

Chapitre II : Rétrodiffusion Rutherford

Appareillages et techniques de caractérisation

Dr. Lezzar

Table des matières



I - Présentation de la spectrométrie rétrodiffusion Rutherford	3
II - Principe de la rétrodiffusion Rutherford	4
III - Constitution du spectromètre de rétrodiffusion Rutherford	5
1. Source d'ions	5
2. L'accélérateur	6
3. Ligne du faisceau	7
4. Le détecteur	7
IV - Point forts et limites	8

Présentation de la spectrométrie rétrodiffusion Rutherford



La méthode RBS est une méthode d'analyse par faisceau d'ions très utilisée en science des matériaux

Il est composé de protons ou de noyaux d'hélium He^{2+} (MeV) (particules alpha)

Remarque

C'est une technique de diffusion d'ions servant à l'analyse compositionnelle des couches

Complément

Un ensemble de lentilles électromagnétiques focalise le faisceau au niveau de l'échantillon à un diamètre de l'ordre de quelques microns

Fondamental

On peut réaliser l'analyse même avec des intensités suffisamment faibles pour ne pas endommager l'échantillon

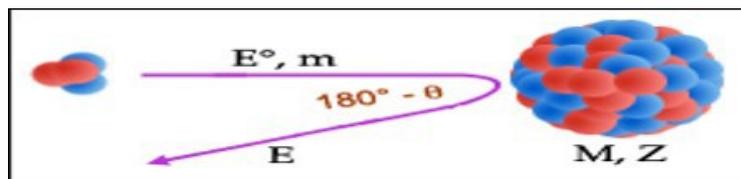
Remarque

Le spectre RBS fournit aussi une information sur la distribution en profondeur des atomes de la cible, du fait de la perte d'énergie de la particule diffusée lors de son trajet aller-retour

Principe de la rétrodiffusion Rutherford

II

Le principe de la méthode RBS est celui des ions légers provenant d'un accélérateur frappant les noyaux lourds présents dans l'échantillon à analyser. La collision est dite élastique



L'énergie cinétique et la quantité de mouvement totales sont conservées. l'ion reste ion et le noyau cible noyau cible

Méthode

La méthode RBS consiste à compter le nombre d'ions projectiles (protons, deutons, noyaux d'hélium) qui rebondissent vers l'arrière lorsqu'ils sont repoussés par le champ électrique d'atomes-cible du matériau analysé.

Le détecteur recueille les ions rétrodiffusés, mesure leur énergie et les compte. Ils sont disposés à un angle de diffusion choisi généralement dans la gamme $150-170^\circ$ par rapport à la direction du faisceau.

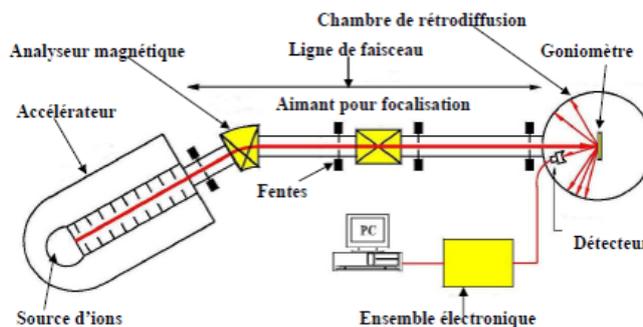
Le résultat est un spectre des énergies à interpréter.

Constitution du spectromètre de rétrodiffusion Rutherford

III

Le spectromètre de rétrodiffusion Rutherford est généralement composé de trois composants essentiels:

- Une source d'ions, généralement des particules alpha (ions He^-) ou plus rarement des protons.
- Un accélérateur de particules capable d'accélérer les ions incidents à de hautes énergies, généralement dans la gamme 1-3 MeV.
- Ligne du faisceau qui filtre les ions de He^{++}
- Un détecteur capable de mesurer des énergies des ions rétrodiffusés sur une petite gamme d'angles.



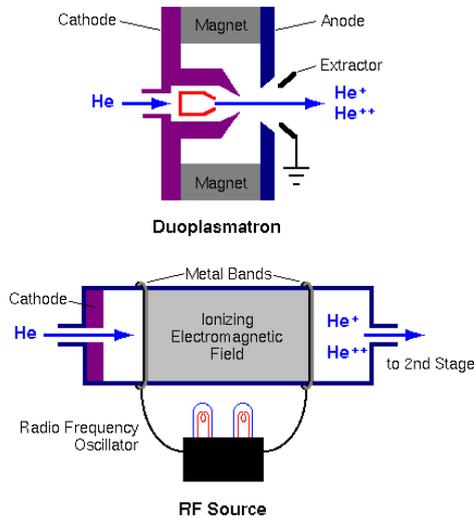
1. Source d'ions

Le duoplasmatron commence par un arc basse tension brûlant entre cathode et anode.

Le plasma d'hélium est confiné géométriquement et magnétiquement, et les ions sont extraits par un fort champ électrique.

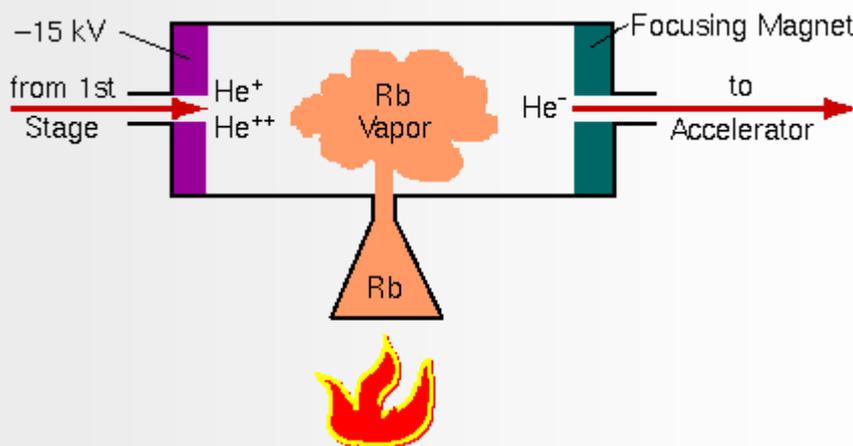
La source de plasma radiofréquence génère également des ions He^+ .

Les sources de radiofréquence sont plus courantes dans les accélérateurs asymétriques, car elles produisent plus efficacement le He^{++} que les duoplasmatrons.



Fondamental

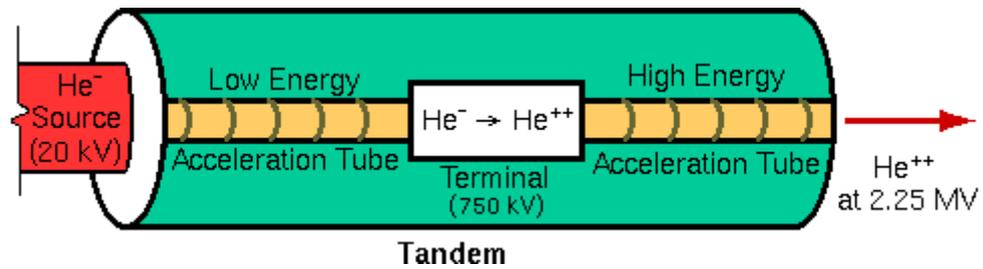
La source fonctionne en deux étapes. Premièrement, les ions positifs sont produits comme décrit ci-dessus. Un canal de métal alcalin convertit He^+ en He^- dans un deuxième temps. Cet échange de charge se produit lorsque He^+ traverse des vapeurs chaudes de métaux alcalins. Le rubidium est utilisé dans l'illustration, mais tous les métaux alcalins ont un pouvoir réducteur suffisant pour former He^- .



2. L'accélérateur

accélérateur tandem, débutent avec une source à ions He^- et un terminal positif est situé au milieu du tube d'accélération.

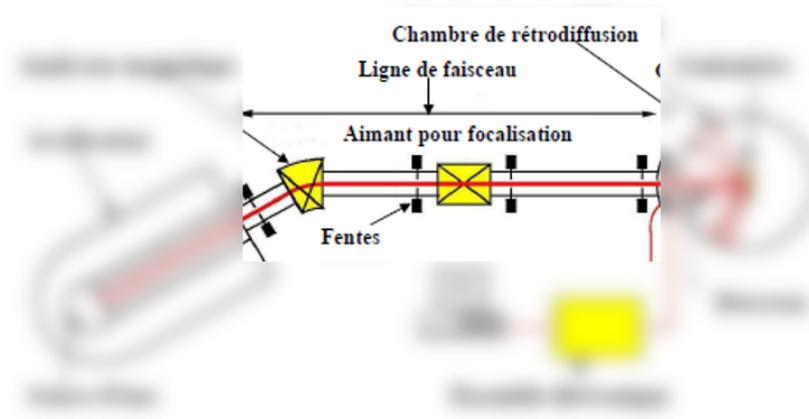
Un épilucheur (stripper) situé au niveau du terminal positif dénude les ions de leurs électrons et convertit donc les ions He^- en ions He^{2+} . Ainsi les ions sont donc tout d'abord attirés par le terminal jusqu'au terminal et par la suite sont repoussés par ce même terminal jusqu'à la fin du tube qui lui est connecté à la terre.



Cette configuration plus complexe à l'avantage de permettre de plus importantes accélérations avec de plus faibles voltages: un typique accélérateur tandem avec un voltage de 750 kV permet d'obtenir des énergies au-delà de 2 MeV

3. Ligne du faisceau

Un champ magnétique sépare tout He-, He ou He + du faisceau He ++. Une lentille quadripolaire façonne le faisceau et le focalise dans la chambre d'échantillon. Des composants de flexion et de focalisation des ions relativement puissants sont nécessaires pour ces faisceaux à haute énergie (rigides). Le faisceau de haute énergie offre un avantage analytique important.



4. Le détecteur

Les détecteurs pour mesurer les énergies des ions rétrodiffusés sont généralement des détecteurs solides à barrière de surface en Silicium. Une très fine couche (100 nm) de silice dopé de type p sur un substrat de type n permet de former une jonction P-N.

Les ions qui atteignent le détecteur perdent une partie de leur énergie sous forme d'énergie inélastique due aux électrons et une partie de ces électrons gagnent suffisamment d'énergie.

Ceci signifie que chaque ion incident percutant le détecteur va produire une paire électron-trou qui est indépendante de l'énergie de l'ion.

Ces paires peuvent être détectées en appliquant un voltage au travers du détecteur ce qui permet une mesure effective de l'énergie de l'ion incident.

La relation entre l'énergie de l'ion et le nombre de paires produites va ainsi dépendre du détecteur, du type d'ion et l'efficacité de la mesure de courant.

Point forts et limites



IV

- Analyse compositionnelle sans effets destructeurs
- Analyse quantitative sans normes
- Analyse de wafers (substrats) entiers (jusqu'à 300 mm) ainsi que d'échantillons irréguliers et grands
- Analyse des conducteurs et des isolants
- Mesure de l'hydrogène (en mode HFS)
- Sensibilité des éléments à faible numéro atomique Z (en mode NRA)

Limites

- Zone d'analyse : grande (~2mm)
- Informations utiles limitées au premier ~1 μ m des échantillons

Signal détecté : atomes He rétrodiffusés