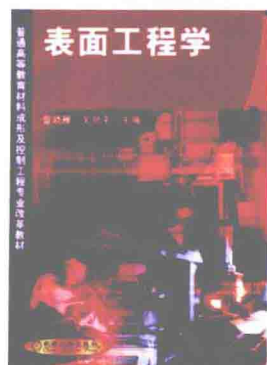




材料表面工程 C 教案

强新发



学以致用

目录

第一章 表面工程技术概论.....	3
第一步：提出本课程要求.....	3
第二步：课程性质、特点、概念及重要性讲解.....	3
第三步：表面技术含义的讲解.....	7
第四步：与表面现象有关的一些表面技术讲解.....	7
第五步：表面技术分类讲解.....	8
第六步：表面技术应用讲解.....	9
第二章 材料表面工程技术基本理论.....	13
第一步：表界面相关知识回顾与讲解.....	13
第二步：表面晶体学的讲解.....	15
第三步：材料表面现象的讲解.....	20
第四步：基体表面预处理知识讲解.....	22
第三章 热喷涂技术.....	28
第一步：热喷涂相关知识概述.....	28
第二步：具体热喷涂技术的讲解.....	34
第三步：激光熔覆技术相关知识讲解.....	42
第四步：涂装与粘涂技术相关知识讲解.....	45
第四章 气相沉积技术.....	52
第一步：气相沉积技术概述.....	52
第二步：物理气相沉积技术相关知识的讲解.....	53
第三步：化学气相沉积相关知识讲解.....	64
第五章 电镀和化学镀技术.....	73
第一步：电镀相关知识讲解.....	73
第二步：电刷镀技术相关知识的讲解.....	86
第三步：化学镀相关知识讲解.....	92
第六章 化学转化膜.....	98

第一步：化学转化膜相关知识概述.....	98
第二步：钢铁的氧化处理技术相关知识的讲解.....	100
第三步：铝及铝合金的阳极氧化相关知识讲解.....	103
第四步：表面磷化等处理技术相关知识讲解.....	108
第七章 表面改性技术.....	115
第一步：金属表面形变强化相关知识讲解.....	115
第二步：表面淬火和表面化学热处理技术相关知识的讲解.....	118
第八章 表面分析和表面性能检测技术.....	133
第一步：表面形貌分析手段讲解.....	133
第二步：结构分析手段讲解.....	135
第三步：元素及物相组成分析讲解.....	136
第四步：力学性能测试-硬度/模量	140
第五步：性能评价.....	141

南京工程学院教案【封面】

任课系部：材料工程学院

授课时间：2016-2017 学年 1 学期

课程名称	材料表面工程 C		课程编号	0804505002	
专业	材料科学与工程		班级	金属材料 141、142	
课程类别	必修课	公共基础课□；专业基础课□；专业课■			
	选修课	限选课■； 任选课□； 公选课□			
总学时数	48	学分数	3	考核方式	考试■；考查□
学时分配	课堂讲授 48 学时； 实践课 0 学时				
教材名称	《材料表面工程技术》	作者	王振廷等	出版社及出版时间	哈尔滨工业大学出版社, 2011
指定参考书	《材料表面工程》	作者	王兆华等	出版社及出版时间	化学工业出版社, 2011
	《现代表面工程技术》	作者	董 允等	出版社及出版时间	机械工业出版社, 2000
	《现代表面技术》	作者	钱苗根等	出版社及出版时间	机械工业出版社, 2001
授课教师	强新发	职称	讲师	单位	材料工程学院

南京工程学院教案【教学单元首页】

第 1 次课

授课学时 2

教案完成时间：2016.7

章、节	第一章 表面工程技术概论
主要内容	(1) 课程性质内容及要求; (2) 表面技术的含义; (3) 表面技术的分类与内容; (4) 表面技术的历史、应用和发展前景。
目的与要求	目的: (1) 通过学习, 对表面工程及相关技术具有概括性的了解。 要求: (1) 了解课程的性质、内容与要求。 (2) 掌握表面工程的涵义及表面技术的分类方法。 (3) 熟悉表面工程及技术的发展历程
重点与难点	重点: (1) 课程要求 (2) 表面工程的涵义 (3) 表面技术的分类方法 (4) 表面技术体系的构成 难点: (1) 表面工程的概念 (2) 表面技术的体系构成
教学方法与手段	多媒体结合板书教学。

第一章 表面工程技术概论

第一步：提出本课程要求

课程概况：48 学时（44 学时的课堂讲授+4 学时实验：等离子喷涂、微弧氧化、离子镀三种表面技术的演示实验）；该课程属于专业课；考核方式：闭卷考试

课堂纪律：

- 1、禁止迟到、早退、无故缺勤；
- 2、禁止课堂吃东西、玩手机、睡觉、喧哗、干扰他人；

成绩构成：考试（70%）+实验（10%）+作业（10%）+考勤（10%）

- 1、无故旷课-20 分/次，累积达 3 次及以上者取消考试资格；迟到、早退、-10 分/次；请假，-5 分/次；
- 2、作业不交或抄袭，-30 分/次；
- 3、课堂玩手机者-20 分/次。

第二步：课程性质、特点、概念及重要性讲解

一、本课程的性质、特点

“材料表面工程”是一门内容广泛、具有极高实用价值的专业基础课程，也是一门正在发展的所谓边缘学科或交叉学科，溶入和涉及到表面物理、化学、金属学、陶瓷学、高分子学、传热传质学等学科的理论和技术。（比如表面热处理就需要相变理论等相关知识，表面形变强化需要金属学相关理论等）

二、表面工程的概念及重要性

概念：是经表面预处理后，通过涂覆、表面改性或多种表面技术复合处理，改变固体表面的形态、化学成分、组织结构、应力状况和力学性能等，获得所需表面性质的系统工程。

关于表面工程的各种注解

“Surface Engineering is treatment of the surface and near-surface regions of a material to allow the surface to perform functions that are distinct from those functions demanded from the bulk of the material”

-----from ASM Metal Handbook

“Solids are composed of a bulk material covered by a surface. The surface which bounds the bulk material is called the Surface phase. Surface engineering involves altering the properties of the Surface Phase in order to reduce the degradation over time.”

-----from Wikipedia

“材料表面工程是材料表面处理技术的总称”-----赵文轶

表面工程技术的重要性

表面工程技术在机械、微电子、生物学、医学、光学等领域以及日常生活中都有着广泛而重要的应用，是各国，尤其是发达国家优先列为重点发展的学科。

受到重视的原因：不仅仅在于重要的学术价值，而主要在于其能够更好的满足社会生产、生活的需要：

- 1) 材料物理、化学性能及其变化都从表面开始；
- 2) 随着器件的微型化，表面/体相的原子比增大，会出现许多新的特性；
- 3) 材料表面的研究是许多高新技术的理论基础等。

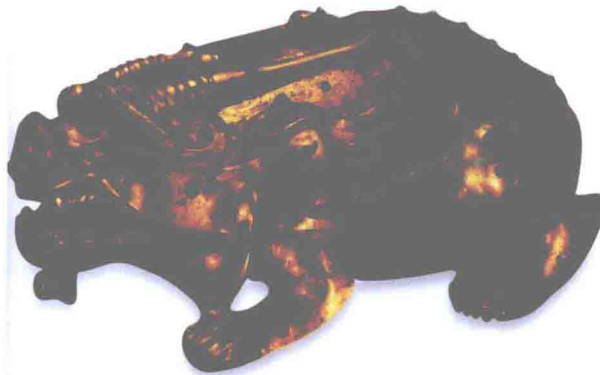
举例：航天飞行器热端部件通常需要进行表面处理才能耐受极端环境。

 **生活中无处不在的表面工程实例：**

中国古代桐油木漆技术及鍍金技术



“承旋”酒器



兽形盒砚

日本覆土烧刃技术：（所谓“覆土烧刃”，就是以调配的泥土覆盖刀身不需要高硬度的位置，然后将刀剑加热至特定温度，当红热的刀身进入水中后，赤裸的部分迅速冷却，而有泥土覆盖的部位的温度变化不会非常明显，导致硬度与赤裸部位

不同，从而达到刚柔并济的效果，在刀刃硬度高的情况下，依旧能保持刀身的良好韧性。而高档日本刀的覆土烧刃，是通过覆土的不均来使其淬火时自然弯曲。）

（世界三大名刀分别是：1、伊斯兰诸族（印度、伊朗、阿富汗，布哈拉、土耳其等）的大马士革平面花纹刀（俗称大马士革刀）Damas de cristallisation。2、马来诸族（新加坡、马六甲、爪哇、婆罗洲、菲律宾）的糙面焊接花纹刀 Damas de Corrayage（俗称马来克力士剑）。3、日本平面碎段复体暗光花纹刀（就是日本刀的全称））提出问题？

引入问题：大家知道世界三大名刀分别是哪些？并适当折

论三大名刀的特点，故可以较吸引学生。



日本军刀



大马士革刀

日常生活中的表面技术：



日常生活中的表面工程技术无处不在，斑马线、室内装修、搪瓷盆、不粘锅、染布等等，应用广泛，突出地位。

问题：不粘锅为什么粘？

适当扩展，引起学生兴趣，产生探究表面工程奥秘的欲望。

高端表面技术：三航领域

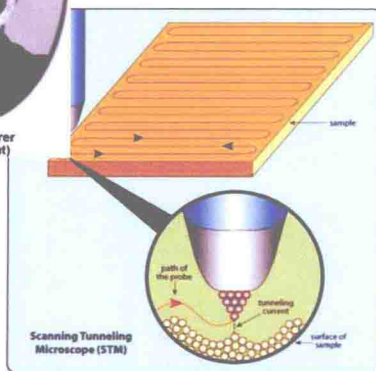
主要讲述表面工程
技术在高端领域
的应用，让学生觉
得这门课也可以
高大上，产生学习
兴趣。



作为关键技术，影响着三航的发展。



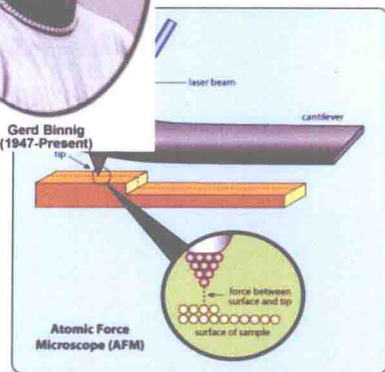
Heinrich Rohrer
(1933-Present)



扫描隧道显微镜 (STM)



Gerd Binnig
(1947-Present)



原子力显微镜 (AFM)

STM及AFM的发明，
加速了表面工程学科
发展。

1981年格尔德·宾宁 (G. Binnig) 及海因里希·罗雷尔 (H. Rohrer) 两人由于发明了用于表征材料表面状态的 STM 而获得了诺贝尔物理学奖，可见表面工

程的重要性。

三、本课程的教学目的

通过本课程的学习：

系统地掌握现代表面工程技术的基本原理；

★能合理选择并应用这些新的表面工程技术；**→ 最重要。**

解决材料表面硬度、强度等与心部强韧性之间的矛盾；

充分发挥材料性能的潜力；

延长产品使用寿命和提高产品质量。

第三步：表面技术含义的讲解

表面技术是直接与各表面现象或过程有关的，能为人类造福或被人们利用的技术。包括涂镀层、薄膜、表面改性等技术。

表面技术的目的：主要有三方面：

(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。

达到此目的主要有两条途径：一设计制备各种覆层；二采用各种表面改性技术；

第四步：与表面现象有关的一些表面技术讲解

(1) 表面润湿与反润湿技术 天然疏水材料---荷叶；超亲水材料应用---纳米自清洁钛板（国家大剧院屋顶），纳米自清洁玻璃等等 **板书：润湿概念：**

(2) 表面催化技术

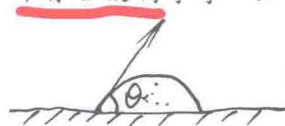
催化有均相催化和多相催化两种。

均相催化—催化剂和反应物处于同一物相；

多相催化—催化剂和反应物处于不同物相。

多相催化在化学工业中占有十分重要的地位，它是一种表面过程。

例：在固—气体系中催化反应的主要步骤是：反应物在表面上化学吸附；吸附分



θ角即为润湿角。

$0^\circ < \theta < 90^\circ$ 润湿

$90^\circ < \theta < 180^\circ$ 不润湿

$\theta = 0^\circ$ 完全润湿

$\theta = 180^\circ$ 完全不润湿

子经表面扩散相遇；表面反应或键重排；反应产物脱附；

研究表明，催化剂表面不同位置有不同的激活能，台阶、扭转、或杂质、缺陷所在处构成活性中心，说明表面状态对催化有显著影响。

(3) 膜技术 (Membrane)

Membrane一是指对物质具有选择渗透作用的二维材料。

生物体有许多这种膜，如，细胞膜，基膜，复膜和皮肤等。起着渗透、分离物质、保护基体和参与生命过程的作用。

人们已能模拟生物膜的某些功能而人工合成医用膜，如血液净化膜、透析、过滤、血浆分离、人工肺以及富氧膜等。

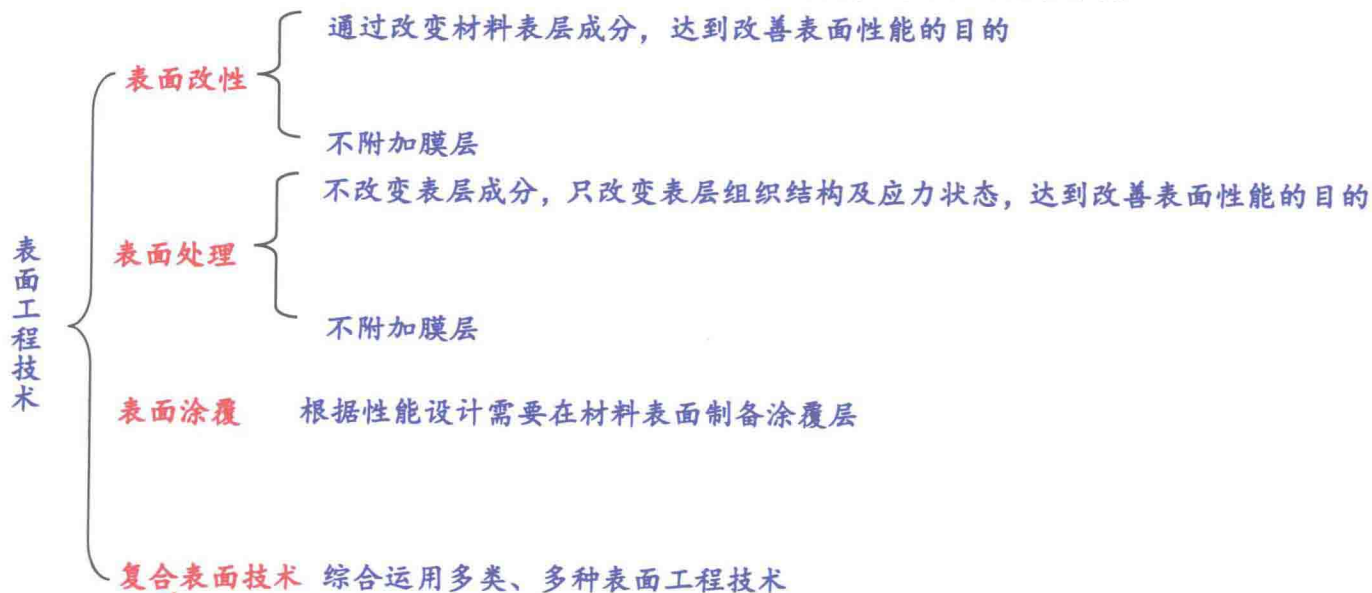
医用膜通常由医用高分子制成。目前，生物技术的发展已促使膜在分子水平上合成。

(4) 表面化学技术

表面化学技术一涉及面很广，如：电解、电镀、化学镀、化学氧化、阳极氧化、腐蚀与防护等。涉及到固/液界面的许多化学过程或电现象。

第五步：表面技术分类讲解

1、国家自然科学基金委员会、自然科学学科发展战略调研报告分类



2、根据作用原理分类—Matton 分类法

原子沉积、颗粒沉积、整体覆盖、表面改性

尺度差别。

第六步：表面技术应用讲解

1、表面技术在结构材料上的应用

表面技术在这方面主要起着防护、耐磨、强化、修复、装饰等重要作用。

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)、仿形(仿贵金属、仿大理石、仿花岗石等)多方面特性。

2、表面技术在功能材料上的应用

3、表面技术在人类适应、保护和优化环境方面的一些应用

净化大气—涂覆和气相沉积制成催化层分解尾气。

净化水质—用膜材料, 即过滤膜, 提纯, 软化, 淡化海水等

抗菌灭菌—(TiO_2 膜+Ag,Cu,Pt,Zn+磷灰石膜层光照)能分解吸附的菌类物质, 具有抗菌、灭菌作用。

吸附杂质 用表面技术制成的吸附剂, 可以去除空气、水、溶液中的有害物质, 具有除臭、除臭、除菌等作用。例如: 在空气中先吸附上活性炭粉, 经烧结后成为除臭剂, 去除藻类污垢。

活化功能 利用表面化学原理组合电极, 用来除去发电 厨冰箱、厨房、厕所、汽车内、丁泥渣池、热交换器、管道等内部的藻类污垢。

生物医学 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。

治疗疾病 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。

绿色能源 用表面技术和基电技术制成的磁性涂层敷在人体的一些穴位, 有治病疗痛、降低血压等的功能。

优化环境

4、表面技术在新材料研究和生产中的应用实例

绿色能源: 目前大量使用的能源往往有严重的污染, 因此今后要大力推广绿色能源, 如太阳能电池、磁流体发电、热电厂发电、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。

优化环境: 表面技术将在人类控制自然、优化环境中起到很大作用。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。

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。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化膜, 又名 i-C 膜、a-C:H 膜等。其化学键为 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。可用作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。用于半导体、电路板、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、脂肪族烷基以及染料、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, 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)	超微颗粒尺寸约为 1nm-10nm。由于超微颗粒的表面效应、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, 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可以得到不同粒径的颗粒

南京工程学院教案【末页】

本单元知识点归纳	(1) 表面工程的涵义 (2) 表面技术的分类及内容 (3) 表面技术的应用 (4) 表面技术的发展及演变
思考题或作业题	思考题： (1) 为什么说表面工程是一门边缘学科，其概念、作用及如何分类？ (2) 表面工程的应用领域有哪些，其发展演变过程如何？
本单元教学情况小结	重点讲述表面工程技术的概念、含义、重要性。 多以日常生产生活中常见的事物为例介绍表面工程技术，课堂气氛活跃，学生回应积极。
审阅意见	审阅人：

注：教案首页和末页中间为授课内容

南京工程学院教案【教学单元首页】

第 2 次课

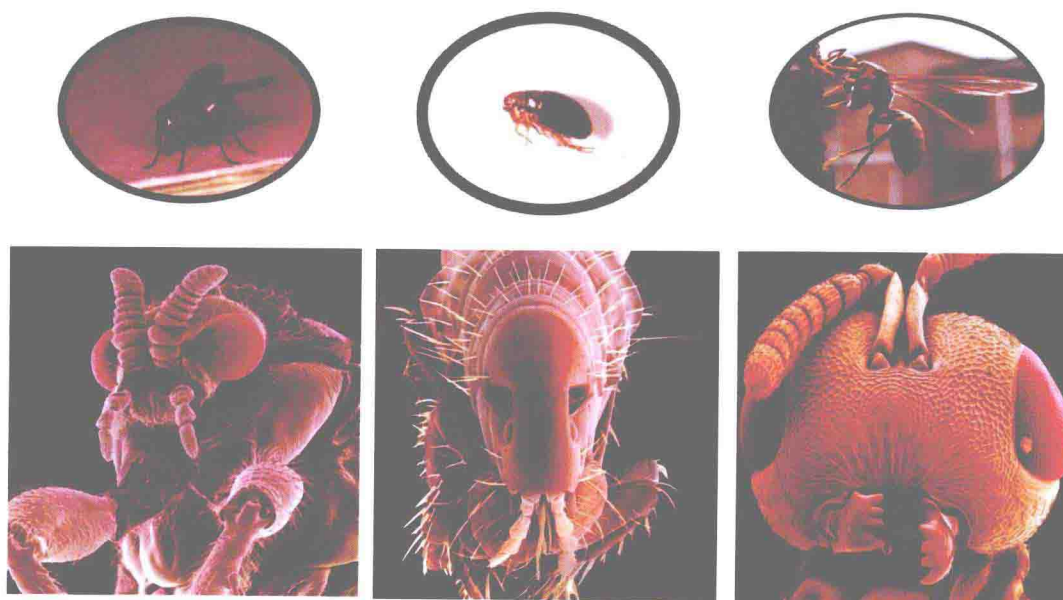
授课学时 2

教案完成时间：2016.7

章、节	第二章 材料表面工程技术基本理论
主要内容	(1) 固体材料及其表界面。 (2) 表面晶体学。 (3) 材料表面现象。
目的与要求	目的：了解材料表面科学的一些基本概念和理论，为表面技术的理解作理论准备。 要求：(1) 掌握固体材料及其表界面的特点、常见的表面及其结构。 (2) 了解表面的常见缺陷、吸附及润湿现象及原理。
重点与难点	重点： (1) 固体材料表面的分类及其结构特点。 (2) 清洁表面常见的结构特征。 (3) 实际表面常见的特征。 难点： (1) 清洁表面结构形成的内在原理。 (2) 清洁表面与实际表面之间的区别与联系。
教学方法与手段	多媒体结合板书教学。

第二章 材料表面工程技术基本理论

要了解材料表面的特性和获得要求的表面性能,本质上是要了解材料表面发生的物理和化学过程,即材料表面的结构、状态与特性问题。几埃厚的材料表面层性质可以和基体差别很大,而各种近代表面技术,包括 CVD、高能束表面改性等和这种表面性质密切相关,都是发生在表面的物理化学作用。因此,首先了解认识“表面”对近代表面技术的学习时非常重要的。我们首先通过几张图片了解真实表面与体相的差异:



从图中我们可以看出真实表面与体相存在巨大的差异。

第一步：表界面相关知识回顾与讲解

表面/界面的定义：表界面研究的对象是不均匀的体系，具有多相性，即该体系中存在两个或两个以上不同性能的相，表界面是由一个相过渡到另一相的过渡区域。

- 根据物质的聚集态，表界面通常可以分为以下五类：固—气；液—气；固—液；液—液；固—固。
表面
- 习惯上把固—气、液—气的过渡区域称为表面，而把固—液、液—液、固—

固的过渡区域称为界面。

实际上两相之间并不存在截然的分界面，相与相之间是个逐步过渡的区域，表界面区的结构、能量、组成等都呈现连续的梯度的变化。

对固体材料而言，通常存在表面、晶界、相界三种界面。

1、表面——固体材料与气体或液体的分界面。

2、晶界（或亚晶界）——多晶材料内部成分、结构相同而取向不同晶粒（或亚晶）之间的界面。

3、相界——固体材料中成分、结构不同的两相之间的界面。

表面/界面可作如下区分：

1、物理表面

- 在物理学中，一般将表面定义为三维的规整点阵到体外空间之间的过渡区域，这个过渡区的厚度随材料的种类不同而异，可以是一个原子层或多个原子层。
- 在过渡区内，周期点阵遭到严重扰动，甚至完全变异。表面下数十个原子层深称为“次表面”，次表面以下才是被称之为“体相”的正常本体。
- 分为：理想表面、清洁表面、吸附表面、实际表面。

2、材料表面（真实表面）

表面包括各种表面作用和过程所涉及的区域，其空间尺度和状态决定于作用影响范围大小和材料与环境条件的特性。

● 机械作用界面

受机械作用而形成的界面称为机械作用界面。常见的机械作用包括切削、研磨、抛光、喷沙、变形、磨损等。

● 化学作用界面

由于表面反应、粘结、氧化、腐蚀等化学作用而形成的界面称为化学作用界面。

● 固体结合界面

由两个固体相直接接触，通过真空、加热、加压、界面扩散和反应等途径所形成的界面称为固态结合界面。

● 液相或气相沉积界面