

面向

21

世纪材料科学与工程高等
教育改革试用教材

所院校材料科学与工程学科
公共专业课系列共建教材

材料科学基础

徐恒钧 主编 刘国勋 主审

北京工业大学出版社

面向 **21** 世纪材料科学与工程高等教育改革试用教材
所院校材料科学与工程学科公共专业课系列共建教材



材料科学基础

徐恒钧	主 编
石巨岩 阮玉忠	副主编
刘国勋	主 审

北京工业大学出版社

内 容 提 要

本书系全国 21 所院校面向 21 世纪材料科学与工程高等教育改革的学科公共专业课系列共建教材之一。

本书内容着眼于材料科学的基本问题、各种材料的共性问题，为学习和研究各种材料提供必要的基础。本书分 10 章，第一章为原子结构与结合键，第二章为材料的结构，第三章为晶体结构缺陷，第四章为晶态固体中的扩散，第五章为相平衡与相图，第六章为材料的凝固，第七章为晶态固体材料中的界面，第八章为固态相变，第九章为材料的变形与再结晶，第十章为材料的强韧化。

本书适于材料科学与工程一级学科专业或二级学科专业公共专业课本科教学使用。建议学时 90~120。本书也可供研究生和相关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

材料科学基础/徐恒钧主编. —北京: 北京工业大学出版社, 2001. 8

材料科学与工程学科公共专业课系列共建教材

ISBN 7-5639-0934-6

I. 材... II 徐... III. 材料科学-高等学校-教材
IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 048755 号

材料科学基础

徐恒钧 主编

石巨岩 阮玉忠 副主编

刘国勋 主审

*

北京工业大学出版社出版发行

邮编 100022 电话 67392308

各地新华书店经销

徐水宏远印刷厂印刷

*

2001 年 10 月第 1 版 2001 年 10 月第 1 次印刷

787 mm×1 092 mm 16 开本 27.75 印张 690 千字

印数: 1~3000 册

ISBN 7-5639-0934-6/G·511

定价: 36.00 元

出版说明

为适应面向 21 世纪材料科学与工程高等教育改革的需要, 全国 21 所高等院校在“材料教育改革交流研讨会”上就共建材料科学与工程学科公共专业课 (7 门) 系列教材达成共识, 成立了由 9 所院校组成的“共建教材编写协作组”负责本系列教材的编写组织工作。系列教材的编写得到各院校相关领导与教师的重视, 得到北京工业大学教材建设基金的支持, 并被列入北京市教委教育科研项目。

本系列教材内容界定在“材料科学与工程”一级学科范围内, 试图成为材料科学与工程类二级学科专业 (教育部新的学科专业目录) 或一级学科专业 (材料科学与工程) 公共专业课 (本科) 教材或主要教学参考书。

本系列教材包括如下 7 种, 将由北京工业大学出版社陆续出版:

材料科学概论

材料科学基础

材料工程基础

材料性能学

材料现代分析方法

材料工程测试技术

计算机在材料科学中的应用

材料科学与工程学科公共专业课系列教材共建单位

北京工业大学 太原理工大学 上海大学 内蒙古工业大学 福州大学 山东工业大学 河北工业大学 青岛大学 天津理工学院 (以上单位组成“共建教材编写协作组”) 辽宁工学院 广东工业大学 山东建材工业学院 山东建筑工程学院 山东轻工业学院 四川工业学院 吉林工学院 北京联大机械工程学院 沈阳工业学院 河北理工学院 南昌大学 贵州工业大学

44c 91/03

前 言

本书是为材料科学与工程专业本科生编写的教材。

21世纪到来前夕，随着教育和教学改革的深入，材料科学和工程领域的专家和教育工作者们深深感到，为了培养适应新的时代和社会发展需要的高素质材料科学与工程专门人才，教材改革已成为迫切需要解决的关键问题之一。1998年12月中旬在北京举行的全国21所高等院校材料专业教改研讨会上，与会者深入地讨论了材料专业教学改革的必要性、重要性和紧迫性，同时确定了编写材料专业一级学科本科系列教材的计划。本书的编写大纲便是在各校众多编写大纲的基础上经选优、调整、补充而形成的。1999年3月经《材料科学与工程》教材审定委员会审定。

本教科书是集体智慧的结晶。大纲审定后，由8所院校根据学术水平和教学经验情况推选人员组成了编写委员会。编写人员来自不同的教学和科研领域，包括金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料。本书编者的意图是使本教材内容适应一级学科教学的需要，为学习和研究各类材料提供必要的基础知识，反映材料科学的进展。本教科书的特点是着眼于材料科学的基本问题、共性问题，将金属材料、无机非金属材料、高分子材料紧密结合在一起，使学生在把握材料共性的同时，熟悉材料的个性。但由于编者能力有限，难免有错漏和不适应新的要求之处，诚恳希望读者批评指正。

本书绪论和第七章由北京工业大学徐恒钧编写，第一章由福州大学陈建中与阮玉忠合编，第二章由福州大学阮玉忠、陈建中与杨晓华合编，第三章由吉林工学院金松哲编写，第四章和第八章由太原理工大学石巨岩编写，第五章由内蒙古工业大学杨殿魁编写，第六章由四川工学院王学前编写，第九章由天津理工学院陈民芳编写，该章第四节由青岛大学马艳玲编写，第十章由北京联大机械工程学院周友苏编写。全书由徐恒钧教授任主编，石巨岩、阮玉忠教授任副主编，北京科技大学刘国勋教授任主审。

在编写过程中得到北京工业大学、太原理工大学、福州大学、吉林工学院、内蒙古工业大学、四川工学院、天津理工学院、北京联大机械工程学院、青岛大学等单位有关领导和教师的大力支持。本书出版得到了北京工业大学教材建设基金的资助。北京工业大学程静副校长和材料学院孙灼副院长对本书的编写、出版给予了热情支持。北京工业大学出版社领导和吕小红责任编辑为本书出版做了大量细致的工作。北京工业大学臧竞存、常新安审阅了本书初稿的部分章节，并提出了具体修改意见。在此向他们表示衷心感谢。

编 者

目 录

前言	(I)
绪论	(1)
一、什么是材料科学	(1)
二、材料科学的形成	(3)
三、材料科学与材料工程的关系	(4)
参考文献	(5)
第一章 原子结构与结合键	(6)
第一节 原子结构	(6)
一、微观粒子运动的描述方法和量子效应	(6)
二、氢原子结构	(9)
三、多电子原子结构	(13)
四、原子的电离能、电子亲合能及电负性	(15)
第二节 结合键	(17)
一、离子键	(17)
二、共价键	(18)
三、金属键	(20)
四、范德华键	(21)
五、氢键	(21)
参考文献	(22)
习题	(22)
第二章 材料的结构	(24)
第一节 晶体学基础	(24)
一、空间点阵和晶胞	(24)
二、晶体的宏观对称性	(26)
三、晶族与晶系	(31)
四、晶体定向	(31)
五、晶体结构的基本特征	(33)
六、晶面指数和晶向指数	(37)
七、晶体投影	(42)
第二节 常见的晶体结构	(45)
一、晶体化学基本原理	(45)
二、典型金属的晶体结构	(48)

三、常见无机化合物晶体结构	(51)
第三节 固溶体的晶体结构	(55)
一、置换固溶体	(56)
二、形成置换固溶体的影响因素	(56)
三、间隙固溶体	(57)
四、有序固溶体及固溶体的微观不均匀性	(58)
第四节 金属间化合物的晶体结构	(58)
一、正常价化合物	(59)
二、电子化合物	(59)
三、受原子尺寸因素控制的金属间化合物	(59)
四、金属间化合物的用途	(61)
第五节 硅酸盐结构	(61)
一、岛状结构	(62)
二、族群状结构	(63)
三、链状结构	(64)
四、层状结构	(65)
五、架状结构	(66)
第六节 非晶态固体结构	(68)
一、玻璃的概念和通性	(68)
二、玻璃的结构	(69)
三、硅酸盐玻璃	(71)
四、金属玻璃	(72)
第七节 准晶体	(74)
一、准晶体的结构模型	(74)
二、准晶体的制备	(75)
三、准晶体的性能	(75)
四、准晶的应用	(76)
第八节 高分子材料结构	(76)
一、高分子链结构	(76)
二、高分子的聚集态结构	(82)
第九节 固体的电子能带结构理论	(84)
一、绝缘体	(85)
二、导体	(85)
三、半导体	(86)
参考文献	(88)
习题	(89)
第三章 晶体结构缺陷	(92)
第一节 点缺陷	(92)
一、点缺陷的形成	(92)
二、点缺陷的平衡浓度	(93)
三、点缺陷的运动和作用	(94)
四、过饱和点缺陷	(95)

五、其他晶体的点缺陷	(95)
第二节 位错的结构	(95)
一、位错的类型	(96)
二、柏氏矢量	(97)
三、晶体中位错的组态和位错密度	(99)
第三节 位错的运动	(99)
一、作用在位错上的力	(99)
二、位错的运动	(100)
第四节 位错的应力场	(102)
一、位错的应力场	(102)
二、位错的弹性应变能	(104)
三、位错的线张力	(106)
第五节 位错与晶体缺陷间的交互作用	(107)
一、位错间的交互作用	(107)
二、位错与点缺陷的交互作用	(108)
第六节 位错的增殖、塞积与交割	(109)
一、位错的增殖	(109)
二、位错的塞积	(110)
三、位错的交割	(111)
第七节 实际晶体中的位错	(112)
一、全位错和不全位错	(112)
二、位错反应	(113)
三、扩展位错	(114)
四、其他晶体中的位错	(115)
参考文献	(115)
习题	(116)
第四章 晶态固体中的扩散	(118)
第一节 扩散的宏观规律	(118)
一、菲克第一定律与稳态扩散	(118)
二、菲克第二定律与非稳态扩散	(119)
第二节 扩散的微观机制	(123)
一、扩散机制	(123)
二、晶态固体中原子的无规行走及相关效应	(124)
三、原子跳动与扩散系数的微观表达式	(126)
第三节 扩散系数	(126)
一、扩散系数与扩散激活能	(126)
二、扩散系数的测定	(128)
三、本征扩散系数与互扩散系数	(131)
四、影响扩散系数的因素	(132)
第四节 扩散的热力学分析	(135)
一、推动扩散原子定向迁移的“力”	(135)

二、菲克定律的普遍形式	(135)
三、上坡扩散	(136)
第五节 反应扩散	(137)
第六节 离子晶体中的扩散	(138)
一、离子晶体中的缺陷	(138)
二、离子晶体中扩散系数的确定	(139)
三、离子电导率与扩散系数的关系	(140)
参考文献	(141)
习题	(141)
附录	(142)
第五章 相平衡与相图	(145)
第一节 相与相平衡	(145)
一、组元	(145)
二、相	(145)
三、相平衡	(146)
四、自由度与相律	(147)
第二节 单元系相图	(148)
一、单元系相图的表示和实验测定方法	(148)
二、相图分析	(148)
三、有晶型变化的单元系相图	(149)
第三节 二元系相图	(150)
一、二元系相图的建立	(151)
二、杠杆定律	(152)
三、二元系相图的类型	(153)
四、二元相图的几何规律	(166)
五、二元系统相图的分析	(167)
第四节 铁碳相图	(169)
一、铁碳合金的组元及基本相	(169)
二、Fe-Fe ₃ C 相图分析	(171)
三、铁碳合金及平衡结晶	(173)
四、碳对铁碳合金的组织与性能的影响	(178)
五、铁-石墨相图	(181)
第五节 相图的热力学解释	(184)
一、单元系相图的热力学	(184)
二、二元相图热力学	(186)
三、由自由能—成分曲线合成相图	(191)
第六节 三元系相图	(194)
一、三元相图的表示方法	(194)
二、三元系平衡相的定量法则	(196)
三、三元匀晶相图	(197)
四、三元共晶相图	(200)
五、三元相图的一些规律	(208)

六、三元相图应用实例	(212)
参考文献	(218)
习题	(219)
第六章 材料的凝固	(221)
第一节 纯金属的结晶	(221)
一、结晶的过冷现象	(221)
二、结晶的热力学条件	(221)
三、液态金属结构	(222)
四、金属的结晶过程	(223)
五、形核与长大	(223)
第二节 固溶体合金的结晶	(229)
一、非平衡态的结晶	(229)
二、固溶体合金结晶时溶质的重新分布	(230)
三、合金凝固过程中的成分过冷	(233)
四、界面稳定性与晶体生长形态	(234)
第三节 共晶合金结晶	(237)
一、共晶转变机制	(237)
二、共晶组织形貌	(238)
三、亚共晶与过共晶合金中初生相形态	(240)
四、共晶系合金的非平衡结晶	(240)
第四节 铸锭组织的形成与控制	(242)
一、铸锭三晶区及其形成机制	(242)
二、影响铸锭组织的因素	(243)
第五节 凝固技术	(244)
一、定向凝固	(244)
二、单晶制取	(244)
三、区域提纯	(245)
四、激冷技术(快速凝固)	(245)
第六节 无机非金属材料的液-固相变	(246)
一、硅酸盐熔体的结构与性质	(246)
二、硅酸盐熔体的液-固转变	(248)
三、玻璃体的晶化	(249)
第七节 高分子材料的凝固	(249)
一、凝固过程	(249)
二、聚合物熔体结构及特征	(250)
三、聚合物聚集态结构与物理状态	(252)
参考文献	(257)
习题	(258)
第七章 晶态固体材料中的界面	(259)
第一节 晶体表面	(259)
一、表面结构	(259)

二、表面吸附与偏析	(260)
三、表面能与晶体的平衡外形	(262)
第二节 晶界结构	(265)
一、界面的5个自由度	(265)
二、小角度晶界	(265)
三、大角度晶界	(267)
四、晶界原子排列的理论模型	(267)
第三节 晶界的能量	(277)
一、小角度晶界的能量	(277)
二、大角度晶界的能量	(278)
第四节 晶界平衡偏析	(279)
第五节 晶界迁移	(282)
一、晶界迁移速度	(282)
二、晶界迁移驱动力	(282)
三、影响晶界迁移率的主要因素	(284)
第六节 相界面	(285)
一、共格界面	(285)
二、半共格界面	(286)
三、非共格界面	(287)
四、复杂半共格界面	(288)
第七节 界面能与显微组织形貌	(289)
一、单相多晶体中的晶粒形状	(289)
二、复相组织中的第二相	(291)
参考文献	(295)
习题	(295)
第八章 固态相变	(297)
第一节 固态相变总论	(297)
一、固态相变的特点	(297)
二、固态相变的分类	(298)
三、固态相变的形核	(300)
四、晶核的长大	(303)
五、固态相变动力学	(305)
第二节 成分保持不变的相变	(306)
一、多型性转变	(306)
二、块状转变	(306)
三、有序-无序转变	(307)
第三节 过饱和固溶体的分解	(310)
一、脱溶沉淀过程	(310)
二、沉淀方式	(313)
三、脱溶沉淀热力学	(315)
四、等温沉淀的动力学	(316)
五、调幅分解	(317)

六、沉淀相粗化	(319)
七、沉淀强化机制	(319)
第四节 共析转变	(321)
一、概述	(321)
二、共析转变的热力学分析	(322)
三、珠光体的形成过程	(322)
四、共析转变动力学	(323)
五、先共析转变及伪共析转变	(234)
六、珠光体的组织特点及力学性能	(325)
第五节 马氏体转变	(326)
一、马氏体转变的基本特征	(327)
二、马氏体转变的晶体学	(328)
三、马氏体转变热力学	(332)
四、马氏体转变动力学	(335)
五、马氏体转变机制及表象理论简介	(336)
六、不同材料中的马氏体转变	(340)
七、马氏体的特殊性能及应用	(344)
第六节 贝氏体转变	(347)
一、贝氏体的形态及晶体学	(347)
二、贝氏体的形成过程	(349)
三、贝氏体转变的热力学和动力学	(349)
四、贝氏体转变的学术争论	(351)
五、贝氏体的力学性能	(352)
第七节 过冷奥氏体转变动力学图	(353)
一、过冷奥氏体连续冷却转变动力学图	(353)
二、过冷奥氏体等温转变动力学图	(358)
参考文献	(362)
习题	(362)
第九章 材料的变形与再结晶	(364)
第一节 材料的弹性变形	(364)
一、基本概念	(364)
二、广义虎克定律及弹性常数	(365)
三、材料的滞弹性	(366)
第二节 单晶体的塑性变形	(367)
一、滑移系及临界分切应力定律	(367)
二、滑移的位错机制	(370)
三、滑移过程的次生现象	(372)
四、孪生	(373)
第三节 多晶体的塑性变形	(375)
一、多晶体变形时晶界的作用	(375)
二、多晶体塑性变形的特点	(376)
三、晶界对强度的影响	(376)

第四节 高分子材料的塑性变形	(377)
第五节 塑性变形对材料组织和性能的影响	(378)
一、冷变形金属的组织与结构	(378)
二、冷变形金属的加工硬化	(379)
三、形变织构	(380)
第六节 晶体的断裂	(381)
一、脆性断裂	(381)
二、韧性断裂	(383)
三、韧性-脆性转换	(384)
第七节 冷变形金属的内应力和储存能	(384)
一、残余内应力	(384)
二、储存能	(385)
第八节 冷变形金属的回复	(385)
一、回复过程的特征	(386)
二、回复机制	(386)
三、回复动力学	(388)
第九节 冷变形金属的再结晶	(388)
一、再结晶的形核	(388)
二、再结晶的形核率及长大速率	(389)
三、再结晶动力学	(390)
四、再结晶温度及晶粒大小	(390)
五、再结晶后的晶粒长大	(392)
第十节 晶体的高温变形	(393)
一、热变形	(393)
二、超塑性	(395)
三、蠕变	(395)
参考文献	(397)
习题	(397)
第十章 材料的强韧化	(399)
第一节 材料强化基本原理	(399)
一、金属材料的强化原理	(399)
二、高聚物的强化原理	(406)
第二节 材料的韧化基本原理	(407)
一、金属材料的韧化原理	(407)
二、高聚物的韧化原理	(410)
三、无机非金属材料的韧化机理	(412)
第三节 材料强韧化常用方法举例	(414)
一、金属材料强韧化常用方法举例	(414)
二、高分子材料的强韧化方法举例	(415)
三、无机非金属材料的强韧化方法举例	(416)
第四节 复合改性	(417)

一、纤维的增强作用	(417)
二、纤维的增韧作用	(418)
参考文献	(419)
习题.....	(420)
主要名词术语	(421)

绪 论

材料不仅是人类进化的标志，而且是社会现代化的物质基础与先导。材料、能源与信息被称为现代文明的三大支柱。80年代人们又把新型材料、生物工程和信息作为产业革命的重要标志。材料，尤其是新型材料的研究、开发与应用反映着一个国家的科学技术与工业水平，它关系到国家的综合国力与安全，因此各发达国家无不把材料放在重要地位。1978年我国科学大会将材料科学技术列为8个新兴的综合性的科学技术领域之一。此后各个五年计划中，一直把材料科学技术作为重点发展的领域之一。

无论是为制造某种产品选择合适材料，选择最佳的加工工艺，正确地使用材料，还是改善现有材料或者研制新材料，都需要我们具有材料内部结构与性能的知识，都需要材料科学的理论指导。特别是新型材料，其主要特点是以科学为基础，与新技术、新工艺的发展有相互依存、相互促进的关系。

一、什么是材料科学

“材料”是早已存在的名词，但“材料科学”的提出是20世纪60年代的事。1957年，前苏联人造卫星首先上天，美国朝野上下为之震惊，认为自己落后的主要原因是在先进材料研究方面落后，于是在一些大学相继成立了十余个材料科学研究中心，从此“材料科学”这个名词被广泛地引用。

材料科学是自然科学的一个分支，它从事于材料本质的发现、分析和了解方面的研究，其目的在于提供材料结构的统一描绘或模型，以及解释这种结构与性能之间的关系。因此材料科学的核心问题是结构和性能。为了深入地理解和有效地控制性能和结构，我们需要处理各种过程，如屈服过程、断裂过程、导电过程、磁化过程、相变过程等。材料中各种结构的形成都涉及能量，因此外界条件的改变将会引起结构的改变，从而导致性能的改变。过程是理解性能和结构的重要环节；结构是深入理解性能和计算能量的中心环节，能量控制结构的形成和过程的进行。

材料的性能是由材料的内部结构决定的。材料的结构表明材料的组元及其排列和运动方式。材料的组元指组成材料的物质组元，如原子、分子和离子等。材料的排列方式取决于组元间的结合类型，如金属键、离子键、共价键、分子键等。组元不是固定不动的，而是在运动的，如电子的运动、原子的热运动等。材料的结构根据不同的尺度可以分为不同层次，包括原子结构、原子的排列、相结构、显微组织（多相结构）。晶体中的结构缺陷也包括在结构之中，每个层次的结构都以不同方式决定着材料的性能。

结构是理解和控制性能的中心环节。结构的最微细的水平是组成材料的原子结构，电子围绕着原子核的排列情况对材料的电学、磁学、热学、光学乃至耐腐蚀性能都有重大影响，尤其是电子的排列会影响原子的键合，使材料表现出金属、陶瓷和高分子的性能。

第二个水平就是原子在空间的排列。金属、许多陶瓷和某些高分子材料在空间均具有非常规则的原子排列，或者说晶体结构。晶体结构会影响到材料的力学性能，如强度、塑性、韧性等。例如，石墨和金刚石都是由碳原子组成的，但二者原子排列方式不同，因此强度、硬度及其他物理性能差别极大。当材料处于非晶态即玻璃态时，与晶体材料相比，性能差别很大，如呈玻璃态的聚乙烯是透明的，而呈晶态的聚乙烯是半透明的。非晶态金属比晶态金属具有更高的强度和耐蚀性能。在晶体材料中存在的某些排列的不完美性，即晶体结构缺陷，也对材料性能发生重大影响。

第三个水平则是材料的显微组织。显微组织即在显微镜下所观察到的构成材料的各相的组合图像，或者说材料的显微组织是材料中各相的含量及形貌所构成的图像。

我们在研究晶体结构与性能的关系时，除考虑其内部原子排列的规则性以外，还必须考虑其尺寸的影响。从原子角度看，把在三维方向上尺寸都很大的材料叫体材料，在一维、二维或三维方向上尺寸很小的材料叫做低维材料。低维材料具有目前体材料所不具备的性质。如作为零维的纳米粒子（尺寸小于100nm）具有很强的表面效应、尺寸效应和量子效应，使其具有独特的物理、化学性能：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，等等。作为一维材料的高强度有机纤维、光导纤维，作为二维材料的金刚石薄膜、超导薄膜都具有特殊的物理性能。

材料的性能是一种参量，用于表征材料在给定外界条件下的行为。材料的性能只有在外界条件下才能表现出来。外界条件是指温度、载荷、电场、磁场、化学介质等。例如用表征材料在外力作用下拉伸行为的载荷—位移曲线或应力—应变曲线，采用屈服、颈缩、断裂等行为判据，便分别有屈服强度、抗拉强度、断裂强度等力学性能。又例如用表征材料在外磁场作用下，磁化及退磁行为的磁滞回线，采用不同的行为判据，便分别有矫顽力、剩余磁感、贮藏的磁能等磁学性能。

材料的性能可分为两大类，即简单性能和复杂性能。简单性能包括材料的物理性能、力学性能和化学性能，复杂性能包括复合性能、工艺性能、使用性能等。复杂性能是不同简单性能的组合，见表0-1。

表0-1 材料性能的划分

材 料 性 能	简单性能	物理性能	<ol style="list-style-type: none"> 1. 热学性能—导热率、热胀系数等 2. 声学性能—声的吸收、反射等 3. 光学性能—折射率、黑度等 4. 电学性能—导电性、介电系数等 5. 磁学性能—导磁率、矫顽力等 6. 辐射性能—中子吸收截面积、中子散射系数等
		力学性能	<ol style="list-style-type: none"> 1. 强度—σ_s、σ_b、σ_f等 2. 弹性—σ_p、E、G等 3. 塑性—δ、ψ、n等 4. 韧性—α_K、K_{Ic}、c_v等
		化学性能	<ol style="list-style-type: none"> 1. 抗氧化性能 2. 耐腐蚀性 3. 抗渗人性
	复杂性能	<ol style="list-style-type: none"> 1. 复合性能—简单性能的组合，如高温疲劳强度 2. 工艺性能—铸造性、可焊性、切削性等 3. 使用性能—耐磨性、抗弹穿人性、刀刃锋利性等 	

将异质、异性或异形材料复合所形成的复合材料，可以具备组元材料所不具备的性能，这是“复合”的结果。物理现象之间的转换是相当普遍的，人们利用这些现象制备了若干功能元件或控制元件，如光电管、热电偶、电阻应变片、压电晶体等。近年来，综合地利用性能的转换与复合，并提出了复合的相乘效应，可以获得若干具有新性能的元件。若对材料甲施加 X 作用，可以得到 Y 效果，则这个材料甲具有 X/Y 性能，压电性能中， X 为压力， Y 为电位差；若材料乙具有 Y/Z 性能，则甲与乙复合之后具有 X/Z 性能，如表 0-2。例如自控发热功能复合材料就是利用相乘效应的一种复合材料，已广泛应用于石油、化工等方面。这种材料由一种导电粉末（如碳粉）分散在高分子树脂中形成，导电粉末构成导电通道。用这样的材料加上电极制成扁形电缆即可缠在管道外面通电加热。材料发热使高分子膨胀，拉断一些导电粉末通道，从而使材料电阻值增大，降低发热量，温度降低后高分子收缩又使导电通道复原，产生恒温控制的效果。这种热—变形与变形—变阻的相乘效果成为热—变阻的方式。

表 0-2 功能复合材料的相乘性

甲组元性能 (X/Y)	乙组元性能 (Y/Z)	甲乙复合材料性能 (X/Z)
压电性	磁阻性	压阻效应
压磁性	法拉第效应	压致电极性变化
压电性	场致发光	压力发光
压电性	凯尔光电效应	力致发光
磁致伸缩	压阻性	磁阻效应
磁致伸缩	压电性	磁电效应
光导性	电致伸缩	光致伸缩
光导性	场致发光	光波转换 (红外/可见光)
闪烁现象	光导性	辐照诱致导电
闪烁现象	荧光	辐射荧光
热胀变形	热敏电阻	热阻控制效应

二、材料科学的形成

材料科学的形成是科学技术发展的结果。

首先，固体物理、无机化学、有机化学、物理化学等学科的发展，对物质结构和物性的深入研究，推动了对材料本质的了解；同时，冶金学、金属学、陶瓷学、高分子科学等的发展，也使对材料本身的研究大大加强，从而对材料的制备、结构和性能以及它们之间的相互关系的研究也愈来愈深入，为材料科学的形成打下了比较坚实的基础。

其次，在材料科学这个名词出现以前，金属材料、高分子材料与陶瓷材料都已自成体系，目前复合材料也正形成学科体系。材料是多种多样的，如金属、陶瓷、高分子和复合材料，它们在制备和使用过程中许多概念、现象和转变都惊人地相似。诸如相变机理（如马氏体相变是金属学家提出来的，广泛地被用来作为热处理的理论基础，但氧化锆陶瓷中也发现了马氏体相变现象，并用来作为陶瓷增韧的一种有效手段）、缺陷行为、平衡热力学、扩散、塑性变形和断裂机理、界面的精细结构与行为、晶体和玻璃的结构以及它们之间的关系、不同类型材料中电子的迁移与禁锢、原子聚集体的统计力学与磁自旋等的概念，不仅用来说明最早研究过的单个材料的行为，而且也用来说明初看起来毫不相干的其他材料的行为。正是由于各材料之间的相互有机联系而诞生的材料科学现在已成为一门独立的学科。