

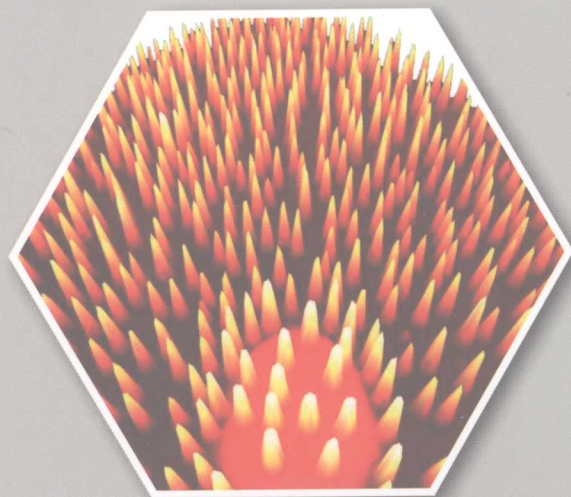


華夏英才基金學術文庫

朱永法 宗瑞隆 姚文清 等編著

材料分析化學

Analytical Chemistry of Materials



化學工業出版社



华夏英才基金学术文库

材料分析化学

朱永法 宗瑞隆 姚文清 等编著



化学工业出版社

·北京·

本书突破传统仪器分析图书的结构,以材料表征时获得的信息作为分类标准,分别介绍了材料成分、结构、形貌、价键、价态以及性能的分析方法。本书的主要内容包括元素成分分析(AAS, AES-ICP, XRF, EDX, ICP-MS, EELS 分析等),化学价键分析(IR, LRS),结构分析(XRD, ED, LRS),形貌分析(SEM, TEM, AFM, STM),价态和表面分析(XPS, AES, SIMS)以及物理性能分析(光学、电学、光电、催化性能,物理结构性能)。突出各种现象的物理本质和分析测试技术的实际应用,内容循序渐进,简明扼要。在编写上力求深入浅出,通俗易懂。对每一类测试技术,都尽量列举出具体的应用实例,并进行较详细地说明,使读者在基本掌握材料分析测试技术原理的基础上,能利用这些方法解决本专业的实际问题。

本书适于材料相关领域的科研人员参考使用,也可作为材料相关专业的研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

材料分析化学/朱永法等编著. —北京:化学工业出版社, 2009. 6

ISBN 978-7-122-05408-1

I. 材… II. 朱… III. 工程材料-化学分析 IV. TB302.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 063633 号

责任编辑:成荣霞

文字编辑:向 东

责任校对:李 林

装帧设计:周 遥

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 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张 26 1/4 字数 531 千字 2009 年 7 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:78.00 元

版权所有 违者必究

《材料分析化学》编著人员

朱永法 宗瑞隆 姚文清 张 灏 梁淑惠
林 洁 黄光莉 徐同广 张立武 郑涵云

前 言

从材料科学研究的角度来看,材料最终的性能由原材料以及制备工艺决定,实质上是由材料的成分、结构及其微观形貌所决定,因而对于这些基本性能的特征和分析是材料科学研究中的重要内容。传统的材料科学是一门着重于现象学研究的学科,而随着材料分析方法的巨大进步,特别是现代分析仪器的长足发展已使得材料科学逐渐走上真正的科学之路。目前,现代分析仪器从尺度上已经达到纳米甚至是原子级尺度的表征;同时,其较快的分析速度和高的分析精度,以及多功能化和较好的易用性,都使得现代分析仪器在材料科学研究中具有越来越重要的地位。

在与材料相关的科学研究中,我们应该知道哪些信息对于充分了解材料性能是必需的,同时我们还应该知道如何更有效地来获得这些信息。目前由于分析仪器种类繁多,各专业往往根据本专业特点选取不同的仪器设备进行学习,并且由于传统的仪器分析课程在讲解时往往以设备为主线,分门别类地讲解不同设备的基本原理、结构及其使用,因此使得实际的教学与科学研究思路脱节,学生在完成现代仪器课程后在科研中仍然需要自己重新总结各种实验方法。为适应材料科学研究交叉性的特点,本书以获得的信息作为分类标准,分别介绍了材料成分、结构、形貌、价键、价态以及性能的研究方法。由于对于同一种信息的获得往往可以利用不同的测试手段,把各种方法集中在一起进行介绍,便于分析比较各种分析方法的特点及局限性,再结合科研中的实例讲解,这就使得学生能够在科研中根据实际情况选取最佳的测试手段,同时本书也可以作为科研工作者在解决具体问题上时的参考书。

本书共分为7章,按照材料表征过程中获得的信息进行介绍。第1章简单介绍了材料科学及材料分析方法的发展趋势;第2章介绍了各类元素成分分析方法,主要包括体相元素分析方法(原子光谱法、ICP-MS法、X射线荧光法)和微区元素分析方法(电镜能谱法、电子探针法以及电镜中的能量损失谱法);第3章介绍了价键分析方法,主要包括红外光谱法和拉曼光谱法;第4章介绍了结构分析方法,主要包括用于体相结构分析的X射线衍射技术,用于微区结构分析的透射电镜的选区衍射分析、高分辨电镜技术以及激光拉曼光谱法;第5章介绍了材料微观形貌分析,主要包括扫描电子显微镜、透射电镜、原子力显微镜以及扫描隧道显微镜技术;第6章介绍了价态及表面分析,主要包括用于价态研究的X射线光电子能谱法和用于表面成分分析的俄歇电子能谱法和二次离子质谱法;第7章介绍了材料的物理性能表征主要侧重于催化剂材料相关性能的研究及其评价方法,主要包括材料的光学性能、电学性能、光电性能和催化性能的评价,以及颗粒状材料的粒度和比表面积等物理性能的评价。

本书是在清华大学研究生“仪器分析”课程基础上经过多年的教学实践形成的，同时大量实例来自本研究组近十年来的科研工作积累。本书得以顺利出版要感谢华夏英才出版基金的鼎立资助和化学工业出版社的大力支持。由于编者的学识水平所限，书中难免出现不妥之处，望广大专家和读者批评指正。

朱永法
2009 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 材料科学的发展趋势	1
1.2 材料科学涉及的领域	3
1.3 材料分析的重要性	5
1.4 材料分析的内容	6
1.5 本书的主要内容	8
第 2 章 材料的成分分析	10
2.1 元素成分分析方法简介	10
2.1.1 材料性能与元素成分的关系	10
2.1.2 元素成分分析技术种类	10
2.2 原子吸收光谱	12
2.2.1 简介	12
2.2.2 原子吸收光谱工作原理	13
2.2.3 原子吸收仪器装置	14
2.2.4 样品制备	18
2.2.5 原子吸收分析方法	20
2.2.6 典型分析实例	23
2.3 原子发射光谱	25
2.3.1 简介	25
2.3.2 原子发射光谱基本原理	27
2.3.3 原子发射光谱的仪器装置	29
2.3.4 光谱定性分析	32
2.3.5 光谱定量分析	32
2.3.6 ICP-MS 分析	33
2.3.7 应用分析实例	36
2.4 X 射线荧光光谱法	40
2.4.1 简介	40
2.4.2 X 射线荧光光谱仪工作原理	41
2.4.3 仪器结构	42
2.4.4 样品制备	45
2.4.5 分析方法	46

2.4.6	全反射 XRF 及其环境分析	47
2.4.7	应用举例	51
2.5	微区成分分析方法	56
2.5.1	简介	56
2.5.2	电镜能谱分析法	57
2.5.3	电子探针分析方法	61
2.5.4	电子能量损失谱分析方法	66
2.5.5	应用举例	68
2.6	本章小结	72
	参考文献	73
第 3 章	材料的价键分析	74
3.1	简介	74
3.2	红外光谱	74
3.2.1	基础知识	74
3.2.2	红外光谱的原理	75
3.2.3	仪器装置	81
3.2.4	样品的制备	84
3.2.5	镜面反射红外光谱	86
3.2.6	衰减全反射红外光谱	86
3.2.7	漫反射红外光谱	88
3.2.8	显微红外光谱	90
3.2.9	红外光谱的应用	92
3.3	拉曼光谱	102
3.3.1	简介	102
3.3.2	拉曼光谱的原理	103
3.3.3	仪器装置	110
3.3.4	样品制备	113
3.3.5	紫外拉曼光谱	113
3.3.6	共振拉曼光谱	117
3.3.7	显微共聚焦拉曼光谱	118
3.3.8	表面增强拉曼光谱	119
3.3.9	拉曼光谱的应用	122
3.4	综合应用实例	134
3.5	本章小结	137
	参考文献	138
第 4 章	材料的结构分析	140
4.1	X 射线衍射物相结构分析	140

4.1.1	X射线衍射分析历史	140
4.1.2	X射线	141
4.1.3	X射线衍射的基本原理	148
4.1.4	X射线衍射法	151
4.1.5	多晶衍射仪的组成	153
4.1.6	样品的制备	155
4.1.7	X射线衍射的物相分析	156
4.1.8	XRD的应用	166
4.2	电子衍射分析	176
4.2.1	简介	176
4.2.2	电子衍射方法基础	177
4.2.3	电子衍射花样的获得	179
4.2.4	电子衍射花样的标定	181
4.2.5	高分辨电子显微术用于材料结构的分析	183
4.2.6	电子衍射方法应用	185
4.3	激光拉曼物相结构分析	188
4.3.1	简介	188
4.3.2	拉曼散射	188
4.3.3	拉曼散射的用途	188
4.3.4	拉曼光谱测定	189
4.3.5	拉曼光谱法于物相结构分析的应用实例	189
	参考文献	194
第5章	材料的形貌分析	195
5.1	概述	195
5.2	扫描电子显微镜	196
5.2.1	简介	196
5.2.2	扫描电子显微镜的成像原理	196
5.2.3	扫描电子显微镜的仪器结构	198
5.2.4	扫描电子显微镜的图像信息	200
5.2.5	限制和影响扫描电镜分辨本领的主要因素	206
5.2.6	扫描电子显微镜样品制备	208
5.2.7	优质扫描电子像的获得	210
5.2.8	扫描电子显微镜的新进展	211
5.2.9	应用实例	214
5.3	透射电子显微分析	221
5.3.1	简介	221
5.3.2	透射电镜的结构	223

5.3.3	透射电镜的成像原理	227
5.3.4	透射电子显微镜的样品制备	229
5.3.5	透射电镜在材料分析上的应用实例	233
5.4	扫描探针显微分析	249
5.4.1	扫描隧道显微镜	250
5.4.2	原子力显微镜	265
	参考文献	275
第6章	材料的价态分析和表面分析	277
6.1	简介	277
6.2	X射线光电子能谱分析	278
6.2.1	概述	278
6.2.2	X射线光电子能谱基本原理	279
6.2.3	X射线光电子能谱仪的结构	290
6.2.4	X射线光电子能谱的分析方法	294
6.2.5	XPS 指纹峰分析技术	302
6.2.6	俄歇参数信息	307
6.3	俄歇电子能谱分析	307
6.3.1	概述	307
6.3.2	俄歇电子能谱基本原理	308
6.3.3	俄歇电子能谱仪的结构	311
6.3.4	俄歇电子能谱分析方法	312
6.4	材料的二次离子质谱分析	328
6.4.1	概述	328
6.4.2	原理	329
6.4.3	仪器	330
6.4.4	分析方法	334
6.4.5	应用举例	334
6.5	综合实例	337
6.5.1	实验方法	337
6.5.2	实验结果	338
6.6	实验技术	344
6.6.1	样品制备	344
6.6.2	样品荷电的校准	345
	参考文献	345
第7章	材料的物理性能表征	347
7.1	材料光学性能	347
7.1.1	紫外-可见光谱分析	347

7.1.2	吸光度测定	352
7.1.3	半导体能带间隙检测	353
7.1.4	荧光性能	355
7.2	材料电学性能	363
7.2.1	材料的导电性	364
7.2.2	半导体性	365
7.2.3	电容性能	366
7.3	材料光电性质	373
7.3.1	表面光电压谱	374
7.3.2	光电流研究	375
7.3.3	交流阻抗谱法	378
7.3.4	时间分辨光电导谱 (TRPC)	382
7.4	催化性能检测	384
7.4.1	气相光催化评价装置	384
7.4.2	液相光催化评价装置	387
7.4.3	光催化反应器的设计	388
7.4.4	矿化度和中间产物检测	389
7.5	物理结构性能	390
7.5.1	颗粒度分析	390
7.5.2	比表面积和孔结构	401
	参考文献	410

第1章 绪论

材料是人类生产生活不可或缺的重要组成部分，是人类文明的物质基础和先导，是直接推动社会发展的动力。材料的发展及其应用是人类社会文明和进步的重要里程碑。没有材料科学的发展，就没有人类社会的进步和经济的繁荣。当前，根据人类需求并以环境保护为出发点，具有特殊性质和功能新型材料被不断研制出来。材料研究领域正朝向纳米材料、复合材料、生物材料、智能材料等的制备与无损评价方向发展。

1.1 材料科学的发展趋势

随着高科技的发展，复合材料成为结构材料发展的重点。功能材料与器件相结合，并趋于小型化与多功能化；低维材料得到开发；信息功能材料品种增加、性能提高；生物材料将得到更多应用和发展。材料科学和新材料的发展趋势表现在如下几个方面。

(1) 从简单物质到复杂物质 任何一个事物的发展次序都是从简单到复杂的过程，材料科学的发展也是由简单材料到复杂材料的演变过程。随着生产的发展，功能化要求的不断提高，构成材料的基本物质也越来越倾向于从简单物质到复杂物质。

(2) 从简单结构到结构控制 一方面，构成材料的物质逐步复杂化；另一方面，对于同种材料，结构上的改变可以带来许多崭新的功能，而对简单的结构加以调控，才可能使功能得到优化。通过对材料结构的有效控制从而实现功能化日趋得到重视。目前，材料科学已经从简单结构逐步发展到结构控制阶段。如借助外延技术与超晶格理论，可以在原子尺度上实现材料与器件的可控制备。

(3) 从粉体材料到器件材料 相对于粉体而言，当材料制备成器件后会具有更为优良的功能，同时对器件材料的研究，已不再局限于仅仅借助现有材料的特性来制造功能器件，而是为了开发某种器件专门设计或制备的新型粉体材料。比如在电子技术方面，随着电子计算机的迅速发展，器件材料的研究工作非常活跃，不断出现新的功能材料，其中涉及导体、半导体、电介质、磁性体、超导体及生化材料等。

(4) 从块体材料到薄膜材料 薄膜材料由于其组成的特殊性，因此其性能也有

一些不同于块体材料的特殊性,尤其是超模量、超硬度效应成为近年来薄膜研究的热点。薄膜特别是纳米薄膜,是一类具有广泛应用前景的新材料,在许多领域内都有着广泛的应用前景。例如 Fe_2P 纳米薄膜具有优良的磁性能,纳米硅薄膜 ($n\text{C}_2\text{Si}:\text{H}$) 是一种新型低维人工半导体材料等。

(5) 从纯物质到复合、掺杂材料 现代材料科学技术的发展,促进了金属、非金属无机材料和高分子材料之间的密切联系,从而出现了一个新的材料领域——复合材料。复合材料是由两种或两种以上物理或化学上不同的物质组合起来而得到的一种固体材料。复合材料作为高性能的结构材料和功能材料,不仅能用于航空航天领域,在现代民用工业、能源技术和信息技术方面也不断地扩大应用。因为有复合效应,所以复合材料的性能会比它的组成物质(材料)更好,或者是具有原组成物质根本所没有的性能。例如碳纤维与环氧树脂复合的材料,其比强度和比模量均比钢和铝合金大数倍,还具有优良的化学、物理性能。另外对材料进行选择掺杂,也可以实现功能的优化。材料掺杂后,可以得到大幅度改性,具有新颖的性能,如本征态导电高分子经过掺杂处理之后其电导率可以大幅度提高,一般可以提高几个数量级。仅具有紫外线活性的纳米 TiO_2 经 N 掺杂后,具备可见光活性。

(6) 从宏观到微观的纳米材料 在当代,材料和器件的微型化成为一个重要的发展方向。这样在从宏观走向微观的过程中,出现了介于宏观与微观之间的纳米学。纳米材料是当今材料科学研究中一个极为活跃的前沿,被人们誉为“21 世纪最有发展前途的材料”。纳米材料是指尺寸在 $1\sim 100\text{nm}$ 范围内的超细微颗粒组成的固态或液态材料。纳米材料具有显著不同于常规块状材料的优异性能。如其硬度、强度、韧性、耐温、耐压、导电性等都比常规材料高得多,在磁、光、声、热等方面的性能也有很大的变化。在一定条件下,还会出现一些特异的性质,例如,将 Al_2O_3 纳米颗粒加入橡胶中,可以大大增强其介电性能和耐磨性能。零维的纳米级金属颗粒是电的绝缘体及吸光的黑体;以纳米微粒制成的陶瓷具有较高的韧性和超塑性;纳米级金属铝的硬度为块体铝的 8 倍。

(7) 从单功能到多功能和智能材料 随着人们生活水平的提高,单一功能的材料已经不能满足人类的需要,而具有复合多功能的材料和智能材料越来越引起人们的重视。例如泡沫铝是一种在铝基体中均匀分布着大量连通或不连通孔洞的新型轻质多功能材料,它兼有连续金属相和分散空气相的特点,是集多种优良性能于一身的新型结构功能泡沫材料。智能材料是一种能从自身的表层或者内部获取关于环境条件及其变化的信息,并进行判断、处理和作出反应,以改变自身的结构与功能,并使之很好地与外界相协调的自我自适应性材料系统。智能材料具有如下智能和生命特征:传感、反馈、自诊断、自修复、自适应、信息识别与积累、响应等功能。目前主要有形状记忆材料、电(磁)流变体材料、磁流变体材料、电(磁)致伸缩材料、光导纤维等。智能材料设计的指导思想是材料的多功能复合和材料的仿生设计。在仿生设计上,一是生物医学材料,可用以代替或修复人的各种器官、血液及

组织等；另一是生物模拟材料，即模拟生物的机能，如反渗透膜等。

(8) 从单层次到立体多层次材料 目前，对材料性能的要求已经从单层次发展到立体多层次阶段，如包含大量异质层界面的二维纳米多层次材料，由于界面作用而具有许多特异的磁、光、电效应，引起了人们极大的关注。二维材料如金刚石薄膜、超导薄膜等，都已显示出广阔的应用前景。在高分子材料领域，借改变高分子材料颗粒与不同粒径可溶性颗粒的混合重量比例，依据不同需要将原料颗粒依序填入模具中形成所需要的层次，制得包括有不同孔径、不同孔隙率或不同材料组成的双层或多层次高分子材料，以满足组织工程的不同需求。

1.2 材料科学涉及的领域

如同材料与人类生产生活息息相关，材料科学涉及的领域也十分广泛，当前主要包括微电子材料及其器件领域、功能材料及其器件领域、结构材料领域、纳米材料领域、环境材料领域以及电子、化学、化工、地质、冶金、机械、仪器仪表、航空航天、自动控制、核能、建材等领域。

(1) 微电子材料及其器件领域 例如 CPU 芯片、IC Chip。现代微电子技术向高集成超微细化方向发展，微电子已成为知识经济的基础和支柱。微电子学与器件是材料科技中重要研究领域，研制开发微电子与器件所需的新型材料和加工技术是当前国际上研究的前沿课题。CPU 芯片和 IC chip 是微电子材料和器件中十分重要的代表。传统的 CPU 芯片是由单晶硅的材料制造而成，虽然集成度不断提高，但还不适应发展需求，利用分子束外延技术制造超晶格是当前最活跃的领域。利用这种技术，可使集成电路超小型化和多功能化。将来科学家可能采用像锗之类的半导体或者像金之类的贵金属，也可能采用玻璃或者金刚石来生产芯片，如 GaAs，它具有高效率、低能耗、高速度集成电路的性能。另外，高聚物有机材料因具有优越的性能而成为最具竞争力的生物芯片材料，且正在逐步取代传统的硅和玻璃材料。目前，国际上已有很多的研究机构开始使用高聚物材料作为基底来制作生物芯片。

(2) 功能材料及其器件领域 例如传感器、薄膜功能器件等。功能材料及其器件具有能量及信息的转换、存贮和输运的特殊功能。它是能源、信息科学技术的物质基础。在电器工业、仪表工业、计算技术、电子技术、自动化技术、航空与航天技术、能源技术和生物工程等现代科学技术中得到越来越广泛的应用，而且用量也越来越大。常见的传感材料有金属与合金、磁性材料、陶瓷传感器材料、有机传感器材料、半导体传感器材料、光纤传感器材料、传感器基础效应与相应的敏感材料。传感器是一种可以获取并处理信息的特殊装置，如人体的感觉器官就是一套完美的传感系统，通过眼、耳、皮肤来感知外界的光、声、温度、压力等物理信息，通过鼻、舌感知气味和味道这样的化学刺激，而进一步在大脑产生感觉。传感材料与传感器种类繁多，其中比较特殊的一类是生物传感器。它以生物活性单元（如

酶、抗体、核酸、细胞等)作为生物敏感单元,对目标测定物具有高度选择性的检测器。生物传感器具有选择性好、灵敏度高、分析速度快、成本低、能在复杂的体系中进行在线连续监测等特点,特别是它高度自动化、微型化与集成化的特点,使其在近几十年获得蓬勃迅速的发展。生物传感器包括酶传感器、免疫传感器、微生物电极传感器、组织传感器、芯片生物传感器等。许多情况下,材料功能的发挥和作用发生在材料的表面,例如化学催化作用、光学反射、场致发射、热电子逸出等物理化学现象。使用功能薄膜材料相较于使用块体功能材料不仅保护资源而且降低成本。薄膜材料往往具有一些块体材料所不具备的性能。这是因为除了薄膜材料容易形成细晶、非晶状态,薄膜材料容易处于亚稳态,而且薄膜材料往往偏离化学计量比,以及特殊的材料表面能态等。常见的功能薄膜器件有超导薄膜、磁性薄膜、光电薄膜、导电薄膜、介电薄膜、光热薄膜等。

(3) 结构材料领域 例如建材、陶瓷、合金等。结构材料指以力学性能为主的工程材料,它是国民经济中应用最为广泛的材料,从日用品、建筑到汽车、飞机、卫星和火箭等,均以某种形式的结构框架获得其外形、大小和强度。钢铁、有色金属等传统材料都属于此类。结构材料是支撑航空航天、交通运输、电子信息、能源动力以及国家重大基础工程建设等领域的重要物质基础,是目前国际上竞争最激烈的高技术新材料领域之一。高性能结构材料的进步不仅对国家支柱产业的发展和国家安全的保障起着关键性的作用,而且还可影响和带动一大批基础材料和传统产业的升级改造。该领域中的研究主要围绕以下三方面开展。①材料的深度加工。就是利用少量材料发挥更大作用,如铸造和热处理的新技术和复合材料的研究等。②通过研究材料在使用过程中的损伤机理,找出提高材料性能的途径和改进设计思想以延长使用寿命。因此,研究在不同环境和受力条件下材料的断裂、疲劳、腐蚀、磨损、老化等都是一个长期的任务。③根据材料的性能特点,发展合理的设计方法,以弥补高性能材料的某些缺点,如陶瓷材料如何通过改进设计方法,来改善其脆性大、性能分散度高的缺陷,使其其他性能优势得以发挥,就是一个重要的研究课题。

(4) 纳米材料领域 例如纳米机器、催化等。纳米材料是组成相或晶粒在任一维上尺寸小于100nm的材料,是当今新材料研究领域中最富有活力、对未来经济和社会发展有着十分重要的影响,也是纳米科技界中最为活跃、最接近应用的重要组成部分。由于纳米材料具有强烈的尺寸效应,因而展现出异常的力学、电学、磁学、光学特性,敏感特性和催化以及光活性,为新材料的发展开辟了一个崭新的研究和应用领域。纳米材料可分为纳米富勒碳球、碳纳米管和纳米线、纳米薄膜、纳米陶瓷材料、纳米高分子材料。纳米材料由于体积小、比表面积大、表面活性中心多,因而催化活性与选择性远远大于传统催化剂。例如,价格低廉、高效能量转化的纳米结构太阳能电池,热电转化纳米元件和以巨磁电阻为原理的纳米结构器件等。纳米复合材料的优异性能可以从日本丰田公司最早制备的尼龙纳米复合材料中

看出来：与未加填料的尼龙相比，它的强度和模量提高很大，且抗冲击性不会降低，更重要的是其热变性温度是尼龙的两倍多。

(5) 环境材料领域 例如催化剂、生态材料等。环境材料是绿色设计的基础，也是绿色产品的物质表现形式之一。环境材料又称为环境协调材料，可定义为：在材料的生命周期全过程中，其功能性、经济性基本相同的条件下，对环境负荷影响较小的材料。催化是我国石油炼制、基本有机化工原料、塑料化纤橡胶合成材料生产、环境保护以及医药、农药、表面活性剂等精细化学品合成中的核心技术。催化剂是催化技术的灵魂，如 ZSM-5 分子筛，可用作石油催化裂化中的提高汽油辛烷值组分的催化剂，也可用于石油化工中作乙苯合成催化剂，还在环保、C1 化学中得到应用。生态材料是由以日本的山本良一教授为代表的材料学家们提出的概念。生态材料包括生物降解高分子材料、循环再生材料、净化材料、绿色能源材料、仿生材料等。

(6) 电子、化学、化工、地质、冶金、机械、仪器仪表、航空航天、自动控制、核能、建材等领域 此外，材料科学涉及的领域还包括电子、化学、化工、地质、冶金、机械、仪器仪表、航空航天、自动控制、核能、建材等领域。新型化工材料在高科技中得到了广泛的应用，诸如宇宙飞船、核能、太阳能等新能源的开发，通信卫星、人类生命工程等高科技方面，无一不与新型化工材料有关。环保杀菌材料和环境友好材料获得蓬勃发展。能源材料是近十年来发展起来的一类新型材料，它包括储能材料、节能材料、能量转换材料和核能材料等。例如主要应用于高效节能的电加热器及装置，太阳能储热加热器，工业余热利用储热加热器，太阳能储能空调器，燃料电池，储氢材料及氢能利用及核反应堆发电等。用于建筑的保温材料、隔热材料、高强度材料、会呼吸的材料等。

1.3 材料分析的重要性

材料科学研究的主要内容是探索材料组织、结构、缺陷、成分及其对材料物理、化学、力学行为的影响。这些研究若离开材料分析化学的方法将难以进行。

(1) 材料的元素组成 材料的性能与其元素组成有着极为密切的关系，对材料性能的调控可以借助于改变材料的元素组成来实现，许多材料中微量元素的改变就有可能造成其性能的巨大变化，例如，半导体的电导率对于其纯度的依赖极为敏感，百万分之一的硼含量就能使纯硅的电导率成万倍的增加。因此对于材料研究者来说，材料的成分分析具有十分重要的意义，也是进行材料设计、加工和性能研究的基础。

(2) 材料的物相结构 材料的成分和组织结构是决定其性能的基本因素，化学分析能给出材料的成分，金相分析能揭示材料的显微形貌，而 X 射线衍射分析可得出材料中物相的结构及元素的存在状态。因此，三种方法不可互相取代。材料的

性质不仅与构成材料的元素有关，还与材料的物相结构密切相关，组成相同的材料，物相结构不同则化学性质千差万别。例如，纳米二氧化钛存在三种变体：金红石为四方晶体；锐钛矿为四方晶体；板钛矿为正交晶体。其中锐钛型二氧化钛的光催化活性最高。

(3) 材料的掺杂 在原有材料中通过一定的方法，掺杂一定量的某种元素或者物质，使得原有材料的性质得到显著改良甚至产生新性质，是材料改性的重要途径。然而，杂质含量的控制十分重要，例如二氧化钛是广泛应用的光催化剂，但是由于其带隙较宽 (3.2 eV)，太阳光的利用率低，而且半导体载流子的复合率高，量子效率低。因此，掺杂金属离子可以克服以上缺点，改善二氧化钛的光催化效率，提高量子产率。一般而言，掺杂一定量的非金属 N，可以使二氧化钛吸收阈值扩展到可见光区，从而产生可见光活性。

(4) 材料的化学价态 材料中元素价态的改变，可以使材料物理性质和化学性质产生相当显著的变化，有可能导致一些新的功能材料或结构材料的出现，因此，开展元素价态分析，对于材料的预测、设计、合成具有指导意义。

(5) 材料的微观形态 材料的形貌尤其是纳米材料的形貌也是材料分析的重要组成部分。除了材料颗粒大小外，材料的很多重要物理化学性能是由其形貌特征所决定的。如颗粒状纳米材料与纳米线和纳米管的物理化学性能就有很大的差异。因此，材料的形貌分析，是材料研究的重要内容。

1.4 材料分析的内容

(1) 材料的元素成分分析 材料的成分分析就是分析材料中各种元素的组成，即检测材料中的元素种类及其相对含量的过程。材料的元素组成及其杂质成分的分析方法包括原子吸收，原子发射 (ICP)，质谱以及 X 射线荧光与衍射分析方法。其中前三种分析方法需要对样品进行溶解后再进行测定，因此属于破坏性样品分析方法。而 X 射线荧光与衍射分析方法可以直接对固体样品进行测定，因此又称为非破坏性元素分析方法。

(2) 材料的化学结构分析 在固体材料中拉曼激活的机制很多，反映的范围也很广，如分子振动、各种元激发 (电子、声子、等离子体等)、杂质、缺陷等晶相结构，颗粒大小，薄膜厚度，固相反应，细微结构分析和催化剂等方面。

(3) 材料的物相结构分析 物相分析包括定性分析和定量分析两部分。X 射线之所以能用于物相分析是因为由各衍射峰的角度位置来确定物质固有特性的晶面间距以及它们的相对强度。每种物质都有特定的晶格类型和晶胞尺寸，而这些又都与衍射角和衍射强度有着对应关系，所以可以像根据指纹来辨识人一样，用衍射图像来鉴别晶体物质，只需要将未知物相的衍射花样与已知物相的衍射花样相互参照。材料结构分析的目的在于解析物质的体相结构，表面相结构，原子排列和物相等。