

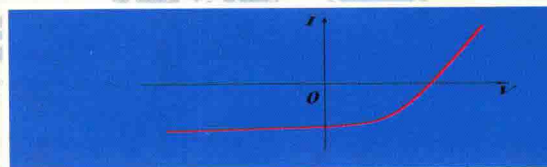
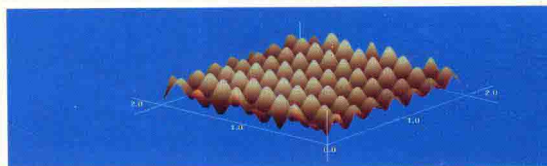
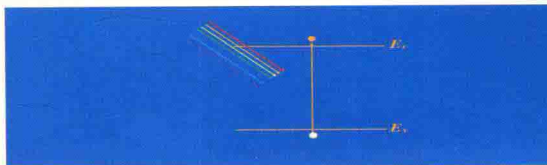


TEACHING MATERIALS
FOR COLLEGE STUDENTS
高等学校教材

材料物理实验

Materials Physics Experiment

郝兰众 韩治德 胡松青 编著





TEACHING MATERIALS
FOR COLLEGE STUDENTS
高等学校教材

材料物理实验

郝兰众 韩治德 胡松青 编著



图书在版编目(CIP)数据

材料物理实验/郝兰众,韩治德,胡松青编著. —
东营:中国石油大学出版社,2017.11
ISBN 978-7-5636-5773-5

I. ①材… II. ①郝… ②韩… ③胡… III. ①材料科学—物理学—实验—高等学校—教材 IV. ①TB303-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 253339 号

中国石油大学(华东)规划教材

书 名: 材料物理实验
作 者: 郝兰众 韩治德 胡松青

责任编辑: 岳为超(电话 0532—86981532)

封面设计: 青岛友一广告传媒有限公司

出 版 者: 中国石油大学出版社

(地址: 山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号 邮编: 266580)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子邮箱: shiyoujiaoyu@126.com

排 版 者: 青岛汇英栋梁文化传媒有限公司

印 刷 者: 沂南县汶凤印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981531, 86983437)

开 本: 185 mm×260 mm

印 张: 9.5

字 数: 223 千

版 印 次: 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5636-5773-5

定 价: 19.00 元

内 容 简 介

本书主要介绍材料物理实验基础知识、数据图表与实验报告、材料结构表征与光谱技术实验、材料物理性能测量实验和材料综合设计实验。每一实验项目简要介绍材料物理专业中有代表性的实验技术及其原理和方法,具体由实验目的、实验原理、实验内容与步骤、注意事项、思考题等组成。

本书既可作为高等院校材料物理专业的本科生、研究生教材,也可供相关实验技术人员及科研人员参考。

材料物理是一门介于材料学和物理学之间的交叉学科,主要研究材料学领域中一些新颖的物理现象和物理效应。随着材料学研究的不断深化,诸多新颖物理现象在新材料中不断涌现,推动着材料物理学迅猛发展。由于材料物理是以实验为主的学科,因此材料物理实验的重要性不言而喻。材料物理实验涉及内容广泛,其旨在利用材料学和物理学中的理论知识来阐明材料的制备、典型结构特征、重要性能参数和应用领域。随着材料学研究的快速发展,当前亟须一部系统介绍关于基础理论知识和基础实验技能的材料物理实验教材。为此,在多年实践教学的基础上,作者结合学校材料物理专业特色撰写了本书,对材料综合制备技术、光谱结构分析方法、材料物理性能测量方法等进行了系统介绍。它是连接课堂理论知识与实验操作技术的中间桥梁,将抽象的课堂理论知识融于具体实验项目中,使其直观形象化,使学生更易理解。

本书共分5章。第1章“材料物理实验基础知识”主要介绍材料结构与性能的基础知识、材料分析的基本实验方法以及材料物理实验中的危险与安全防护;第2章“数据图表与实验报告”主要介绍材料物理实验的结果处理、图表制作方法及实验报告的撰写要求;第3章“材料结构表征与光谱技术实验”主要介绍X射线技术、扫描探针技术和光谱分析技术等;第4章“材料物理性能测量实验”主要介绍材料的电、磁、光、热等基本物理性能的测量与分析方法;第5章“材料综合设计实验”主要介绍材料合成与性能研究领域的一些前沿技术和性能表征实验方法。

本书主要由中国石油大学(华东)材料科学与工程学院郝兰众负责撰写并统稿,韩治德负责撰写第3章实验3-2和第4章实验4-9,胡松青负责撰写第3章实验3-5和第4章实验4-10。本书在撰写过程中参考了其他院校的实验教材以及相应的著作、期刊文献等,并得到了中国石油大学(华东)“十三五”规划教材项目的资助,在此谨一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

作 者

2018年7月

第 1 章 材料物理实验基础知识	1
1.1 材料的结构与性能	1
1.2 材料物理实验方法	6
1.3 材料物理实验的危险与安全防护	8
第 2 章 数据图表与实验报告	11
2.1 数据图表作法	11
2.2 实验报告格式	17
第 3 章 材料结构表征与光谱技术实验	19
实验 3-1 石英晶体的 X 光定向	19
实验 3-2 薄膜厚度及折射率测量	32
实验 3-3 扫描隧道显微镜技术	43
实验 3-4 紫外-可见光吸收光谱测量	51
实验 3-5 金相显微镜实验	57
第 4 章 材料物理性能测量实验	62
实验 4-1 半导体基本电流特性测量	62
实验 4-2 光伏材料基本性能测量	65
实验 4-3 压电材料基本参数测量	68
实验 4-4 铁磁性材料磁滞回线测量	75
实验 4-5 超导体基本特性测量	79
实验 4-6 材料磁电阻特性测量	81
实验 4-7 材料热物性测量	85
实验 4-8 材料磁化率测量	89
实验 4-9 晶界势垒高度测量	96
实验 4-10 光纤材料实验	104

第 5 章 材料综合设计实验 112

 实验 5-1 陶瓷材料烧结技术 112

 实验 5-2 材料高温热处理技术 120

 实验 5-3 等离子体增强型化学气相沉积技术 122

 实验 5-4 磁控溅射镀膜技术 126

 实验 5-5 电阻蒸发及电子束蒸发镀膜实验 133

 实验 5-6 半导体霍尔效应测量 137

 实验 5-7 横向光伏性能测量 140

参考文献 144

第 1 章 材料物理实验基础知识

1.1 材料的结构与性能

材料物理学是一门研究各种材料的合成技术、材料结构的表征与特征、材料性能的测量及应用等相关理论的交叉科学,是利用材料学和物理学等多学科原理来阐明材料的制备、结构、性能与应用之间的关系,其核心是材料结构与材料性能,其中材料性能包括材料固有性质和使用性能。材料的固有性质是指材料对外加电、磁、光、热、机械载荷的反应,它主要取决于材料的组成与结构。与固有性质不同,材料的使用性能是指材料在使用状态下表现出的行为,它与材料设计、工程环境密切相关。材料的合成与制备过程既包括传统的冶炼、铸锭、制粉、压力加工、焊接、陶瓷烧结等,也包括新发展的真空溅射、气相沉积、蒸镀等新工艺、新方法,使人们实现了对各种新材料(如纳米薄膜材料、二维材料、新型超材料等)的合成与加工。

1.1.1 材料的分类

(1) 按化学组成(或基本组成)分类,材料可分为金属材料、无机非金属材料(陶瓷材料)、高分子材料(聚合物)、复合材料,即材料的“四大家族”。

(2) 按性能分类,材料可分为结构材料 and 功能材料。前者着重考虑材料的力学性能,如材料的硬度、强度及抗疲劳等;后者着重考虑材料的电、磁、光、热等性能。

(3) 按用途分类,材料可分为电子材料、电工材料、研磨材料、建筑材料、光学材料、感光材料、耐酸材料、包装材料等。

(4) 按结晶状态分类,材料可分为晶态材料(如单晶、多晶、微晶等)、非晶材料和准晶材料。

(5) 按尺寸分类,材料可分为块体材料、低维材料。块体材料一般是指宏观材料;低维材料是指在某一维度方向上尺寸很小的材料,如微纳米薄膜、微纳米线、微纳米粒子等。

(6) 按状态分类,材料可分为气态、液态、固态,以及等离子态。

(7) 按来源分类,材料可分为天然材料和人造材料。

1.1.2 材料的结构

在外界条件固定时,材料的性能取决于材料的内部构造。这种构造便是组成材料的原子类别,以及它们的空间排列方式。一般将前者称为材料的成分,将后者称为材料的组织结构,两者一般统称为材料的结构。材料的结构表明材料的组元及其排列和运动的方式。材料的组元包括原子、分子、离子,组元之间的结合类型包括金属键、离子键、共价键

和分子键,组元的运动方式包括电子自旋运动、原子热运动、分子伸缩和弯曲振动以及空穴扩散等。材料的结构包括原子结构、相结构、显微组织和结构缺陷。原子结构是第一层次,是最细微的层次,使材料表现出金属、陶瓷或者高分子性能,对材料的电学、磁学、热学、光学以及耐蚀性能会产生重大影响;相结构是第二层次,是指原子在空间的排列,也称晶体结构,包括单晶、多晶、非晶等,会影响材料的力学性能,如强度、塑性、韧性等;材料的显微组织是第三层次,是各相含量和形貌所构成的图像,与之相联系的就是各种结构缺陷(第四层次),如线缺陷、面缺陷、体缺陷、表面缺陷等,不同种类和数量的缺陷导致材料的质量和性能之间千差万别。

1.1.3 材料的性能

材料的性能是一种参量,用于表征材料在外界条件(如温度、压力、载荷、电磁场、化学介质等)下的行为特征。例如,材料的力学性能表征在外力作用下材料拉伸行为的屈服强度、抗拉强度、断裂强度等,而材料的磁学性能则表征在外磁场作用下材料磁学行为的矫顽力、剩余磁感、储存磁能等。材料的性能只有在特定外界条件下才能表现出来,外界条件的改变涉及体系能量的改变,能量控制结构的形成和过程的进行,导致性能的改变,因此材料的性能可以说是由结构决定的。图1-1清楚地表示出了材料结构与材料性能之间的相互关系。

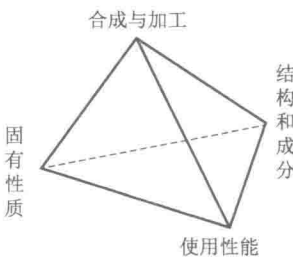


图 1-1 材料结构与性能关系

材料的性能包括力学性能、物理性能(热学、磁学、电导、介电、光学等性能)、工艺性能等,具体介绍如下。

1) 力学性能

材料的力学性能是指材料在受力时的行为特征。如果材料仅仅形状发生了改变,则称为变形;如果材料的体积(和形状)发生了改变,如球体受到各向同性的压力,体积缩小但仍为球体,则称为形变。通常情况下两者不加以区分,习惯上无机材料适用形变,金属材料适用变形。当温度和应力恢复原状时,材料单元体的形变消失,称为弹性形变;如果外力超过弹性极限,则外力移去后变形部分仅部分消失,残留部分称为塑性变形。描述材料变形行为的指标是应力(σ ,单位面积上的作用力)和应变(ϵ ,单位长度的变形)。描述材料力学性能的主要指标是强度、延性和韧性等。其中,强度是对使材料破坏的应力大小的度量;延性是对材料在破坏前永久应变大小的度量;韧性是对材料在破坏时所吸收的能量大小的度量。

材料宏观的形变一定是其内部结构发生了改变。材料产生弹性形变的本质是构成材料的质点在平缓位置产生了微小位移。物体宏观上的弹性形变在微观上是原子间距离产生可逆变化的结果。从微观上看,塑性形变是质点产生了永久性位移,在外力移去后质点不能恢复原位,其微观变化可以用晶格滑移与位错运动来阐述。

2) 物理性能

(1) 热学性能。

无机材料的热学性能包括比热容、热膨胀、热传导、热稳定性等,是材料的重要物理性

能之一。工程上许多特殊场合对材料的热学性能提出了一些特殊要求。例如,电真空材料要求具有一定的膨胀系数,精密天平、标准尺等使用的材料要求具有低的膨胀系数,而热敏元件则要求具有尽可能高的膨胀系数;燃气轮机叶片和晶体管散热器等使用的材料要求具有优良的导热性能,而工业炉衬、建筑材料等则要求具有优良的绝热性能。

材料具有的各种热学性能的物理本质与其晶格热振动有关。固体材料由晶体或非晶体组成,点阵中的质点(原子、离子)并不是静止不动的,而总是围绕其平衡位置作微小振动,称为晶格热振动。质点热振动的剧烈程度与温度有关。随着温度升高,振动加剧,甚至产生扩散(非均质材料),当温度升高至一定程度时,振动周期遭到破坏,导致材料熔化和气化,晶体材料表现出固定的熔点和气化点。

物体的体积或长度随温度的升高而增大的现象称为热膨胀。对于绝大多数晶体,体积都随温度升高而增大,并且晶体变得更加对称。固体材料热膨胀的本质可以归结为点阵结构中的质点间平均距离随温度升高而增大。

当固体材料一端的温度比另一端高时,热量会从热端自动地传向冷端,该现象称为热传导。固体中的热传导主要是由晶格振动的格波和自由电子的运动实现的。由于金属中有大量的自由电子,而且电子的质量很小,所以金属能迅速地实现热量的传递,一般具有较大的热导率。虽然晶格振动对金属热传导也有贡献,但贡献有限。在非金属晶体如一般离子晶体的晶格中,自由电子很少,因此,晶格振动是它们的主要热传导机构。晶格振动的格波可以分为声子和光子两类方式进行热传导。

(2) 磁学性能。

物质在不均匀磁场中受到磁力作用的性质称为磁性,是物质的基本物理属性。物质的磁性来源于原子,原子的磁性来源于核外电子和原子核。原子结合起来可产生宏观物质的磁性,因此任何物质均具有磁性,磁性强的—般称为磁性材料,习惯上所说的非磁性或者无磁性只是磁性相对较弱而已。应用广泛的磁性材料的性能受到晶体结构和显微结构的显著影响。

磁性材料内部存在着自发磁化的小区域,称为磁畴。磁畴的形成是铁磁体中各种能量共同作用的结果。实验表明,磁畴结构的形成正是为了保持自发磁化的稳定性,使铁磁体的能量达到最低值的结果。一个晶粒内可能有数个磁畴,在磁场的作用下磁畴的大小和方向都会发生变化。铁磁体在外磁场中的磁化过程主要包括磁畴畴壁的移动和磁畴内磁矩的转向等。磁性材料的物理效应包括磁致伸缩效应、磁各向异性、磁声效应、磁光效应、磁电效应、磁阻效应和磁致温差效应等。

(3) 电导性能。

超导体材料、导体材料、半导体材料和绝缘材料等都是以材料的电导性能为基础的。电流是电荷的定向运动,电荷的载体称为载流子。在金属、半导体、绝缘体中携带电荷的载流子是电子,而在离子化合物中,携带电荷的载流子则是离子。

材料导电的前提是存在能够自由移动的载流子,即可以自由移动的带有电荷的物质微粒。因此,导电的微观本质是载流子在电场作用下的定向迁移。与电导对应的是电阻,电阻的倒数为电导。材料电导和电阻的大小不仅与材料的性质有关,还与材料的长度及截面积有关。因此,评价材料的电导性能时通常用电阻率,而不用电阻。电阻率的倒数为

电导率,电导率的大小反映物质输送电流的能力。载流子的迁移率为载流子在单位电场中的迁移速度,材料的宏观电导率与微观载流子浓度、每种载流子的电荷量以及每种载流子的迁移率有关。

(4) 介电性能。

在电场作用下,物质带电质点因发生短距离位移而产生极化,以感应而非传导的方式呈现的电学性能称为介电性能,能建立极化的物质称为介电体或者电介质。电介质的特征是以正、负电荷重心不重合的电极化方式传递、存储或记录电的作用和影响,如电致伸缩、压电性、热释电性、铁电性等,都与晶体的内在结构、束缚电荷的运动等有密切的关系。描述电极化性质的重要参数之一是介电常数,介电常数的大小反映了材料的极化强度对外电场的响应,即介电常数越大,同样大小的电场所引发的极化强度就越大。在外电场作用下,在电介质内部感生偶极矩的现象称为电介质的极化。这种现象的本质是电介质中的微观荷电粒子在电场作用下其电荷分布发生变化而导致的一种宏观统计平均效应。

电介质在恒定电场作用下所损耗的能量与通过其内部的电流有关。外加电场通过电介质的全部电流包括由样品几何电容的充电所造成的电流、由各种电介质极化的建立所造成的电流和由电介质的电导(漏导)所造成的电流3种。第一种电流简称电容电流,不损耗能量;第二种电流引起的损耗称为极化损耗;第三种电流引起的损耗称为电导损耗。电介质损耗是由电介质的电导和松弛极化引起的。电导和极化过程中带电质点(弱束缚电子和弱联系离子,包括空穴和缺陷)移动时,将它在电场中所吸收的能量部分地传给周围“分子”,使电磁场能量转变为“分子”的热振动,能量消耗在使电介质发热效应上。

固体电介质的介电性能是指在一定的电场强度范围内材料表现出来的特性,当电场强度超过某一临界值时,电介质便由介电状态变为导电状态,从而丧失介电性能,这种现象称为电介质的击穿。相应的临界强度称为介电强度。换句话说,固体电介质的击穿就是在电场作用下伴随着热、化学、力等的作用而丧失其绝缘性能的现象。通常将击穿类型分为3种,即热击穿、电击穿和局部放电击穿。

(5) 光学性能。

材料与光的相互作用中表现出来的性能特征称为材料的光学性能,它是制备和应用光学材料的基础。材料的光学性能具有多样性和复杂性,主要包括对光的折射、反射、吸收、散射和透射特性,非线性光学效应等诸多方面。非线性光学是现代光学的一个新领域,是指在外部强光、电场和应变场的作用下物质的响应与场强呈现的非线性关系的科学,这些光学效应称为非线性光学效应。当单一频率的光入射到非吸收的透明介质中时,其频率不发生任何变化;当不同频率的光同时入射到介质中时,各光波之间不发生互相耦合,也不产生新的频率;当两束光相遇时,如果是相干光,则产生干涉,如果是非相干光,则只有光强叠加,即服从线性叠加原理。上述这些特性称为线性光学性能,即传统意义上的光学性能。

光作为一种能量流,在穿过介质时,会引起介质的价电子跃迁或影响原子振动而消耗能量。此外,介质中的价电子会吸收光子能量而激发,当尚未退激而发出光子时,在运动中与其他分子碰撞,电子的能量转变为分子的动能,即热能,从而构成光能的衰减。即使在对光不发生散射的透明介质(如玻璃、水溶液)中,光也会有能量的损失,即光的吸收。

金属对光的吸收很强烈,这是因为金属的价电子处于未满带,吸收光子后即成激发态,不用跃迁到导带即能发生碰撞而发热。在电磁波谱的可见光区,金属和半导体的吸收系数都很大,对可见光是不透明的。但包括玻璃、非均相高聚物等无机材料在内的大部分电介质材料在该波谱区内具有良好的透光性,即吸收系数小。这是因为电介质材料的价电子所处的能带处于填满状态。它们不能吸收光子而自由运动,而光子能量又不足以使价电子跃迁到导带,所以在一定的波长范围内吸收系数很小。陶瓷材料一般为多晶多相体系,内含杂质、气孔、晶界微裂纹等缺陷,因此光通过陶瓷材料时将受到层层阻碍,它们不可能具有单晶体或玻璃那样好的透过性,所以普通陶瓷材料看上去是不透明的。另外,电介质材料在红外区存在明显的吸收峰,这主要是由于离子的弹性振动与光子辐射发生谐振消耗能量所致的。

吸收可分为选择吸收和均匀吸收。同一物体对某一种波长光的吸收系数可以非常大,而对另一种波长光的吸收系数可以非常小,这种现象称为选择吸收。透明材料的选择吸收使其呈现出不同的颜色。如果在可见光范围介质对各种波长光的吸收程度相同,则称为均匀吸收。在此情况下,随着吸收程度的增加,介质颜色从灰变黑。

除在界面发生反射外,光进入介质后会被吸收、反射和散射。材料吸收系数、反射系数和散射系数的高低直接决定了材料的透光性。不透明性与材料对光波的反射性能和透射性能有关,光线在材料内部会发生多次散射(包括多次漫反射)和折射,致使透射光线变得十分弥散,但散射作用十分强烈,以至于几乎没有光线透过时,材料看起来不透明。

材料的颜色是材料吸收了外界特定波长的辐射光或放射光而产生的。从本质上讲,某种物质对光的选择吸收是吸收了连续光谱中特定波长的光子,以激发吸收物质本身原子的电子跃迁。材料的颜色是以一定光源发出的光透过材料后的光谱分布来表示的,即某一物质的颜色完全取决于透射在其上的光的颜色。

3) 工艺性能

材料的工艺性能主要包括铸造性、可锻性、可焊性和切削加工性能等。铸造性是指浇注铸件时,材料能充满比较复杂的铸型并获得优质铸件的能力;可锻性是指材料是否易于进行压力加工的性能,其好坏主要以材料的塑性和变形抗力来衡量;可焊性是指材料是否易于焊接在一起并能保证焊缝质量的性能,一般用焊接处出现各种缺陷的倾向来衡量;切削加工性是指材料是否易于切削加工的性能。

1.1.4 材料的基本效应

1) 材料的界面效应

材料的界面包括晶界、相界、亚晶界、孪晶界等。材料的力学性能、物理性能及化学、电化学性能都与材料的各种界面有着非常密切的关系。大部分材料的形变、断裂与失效过程源于各种界面,材料加工过程中的各种变化也基本上与界面有关。界面的研究在材料科学中占有重要的地位。

界面问题涉及界面两侧原子的对势、电子态和电子结构,界面原子键合的性质、结合能,界面两侧晶体结构和界面晶体结构的关系,界面切变模量,界面位错形核与反应,环境

对界面过程的影响等多方面的问题。界面热力学、界面偏析、界面扩散、界面化学反应等都是材料科学中的重要问题,特别是纳米材料的界面及其新的效应、复合材料的界面更是现代材料科学研究中的热点。

2) 材料的表面效应

晶体表面也是材料界面的一种,也可称为材料的固体表面和周围介质(气体、液体)的界面。材料表面的原子、分子或离子具有未饱和键,并且由于结构的不对称而造成晶格畸变,所以材料表面都具有很高的反应活性和表面能,而且具有强烈降低其表面能,力求处于更稳定能量状态的倾向。

3) 材料的复合效应

复合材料具有的复合效应主要包括线性效应和非线性效应。线性效应包括平均效应、平行效应、相补效应、相抵效应等;非线性效应包括相乘效应、诱导效应、共振效应、系统效应等。一般结构的复合材料具有线性效应,但具有很多功能的复合材料则可利用非线性效应创造出来,最显著的是相乘效应。

4) 材料的形状记忆效应

具有一定形状的固体材料在某一低温状态下经过塑性变形后,通过加热到这种材料固有的某一临界温度以上时,材料又可恢复到初始形状,这种现象称为形状记忆效应。具有形状记忆效应的材料称为形状记忆材料。

5) 材料的环境效应

由于在材料的加工、制备、使用及废弃过程中会对生态环境造成很大的破坏,使全球环境污染问题变得日益严峻,因此对材料的生产和使用而言,资源消耗是“源头”,环境污染是“末尾”。材料的生产、使用与资源及环境有着密切的关系。

6) 材料的纳米效应

纳米材料是超细微材料,是指由微小颗粒(绝大多数为晶体,其特征尺度至少在一个方向上为纳米量级)组成的固体,其典型的晶粒尺度为 $1\sim 100\text{ nm}$ 。随着物质的超细微化,纳米材料表面电子结构和晶体结构发生变化,产生了宏观物质所不具备的小尺寸效应、量子效应、表面效应和界面效应四大效应,这就是材料的纳米效应。这些效应使纳米材料具有一系列优异的力学、磁学、光学和化学等宏观特性。

1.2 材料物理实验方法

1.2.1 科学实验概述

作为一种认识自然的实践活动,科学实验既是检验科学假说的真理性标准,又是新的科学理论的源泉。科学实验和科学理论相互影响、共同发展。科学实验是材料类专业的一个不可或缺的教学环节,可以认为材料科学是一门实验科学。

材料物理实验是人类有目的地利用科学手段去改变材料的性质或状态,从而获取目标材料的重要方法。实验可以纯化对象,能保证在各种特殊条件下研究对象,规模小、周

期短、成本低,因而便于重复。实验不仅具有和生产实践相同的直接现实性,而且具有生产实践所不具有的某些优越性,因而具有特殊的认识论价值。现代材料科学技术的重大突破一般都不是直接来自生产实践,而是首先在科学实验中取得成果,然后再应用到生产实践中去。当然,生产活动是人类最基本的实践活动,是人类其他一切活动的基础,自然也是实验活动的基础。实验在材料科学研究中的作用主要体现在实践环节上。实验既可以证明科学假说的真理性(这是进行实验的前提和直接目的),又可以提供新的事实材料,从而成为新知识的来源。

实验和理论思维之间的关系是辩证的。首先,实验全过程是在理论思维的指导和密切配合下进行的。实验过程包括课题的选择、实验的设计和实施、实验数据的分析和综合等阶段。其中,只有实验的设计和实施阶段才有实践活动,其余都是密切配合实践活动的理论思维活动。即使实验的设计和实施也是和理论思维活动互相贯通的。其次,实验作为科学研究的一种方法,它和逻辑方法不悖、互相贯通。人们在实验中广泛运用归纳、选择、类比、分析、综合、抽象等逻辑思维方法,并把这些方法物化到实验过程中去。再次,实验是科学发展的重要基础,而科学理论又给实验以指导,实验和理论互相作用、共同发展。另外,材料科学理论教学中有些理论部分的学习是十分抽象难懂的,而实验教学却比较直观。

通过实验,可以增强学生对理论知识的理解,培养和提高学生分析问题和解决问题的能力,使感性认识转变为理性认识,既提高了学生的实践能力,又丰富了学生的理论知识。因此,实验教学是材料科学与工程专业的一个不可或缺的教学环节,必须引起足够的重视。

1.2.2 材料物理实验内容

材料科学包括工艺、结构和性能3个环节,材料物理实验也分别对应材料的合成与制备、材料的结构表征和材料的物理性能测量。

1) 材料的合成与制备

材料的合成与制备技术多种多样,根据目标材料类别不同,已经发展形成了快速凝固技术、喷射成型技术、机械合金化技术、半固态金属加工技术、非晶态合金制备技术、准晶材料制备技术、纳米材料制备技术、自蔓延高温合成技术等材料合成技术与方法。

2) 材料的结构表征

材料的结构表征技术主要包括材料的化学成分定量分析、金相显微分析、X射线衍射(XRD)分析、扫描电子显微镜(SEM)分析、透射电子显微镜(TEM)分析、材料化学成分的能量色散谱(EDS)分析、背散射电子衍射(EBSD)分析、扫描探针显微镜(SPM)分析、核磁共振波谱(NMR)分析、红外光谱(IR)分析、紫外-可见光吸收光谱(UV)分析、荧光光谱分析、激光拉曼光谱分析,以及粒度分布、薄膜厚度、比表面积、孔隙度测量与分析等。

3) 材料的物理性能测量

材料的物理性能测量包括材料的力学性能的测试和其他各种物理性能测试。前者主要包括硬度、屈服强度、疲劳极限、摩擦磨损、弹性模量、韧性、应力和应变以及结合强度等

参数的测量;后者则主要包括材料的热学、电学、磁学、光学等性能测量,如热分析、热膨胀系数、热电势、导热系数、热稳定性、热平衡常数、介电性、普朗克常数、霍尔效应、压电系数、伏安特性、磁滞回线、磁化曲线、居里点、磁阻效应、电阻率、电导率、吸收光谱、透过率、光电导、光伏特性等物理现象以及物理参量的测量。

1.2.3 科学实验设计方法

科学实验设计是指在进行具体的实验之前要对实验的相关影响因素和环节做出合理的统筹安排,并制定出行之有效的实验方案,以达到最好的实验效果,其主要讨论如何合理地安排实验以及对实验所得的数据进行分析。

科学实验设计需要根据实验内容和类型进行合理安排。根据所涉及实验内容的差异,实验可分为4种类型,即演示型实验、验证型实验、综合型实验和探索创新型实验。针对不同的实验类型,实验设计的内容也各不相同。

科学实验设计的3个基本要素是实验对象、实验因素和实验效应。接受实验处理的单元称为实验对象,它可以是材料或产品。在不同类型的实验设计中,需要考虑实验对象的特征、属性等参量的不同。实验因素是实验设计的一项重要内容。在整个实验设计过程中,影响最终实验指标的因素可能有很多,这就需要实验设计者根据专业知识进行全面的分析和合理的选择,以便选用合适的方法对这些因素进行妥善安排。在实验设计中,一般选择数量因素,而尽量少选择品质因素。数量因素就是对其水平能够用数值大小精确表示的因素,如温度、时间、压力、体积等;品质因素如药品的种类、产地,设备的型号等。实验效应是反映实验处理结果的标志,它通过具体的实验指标来体现。在进行实验设计时,要尽可能选取数量性、客观性的指标。实验设计要遵循随机性、重复性、对照性和均衡性四大原则。

1.3 材料物理实验的危险与安全防护

在材料类专业实验室,常常潜藏着诸如爆炸、着火、中毒、灼伤、触电等事故危险性,因此了解并掌握常见的危险及安全防护是非常重要的实验事项。了解并掌握如何防止安全事故的发生以及发生事故后的急救措施是每位进入实验室的工作者必须具备的基本素质。

1.3.1 实验室安全用电常识

在材料类专业实验室,大型仪器设备较多,高压电(380 V)是不可或缺的必备条件之一,因此用电安全非常重要,违章用电常常会造成人身伤亡、火灾或仪器设备的损坏等严重事故。

1) 防止触电

实验时,应确保连接好电路或者检查仪器各部分连接正确后才可接通电源;实验结束时,应先切断电源,再拆线路,有些仪器要按照正确的开、关机顺序进行操作。

所有电器的金属外壳应保护接地,电源裸露部分应有绝缘装置。线路中接点应牢固,

电路元件两端接头不要互相接触,以防短路。

电线、电器不要被水淋湿或浸在导电液体中,修理或安装电器时应先切断电源。

不能用试电笔去试高压电。使用高压电源时应有专门的防护措施。

不能用潮湿的手直接接触电器,如果不幸有人触电,应迅速切断电源,然后进行抢救。

2) 电器仪表的安全使用

在使用电器仪表前,应先了解电器仪表要求使用的电源是交流电还是直流电,是三相电还是单相电以及电压的大小(380 V, 220 V, 110 V 或 6 V),还需弄清电器功率是否符合要求及直流电源仪表的正、负极。

仪表量程应大于待测量值。若待测量值大小不明,应从最大量程开始测量。

实验前要检查线路连接是否正确,经指导教师检查同意后方可接通电源。

在电器仪表使用过程中,如果发现有不正常声响、局部温升或嗅到绝缘漆过热产生的焦味,应立即切断电源,并报告指导教师进行检查。

3) 实验室火灾预防

使用的保险丝要与实验室允许的用电量相符,电线的安全通电量应大于用电功率。

若室内有氢气、甲烷等易燃、易爆气体,应避免产生电火花。继电器工作和开、关电闸时,易产生电火花,要特别小心。电器接触点(如电插头、插排)接触不良时,应及时修理或更换。

如果遇到电线起火,应立即切断电源,用沙或二氧化碳、四氯化碳等灭火器灭火,禁止用水或泡沫灭火器等导电液体灭火。

1.3.2 使用化学药品安全防护

1) 防中毒

实验前应预先了解所用化学药品的毒性及其防护措施。对于剧毒药品,要设专人专管,领用时做好登记,使用时要特别小心。

操作有毒气体应在通风橱内进行。

有些化学药品(如苯、有机溶剂、汞等)能透过皮肤进入人体,应避免与皮肤接触。

禁止在实验室内喝水、吃东西。饮食用具不要带进实验室,以防毒物污染,离开实验室时及饭前要洗净双手。

苯、四氯化碳、乙醚、硝基苯等蒸气会引起中毒。虽然它们有特殊气味,但久嗅会使人嗅觉减弱,所以应在通风良好的情况下使用。

2) 防爆炸

如果实验过程中需要气氛保护或气体参与反应,则需特别注意实验室的防爆问题。当可燃气体与空气混合,两者比例达到爆炸极限时,受到热源(如电火花)的诱发就会引起爆炸。

使用可燃性气体时,要防止气体逸出,保持良好的室内通风。同时严禁使用明火,还要防止产生电火花及其他撞击火花。

有些化学药品如乙炔银、乙炔铜、高氯酸盐、过氧化物等受震和受热都易引起爆炸,使

用时要特别小心。

严禁将强氧化剂和强还原剂放在一起。

有些物质如磷、金属钠、钾、电石以及金属氢化物等在空气中易氧化自燃。还有一些如铁、锌、铝等金属粉末，比表面积大，也易在空气中氧化自燃。这些物质要隔绝空气保存，使用时要特别小心。

如果在实验室因为爆炸发生火灾，则需根据燃烧物质的情况选择合适的灭火剂灭火。金属钠、钾、镁、铝粉，电石，过氧化钠着火时，应用干沙灭火；比水轻的易燃液体如汽油、苯、丙酮等着火时，可用泡沫灭火器灭火；有灼烧的金属或熔融物的地方着火时，应用干沙或干粉灭火器灭火；电器设备或带电系统着火时，可用二氧化碳灭火器或四氯化碳灭火器灭火。

3) 防灼伤

强酸、强碱、强氧化剂、溴、磷、钠、钾、苯酚、冰醋酸等都会腐蚀皮肤，特别要防止溅入眼内。液氧、液氮等低温物质也会严重灼伤皮肤，使用时要小心，一旦发生灼伤应及时治疗。

1.3.3 实验室常见伤害处理

1) 强酸

浓度高的强酸洒在实验台上时，应先用碳酸钠或碳酸氢钠中和，再用水冲洗干净；沾在皮肤上时，应先用抹布擦去，然后用3%~5%碳酸氢钠溶液清洗；溅入眼内时，应立即用水清洗，然后用5%碳酸氢钠溶液或2%醋酸溶液淋洗，再送医处理。

2) 强碱

浓度高的强碱洒在实验台上时，应先用稀醋酸中和，再用水冲洗干净；沾在皮肤上时，应先用大量水清洗，再涂上硼酸溶液；溅入眼内时，应先用大量水洗净后再用硼酸溶液淋洗。

无论是酸还是碱溅入眼内时，切不要用手揉。

3) 烫伤或灼伤

烫伤后切勿用水冲洗，一般烫伤可在伤口上涂抹烫伤膏或用浓高锰酸钾溶液擦至皮肤变为棕色（也可用95%酒精轻涂伤处，不要弄破水疱），再涂上凡士林或烫伤膏。

被磷灼伤后可用硝酸银溶液或硫酸铜溶液、高锰酸钾溶液洗涤伤处，然后进行包扎。

被沥青、煤焦油等有机物烫伤后，可用浸透二甲苯的棉花擦洗，再用羊脂涂敷。