



中华人民共和国国家标准

GB/T 30705—2014

微束分析 电子探针显微分析 波谱法实验参数测定导则

Microbeam analysis—Electron probe microanalysis—
Guidelines for the determination of experimental parameters for
wavelength dispersive spectroscopy

(ISO 14594:2009, MOD)

2014-06-09 发布

2014-12-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 实验参数	2
5.1 概要	2
5.2 入射电子束参数	2
5.3 波谱仪参数	3
5.4 试样参数	4
6 测量步骤	4
6.1 概要	4
6.2 束流	4
6.3 谱峰测量参数	5
6.4 试样参数	7
7 实验报告	7
附录 A (资料性附录) 分析面积的估算方法	9
附录 B (资料性附录) 分析深度的估算方法	11
附录 C (资料性附录) X 射线分析体积的蒙特卡罗 (MC) 模拟估算方法	12
参考文献	15

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用重新起草法修改采用 ISO 14594:2009《微束分析 电子探针显微分析 波谱法实验参数测定导则》(英文版)。

本标准与 ISO 14594:2009《微束分析 电子探针显微分析 波谱法实验参数测定导则》(英文版)的主要技术差异:

——用 GB/T 27025:2008 代替 ISO Guide 25:1990;

——将第 7 章中 ISO Guide 25:1990 的 13.2 项修改为 GB/T 27025—2008 的 5.10。

本标准由全国微束分析标准化技术委员会(SAC/TC 38)提出并归口。

本标准起草单位:中国科学院上海硅酸盐研究所。

本标准主要起草人:曾毅、李香庭、吴伟。

微束分析 电子探针显微分析 波谱法实验参数测定导则

1 范围

本标准规定了进行电子探针分析时的入射电子束、波谱仪和试样的实验参数测定的一般原则,并规定了束流、束流密度、死时间、波长分辨率、背底、分析面积、分析深度和分析体积的测定过程。

本标准适用于垂直入射电子束对抛光试样的分析,对于其他实验条件,这些实验参数只能作为参考。

本标准不适用于能谱法。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 27025—2008 检测和校准实验室能力的通用要求(ISO/IEC 17025:2005, IDT)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

分析面积 analysis area

能检测到全部信号或者规定百分数信号的试样表面的二维区域。

3.2

分析深度 analysis depth

从试样表面到作用体积底部的垂直距离,经过该距离能检测到全部信号或者规定百分数的信号。

3.3

分析体积 analysis volume

试样中 X 射线发射的三维区域,在该区域内的全部信号或者规定百分数信号能被检测到。

3.4

背底 Background

由连续 X 射线产生的 X 射线谱的非特征成分。

3.5

束流 beam current

聚焦电子束中的电流。

3.6

束流密度 beam current density

试样单位面积上的入射束流。

3.7

死时间 dead time

探测器和/或计数系统测量一个光子信号后,不能处理下一个光子信号所需的时间。

3.8

波长分辨率 wavelength resolution

由单一 X 射线谱峰测得的谱峰半高宽。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

EPMA 电子探针显微分析(electron probe microanalysis)

FWHM 谱峰半高宽(full width at half maximum)

WD 波长色散(wavelength dispersive)

5 实验参数

5.1 概要

应该记录 5.2.1~5.2.4 的测量参数。仪器的维护保养计划中,应包括核对仪器的电子束能量、束流、放大倍率和计数死时间等的校准值。

5.2 入射电子束参数

5.2.1 电子束能量

电子束能量的典型值可以从 2 keV~30 keV。大多数情况下,电子束能量的校准对定性分析并不重要。

注:在薄层厚度或元素深度分布测量及采用低过压比进行测量时,电子束能量的校准就显得至关重要。

5.2.2 束流

因为 X 射线峰强度与束流大小成正比,所以束流测量的精度应该优于定量分析所要求的精度。

注:束流的长时间稳定性对定量分析结果的一致性至关重要。束流的稳定性应该定期测量,特别在定量校正和定量分析前应该测量束流的稳定性。如果每次测量前后记录束流,则可能对束流的微小变化进行补偿。在对 X 射线峰值和背底的所有测量中,应该用 I_i/I_0 标定束流的变化,其中 I_i 为初始束流, I_0 为测量时的束流。

5.2.3 束流密度

当分析对电子束敏感的材料时,束流密度特别重要。聚焦电子束的束流密度可能超过 10^4 A/m²。测量过程中,通过降低入射电子束流能够减小有效束流密度。当横向分辨率不是关键时,通过电子束散焦或者用电子束光栅扫描的方法也可降低有效束流密度。如果采用光栅扫描的方法,因为选定波长的有效谱仪效率会随电子束偏转范围的增加而减小,所以必须用类似的扫描方法对标样和试样进行比较测量,见 5.3.5 中注 3。

5.2.4 放大倍率

当用电子扫描模式操作时,为了确定用偏转入射电子束获得的扫描线和图像的尺度,必须校准放大倍率。

5.3 波谱仪参数

5.3.1 概要

一台仪器可以配备一道或者多道波谱仪,每道波谱仪配置几种衍射晶体,可根据其所覆盖分析元素 X 射线波长的特定范围来选择晶体。以下参数对正确操作波谱仪非常重要。

5.3.2 检出角

因为检出角会影响定量分析结果,所以在比较具有不同检出角的仪器所测量的结果时,应该考虑检出角的影响,并在分析报告中注明测量仪器的检出角。

注:检出角通常是固定值,由仪器厂家提供。

5.3.3 波长分辨率

波长分辨率依赖于许多参数:

- 晶体材料(以及其晶面米勒指数);
- 衍射晶体的曲率半径(全聚焦晶体、半聚焦晶体);
- 半聚焦晶体的散焦;
- 计数器入射窗口或者狭缝(如果存在)的尺寸和位置。

以上参数决定了测量的 X 射线谱的波长分辨率(特征 X 射线谱峰半高宽:FWHM)。分辨率能影响系统鉴别重叠峰和背底信号的能力,并影响试样高度和试样上的电子束位置变化时的测量灵敏度。

5.3.4 X 射线探测器和计数系统

许多谱仪是应用充气式正比计数器探测 X 射线,这些探测器输出的脉冲高度取决于入射 X 射线能量和/或计数器的电压。应用两种脉冲鉴别器的设置选择测量的脉冲,应用低脉冲鉴别器的设置是消除噪音脉冲,当用高脉冲鉴别器设置时,能够排除更高能量的 X 射线产生的高阶衍射,最佳设置依赖于检测的 X 射线。为了确保脉冲幅度的任何意外变化(例如高计数率或者气温和流气计数器的压力变化)对测量计数率没有明显的影响,鉴别器的设定是关键。

注:因为 X 射线计数效率随计数率的增加而减小,所以必须校正死时间对测量计数率的影响。在一个自动测量系统中,鉴别器能自动设定,为了确保正确的自动操作,日常应该检查这些设置。

5.3.5 峰值位置(波长)

正常情况下,将最大峰值强度的波长位置定义为 X 射线谱峰位置。必须应用合适的参考物质,定期检查和校正所用谱仪及衍射晶体的理论峰值位置与实际测量峰值位置的差。检查周期依赖于仪器谱仪的稳定性。

峰值位置的误差,对 FWHM 值较窄的谱峰测量的最大强度影响很大。化学态和极化效应可能改变峰值强度。

注 1:如果试样和参考物质中测量元素的化学态不同,那么试样和参考物质的特征 X 射线谱峰形状可能不同。这种情况下,在谱峰最大强度峰位处不能可靠地测量谱峰的总强度,但可以选择另外的方法测量,例如可能需用谱峰面积测量来获得可靠的结果。对低能量的 X 射线谱峰,化学态的影响特别明显。

注 2:如果一个晶体试样产生与分析晶体之间有方位变化的极化效应,峰形和峰位就可能改变。通过试样绕垂直于试样表面的电子束轴旋转能检查这种变化并观察对峰形和峰位的影响。极化效应能够在对称性低于立方晶系和高于三斜晶系时出现,并且当 Bragg 角接近 45° 时最明显。该现象是在石墨^[1]和某些硼化物^[2]中发现的,应用峰面积测量能明显降低这种现象的影响。

注 3:试样的最大强度峰位随电子探针偏离谱仪聚焦点而变化。校准测量和试样的定量分析应该应用相同的电子

探针聚焦点位置,如果应用电子束散焦或者电子束光栅扫描的方法分析,应该应用相同的散焦和电子束光栅扫描条件。应用散焦或者电子束扫描进行定性、定量分析时,试样表面的照射面积不能太大,以免 X 射线计数明显低于静态聚焦电子束测量的计数。

5.3.6 背底

特征 X 射线谱峰是叠加在连续 X 射线的背底上。如果特征 X 射线计数具有统计意义,为了正确地计算特征 X 射线强度,需要测量背底强度并进行修正。

5.4 试样参数

5.4.1 试样台

高精度的 X、Y、Z 试样台能将试样和标样在电子束下准确定位。应用电子探针的光学显微镜能确定试样高度,使 WDS 轴线和入射电子束在试样表面相交。为了得到准确的定量结果,电子束(光轴)必须垂直于试样台。仪器的日常维护保养时,应检查和调节光学显微镜。

自动操作方式是在标样和试样的预设点上测量,了解试样台复位到预设点的再现性,并采取适当措施克服明显的影响因素很重要。

5.4.2 表面光洁度

为了得到最佳的定量结果,试样表面光洁度应该尽量高。

5.4.3 分析体积

分析体积是由入射束面积、电子束穿透深度、入射束在试样中的扩展及特征 X 射线能量确定。由于特征 X 射线和连续 X 射线的荧光效应,分析体积会明显增加。

6 测量步骤

6.1 概要

应该采用如下步骤测定一些关键参数。

6.2 束流

6.2.1 测量

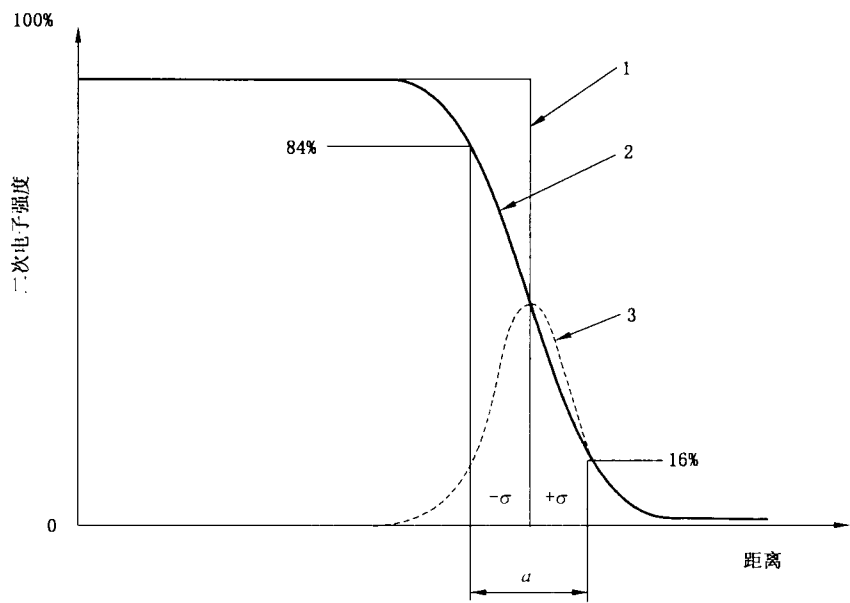
用法拉第杯测量束流,法拉第杯应该置于末级光阑之后。如果在其他位置测量,应该说明当前测量位置与上述测量位置之间的关系。

6.2.2 束流密度

该步骤是给出电子束中的平均电流密度。假设电子束剖面束流分布服从高斯分布,应用 6.2.2.1a) 或 6.2.2.1b) 测量值可以计算束流密度。

6.2.2.1 电子束直径可按如下方法之一确定:

- 电子束直径能定义为发射的二次电子从最大峰值强度的 84% 下降到 16% 的间距,相当于误差曲线(图 1)的二倍标准偏差(2σ)。电子束直径应该用入射电子束沿直角方向越过刀边来测量。
- 用光学显微镜测量氧化铝、氧化锆或者氧化钽等荧光材料显示的荧光区域的直径作为电子束径。当束径大于 $5\text{ }\mu\text{m}$ 时可用该方法测量。



说明：
1——实际范围；
2——测量曲线；
3——误差函数；
 a ——直径。

图 1 电子束直径的测量方法

6.2.2.2 束流密度可以用入射束流(按 6.2.1 确定)除以电子束面积计算。对圆形散焦电子束面积为 $\pi d^2/4$, d 为电子束直径。

6.3 谱峰测量参数

6.3.1 死时间校正

根据 6.2.1 测量束流 i 并测量计数率 N 。

6.3.1.1 如图 2 所示,用计数率 N 除以束流值 i 作为纵坐标值、计数率 N 为横坐标值作校正曲线。

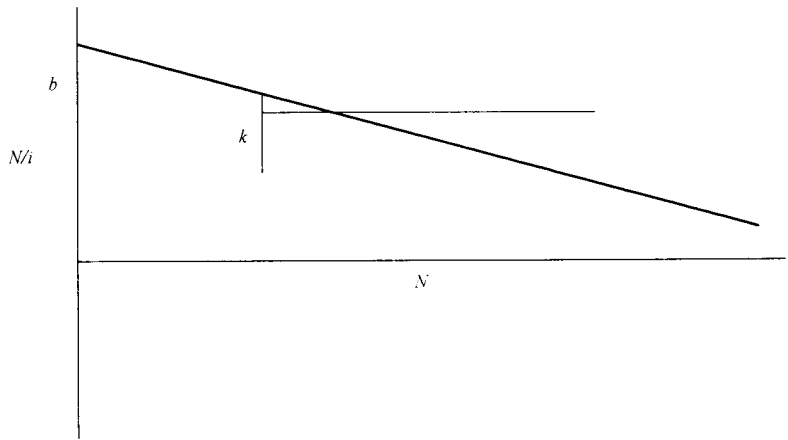


图 2 死时间产生的计数损失

为了确认束流测量装置的线性度,应该同时用低强度线计数率 n 和高强度线计数率 N 进行监视;整个测量时间内 n/i 应该为常数。典型的例子是用 K_{α} 线测量 N ,相应的 K_{β} 线测量 n 。

注:如果探针电流不能准确测量,死时间可以通过在两个谱仪上测得的两个 X 射线强度比作为计数率函数^[2, 3]进行测量。

6.3.1.2 由校正曲线测量斜率 k 和纵坐标截距 b 值后,由式(1)计算死时间 τ :

$$\tau = \frac{-k}{b} \dots\dots\dots (1)$$

6.3.1.3 用式(2)计算正确的计数率 N_0 :

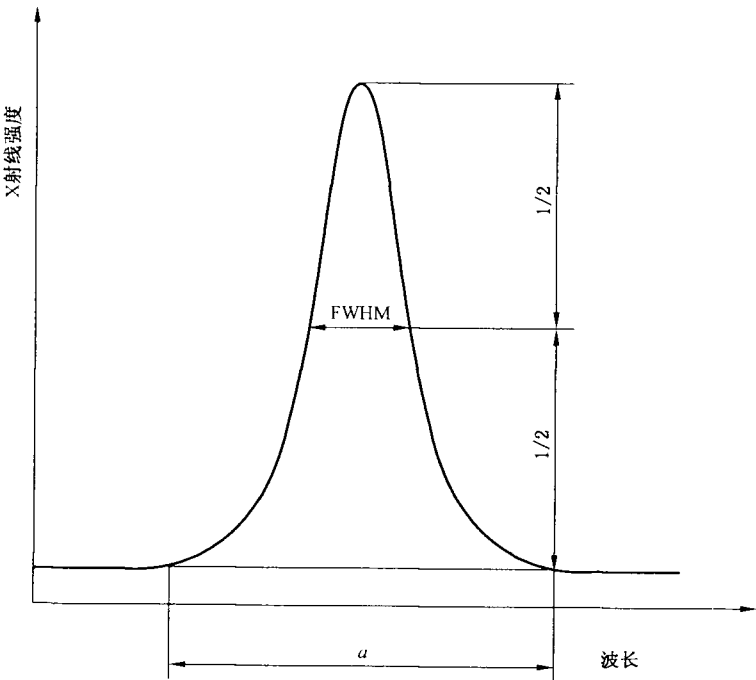
$$N_0 = \frac{N}{1 - N \times \tau} \dots\dots\dots (2)$$

为了准确测量计数率,应该限定死时间校正不能超过 5%。

6.3.2 测定特征 X 射线谱峰的波长分辨率

6.3.2.1 通过测量扫描的波长范围内的 X 射线信号强度,来获得元素的特征 X 射线强度与波长关系的谱图。

6.3.2.2 应用如下定义计算所测定的特征 X 射线波长分辨率:波长分辨率等于谱峰扣除背底后(见 6.3.3)的谱峰半高宽(FWHM),如图 3 所示。



说明:
 a ——背底。

图 3 FWHM 定义

6.3.3 背底扣除

6.3.3.1 因为观测到的 X 射线峰值强度是特征 X 射线峰值强度与背底强度之和,所以特征 X 射线峰值的净强度由观测到的 X 射线峰值强度扣除背底强度获得。

6.3.3.2 根据 6.3.2.1 测定 X 射线强度与波长关系的谱图。

6.3.3.3 尽可能靠近测量的谱峰两侧选择背底的波长位置,但谱峰的剩余强度要低于谱峰最大强度的 1%,并要避开次要峰和干扰峰。为了获得净特征谱峰强度,要从测量的谱峰强度扣除背底强度。峰值位置的背底强度,应该在选择的两个背底强度之间通过线性内插法估算。

注 1: 当背底强度随波长快速变化时,或者靠近谱峰位置有干扰而妨碍背底位置选择时,按 6.3.3.3 步骤测量背底可能困难。在这些情况下,需要用曲线拟合的方法估算背底,或者用平均原子序数尽可能与被分析试样接近,而且不含有所分析元素特征峰的材料来测量背底。

注 2: 为了达到所需要的测量精度,测量背底强度的时间应该足够长。

注 3: 要考虑测量的特点,例如测量主量元素还是测量痕量元素是很重要的,而且应该详细记录单个元素和所有元素达到的精度。

6.4 试样参数

6.4.1 概要

许多常规分析中,不需要单独计算分析体积的大小,可以根据以前的类似分析来估算。但在特殊情况下,例如对杂质物、细颗粒材料或者涂层分析时,分析的空间分辨率为分析的有效性提供了重要依据,在这些情况下,分析深度、分析面积或者分析体积可以应用 6.4.2~6.4.4 的信息进行计算,计算方法和计算结果应该包括在报告中。

附录 A、附录 B 和附录 C 分别为分析面积、分析深度和分析体积的测定方法。

6.4.2 分析面积

用合适的方法估算分析面积,要列出所用的所有参数。

6.4.3 分析深度

用合适的方法估算分析深度,要列出所用的所有参数。

6.4.4 分析体积

分析体积的一级近似等于分析面积(6.4.2)乘以分析深度(6.4.3)。更精确的分析体积应该用附录 C 中的方法之一进行计算。

7 实验报告

应该保存仪器和每个实验结果的记录,如果需要,实验报告应符合 GB/T 27025—2008 中 5.10 的要求。报告至少包含如下信息:

- a) 应用的实验方法名称;
- b) 完成校准或者测试的实验室名称和地址;
- c) 客户的名称和地址;
- d) 校准项目或者测试项目的接收日期和完成日期;
- e) 仪器型号和序列号;
- f) 相关的采样过程;
- g) 入射束能量;
- h) 束流;
- i) 探测的 X 射线谱峰;

- j) 仪器的检出角；
- k) 分析体积的估算方法,式(A.1)的相关常数值；
- l) 计算校准或者测试结果的不确定度；
- m) 对校准方法或者检测方法的偏离、增添或删除,以及其他特定校准和检测条件的信息,如环境条件；
- n) 签名和签名者职位,或者报告责任人的身份,报告发布日期。

附 录 A
(资料性附录)
分析面积的估算方法

虽然波谱分析中一般不需要估算分析面积,但当分析微粒、细晶粒材料或者层状试样时,测定分析面积常常是有用的。估算具有足够能量的电子激发所分析元素 X 射线产生的近似面积,文献中有不同的方法。应用这些方法均可以估算分析面积的一级近似值,分析面积 A 的方程如下:

$$A = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

d ——用如下方法之一计算或者估算的直径:

- a) 蒙特卡罗方法(见附录 C)。
- b) 用式(A.2)测定分析面积的直径后计算分析面积,式(A.2)是根据电子穿透扩散模型获得,所用式(B.1)的常数为 0.025。

$$d = D_e + \frac{2.2\gamma}{1+\gamma} \times Z_m \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

$$\gamma = 0.187Z \frac{2}{3};$$

$$Z_m = 0.025(E_i^{1.7} - E_k^{1.7}) \times \frac{m_a}{\rho Z};$$

d ——分析面积直径(μm);

D_e ——入射电子束直径(μm);

Z_m ——X 射线产生深度(μm);

Z ——轰击点的平均原子序数;

E_i ——入射电子能量(keV);

E_k ——临界激发能(keV);

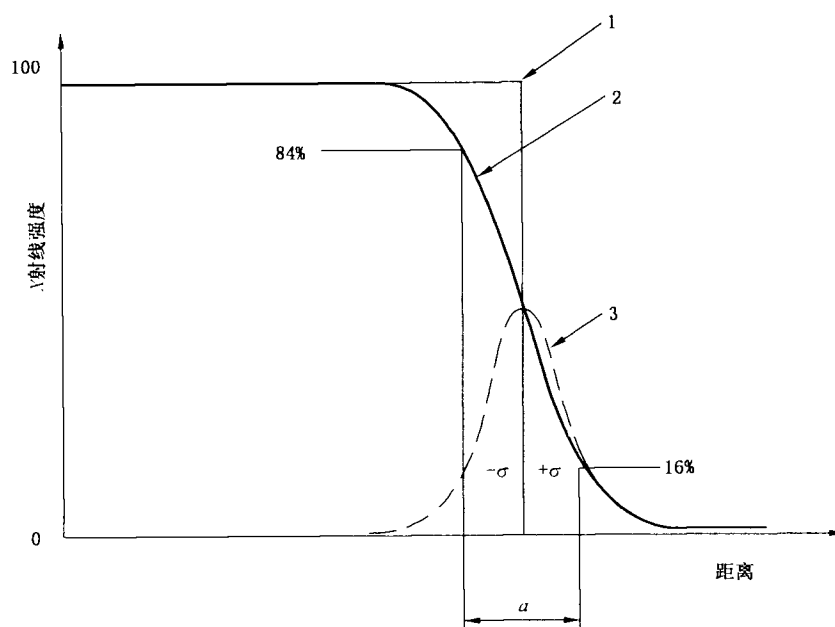
m_a ——轰击点的平均原子量;

ρ ——轰击点的平均质量密度(g/cm^3)。

- c) 用双金属试样按下述方法估算分析面积的直径。

用电镀方法制备质量密度相近的两种金属结合的试样,两种金属之间没有产生扩散仅有很小的荧光效应,例如 Ni/Cu。垂直于两种金属界面移动电子束或者试样台的同时,测量 X 射线强度作为移动距离的函数。从测量的特征 X 射线最大强度的 84% 下降到 16% 之间的间距,作为检测的 X 射线信号面积的直径。该间距等于误差曲线两倍的标准偏差(2σ),如图 A.1 所示。

注:该方法仅适用于特定的金属偶,除非电子束直径远大于电子束扩展范围。



说明:

- 1——边界;
- 2——测量曲线;
- 3——误差函数曲线;
- a ——直径。

图 A.1 估算分析面积

附 录 B
(资料性附录)
分析深度的估算方法

虽然波谱分析中一般不需要测定分析深度,但当分析微粒、细晶粒材料或者层状试样时,测定分析深度常常是有用的。估算有足够能量的电子激发所分析元素 X 射线穿透的近似深度,文献中有不同的方法,这些方法均可以估算分析深度的一级近似值,下面概述了 3 种估算方法。然而,准确的分析深度(定义为谱仪探测的特征 X 射线信号高于 $n\%$ 的深度, n 大于 90)能明显受被吸收 X 射线的深度分布的影响,特别对低能量 X 射线或者高原子序数材料,以及由于特征 X 射线和连续 X 射线荧光效应产生的 X 射线,会明显影响分析深度。其他测量方法也可以应用。

- a) $\varphi(\rho Z)$ 表达式^[4];
- b) 蒙特卡罗模拟(见附录 C);
- c) 根据大量实验结果得到的式(B.1)。

$$Z_m = \text{常数} \times (E_i^{1.7} - E_k^{1.7}) \times \frac{m_a}{\rho Z} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

Z_m ——X 射线产生的深度 (μm);
 E_i ——入射电子的能量 (keV);
 E_k ——临界激发能 (keV);
 m_a ——轰击点的平均原子量;
 ρ ——轰击点的质量密度 (g/cm^3);
 Z ——轰击点的平均原子序数。

$$m_a = \sum_i C_i m_{a,i}$$

$$Z = \sum_i C_i Z_i$$

式中:

C_i ——元素 i 的质量分数;
 $m_{a,i}$ ——元素 i 的原子量;
 Z_i ——元素 i 的原子序数。

注: 式(B.1)中的常数通常用 0.033^[5] 或者 0.025^[6], 常数 0.025 和 0.033 分别为近似 95% 和 99% 的特征 X 射线产生的深度 Z_m 。

附 录 C (资料性附录)

X 射线分析体积的蒙特卡罗(MC)模拟估算方法

当电子束入射到试样时,由于电子在试样内的穿透过程,X 射线是从很大的体积内产生。在 X 射线显微分析中,要知道分析的空间分辨率,必须估算分析体积。该体积取决于电子束能量、特征 X 射线种类等。迄今为止,已经建立了许多估算分析体积的方法,例如根据输运方程建立的实验分析方法和蒙特卡罗方法等。如下是根据电子散射理论概述了用蒙特卡罗方法模拟电子的行为,由于该方法是应用伪随机数进行随机采样,所以是一种统计的方法。该方法能应用于任何固体材料,适用于任何类型的实验条件,在模拟程序中条件比较容易设定。这里只讨论最简单的单散射模型,其他方法也可以应用。

C.1 根据如下理论和估算方法,能够用蒙特卡罗法模拟固体中电子轨迹

a) 基本方程

根据卢瑟福(Rutherford)屏蔽理论^[7],微分散射截面为:

$$\frac{d\sigma_i}{d\Omega} = \frac{e^4 Z_i (Z_i + 1)}{4E^2 (1 + 2\beta_i - \cos\theta)^2} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

Ω —— 散射立体角;

e —— 元素电荷;

Z_i —— 元素 i 的原子序数;

E —— 电子动能(eV)。

屏蔽系数^[8]:

$$\beta_i = \frac{5.44 Z_i^{2/3}}{E} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

阻止本领^[9]:

$$\frac{dE}{dS} = -2\pi e^4 \rho \times \frac{N}{E} \times \sum \frac{C_i Z_i}{A_i} \times \ln \frac{1.166E}{J_i} \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

平均电离能^[10]:

$$J_i = 9.76 Z_i + 58.5 Z_i^{-0.19} \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

b) 散射过程

弹性散射概率:

$$P(\theta, \varphi) d\Omega = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \times \frac{1}{\sigma_i} \right) d\Omega \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

θ, φ —— 入射电子散射角(见图 C.1);

σ_i —— 总弹性散射截面。

角 φ 由式(C.6)给出:

$$\varphi = 2\pi R_1 \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

式中:

R_1 为随机数, $0 < R_1 < 1$ 。

角 θ 由式(C.7)给出:

$$F(\theta) = \int_{\Omega} P(\theta, \varphi) d\Omega = \int_{\theta} 2\pi \sin\theta \times P(\theta) d\theta \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

$$\cos\theta = 1 - \frac{2\beta_i F(\theta)}{1 + \beta_i - F(\theta)}$$

式中:

$F(\theta)$ ——弹性散射进入 $\theta=0\sim\theta$ 角的弹性散射概率的积分,随机数为: $0\leq F(\theta)\leq 1$

弹性散射事件之间的步长为:

$$\Delta S = -L \times \ln(R_2) \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

式中:

R_2 为随机数, $0\leq R_2\leq 1$ 。

从一个弹性散射事件到下一个弹性散射的能量损失:

$$\Delta E = \Delta S \times |dE/dS| \quad \dots\dots\dots (C.9)$$

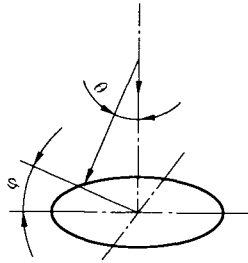


图 C.1 散射过程中 θ 和 φ 角的定义

C.2 根据电离数估算 X 射线的产生

X 射线光子数:

$$n_i = C_i \rho \times \frac{N}{m_{a,i}} Q_i L$$

电离截面^[11]:

$$Q_i = \text{常数} \times \ln \frac{4U_i}{1.65 + 2.35 \exp(1 - U_i)} \times \frac{1}{E_{ci}^2 U_i} \quad \dots\dots\dots (C.10)$$

平均自由程:

$$L = \frac{1}{\rho N \sum (C_i \sigma_i / m_{a,i})} \quad \dots\dots\dots (C.11)$$

式中:

U_i ——过压比(E/E_{ci});

E_{ci} ——元素 i 的临界激发能(eV);

ρ ——轰击点的质量密度;

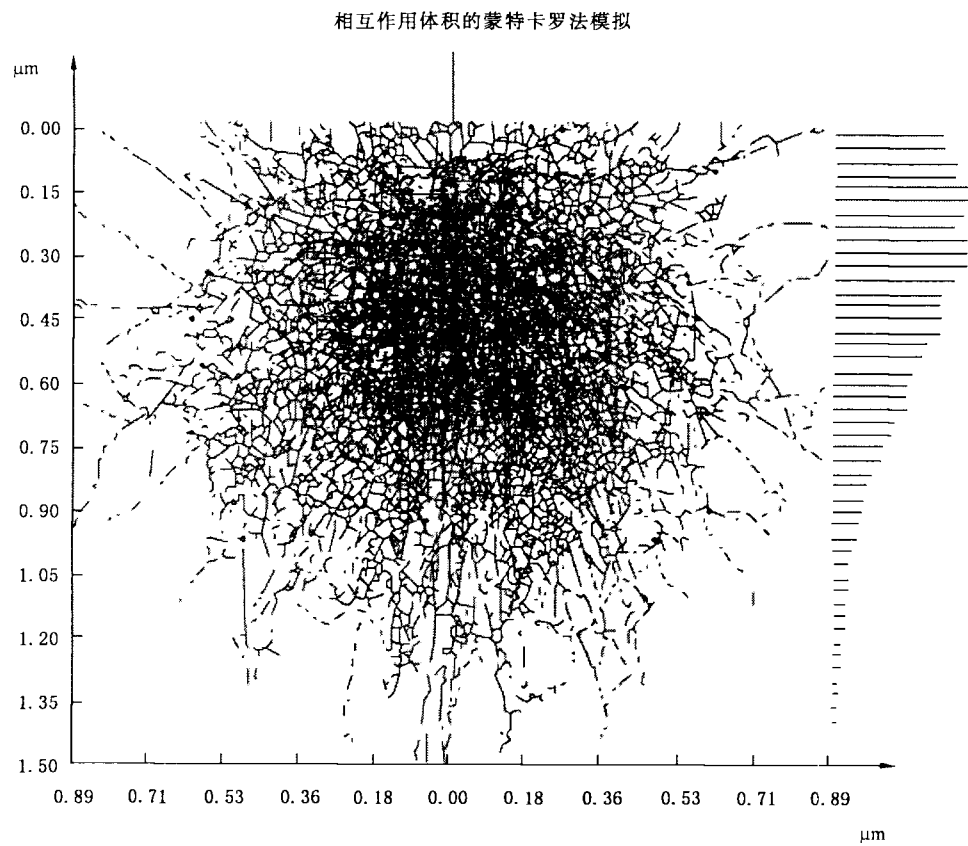
N ——阿伏伽德罗常数;

C_i ——元素 i 的质量分数;

$m_{a,i}$ ——元素 i 的原子量。

C.3 引入合适的 X 射线吸收参数,应用式(C.1)~式(C.11)计算发射的 X 射线分布

图 C.2 为应用蒙特卡罗模拟估算 X 射线分析体积的实例。



注：采样条件：10 keV；倾斜角：0；轨迹数：1 000；B.S.系数：0.243；块状试样 Si：SiK α 。

图 C.2 应用蒙特卡罗模拟估算 X 射线分析体积的实例

参 考 文 献

- [1] MCFARLANE, A.A., *Micron*, 3, 1972:506.
 - [2] HEINRICH, K.F.J., *Electron Beam X-ray Microanalysis*, p. 142, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1981.
 - [3] REED, S.J.B., *Electron microprobe analysis*, Second edition, p.101, Cambridge, Cambridge University Press, 1993.
 - [4] POUCHOU, J. L. and PICHOU, F., *Electron Probe Quantitation*, Ed Heinrich and Newbury, Plenum Press, New York, (1991) pp. 31-75.
 - [5] CASTAING, R., *Advances in Electronics and Electron Physics*, vol. 13, p 317, Academic Press, New York, 1960.
 - [6] SOEJIMA, H., *Surface Science*, 1979, vol.85, p. 610.
 - [7] MURATA, K., MATSUKAWA, T. and SHIMIZU, R., *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1971, vol. 10, p. 678.
 - [8] NIGAM, B.P., SUNDARESEN, M.K. and WU TA-YOU, *Phys. Rev.* 1959, vol. 115, p. 491.
 - [9] BETHE, H.A., *Ann. Physik Lpz.* 1930, vol. 5, p. 325.
 - [10] BERGER M.J. and SELTZER S.M., N.A.S.N.R.C. Publ. 1133, Washington D.C., 205 (1964).
 - [11] WORTHINGTON, C.R. and TOMLIN, S.G., *Proc. Phys. Soc.* 1956, vol. 69, p. 401.
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
微束分析 电子探针显微分析
波谱法实验参数测定导则

GB/T 30705—2014

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 30 千字
2014 年 8 月第一版 2014 年 8 月第一次印刷

*

书号: 155066·1-49768 定价 21.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 30705-2014