

# 表面化学分析与标准化

刘 芬

(中国科学院 化学研究所,北京 100190)

**摘要:** 对表面化学分析标准化作了概述. 介绍了标准管理机构和标准制订程序. 还介绍了表面化学分析的相关标准和标准应用实例.

**关键词:** 表面化学分析; 标准化; 电子能谱

**中图分类号:** O651

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1006-3757(2013)03-0182-09

在一定的范围内获得最优方案,对实际或潜在问题制定共同和重复使用的规则的活 动称之为标准化. 标准化包括制定、发布及实施标准的过程. 标准化作用是改进产品、加强服务过程的适用性,防止贸易壁垒,促进技术合作<sup>[1-3]</sup>.

表面是指物体与周围环境(气体、液体、固体或真空)的边界,是物质存在的一种形式. 除固态、液态和气态之外,表面也被称为第四态. 对于固体表面,表面信息层很薄,通常低于 5 nm. 表面原子密度约是体相密度的 2/3. 按阿伏伽德罗常数粗略计算,表面原子分子数只占体相的 1/1010. 所以常规的体相分析方法难以进行表面检测. 较常用的体相检测方法有光谱分析、红外分析、X 射线衍射(XRD)等. 较常用的表面分析技术有 X 射线光电子能谱(XPS)、二次离子质谱(SIMS)、俄歇电子能谱(AES)等<sup>[4-5]</sup>.

为在表面化学分析的范围内获得最佳方案,对实际的或潜在的表面化学分析问题制定共同的和重复使用的规则的活 动就是表面化学分析标准化.

## 1 国际标准化组织(ISO)与表面化学分析技术委员会(ISO/TC201)

国际标准化组织(International Organization for Standardization)简称 ISO,是世界上最大的非政府性标准化专门机构,是国际标准化领域中一个十分重要的组织. 现有约 157 个成员,包括 157 个国家和地区. 代表中国参加 ISO 的国家机构是国家质量监

督检验检疫总局. ISO 的任务是促进全球范围内的标准化及其有关活动,以利于国际间产品与服务的交流,以及在知识、科学、技术和经济活动中发展国际间的相互合作. 它显示了强大的生命力,吸引了越来越多的国家参与其活动. ISO 的宗旨是在世界范围内促进标准化工作的发展,以利于国际物资交流和互助,并扩大知识、科学、技术和经济方面的合作. 其重要的活动是制定国际标准,协调世界范围内的标准化工作,与其他国际性组织合作研究有关标准化问题<sup>[6]</sup>.

ISO 与国际电工委员会(IEC)有密切的联系,中国参加 IEC 的国家机构也是国家质量监督检验检疫总局. ISO 和 IEC 作为一个整体担负着制订全球协商一致的国际标准的任务,ISO 和 IEC 都是非政府机构,它们制订的标准实质上是自愿性的,这就意味着这些标准必须是优秀的标准,它们会给工业和服务业带来收益,所以他们自觉使用这些标准. ISO 和 IEC 不是联合国机构,但它们与联合国的许多专门机构保持技术联络关系. ISO 和 IEC 有约 1000 个专业技术委员会和分委员会,各会员国以国家为单位参加这些技术委员会和分委员会的活动. ISO 和 IEC 还有约 3000 个工作组,ISO、IEC 每年制订和修订 1000 个国际标准.

ISO 于 1947 年 2 月 23 日正式成立,总部设在瑞士的日内瓦. ISO 于 1951 年发布了第一个标准——工业长度测量用标准参考温度. ISO 的主要功能是为人们制订国际标准达成一致意见提供一种机制. 其主要机构及运作规则遵循《ISO/IEC 技术

工作导则》,其技术结构有 263 个技术委员会(TC)、611 个分技术委员会(SC),它们各有一个主席和一个秘书处,各秘书处与位于日内瓦的 ISO 中央秘书处保持直接联系。

国际标准的形成需要由技术委员会(TC)和分技术委员会(SC)经过 6 个阶段的工作:

- 第一阶段:申请工作;
- 第二阶段:准备工作;
- 第三阶段:委员会工作;
- 第四阶段:审查工作;
- 第五阶段:批准;
- 第六阶段:发布。

若在开始阶段得到的文件比较成熟,则可省略其中的一些步骤。

国际标准组织(ISO)制订标准过程包括以下文

件:

- 工作小组草案(Work Draft;WD);
- 委员会草案(Committee Draft;CD);
- 国际标准草案(Draft International Standard;DIS);
- 最终国际标准版草案(Final Draft International Standard;FDIS);
- 正式发行的国际标准版(International Standard;IS)。

国际标准化组织(ISO)于 1992 年成立了表面化学分析技术委员会(ISO/TC201)。ISO/TC201 的秘书国是日本,我国是创始成员国也是有表决权成员国。其现有 12 个有表决权成员国,15 个观察员成员国。该委员会下设有 8 个分技术委员会和 3 个工作组、1 个研究组,见表 1。

表 1 ISO/TC201 下设的 9 个分技术委员会和 3 个工作组、1 个研究组

Table 1 ISO/TC201 consists of nine sub-technical committee and three working groups, a study group

TC 201/SC 1	术语 Terminology
TC 201/SC 2	一般程序 General procedures
TC 201/SC 3	数据管理和处理 Data management and treatment
TC 201/SC 4	深度剖面 Depth profiling
TC 201/SC 6	二次离子质谱 Secondary ion mass spectrometry
TC 201/SC 7	X 射线光电子能谱和俄歇电子能谱 X-ray photoelectron spectroscopy and Auger electron spectroscopy
TC 201/SC 8	辉光放电光谱 Glow discharge spectroscopy
TC 201/SC 9	扫描探针显微镜 Scanning probe microscopy
TC 201/SG 1	纳米材料表征 Nano-materials characterization
TC 201/WG 3	X 射线反射率 X-ray reflectivity
TC 201/WG 4	生物材料的表面表征 Surface Characterization of Biomaterials
TC 201/WG 5	光学界面分析 Optical interface analysis

ISO/TC201 的总目标是建立以电子、光子、离子、中性原子和分子为探针的表面分析技术领域的国际标准化。它的主要工作内容为协调和规范有关仪器分类、仪器操作、样品处理、数据采集、数据处理、定性和定量分析以及结果报告等工作,建立统一的术语定义,发展和推荐参考样品和数据,以求表面分析更精确、可靠。与 ISO/TC201 有密切联系国际机构有国际标准化组织微束分析技术委员会(ISO/TC202)、国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)、国际真空科学技术与应用联合会(IUVSTA)和凡尔赛

先进材料和标准计划(VAMAS)。

## 2 国家标准化管理委员会(SAC)与全国微束分析标准化技术委员会表面化学分析分技术委员会(SAC/TC38/SC2)

国家标准化管理委员会(SAC)是我国标准化管理的最高机构。现有 400 多个技术委员会和分技术委员会,大部分分布在有关的产业部门和它们的研究

所,其中较少的部分分布在高校和中科院以及国家的某些主管部门. 全国微束分析标准化技术委员会表面化学分析分技术委员会(SAC/TC38/SC2)于1997年9月15日正式在北京成立. 委员由来自生产、教学、科研各方面及全国各地的专家组成. 每年召开全体委员会议. 图1显示了SAC/TC38/SC2与国家标准化管理委员会以及国际标准化组织的关系图.

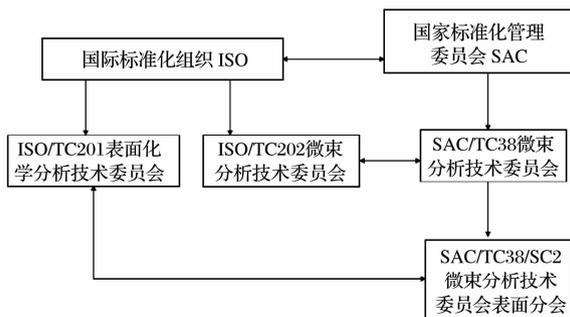


图1 SAC/TC38/SC2 与国家标准化管理委员会以及国际标准化组织的关系

Fig. 1 Relationship between SAC/TC38/SC2 and national standardization management committee and the international organization for Standardization

全国微束分析标准化技术委员会表面化学分析分技术委员会(SAC/TC38/SC2)对口国际标准化组织ISO/TC201的工作和活动. 2010年9月29日至2010年10月2日ISO/TC201/SC会议在北京中国科学院物理研究所举办,这是自1992年ISO/TC201成立以来首次在中国召开. 来自英国、德国、匈牙利、瑞士、瑞典、意大利、美国、日本、韩国和中国等国的72位代表出席了本次会议. 中国首次在ISO/TC201关于“Standards on the definition and measurement methods of drift rates of SPMs”的提案得到了各国一致同意进入CD阶段.

中国标准化工作的任务是制定标准、组织实施标准和对标准的实施进行监督. 国际标准化组织的主要任务是制订国际标准、协调世界范围内的标准化工作. 我国国家标准制订流程见图2.

### 3 表面化学分析与标准化

截止到2012年10月底,全国微束分析标准化技术委员会表面化学分析分技术委员会共制订了ISO国际标准一项,国家标准28项. 由SAC/TC38/SC2制订的已发布的国家标准列在表2中. ISO/TC201已发布的国际标准列在表3中. 这些标准的

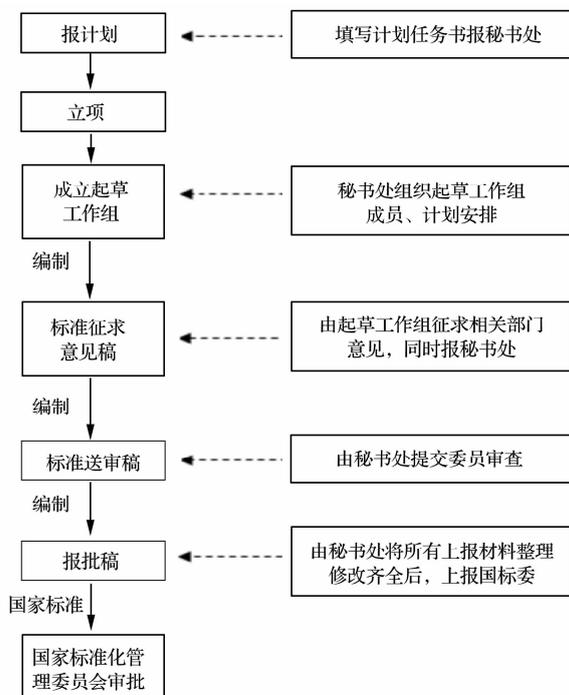


图2 国家标准制订流程

Fig. 2 The process of developing national standards

发布和实施,对推动表面化学分析应用起了非常重要的作用.

中国科技大学的黄文浩教授作为中国主持的第一个项目“Surface chemical analysis -Scanning-probe microscopy--Measurement of drift rate”已于2012年正式发布,成为由我国主导完成的第一项表面化学分析国际标准.

### 4 标准的应用与分析测试

由于不同表面分析仪器生产厂家有各自的数据传输格式和信息格式,这给用户带来极大的不方便. ISO国际标准和我国国家标准《表面化学分析 数据传输格式》(GB/T 19499-2004/ISO 14976)及《表面化学分析 信息格式》(GB/T 21007-2007/ISO 14975)实现了不同表面分析仪器生产厂家之间的数据转换.

例如,在PHI Quantera仪器进行一个实验,采集记录数据,并将数据按照ISO信息格式和数据传输格式标准做数据转换,其Si2p<sub>3/2</sub>XPS谱图见图3. 用赛默飞世尔ESCALAB 250仪器带的Avantage软件对该Si2p<sub>3/2</sub>XPS谱图进行峰拟合,结果见图4. 可见通过标准化实现了不同仪器厂商生产的表面分析仪器之间的数据转换.

表2 由 SAC/TC38/SC2 制订的已发布的国家标准  
Table 2 Developed by SAC/TC38/SC2 and published National Standards

序号	标准号	标准名称
1	GB/T19500-2004	X 射线光电子能谱分析方法通则
2	GB/T19499-2004/ISO14976	表面化学分析 数据传输格式
3	GB/T19502-2004	表面化学分析 辉光放电发射光谱方法通则
4	GB/T20176-2006/ISO14237	表面化学分析 二次离子质谱 用均匀掺杂参考物质测定硅中硼的原子浓度
5	GB/T20175-2006/ISO14606	表面化学分析 溅射深度剖析 用层状膜系为参考物质的优化方法
6	GB/T21006-2007/ISO21270	表面化学分析 X 射线光电子谱和俄歇电子谱仪 强度标的线性
7	GB/T21007-2007/ISO14975	表面化学分析 信息格式
8	GB/T22461-2008/ISO18115	表面化学分析 词汇
9	GB/T22462-2008	钢表面纳米、亚微米尺度薄膜 元素深度分布的定量测定 辉光放电原子发射光谱法
10	GB/T22571-2008/ISO15472	表面化学分析 X 射线光电子能谱仪 能量标尺的校准
11	GB/T22572-2008/ISO20341	表面化学分析 二次离子质谱 用多层 delta 掺杂参考物质测定深度分辨
12	GB/T25184-2010	X 射线光电子能谱仪检定方法
13	GB/T25185-2010/ISO19318	表面化学分析 X 射线光电子能谱 荷电控制和荷电校正方法的报告
14	GB/T25186-2010/ISO18114	表面化学分析 二次离子质谱 由离子注入参考物质确定相对灵敏度因子
15	GB/T25187-2010/ISO15471	表面化学分析 俄歇电子能谱 选择仪器性能参数的表述
16	GB/T25188-2010	硅晶片表面超薄氧化硅层厚度的测量 X 射线光电子能谱法
17	GB/T26533-2011	俄歇电子能谱分析方法通则
18	GB/T 28632-2012	表面化学分析 俄歇电子能谱和 X 射线光电子能谱 横向分辨率测定
19	GB/T 28633-2012	表面化学分析 X 射线光电子能谱 强度标的重复性和一致性
20	GB/T 28893-2012	表面化学分析 俄歇电子能谱和 X 射线光电子能谱 测定峰强度的方法和报告结果所需的信息
21	GB/T 28894-2012	表面化学分析 分析前样品的处理
22	GB/T 28892-2012	表面化学分析 X 射线光电子能谱 选择仪器性能参数的表述
23		表面化学分析 俄歇电子能谱和 X 射线光电子能谱 横向分辨率,分析面积和分析器所能检测到的样品面积的测定
24		表面化学分析 辉光放电原子发射光谱 锌和或铝基合金镀层的分析
25		表面化学分析 深度剖析 溅射深度测量
26		表面化学分析 高分辨俄歇电子谱仪 元素和化学态分析用能量标校准
27		表面化学分析 俄歇电子能谱 强度标尺的可重复性和一致性
28		表面化学分析 中等分辨率俄歇电子能谱仪 元素分析能量标尺校准

表3 已发布的ISO国际标准

Table 3 Published ISO International Standards

序号	标准号	标准名称
1	ISO 18115-1:2010	Surface chemical analysis -- Vocabulary -- Part 1: General terms and terms used in spectroscopy
2	ISO 18115-2:2010	Surface chemical analysis--Vocabulary --Part 2: Terms used in scanning-probe microscopy
3	ISO/TR 16268:2009	Surface chemical analysis -- Proposed procedure for certifying the retained areicdose in a working reference material produced by ion implantation
4	ISO 18116:2005	Surface chemical analysis --Guidelines for preparation and mounting of specimens for analysis
5	ISO 18117:2009	Surface chemical analysis --Handling of specimens prior to analysis
6	ISO 18516:2006	Surface chemical analysis --Auger electron spectroscopy and X-ray photoelectron spectroscopy --Determination of lateral resolution
7	ISO 14975:2000	Surface chemical analysis --Information formats
8	ISO 14976:1998	Surface chemical analysis --Data transfer format
9	ISO 22048:2004	Surface chemical analysis --Information format for static secondary-ion mass spectrometry
10	ISO 28600:2011	Surface chemical analysis --Data transfer format for scanning-probe microscopy
11	ISO 14606:2000	Surface chemical analysis --Sputter depth profiling --Optimization using layered systems as reference materials
12	ISO/TR 15969:2001	Surface chemical analysis --Depth profiling --Measurement of sputtered depth
13	ISO/TR 22335:2007	Surface chemical analysis --Depth profiling --Measurement of sputtering rate; mesh-replica method using a mechanical stylus profilometer
14	ISO 18118:2004	Surface chemical analysis --Auger electron spectroscopy and X-ray photoelectron spectroscopy --Guide to the use of experimentally determined relative sensitivity factors for the quantitative analysis of homogeneous materials
15	ISO/TR 18392:2005	Surface chemical analysis --X-ray photoelectron spectroscopy --Procedures for determining backgrounds
16	ISO/TR 18394:2006	Surface chemical analysis --Auger electron spectroscopy --Derivation of chemical information
17	ISO 19318:2004	Surface chemical analysis --X-ray photoelectron spectroscopy --Reporting of methods used for charge control and charge correction
18	ISO/TR 19319:2003	Surface chemical analysis --Auger electron spectroscopy and X-ray photoelectron spectroscopy --Determination of lateral resolution, analysis area, and sample area viewed by the analyser
19	ISO 20903:2006	Surface chemical analysis --Auger electron spectroscopy and X-ray photoelectron spectroscopy --Methods used to determine peak intensities and information required when reporting results
20	ISO 29081:2010	Surface chemical analysis -- Auger electron spectroscopy -- Reporting of methods used for charge control and charge correction
21	ISO 12406:2010	Surface chemical analysis --Secondary-ion mass spectrometry --Method for depth profiling of arsenic in silicon

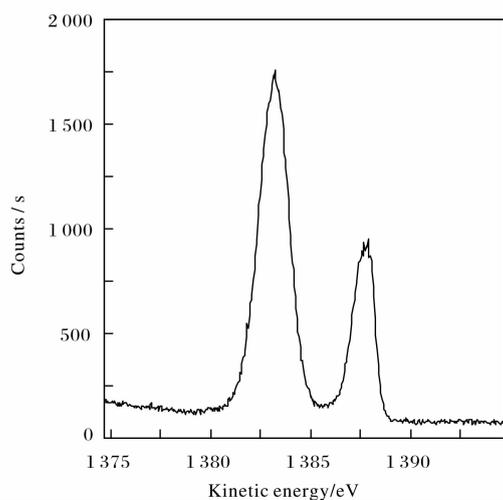
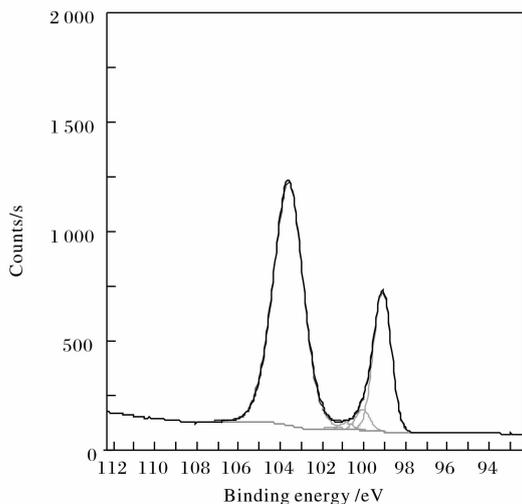
表3 已发布的ISO国际标准(续)  
Table 3 Published ISO International Standards(continue)

序号	标准号	标准名称
22	ISO 13084:2011	Surface chemical analysis --Secondary-ion mass spectrometry --Calibration of the mass scale for a time-of-flight secondary-ion mass spectrometer
23	ISO 14237:2010	Surface chemical analysis --Secondary-ion mass spectrometry --Determination of boron atomic concentration in silicon using uniformly doped materials
24	ISO 17560:2002	Surface chemical analysis --Secondary-ion mass spectrometry --Method for depth profiling of boron in silicon
25	ISO 18114:2003	Surface chemical analysis --Secondary-ion mass spectrometry --Determination of relative sensitivity factors from ion-implanted reference materials
26	ISO 20341:2003	Surface chemical analysis --Secondary-ion mass spectrometry --Method for estimating depth resolution parameters with multiple delta-layer reference materials
27	ISO 23812:2009	Surface chemical analysis --Secondary-ion mass spectrometry --Method for depth calibration for silicon using multiple delta-layer reference materials
28	ISO 23830:2008	Surface chemical analysis --Secondary-ion mass spectrometry --Repeatability and constancy of the relative-intensity scale in static secondary-ion mass spectrometry
29	ISO 10810:2010	Surface chemical analysis --X-ray photoelectron spectroscopy --Guidelines for analysis
30	ISO 15470:2004	Surface chemical analysis --X-ray photoelectron spectroscopy --Description of selected instrumental performance parameters
31	ISO 15471:2004	Surface chemical analysis --Auger electron spectroscopy --Description of selected instrumental performance parameters
32	ISO 15472:2010	Surface chemical analysis --X-ray photoelectron spectrometers --Calibration of energy scales
33	ISO 17973:2002	Surface chemical analysis --Medium-resolution Auger electron spectrometers --Calibration of energy scales for elemental analysis
34	ISO 17974:2002	Surface chemical analysis --High-resolution Auger electron spectrometers --Calibration of energy scales for elemental and chemical-state analysis
35	ISO 21270:2004	Surface chemical analysis --X-ray photoelectron and Auger electron spectrometers --Linearity of intensity scale
36	ISO 24236:2005	Surface chemical analysis --Auger electron spectroscopy --Repeatability and constancy of intensity scale
37	ISO 24237:2005	Surface chemical analysis --X-ray photoelectron spectroscopy --Repeatability and constancy of intensity scale
38	ISO 14707:2000	Surface chemical analysis --Glow discharge optical emission spectrometry (GD-OES) --Introduction to use
39	ISO/TS 15338:2009	Surface chemical analysis --Glow discharge mass spectrometry (GD-MS) --Introduction to use

表3 已发布的ISO国际标准(续)

Table 3 Published ISO International Standards(continue)

序号	标准号	标准名称
40	ISO 16962:2005	Surface chemical analysis -- Analysis of zinc-and/or aluminium-based metallic coatings by glow-discharge optical-emission spectrometry
41	ISO/TS 25138:2010	Surface chemical analysis -- Analysis of metal oxide films by glow-discharge optical-emission spectrometry
42	ISO 11039:2012	Surface chemical analysis -- Scanning-probe microscopy -- Measurement of drift rate
43	ISO 11505:2012	Surface chemical analysis -- General procedures for quantitative compositional depth profiling by glow discharge optical emission spectrometry
44	ISO 13084:2011	Surface chemical analysis -- Secondary-ion mass spectrometry -- Calibration of the mass scale for a time-of-flight secondary-ion mass spectrometer
45	ISO/TR 14187:2011	Surface chemical analysis -- Characterization of nanostructured materials
46	ISO 14701:2011	Surface chemical analysis -- X-ray photoelectron spectrometry -- Measurement of silicon oxide thickness
47	ISO 16242:2011	Surface chemical analysis -- Recording and reporting data in Auger electron spectrometry (AES)
48	ISO 16243:2011	Surface chemical analysis -- Recording and reporting data in X-ray photoelectron spectrometry (XPS)
49	ISO 20903:2011	Surface chemical analysis -- Auger electron spectrometry and X-ray photoelectron spectrometry -- Methods used to determine peak intensities and information required when reporting results
50	ISO 27911:2011	Surface chemical analysis -- Scanning-probe microscopy -- Definition and calibration of the lateral resolution of a near-field optical microscope
51	ISO 28600:2011	Surface chemical analysis -- Data transfer format for scanning-probe microscopy
52	ISO/TS 25138:2010	Surface chemical analysis -- Analysis of metal oxide films by glow-discharge optical-emission spectrometry

图3 Si<sub>2p<sub>3/2</sub></sub> XPS谱图Fig. 3 XPS spectrum of Si<sub>2p<sub>3/2</sub></sub>图4 Si<sub>2p<sub>3/2</sub></sub>的峰拟合谱Fig. 4 Si<sub>2p<sub>3/2</sub></sub> peak fitting spectra

硅晶片表面的氧化硅薄层长期以来一直用作硅基场效应晶体管的关键组件——栅极氧化层,它对微纳电子器件和集成电路的可靠性至关重要。随着器件特征尺寸的日益缩减,栅极氧化层变得越来越薄,目前已达到1 nm左右。超薄栅极氧化硅层的制备与质量控制要求对其厚度进行准确测量。例如,国际半导体技术路线图(ITRS)曾提出超薄栅极氧化层厚度测量结果的标准不确定度要达到1.3%的期望值。目前,工业界通常利用椭圆偏振光度法测量10 nm以上的薄层厚度。但是,椭圆偏振光度法对表面污染物很敏感,它难以准确测量10 nm以下的薄层厚度。在过去的十年中,以 Seah 等<sup>[7-18]</sup>为代表的研究组利用X射线光电子能谱(XPS)技术在硅晶片表面超薄氧化硅层厚度准确测量方面做了大量工作。他们通过对衰减长度等因子进行精心计算和校正以及正确选择实验条件,使得精确测量硅晶片表面超薄氧化硅层厚度得以实现,测量结果的不确定度可达到2%以内。在国内,中国计量科学研究所和中国科学院化学研究所合作采用 Seah 等提出

的XPS方法已经参加了两次硅晶片表面超薄氧化硅层厚度测量的国际比对并取得国际等效度,同时还对XPS测量中的重要实验条件(如光电子发射角和晶体样品的测试方位角)进行了修正。

用变角XPS技术可以测量硅晶片表面超薄氧化硅层的厚度(<10 nm),如果不进行任何规范,不同实验室或不同仪器或不同实验人员测得的数据将有非常大的离散性。国家标准《硅晶片表面超薄氧化硅层厚度的测量:X射线光电子能谱法》GB/T 25188-2010规范了用X射线光电子能谱准确测量硅晶片表面超薄氧化硅层的厚度的实验方法<sup>[9-14]</sup>。这个规范包括:厚度计算、R值、衰减长度L、样品切割和清洗、样品安装、测量步骤和测量几何参数,光电子发射角( $\theta$ )和样品方位角( $\Phi$ )、测量结果不确定度的评估。依照该国家标准对于不同的硅片上超薄氧化硅样品测量,见表4和表5。结果表明纳米氧化硅厚度的测量值标准偏差均小于0.05 nm,相对标准偏差均小于1%。

表4 氧化硅厚度为4.0 nm和1.9 nm的Si(100)样品测量结果

Table 4 Measured results of Silicon oxide samples of 4.0 nm and 1.9 nm thicknesses

SiO <sub>2</sub> 厚度/nm	平均值/nm	标准偏差	SiO <sub>2</sub> 厚度/nm	平均值/nm	标准偏差
3.982 082 394	4.014 87	0.026 23	1.884 725 53	1.896 69	0.014 54
4.050 476 535			1.919 748 082		
4.013 956 145			1.904 015 369		
4.016 302 21			1.879 504 875		
3.989 846 705			1.892 065 176		
4.036 528 055			1.900 067 845		

表5 不同实验室不同仪器的氧化硅厚度测量值

Table 5 Measured values of Silicon oxide thickness from different instruments and different laboratories

样品	参考值/nm	测量值/nm	SD/nm	RSD/%
3-7#	3.912	3.871	0.029	0.74
3-6#	3.912	3.946	0.024	0.61
3-1#	3.957	3.969	0.008	0.21

## 5 小结

目前,ISO/TC201标准制订项目的召集人主要来自英国和美国,其次是日本,韩国也很积极参与,

我国在这方面还比较落后。这些标准是最基础的研究工作,美国、英国、日本等国家都有较大的经费支持。与ISO/TC201相对应的我国国家标准化委员会表面分析化学分技术委员会(SAC/TC38/SC2)积极

组织有志开展标准研究工作的专家参与和开展有关工作,终于实现了零的突破. 我们国家有几百台表面分析仪器,投入了许多资金. 我国科学家应更多的参与这方面的工作,使我国在国际标准化方面有更多的意见和建议而且有更多以我国为主要召集人的国际标准涌现.

### 参考文献:

- [ 1 ] 李春田,主编. 标准化概论[M]. 北京:中国人民大学出版社,第5版,2010.
- [ 2 ] 王忠敏,主编. 标准化基础知识实用教程[M]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [ 3 ] 李学京,编著. 标准化综论[M]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [ 4 ] 桂琳琳,等译. X射线与紫外光电子能谱[M]. 北京:北京大学出版社,1984.
- [ 5 ] 黄惠忠,等著. 论表面分析及其在材料研究中的应用[M]. 北京:科学技术文献出版社,2002.
- [ 6 ] 国家标准化管理委员会编著. 国际标准化教程[M]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [ 7 ] Seah M P, Spencer S J. Ultrathin SiO<sub>2</sub> on Si II. Issues in quantification of the oxide thickness [J]. Surf Interface Anal, 2002, 33: 640-652.
- [ 8 ] Seah M P, Spencer S J. Ultrathin SiO<sub>2</sub> on Si IV. Intensity measurement in XPS and deduced thickness linearity[J]. Surf Interface Anal, 2003, 35: 515-524.
- [ 9 ] Seah M P, Spencer S J. Ultrathin SiO<sub>2</sub> on Si. VII. Angular accuracy in XPS and an accurate attenuation length[J]. Surf Interface Anal, 2005, 37: 731-736.
- [ 10 ] Seah M P, Gilmore I S. Simplified equations for correction parameters for elastic scattering effects in AES and XPS for Q, b and attenuation lengths[J]. Surf Interface Anal, 2001, 31: 835-846.
- [ 11 ] Cumpson P J, Seah M P. Elastic scattering corrections in AES and XPS. II. Estimating attenuation lengths and conditions required for their valid use in overlayer/substrate experiments[J]. Surf Interface Anal, 1997, 25: 430-446.
- [ 12 ] Jablonski A, Powell C J. Evaluation of correction parameters for elastic - scattering effects in x - ray photoelectron spectroscopy and Auger electron spectroscopy[J]. J Vac Sci Technol A, 1997, 15: 2095-2106.
- [ 13 ] Seah M P, Spencer S J. Ultrathin SiO<sub>2</sub> on Si. I. Quantifying and removing carbonaceous contamination [J]. J Vac Sci Technol A, 2003, 21(2): 345-352.
- [ 14 ] 刘芬,赵志娟,邱丽美,等. 用XPS法精确测量硅片上超薄氧化硅的厚度[J]. 科学研究月刊,2007,27(3):87-89.

## Surface Chemical Analysis and Standardization

LIU Fen

(Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** In this paper, standardization of the surface chemical analysis is summarized. Standard management organization and standard developing process are introduced. The relevant standards of surface chemical analysis and standard application examples are also introduced.

**Key words:** surface chemical analysis; standardization; electron spectroscopy

**Classifying number:** O651