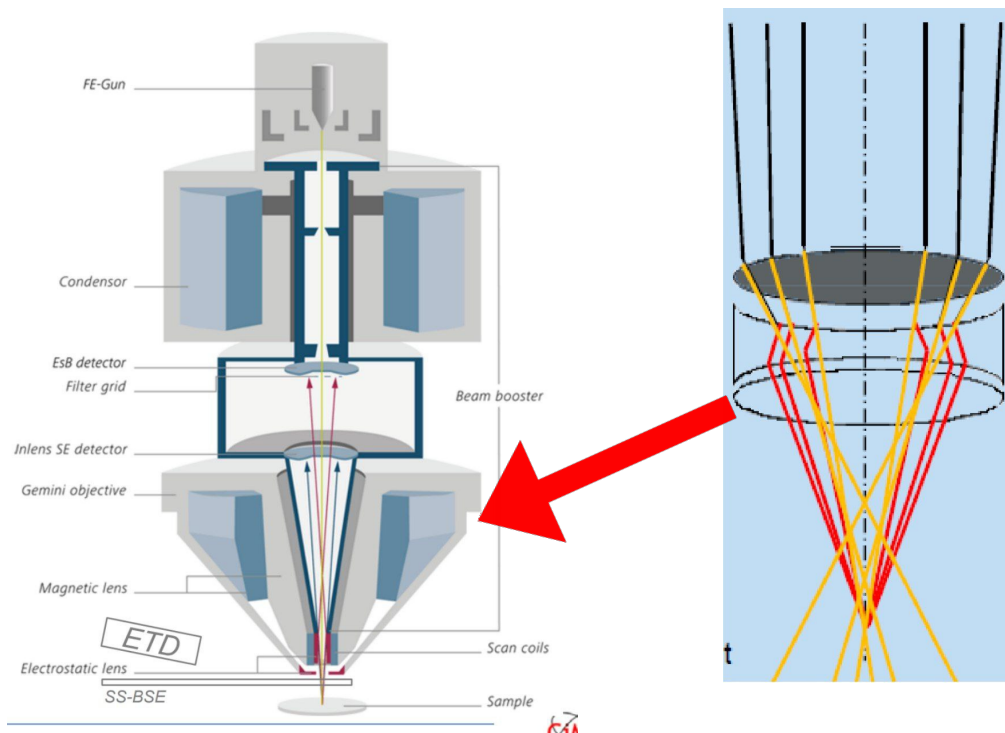


## RÉSUMÉ MICROSCOPIE SEMAINE 4

### SEM avancé et Focused Ion Beam

#### Composants du SEM



- **FE gun:** Canon à accélération de particules. Émet un faisceau d'électrons hautement stable. Courant de sonde max à 30 nA.
- **Condensor:** Double lentille de condensation. Ajuste l'ouverture du faisceau.
- **Beam Booster:** Accélérateur et Décélérateur de Faisceau. Sert à focaliser les électrons à haute énergie avant de les ralentir et faire des observations à bas voltage et augmente la résolution.
- **InLens EsB detector:** Est équipé d'un système qui sélectionne les électrons à hautes énergies (BSE). Donne des informations concernant la composition et la densité de masse de l'échantillon. Fonctionne bien mieux à bas voltage qu'un détecteur à BSE "normal", car il peut augmenter le contraste de l'image en sélectionnant des électrons dans une gamme énergétique, grâce au Energy filtering grid.
- **Energy Filtering Grid:** Connecté à une source de voltage qui lui fournit un champ électrique. Les électrons ayant un champ proche du filtre parviennent à passer à travers sans grande déviation et atteignent le EsB Detector, tandis que les autres sont déviés.

- **InLens SE detector:** Détecteur à SE, utilisé pour avoir des images à haute résolution de la topographie de l'échantillon.
- **Gemini Lens:** Combinaison d'une lentille magnétique convergente et d'une lentille divergente électrostatique. Sert à mieux contrôler le courant et le focus du faisceau, ce qui augmente la résolution.
- **Everhart-Thornley SE detector:** Un détecteur ET-SE se situe plus loin de l'échantillon qu'un In-Lens SE detector et en dehors de la colonne. Il est orienté différemment et utilise une lumière apparente située d'un côté. Ceci permet de donner des informations plus précises sur la surface de l'échantillon.

### **Pourquoi imager à basse tension ?**

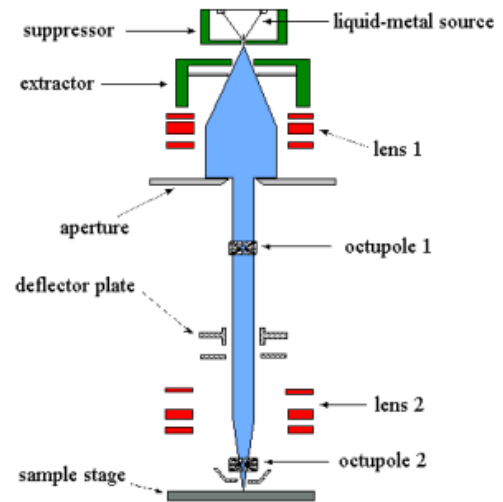
Imager les électrons secondaires avec une basse tension est bénéfique pour plusieurs raisons.

- *Réduction de l'effet de charge:* Plus difficile pour des échantillons d'accumuler de la charge à basse tension. Ainsi, il n'y a plus/moins besoin de préparer l'échantillon avant de l'observer
- *Augmentation de la sensibilité à la surface:* Les rayons à basse tension ne pénètrent peu ou pas l'échantillon, donnant une image très détaillée de sa surface.
- *Optimisation de la résolution:* Les électrons à basse énergie envoyés sur l'échantillon interagissent fortement avec la surface, ce qui promouvoit l'émission de plus de SE, augmentant ainsi la résolution.
- *Meilleur pour les échantillons sensibles ou organiques:* Le faisceau ayant moins d'énergie, il est moins probable qu'il endommage l'échantillon.
- *Possible de détecter la contamination par hydrocarbures (désavantage):* Les électrons à basse tension sont particulièrement sensibles aux éléments légers tels que le carbone. Il est donc possible de les détecter avec du SEM à basse tension. Ils peuvent ensuite être éliminés avec du plasma cleaning de l'échantillon et de la chambre d'observation avant chaque utilisation.

## Focused ion beam (FIB)

### - principe :

Microscope ionique : source avec un métal liquide, le métal mouille une pointe, forme un cône, sur le cône le rayon de courbure est tellement faible que le champ est assez fort pour ioniser les ions, les arracher et les éjecter de la pointe. Dans les labo on utilise le gallium → fond à basse température. Une fois que l'ion est émis, on l'accélère et le dévie comme un électron.



Schematic diagram of a FIB ion column  
Source: IBM Almaden Research Center

**SIM = Scanning Ion Microscope**

### • ions vs. electrons

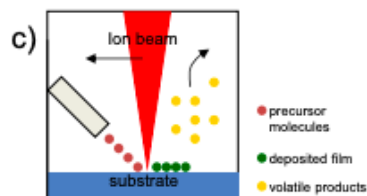
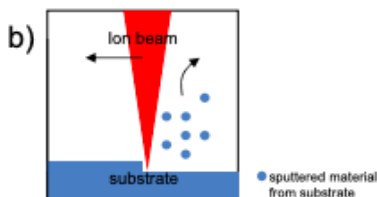
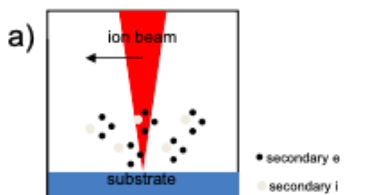
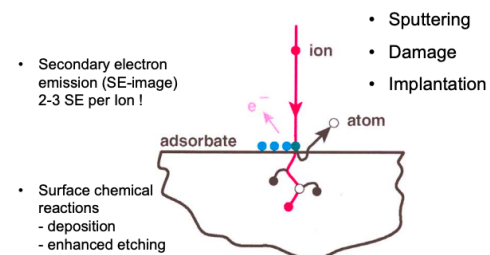
#### ○ electrons:

- très petits
- réaction à l'intérieur des couches
- masse très petite → plus haute vitesse pour une énergie donnée
- négatif
- magnetic lense → force de Lorentz

#### ○ ions:

- grand/gros → ne peuvent pas traverser l'échantillon mais création de bcp d'e<sup>-</sup> secondaires
- réaction à l'extérieur des couches (pas de rayon x)
- possibilité de rester coincés dans l'échantillon
- plus petite profondeur de pénétration
- lourds → lent, donc moins facile à dévier (car force de Lorentz dépend de la vitesse), mais moment important
- positifs
- electrostatic lense

### Ion - Solid interaction



### • 3 modes d'opération :

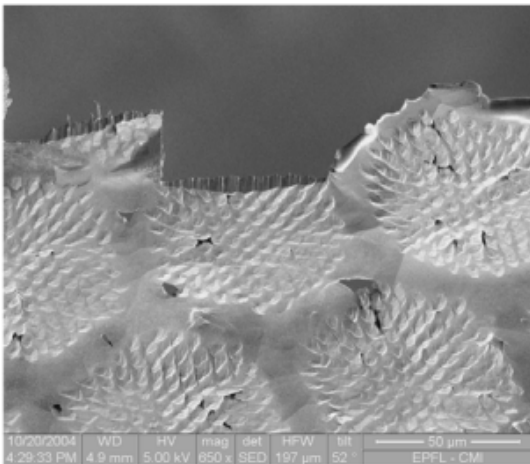
a) émission des électrons et ions secondaires → **"FIB imaging"** ; low ion current

b) pulvérisation de substrat d'atomes → **"FIB milling"** ; high ion current

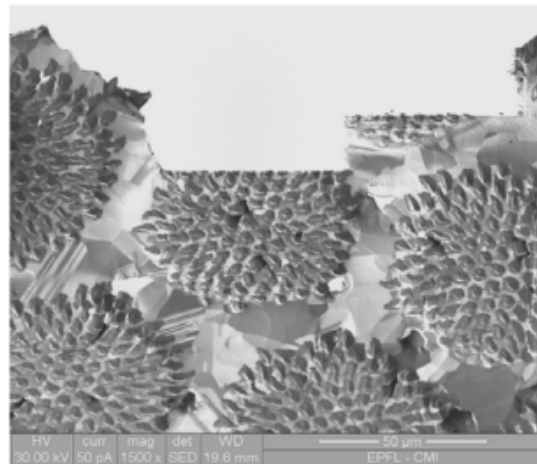
c) interaction chimique (gas assisted) → **"FIB deposition"** ; gravure améliorée

autres effet : implantation d'ions, déplacements d'atomes dans le solide → induit des dommages, émission de phonons → chauffe

## SE image contrast



**e-beam 5kV**



**ion-beam 30kV 50pA**

**material (sputtering) contrast  
orientational contrast**

- Contraste d'orientation cristallographique : image à l'appui : Selon l'orientation l'ion peut plus ou moins entrer → Plus l'ion entre dans l'échantillon moins on a de contraste car il y a moins d'électron secondaire rejetés.
- quand les colonnes d'atomes sont alignées avec la trajectoire des ions → meilleure pénétration
  - Creusage : (attaque d'échantillon), Plus on incline l'échantillon plus le taux d'attaque augmente. Incidence trop rasante, l'ion va être éjecté direct.
  - Pour lisser : on utilise l'angle rasant pour faire chuter le taux d'endommagement. Les rugosités diminuent avec le temps.
  - Déposition assistée par gaz : molécules de gaz restent collées sur la surface, elles peuvent être décomposées par faisceau ionique qui vient fixer le dépôt. Création de structure en diamant (ressort diamanté par exemple) par déposition assistée. Création d'objets pour former des nanostructures

- **application**

- **Réparation des circuits imprimés:**

- Utilisation du faisceau ionique pour creuser et créer une connexion entre deux pistes métalliques pour créer un contact électrique, circuit électrique ! Peut être utilisé pour analyser les concurrents.

- **Analyse des défauts, préparation d'une lamelle TEM:**

- Creusage autour d'un transistor. Découpage de fine lamelle d'un semi-conducteur 100 nm : On dépose avec le faisceau ionique une couche protectrice de platine, on commence avec des courants très élevés à creuser des tranchées, on a une lamelle fine qu'on sépare puis on soude la pointe sur la lamelle pour l'extraire, on l'amène sur une grille (en forme de demi lune), on coupe puis on peut polir la lamelle jusqu'à la transparence aux électrons. Méthode élégante pour préparer les lamelles pour la microscopie à transmission

- Possibilité de faire de la microscopie 3D, tomographie, avec FIB

- **Microscopie 3D**

- ou nanotomographie par FIB, plus précisément.

- le faisceau ionique polit une première face, on l'analyse, on repolit, on réanalyse... et ainsi de suite Répartition des phases en 3D → reconstruction en volume

- Démarche imagerie d'un supra-conducteur : filaments de supra-conducteur, molécule de gaz injectée proche de la surface puis processus à la chaîne découpe-image etc. Après 160 images → animation permettant de voir "l'intérieur" du semi-conducteur. Porosités apparaissent à l'image comme des zones noires → pores gênant donc on les remplit de résine.

- Analyse plus complexe :

- identification de la matrice par rapport aux grains => séparer le blanc du gris ; bcp de particules coupées par les limites du bloc observé

- reconstruction du volume : pixel en 3D = voxel. analyse d'un gros volume prend 1 à 2 jours pour 1600 images. travail à basse tension pour ne pas doubler l'info reçue

