

新

# 型功能材料的 制备及应用

XINXING GONGNENG CAILIAO DE ZHIBEI JI YINGYONG

尤俊华 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 新型功能材料的 制备及应用

尤俊华 著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

• 北京 •

## 内 容 提 要

本书以功能材料为主线,全面系统地介绍了新型功能材料的制备及应用,全书共分7章,主要内容有绪论、磁性材料制备工艺、非晶态材料制备工艺、纳米材料制备工艺、陶瓷材料制备工艺、功能复合材料制备工艺、功能高分子材料制备工艺。本书的撰写目的是向读者介绍功能材料的基本原理和制备方法,使读者能熟练处理功能材料制备和使用过程中遇到的各种问题,开拓思路,提高分析问题和解决问题的能力。

## 图书在版编目(CIP)数据

新型功能材料的制备及应用 / 尤俊华著. -- 北京 :  
中国水利水电出版社, 2016.9  
ISBN 978-7-5170-4652-3

I. ①新… II. ①尤… III. ①功能材料—制备②功能材料—应用 IV. ①TB34

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第204249号

责任编辑:杨庆川 陈 洁

封面设计:马静静

|      |                                                                                                                                                                |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 新型功能材料的制备及应用 XINXING GONGNENG CAILIAO DE ZHIBEI<br>JI YINGYONG                                                                                                 |
| 作 者  | 尤俊华 著                                                                                                                                                          |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)<br>网址:www.waterpub.com.cn<br>E-mail:mchannel@263.net(万水)<br>sales@waterpub.com.cn<br>电话:(010)68367658(营销中心)、82562819(万水) |
| 经 售  | 全国各地新华书店和相关出版物销售网点                                                                                                                                             |
| 排 版  | 北京鑫海胜蓝数码科技有限公司                                                                                                                                                 |
| 印 刷  | 三河市佳星印装有限公司                                                                                                                                                    |
| 规 格  | 170mm×240mm 16开本 15印张 194千字                                                                                                                                    |
| 版 次  | 2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷                                                                                                                                        |
| 印 数  | 0001—1500册                                                                                                                                                     |
| 定 价  | 45.00元                                                                                                                                                         |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

材料是人类文明进步的标志,人类经历了以石器、青铜器、铁器为代表的石器时代、青铜器时代、铁器时代,即将跨入以新型功能材料为代表的网络时代和信息时代。材料按其性能特征和用途可分为两大类:结构材料和功能材料。功能材料是指具有优良的物理(电、磁、光、热、声)、化学、生物功能及其相互转化的功能,被用于非结构目的的高技术材料。随着科学技术尤其是信息、能源和生物等现代高技术的快速发展,功能材料越来越显示出它的重要性,并逐渐成为材料学科中最活跃的前沿学科之一。近年来,功能材料迅速发展,已有几十大类,10 万多品种,且每年都有大量新品种问世。有关新材料特别是新功能材料的书籍也不断涌现,进一步丰富和拓宽了材料科学与工程学科的内容。

人们在研究结构材料取得重大进展的同时,特别注重对新型功能材料的研究,研究出了一些机敏材料与智能材料。功能材料是能源、计算机、通信、电子、激光等现代科学的基础,近十年来,新型功能材料已成为材料科学和工程领域中最为活跃的部分。当前,国际功能材料及其应用技术正面临新的突破,诸如超导材料、微电子材料、光子材料、信息材料、能源转换及储能材料、生态环境材料、生物医用材料及材料的分子设计和原子设计等正处于日新月异的发展之中,发展功能材料技术正在成为一些发达国家强化其经济与军事优势的重要手段。从网络技术的发展到新型生物技术的进步,处处都离不开新材料的进步,特别是新型功能材料的发展和进步。世界各国功能材料的研究极为活跃,充满了机遇和挑战,新技术、新专利层出不穷。功能材料不仅对高新技术的发展起着重要的推动和支撑作用,还对我国相关传统产业的

改造和升级,实现跨越式发展起着重要的促进作用。

本书以功能材料为主线,全面系统地介绍了新型功能材料的制备及应用,全书共分7章,主要内容有绪论、磁性材料制备工艺、非晶态材料制备工艺、纳米材料制备工艺、陶瓷材料制备工艺、功能复合材料制备工艺、功能高分子材料制备工艺。本书的撰写目的是向读者介绍功能材料的基本原理和制备方法,使读者能熟练处理功能材料制备和使用过程中遇到的各种问题,开拓思路,提高分析问题和解决问题的能力。

本书在撰写的过程中参考了大量书籍和文献,但由于作者能力有限,文中难免出现疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

2015 年 12 月

# 目 录

## 前言

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第 1 章 绪 论 .....        | 1   |
| 1.1 功能材料的概念 .....      | 1   |
| 1.2 功能材料的分类及特点 .....   | 4   |
| 1.3 功能材料的性能 .....      | 7   |
| 参考文献 .....             | 11  |
| 第 2 章 磁性材料制备工艺 .....   | 12  |
| 2.1 磁性材料概述 .....       | 12  |
| 2.2 磁性基础理论 .....       | 18  |
| 2.3 磁性材料的制备 .....      | 36  |
| 2.4 磁性材料的应用 .....      | 46  |
| 参考文献 .....             | 50  |
| 第 3 章 非晶态材料制备工艺 .....  | 51  |
| 3.1 非晶态材料概述 .....      | 51  |
| 3.2 非晶态固体形成理论 .....    | 54  |
| 3.3 非晶态材料的制备 .....     | 65  |
| 3.4 典型非晶态合金及其应用 .....  | 76  |
| 参考文献 .....             | 82  |
| 第 4 章 纳米材料制备工艺 .....   | 84  |
| 4.1 纳米材料概述 .....       | 84  |
| 4.2 纳米材料基本性质与特征 .....  | 89  |
| 4.3 纳米材料的制备 .....      | 92  |
| 4.4 纳米材料在不同领域的应用 ..... | 115 |
| 参考文献 .....             | 131 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第 5 章 陶瓷材料制备工艺 .....    | 132 |
| 5.1 功能陶瓷材料概述 .....      | 132 |
| 5.2 功能陶瓷材料的制备 .....     | 133 |
| 5.3 典型功能陶瓷材料及其应用 .....  | 143 |
| 参考文献 .....              | 172 |
| 第 6 章 功能复合材料制备工艺 .....  | 174 |
| 6.1 功能复合材料概述 .....      | 174 |
| 6.2 功能复合材料分类与特性 .....   | 178 |
| 6.3 功能复合材料的制备 .....     | 180 |
| 6.4 典型功能复合材料的应用 .....   | 195 |
| 参考文献 .....              | 200 |
| 第 7 章 功能高分子材料制备工艺 ..... | 201 |
| 7.1 功能高分子材料功能化方法 .....  | 201 |
| 7.2 功能高分子材料的制备 .....    | 203 |
| 7.3 典型功能高分子材料及其应用 ..... | 213 |
| 参考文献 .....              | 234 |

# 第 1 章 绪 论

功能材料是能源、计算机、通信、电子、激光等现代科学的基础,在社会发展中具有重大战略意义,正在渗透到现代社会生活的各个领域,成为材料科学领域中最具发展潜力的门类。

## 1.1 功能材料的概念

功能材料的研究所涉及的学科众多,范围广阔,除了与材料学相近的学科紧密相关外,涉及内容还包括有机化学、无机化学、光学、电学、结构化学、生物化学、电子学甚至医学等众多学科,是目前国内外异常活跃的一个研究领域。功能材料产品的产量小、产值高、制造工艺复杂。随着科学技术的进步,新型的材料结构不断被开发出来,图 1-1 所示是碳纳米管、富勒烯、石墨烯的结构和蒙脱土的有机插层改性示意图,这些材料一经出现,便在功能材料中得到广泛的应用,整个功能材料的研究领域和应用范围也随之获得了加速的发展。

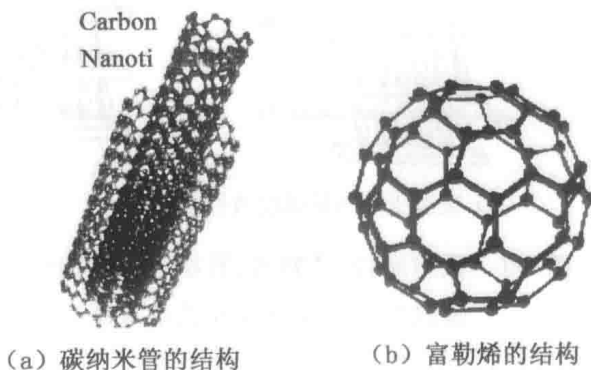
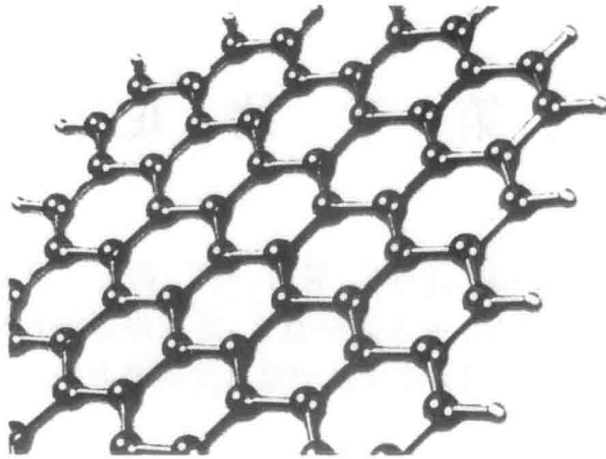
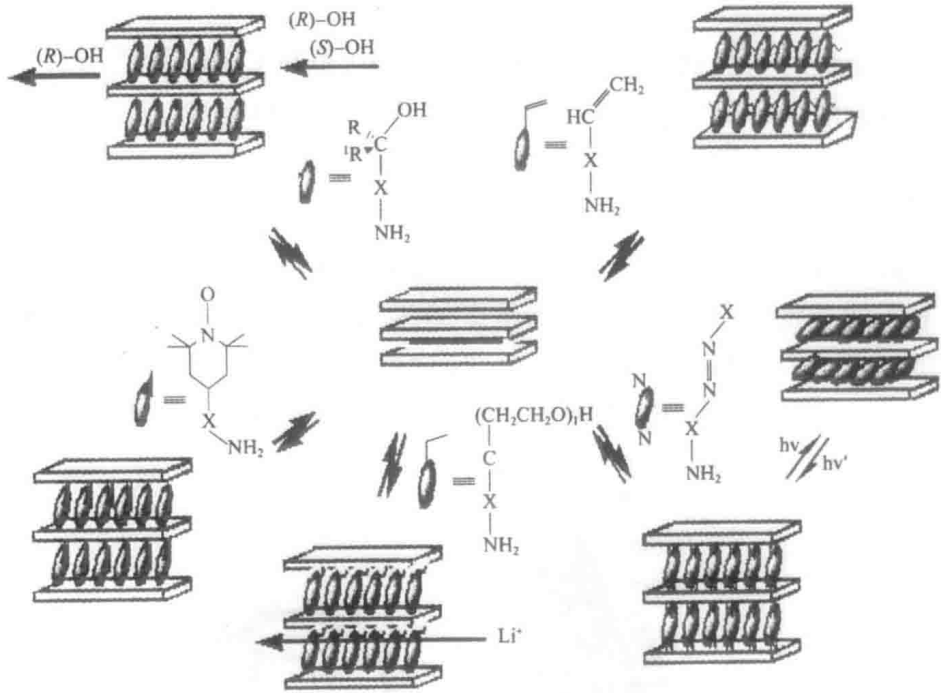


图 1-1 碳纳米管、富勒烯、石墨烯的结构和蒙脱土的有机插层改性示意图



(c) 石墨烯的结构



(d) 蒙脱土的有机插层改性示意图

图 1-1 碳纳米管、富勒烯、石墨烯的结构和  
蒙脱土的有机插层改性示意图(续)

功能材料涉及的学科纷繁复杂,随着功能材料研究的深入以及有关信息的丰富,我们可以掌握其内在的发展规律,摸清其自

身发展的进一步需要,在理论上将这一复杂的体系进行进一步的完善。本章将介绍功能材料的概念与分类,功能设计的原理和方法;介绍功能材料的性能与结构的一般关系,以及制备功能材料的总体策略和功能材料的研究方法等功能材料学科中的一般发展规律等。

功能材料的发展历史与结构材料一样悠久,随着人们在生产和生活方面对新型材料的需求,以及功能材料研究的深入发展,众多有着不同于传统材料的带有特殊物理化学性质和功能的新材料大量涌现,其性能和特征都超出了原有常规的无机材料、金属材料以及高分子材料的范畴,使人们有必要对这些新材料进行重新认识。而上述那些性质和功能很特殊的材料即属于功能材料的范畴。严格地讲,功能材料的定义并不准确。

功能材料是指那些具有优良的电学、磁学、光学、热学、声学、力学、化学、生物医学功能以及特殊的物理、化学、生物学效应,能完成功能相互转化,主要用来制造各种功能元器件而被广泛应用于各类高科技领域的高新技术材料的统称。它是在电、磁、声、光、热等方面具有特殊性质,或在其作用下表现出特殊功能的材料。

功能材料既遵循材料的一般特性和一般的变化规律,又具有其自身的特点,可认为是传统材料更高级的形式。功能材料独特的电学、光学以及其他物理化学性质构成功能材料学科研究的主要组成部分。功能材料的研究、开发与利用对现有材料进行更新换代和发展新型功能材料具有重要意义。功能材料研究的主要目标和内容是建立起功能材料的结构与功能之间的关系,以此为理论,指导开发功能更强或具有全新功能的功能材料。

特定的功能与材料的特定结构是相联系的,功能材料的性能与其化学组成、分子结构和宏观形态存在密切关系。例如,光敏高分子材料的光吸收和能量的转移性质也都与官能团的结构和聚合物骨架存在对应关系;高分子化学试剂的反应能力不仅与分子中的反应性官能团有关,而且与其相连接的高分子骨架相关;

高分子功能膜材料的性能不仅与材料微观组成和结构相关,而且与其宏观结构关系也很紧密。我们研究功能材料,就是要研究材料骨架、功能化基团以及分子组成和材料宏观结构形态及其与材料功能之间的关系,从而为充分利用现有功能材料和开发新型功能材料提供依据。这门学科始终将功能材料的特殊物理化学功能作为研究的中心任务,以开发具有特殊功能的新型功能材料为着眼点。

## 1.2 功能材料的分类及特点

### 1.2.1 功能材料的分类

功能材料种类繁多,目前主要是根据材料的物质性、功能性或应用性进行分类。

#### 1. 基于材料的物质性的分类

按材料的化学键、化学成分分类,功能材料有:①无机非金属功能材料;②金属功能材料;③有机功能材料;④复合功能材料。有时按照化学成分、晶体结构、显微组织的不同还可以进一步细分小类和品种。例如,无机非金属材料可以分为玻璃、陶瓷和其他品种。金属材料可以分为电性材料、磁性材料、超导材料、膨胀材料和弹性材料等。

#### 2. 基于材料的功能性的分类

按材料的物理性质、功能来分类。例如,按材料的主要使用性能大致可分为九大类:①电学功能材料;②磁学功能材料;③光学功能材料;④热学功能材料;⑤声学 and 振动相关功能材料;⑥力学功能材料;⑦化学功能材料及分离功能材料;⑧放射性相关功

能材料；⑨生物技术和生物医学功能材料。

目前,对新型功能材料的称呼比较混乱,有按功能特性分类的,有按具体用途不同分类的,也有按应用范围分类或按习惯称呼的。表 1-1 具体介绍了主要的功能材料的特性与应用示例。

表 1-1 功能材料的特性与应用示例

| 种类            | 功能特性    | 应用示例                                    |
|---------------|---------|-----------------------------------------|
| 高分子催化剂与高分子固定酶 | 催化作用    | 化工、食品加工、制药、生物工程                         |
| 高分子试剂絮凝剂      | 吸附作用    | 稀有金属提取、水处理、海水提铀                         |
| 储氢材料          | 吸附作用    | 化工、能源                                   |
| 高吸水树脂         | 吸附作用    | 化工、农业、纸制品                               |
| 人工器官材料        | 替代修补    | 人体脏器                                    |
| 骨科、齿科材料       | 替代修补    | 人体骨骼                                    |
| 药物高分子         | 药理作用    | 药物                                      |
| 降解性缝合材料       | 化学降解    | 非永久性外科材料                                |
| 医用黏合剂         | 物理与化学作用 | 外科和修补材料                                 |
| 液晶材料          | 偏光效应    | 显示、连接器                                  |
| 光盘的基板材料       | 光学原理    | 高密度记录和信息储存                              |
| 感光树脂光刻胶       | 光化学反应   | 大规模集成电路的精细加工、印刷                         |
| 荧光材料          | 光化学作用   | 情报处理,荧光染料                               |
| 光降解材料         | 光化学作用   | 减少化学污染                                  |
| 光能转换材料        | 光电、光化学  | 太阳能电池                                   |
| 分离膜与交换膜       | 传质作用    | 化工、制药、环保、冶金                             |
| 光电导高分子        | 光电效应    | 电子照相、光电池、传感器                            |
| 压电高分子         | 力电效应    | 开关材料、仪器仪表测量材料、机器人触感材料                   |
| 热电高分子         | 热电效应    | 显示、测量                                   |
| 声电高分子         | 声电效应    | 音响设备、仪器                                 |
| 磁性高分子         | 导磁作用    | 塑料磁石、磁性橡胶、仪器仪表的磁性元器件、中子吸收、微型电机、步进电机、传感器 |

续表

| 种类      | 功能特性   | 应用示例              |
|---------|--------|-------------------|
| 磁性记录材料  | 磁性转换   | 磁带、磁盘             |
| 电致变色材料  | 光电效应   | 显示、记录             |
| 光纤材料    | 光的曲线传播 | 通信、显示、医疗器械        |
| 导电高分子材料 | 导电性    | 电极电池、防静电材料、屏蔽材料   |
| 超导材料    | 导电性    | 核磁共振成像技术、反应堆超导发电机 |
| 高分子半导体  | 导电性    | 电子技术与电子器件         |

3. 基于材料应用性的分类

按功能材料应用的技术领域进行分类,主要可分为信息材料、电子材料、电工材料、电讯材料、计算机材料、传感材料、仪器仪表材料、能源材料、航空航天材料、生物医用材料等。根据应用领域的层次和效能还可以进一步细分。例如,信息材料可分为:信息检测和传感(获取)材料、信息传输材料、信息存储材料、信息运算和处理材料等。

1. 2. 2 功能材料的特点

从 1. 2. 1 的分类可以看出,功能材料的种类繁多,而每种功能材料都有其独特的特点,不宜一概而论。下面以最常见、应用最广的功能高分子材料为例,介绍一下功能材料的特点。

功能高分子材料具有的基本特点是具有与常规聚合物明显不同的物理化学性能,并具有某些特殊功能。对外力抵抗的宏观性能表现为强度、模量等;对热抵抗的宏观性能表现为耐热性;对光、电、磁及化学药品抵抗的宏观性能表现为耐光性、绝缘性、抗磁性及防腐性等。具有这些特有性能之一的高分子是特种高分子,如耐热高分子、高强度高分子、绝缘件高分子。“功能”是指从外部向材料输入信号时,材料内部发生质和量的变化或其中任何

一种变化而产生的输出特性。如材料受到外部光的输入,材料可以输出电能,称为光电功能,材料的压电、防震、热电、药物缓释、分离及吸附等均属于“功能”范畴。

功能高分子材料至少应具有下列功能之一。

①物理功能。主要指导电、热电、压电、焦电、电磁波透过吸收、热电子放射、超导、形状记忆、超塑性、低温韧性、磁化、透磁、电磁屏蔽、磁记录、光致变色、偏光性、光传导、光磁效应、光弹性、耐放射线、X射线透过、X射线吸收等。

②化学功能。主要指离子交换、催化、氧化还原、光聚合、光交联、光分解、降解、固体电解质、微生物分解等。

③介于化学和物理之间的功能。主要指吸附、膜分离、高吸水、表面活性等。

④生物或生理功能。主要指组织适应性、血液适应性、生物体内分解非抽出性、非吸附性等。

正是功能高分子材料这些独特的功能引起了人们的广泛重视,成为当前材料科学界研究的热点之一,通过精心的分子设计及材料设计的方法,通过合成加上制备、加工等手段所取得的,具有期望性能的材料能满足某些特殊需要,因而在材料科学领域占有越来越重要的地位。

## 1.3 功能材料的性能

### 1.3.1 半导体电性

根据能带理论,晶体中只有导带中的电子或价带顶部的空穴才能参与导电。由于半导体禁带宽度小于  $2\text{eV}$ , 在外界作用下(如热、光辐射),电子跃迁到导带,价带中留下空穴。这种导带中的电子导电和价带中的空穴导电同时存在的情况,称为本征电

导。这类半导体称为本征半导体。

杂质对半导体的导电性能影响很大,杂质半导体分为 n 型半导体和 p 型半导体,掺入施主杂质的半导体称为 n 型半导体,如图 1-2(a)所示,其中  $E_D$  为施主能级。受主杂质的半导体称为 p 型半导体,如图 1-2(b)所示, $E_A$  为受主能级。

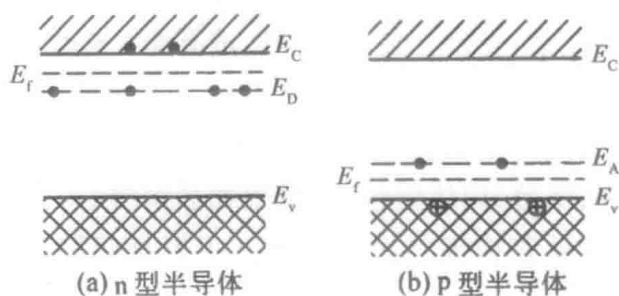


图 1-2 n 型与 p 型半导体能带结构

n 型、p 型半导体的电导率与施主、受主杂质浓度有关。低温时,杂质起主要作用;高温时,属于本征电导性。

### 1.3.2 超导性

1911 年荷兰物理学家昂尼斯发现汞的直流电阻在 4.2K 时突然消失,他认为汞进入以零电阻为特征的“超导态”。通常把电阻突然变为零的温度称为超导转变温度,或临界温度,用  $T_c$  表示。

所谓理想导体,其电导率  $\sigma = \infty$ ,由欧姆定律  $J = \sigma E$  可知,其内部电场强度  $E$  必处处为零。由麦克斯韦方程  $\nabla \times E = -\partial B / \partial t$  可知,当  $E = 0$ ,则  $\partial B / \partial t = 0$ ,表明超导体内  $B$  由初始条件确定,  $B = B_0$ 。但实验结果表明,不论实验条件如何,只要进入超导态(S 态),超导体就把全部磁通排出体外,与初始条件无关,如图 1-3 所示。

1950 年美国科学家麦克斯韦和雷诺兹分别独立发现汞的几种同位素临界温度各不相同, $T_c$  满足关系式:  $T_c \propto 1/M^\alpha$  ( $\alpha = 1/2$ )。

这种同位素相对原子质量越小,  $T_c$  越高的现象称为同位素效应。汞同位素的临界温度见表 1-2。

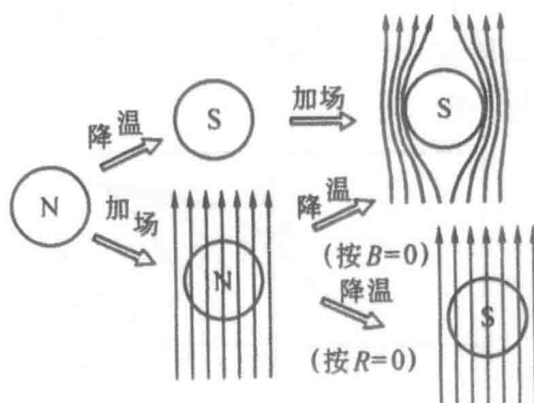


图 1-3 迈斯纳效应与理想导体情况比较

表 1-2 汞同位素的临界温度

| 相对原子质量 $M$ | 198   | 199.7 | 200.6 | 200.7 | 202.4 | 203.4 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $T_c/K$    | 4.177 | 4.161 | 4.156 | 4.150 | 4.143 | 4.126 |

### 1.3.3 磁性

磁性是功能材料的一个重要性质,有些金属材料在外磁场作用下产生很强的磁化强度,外磁场除去后仍能保持相当大的永久磁性,这种特性叫铁磁性。铁、钴、镍和某些稀土金属都具有铁磁性。铁磁性材料的磁化率可高达  $10^6$ 。铁磁性材料所能达到的最大磁化强度称为饱和磁化强度,用  $M_s$  表示。

抗磁性是一种很弱、非永久性的磁性,只有在外磁场存在时才能维持,磁矩方向与外磁场相反,磁化率大约为  $-10^{-5}$ 。如果磁矩的方向与外磁场方向相同,则为顺磁性,磁导率约为  $10^{-5} \sim 10^{-2}$ 。这两类材料都被看作是无磁性的。

亚铁磁性是某些陶瓷材料表现的永久磁性,其饱和磁化强度比铁磁性材料低。

任何铁磁体和亚铁磁体,在温度低于居里温度  $T_c$  时,都是由磁畴组成,磁畴是磁矩方向相同的小区域,相邻磁畴之间的界叫畴壁。磁畴壁是一个有一定厚度的过渡层,在过渡层中磁矩方向逐渐改变。铁磁体和亚铁磁体在外磁场作用下磁化时, $B$  随  $H$  的变化如图 1-4 所示。

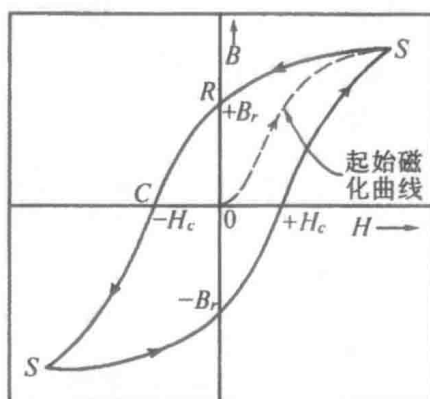


图 1-4 铁磁体和亚铁磁体的磁化曲线,退磁曲线和磁滞回线

### 1.3.4 光学性质

人们关于原子和分子的大部分认识是以光谱研究为依据,从电磁辐射和材料的相互作用产生的吸收光谱和发射光谱中,可以得到材料与其周围环境相互作用的信息。

激光光谱是指使物质产生发光时的激励光按频率分布的总体。通过激光光谱的测定可以确定有效吸收带的位置,即吸收光谱中哪些吸收带对产生某个荧光光谱带是有贡献的。

吸收光谱是指物质在光谱范围里的吸收系数按光频率分布的总体。一束光在通过物质之后有一部分能量被物质吸收,因此光强会减弱。发光物质的类型不同,吸收光谱也就随之不同。吸收光谱可直接表征发光中心与它的组成、结构的关系以及环境对它的影响,对发光材料的研究具有重要的作用。

功能材料的性质还包括力学性质和热学性质,不同的材料具有不同的性质,这里就不再一一叙述。