



中华人民共和国国家标准

GB/T 47073—2026/ISO 23170:2022

表面化学分析 深度剖析 中能离子 散射术对硅基底上纳米尺度 重金属氧化物薄膜的无损深度剖析

Surface chemical analysis—Depth profiling—Non-destructive
depth profiling of nanoscale heavy metal oxide thin films on
Si substrates with medium energy ion scattering

(ISO 23170:2022, IDT)

2026-01-28 发布

2026-08-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 MEIS 分析的原理和建议 1

5 MEIS 分析 2

6 MEIS 谱模拟 2

7 MEIS 谱分析结果报告 4

附录 A (资料性) 实验室间测试报告 5

附录 B (资料性) MEIS 谱模拟程序源代码列表和使用 PowerMeis 进行 MEIS 谱模拟的程序 17

附录 C (资料性) IAEA 电子阻止本领数据的可靠性 20

附录 D (资料性) 据 IAEA 数据库拟合参数 A、B、C 和 D 22

参考文献 28

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件等同采用 ISO 23170:2022《表面化学分析 深度剖析 中能离子散射术对硅基底上纳米尺度重金属氧化物薄膜的无损深度剖析》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- a) 按照在文中引用的顺序，将脚注中的 3 和 4 序号更正了顺序，即进行了对调。
- b) 图 A.3 增加“注：黑线为试验数据，红线为模拟结果，绿线为红线乘以常数 C 后所得与黑线吻合良好的曲线。”
- c) 根据文献[16]及本文件中公式(1)，将附录 A 的表 A.4 中表头处参数“A”的单位更正为 $\text{eV}^{0.5} \cdot \text{cm}^2 / 10^{16.5} \text{ atoms}$ 。
- d) 根据文献[16]，将附录 A 中的公式(A.1)更正为 $S_s = K \frac{S_s(E_0)}{\cos\alpha} + \frac{S_s(KE_0)}{\cos\beta}$ ， $S_N = K \frac{S_N(E_0)}{\cos\alpha} + \frac{S_N(KE_0)}{\cos\beta}$ 。
- e) 将附录 C 的公式(C.1)和(C.2)中涉及符号 P 的项更正为密度符号 ρ 。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国表面化学分析标准化技术委员会(SAC/TC 608)提出并归口。

本文件起草单位：中石化石油化工科学研究院有限公司、季华实验室、中国计量科学研究院、河北工程大学、国家纳米科学中心。

本文件起草人：邱丽美、范燕、王海、侯俊先、武春霞、忻睦迪、徐鹏。

引 言

中能离子散射术(MEIS)自 20 世纪 80 年代初发明以来,一直被认为是一种具有单原子深度分辨的表面和界面组成定量分析方法。MEIS 已广泛用于超薄膜特别是纳米栅极氧化物的分析,以确定其成分、厚度和界面。最近,MEIS 被用于纳米颗粒分析,以确定具有核壳结构样品的尺寸和组成。随着 MEIS 技术的发展,除了早期使用的环形静电能量分析器外,不同类型的能量分析器如磁扇型分析器和飞行时间(TOF)能量分析器也已被应用。此外,随着电子器件等检测对象的尺寸持续缩小,由于溅射损伤导致提供的深度剖析结果变差,对深度剖析准确性和可靠性的要求已经超出了溅射深度剖析的极限。需要研究 3 种类型的能量分析器、离子种类和用于 MEIS 分析入射离子的不同能量范围之间的一致性,并建立 MEIS 定量分析的程序。附录 A 报告了两次国际实验室间测试结果。

表面化学分析 深度剖析 中能离子 散射术对硅基底上纳米尺度 重金属氧化物薄膜的无损深度剖析

1 范围

本文件描述了使用中能离子散射术(MEIS)对硅基底上无定形重金属氧化物超薄膜进行定量深度剖析的方法。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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。

ISO 18115-1:2013 表面化学分析 词汇 第1部分:通用术语及谱学术语(Surface chemical analysis—Vocabulary—Part 1:General terms and used in spectroscopy)

注:GB/T 22461.1—2023 表面化学分析 词汇 第1部分:通用术语及谱学术语(ISO 18115-1:2013,IDT)

ISO 18115-2:2013 表面化学分析 词汇 第2部分:扫描探针显微术术语(Surface chemical analysis—Vocabulary—Part 2:Terms used in scanning-probe microscopy)

注:GB/T 22461.2—2023 表面化学分析 词汇 第2部分:扫描探针显微术术语(ISO 18115-2:2013,MOD)

3 术语和定义

ISO 18115-1 和 ISO 18115-2 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电子阻止本领 electronic stopping power

α 粒子和质子等带电粒子与电子相互作用时受到的减速力,该减速力会导致粒子能量损失。

4 MEIS 分析的原理和建议

4.1 厚度小于 10 nm 的超薄膜能使用 MEIS 分析。分析时使用 100 keV~500 keV 的 H^+ 或者 He^+ 离子。精确测量散射离子能量和角度,以便将测量谱与模拟谱进行比较。能使用公共网站、MEIS 专家实验室和制造商提供的免费程序(如 PowerMeis¹⁾ 和 SIMNRA²⁾)来模拟 MEIS 谱。模拟程序能计算散射截面和电子阻止本领。通常,计算出的电子阻止本领值误差很大,因此建议使用 IAEA 网站³⁾上列出的电子阻止本领值。

4.2 如果 IAEA 网站未列出所需的电子阻止本领值,则建议用户进行相关测量以获得更可靠的结果。

1) <http://tars.if.ufrgs.br>

2) <https://home.mpcdf.mpg.de/~mam/>

3) 可从以下网址获得:<http://www-nds.iaea.org/stopping/> (注:原文编号为 4,该文件中按顺序编号原则改为 3。)