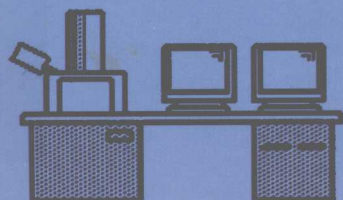
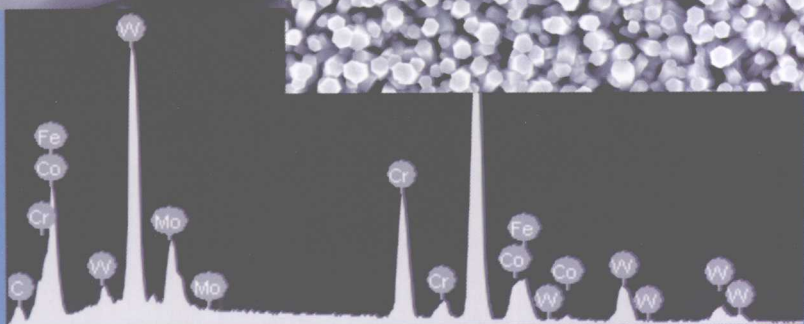
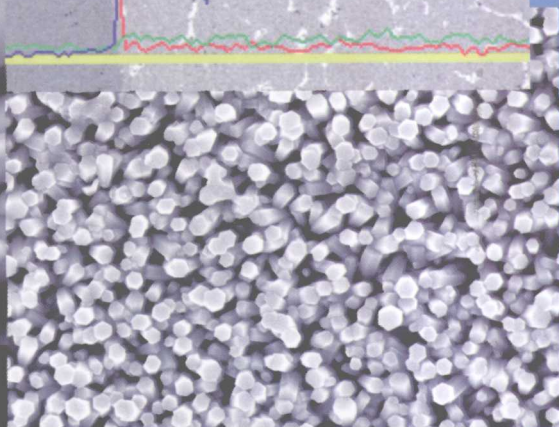
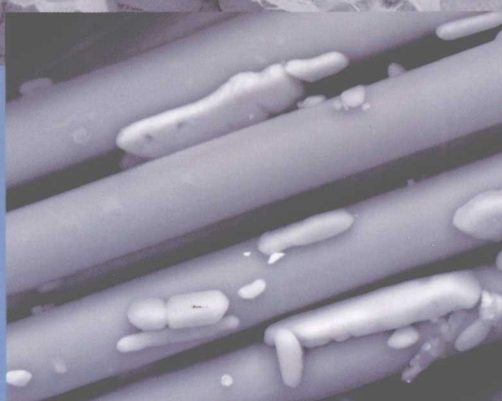
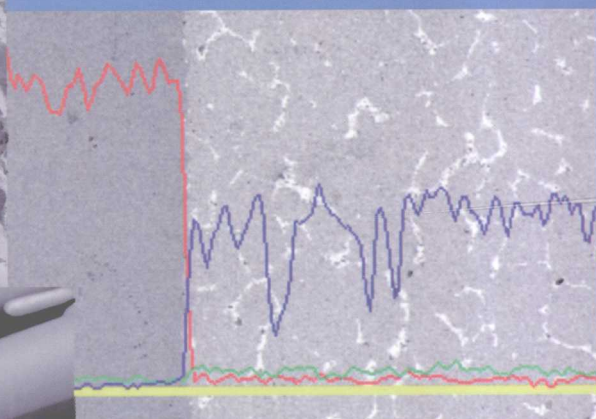


扫描电镜与能谱仪 分析技术

张大同 编著



华南理工大学出版社

扫描电镜与能谱仪 分析技术

张大同 编著

华南理工大学出版社

· 广州 ·

内 容 简 介

本书是关于扫描电子显微镜和X射线能谱仪的专著,全书共十章。第一章至第七章介绍扫描电镜基础知识、电子束与样品的相互作用、工作原理与结构、图像衬度与成因、图像质量与操作要点、几种成像技术、电镜安装与验收;第八章与第九章分别介绍能谱仪的结构、原理和应用技术;第十章为样品制备。

全书以实用为目的,结合材料学科的特点,在理论阐述基础上,提供切实可行的实验技术。

本书可供在金属、高分子、无机、机械、微电子、半导体、矿物、化工、造纸等领域从事研究、生产的科技人员及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

扫描电镜与能谱仪分析技术/张大同编著. —广州:华南理工大学出版社, 2009. 2

ISBN 978-7-5623-2885-8

I. 扫… II. 张… III. ①扫描电子显微镜 ②X射线能谱仪-仪器分析 IV. TN16 TL817

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第199631号

总发行:华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学17号楼,邮编510640)

营销部电话:020-87113487 22236386 22236378 87111048(传真)

E-mail: z2cb@scut.edu.cn

<http://www.scutpress.com.cn>

责任编辑:袁 泽

印刷者:广州市穗彩印厂

开 本:715mm×1060mm 1/15 印张:10 字数:213千

版 次:2009年2月第1版 2009年2月第1次印刷

印 数:1~1000册

定 价:30.00元

版权所有 盗版必究

前 言

随着科学技术的发展,扫描电子显微技术和X射线微区分析已成为检测物质性能的重要手段。我国目前已拥有相当数量的扫描电镜和能谱仪,今后将会有更多的单位装备这类先进仪器。扫描电镜和能谱仪用于金属、陶瓷、高分子、水泥、半导体、化工、矿产、纸张、食品等材料的显微形貌观察、相组织与晶体结构分析、微区化学成分检测等,对零部件的失效分析、纳米或复合新材料的表征,是不可替代的设备。电子显微分析应用队伍也在不断壮大,均需要有合适的参考书籍以深入了解仪器的物理本质、工作原理、主要结构和实际应用。本书包含了上述基本内容,另外,对近年来电子显微分析技术的新进展,如低电压操作、可变压力、环境扫描、电子背散射衍射、硅漂移探测器等,均做了详实的介绍。对于能谱仪的应用和样品制备技术,根据实践经验提供切实可行的指导和建议。本书对于仪器使用、学生培养、科研工作上水平都是非常必要的。

本书为适合不同专业和水平的读者使用,尽量减少繁琐的理论细节和数学推导,力求深入浅出地阐明问题,并结合多年的工作经验,在仪器应用方面提供行之有效的建议。本书不仅适合作为高校教材,而且对于工矿、企业和公司等用户也是一本技术性和实用性强的专业参考书。

作者在此衷心感谢分析测试中心李家明、陈永铿工程师的有益讨论和提供的照片;感谢郭莉萍与吴东晓等同事在出书过程中的帮助和支持;感谢材料学院王辉、焦东玲老师,曹辉亮、胡仁宗等博士生对原稿的编辑工作。中山大学测试中心赵文霞老师审阅了部分章节,在此深表谢意。

由于作者水平有限,内容难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。作者通讯地址:广州华南理工大学分析测试中心,E-mail:zdtscut@126.com。

张大同
2008 年中秋
于华南理工大学

目 录

第一章 基础知识	(1)
一、分辨率和光的衍射	(1)
二、电子波和电磁透镜	(3)
三、电磁透镜的像差	(5)
四、几种显微镜的比较	(7)
小结	(12)
第二章 电子束与样品的相互作用	(13)
一、散射	(13)
二、相互作用区	(14)
三、样品受激发出射的主要信号	(15)
小结	(20)
第三章 扫描电镜的工作原理和结构	(21)
一、常用概念	(21)
二、扫描电镜的结构	(26)
三、扫描电镜分类	(35)
小结	(37)
第四章 扫描电镜图像衬度和成因	(38)
一、形貌衬度	(38)
二、成分衬度	(43)
小结	(46)
第五章 扫描电镜图像质量和操作要点	(47)
一、衬度阈	(47)
二、分辨率限度	(48)
三、电子束斑直径与束流的关系	(52)
四、操作要点	(53)
小结	(58)
第六章 扫描电镜几种成像与衍射技术	(60)
一、低电压成像技术	(61)
二、低真空成像技术	(68)
三、环境扫描成像技术	(72)
四、电子背散射衍射技术	(78)

小结	(82)
第七章 扫描电镜的安装和验收	(84)
一、安装	(84)
二、验收	(85)
小结	(89)
第八章 X 射线能谱仪	(90)
一、X 射线的产生和与物质的相互作用	(90)
二、能谱仪的结构	(97)
三、工作原理	(98)
四、能谱仪的分析特点与应用	(100)
五、能谱仪的安装和验收	(101)
六、X 射线分析限度	(104)
七、硅漂移探测器	(107)
小结	(109)
第九章 X 射线能谱仪分析技术	(111)
一、与采谱有关的几个参数	(111)
二、电镜加速电压的选择	(113)
三、X 射线吸收程	(114)
四、定性分析	(116)
五、定量分析	(120)
六、颗粒检测技术	(129)
七、能谱仪的维护和校准	(133)
八、能谱仪与波谱仪的比较	(134)
小结	(137)
第十章 样品制备技术	(138)
一、取样	(138)
二、清洁	(138)
三、安装	(139)
四、样品截面的制备	(141)
五、镀膜	(143)
六、微区成分分析样品制备技术	(148)
小结	(150)
参考文献	(151)

第一章 基础知识

对于材料科学、电子、地质、物理、化工、农医、公安、食品和轻工等领域的科学研究，人们总是关心微观形态、晶体结构和化学组成与宏观物理或化学性质之间的关系。光学显微系统已不能满足需要。电子显微系统的出现，使分辨率提高到纳米领域，并具有多功能的综合分析能力，为微观领域的深入研究提供了强有力的手段。本章介绍电子显微镜的有关概念。

一、分辨率和光的衍射

1. 人眼分辨率

人眼分辨率通常指在正常照明条件下，肉眼可以分辨出两个最近物点的距离。一般认为在 250mm 的明视距离上，人眼分辨率为 0.2mm，如图 1-1 所示。

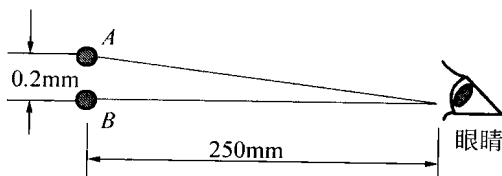


图 1-1 人眼分辨率

为了提高分辨率，通常借助光学放大系统，例如使用 10 倍放大镜，人眼可分辨 0.02mm 的细节，如果使用 1000 倍的显微系统，分辨率可达 200nm，提高了 1000 倍。这里指的均是仪器分辨率。

2. 有效放大率

利用显微系统把细节放大，以满足人眼分辨率可接受的程度，该放大率称为有效放大率 M_e ：

$$M_e = \frac{\Delta r_e}{\Delta r_0}$$

式中， Δr_e 为人眼分辨率； Δr_0 为仪器分辨率。

上式建立了仪器放大倍率与分辨率的直接关系。当分辨 100nm 细节时，需用 2000 倍，这是光学显微镜的有效放大率；当分辨 5nm 细节时，需用 40 000 倍，这是电子显微镜的有效放大率。可见仪器的分辨率越高，必须利用较高的放大倍率观察细节。

3. 光的衍射

现代电子显微镜的放大倍率可达几十万倍，甚至高达百万倍，仪器分辨率优于1nm。但分辨率的改善不仅与放大倍率有关，而且受到电子波衍射、波长、成像系统像差等诸多因素的影响。为了讨论方便，借用光学系统的原理进行说明。

光与电子波一样都属于电磁波，具有波动性。一个理想的点光源通过透镜成像，由于透镜边缘引起的衍射效应，在像平面上不能获得一个理想的清晰像点，而是一个具有一定尺寸的中心亮斑，其周围为明暗相间的圆环，称为弥散斑，如图1-2a所示。光能量85%集中在亮斑中央，其余分布在各环。这就是衍射效应，中心亮斑的半径为

$$R_0 = \frac{0.61\lambda}{n \cdot \sin\alpha} \cdot M$$

式中， λ 为照明光波长； n 为物方介质折射率； M 为光学系统放大倍率， α 为透镜孔径半角。

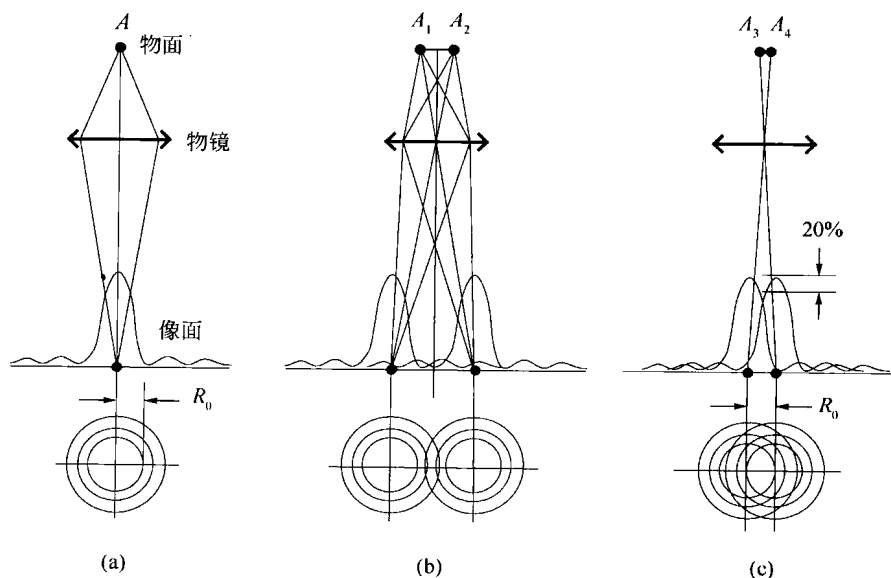


图1-2 光衍射对图像清晰度的影响

- (a) 理想物点成像为一个弥散斑；
- (b) 两个相距较远的物点 A_1 和 A_2 ，弥散斑的中心强度没有重叠；
- (c) 两个邻近物点 A_3 和 A_4 ，弥散斑重叠，当叠加强度下降约20%，仍可分辨出 A_3 和 A_4 为两个点，这已是分辨极限。

衍射形成的弥散斑直接影响分辨率。从图1-2b可见，当两个相距较远的物

点用透镜成像，形成两个对应的弥散斑相距较远，人眼可分辨为两个像点，但对两个邻近的物点成像，如果对应的两个弥散斑有部分重叠，当重叠部分的光强下降约 20%，仍可分辨为两个像点，通常把这两个亮斑中心间距定义为透镜可分辨的最小距离，称为透镜分辨率 Δr_0 ，如图 1-2c 所示。

$$\Delta r_0 = R_0/M,$$

$$\text{则} \quad \Delta r_0 = \frac{0.61\lambda}{n \cdot \sin\alpha}$$

对于光学透镜， $\alpha_{\max} = 70^\circ \sim 75^\circ$ ，空气中 $n = 1.5$ ，则 $n \cdot \sin\alpha \approx 1.25 \sim 1.35$ 。上式可简化为 $\Delta r_0 \approx \lambda/2$ ，可见透镜分辨率取决于照明光波长。当利用波长 $\lambda = 390\text{nm} \sim 760\text{nm}$ 的可见光成像时，分辨率 $\Delta r_0 \approx 200\text{nm}$ ，这是光学显微镜的分辨率限度。

照明波长越短，分辨率越高，利用短波光线作为显微镜的照明源，分辨率虽然可以达到 100nm，但提高是有限的。电子波的波长极短，如果利用其成像，分辨率会显著改善。

二、电子波和电磁透镜

1. 电子波

鉴于电子的波动性，德布罗意认为带电粒子与光波之间极为相似，具有波动性，电子波就是一种德布罗意波。

$$\text{电子波长} \quad \lambda = \frac{h}{mv} \quad (1.1)$$

式中： h 为普朗克常数； m 为电子质量； v 为电子运动速度。当电子初速为 0 时，在电场中从 0 电位开始运动，受到电压 U 的加速作用，获得运动速度 v ，其能量公式为

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU$$

式中， e 为电子电荷量。

$$\text{上式可化为：} v = \sqrt{2eU/m}, \text{ 代入 (1.1) 式，得 } \lambda = \frac{h}{\sqrt{2emU}}$$

当 U 较低时， $v \ll c$ （光速）， m 接近电子的静止质量 m_0 。在电镜中， U 值高达几十千伏，电子运动速度接近光速，电子的质量必须进行相对论校正，即电子质量随之增大：

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (1.2)$$

$$\text{电子能量} \quad eU = mc^2 - m_0c^2 \quad (1.3)$$

整理式 (1.1)、式 (1.2)、式 (1.3) 可得:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2em_0U\left(1 + \frac{eU}{2m_0c^2}\right)}}$$

把 h 、 e 、 m_0 值代入上式可得:

$$\lambda = \frac{1.225}{\sqrt{U(1 + 0.9788 \times 10^{-6}U)}}$$

式中, U 与 λ 的单位分别为 V 和 nm。

上式给出加速电压与电子束波长的关系, 加速电压越高, 电子束波长越短。电子波长大约为可见光波长的十万分之一, 利用电子波替代可见光照明, 可大幅度提高仪器的分辨率和有效放大倍率, 见表 1-1, 这是电镜存在的依据。

表 1-1 不同类型电镜的加速电压与波长、分辨率对照表

U (kV)	λ (nm)	适用仪器	仪器分辨率 (nm)
20	0.00859	SEM	优于 1.5
50	0.00536	TEM	—
100	0.00370	TEM	0.2
200	0.00251	TEM	0.14
300	0.00197	TEM	优于 0.14
1000	0.000687	TEM	优于 0.14

2. 电磁透镜

光学显微镜成像是利用光线通过透镜折射聚焦的原理。电镜利用电磁透镜提供磁场, 电子束在磁场中高速运动, 受到磁场偏转实现聚焦成像。电磁透镜结构见图 1-3a, 铁芯外壳是电工软铁, 内部缠绕线圈, 称为绕组, 通过激磁电流。铁芯内孔中心间隙 S 处的磁场最强, 称为极靴。磁场中任意点的磁场强度 H 可分解为水平强度 H_r 和垂直强度 H_z , 见图 1-3b, 由于 H_r 随不同位置而变化, H_z 在间隙中心取最大值, 到两端逐渐减小, 而 H_r 在中心位置为零, 在间隙两端有最大值, 见图 1-3c。 H_r 和 H_z 合成磁场作用, 使电子在穿过透镜中心孔时被旋转聚焦, 汇聚于光轴上, 这与光学透镜类似。

磁场强度 H 与透镜的安匝数 NI 有关, 即与线圈匝数 N 和流过电流 I 成正比。电磁透镜的焦距 f 与 H 成反比, H 越高, f 越短, 通常称为强磁透镜或短焦透镜, 成像分辨率好。另外一种为长焦透镜, 成像衬度好。电镜使用这两类电磁透镜组

合，实现成像功能。

电磁透镜的间隙两侧为南北磁极，等位线和磁力线正交，通过间隙向两端伸展，形成汇聚场，电力线呈中间凸形状，相当于“凸透镜”，电子束通过中心部位被强磁场偏转聚焦，使直径 d_0 的电子束进入透镜后汇聚为 d_1 的束斑。

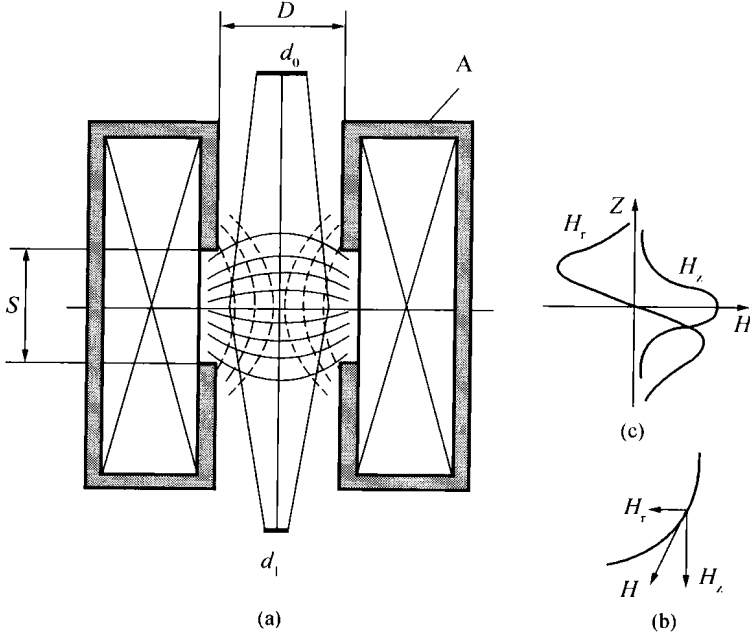


图 1-3 电磁透镜示意图

A—铁芯；D—中心孔直径；S—极靴； d_0 —电子束斑直径； d_1 —缩小后的束斑像；
虚线为磁力线；等位线与磁力线垂直

图 1-3 所示为对称型电磁透镜，通常用作扫描电镜的聚光镜。另一类电磁透镜是锥形结构，形状上大下小，在透镜底部磁场强度最强。锥形透镜置于聚光镜的下方，称为物镜。两类透镜与电子源共同构成扫描电镜的电子光学系统。

三、电磁透镜的像差

当用放大镜读报纸时会发现，镜片中心附近的文字清洗可辨，而在镜片边缘的文字模糊不清，而且黑色的文字周围均有五彩的色边。这是失真的图像，是由于透镜成像的像差造成的。电磁透镜也有像差，它不能把一个理想的物点聚焦为一个清晰可辨的像点。图 1-4 为电磁透镜的四种像差。在成像光学系统设计上必须力求减小或消除像差的影响，这对于提高图像分辨率是绝对必要的。

1. 球差

在透镜磁场中,球差起因是由于在远离光轴运动的电子比近轴区域运动的电子受到更强的偏转缘故。换言之,电子通过透镜时距离光轴越远,则透镜对它的聚焦作用越强。造成某一理想物点发射出的电子经透镜成像后不能汇聚为一点,而是在像面前方形成一个直径为 d_s 的弥散斑,见图 1-4a。

$$d_s = \frac{1}{2} C_s \alpha^3$$

式中, C_s 为球差系数, C_s 与电子束电压 E_0 和透镜焦距 f 有关,是常数; α 为像方孔径半角。如果使用小孔径光阑,限制孔径角 α 不要太大,则 d_s 明显减小,即球差对最终电子束斑直径的影响减小,提高分辨率。

2. 色差

电压 E_0 的变化或者磁场强度 H 的波动都会改变物点出射电子的聚焦点位置,从图 1-4b 可见,能量为 E_0 和 $E_0 + \Delta E$ 的电子通过透镜后所走的路径不同,不能聚焦在同一个点,对能量高的电子偏转能力强,这样不同能量的电子在像面前会聚成一个直径为 d_c 的弥散斑:

$$d_c = (\Delta E / E_0) C_c \alpha$$

式中, C_c 为色差系数,为常数,与透镜焦距 f 有关; α 为像方孔径半角; $\Delta E / E_0$ 为电子束电压的相对变化量。如果透镜电流或电子束电压均稳定在 10^{-6} 水平, H 和 E_0 的变化量就不大;减小 α 也可以降低 d_c 所造成的影响。

3. 衍射差

假设上述两种像差不大,物点的像仍然会有一定的尺寸,这是由于电子波动性和物镜光阑所引起的衍射效应。如果使用小孔光阑,不仅会使透过物镜的电子束流减小,衍射影响会更明显。从图 1-4c 可见,衍射造成物点在像面上有一个强度分布,在轴向产生一个直径为 d_d 的弥散斑:

$$d_d = 1.22 \lambda / \alpha$$

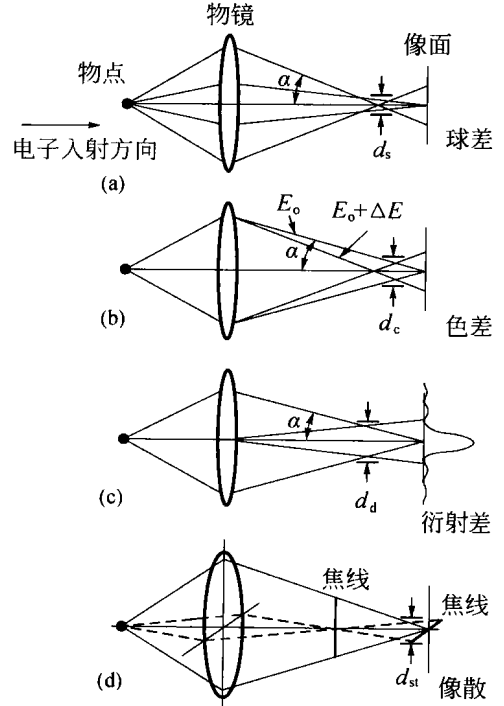


图 1-4 电磁透镜的像差

只就衍射差而言, λ 越小, α 越大, d_d 的影响就越小。

4. 像散

以上讨论的物镜均认定其磁场是轴对称均匀的。但实际情况不然, 由于加工误差, 铁芯材料不均匀, 或者绕制线圈松紧程度不同等都会造成透镜磁场的不对称性。假定透镜磁场是椭圆对称, 当透镜电流变化时, 从物点发射的各束电子将被聚焦在两个相互垂直的焦线上, 而不是一个圆形会聚点, 这就是像散, 使分辨率下降。电镜均备有消像散器, 从八个方位提供一个弱校正场, 在 X 和 Y 方向补偿磁场的不对称性, 消除像散。图 1-4d 示意了像散的影响。

光镜有会聚透镜和发散透镜两种, 利用它们的组合可以消除像差, 但电磁透镜均为会聚透镜, 因此球差和色差不能完全消除。电磁透镜设计上尽量减少像差系数, 利用小孔径光阑、提高电源稳定性和选用短波电子束, 可以减少球差、色差和衍射差, 利用消像散器可以消除像散的影响。

电磁透镜的四种像差是同时存在的, 图 1-3a 中直径为 d_0 的物体经透镜成像为 d_1 , 透镜的四种像差对 d_1 都有影响, 使 d_1 尺寸变大, 图像分辨率变差。

四、几种显微镜的比较

光镜 (OM) 的出现, 开辟了微观视野。1939 年德国人 B. Borris 和 E. Ruska 推出第一台商业透射电镜 (TEM), 分辨率提高到亚微米范围。透射电镜与光镜有许多类同之处, 例如: 光源、分辨率、放大倍率、透镜、像差、衍射等光学术语均通用。两者之间的差异有几个方面, 透射电镜是利用高能短波长电子束照明样品代替光镜使用的可见光, 电镜利用电磁透镜组合构成电子光学成像系统, 现代透射电镜放大倍率可高达数十万倍, 分辨率优于 0.2nm。到 20 世纪 60 年代, 第一台商用扫描电镜 (SEM) 由英国 Cambridge 科学仪器公司推出。如图 1-5 所示, 荧光显示屏 6 英寸, 分辨率 50nm, 电子系统全部使用电子管, 其成像原理与上述两种系统不同。图 1-6 为三种显微镜的光路系统。

实验室中常用的光镜, 例如: 金相或双目体视显微镜, 虽然可以观察大块样品, 但分辨率、放大倍率和景深都较低。透射电镜分辨率高, 但样品制备要求苛刻, 使其在应用上受到较大的限制。扫描电镜功能齐全, 使用方便, 弥补了光学显微镜和透射电镜的不足, 又兼有两者的优点, 在各领域和多学科中获得广泛应用。

扫描电镜利用精细聚焦电子束照射在样品表面, 该电子束可以是静止或在样品表面作光栅扫描。在这个过程中, 电子束与样品相互作用产生各种信号, 其中包括二次电子、背散射电子、俄歇电子、特征 X 射线和不同能量的光子等, 这些信号来自样品中的特定区域, 分别利用探测器接收, 可以提供样品的各种信息, 用于研究材料的微观形貌、晶体学特征和微区化学成分。



图 1-5 第一代扫描电镜

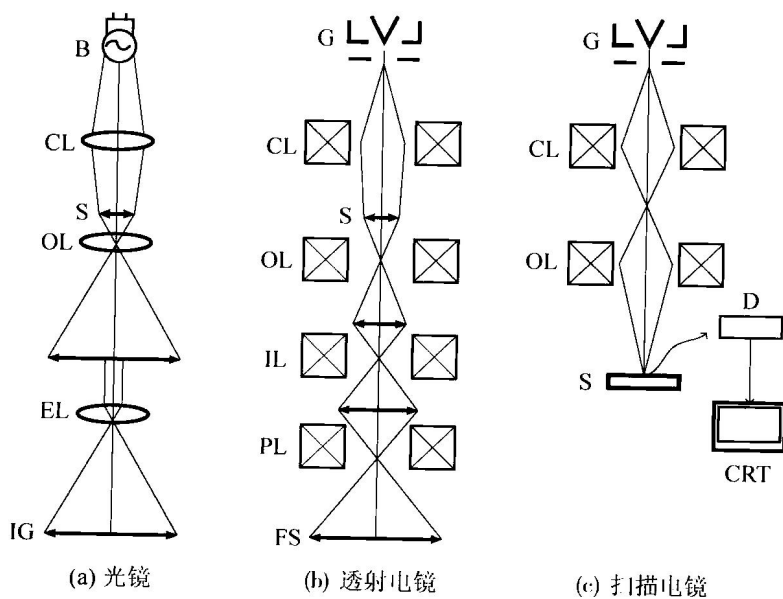


图 1-6 几种电镜的光路图

B—灯泡；CL—聚光镜；OL—物镜；EL—目镜；IG—成像毛玻璃；S—样品
G—电子枪；IL—中间镜；PL—投影镜；FS—成像荧光屏；D—信号探测器；CRT—成像显示屏

1. 扫描电镜的特点

(1) 分辨率高

在扫描电镜中，人们最感兴趣的信号是二次电子和背散射电子，这两种信号的发射强度随着样品表面的形貌和化学成分而变化。二次电子产区限于入射电子束射入样品的附近区域，从而获得相当高的形貌分辨率，场发射扫描电镜（FESEM）的图像分辨率已经优于 1nm，为纳米和亚微米尺度的研究提供了极大的便利。这类电镜属于扫描电镜的高端产品。

(2) 放大倍率宽

放大倍率与分辨率密切相关，为了获得高分辨率图像，必须使用高放大倍率。光镜放大倍率有限，最高到 1500 倍，透射电镜放大倍率可以高达 100 万倍，扫描电镜放大倍率范围可以从几倍至几十万倍，三种显微镜的放大倍率成为一个系列。在扫描电镜中，利用低倍观察样品的全貌，利用高倍研究样品的微观细节。操作时放大倍率连续可调，使用非常方便。低倍图像有光镜图像的特点，扫描电镜图像比较直观，容易解释。高倍图像可以与相应的透射电镜图像相比对。

(3) 三维立体效果好

光镜和透射电镜图像景深小，只能观察样品某个平面，在深度方向上是模糊的。扫描电镜图像景深大，有的电镜在电子光学系统上经过特殊设计，可以提供几十毫米的景深范围，即一张扫描电镜像不仅在 X 、 Y 两个方向上的细节清晰，而且在图像深度方向也很清楚。一幅二维图像，可以提供三维信息，使人们获得更多的微观信息量，适用于表面粗糙样品的观察，例如：金属材料断口、颗粒样品的三维形态分析。利用扫描电镜样品台的同轴心倾斜，可以获得样品的立体图像对（Stereo pairs），经合成后，变成立体图像，使用图像分析软件可以准确测量深度方向的数据，这是扫描电镜独特的性能。

(4) 样品制备简单

这是相对透射电镜而言的。在扫描电镜中，导电样品只要尺寸大小适于样品台安装，可以直接观察，不必进行特别制备。非导电样品通过表面镀导电膜层处理即可。近年可变压力扫描电镜（VPSEM）和环境扫描电镜（ESEM）的发展，采用差分真空系统，使样品周围的真空度保持较低或可变，样品不论干湿，例如含水的动植物样品或绝缘体均可以直接观察，大大拓宽了扫描电镜的应用范围。

(5) 综合分析能力强

扫描电镜可以安装多种附件，分别检测不同的信号，提供样品的相关信息。扫描电镜不单纯是微观放大系统，已经变成一台具有多种功能的分析仪器。能谱仪（EDS）和波谱仪（WDS）是最常用的附件，用于检测样品出射的特征 X 射线，提供材料化学成分的定性或定量分析结果。安装电子背散射衍射系统（EBSD），检测样品出射的背散射电子，用于表征晶体样品的结晶学特性。利用

样品拉伸台，对材料施加应力，可以在拉伸过程中观察材料动态应变特性，这是研究金属和高分子材料的一种必要手段。

(6) 操作容易

现代扫描电镜均由计算机控制，自动化程度高，各种操作参数和条件均保持在最佳值，使用者只要通过初步训练即可以很快上手，利用鼠标操作各种功能。图像或成分检测均提供数字化结果，存入光盘或闪盘中，可以在任何一台计算机上使用各种图像软件进行处理。这也是扫描电镜使用越来越普遍的原因之一。图 1-7 为现代场发射扫描电镜和能谱仪，图 1-8 为现代常规扫描电镜。

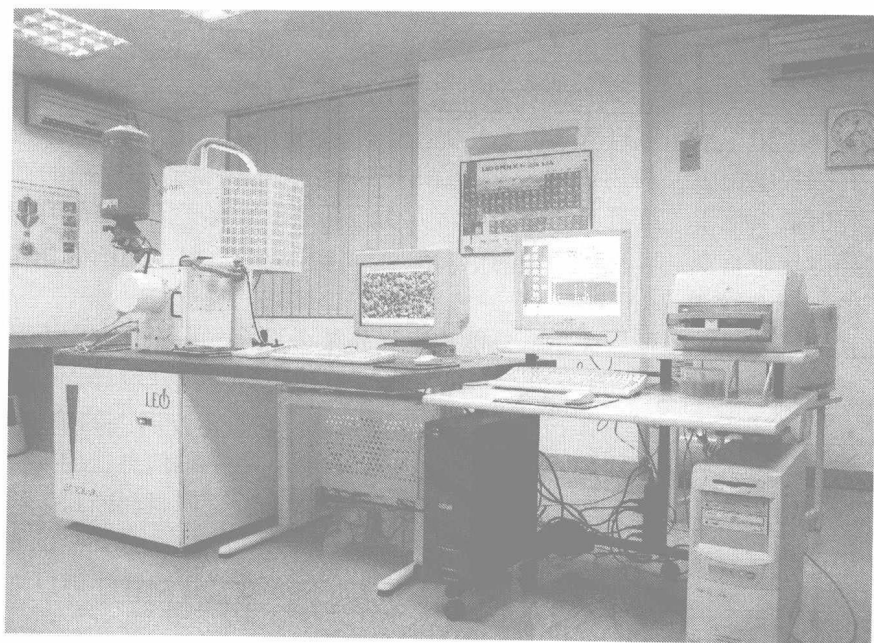


图 1-7 场发射扫描电镜与能谱仪

仪器型号:

场发射扫描电镜 (FE SEM): LEO 1530 VP 德国 LEO 公司 (照片左侧)

X 射线能谱仪 (EDS): INCA300 英国 Oxford 公司 (照片右侧)

技术指标:

FE SEM

1. 加速电压: 0.1 kV ~ 20 kV
2. 分辨率: 1 nm (二次电子像)
3. 放大倍率: 20 × ~ 900 k×
4. 可变真空范围: 1 Pa ~ 133 Pa

EDS

1. 分辨率: 133 eV
2. 可检测元素范围: ${}^4\text{Be} \sim {}_{92}\text{U}$
3. 可提供元素线扫描和面分布图

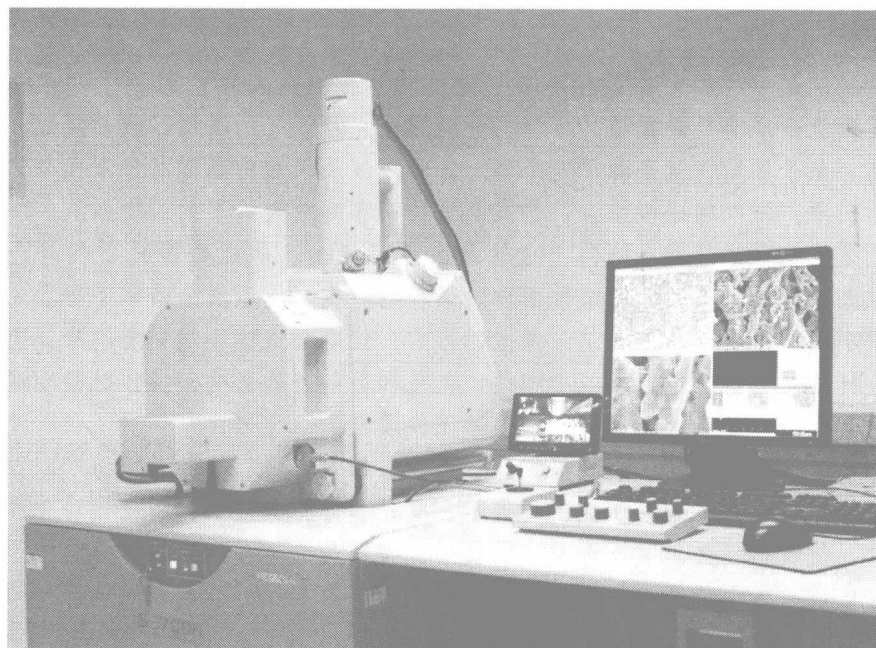


图 1-8 常规扫描电镜

仪器型号:

钨灯丝扫描电镜 (SEM): S-37000N 日本 Hitachi 公司

技术指标:

1. 加速电压: 0.3kV ~ 30kV
2. 分辨率: 3nm (二次电子像)
3. 放大倍率: $5\times \sim 300k\times$
4. 超大样品室: 可观察样品范围直径 200mm;
可容最大样品尺寸直径 300mm
5. 可变真空范围: 6Pa ~ 270Pa

2. 扫描电镜的应用范围

①金属、陶瓷、矿物、水泥、半导体、纸张、塑料、食品、农作物和化工产品的显微形貌、晶体结构和相组织的观察与分析。

②各种材料微区化学成分的定性定量检测。

③粉末、微粒、纳米样品形态观察和粒度测定。

④机械零件与工业产品的失效分析。

⑤镀层厚度、成分与质量评定。

⑥刑侦案件物证分析与鉴定。

⑦新材料性质的测定和评价。

⑧在生物、医学和农业等领域也有广泛应用, 此处未详细列出。