

ISO 15932:2013

DÉCEMBRE 2013

www.afnor.org

Ce document est à usage exclusif et non collectif des clients AFNOR.
Toute mise en réseau, reproduction et rediffusion, sous quelque forme que ce soit,
même partielle, sont strictement interdites.

This document is intended for the exclusive and non collective use of AFNOR customers.
All network exploitation, reproduction and re-dissemination,
even partial, whatever the form (hardcopy or other media), is strictly prohibited.



**DOCUMENT PROTÉGÉ
PAR LE DROIT D'AUTEUR**

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans accord formel.

Contacteur :
AFNOR – Norm'Info
11, rue Francis de Pressensé
93571 La Plaine Saint-Denis Cedex
Tél : 01 41 62 76 44
Fax : 01 49 17 92 02
E-mail : norminfo@afnor.org

afnor

AFNOR

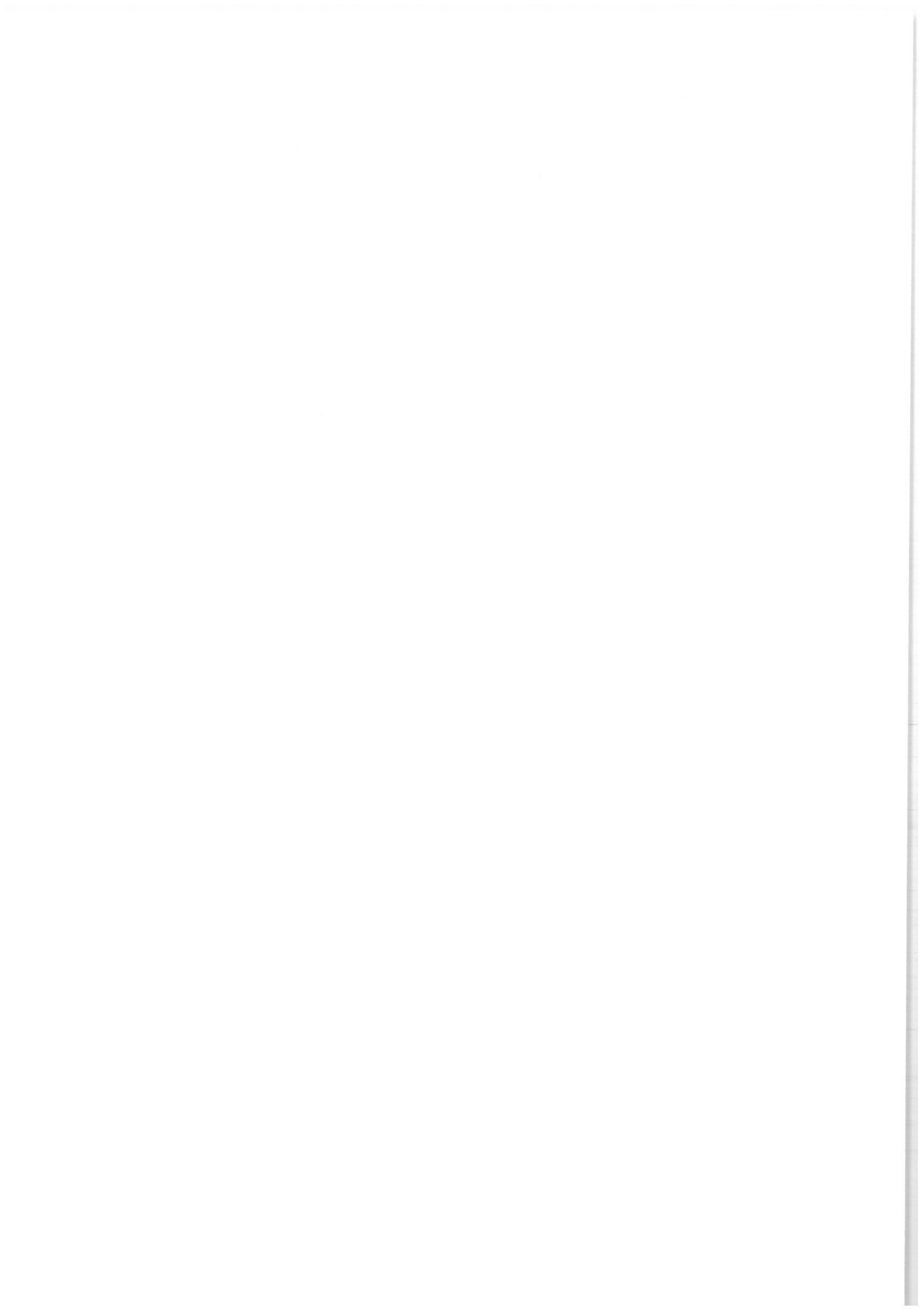
Pour : GN-MEBA

Client : 23432617

le : 12/09/2018 à 11:01

Diffusé avec l'autorisation de l'éditeur

Distributed under licence of the publisher



NORME
INTERNATIONALE

ISO
15932

Première édition
2013-12-15

**Analyse par microfaisceaux —
Microscopie électronique analytique
— Vocabulaire**

Microbeam analysis — Analytical electron microscopy — Vocabulary



Numéro de référence
ISO 15932:2013(F)

© ISO 2013

ISO 15932:2013(F)



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2013

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Version française parue en 2014

Publié en Suisse

ISO 15932:2013(F)

Sommaire

	Page
Avant-propos	iv
Introduction	v
0 Domaine d'application	1
1 Termes abrégés	1
2 Définitions des termes utilisés dans les bases physiques de la MEA	2
3 Définitions de termes utilisés dans l'instrumentation de MEA	6
4 Définitions des termes utilisés dans la préparation de l'échantillon en MEA	11
5 Définitions des termes utilisés dans la formation et le traitement des images en MEA	12
6 Définitions des termes utilisés dans l'interprétation et l'analyse des images en MEA	14
7 Définitions des termes utilisés pour le mesurage et l'étalonnage du grandissement et de la résolution d'image MEA	18
8 Définitions des termes utilisés dans la diffraction des électrons en MEA	19
Bibliographie	22

ISO 15932:2013(F)

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/CEI, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou sur la liste ISO des déclarations de brevets reçues (voir www.iso.org/brevets).

Les éventuelles appellations commerciales utilisées dans le présent document sont données pour information à l'intention des utilisateurs et ne constituent pas une approbation ou une recommandation.

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 202, *Analyse par microfaisceaux*, sous-comité SC 1, *Terminologie*.

ISO 15932:2013(F)

Introduction

La microscopie électronique analytique (MEA) est une technique utilisée pour déterminer qualitativement et mesurer quantitativement la composition élémentaire et examiner l'état électronique d'un petit volume d'un matériau solide observé par microscopie électronique en transmission (MET) et par microscopie électronique à balayage en transmission (MEBT). La MEA est basée sur le mécanisme physique de la spectrométrie X stimulée par des électrons et de la spectroscopie de perte d'énergie des électrons. La MEA fournit également des informations structurales à partir de zones de petite taille par micro-diffraction tout en possédant une capacité d'imagerie haute résolution^[9].

Étant l'un des principaux sous-domaines de l'analyse par microfaisceaux, la MEA est largement appliquée dans différents secteurs de l'économie (hautes technologies, industries de base, métallurgie et géologie, biologie et médecine, protection de l'environnement, commerce, etc.) et elle présente un vaste environnement commercial pour la normalisation.

La normalisation de la terminologie dans un domaine technique donné est l'une des conditions de base préalables au développement de normes sur d'autres aspects de ce domaine.

La présente Norme internationale est adaptée aux communautés scientifiques et techniques internationales qui requièrent un vocabulaire spécifique à la MEA contenant des définitions cohérentes de termes tels qu'ils sont utilisés pour l'analyse par microfaisceaux combinés à la microscopie électronique en transmission et à la microscopie électronique à balayage en transmission.

La présente Norme internationale est l'une d'une série de normes élaborées ou destinées à être élaborées par le comité technique ISO/TC 202, *Analyse par microfaisceaux*, sur la microscopie électronique à balayage (MEB, ISO 22493), l'analyse par microsonde électronique (EPMA, ISO 23833), la spectrométrie X à sélection d'énergie (EDS, ISO 22309), etc., afin de couvrir complètement le domaine de l'analyse par microfaisceaux.

Analyse par microfaisceaux — Microscopie électronique analytique — Vocabulaire

0 Domaine d'application

La présente Norme internationale définit les termes utilisés dans les applications de la microscopie électronique analytique (MEA). Elle couvre à la fois des concepts généraux et des concepts spécifiques, classés selon le rang hiérarchique qu'ils occupent dans un ordre systématique.

La présente Norme internationale s'applique à tous les documents de normalisation relatifs à la pratique de la MEA. En outre, certaines parties de la présente Norme internationale sont applicables aux documents relatifs à la pratique de techniques apparentées (par exemple MET, MEBT, MEB, EPMA, EDX) pour la définition des termes communs à ces techniques.

NOTE Voir également la plateforme de consultation en ligne OBP (Online browsing platform): <https://www.iso.org/obp/ui/fr>

1 Termes abrégés

MEA	microscope/microscopie électronique analytique
CBED	diffraction électronique en faisceau convergent
CCD	dispositif à couplage de charge
CRT	tube cathodique
EDS	spectromètre/spectrométrie X à sélection d'énergie
EDX	spectromètre/spectrométrie X à sélection d'énergie
EELS	spectroscopie/spectroscopie de perte d'énergie des électrons
EPMA	analyse par microsonde électronique
FFT	transformée de Fourier rapide
FIB	faisceau d'ions focalisés
FWHM	largeur à mi-hauteur
HAADF	fond noir annulaire à grand-angle
HREM	microscopie/microscope électronique en transmission à haute-résolution
LAADF	détecteur de fond noir annulaire à angle faible
MBA	analyse par microfaisceaux
SE	électron secondaire
MEB	microscopie électronique à balayage
MEBT	microscopie/microscope électronique à balayage en transmission
MET	microscopie/microscope électronique en transmission

ISO 15932:2013(F)

2 Définitions des termes utilisés dans les bases physiques de la MEA

2.1

optique électronique

science qui traite de la trajectoire des électrons au travers de champs électrostatiques et/ou électromagnétiques

[SOURCE: ISO 22493, modifiée]

2.1.1

source d'électrons

dispositif qui génère les électrons nécessaires à la formation d'un faisceau d'électrons dans un système optique électronique

2.1.1.1

étalement énergétique

diversité de l'énergie des électrons dans le faisceau incident

[SOURCE: ISO 22493, modifiée]

2.1.1.2

taille de source effective

dimension effective de la source d'électrons généralement mesurée au point de croisement des faisceaux

[SOURCE: ISO 22493, modifiée]

2.1.2

émission d'électrons

libération d'électrons par la surface d'un matériau dans certaines conditions d'excitation

[SOURCE: ISO 22493:2008, 3.1.2]

2.1.2.1

émission thermoélectronique

émission d'électrons reposant sur l'utilisation d'une température élevée qui permet aux électrons de la cathode de vaincre le travail de sortie et de s'échapper dans le vide, assistée par l'application d'un champ électrostatique externe

[SOURCE: ISO 22493, modifiée]

2.1.2.2

émission de champ

émission d'électrons engendrée par un champ électrique intense à la surface ou au voisinage de la surface d'un matériau

[SOURCE: ISO 22493, modifiée]

2.1.2.2.1

émission de champ à cathode froide

émission de champ dans laquelle le processus d'émission dépend uniquement du champ électrique appliqué pour extraire des électrons de la cathode fonctionnant à température ambiante

[SOURCE: ISO 22493, modifiée]

2.1.2.2.2

émission de champ assistée thermiquement

émission de champ dans laquelle le processus d'émission dépend à la fois de la température élevée de la pointe de la cathode et du champ électrique créé par une haute tension

[SOURCE: ISO 22493, modifiée]

ISO 15932:2013(F)

2.1.3

lentille électronique

élément de base d'un système optique électronique qui utilise un champ électrostatique et/ou électromagnétique pour modifier la trajectoire des électrons qui le traversent

2.1.3.1

lentille électrostatique

lentille électronique qui utilise un champ électrostatique formé par une configuration spécifique d'électrodes

2.1.3.2

lentille électromagnétique

lentille électronique qui utilise un champ électromagnétique formé par une configuration spécifique de bobinage électromagnétique (ou d'aimant permanent) et de pièce polaire

[SOURCE: ISO 22493:2008, 3.1.3.2]

2.1.4

focalisation

action de faire converger un faisceau d'électrons vers un diamètre minimal en utilisant une lentille électronique

[SOURCE: ISO 22493, modifiée]

2.1.5

facteur de réduction

valeur numérique correspondant à la diminution du diamètre du faisceau d'électrons sortant d'une lentille comparé au diamètre du faisceau d'électrons entrant dans la lentille

[SOURCE: ISO 22493:2008, 3.1.5]

2.2

diffusion d'électrons

modification de la trajectoire d'un électron avec ou sans perte d'énergie cinétique à la suite d'une ou de plusieurs collisions avec un ou plusieurs électrons ou atomes cibles

[SOURCE: ISO 22493 et ISO 23833, modifiée]

2.2.1

diffusion élastique

diffusion d'électrons au cours de laquelle il y a conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement lors de la collision

[SOURCE: ISO 22493:2008, 3.2.1]

2.2.1.1

perte nulle

électrons non diffusés et électrons diffusés élastiquement, (avec seulement une perte d'énergie minimale due à l'excitation des photons), générant un pic d'intensité dont la position définit le zéro du spectre de perte d'énergie des électrons

2.2.2

diffusion inélastique

diffusion d'électrons au cours de laquelle il n'y a pas conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement lors de la collision

Note 1 à l'article: Pour la diffusion inélastique, la trajectoire des électrons est modifiée par perte de plasmons, perte de cœur et autres dispersions multiples.

[SOURCE: ISO 22493, modifiée]

ISO 15932:2013(F)

2.2.2.1

diffusion thermique en diffraction

diffusion d'électrons qui est provoquée par diffusion des électrons par les phonons due aux vibrations thermiques du réseau

2.2.2.2

perte de plasmons

type de perte d'énergie en EELS où l'électron incident est affecté par les oscillations collectives des électrons libres dans l'échantillon induisant une perte de l'énergie cinétique

2.2.2.3

excitation de la couche interne

excitation d'un électron lié dans une orbitale d'une couche interne (zéro valence) vers un état non lié du continuum au-dessus du niveau de Fermi

2.2.2.4

perte de cœur

perte d'énergie d'un électron dans le faisceau, provoquée par l'excitation d'un électron d'une couche interne

2.2.3

section efficace de diffusion

surface théorique, perpendiculaire au rayonnement incident, dont la géométrie devrait permettre de capturer la totalité du rayonnement diffusé par un atome diffusant

Note 1 à l'article: La section efficace de diffusion est en général exprimée simplement comme une surface (m²).

[SOURCE: ISO 22493:2008, 3.2.3]

2.3

onde de Bloch

fonction d'onde d'un électron dans un potentiel cristallin périodique qui est le produit d'une fonction d'enveloppe d'onde plane et d'une fonction périodique ayant la même périodicité que le potentiel cristallin

2.3.1

absorption anormale

absorption de l'onde de Bloch dans un matériau cristallin lorsque l'onde est symétrique et forme des anti-nœuds au niveau du noyau

2.3.2

transmission anormale

transmission de l'onde de Bloch dans un matériau cristallin lorsque l'onde est antisymétrique et forme des nœuds au niveau du noyau

2.4

cohérence

propriété d'une onde présentée par des faisceaux d'électrons où deux ondes partagent la même fréquence et sont en phase

Note 1 à l'article: Des déphasages entre deux faisceaux cohérents conduisent à des interférences et produisent des clichés de diffraction.

2.5

MET

technique microscopique ou microscope où les images d'un échantillon ultra mince sont obtenues par un faisceau d'électrons qui est transmis par l'échantillon

ISO 15932:2013(F)

2.5.1

HREM

méthode permettant d'obtenir l'image de la structure du réseau et du cristal en interférant une onde électronique transmise et les ondes électroniques diffractées à l'aide d'une lentille électromagnétique à faible aberration sphérique

2.5.2

MEBT

technique de microscopie électronique en transmission qui effectue un balayage par trame du faisceau d'électrons focalisé sur l'échantillon

2.5.3

HAADF-MEBT

mode d'imagerie dans un microscopie électronique à balayage en transmission dans lequel les images sont formées en collectant des électrons diffusés de manière incohérente à très grand angle à l'aide d'un détecteur de fond noir annulaire

2.5.4

LAADF-MEBT

mode d'imagerie en microscopie électronique à balayage en transmission dans lequel les images sont formées en collectant des électrons diffusés de manière élastique ou inélastique à angle faible à l'aide d'un détecteur de fond noir annulaire

2.5.5

ABF-MEBT

technique d'imagerie consistant à acquérir une image sur fond clair par microscopie électronique à balayage en transmission à l'aide d'un détecteur annulaire

2.6

holographie électronique

application de techniques d'holographie à des ondes électroniques dans lesquelles le faisceau cohérent est divisé en au moins deux faisceaux à l'aide d'un biprisme électronique

2.6.1

prisme électronique

dispositif qui divise le faisceau cohérent d'électrons en plusieurs faisceaux afin d'obtenir un interférogramme ou hologramme

2.7

microscopie électronique de Lorentz

méthode permettant d'observer la structure des domaines magnétiques en utilisant un microscope électronique en transmission

2.8

microscopie électronique à contraste de phase

technique de microscopie électronique en transmission dans laquelle de faibles déphasages du faisceau transmis résultant d'interactions avec l'échantillon sont caractérisés par des modifications d'amplitude ou de contraste dans l'image

2.9

tomographie électronique

technique de reconstruction d'une structure tridimensionnelle par traitement d'image assisté par ordinateur d'une série d'images projetées obtenues en inclinant en continu l'échantillon

ISO 15932:2013(F)

3 Définitions de termes utilisés dans l'instrumentation de MEA

3.1

canon à électrons

pièce produisant un faisceau d'électrons d'énergie cinétique bien définie

[SOURCE: ISO 22493:2008, 4.1]

3.1.1

émission Schottky

émission thermoélectronique qui se produit dans un champ électrique qui amplifie l'émission en diminuant la barrière de surface

[SOURCE: ISO 22493, modifiée]

3.1.2

canon à émission de champ

canon à électrons utilisant des sources d'émission de champ telles que l'émission de champ à froid ou l'émission Schottky

3.1.2.1

canon à émission de champ à froid

canon à électrons utilisant l'émission de champ à froid

3.1.2.2

électrode d'extraction

électrode portée au potentiel électrostatique nécessaire pour extraire des électrons de la source d'électrons

[SOURCE: ISO 22493:2008, 4.1.1.1.1]

3.1.2.3

canon à émission de champ assisté thermiquement

canon à électrons utilisant l'émission de champ assistée thermiquement

3.1.3

canon à émission thermoélectronique

canon à électrons utilisant l'émission thermoélectronique

3.1.3.1

canon à filament de tungstène

canon à émission thermoélectronique dont la cathode est formée par un filament de tungstène plié en épingle à cheveux

3.1.3.2

canon à pointe LaB₆

canon à émission thermoélectronique dont la cathode est constituée d'un monocristal LaB₆ chauffé

[SOURCE: ISO 22493:2008, 4.1.2.2]

3.1.3.3

anode

électrode dans un canon à électrons, à laquelle est appliquée une tension positive élevée par rapport à la cathode afin d'accélérer les électrons émis par celle-ci

3.1.3.4

cathode

électrode qui sert d'émetteur d'électrons dans le canon à électrons, portée à un potentiel électrique négatif par rapport à l'anode

ISO 15932:2013(F)

3.1.3.5

tension d'accélération

champ électrostatique entre la cathode et l'anode, qui accélère un faisceau d'électrons dans un canon à électrons

3.1.3.6

wehnelt

électrode percée placée dans le canon à électrons entre l'anode et la cathode, qui focalise les électrons à l'intérieur du canon et en régule l'émission

3.1.4

brillance

β

densité de courant par unité d'angle solide dans le faisceau, au point de focalisation

Note 1 à l'article: La brillance est donnée par l'équation:

$$\beta = 4i/(\pi^2 d^2 \alpha^2) \text{ [A/m}^2 \cdot \text{sr]}$$

où

i est le courant de faisceau, en ampères;

d est le diamètre du point de croisement des faisceaux, en mètres;

α est le demi-angle d'ouverture du faisceau, en radians.

3.1.5

brillance réduite

β'

brillance divisée par la tension d'accélération du faisceau d'électrons

Note 1 à l'article: La brillance réduite est donnée par l'équation:

$$\beta' = \beta/V$$

où

V est la tension d'accélération du faisceau d'électrons;

β est la brillance.

3.1.6

courant d'émission

courant total d'électrons émis par la cathode

3.1.7

saturation

état de chauffage spécifique de la cathode dans lequel une modification du courant de chauffage ne modifie que très légèrement le courant du faisceau d'électrons proche de son maximum

3.2

système de lentilles électroniques

combinaison de plusieurs lentilles électroniques permettant d'obtenir des fonctions optiques électroniques spécifiques

ISO 15932:2013(F)

3.2.1

courant d'excitation

courant électrique, circulant dans une bobine d'une lentille électromagnétique, nécessaire pour générer un champ magnétique

3.2.2

aberration

écart par rapport aux propriétés idéales d'un élément optique électronique, par exemple défauts d'une lentille tels que l'aberration sphérique, l'aberration chromatique et la diffraction, qui altèrent les propriétés optiques de la lentille

[SOURCE: ISO 22493:2008, 4.2.1]

3.2.2.1

aberration chromatique

défaut de la lentille se produisant du fait que des électrons provenant d'un même point dans l'échantillon mais d'énergies légèrement différentes, sont focalisés en des points différents dans le plan image

3.2.2.2

aberration sphérique

C_s
défaut de la lentille se produisant du fait que la force d'une lentille électromagnétique varie en fonction de son éloignement par rapport à l'axe optique, ce qui entraîne une focalisation des rayons éloignés de l'axe optique plus forte que celle des rayons proches de l'axe optique

[SOURCE: ISO 22493, modifiée]

3.2.2.3

astigmatisme

phénomène par lequel les électrons émergent d'un point objet sont focalisés et forment deux lignes de focalisation distinctes, à 90° l'une de l'autre, et non l'image ponctuelle que donnerait une lentille parfaitement cylindrique

Note 1 à l'article: L'astigmatisme résulte de l'asymétrie du champ magnétique de la lentille générée par des erreurs d'usinage, des défauts d'homogénéité dans les pièces polaires, une asymétrie des enroulements de la lentille et des imperfections du diaphragme.

[SOURCE: ISO 22493:2008, 4.2.3]

3.2.3

diaphragme

ouverture axiale dont le diamètre définit la transmission de la lentille

3.2.3.1

angle d'ouverture

moitié de l'angle sous-tendu par le diamètre du diaphragme au point de focalisation du faisceau

3.2.3.2

diffraction de diaphragme

défaut apparaissant lorsque le diaphragme est très petit, et qui, en raison de la nature ondulatoire des électrons, produit une image de diffraction au lieu d'un point dans le plan gaussien de l'image

3.2.3.3

diaphragme condenseur

diaphragme fixe ou mobile dans un système de lentille condenseur afin de sélectionner une certaine portion du faisceau pour réguler la taille de la zone illuminée de l'échantillon et la dose du faisceau d'électrons et permettre également de déterminer la convergence du faisceau d'électrons

ISO 15932:2013(F)

3.2.3.4

diaphragme objectif

diaphragme placé dans le plan focal arrière de la lentille objectif afin de sélectionner un sous-ensemble angulaire d'électrons avec lequel l'image sera formée

3.2.3.5

diaphragme de sélection de zone (sélecteur)

diaphragme mobile utilisé pour ne sélectionner que le rayonnement diffusé à partir d'une zone spécifique de l'échantillon pour contribuer à la formation d'un cliché de diffraction

3.2.4

stigmatiseur

dispositif appliquant des champs magnétiques faibles supplémentaires pour corriger l'astigmatisme

3.2.5

condenseur

lentille électronique située immédiatement en dessous du canon à électrons, utilisée pour focaliser le faisceau d'électrons, à des degrés divers, pour réguler le courant et la convergence du faisceau d'électrons passant dans la colonne d'électrons

3.2.5.1

angle du cône

angle de convergence d'un faisceau d'électrons incident

3.2.6

bobine de déviation

bobine qui génère un champ magnétique pour dévier le faisceau d'électrons

3.2.7

correcteur de C_s

dispositif permettant de faire varier le coefficient d'aberration sphérique (C_s) de la lentille objectif

3.2.8

lentille objectif

lentille située au premier niveau du système de lentilles d'imagerie du MEA, utilisée pour focaliser l'image électronique ou la sonde

3.2.8.1

plan focal arrière

plan perpendiculaire à l'axe optique d'un MEA dans lequel les rayons quittant l'échantillon avec un même angle convergent vers un point focal

3.2.9

lentille intermédiaire

lentille insérée entre la lentille objectif et la lentille de projection qui agrandit l'image objectif ou le cliché de diffraction et forme la nouvelle image au-dessus du plan objectif de la lentille de projection

3.2.9.1

plan objectif

plan où les faisceaux d'électrons provenant d'un objet convergent pour former une image de l'objet

3.2.10

lentille de projection

lentille finale dans le système d'imagerie qui agrandit l'image intermédiaire et forme l'image finale sur le dispositif d'enregistrement

3.3

système de balayage

dispositif intégré dans la colonne optique électronique, permettant le déplacement de la sonde électronique sur la surface de l'échantillon selon une ou deux dimensions et le recueil de signaux synchronisés de manière à engendrer des lignes ou des images

ISO 15932:2013(F)

3.4

chambre échantillon

compartiment dans lequel la platine goniométrique portant l'échantillon est installé

3.4.1

platine goniométrique

dispositif permettant de déplacer l'échantillon latéralement et verticalement, et d'incliner l'échantillon en effectuant une rotation du porte-échantillon autour de son axe longitudinal

3.4.2

platine à remplissage vertical

platine échantillon insérée au-dessus de la pièce polaire présentant une symétrie de rotation autour de l'axe optique

3.4.3

platine à remplissage latéral

platine échantillon insérée sur le côté de la colonne utilisable en science des matériaux et en tomographie du fait du large espace disponible au-dessus de l'échantillon

3.4.4

contamination induite par le faisceau d'électrons

formation d'une couche polymérisée riche en carbone, à la surface d'un échantillon, résultant des dommages causés par les radiations sur les molécules hydrocarbonées adsorbées

3.4.5

dispositif anticontamination

dispositif qui empêche l'adsorption des hydrocarbures gazeux en les condensant à l'aide d'un piège cryogénique réfrigéré par de l'azote liquide

3.4.6

pompage différentiel

méthode de pompage permettant d'atteindre et de maintenir des valeurs de vide spécifiées dans des chambres reliées par des diaphragmes, ce qui empêche l'échange de grandes quantités de gaz

3.4.7

dérive de l'échantillon

mouvement non intentionnel de l'image de l'échantillon, d'origine quelconque (thermique, mécanique, électrique, effet de charge)

3.4.8

MET environnemental

type de MET qui permet une observation in situ de l'échantillon dans diverses conditions comme un faible vide ou en température

3.5

écran fluorescent

appareillage qui permet de visualiser les images obtenues par MET et les points de diffraction en utilisant la lumière visible émise par un matériau fluorescent excité par impact électronique

3.6

oscillateur d'images

régulateur permettant d'introduire un courant alternatif dans la lentille objectif afin d'aider à aligner correctement les éléments optiques électroniques

3.7

longueur de la caméra

L
distance effective entre l'échantillon et le plan dans lequel le cliché de diffraction est formé

ISO 15932:2013(F)

3.7.1

constante de la caméra

λL

produit de la longueur d'onde de l'onde électronique incidente et de la longueur de la caméra

Note 1 à l'article: En raison du faible angle de Bragg, les conditions de Bragg peuvent être approximées au premier ordre:

$$d \approx \lambda L / r$$

où

d est l'espacement des plans du réseau;

r est la distance (ou rayon) entre le point de diffraction et le faisceau primaire (ou incident).

4 Définitions des termes utilisés dans la préparation de l'échantillon en MEA

4.1

décapage ionique

technique d'amincissement de l'échantillon par pulvérisation d'un gaz inerte

4.2

polissage chimique

technique de planarisation qui utilise la dissolution chimique d'une surface de l'échantillon

4.3

polissage mécanique

technique de planarisation qui utilise des abrasifs en vue de rectifier la surface de l'échantillon

4.4

polissage par jet

technique d'amincissement électrolytique permettant la planarisation de matériaux conducteurs par des jets d'agents de décapage chimiques pulvérisés simultanément sur les deux faces opposées de l'échantillon

4.5

film support

film protecteur mince sur une grille, utilisé pour porter un échantillon en vue d'une observation en MET

4.5.1

microgrille

film support d'échantillon qui comporte une myriade de trous de l'ordre du micromètre

4.6

ablation par FIB

technique d'amincissement spécifique à un site, utilisant l'ablation par des atomes de gallium émis par effet de champ, focalisés et accélérés à une énergie de 1 à 40 keV afin d'amincir une région particulière de l'échantillon

4.7

dommages causés par les radiations

détérioration structurale de l'échantillon induite par le faisceau d'électrons due à la ionisation et à la collision des électrons

4.8

microtome

instrument mécanique utilisé pour couper les échantillons en fines tranches transparentes aux électrons en vue d'une observation en MET

ISO 15932:2013(F)

4.9

dimple grinder

instrument de polissage mécanique utilisé pour former une petite fissure sur un échantillon qui a été précédemment polis en une plaque ayant des côtés parallèles de l'ordre de 100 µm

4.10

revêtement conducteur

fine couche de carbone conducteur ou de métal produite sur la surface d'échantillons non conducteurs pour réduire au minimum les problèmes d'effet de charge au cours de l'observation en MET

4.11

réplique

duplication des irrégularités de surface de l'échantillon obtenues par exfoliation d'un film plastique ou carboné à la surface de l'échantillon

4.12

réplique par extraction

réplique qui contient des précipités ou des inclusions fixés sur un film plastique ou carboné revêtu créé en enlevant le film de la surface de l'échantillon

5 Définitions des termes utilisés dans la formation et le traitement des images en MEA

5.1

moiré

formation de franges de Moiré engendrées par l'interférence entre des éléments périodiques de l'échantillon et l'échantillonnage des points image formant l'image balayée ou par la superposition de clichés d'interférences de cristaux présentant des orientations ou des distances interréticulaires différentes

5.2

contraste

C
différence de signal entre deux points (P_1 , P_2) choisis de façon arbitraire dans le champ de l'image, normalisée par le signal maximal pouvant être atteint dans les conditions de travail particulières

Note 1 à l'article: Le contraste est donné par l'équation:

$$C = |S_2 - S_1| / S_{\max} \quad (0 < C < 1)$$

où

S_2 et S_1 sont les signaux de deux points choisis de façon arbitraire (P_2 et P_1 , respectivement);

S_{\max} est le signal maximal pouvant être atteint dans les conditions de travail particulières.

5.3

traitement d'image analogique

opération de traitement et de manipulation des signaux contenant les informations de l'image comme des grandeurs variant en continu

[SOURCE: ISO 22493:2008, 5.5]

5.4

traitement d'image numérique

opération de traitement et de manipulation des signaux contenant les informations de l'image comme des variables discrètes, c'est-à-dire numérisées

[SOURCE: ISO 22493:2008, 5.6]

ISO 15932:2013(F)

5.4.1

transformée de Fourier

opération mathématique qui décompose un signal en ses composantes fréquentielles

5.4.1.1

transformée de Fourier rapide

FFT

algorithme efficace permettant de calculer la transformée de Fourier discrète

5.4.1.2

transformée de Fourier rapide inverse

IFFT

algorithme efficace permettant de calculer l'inverse de la transformée de Fourier discrète

5.5

image sur fond clair

image formée en utilisant uniquement le faisceau non diffusé, sélectionné par observation du plan focal arrière de la lentille et en utilisant le diaphragme d'objectif pour stopper tous les faisceaux diffractés

5.6

image sur fond noir

image formée par un faisceau diffracté en utilisant uniquement le diaphragme d'objectif pour la sélection ou en collectant le faisceau diffracté à l'aide d'un détecteur de fond noir annulaire

5.7

méthode du faisceau faible

image formée en utilisant un faisceau diffracté faiblement excité qui peut fournir un contraste important au niveau des dislocations parce que les zones fortement contraintes contribuent de manière significative à l'intensité du faisceau

5.8

image du réseau

image formée par les interférences entre les faisceaux transmis et diffractés à partir d'un échantillon très mince et qui correspond à la structure réticulaire périodique de l'échantillon

5.9

imagerie par défocalisation

méthode d'imagerie dans des conditions hors focalisation utilisée lors de l'observation de zones de Fresnel, d'images du réseau et d'images structurales

5.9.1

imagerie par sous-focalisation

condition d'imagerie dans laquelle le courant de la lentille objectif est légèrement diminué par rapport à celui de la focalisation exacte pour améliorer le contraste en imagerie sur fond clair/noir

5.9.2

imagerie par sur-focalisation

condition d'imagerie dans laquelle le courant de la lentille objectif est légèrement augmenté par rapport à celui de la focalisation pour améliorer le contraste en imagerie sur fond clair/noir

5.9.3

focalisation de Scherzer

$\Delta f_{\text{Scherzer}}$

condition de défocalisation dans laquelle des images haute résolution d'un objet en phase sont formées en déphasant le faisceau diffracté de $0,5 \pi$, ce qui maximise la fréquence spatiale du premier élément nul de la fonction de transfert de contraste

Note 1 à l'article: $\Delta f_{\text{Scherzer}}$ est donné par l'équation:

$$\Delta f_{\text{Scherzer}} = -1,2(C_s \lambda)^{1/2}$$

ISO 15932:2013(F)

où C_s est l'aberration sphérique et est la longueur d'onde des électrons.

5.9.4

zone de Fresnel

zone d'interférence qui apparaît à proximité du bord de l'échantillon par diffraction de Fresnel

5.9.5

image structurale

image obtenue par interférence entre les faisceaux transmis et diffracté en condition de focalisation de Scherzer

5.9.6

méthode de mise au point

méthode d'imagerie du réseau et de la structure dans laquelle une série d'images sont formées dans des conditions de défocalisation légèrement différentes

6 Définitions des termes utilisés dans l'interprétation et l'analyse des images en MEA

6.1

contraste de diffraction

type de contraste de diffusion qui résulte de la répartition spatiale de l'intensité du faisceau diffracté du fait de la répartition locale de la condition de diffraction

6.1.1

approximation des deux faisceaux

approximation pour le calcul d'une image MEA selon laquelle l'onde transmise et une seule onde diffractée sont considérées comme étant excitées

6.1.2

contour de flexion

type de contraste de diffraction qui résulte de la répartition locale de l'erreur d'excitation en condition de diffraction de Bragg du fait de la flexion de l'échantillon

6.1.3

zone d'épaisseur

contraste observé dans un échantillon en forme de coin excité en condition de diffraction de Bragg du fait de l'oscillation de l'intensité du faisceau primaire et de l'intensité de réflexion

6.1.4

diffraction de Fresnel

type de diffraction qui apparaît lorsqu'une onde traverse un objet et diffracte en champ proche, qui crée des zones d'interférence aux bords de l'échantillon en condition de défocalisation

6.2

contraste de phase

contraste d'image dû au déphasage des ondes diffusées, qui fournit une image MET haute résolution

6.2.1

approximation de l'objet de phase faible

approximation dans laquelle l'échantillon ne modifie pas l'amplitude de l'onde incidente mais provoque un léger déphasage

6.3

contraste de diffusion

contraste d'image qui résulte de la répartition spatiale de l'intensité de la diffusion atomique du fait de la répartition locale de la composition élémentaire

ISO 15932:2013(F)

6.4

simulation d'image

calcul de l'image qui devrait théoriquement être formée par diverses techniques d'imagerie par MEA

6.4.1

méthode multicoupe

algorithme pour la simulation d'images MET haute résolution, qui traite les électrons comme des ondes entrantes, et considère que les interactions avec la matière se produisent sur chacune de multiples coupes successives de l'échantillon

6.4.2

méthode de Bethe

algorithme pour la simulation d'images MET haute résolution, qui permet de localiser les ondes électroniques dans le cristal en résolvant l'équation de Schrödinger par la méthode de diffusion multiple

6.4.3

fonction de transfert de contraste

FTC

fonction qui fournit un déphasage de l'onde électronique en fonction d'une aberration sphérique donnée, de l'angle de diffusion et de la défocalisation

6.5

défaut réticulaire

défaut cristallographique dû à l'irrégularité de l'arrangement des atomes dans le cristal

6.5.1

dislocation

défaut linéaire cristallographique dans une structure cristalline, qui influence fortement de nombreuses propriétés des matériaux et se caractérise de deux façons: dislocations de bordure et dislocations en vis

6.5.1.1

dislocation de bordure

dislocation où un demi-plan supplémentaire d'atomes est inséré dans le cristal, engendrant une distorsion des plans adjacents

6.5.1.2

dislocation en vis

dislocation comprenant une structure dans laquelle un chemin hélicoïdal est tracé autour de celle-ci

6.5.2

vecteur de Burgers

vecteur qui représente l'amplitude et la direction de la distorsion du réseau engendrée par une dislocation dans un réseau cristallin, souvent noté **b**

6.5.3

défaut d'empilage

type de défaut planaire qui résulte de l'irrégularité de la séquence d'empilage de plans atomiques serrés et qui est généralement formé dans des structures compacte telle que les structures fcc et hcp

6.5.4

joint de grains

interface entre deux grains dans un matériau polycristallin

6.6

spectrométrie X à sélection d'énergie

EDS

technique d'analyse qui permet l'analyse élémentaire ou la caractérisation chimique d'un échantillon en analysant les rayons X caractéristiques émis par la matière en réponse à une irradiation par les électrons

[SOURCE: ISO 23833, modifiée]

ISO 15932:2013(F)

6.6.1

rayons X caractéristiques

rayons X émis avec une énergie cinétique=caractéristique de l'élément à partir duquel ils ont été émis

6.6.2

rendement de fluorescence

fraction d'événements d'ionisation d'une enveloppe électronique spécifique qui conduit à l'émission de rayons X caractéristiques

6.6.3

continuum de rayons X

rayons X émis qui résultent de la décélération des électrons dans le champ de Coulomb du noyau

6.6.4

Bremsstrahlung

rayonnement électromagnétique qui forme un spectre continu, provoqué par la décélération d'une particule chargée telle qu'un électron

6.6.5

angle d'émergence

angle entre le plan de l'échantillon et l'axe du cristal détecteur du spectromètre EDS

[SOURCE: ISO 22493, modifiée]

6.6.6

temps mort

γ
temps pendant lequel le système est indisponible pour mesurer un photon parce qu'il est occupé à traiter un événement précédent. Il est fréquemment exprimé en pourcentage du temps total

[SOURCE: ISO 23833, modifiée]

6.6.7

temps effectif

temps pendant lequel le circuit de mesurage des impulsions est disponible pour détecter des photons X

Note 1 à l'article: Le temps effectif est le temps réel d'analyse moins le temps mort. Le temps réel est le temps qui serait mesuré par une horloge conventionnelle. Pour l'acquisition des rayons X, le temps réel dépasse toujours le temps effectif.

6.6.8

méthode de correction ZAF

méthode de correction de l'analyse quantitative en EDS dans laquelle les effets de l'absorption, de la fluorescence et du numéro atomique sur l'émission de rayons X caractéristiques par les atomes de l'échantillon sont corrigés tandis que les effets sont très faibles dans le cas d'un échantillon mince en MET/EDS

6.6.9

méthode de Cliff-Lorimer

méthode d'analyse quantitative par EDS de l'échantillon mince, dans laquelle un facteur de proportionnalité k est utilisé pour relier l'intensité spectrale à la composition chimique

6.6.9.1

facteur k

facteur de correction utilisé dans la méthode de Cliff-Lorimer, déterminé de façon expérimentale ou théorique

6.6.10

résolution en énergie du détecteur EDS

séparation d'énergie minimale identifiable dans l'analyse par EDS, qui dépend de l'énergie des rayons X détectés, du type de détecteur, et de l'instrument sur lequel le détecteur est installé

ISO 15932:2013(F)

6.7

spectroscopie de perte d'énergie des électrons

EELS

méthode d'analyse élémentaire microscopique et de l'état électronique utilisant des électrons diffusés inélastiquement provenant de l'interaction des électrons avec les phonons dans l'échantillon, dans laquelle l'énergie perdue est mesurée à l'aide d'un spectromètre électronique et les causes de cette perte d'énergie sont interprétées

6.8

filtre d'énergie

appareil qui laisse passer les électrons ayant une énergie cinétique spécifique, permettant de soustraire le fond continu inélastique des électrons dans l'image et de former le cliché de diffraction, ainsi que d'acquérir des images filtrées en énergie à des fins analytiques

6.9

effet du numéro atomique

effet dans lequel le rendement des rayons X caractéristiques dépend des numéros atomiques des éléments présents dans l'échantillon en raison de la rétrodiffusion des électrons incidents

6.10

plaque d'imagerie

détecteur bidimensionnel qui utilise la luminescence photo-stimulée de l'euporium

6.11

caméra CDD à balayage lent

caméra CDD qui utilise un taux de rafraîchissement inférieur à celui d'un système de caméra CDD ordinaire afin d'améliorer la qualité de l'image en augmentant le rapport signal sur bruit

6.12

détecteur EDS

détecteur d'état solide qui mesure l'intensité et l'énergie des rayons X émis à partir de l'échantillon

6.12.1

détecteur EDS sans fenêtre

détecteur EDS dépourvu de fenêtre, à l'avant du détecteur, qui augmente la sensibilité de mesure des rayons X de faible énergie (< 1 keV) et permet la détection des éléments ayant un numéro atomique supérieur à celui du bore

6.12.2

détecteur EDS à fenêtre ultra fine (UTW)

détecteur EDS qui utilise un film organique mince revêtu d'aluminium en tant que matériau de fenêtre, à l'avant du détecteur, augmentant la sensibilité de mesure des rayons X mous (< 1 keV) et permettant la détection des éléments légers

6.12.3

détecteur EDS à fenêtre de béryllium

détecteur EDS muni d'une fenêtre de béryllium de 8 µm à 10 µm d'épaisseur, qui est adaptée pour mesurer des rayons X durs (> 1 keV)

6.13

détecteur de fond noir annulaire

détecteur ADF

détecteur utilisé en MEBT pour collecter une image sur fond noir en intégrant l'intensité diffusée interceptée par un filtre annulaire autour du faisceau transmis

Note 1 à l'article: Un contraste de numéro atomique (Z) du à la diffusion de Rutherford est obtenu aux angles de diffusion élevés, tandis qu'une image sur fond noir est obtenue aux angles de diffusion faibles.

ISO 15932:2013(F)

7 Définitions des termes utilisés pour le mesurage et l'étalonnage du grandissement et de la résolution d'image MEA

7.1

résolution d'image

écartement minimal auquel deux détails d'une image peuvent être reconnus comme distincts et séparés; dans le cas d'un film mince amorphe, la résolution est obtenue à partir du modèle par FFT

[SOURCE: ISO 22493, modifiée]

7.2

grandissement d'image

M
rapport de la dimension linéaire, *L*, de l'image enregistrée de l'échantillon sur la longueur correspondante, *l*, de l'échantillon lui-même

Note 1 à l'article: Le grandissement d'image est donné par l'équation:

$$M = L/l$$

[SOURCE: ISO 22493 et ISO 23833, modifiée]

7.2.1

grille d'étalonnage

échantillon étalon présentant une grille de pas connu, utilisé pour l'étalonnage du microscope électronique en transmission afin d'obtenir la valeur absolue du grandissement

[SOURCE: ISO 22493, modifiée]

7.2.2

réplique de la grille de diffraction

échantillon étalon présentant une grille de pas connu, utilisé pour l'étalonnage du microscope électronique en transmission afin d'obtenir la valeur absolue de la constante de la caméra

7.3

limite d'information

limite de résolution théorique du HREM, établie par l'observation d'un échantillon amorphe, et utilisée comme indice de performance d'un MET

7.4

limite de diffraction

limite de focalisation d'un système optique électronique ne contenant pas d'aberrations qui ne dépend que de l'ouverture numérique, de la longueur d'onde et caractérisée par la taille du disque d'Airy

7.5

résolution ponctuelle

résolution en condition de focalisation de Scherzer définie comme étant la fréquence spatiale où la FTC traverse pour la première fois l'axe des abscisses

7.6

résolution du réseau

résolution en condition d'imagerie qui correspond à la structure périodique du réseau de l'échantillon

7.7

disque d'Airy

taille de sonde limitée par la diffraction produite par une lentille parfaite ayant une ouverture circulaire

ISO 15932:2013(F)

7.8

matériau de référence

RM

matériau ou substance, dont une ou plusieurs des valeurs de propriétés sont suffisamment homogènes et bien établies pour être utilisées pour l'étalonnage d'un appareil, l'évaluation d'une méthode de mesure, ou pour assigner des valeurs aux matériaux

Note 1 à l'article: Pour les besoins de la présente Norme internationale, un RM possède un ou des modèles périodiques avec une gamme d'intervalles périodiques et une précision désirées, pour être utilisé pour l'étalonnage du grandissement d'image ou de la constante de la caméra.

7.8.1

matériau de référence certifiée

CRM

matériau de référence, accompagné d'un certificat, dont une ou plusieurs des valeurs de propriété sont certifiées par une méthode qui établit sa traçabilité à une réalisation précise de l'unité dans laquelle les valeurs de propriété sont exprimées, et pour laquelle chaque valeur certifiée est accompagnée d'une incertitude à un degré de confiance indiqué

7.9

courant d'excitation

courant électrique appliqué à la bobine de la lentille magnétique

7.10

règle en verre graduée

règle marquée d'une fine graduation utilisée comme échelle de référence pour mesurer la distance sur l'image numérisée après l'avoir numérisé à l'aide d'un scanner d'images

8 Définitions des termes utilisés dans la diffraction des électrons en MEA

8.1

onde transmise

onde électronique qui est non diffusée ou diffusée vers l'avant par l'échantillon et coïncide avec l'axe optique

8.2

onde diffractée

onde électronique qui a subi une diffraction de Bragg dans l'échantillon

8.3

diffraction de Bragg

processus physique de diffusion particulièrement forte du faisceau d'électrons incident sous certains angles en relation avec les plans atomiques du cristal dues à une interférence constructive qui obéit à la loi de Bragg

[SOURCE: ISO 22493, modifiée]

8.3.1

loi de Bragg

expression mathématique reliant la longueur d'onde du faisceau du rayonnement incident et l'espacement des plans atomiques d'un cristal aux angles spécifiques que font le faisceau et les plans atomiques qui provoquent une diffraction

Note 1 à l'article: La loi est donnée par l'équation:

$$\lambda = 2d\sin\theta_B$$

où

ISO 15932:2013(F)

- λ est la longueur d'onde;
 d est la distance interréticulaire;
 θ_B est l'angle de Bragg.

8.3.2

diffraction cinématique

processus de diffraction dans lequel une seule réflexion de Bragg est excitée dans l'échantillon mince et l'absorption est négligeable

8.3.3

diffraction dynamique

processus de diffraction dans lequel de multiples diffractions de Bragg sont excitées dans l'échantillon

8.3.3.1

double diffraction

diffractions de Bragg doublement excitées dans un bicristal empilé verticalement

8.3.3.2

lignes de Kikuchi

structure observée dans le fond continu du cliché de diffraction, formée par une diffraction de Bragg des électrons diffusés inélastiquement

8.3.4

diffraction électronique à aire sélectionnée

technique de diffraction dans laquelle une zone de l'échantillon est sélectionnée à l'aide du diaphragme de sélection placé à l'avant de la lentille intermédiaire

8.3.5

microdiffraction

technique de diffraction dans laquelle des points de diffraction sont obtenus à partir de régions de l'échantillon de l'ordre du micromètre en utilisant une sonde électronique de taille réduite

8.3.6

diffraction des électrons en faisceau convergent

technique de diffraction dans laquelle des diffractions sont effectuées simultanément avec plusieurs angles incidents en faisant converger les trajectoires des électrons dans un cône sur l'échantillon

8.4

indice de Miller

système de notation utilisé en cristallographie pour les plans et les directions des réseaux cristallins, dans lequel une famille de plans ou de directions réticulaires est déterminée par trois nombres entiers h, k, l

8.5

espace réciproque

espace défini par des vecteurs du réseau réciproque, utile pour convertir les clichés de diffraction en une structure cristalline

8.5.1

réseau réciproque

ensemble de tous les vecteurs \mathbf{K} déterminé de sorte que $\exp(i\mathbf{R}\cdot\mathbf{K}) = 1$ pour tous les vecteurs de position des points \mathbf{R}

8.5.2

sphère d'Ewald

sphère définie dans le réseau réciproque ayant un rayon de $1/\lambda$ (λ ; longueur d'onde) et dont le centre est situé dans la direction du faisceau d'électrons incident à une distance de $1/\lambda$ d'un point réciproque particulier

ISO 15932:2013(F)

8.5.3

axe de zone

direction cristallographique, désignée $[uvw]$, qui peut être définie par l'intersection d'un certain nombre de plans cristallins ($h1, k1, l1...hi, ki, li$) de sorte que tous les plans satisfont à la loi de Weiss; $hu + kv + lw = 0$

8.5.3.1

loi de Weiss

loi permettant, en utilisant la relation $hu + kv + lw = 0$ lorsque le plan de Miller (hkl) est parallèle à la direction $[uvw]$, de déterminer les plans et les directions cristallographiques

8.5.4

distance d'extinction

périodicité en épaisseur de l'oscillation de l'intensité des électrons entre le faisceau primaire et le faisceau réfléchi diffracté selon la loi de Bragg

8.5.5

erreur d'excitation

paramètre décrivant le faible écart par rapport à la condition exacte de Bragg

ISO 15932:2013(F)

Bibliographie

- [1] ISO 704, *Travail terminologique — Principes et méthodes*
- [2] ISO 1087-1, *Travaux terminologiques — Vocabulaire — Partie 1: Théorie et application*
- [3] ISO 10241 (toutes les parties), *Articles terminologiques dans les normes*
- [4] ISO 22493, *Analyse par microfaisceaux — Microscopie électronique à balayage — Vocabulaire*
- [5] ISO 23833, *Analyse par microfaisceaux — Analyse par microsonde électronique (microsonde de Castaing) — Vocabulaire*
- [6] REIMER L. *Transmission Electron Microscopy*. Springer-Verlag, Berlin, Fifth Edition, 2007
- [7] CULLITY D., & STOCK S.R. *Elements of X-ray diffraction*. Prentice Hall College Div, 2001
- [8] GUINIER A. *X-ray Diffraction: In Crystals, Imperfect Crystal, and Amorphous Bodies*,(Dover Pubns; Reprint, 1994)
- [9] *Introduction To Analytical Electron Microscopy*, ed. By J.J. Hren, J.I. Goldstein and D.C. Joy. Plenum Press, New York, 1979
- [10] *Principles of Analytical Electron Microscopy*. (Joy D.C., Romig A.D., Goldstein J.I., eds.). Plenum Press, New York, 1986

ISO 15932:2013(F)

ICS 01.040.37;37.020

Prix basé sur 21 pages

© ISO 2013 - Tous droits réservés