(EELS) | (588) |
| 第二节 | 扩展X射线 | (596) |
| 第三节 | 红外吸收光谱和拉曼光谱 | (601) |
| 第四节 | 薄膜应力表征 | (603) |

第6篇 薄膜的生长过程和薄膜结构

| | | |
|------|--------------------------|-------|
| ▲第1章 | 薄膜生长过程概述及新相的自发形核理论 | (611) |
| 第一节 | 薄膜生长过程概述 | (611) |
| 第二节 | 新相的自发形核理论 | (614) |
| ▲第2章 | 薄膜的非自发形核理论 | (618) |
| 第一节 | 非自发形核过程的热力学 | (618) |
| 第二节 | 薄膜的形核率 | (620) |
| 第三节 | 衬底温度和沉积速率对形核过程的影响 | (622) |
| ▲第3章 | 连续薄膜的形成 | (625) |
| 第一节 | 奥斯瓦尔多(Ostwald)吞并过程 | (625) |
| 第二节 | 熔结过程 | (626) |
| 第三节 | 原子团的迁移 | (627) |
| ▲第4章 | 薄膜生长过程与薄膜结构 | (629) |
| 第一节 | 薄膜的四种典型组织形态 | (629) |

目 录

| | | |
|------|---------------|-------|
| 第二节 | 低温抑制型薄膜生长 | (632) |
| 第三节 | 高温热激活型薄膜生长 | (638) |
| ▲第5章 | 非晶薄膜及薄膜织构 | (641) |
| 第一节 | 非晶薄膜 | (641) |
| 第二节 | 薄膜织构 | (644) |
| ▲第6章 | 薄膜的外延生长 | (649) |
| 第一节 | 点阵失配与外延缺陷 | (650) |
| 第二节 | 薄膜外延技术 | (654) |
| 第三节 | 外延薄膜的成分控制 | (656) |
| ▲第7章 | 薄膜中的应力和薄膜的附着力 | (663) |
| 第一节 | 薄膜中应力的测量 | (663) |
| 第二节 | 热应力和生长应力 | (667) |
| 第三节 | 薄膜界面形态和界面附着力 | (671) |
| ▲第8章 | 远离平衡态薄膜生长的研究 | (676) |
| 第一节 | 粗糙表面的结构和生长 | (678) |
| 第二节 | 简单模型 | (690) |
| 第三节 | 薄膜生长模型的实验研究 | (693) |

第7篇 薄膜制备的新技术和检测手段

| | | |
|------|----------------|-------|
| ▲第1章 | 微波电子回旋共振化学气相沉积 | (697) |
| 第一节 | MW-ECR原理 | (697) |
| 第二节 | NW-ECR-CVD的特点 | (698) |
| 第三节 | MW-ECR-CVD系统 | (699) |
| ▲第2章 | 分子束外延(MBE) | (701) |

目 录

| | | |
|--------|-------------------|-------|
| 第一节 | 基本概念 | (702) |
| 第二节 | MBE 生长原理及方法 | (702) |
| 第三节 | MBE 生长的特点 | (704) |
| ▲第 3 章 | 金属有机化学气相沉积 | (705) |
| 第一节 | MOCVD 法原理 | (705) |
| 第二节 | MOCVD 制膜系统 | (706) |
| 第三节 | MOCVD 法的特点 | (708) |
| ▲第 4 章 | 溶胶 - 凝胶法 | (709) |
| 第一节 | 概 述 | (709) |
| 第二节 | 溶胶 - 凝胶方法制备薄膜工艺 | (710) |
| ▲第 5 章 | 电沉积 | (713) |
| 第一节 | 概 述 | (713) |
| 第二节 | 电沉积的特点 | (714) |
| ▲第 6 章 | 脉冲激光沉积法 | (716) |
| 第一节 | PLD 的基本原理及物理过程 | (717) |
| 第二节 | PLD 技术的特点 | (719) |
| ▲第 7 章 | 薄膜检测手段 | (720) |
| 第一节 | 薄膜厚度测量 | (720) |
| 第二节 | 扫描电子显微镜(SEM)分析 | (723) |
| 第三节 | 原子力显微镜(AFM)分析 | (725) |
| 第四节 | X 射线衍射(XRD)分析 | (726) |
| 第五节 | 傅立叶变换红外光谱(FTIR)分析 | (727) |
| 第六节 | 激光拉曼光谱(Raman)分析 | (728) |
| 第七节 | X 射线光电子能谱(XPS)分析 | (730) |
| 第八节 | 俄歇电子能谱(AES)分析 | (732) |

目 录

- 第九节 二次离子质谱(SIMS)分析 (733)
第十节 卢瑟福背散射(RBS)分析 (735)

第 8 篇 薄膜制备的方法及真空技术基础

- ▲第 1 章 薄膜制备的化学方法 (739)
 第一节 热生长 (740)
 第二节 化学气相沉积 (741)
 第三节 电镀及化学镀 (768)
 第四节 阳极反应沉积法 (771)
 第五节 LB 技术 (773)
- ▲第 2 章 薄膜制备的物理方法 (777)
 第一节 真空蒸发 (778)
 第二节 溅射 (804)
 第三节 离子束和离子助 (844)
 第四节 外延膜沉积技术 (870)
- ▲第 3 章 金刚石膜沉积制备工艺与应用 (890)
 第一节 金刚石膜的主要沉积方法和成膜生长概述 (890)
 第二节 主要的沉积工艺参数对金刚石形核的影响 (892)
 第三节 沉积主要参数对金刚石的生长过程的影响 (897)
 第四节 金刚石膜生成的基本条件 (899)
 第五节 热丝 CVD 法沉积金刚石膜工艺 (900)
 第六节 直流等离子体射流法 (903)
 第七节 金刚石涂层刀具制备工艺 (907)

第 9 篇 塑料包装薄膜

- ▲第 1 章 塑料包装薄膜概论 (919)

目 录

| | | |
|------|-----------------|--------|
| 第一节 | 塑料与现代包装 | (919) |
| 第二节 | 塑料包装 | (923) |
| ▲第2章 | 塑料包装薄膜的应用 | (947) |
| 第一节 | 适合食品包装用塑料薄膜及其选择 | (948) |
| 第二节 | 软塑包装热封用塑料薄膜 | (973) |
| 第三节 | 塑料薄膜在食品包装方面的应用例 | (998) |
| 第四节 | 食品辐射杀菌用塑料包装材料 | (1035) |
| 第五节 | 医药品的塑料薄膜包装 | (1039) |
| 第六节 | 保鲜膜 | (1048) |
| 第七节 | 洗涤剂、化妆品的塑料薄膜包装 | (1057) |
| 第八节 | 导电性塑料薄膜 | (1062) |
| 第九节 | 无菌包装及无菌包装膜 | (1069) |
| 第十节 | 通气性包装材料和超微孔塑料薄膜 | (1082) |
| 第十一节 | 各种塑料薄膜的热封制袋 | (1094) |
| 第十二节 | 其他塑料薄膜包装例 | (1105) |
| ▲第3章 | 通用塑料包装薄膜 | (1110) |
| 第一节 | 低密度聚乙烯薄膜 | (1111) |
| 第二节 | 线形低密度聚乙烯薄膜 | (1162) |
| 第三节 | 其他聚乙烯薄膜 | (1190) |
| 第四节 | 聚丙烯薄膜 | (1213) |
| 第五节 | 聚氯乙烯薄膜 | (1245) |
| 第六节 | 聚苯乙烯薄膜 | (1296) |
| ▲第4章 | 功能性包装薄膜 | (1308) |
| 第一节 | 可食性薄膜 | (1309) |
| 第二节 | 收缩薄膜 | (1321) |
| 第三节 | 拉伸弹性薄膜 | (1332) |
| 第四节 | 保鲜功能薄膜 | (1342) |

目 录

| | |
|------------------------------|--------|
| ▲第 5 章 绿色包装塑料薄膜 | (1355) |
| 第一节 概 述 | (1355) |
| 第二节 轻量化、薄型化、高性能的薄膜包装材料 | (1356) |
| 第三节 重复使用和再生的塑料薄膜包装材料 | (1359) |
| 第四节 可降解塑料包装薄膜 | (1360) |

第 10 篇 塑料农膜与生态环境保护

| | |
|-------------------------|--------|
| ▲第 1 章 塑料农用薄膜及其制造 | (1371) |
| 第一节 塑料农用薄膜 | (1371) |
| 第二节 塑料农用薄膜的制造 | (1373) |
| ▲第 2 章 塑料农用薄膜的分类 | (1389) |
| 第一节 塑料地膜 | (1389) |
| 第二节 塑料棚膜 | (1430) |
| ▲第 3 章 塑料农膜的回收与利用 | (1450) |
| 第一节 塑料农膜的回收与再生方法 | (1450) |
| 第二节 废旧塑料农膜的熔融再生 | (1451) |
| 第三节 废旧塑料农膜的热裂解回收 | (1458) |
| 第四节 废旧塑料农膜的能量回收 | (1462) |

第 11 篇 纳米薄膜的技术与应用

| | |
|-----------------------------|--------|
| ▲第 1 章 纳米薄膜材料的制备方法和性能 | (1473) |
| 第一节 纳米薄膜的制备方法 | (1474) |
| 第二节 纳米薄膜的性能 | (1496) |
| 第三节 纳米薄膜性能检测 | (1501) |

目 录

- ▲第2章 纳米材料的模板合成法 (1503)
 - 第一节 厚膜模板法合成纳米阵列 (1504)
 - 第二节 模板法制备纳米丝 (1511)
 - 第三节 模板法合成高度取向碳纳米管有序阵列膜 (1519)
 - 第四节 模板法制备 TiO_2 纳米管 (1523)

- ▲第3章 纳米晶金属氧化物半导体与溶液界面处的电荷转移
..... (1527)
 - 第一节 电致变色 (1530)
 - 第二节 光生伏特 (1533)
 - 第三节 能量考虑 (1538)
 - 第四节 染料敏化纳米 TiO_2 薄膜太阳能电池 (1541)

- ▲第4章 其他纳米薄膜材料制备、特性及应用 (1548)
 - 第一节 纳米 AlN 薄膜的导电性 (1549)
 - 第二节 纳米金刚石膜制备及场发射 (1551)
 - 第三节 纳米磁性薄膜材料及巨磁电阻效应 (1557)
 - 第四节 In_2O_3 纳米晶及气敏特性 (1568)
 - 第五节 V_2O_5 纳米膜的制备及电致变色 (1571)
 - 第六节 $\text{WO}_3(\text{V})$ 纳米膜的制备、电致变色和气敏特性 (1575)
 - 第七节 纳米 TiO_2 薄膜的导电性和光吸收量子尺寸效应 (1580)
 - 第八节 纳米晶 PZT/PT 铁电薄膜的尺寸效应 (1586)
 - 第九节 Ag/Ni 纳米多层膜的点阵应变现象 (1589)
 - 第十节 $\text{Ti}-\text{Si}-\text{N}$ 纳米薄膜的超硬性 (1591)
 - 第十一节 $\text{ZnS}/\text{Ag}/\text{ZnS}$ 纳米多层薄膜及平面显示器透明电极
..... (1595)
 - 第十二节 纳米 Al 膜介电函数的尺寸、频率效应 (1602)
 - 第十三节 纳米氮化硼薄膜的场发射 (1603)