



中华人民共和国国家标准

GB/T 36053—2018/ISO 16413:2013

X 射线反射法测量薄膜的厚度、 密度和界面宽度 仪器要求、准直和定位、 数据采集、数据分析和报告

Evaluation of thickness, density and interface width of thin films by X-ray
reflectometry—Instrumental requirements, alignment and positioning,
data collection, data analysis and reporting

(ISO 16413:2013, IDT)

2018-03-15 发布

2019-02-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	I
引言	II
1 范围	1
2 术语、定义、符号和缩略语	1
2.1 术语和定义	1
2.2 符号和缩略语	3
3 仪器要求、准直和定位指南	4
3.1 扫描方法的仪器要求	4
3.2 仪器准直	7
3.3 样品准直	8
4 数据采集和存储	9
4.1 概述	9
4.2 数据扫描参数	9
4.3 动态范围	10
4.4 步长(峰定义)	10
4.5 采集时间(累计计数)	10
4.6 分段数据采集	10
4.7 降低噪声	10
4.8 探测器	11
4.9 环境	11
4.10 数据存储	11
5 数据分析	11
5.1 初步数据处理	11
5.2 样品建模	12
5.3 XRR 数据模拟	13
5.4 一般举例	14
5.5 数据拟合	17
6 XRR 分析报告中的必要信息	18
6.1 概述	18
6.2 实验细节	18
6.3 分析(模拟和拟合)程序	18
6.4 报告 XRR 曲线的方法	19
附录 A (资料性附录) 氮氧化硅晶圆测量报告示例	22
参考文献	26

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用翻译法等同采用 ISO 16413:2013《X 射线反射法测量薄膜的厚度、密度和界面宽度仪器要求、准直和定位、数据采集、数据分析和报告》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

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:中国计量科学研究院。

本标准主要起草人:王海、王梅玲、张艾蕊、宋小平。

引 言

在薄膜、设备和 X 射线波长合适的情况下, X 射线反射法(XRR)可广泛用于测量平面衬底上厚度介于约 1 nm 至 1 μm 之间的单层和多层薄膜的厚度、密度和界面宽度。界面宽度是通用术语,通常是指界面或表面粗糙度和/或贯穿界面的密度梯度。在 X 射线辐照范围内,要求样品横向均匀。通常,表面化学分析方法提供的物质的量的信息需经转换来估计厚度。与之相比,XRR 能够提供直接溯源至长度单位的厚度。XRR 是一种强有力的薄膜厚度测量方法,并且能够溯源至 SI 单位。

第 3 章描述了适合于采集高质量镜面 X 射线反射率数据的设备的主要要求,以及为实现有用、准确测量所需要的样品准直和定位要求。

第 4 章描述了数据采集的主要内容,其目的是为了获得高质量的镜面 X 射线反射率数据且其适用于数据处理与建模。传统的数据采集是在直接操作数据输入情况下进行单次测量。然而,新近的数据采集通常是通过指令仪器来进行多次测量。除了操作模式之外,若有控制仪器的软件程序,也能通过自动化测试脚本来采集数据。

第 5 章描述了为获得有物理意义的样品重要信息而分析镜面 XRR 数据的基本原则。虽然镜面 XRR 拟合过程复杂,但可在保证质量的前提下进行一定程度且用户明了的简化。有很多专利的或非专利的 XRR 数据模拟和拟合软件包,关于它们的理论和算法描述不属于本标准的范围。在适当的地方会为感兴趣的读者提供一些参考文献。

第 6 章列出了报告 XRR 实验所要求的信息,并对能够呈现 XRR 数据和结果的可能方法进行了简要总结。当可用方法不止一个时,提出首选方法。

本标准不是教科书,它是关于开展 XRR 测量和分析的标准。关于技术方面的解释说明,可查阅合适的参考文献[例如:D.Keith Bowen 和 Brian K.Tanner 合著的“X-Ray Metrology in Semiconductor Manufacturing(半导体制造中的 X 射线计量)”,Taylor and Francis,London (2006);M.Tolan 所著的“X-ray Reflectivity from Soft Matter Thin Films(软物质薄膜的 X 射线反射)”,Springer Tracts in Modern Physics vol.148 (1999);U.Pietsch,V.Holy 和 T.Baumbach 合著的“High Resolution X-Ray Scattering from Thin Films to Lateral Nanostructures(从薄膜到横向纳米结构的高分辨 X 射线散射)”,Springer (2004);J.Daillant 和 A.Gibaud 合著的“X-ray and Neutron Reflectivity: Principles and Applications(X 射线和中子反射:原理和应用)”,Springer (2009)]。

本标准未考虑与 X 射线设备使用相关的安全方面问题。在测量过程中,遵守法律规定的相关安全程序是使用者的责任。

X 射线反射法测量薄膜的厚度、 密度和界面宽度 仪器要求、准直和定位、 数据采集、数据分析和报告

1 范围

本标准规定了通过 X 射线反射技术(XRR)来测量平面衬底上厚度介于约 1 nm~1 μm 之间的单层和多层薄膜的厚度、密度和界面宽度的方法。

本方法使用单色化的平行光进行角度或散射矢量扫描。类似的考虑事项适用于使用分布式探测器进行平行数据采集的会聚光束或者扫描波长的情形,但本标准不描述这些方法。对于 X 射线漫反射技术而言,实验要求是相似的,但本标准不包括这部分内容。

测量可在具有不同配置的设备上进行。这些设备包含实验室仪器、同步辐射光束线上的反射率计以及工业中的自动系统等。

应注意的是,数据采集时,薄膜可能存在的不稳定性将会引起测量结果准确度下降。XRR 使用单波长入射 X 射线束、不能提供薄膜的化学信息,因此应注意样品表面可能产生的污染或反应。表面变化会严重影响最外层薄膜测量结果的准确性。

2 术语、定义、符号和缩略语

2.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1.1

入射角 incidence angle

入射光束与样品表面间的夹角。

2.1.2

临界角 critical angle

θ_c

入射光束与样品表面间的夹角,低于该角度时 X 射线发生表面全反射、高于该角度时 X 射线穿透到样品表面以下。

注:已知样品材料或结构的临界角能通过模拟软件或近似公式 $\theta_c \approx \sqrt{2\delta}$ 得到,其中 $1 - \delta$ 为复数 X 射线折射率 $n = 1 - \delta - i\beta$ 的实部。

2.1.3

样品长度 specimen length

在入射和反射 X 射线平面且在样品平面内的样品尺寸。

2.1.4

样品宽度 specimen width

垂直于入射和反射 X 射线平面且在样品平面内的样品尺寸。