

# Microscopie 3D/Tomographie

## 1. FEM et FIM

Le but de la microscopie à émission de champ (FEM) est d'imager la surface d'un échantillon conducteur préalablement taillé en pointe très fine de rayon de courbure  $R \approx 0.1 \mu\text{m}$ . En appliquant un potentiel électrique négatif à la pointe, les électrons à la surface de l'échantillon sont arrachés. Ces électrons traversent la chambre, qui est soumise à un très haut vide, jusqu'à atteindre un écran qui agrandit l'image de la surface.

La microscopie ionique à effet de champ (FIM) est similaire. Le montage est aussi le même, à la différence près que pour cette méthode un gaz est placé dans l'enceinte. Dans ce cas, un potentiel électrique positif de l'ordre de 1 kV est appliqué à la pointe, qui génère un champ électrique de l'ordre de  $10^9 \text{ V/m}$  à la surface de l'échantillon, suffisant pour ioniser les atomes de gaz. Ces ions sont projetés vers l'écran où se forment une image agrandie de la surface. La probabilité  $D$  qu'un atome soit ionisé est telle que :

$$D \propto e^{-\frac{c(I - \Phi)}{V}}$$

avec  $I$  le potentiel d'ionisation,  $\Phi$  la fonction de travail de l'émetteur (échantillon),  $V$  le potentiel électrique et  $c$  une constante.

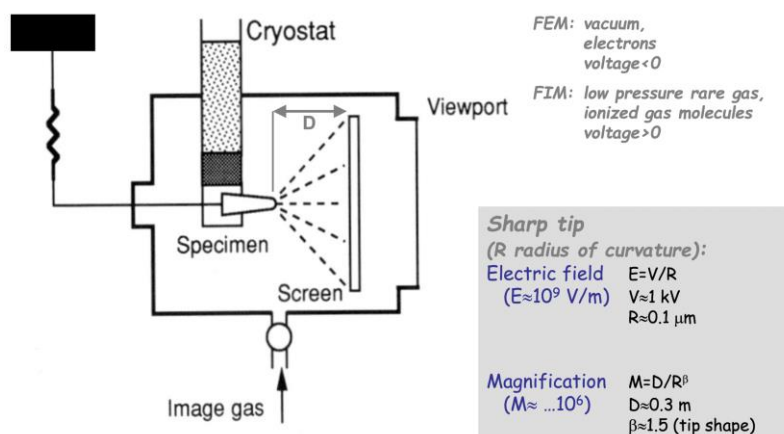


Fig.1 : Schéma du montage en FIM.

Le champ électrique est inversement proportionnel au rayon de courbure de l'échantillon. Les différences de fonction de travail et de champ électrique créent le contraste sur l'image.

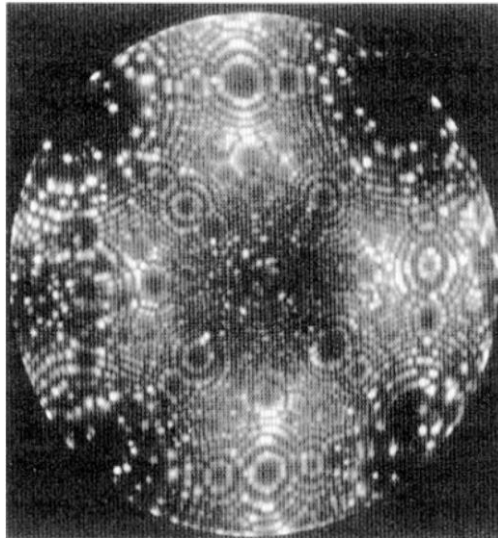


Fig.2 : image obtenue en FIM (chaque point lumineux est l'image d'un atome de la surface de l'échantillon).

Les points les plus lumineux représentent des marches atomiques, “*ledges*”, ou des décrochements, “*kinks*”, car ces défauts de surface ont un travail de sortie plus faible et donc leurs électrons sont plus facilement arrachés.

## 2. Sonde atomique tomographique (atom probe tomography, APT)

L'APT peut être utilisée pour des matériaux conducteurs ou isolants. Le principe est similaire au FEM mais dans ce cas ce sont les atomes de l'échantillon qui sont ionisés et arrachés. L'évaporation des ions est contrôlée par des pulsations soit électriques soit lasers. Puis, une différence de potentiel les accélère sur une plaque, où pour chaque pixel le temps de vol de l'ion est mesuré. Le temps de vol permet de déduire la masse de l'atome et donc sa nature chimique. En combinant les mesures de temps de vol et de position d'impact des ions, une carte tridimensionnelle de la composition atomique de l'échantillon est construite.

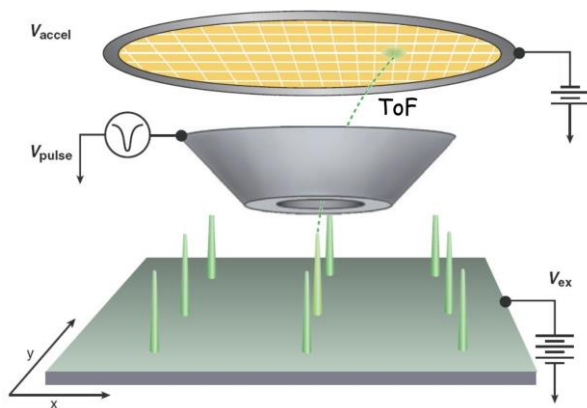


Fig.3 : Schéma d'une sonde atomique tomographique.

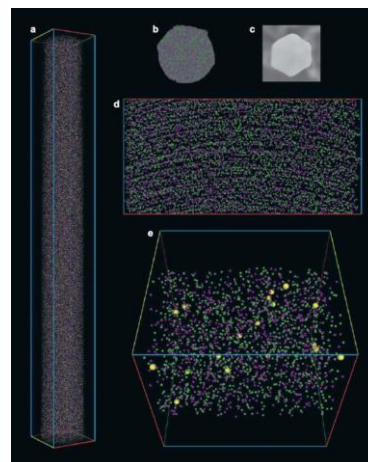


Fig.4 : reconstruction 3D d'un nanofil InAs.

### 3. Tomographie

La tomographie permet de reconstruire une représentation tridimensionnelle (tomogramme) d'un échantillon grâce à un nombre fini d'images bidimensionnelles prises à différents angles, par projection ou par coupes en série. Ses applications sont nombreuses, à la fois en médecine, géologie, science des matériaux... On distingue les méthodes de tomographie non-destructives (Rayon X, TEM...) de celles destructives (FIB, APT...).

Elle est basée sur le principe de Radon. Selon le principe de Radon, l'information contenue dans un objet initial peut être obtenue grâce à une infinité de projections faites de cet objet dans toutes les directions. La transformée de Radon est l'ensemble de ces projections. Par rétroprojection (transformée inverse), l'échantillon est reconstruit.

Les méthodes de tomographie en TEM ont des limitations. En champ clair (BF), le contraste de diffraction rend les images incompatibles à l'obtention d'information par projection des images. De plus, en TEM l'échantillon ne peut pas tourner à 360°, car l'épaisseur de l'échantillon augmente lorsqu'il est incliné. De ce fait, l'inclinaison se limite aux angles entre -60° et 60°. Il y a alors perte d'information et de résolution, il s'agit du "missing wedge problem".

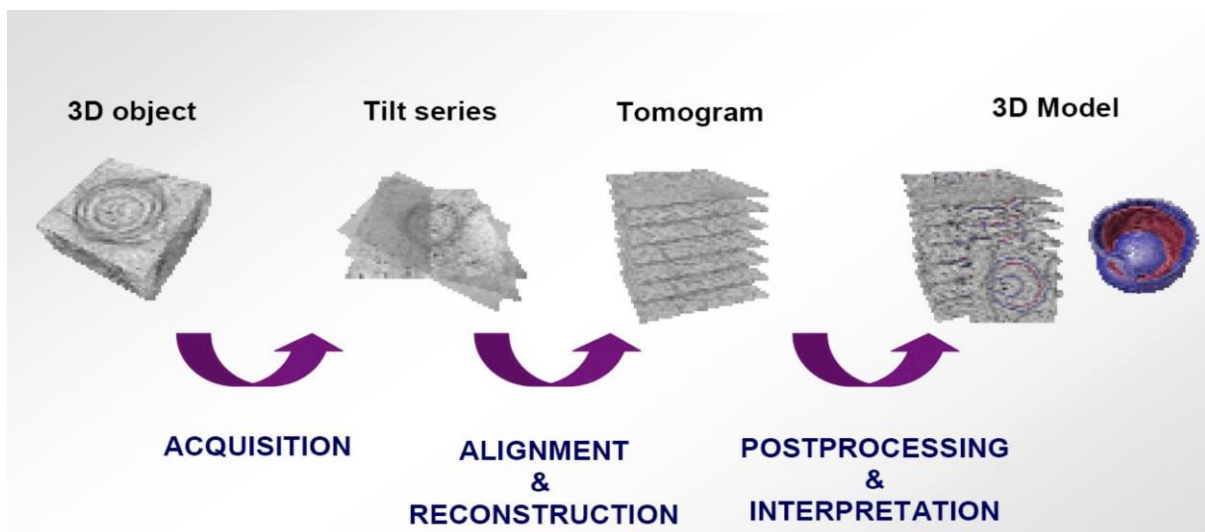


Fig.5 : Principe de la tomographie.