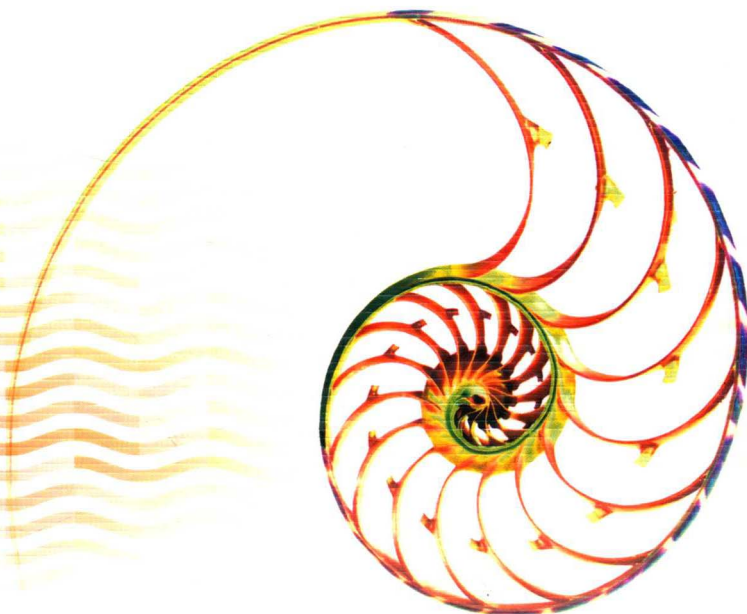


工业和信息化部电子第五研究所 组编



扫描电镜和能谱仪的 原理与实用分析技术

© 施明哲 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

扫描电镜和能谱仪的原理 与实用分析技术

工业和信息化部电子第五研究所 组编

施明哲 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是介绍扫描电镜和 X 射线能谱仪原理与应用技术的专业读物，全书共分为上、下两篇。

上篇包括第 1~9 章，主要论述了扫描电镜原理、应用中的操作要点和常见的图像质量问题，以及一些改善图像质量的方法和措施。并列举了几个在电应力和环境应力等作用下的失效电子元器件的分析图例。书中对近年来新推出的可变压力和环境扫描电镜的特点及专用探测器，电镜的真空系统，真空泵的原理、结构、维护、保养等事项，以及电镜对安装场地的要求都进行了介绍，以供读者在规划和安排电镜场地时参考。

下篇包括第 10~19 章，主要介绍了锂漂移硅 [Si(Li)] 与硅漂移 (SDD) 能谱仪的基本原理、结构和使用中的一些实际应用问题。最后还简略地介绍了传统的罗兰圆波谱仪和平行光波谱仪的基本原理和它们各自的特点。

附录中收录了真空压力单位的换算表，能谱分析中可能出现的假峰、重叠峰等，以及一些与显微分析有关的标准号及中文名称。

本书适用于从事扫描电镜显微分析方面的操作、应用、安装和维修等工程技术人员参考，也可作为理工科院校相关专业的师生参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

扫描电镜和能谱仪的原理与实用分析技术 / 施明哲编著；工业和信息化部电子第五研究所组编。

—北京：电子工业出版社，2015.11

ISBN 978-7-121-27245-5

I. ①扫… II. ①施… ②工… III. ①扫描电子显微镜②电子能谱仪 IV. ①TN16②TL817

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 226352 号

策划编辑：张 榕

责任编辑：康 霞

印 刷：三河市双峰印刷装订有限公司

装 订：三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：720×1 000 1/16 印张：26 字数：524 千字

版 次：2015 年 11 月第 1 版

印 次：2015 年 11 月第 1 次印刷

定 价：88.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

前言

《《《《 PREFACE

扫描电镜与能谱仪和波谱仪的组合是最近四十多年来发展起来的一种高效、实用，又几乎是非破坏性的表面显微分析设备。它类似于专业的电子探针分析仪，在微观形貌观察方面又胜过专业的电子探针分析仪，它不仅能用作高分辨力的微观形貌观察，也能够对试样表面的微区进行化学组分分析。它能够分析的微区面积大可达平方毫米的量级，小可到平方微米的量级，图像的几何分辨力可以达到或优于纳米级。此外，由于操作者可以选择电子束的分析区域，扫描电镜与能谱仪和波谱仪的组合分析不仅可检测试样的表面和基材的化学组分，而且更适合于检测试样中的夹杂物、镀层的表面和横截面、小污染斑的形貌，以及微观尺寸的测量等。

由于电子显微分析设备在微观分析中有广泛的用途和诸多优点，进入新世纪以来，随着国民经济和科研技术的快速发展，电子显微分析设备已成为许多行业开展微观物质形貌和化学组分分析的主要设备及重要手段。原中国电镜学会理事、北京市电镜学会理事长张德添教授在 2009 年就估计“全国目前能够使用的各种电子显微镜大概有 3500~4000 台，其中扫描电镜约 2500 台，其余的是透射电子显微镜；在材料学领域拥有约 3000 台，生物医学领域拥有约 1000 台，而且每年以超过 100 台的数量增长，显然电子显微镜在材料科学和生命科学领域已经成为不可缺少的工具”。如果张德添当年的估计是准确的，那么到目前为止全国的电镜总数应有 4300~4800 台。最近这几年每年全国新安装的扫描电镜、透射电镜、电子探针分析仪和聚焦离子束等设备的拥有量上升很快，每年全国新安装总台数约 200 多台。这些设备中除了一部分是替代淘汰的老旧设备之外，其余为新增分析设备。最近这几年，每年的新增量约有 200 台。每年新加入电子显微分析队伍的人员也在不断扩大，包括应用、培训、安装维修、维护管理和销售人员，每年新加入这行业的人员近千人，加上目前在岗的技术人员，全国总共有上万人的队伍。若再加上各高校相关专业师生，科研院所和企业的测试、质检和微观失效分析等相关技术人员，全国总共有数万人的队伍。这些技术人员都需要有一些不同层次的显微分析方面的专业参考书，以便能更好地掌握和了解这类分析设备的主要结构、工作原理、应用范围和检测能力，特别是对一些新技术和新功能的了解。

本书是作者在电子元器件可靠性物理及其应用技术国家级重点实验室多年工作积累的基础上撰写完成的。为适应同行读者的需要，在此基础上，结合市场上新推出的扫描电镜的一些新技术和新功能及近几年举办的扫描电镜和能谱仪原理与应用

研讨班的讲稿进行了整理和充实。

本书以实用为主，突出实用性以尽可能适应不同专业和层次的读者使用，书中尽量减少数学推导，在力求用文字阐明基本原理的基础上，尽可能做到概念清楚、图例明确，强调动手和解决实际问题的分析测试能力。但由于电子显微分析技术发展迅速，更新换代日新月异，涉及的领域也比较广，而本人的知识面有限，加上成书时间较仓促，对一些新技术的资料收集还未能齐全，书中难免会存有疏漏和谬误，恳请诸位读者和同行批评指正，以便再版时能得到纠正。希望本书能对步入电子显微分析的新同行有所启发，对有一定经验的同行尤其是从事电子元器件失效分析、材料和质量检测的人员能有所裨益，能成为一本理论联系实际的实用性参考书。

本书的编写始于原主任余松乔的关心和鼓励，得到现主任恩云飞的极力支持。在成书的过程中也得到重点实验室诸多同仁的积极支持和帮忙，如在资料查询、核对方面得到郝明明博士的鼎力相助；在计算机绘图插画方面得到肖庆中、雷志锋和师谦等高工们的帮助和指点；在校准、审核的过程中得到郝明明、李晓倩、陈义强、方文啸、李沙金和黎恩良等同仁的热情帮助，他们提出了许多中肯的修改意见和宝贵的建议，在此一并表示衷心的感谢！

另外，为了便于论述和能更完整、有效地介绍相关设备的一些新技术原理和新颖的设计及一些比较典型的结构，书中有个别地方以相关生产厂家的某个型号、个别图片和参数为例来作为学术上的讨论、讲解、示范之用，除此之外绝无其他目的。在这些列举型号和图例中曾得到 HITACHI、FEI、ZEISS、JEOL、TESCAN、KYKY 等电镜和 EDAX、BRUKER、OXFORD、NORAN 等能谱仪及相关电镜附件生产厂家的大力支持，在此表示由衷的感谢！感谢这些生产厂家的大力支持和无私帮助，感谢他们为本书提供了部分精美图片和一些新技术及新功能的参数等信息。

书中还有个别图片是从同行好友或网络上转载而来的，有的是时间久了一时找不到出处，因而有极个别图片暂时无法标注来源，在此非常感激原图作者的创作精神和分享，若有热心的读者能发现原图片的出处或者本书中存在的缺点和谬误，诚恳地欢迎广大读者帮忙指正！最好直接联系作者，联系邮箱：ws_smz@163.com。以便再版能及时补上原文作者的名字或出处及修改谬误。书中有的地方还选用了参考文献中的个别图表和照片，在此对这些图表和照片的原作者再次表示感谢！

施明哲
2015年6月

符号和术语的说明

由于书中涉及的内容比较广，使用的符号也比较多，为了与本书的符号相一致，对引用文献中的个别符号也作了改变。本书尽量采用已被本行业普遍接受的符号，如电子束加速电位用 E_0 表示而不用 U_0 ，这便于与电子光学学科中常用的电子伏特 (eV) 单位进行换算，但有别于一般的电工和物理书籍的习惯用法。“X 射线”一词中的“X”在有的文献中用大写，而有的用小写，本书中全采用大写，如写成“X 射线”而不写成“x 射线”。

另外，对于某些术语，如国内出版的一些有关电镜的专业文献中提到的图像分辨能力和能量分辨力，虽然多数文献中采用“分辨率”这一写法，但本书中全采用“分辨力”。因“分辨能力”在英语词汇里是用“resolution”表示的^[1]，而笔者认为“分辨能力”简称为“分辨力”这三个字既科学又通达词意。国家微束标委会副主任周剑雄研究员主编的《扫描电镜测长问题的讨论》一书中，也多处专门提到分辨力这个问题，在该专著中还专门指出“resolution”不是“分辨率”而是“分辨力”^[2]。在该专著中，由上海计量院的电镜计量专家张训彪教授编写的《测量不确定度的评定与表示的讨论》一文在最后结论中还专门指出：“‘显微镜的分辨力’，20年前标准中就改过来，直到现在，教科书中、论文中都没有改。”^[3]上海冶金所显微分析老专家李香庭教授在《扫描电镜、电子探针的分辨力及放大倍率》一文里，也都采用的是分辨力这一术语^[4]。这些都是老专家们的正确提议，这也与国标《GB/T 21636：电子探针显微分析术语》中的定义和规范相符，从而在本书中也采用“分辨力”这一写法。而对于能谱和波谱仪中的能量分辨力，因它以能量为单位，即 eV，所以本书中也都采用分辨力来表示，而不用分辨率。注意：这有别于构成图像像素点的分辨率，即图像的像素“分辨率”与图像的几何分辨能力的“分辨力”是有区别的，千万不能搞混。

还有电镜镜筒中的汇聚透镜和汇聚束，有的文献中用“会聚”，也有的用“汇聚”，这两种用法都有，本书中全采用“汇聚”；对光栏的写法有的采用“光阑”，有的用“光栏”，这两种写法都有，本书中全采用“光栏”。依笔者的初步理解采用“汇聚”和“光栏”更能反映出汇聚透镜和光栏的功能与作用，特别用“光栏”更能突显光栏在电子光路中的作用主要是用于遮拦杂散电子和限定聚焦电子束的发散角，同时还兼有调控电子束斑大小的功用，再说依词义“栏”和“阑”的用法也有某些相通之意^[5]。

书中涉及的其他专业术语基本上都与国标“GB/T 21636”的定义和规范相符。

参 考 文 献

- [1] 葛传棻, 陆谷孙, 薛诗绮等. 新英汉词典. 上海: 上海译文出版社, 1984, P1145.
- [2] 张训彪等. 测量不确定度的评定与表示的讨论. 扫描电镜测长问题的讨论. 成都: 电子科技大学出版社, 2006 (5), P212.
- [3] 张训彪等. 测量不确定度的评定与表示的讨论. 扫描电镜测长问题的讨论. 成都: 电子科技大学出版社, 2006 (5), P206.
- [4] 李香庭. 扫描电镜、电子探针的分辨力及放大倍率. 扫描电镜测长问题的讨论. 成都: 电子科技大学出版社, 2006 (5), P182 和 P183.
- [5] 新华字典. 11 版. 北京: 商务印书馆, 2011, P284.

目录

CONTENTS

上篇 扫描电镜的原理与实用分析技术

第 1 章 光学显微镜和电子显微镜的发展回顾及其成像方式的比较 ·····	(2)
1.1 光学显微镜的发展简史及几个基本概念·····	(2)
1.1.1 光学显微镜的发展简史·····	(3)
1.1.2 光学透镜的特性·····	(5)
1.1.3 可见光的衍射·····	(6)
1.2 电子显微镜综述·····	(8)
1.3 国外研制和发展电子显微镜的相关进程和成就·····	(11)
1.4 我国发展、研制和生产电镜的概况·····	(18)
1.5 3 种显微镜成像方式的比较·····	(20)
1.5.1 当前的几种常见的扫描电镜·····	(22)
1.5.2 当前几种小型台式电镜·····	(23)
1.6 电子的基本性质及其与物质的相互作用·····	(24)
1.6.1 电子的基本参数·····	(24)
1.6.2 电子束的波长·····	(24)
1.6.3 入射电子和试样的相互作用及产生的信号电子·····	(26)
参考文献·····	(30)
第 2 章 扫描电镜的原理和结构 ·····	(31)
2.1 扫描电镜的原理·····	(31)
2.1.1 镜筒概述·····	(31)
2.1.2 供电系统·····	(31)
2.2 电子枪的束斑和束流·····	(34)
2.3 扫描电镜的放大倍率·····	(35)
2.4 扫描电镜的电子束斑·····	(36)
2.5 镜筒·····	(36)
2.6 电子枪阴极·····	(37)

2.6.1	钨阴极	(38)
2.6.2	氧化钪铱 (Y_2O_3-Ir) 阴极	(42)
2.6.3	六硼化镧阴极	(43)
2.6.4	场发射阴极电子枪	(48)
2.7	电磁透镜 (Electromagnetic Lens)	(54)
2.8	扫描偏转线圈 (Scanning Coil)	(57)
2.9	样品仓的外形与内部	(60)
2.9.1	几种样品仓的典型外观	(61)
2.9.2	样品仓的内部	(61)
2.9.3	特殊超大样品仓	(64)
2.9.4	几种特殊的样品台	(65)
2.10	真空压力单位和真空泵	(68)
2.10.1	电镜的真空系统	(69)
2.10.2	电镜的真空压力范围	(71)
2.10.3	旋片式机械泵	(71)
2.10.4	无油干式机械泵	(74)
2.10.5	油扩散泵	(77)
2.10.6	涡轮分子泵	(81)
2.10.7	离子吸附泵	(86)
2.11	环境和低真空扫描电镜	(88)
	参考文献	(94)
第 3 章	扫描电镜的主要探测器及其成像	(96)
3.1	二次电子和背散射电子信号的收集和显示	(96)
3.2	二次电子探测器	(96)
3.3	二次电子像的性质	(97)
3.4	传统 E-T 型二次电子探测器的组成	(99)
3.5	光电倍增管	(100)
3.6	YAG 材料的二次电子及背散射电子探测器	(104)
3.7	透镜内 (IN-LENS) 二次电子探测器	(105)
3.8	环境扫描和低真空电镜的二次电子探测器	(108)
3.8.1	气体二次电子探测器	(108)
3.8.2	大视场探测器	(110)
3.8.3	改进型低真空 E-T 二次电子探测器	(111)
3.9	与图像分辨力有关的几个主要因素	(112)
3.10	电子束流与束斑直径	(113)

3.11	图像的信噪比和灰度	(115)
3.12	试样上电流的进出关系	(119)
3.13	吸收电子像	(120)
3.14	电镜的图像分辨力与像素	(121)
3.15	图像的立体效应和入射电子束与试样之间的角度关系	(122)
3.15.1	图像的立体效应	(122)
3.15.2	入射电子束与试样之间的角度关系	(123)
3.15.3	倾斜角与二次电子发射系数和倾斜补偿	(124)
3.15.4	边缘效应	(126)
3.15.5	试样的原子序数效应	(127)
3.16	二次电子的电压衬度像	(127)
3.17	试样表面形貌与图像的反差	(129)
3.18	焦点深度(景深)	(131)
3.19	物镜光阑的选择	(133)
3.20	加速电压效应	(134)
3.21	背散射电子的检测方式和图像	(136)
3.21.1	背散射电子的检测方式	(138)
3.21.2	背散射电子信号的接收与组合	(141)
3.22	阴极荧光像	(143)
3.23	束感生电流像	(146)
3.23.1	EBIC 在半导体器件失效分析中的应用	(148)
3.24	图像处理功能	(152)
3.24.1	图像的微分	(152)
3.24.2	积分电路	(154)
3.24.3	非线性放大	(154)
3.25	扫描透射探测器	(156)
3.26	电子束减速着陆方式	(158)
	参考文献	(160)

第4章 扫描电镜的实际操作 (162)

4.1	电镜的启动	(162)
4.2	试样的安装、更换及停机	(162)
4.3	图像的采集	(165)
4.4	电镜图像中的几种常见像差	(167)
4.4.1	球差	(167)
4.4.2	慧差	(168)

4.4.3	像散和场曲	(169)
4.4.4	畸变	(172)
4.4.5	色差	(173)
4.5	图像的调焦、消像散和动态聚焦	(174)
4.5.1	图像的调焦和消像散	(174)
4.5.2	图像的动态聚焦	(177)
4.6	屏幕的分割与双放大功能	(178)
4.7	电镜图像的不正常现象	(180)
4.7.1	震动干扰	(180)
4.7.2	镜筒的合轴	(181)
4.7.3	试样的损伤	(183)
4.7.4	试样的污染	(184)
4.7.5	试样放电	(187)
4.8	提高图像亮度的几种措施	(191)
	参考文献	(192)
第 5 章	试样的制备	(193)
5.1	粉体试样	(196)
5.2	块状试样	(197)
5.3	磁性材料	(198)
5.4	生物试样	(199)
5.5	制样仪器与工具	(201)
5.5.1	开封机、研磨抛光机等机型和参数简介	(201)
5.5.2	溅射过程和离子溅射仪	(202)
5.5.3	真空蒸发源及其载体	(207)
5.5.4	薄膜厚度的测量	(209)
5.5.5	碳镀膜仪	(210)
5.5.6	制作和粘贴试样的主要工具和材料	(211)
第 6 章	应用图例	(213)
6.1	印制电路板的失效分析和检测	(213)
6.2	陶瓷电容端头的硫化银	(216)
6.3	微观尺寸测量	(217)
6.4	半导体器件的失效分析	(219)
6.4.1	半导体器件的表面缺陷与烧毁	(220)
6.4.2	静电击穿	(223)
6.5	金属断口分析	(225)

6.6	继电器触点表面分析	(227)
6.7	锡晶须的生长	(229)
6.8	印制电路板中的黑镍现象和镍层腐蚀	(231)
6.9	金属膜电阻的分析	(233)
6.10	陶瓷电容的容量漂移	(234)
6.11	电真空器件	(237)
6.12	VC 与 EBIC 像在半导体器件失效分析中的应用	(238)
	参考文献	(239)
第 7 章	电镜的维护与保养	(240)
7.1	衬管的拆卸与清洁	(240)
7.2	光栏的清洁	(243)
7.3	闪烁体的保养	(246)
7.4	显示器的保养和维护	(247)
7.5	真空系统的维护	(249)
7.5.1	机械泵的维护	(250)
7.5.2	油扩散泵的维护	(250)
7.5.3	涡轮分子泵的维护	(250)
7.5.4	离子泵的维护	(251)
7.5.5	真空测量计的维护	(251)
7.6	冷却循环水机的维护	(252)
7.7	控制电镜的计算机	(252)
第 8 章	电子显微镜的安装环境和要求	(254)
8.1	安装地点的选择	(254)
8.2	空间	(254)
8.3	接地	(255)
8.4	照明	(255)
8.5	室内温度、湿度和排气	(256)
8.6	防震和防磁	(256)
8.7	供电电源	(257)
8.8	供水	(257)
8.9	环境噪声	(258)
8.10	其他	(258)
	参考文献	(259)
第 9 章	展望将来的扫描电镜	(260)
	参考文献	(261)

附录 A	压力单位的换算表	(262)
附录 B	几个真空技术的主要术语和含义	(263)
附录 C	与电镜分析有关的部分标准	(265)

下篇 能谱仪的原理与实用分析技术












第 10 章	X 射线显微分析仪的发展概况及 X 射线的定义和性质	(270)
10.1	国外 X 射线显微分析仪的发展简史	(270)
10.2	国内 X 射线微区分析仪器的研制简况	(274)
10.3	X 射线的定义及性质	(275)
10.4	X 射线的度量单位	(276)
	参考文献	(277)
第 11 章	能谱仪 (EDS) 的工作原理	(278)
11.1	锂漂移硅 (Si (Li)) 探测器	(278)
11.2	锂漂移硅芯片的结构	(283)
11.3	吸收和处理过程	(284)
	参考文献	(288)
第 12 章	入射电子与物质的相互作用及 X 射线的产生	(289)
12.1	电子能级的跃迁和 X 射线的产生	(289)
12.2	荧光产额	(292)
12.3	连续辐射谱的产生	(292)
12.4	莫塞莱定律和 X 射线定性分析的依据	(293)
12.5	X 射线的吸收	(294)
12.6	二次发射 (荧光)	(296)
	参考文献	(296)
第 13 章	X 射线的探测限和假峰	(297)
13.1	探测限	(297)
13.2	不同密封窗材料的探测范围	(298)
13.3	空间几何分辨力	(300)
13.4	重叠峰	(303)
13.5	假峰	(304)
13.5.1	和峰	(304)
13.5.2	逃逸峰	(304)
13.5.3	硅内荧光峰	(305)
	参考文献	(305)

第 14 章 电镜参数的选择	(307)
14.1 加速电压的选择.....	(307)
14.2 电子源的亮度.....	(310)
14.3 镜筒的合轴.....	(313)
14.4 探测器与试样的相对几何位置.....	(314)
参考文献.....	(316)
第 15 章 能谱的定性和定量分析简述	(318)
15.1 定性分析简述.....	(318)
15.2 定性分析结果的主要表示方法.....	(320)
15.3 定量分析简述.....	(322)
15.4 扣除背底.....	(324)
15.5 实际操作中的定量分析.....	(327)
15.5.1 脉冲计数统计误差.....	(328)
15.5.2 块状试样的定量分析.....	(328)
15.5.3 超轻元素和轻元素的分析.....	(329)
15.5.4 ZAF 校正与 K 比的定性应用讨论.....	(331)
15.5.5 其他校正和专业应用软件.....	(333)
参考文献.....	(334)
第 16 章 谱峰的失真与外来干扰	(336)
16.1 谱峰的失真.....	(336)
16.2 谱峰偏离高斯分布.....	(337)
16.3 振动与噪声干扰.....	(337)
16.4 独立接地.....	(338)
16.5 杜瓦瓶中的冰晶和底部结冰的处理.....	(338)
16.6 密封窗的污染.....	(339)
16.7 减轻探测器中晶体的污染.....	(340)
16.8 背底的失真.....	(340)
16.9 减少高能背散射电子进入探测器.....	(340)
16.10 降低外来的杂散辐射.....	(341)
参考文献.....	(342)
第 17 章 谱仪的性能指标	(343)
17.1 检出角.....	(343)
17.2 探测的元素范围.....	(343)
17.3 能量分辨力.....	(344)
17.4 峰背比 (P/B).....	(345)

17.5	谱峰随计数率的漂移	(345)
17.6	液氮消耗量	(346)
17.7	X射线的泄漏量	(346)
17.8	其他功能	(347)
17.9	提高定量分析准确度的要点小结	(347)
17.10	定量分析的实例	(349)
17.10.1	可伐引线材料的分析	(349)
17.10.2	磷酸钙的分析	(349)
17.11	谱仪的维护与保养	(351)
	参考文献	(354)
第 18 章	硅漂移 X 射线能谱探测器	(355)
18.1	硅漂移探测器的发展简介	(356)
18.2	硅漂移探测器的外形及内部结构图	(358)
18.3	硅漂移探测器的工作原理	(360)
18.4	大面积的硅漂移探测器	(362)
18.5	高角度的硅漂移探测器	(363)
18.6	硅漂移探测器的综合优点	(364)
18.7	展望锂漂移硅和硅漂移探测器的发展趋势	(365)
第 19 章	X 射线波长的探测与波谱仪	(367)
19.1	波长衍射	(367)
19.2	传统罗兰圆波谱仪的主要特点	(370)
19.2.1	传统罗兰圆波谱仪的主要参数	(370)
19.2.2	罗兰圆衍射装置的安装方式	(372)
19.2.3	对衍射晶体和光栅的要求	(373)
19.2.4	计数器及其连接方式	(374)
19.2.5	相关的电子线路	(377)
19.2.6	自动读取试样电流和对试样的要求	(377)
19.3	波谱仪对试样的探测和输出	(378)
19.4	能谱仪与罗兰圆波谱仪的比较	(379)
19.5	平行光波谱仪	(380)
19.5.1	低能量的平行光波谱仪	(382)
19.5.2	平行光波谱仪的特点	(384)
19.6	能谱仪和波谱仪与 EBSD 等的一体化	(385)
	参考文献	(386)
附录 D	可视化重叠峰剥离功能	(388)

附录 E 入射电子束的加速电压与相应的激发深度	(390)
附录 F 由于假峰而引起误判的有关元素谱线表	(392)
附录 G 能谱、波谱分析中常用的有关标准	(395)
附录 H 能谱仪用的元素周期表	(397)
参考文献	(397)
全书的主要泛读参考文献	(399)

上篇 扫描电镜的原理与实用分析技术

-  第1章 光学显微镜和电子显微镜的发展回顾及其成像方式的比较
-  第2章 扫描电镜的原理和结构
-  第3章 扫描电镜的主要探测器及其成像
-  第4章 扫描电镜的实际操作
-  第5章 试样的制备
-  第6章 应用图例
-  第7章 电镜的维护与保养
-  第8章 电子显微镜的安装环境和要求
-  第9章 展望将来的扫描电镜
-  附录A 压力单位的换算表
-  附录B 几个真空技术的主要术语和含义
-  附录C 与电镜分析有关的部分标准