



教育部高等学校
材料科学与工程教学指导委员会规划教材

● 丛书主编 黄伯云

材料物理与化学 实验教程

主 编	潘春旭	汪大海
副主编	方鹏飞	
主 审	汪明朴	

An Experimental Course of Materials Physics and Chemistry



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



教育部高等学校
材料科学与工程教学指导委员会规划教材

● 丛书主编 黄伯云

材料物理与化学 实验教程



主 编	潘春旭	汪大海
副主编	方鹏飞	
主 审	汪明朴	

An Experimental Course of Materials Physics and Chemistry



中南大学出版社

www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

材料物理与化学实验教程/潘春旭主编. —长沙:中南大学出版社,2008.9

ISBN 978-7-81105-710-2

I. 材... II. 潘... III. ①工程材料-物理性质试验-教材
②工程材料-化学性质-性能试验-教材 IV. TB302

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 109748 号

材料物理与化学实验教程

主编 潘春旭

☐责任编辑 周兴武

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 长沙湘采印务有限公司

☐开 本 787×960 1/16 ☐印张 21.5 ☐字数 461 千字

☐版 次 2008 年 9 月第 1 版 ☐2008 年 9 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-81105-710-2

☐定 价 42.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内 容 简 介



本教程为教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会规划教材，根据教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会本课程“教学基本要求”编写。

本实验教程以材料物理与化学专业主干课程：材料科学基础、固体物理、材料物理学、无机化学、材料化学、材料性能学、新型功能材料、材料近代分析测试方法、材料制备技术等为基础，使学生在学完这些课程后能在实验动手能力方面得到进一步的培养与训练。教程内容以材料的物理方法与化学方法制备、物理与化学性能测试、微结构表征等为主，以机械性能测试和工艺实验为辅，收集整理了目前比较成熟的有关材料制备、表征与性能测试实验，并设计了若干综合性实验。每个实验主要包含实验目的、实验原理、实验设备和材料、实验内容与步骤、实验报告、问题与讨论，以及参考文献等内容，旨在为学生和指导教师提供尽可能完备与系统的实验指导。另外，本教程还列举了与实验内容相关的大量附录资料和数据。

本教程可作为高等院校材料物理与材料化学专业，以及物理、化学、机械和其他材料类专业本科生的实验教学用书，各学校可以根据自身实验条件和学科特点有选择性地开设实验。此外，本教程也可供研究生在进行科学研究中作为实验手册使用，对于有关教师和工程技术人员也有参考价值。

教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会规划教材

编 审 委 员 会

主 任

黄伯云(教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会主任委员、中国工程院院士、中南大学教授、博士生导师)

副主任

姜茂发(分指委*主任委员、东北大学教授、博士生导师)

吕 庆(分指委副主任委员、河北理工大学教授、博士生导师)

张新明(分指委副主任委员、中南大学教授、博士生导师)

陈延峰(材物与材化分指委**副主任委员、南京大学教授、博士生导师)

李越生(材物与材化分指委副主任委员、复旦大学教授、博士生导师)

汪明朴(教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会秘书长、中南大学教授、博士生导师)

委 员

(以姓氏笔画为序)

于旭光(分指委委员、石家庄铁道学院教授)

韦 春(桂林工学院教授、博士生导师)

王 敏(分指委委员、上海交通大学教授、博士生导师)

介万奇(分指委委员、西北工业大学教授、博士生导师)

水中和(武汉理工大学教授、博士生导师)

孙 军(分指委委员、西安交通大学教授、博士生导师)

刘 庆(重庆大学教授、博士生导师)

刘心宇(分指委委员、桂林电子工业学院教授、博士生导师)

刘 颖(分指委委员、北京理工大学教授、博士生导师)

朱 敏(分指委委员、华南理工大学教授、博士生导师)

注：* 分指委：全称教育部高等学校金属材料工程与冶金工程专业教学指导分委员会；

** 材物与材化分指委：全称教育部高等学校材料物理与材料化学专业教学指导分委员会。

曲选辉(北京科技大学教授、博士生导师)
任慧平(教育部高职高专材料类教学指导委员会主任委员、内蒙古科技大学教授)
关绍康(分指委委员、郑州大学教授、博士生导师)
阮建明(中南大学教授、博士生导师)
吴玉程(分指委委员、合肥工业大学教授、博士生导师)
吴 化(分指委委员、长春工业大学教授)
李 强(福州大学教授、博士生导师)
李子全(分指委委员、南京航空航天大学教授、博士生导师)
李惠琪(分指委委员、山东科技大学教授、博士生导师)
余志明(中南大学教授、博士生导师)
余志伟(分指委委员、东华理工学院教授)
张 平(分指委委员、装甲兵工程学院教授、博士生导师)
张 涛(分指委委员、北京航空航天大学教授、博士生导师)
张文征(分指委委员、清华大学教授、博士生导师)
张建新(河北工业大学教授)
张建勋(西安交通大学教授、博士生导师)
沈峰满(分指委秘书长、东北大学教授、博士生导师)
杨贤金(分指委委员、天津大学教授、博士生导师)
陈文哲(分指委委员、福建工程学院教授、博士生导师)
陈翌庆(材物与材化分指委委员、合肥工业大学教授、博士生导师)
赵昆渝(昆明理工大学教授、博士生导师)
赵新兵(分指委委员、浙江大学教授、博士生导师)
周小平(湖北工业大学教授)
姜洪义(武汉理工大学教授、博士生导师)
柳瑞清(江西理工大学教授)
聂祚仁(北京工业大学教授、博士生导师)
郭兴蓬(材物与材化分指委委员、华中科技大学教授、博士生导师)
黄 晋(分指委委员、湖北工业大学教授)
阎殿然(分指委委员、河北工业大学教授、博士生导师)
蒋 青(分指委委员、吉林大学教授、博士生导师)
蒋建清(分指委委员、东南大学教授、博士生导师)
潘春旭(材物与材化分指委委员、武汉大学教授、博士生导师)
戴光泽(分指委委员、西南交通大学教授、博士生导师)

总序



材料是国民经济、社会进步和国家安全的物质基础与先导，材料技术已成为现代工业、国防和高技术发展的共性基础技术，是当前最重要、发展最快的科学技术领域之一。发展材料技术将促进包括新材料产业在内的我国高新技术产业的形成和发展，同时又将带动传统产业和支柱产业的改造和产品的升级换代。“十五”期间，我国材料领域在光电子材料、特种功能材料和高性能结构材料等方面取得了较大的突破，在一些重点方向迈入了国际先进行列。依据国家“十一五”规划，材料领域将立足国家重大需求，自主创新、提高核心竞争力、增强材料领域持续创新能力将成为战略重心。纳米材料与器件、信息功能材料与器件、新能源转换与储能材料、生物医用与仿生材料、环境友好材料、重大工程及装备用关键材料、基础材料高性能化与绿色制备技术、材料设计与先进制备技术将成为材料领域研究与发展的主导方向。不难看出，这些主导方向体现了材料学科一个重要发展趋势，即材料学科正在由单纯的材料科学与工程向与众多高新科学技术领域交叉融合的方向发展。材料领域科学技术的快速进步，对担负材料科学与工程高等教育和科学研究双重任务的高等学校提出了严峻的挑战，为迎接这一挑战，高等学校不但要担负起材料科学与工程前沿领域的科学研究、知识创新任务，而且要担负起培养能适应材料科学与工程领域高速发展需求的、具有新知识结构的创新型高素质人才的重任。

为适应材料领域高等教育的新形势，2006—2010 年教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会积极组织材料类高等学校教材的建设规划工作，成立了规划教材编审委员会，编审委员会由相关学科的分教学指导委员会主任委员、委员以及全国 30 余所影响力和代表性的高校材料学院院长组成。编审委员会分别于 2006 年 10 月和 2007 年 5 月在湖南张家界和中南大学召开了教材建设研讨会和教材提纲审定会。经教学指导委员会和编审委员会推荐和遴选，逾百名来自全国几十所高校的具有丰富教学与科研经验的专家、学者参加了这套教材的编

写工作。历经几年的努力,这套教材终于与读者见面了,它凝结了全体编写者与组织者的心血,充分体现了广大编写者对教育部“质量工程”精神的深刻体会,对当代材料领域知识结构的牢固掌握和对高等教育规律的熟练掌握,是我国材料领域高等教育工作者集体智慧的结晶。

这套教材基本涵盖了金属材料工程专业的主要课程,同时还包含了材料物理专业和材料化学专业部分专业基础课程,以及金属、无机非金属和高分子三大类材料学科的实验课程。整体看来,这套教材具有如下特色:①根据教育部高等学校教学指导委员会相关课程的“教学大纲”及“基本要求”编写;②统一规划,结构严谨,整套教材具有完整性、系统性,基础课与专业课之间的内容有机衔接;③注重基础,强调实践,体现了科学性、实用性;④编委会及作者由材料领域的院士、知名教授及专家组成,确保了教材的高质量及权威性;⑤注重创新,反映了材料科学领域的新知识、新技术、新工艺、新方法;⑥深入浅出,说理透彻,便于老师教学及学生自学。

教材的生命力在于质量,而提高质量是永恒的主题。希望教材的编审委员会及出版社能做到与时俱进,根据高等教育改革和发展的形势及材料专业技术发展的趋势,不断对教材进行修订、改进、完善,精益求精,使之更好地适应高等教育人才培养的需要,也希望他们能够一如既往地依靠业内专家,与科研、教学、产业第一线人员紧密结合,加强合作,不断开拓,出版更多的精品教材,为高等教育提供优质的教学资源和服务。

衷心希望这套教材能在我国材料高等教育中充分发挥它的作用,也期待着在这套教材的哺育下,新一代材料学子能茁壮成长,脱颖而出。

董伯云

2008年9月

前 言

信息、能源和材料是现代社会发展的三大支柱，而信息技术和新能源产业的发展都是以各种新材料作为支撑和基础的。材料科学与技术的发展水平已经成为衡量一个国家国防力量、经济发展水平和综合实力的重要指标之一。材料科学与工程学科的核心是研究材料科学的四要素之间的关系，即材料合成和过程——成分结构——性能——服役应用等之间的关系，除了材料专业研究者在材料科学规律、制备工艺技术、计算模拟和实验技术四大方面对材料科学的四个要素进行全面的研究以外，其他学科如：物理、化学、机械、生物、电子等学科，近年来也不断向材料科学延伸与渗透，通过不断的交叉进一步推动了材料科学的发展，建立了如电子半导体材料、纳米材料和器件、生物材料和先进工程材料等新的交叉学科。这种不同学科的交叉已经成为新材料的发现、发展和创新的重要源泉。

材料学科的许多开拓性的发展和原始性创新都与实验技术及仪器装备的发展紧密相关。在高校中加强对学生的实验技能与创新能力，以及综合研究能力的培养已经越来越受到重视，许多新的实验内容和实验教学理念被不断提出。鉴于目前在综合性大学里，材料专业使用的实验指导教材大部分是以材料工程为基本内容，而没有一本适合材料物理与化学专业的实验指导教材，根据教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会规划教材建设精神，我们在广泛征求各参编院校多年从事材料专业实验教学教师的意见和总结多年实验教学实践经验的基础上，结合综合性大学材料物理与化学专业的特点，编写了本实验教程。

本实验教程是材料物理与化学专业本科生和研究生必修的一门专业实验课程。通过本教程的学习可使学生加深对材料物理与化学的基本思维方法、分析手段和实验技能的理解，提高分析问题和解决问题的能力；培养创新精神及严肃认真和实事求是的科学作风，掌握自我学习方法，为今后的学习和工作打下良好的基础。

本实验教程共分五章 75 个实验。第一章为“材料的物理与化学制备”部分，主要收集了目前比较成熟的利用物理方法或化学方法制备新型功能材料技术，包括纳米材料、薄膜材料、功能陶瓷材料和高分子复合材料制备等实验。第二章为“材料的物理与化学性能”部分，主要是材料热、声、光、电、介电、磁等物理性能，以及光谱、电化学、Zeta 电位、粒度、比表

面积等化学性能的测试实验。除了保留部分传统实验以外,还补充了如场发射、光催化、薄膜电性、纳米材料的光学性质、声子晶体及其反射与透射系数测量等新的实验内容。第三章为“材料的机械性能”部分,收集了一些传统的重要的力学和腐蚀等实验内容。第四章为“材料的成分、组织与结构表征”部分,除了传统的金相、X射线和电镜分析以外,补充了一些新的实验技术和方法,如背散射电子衍射(EBSD)分析、扫描探针显微技术(SPM)分析和纳米厚度测量等内容。第五章为“综合性实验”,它是在前四章的基础上,根据不同材料的特点,让学生选择某一材料体系,然后从材料制备→性能测试→微结构表征等环节进行综合实验能力训练。每组实验按照36学时进行分配,一般需要一个学期完成。学生可以根据兴趣选择一组进行实验,教学单位也可以根据自身条件,进行适当的组合和学时调整。另外,在本教程的最后部分还列举了与实验内容相关的大量附录资料和数据,尽量为学生提供详尽的实验内容和信息。

本实验教程遵循“厚基础、宽专业、多方向、强能力”的教育思想和教育理念,内容丰富,编排新颖。既保留了材料专业传统的实验内容,又增加了一些有特色、创新性和适用性的实验,特别是增加了一些反映现代材料发展的新实验,如纳米材料的制备、新型功能材料的性能测试,以及新的材料表征技术等。各学校可以根据自身办学特色和实验条件,有选择性的进行实验教学。

本实验教程的主要特色是:

1. 注重物理与化学基本概念的描述,根据该专业学生以物理和化学为基础的特点,结合材料科学技术发展的最新动态,以加强基础、拓宽专业知识结构为基本原则。

2. 反映了现代材料科学与技术发展中的新概念、新知识、新理论、新技术,充分体现出了实验技术的现代性。

3. 除了结合本学科的特点以外,还兼顾材料工程类学科的实验内容。共性与个性相结合,体现了多学科、知识多元化的交叉与渗透。

4. 注重实验教学内容深度与广度适中,以够用和实用为原则,坚持理论与实际相结合。

5. 吸收了国内外同类实验教材的精华,尽量做到内容丰富、概念清晰、深入浅出、简明扼要、重点突出。

本书由武汉大学潘春旭教授任主编,武汉大学方鹏飞副教授和汪大海高级工程师任副主编。参加编写的有武汉大学潘春旭(实验4, 5~10, 12~20, 21~26, 28, 31, 34, 36, 40, 43, 47, 55~60, 70~75)、方鹏飞(实验15, 18, 19, 22, 23, 25, 30, 39, 48, 54, 61, 62, 64, 66, 68, 70~75)、汪大海(实验1~4, 11, 21, 40, 49~53, 70~75)、陈万平(实验9, 29)、吴奕初(实验69)、魏建红(实验17)、张国栋(实验6, 7)、徐晟(实验60, 67)、傅强(实验56)、柯满竹(实验

8, 32)、张翔(实验 37, 38)、黄亚敏(实验 5, 28, 58, 59)、廖灵敏(实验 20, 34~36)、张峻(实验 12)、余雯(实验 63, 65)、廖蕾(实验 11, 31)、高远鹏(实验 15);清华大学齐建全(实验 16);华东师范大学余家会(实验 63, 65);北京科技大学张国庆(实验 13, 33);湖北工业大学王立世(实验 14, 41~47);武汉理工大学刘日利(实验 13, 26, 27);武汉工程大学陈吉吉(实验 19, 22, 23);三峡大学黄祥平(实验 39);湖南科技大学黄宗玉(实验 24)。附录由博士生祁祥同学收集和整理。全文由潘春旭教授统筹和修改。中南大学汪明朴教授对全书进行审定。

本书在编写过程中,参考了武汉大学物理科学与技术学院所使用的实验指导书、其他兄弟院校的实验教材以及相关的专著、手册、刊物论文、学位论文和网络资源等,并受到 2007 年湖北省高等学校省级教学研究项目“综合性大学材料专业复合型人才的培养改革与实践”(编号:20070021)的资助,谨此表示感谢。

由于编者水平有限,实践经验不足,书中难免有不妥之处,恳请大家批评指正。

编 者
2008 年 9 月于武汉大学

目 录

第一章 材料的物理与化学制备	(1)
实验一 电子束蒸发薄膜的制备	(1)
实验二 磁控溅射薄膜的制备	(5)
实验三 激光脉冲沉积(PLD)薄膜的制备	(10)
实验四 放电等离子体烧结(SPS)样品制备	(14)
实验五 材料的自蔓延高温合成	(19)
实验六 材料的激光表面相变硬化处理	(23)
实验七 非晶薄带材料的制备	(27)
实验八 声子晶体的制备	(31)
实验九 功能陶瓷材料的制备	(34)
实验十 巨磁电阻材料(体材、薄膜)的制备	(37)
实验十一 氧化锌(ZnO)纳米线的制备	(42)
实验十二 碳纳米管的制备	(46)
实验十三 电沉积纳米晶薄膜的制备	(50)
实验十四 阳极氧化物薄膜的制备	(55)
实验十五 水热法调控制备不同形貌的纳米材料	(58)
实验十六 钛酸钡纳米粉体的水热合成法制备	(61)
实验十七 溶胶-凝胶法纳米材料(薄膜、粉末和复合粒子)的制备	(64)
实验十八 原位聚合法制备碳纳米管/聚合物复合材料	(68)
实验十九 熔融法制备聚合物纳米复合材料	(71)
第二章 材料的物理与化学性能	(74)
实验二十 材料弹性模量的测量	(74)
实验二十一 材料的综合热分析	(81)
实验二十二 材料动态热力学分析	(89)
实验二十三 材料线膨胀系数的测量	(92)
实验二十四 材料热电势的测量	(95)
实验二十五 表面接触角的测量	(99)

实验二十六	材料介电、压电性能的测量	(102)
实验二十七	材料变温电导率的测量	(107)
实验二十八	陶瓷材料热稳定性的测量	(111)
实验二十九	陶瓷电容器的电化学失效实验	(114)
实验三十	循环伏安特性的测量	(118)
实验三十一	纳米线阵列的场发射性能测量	(121)
实验三十二	声子晶体透射系数与反射系数的测量	(126)
实验三十三	材料磁电阻性质的测量	(129)
实验三十四	金属薄膜电阻率的测量	(133)
实验三十五	半导体薄膜霍尔效应的测定	(137)
实验三十六	超导薄膜临界转变温度 T_c 的测量	(142)
实验三十七	纳米颗粒复合材料光吸收谱的测量	(147)
实验三十八	半导体纳米材料非线性光学性质的测量	(149)
实验三十九	纳米二氧化钛光催化性能的测量	(151)

第三章 材料的力学性能 (154)

实验四十	材料的硬度实验	(154)
实验四十一	材料的静拉伸实验	(159)
实验四十二	材料断裂韧性 K_{Ic} 的测量	(163)
实验四十三	材料的冲击实验	(167)
实验四十四	材料的疲劳实验	(171)
实验四十五	材料的磨损实验	(175)
实验四十六	材料腐蚀速度的测量	(178)
实验四十七	薄膜-基体界面结合强度的测量	(181)

第四章 材料的成分、组织与结构表征 (185)

实验四十八	材料化学成分定量分析	(185)
实验四十九	材料的热处理	(189)
实验五十	材料的金相样品制备	(193)
实验五十一	材料的金相显微分析	(199)
实验五十二	X 射线衍射仪(XRD)与物相分析	(205)
实验五十三	X 射线衍射仪晶体点阵常数的精确测定	(213)
实验五十四	X 射线光电子能谱(XPS)分析	(219)
实验五十五	电镜样品的制备	(223)

实验五十六	扫描电子显微镜(SEM)分析	(231)
实验五十七	透射电子显微镜(TEM)分析	(237)
实验五十八	材料化学成分的能谱(EDS)分析	(244)
实验五十九	材料结构的背散射电子衍射(EBSD)分析	(248)
实验六十	扫描探针显微镜(SPM)分析	(254)
实验六十一	核磁共振波谱(NMR)分析	(260)
实验六十二	红外光谱(IR)分析	(264)
实验六十三	荧光光谱分析	(268)
实验六十四	激光拉曼光谱分析	(271)
实验六十五	小角激光光散射(SALS)分析	(275)
实验六十六	激光粒度分析与 Zeta 电位测量	(279)
实验六十七	轮廓仪法薄膜厚度的测量	(282)
实验六十八	BET 法测定固体材料的比表面积	(285)
实验六十九	正电子在材料中湮没的寿命测量及分析	(288)
第五章	综合性实验	(296)
实验七十	金属材料的制备、表征和性能测试综合实验	(296)
实验七十一	纳米材料的制备、表征和性能测试综合实验	(298)
实验七十二	功能陶瓷材料的制备、表征和性能测试综合实验	(299)
实验七十三	高分子复合材料的制备、表征和性能测试综合实验	(300)
实验七十四	薄膜材料的制备、表征和性能测试综合实验	(301)
实验七十五	无机粉体材料的化学制备、表征和性能研究综合实验	(302)
附 录		(303)
附录一	常用物理基本常数表	(303)
附录二	国际单位制(SI)基本单位	(304)
附录三	磁性的单位(高斯制和国际单位制)	(305)
附录四	20 ℃ 时常用的固体和液体密度	(306)
附录五	常见固体和液体的比热容	(307)
附录六	几种常用热电偶的赛贝克系数数值	(308)
附录七	常用材料的弹性模量及泊松比	(309)
附录八	常用范围的钢材抗拉强度与维氏硬度、布氏硬度、洛氏硬度的对照表	(310)
附录九	某些物质的特征温度(θ)	(313)

附录十	各种点阵的结构因子 (F_{HKL}^2)	(313)
附录十一	多晶体衍射的多重性因子 (P_{HKL})	(314)
附录十二	立方系晶面间夹角	(314)
附录十三	常见晶体标准电子衍射花样	(317)
附录十四	红外光谱常用表	(323)
附录十五	核磁共振常用表	(327)

第一章 材料的物理与化学制备

实验一 电子束蒸发薄膜的制备

一、实验目的

1. 了解电子束加热基本原理和加热方式。
2. 掌握高熔点薄膜和高纯薄膜材料的制备方法。

二、实验原理

随着薄膜技术的广泛应用,对薄膜的种类和质量提出了更多更严的要求。而仅采用电阻加热蒸发源已不能满足制备某些难熔金属和氧化物材料,以及高纯度薄膜材料的需要,于是发展了将电子束作为蒸发源的方法。电子束蒸发(Electron-beam Evaporation, EBE)薄膜制备技术是将被加热的物质放置在水冷坩埚中,直接利用电子束加热,使蒸发物质汽化蒸发后,凝结在基板表面形成薄膜。

(一) 电子束蒸发原理

电子束蒸发的原理是在真空环境中,电子在电场作用下获得动能,轰击到阳极蒸发材料上,使其加热汽化,从而实现蒸发镀膜。若不考虑发射电子的初速度,电子的动能与它所具有的电功率相等,即

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU \quad (1)$$

式中, U 为电子的电位(V); m 为电子质量(kg), e 为电荷(C)。则电子运动速度为

$$v = 5.93 \times 10^5 U \text{ (m/s)} \quad (2)$$

假如 $U = 10\text{kV}$, 则电子速度可达 $6 \times 10^4\text{km/s}$ 。将高速运动的电子流在一定电磁场的作用下,会聚成电子束并轰击到蒸发材料表面时,其动能变为热能。电子束的能量为

$$W = neU = IUt \quad (3)$$

式中, n 为电子密度(kg/m^3); I 为电子束的束流(A); t 是束流的作用时间(s)。因而其产生的热量 Q 为

$$Q = 0.24 Wt \quad (4)$$

当加速电压很高时,由式(4)所产生的热能可足以使蒸发材料汽化蒸发,成为真空蒸发技术中的一种良好热源。

(二) 电子束蒸发源结构

依靠电子束轰击蒸发材料的真空镀膜技术,根据电子束蒸发源的形式不同,可分为环形枪、直枪、e型枪和空心阴极电子枪等几种。本实验使用的为目前常用的e型电子枪,即270°偏转的电子枪。其工作原理是入射电子与蒸发原子相碰撞后游离出来的正离子,在偏转磁场的作用下,产生与入射电子相反方向的运动,由于电子运动轨迹形同英文字母e,因此称为e型电子枪,结构如图1-1所示。

e型电子枪的特点:

(1)能有效地抑制二次电子,可方便地调节磁场,改变电子束轰击蒸发材料的位置。

(2)在结构上由于采用了内藏式阴极发射电子,防止了极间放电,避免了对灯丝的污染。

(3)束流密度高,能在一个不太小的面积上达到 $10^4 \sim 10^9 \text{ W/cm}^2$ 的功率密度,加热温度可达 $3000^\circ\text{C} \sim 6000^\circ\text{C}$,因此可以使高熔点材料蒸发,如:蒸发W、Mo、Ge、 SiO_2 、 Al_2O_3 等。并且具有较高的蒸发速度。

(4)由于被蒸发材料置于水冷坩埚内,可以避免容器的蒸发,以及容器材料与蒸镀材料之间的反应,这对提高镀膜的纯度极为重要。

(5)热量可直接加热蒸镀材料的表面,提高了热效率、热传导,热辐射的损失少。

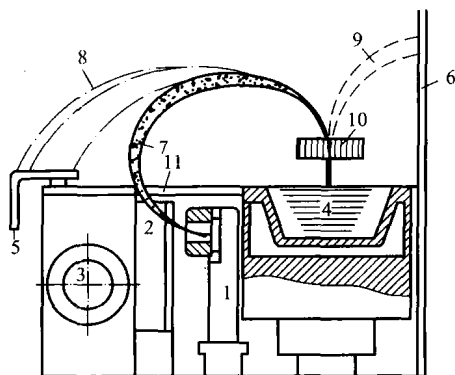


图1-1 e型电子枪的工作原理

- 1—发射体; 2—阳极; 3—电磁线圈;
4—水冷坩埚; 5—收集极; 6—吸收极;
7—电子轨迹; 8—正离子轨迹;
9—散射电子轨迹; 10—等离子体; 11—屏蔽板

三、实验设备和材料

1. 实验设备:中科院沈阳仪器研究所生产的DZS-500 e型电子束蒸发系统,如图1-2所示。马弗炉、电子天平、压片机、干燥烘箱、超声清洗仪。

2. 实验材料:分析纯ZnO掺入分析纯 MgO ($w_{\text{MgO}} = 1\%$)、分析纯 Al_2O_3 ($w_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 3.9\%$)压制成型的靶购置;Si(100)、陶瓷及玻璃衬底。

DZS-500 e型电子束蒸发系统主要由真空室、电子枪及电源、真空系统、样品架组件、样品烘烤加热系统、电阻蒸发系统、膜厚监控仪、控制系统和系统电源组成。该设备的主要特点为:

(1)真空排气系统,采用大抽速的变频控制的1200L/s复合分子泵和8L/s直联机械泵机组,使设备具有抽速快、无油、操作方便快捷、易于维护的特点;如经烘烤最高极限真空可优