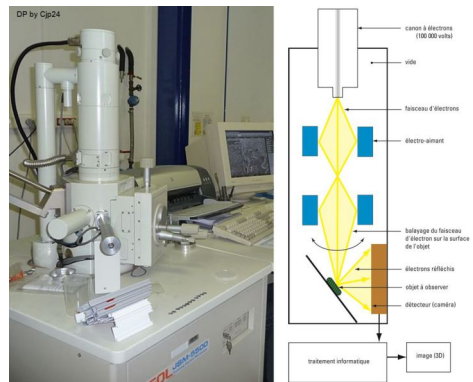


Chapitre I : Microscope électronique à balayage

Appareillages et techniques de caractérisation



Dr. Lezzar

Table des matières



I - Principe du microscope électronique a balayage (MEB)	3
II - Processus se produisant lors de l'interaction du faisceau	4
III - Constitution d'un microscope électronique à balayage	7
IV - Préparation des échantillons	9
V - Formation de l'imagerie	10
VI - imagerie	11
VII - Modes de fonctionnement divers	12
1. Images à contraste de potentiel	12
2. Images à contraste de champ magnétique	12
VIII - Points forts et limites	13

Principe du microscope électronique à balayage (MEB)

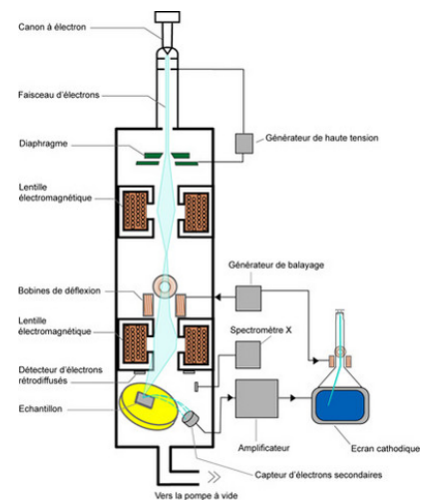


Le microscope électronique à balayage (MEB ou SEM en anglais pour scanning electron microscopy) utilise un fin faisceau d'électrons, émis par un canon à électrons.

Des lentilles électromagnétiques permettent de focaliser le faisceau d'électrons sur l'échantillon, et d'agrandir en plusieurs étapes l'image.

L'interaction entre les électrons et l'échantillon provoque la formation d'électrons secondaires de plus faible énergie. Ils sont amplifiés puis détectés et convertis en un signal électrique.

Ce processus est réalisé en chaque point de l'échantillon par un balayage du microscope. L'ensemble des signaux permet de reconstruire la typographie de l'échantillon et de fournir une image en relief.



Le microscope électronique à balayage

⚠ Attention

La préparation des échantillons est contraignante. Ils doivent être *déshydratés* puis subir un traitement pour devenir *conducteur*. L'échantillon est ensuite placé sur le porte-objet.

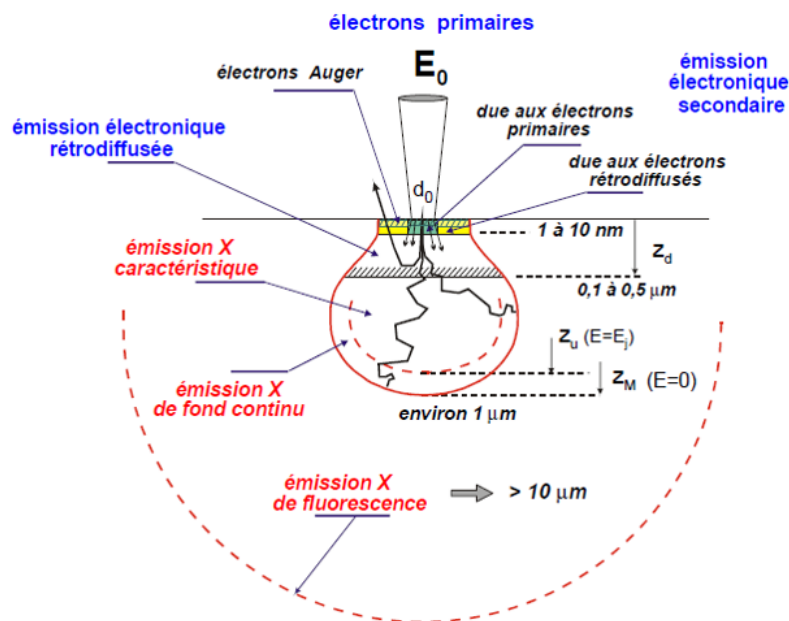
📦 Complément

La profondeur de pénétration des électrons est de 100 nm à quelque microns, elle est autant plus grande que la direction du faisceau électronique est proche de la perpendiculaire à la surface de l'échantillon.

Processus se produisant lors de l'interaction du faisceau

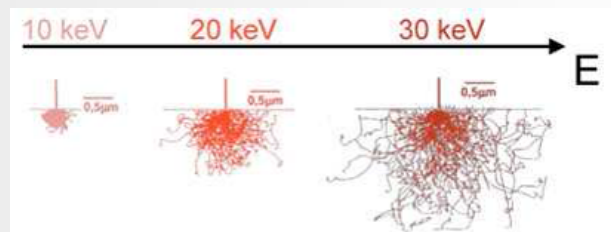
II

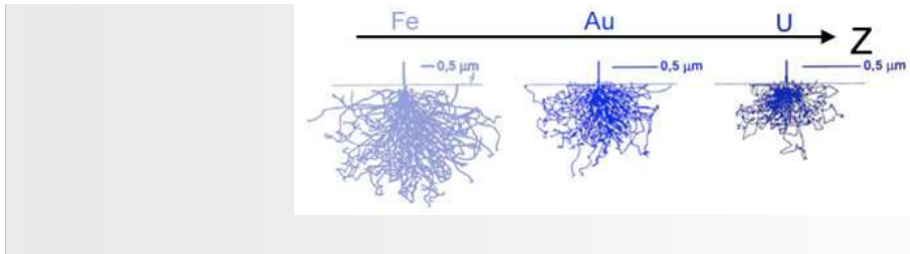
La forme géométrique du volume de la matière irradiée par le faisceau électronique ressemble à une poire appelée poire de diffusion.



Fondamental

La forme de la poire de diffusion dépend : de la tension d'accélération et du numéro atomique de la matière irradiée





Électron transmis

Il proviennent du faisceau incident

Électron secondaires

Ce sont des électrons éjectés des couche périphérique des atomes cibles du matériau sous l'effet du bombardement par les électrons du faisceau primaire.

Leur énergie est faible et ils ne sont détectés que s'ils ont été produit près de la surface de l'échantillon 50 nm

La résolution obtenue par ces électrons est très grande

Les ES permettent d'analyser la topographie de la surface information sur la morphologie de l'échantillon.

Électrons rétro-diffusés

Les électrons proviennent du faisceau primaire, ils arrivent en surface après plusieurs déviation et collision élastique. Ils peuvent provenir d'une profondeur importante et leur parcours dans la matière leur fait perdre une fraction de leur énergie initial. Mais elle reste plus élevée que celle des ES.

Attention

Les électrons transmis ne sont pas étudiés par le MEB parce qu'il n'y a pas de transmission.

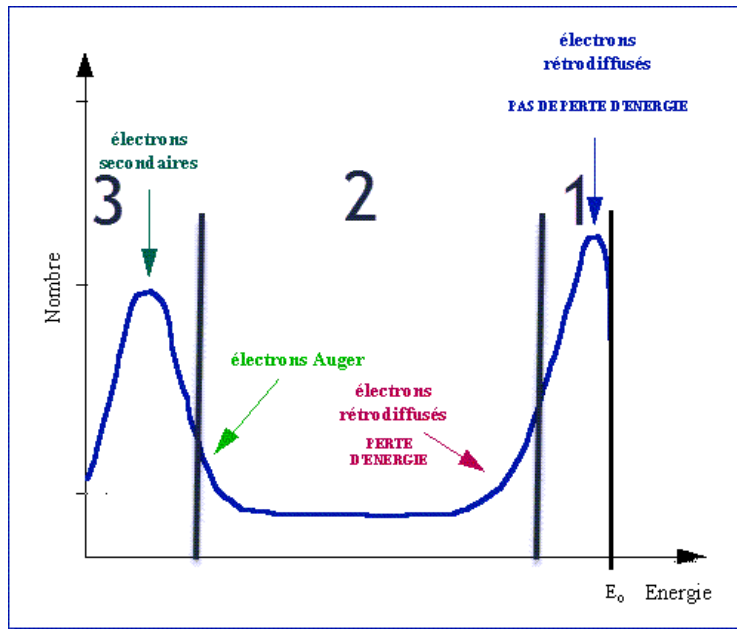
Rayon X

L'énergie des raies de émission X dépend du numéro atomique Z et par conséquent ces raies sont caractéristiques de chaque élément chimique de la classification.

Spectre d'émission

Le spectre d'émission des électrons, sous l'impact du faisceau incident, présente essentiellement trois domaines

1. à haute énergie, un pic intense et très étroit, le pic élastique, dont le maximum est à l'énergie primaire du faisceau, et qui est composé des électrons rétro-diffusés n'ayant pas subi de pertes d'énergie ;
2. une grande zone intermédiaire, correspondant (à énergie primaire croissante) à la décroissance du signal des électrons secondaires et à la croissance du signal des électrons rétro-diffusés ayant perdu de moins en moins d'énergie. Les petites oscillations à peine discernables sont les pics Auger.
3. à basse énergie, le pic des électrons secondaires, par convention à moins de 50 eV, indépendamment de l'énergie primaire ;

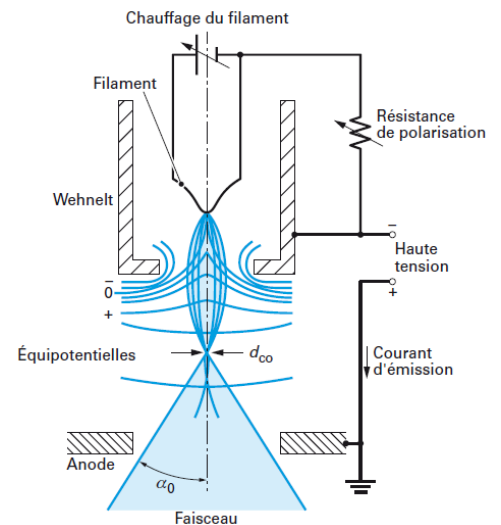


Constitution d'un microscope électronique à balayage

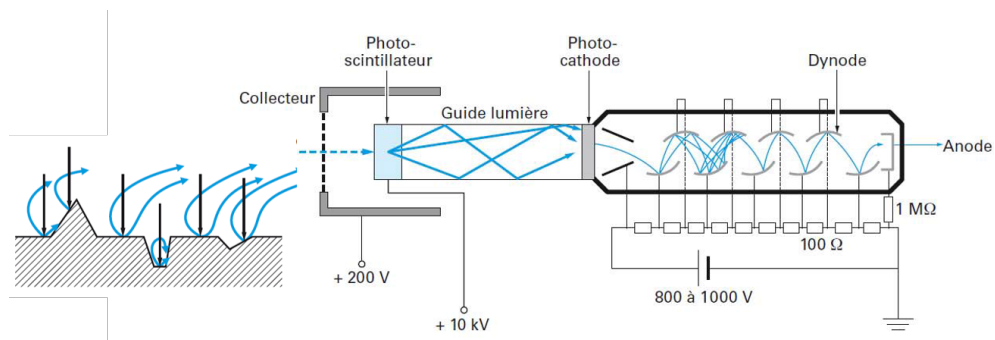
III

Le canon à électron : un faisceau électronique est créé par imitations thermoïonique à partir d'un filament métallique chauffé à une haute température. Ce filament constitue la cathode, l'anode étant positif par rapport à la tension du filament, attire les électrons et les accélère dans la colonne vers l'échantillon grâce à un champ électrique puissant créé entre l'anode et la cathode.

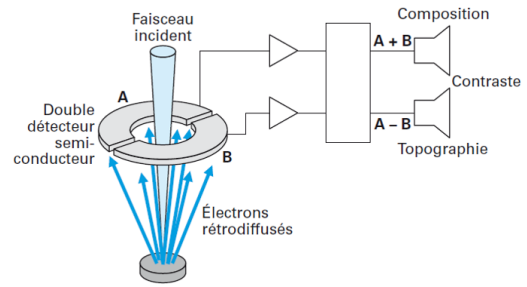
La colonne du microscope : elle comprend des condensateurs (lentille électromagnétique), les bobines défectrices de balayage.



Détecteur d'électrons secondaire : Les détecteurs sont formés d'un scintillateur et d'un photomultiplicateur. Les électrons secondaires de faible énergie émis sont soumis à un faible potentiel de l'ordre de 200V qui les attire. Le scintillateur les transforme alors en photons. Ils sont ensuite à nouveau convertis en électrons par le photomultiplicateur. Une suite de dynodes les amplifie de façon à fournir un signal détectable.



Détecteur d'électrons rétrodiffusés : Ils sont formés d'un semi-conducteur (jonction pn) ayant une forme de disque. Les électrons de forte énergie ($E \approx E_0$) ne sont pas déviés par un faible potentiel. En effet, leur grande énergie cinétique (5-20keV) les rend insensibles à un champ électrique tel que celui créé par le collecteur de 200V du détecteur des électrons secondaires. Le détecteur ne reçoit que les électrons rétrodiffusés issus de parties visibles de l'échantillon



Complément

- Détecteur des rayons X.
- Système de vide : il est composé d'un groupement de pompe.
- L'électronique de contrôle : Le système de balayage permet de déplacer la sonde. Le nombre de lignes peut varier de 50 à 160, la durée du balayage de 10-3 s à 5 s.

Préparation des échantillons

IV

Géométrie de quelque mm²

Attention

Comme la caractérisation se fait sous vide, il est primordiale d'éliminer tout liquide ou vapeur présente dans l'échantillon

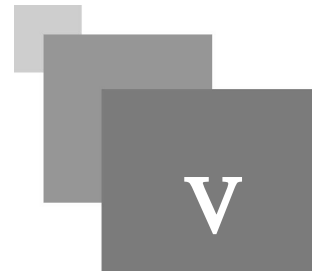
Méthode

Si l'échantillon est isolant il produit un effet de charge important, cette effet induit des déplacement d'image ou des zébrures

Pour écouler le grand flux d'électrons vivant du faisceau primaire et éviter l'effet de chargement électrostatique de l'échantillon dans la chambre d'analyse.

Ce dernier doit être rendu conducteur par métallisation de sa surface par une fine couche de matière conductrice.

Formation de l'imagerie



Il n'existe pas d'image réelle en microscopie électronique à balayage.

L'image est formée par la position en X et Y de la sonde qui balaye l'échantillon et les intensités mesurées par chaque détecteur qui mesure l'interaction électron-échantillon.

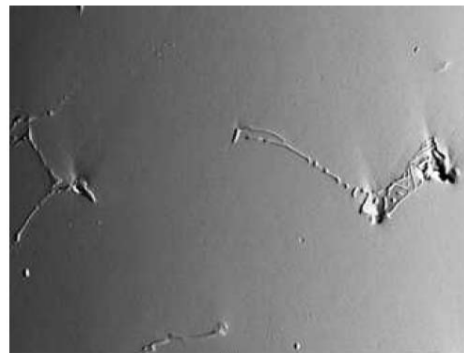
Cette information peut être fournie par deux fonctions:

- La fonction balayage d'une ligne (line scans).
Dans ce cas, le balayage a lieu suivant une ligne sur l'échantillon et l'écran de visualisation présente suivant l'axe horizontal la position et suivant l'axe vertical l'intensité mesurée par un des détecteurs.
- La fonction balayage d'une surface.
Dans ce cas, les informations provenant des détecteurs sont converties en intensité lumineuse sur l'écran de visualisation.

imagerie

VI

contraste topographique (lié au taux d'électrons secondaires ou rétro-diffusés et à leur accès au détecteur, en fonction de la topographie. On parle de contraste d'angle, d'ombrage, de pointe....) : par exemple, les bords d'une sphère ou les pointes apparaissent plus brillants, les trous apparaissent sombres,



100 μm 20 kV

contraste chimique (lié au facteur de diffusion de l'atome donc au numéro atomique). Plus l'atome est lourd (i.e. plus le numéro atomique croît), plus le nombre d'électrons rétro-diffusés augmente, plus la zone correspondante sera brillante.



100 μm 20 kV

Modes de fonctionnement divers



VII

1. Images à contraste de potentiel

Principe: Une différence de potentiel à la surface de l'objet produit une variation de l'émission électronique secondaire.

Dans le cas d'un cristal semi-conducteur, l'application d'une différence de potentiel à l'aide d'électrodes permet d'étudier par l'image d'électrons secondaires, la répartition en potentiel. => les propriétés du semi-conducteur.

Application: étude et contrôle des transistors, des circuits intégrés et des semi-conducteurs.

2. Images à contraste de champ magnétique

Principe: Le trajet des électrons secondaires, d'énergie très faible, est perturbé par l'existence de champs magnétiques, même de faible intensité, à la surface de l'échantillon.

Applications: L'image en électrons secondaires fournira des informations sur l'étude des domaines magnétiques dans les cristaux ferromagnétiques.

Possibilité de visualiser les champs magnétiques produits par les conducteurs d'un circuit intégré parcourus par un courant.

Points forts et limites



VIII

points forts

Imagerie rapide à haute résolution

Identification rapide des éléments présents

Bonne profondeur de champ

Plate-forme polyvalente qui accepte beaucoup d'autres outils

Limites

Compatibilité avec le vide généralement nécessaire

L'analyse SEM peut nuire à des analyses ultérieures

Les restrictions tenant à la taille peuvent imposer de couper l'échantillon