



Les électrons dans le MEB : production, transport, interactions et détection

Réunion GN-MEBA des 2&3 décembre 2004 – Jussieu – Paris

jeudi 2 décembre

8h45 - 9h15 Accueil

Thème « production »

9h15 - 10h Vu Thien Binh (Équipe Émission Électronique, LPMC-CNRS. Université Lyon 1. 69622 Villeurbanne)

L'émission des électrons par le processus thermoélectronique et l'effet tunnel : les cathodes conventionnelles

L'émission d'électrons à partir d'un solide, obtenue soit par un processus thermoélectronique soit par un mécanisme tunnel à effet de champ, a été utilisée industriellement et avec succès depuis plus d'un siècle pour réaliser les tubes cathodiques (K.F. Braun en 1897), ou les canons à électrons des microscopes électroniques (E. Ruska en 1931), pour ne citer que ces deux exemples.

Dans cet exposé, nous ferons une revue comparative de ces deux processus d'émission électronique en mettant en valeur la physique propre à chacun de ces processus ainsi que leurs propriétés spécifiques. Les cathodes chaudes, les cathodes Schottky, et les pointes à émission de champ serviront d'exemples illustratifs concrets à cet exposé.

10h - 10h30 Vu Thien Binh (Équipe Émission Électronique, LPMC-CNRS. Université Lyon 1. 69622 Villeurbanne)

Les nouvelles cathodes froides en couches ultra-minces et nanocomposés de carbone

Dans cet exposé, nous présenterons les deux approches actuelles pour des cathodes froides, qui sont des alternatives aux cathodes conventionnelles.

Tout d'abord nous avons les cathodes à émission de champ avec les nanotubes de carbone individuels. Nous présenterons la croissance directive de ces nanotubes individuels ainsi que leurs propriétés d'émission avec l'objectif de répondre à la question : pourquoi les nanotubes de carbone remplacent-ils avantageusement les pointes métalliques à émission de champ ?

Nous présenterons ensuite, les nouvelles cathodes à couches ultra-minces, nommées « solid-state field-controlled emitters » (SSE). Les électrons sont émis par un processus série en deux étapes spécifique à de telles cathodes. La principale caractéristique de ces cathodes SSE est d'avoir une barrière de surface effective inférieure à 1 eV.

10h30 - 12h	Pause avec les constructeurs
12h - 14h	Pause déjeuner
14h - 15h	Assemblée Générale du GN-MEBA

Thème « transport »

15h - 15h45 *Jacky Ruste (EDF R&D, Moret-sur-Loing)*

L'optique électronique : Principes de base

On rappelle les principes de base de la microscopie électronique : lois de l'optique, action des champs électrique et magnétique sur une particule chargée, principe des lentilles électroniques (électrostatique et électromagnétique), description des aberrations des lentilles...

Cet exposé sert d'introduction à l'exposé suivant relatif à la colonne électronique de P. Morin.

15h45 - 16h15 **Pause**

16h15 - 17h *P. Morin (Université Claude Bernard, Lyon)*

La colonne électronique du MEB

La Colonne électronique du Microscope électronique à balayage (MEB)

La colonne d'un MEB rassemble les moyens nécessaires à la focalisation et le déplacement d'une sonde électronique à la surface d'un échantillon. Les performances attendues dépendront de celles de la source (le canon) mais également des conditions d'observation de l'échantillon (courant de sonde, énergie de faisceau), et enfin des caractéristiques de l'échantillon (dimensions, propriétés électriques et magnétiques, conditions de vide). L'optimisation de la colonne dans chaque situation est le résultat de compromis. Il en résulte une multitude de solutions qui se traduit par une offre assez diversifiée sur le marché. Dans cet exposé nous aborderons la modélisation de la colonne permettant la compréhension de l'évolution actuelle de celle des MEB.

17h - 17h30 *Daniel Bultreys (FEI Application Specialist, Belgique)*

Simulation numérique des lentilles électromagnétiques

La modélisation d'une lentille électromagnétique n'est pas triviale dès lors qu'on examine des solutions pratiques faisant appel à différents matériaux magnétiques. En effet, la lentille finale d'un microscope électronique haut de gamme est parfois composée de plusieurs matériaux pour une exploitation optimale des propriétés magnétiques disponibles. Plusieurs méthodes de calcul pour la modélisation sont accessibles grâce aux logiciels spécialisés. Les deux principaux spécialistes de la mise au point de ces logiciels appliqués à l'optique électronique sont Eric Munro et Bohumila Lencova. Pour illustrer les méthodes de simulation, quelques exemples d'applications seront présentés lors de l'exposé.

vendredi 3 décembre

Thème « interactions »

9h - 9h45 *B. Gruzza (Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand)*

Interactions élastique et inélastique des électrons avec la matière. Analyse de surface

Les spectroscopies électroniques sont basées sur deux processus :

- la création d'un électron au sein du matériau
- son transport jusqu'à la surface.

Les processus qui interviennent sont de deux types, élastiques et inélastiques. Un paramètre fondamental est le libre parcours inélastique des électrons dans le matériau.

L'exposé présentera aussi la méthode EPES basée sur la réflexion élastique des électrons primaires.

9h45 - 10h30 *C. Bonnelle (Université Pierre et Marie Curie, Paris)*

Collisions inélastiques : émission de photons et d'électrons secondaires

Les caractéristiques des rayonnements photoniques et électroniques émis par un matériau ayant subi des collisions inélastiques seront décrites. Les diverses possibilités d'étude physicochimiques de la matière à partir de l'analyse de ces rayonnements seront détaillées

10h30 - 11h **Pause**

11h - 11h45 *Jean.-Louis. Pouchou (O.N.E.R.A. - Département Matériaux Métalliques et Procédés - 92320 Châtillon, pouchou@onera.fr)*

Simulation de trajectoires électroniques par méthode de Monte-Carlo: approches diverses, mise en oeuvre et applications.

Différentes approches ont été utilisées au cours des années pour simuler les trajectoires électroniques des électrons dans des cibles massives ou minces. On se limitera ici au cas des cibles massives bombardées par des électrons de moyenne ou faible énergie, c'est à dire au domaine de la microscope électronique à balayage et de la microsonde électronique.

Dans ce domaine, pour obtenir des informations sur les électrons rétrodiffusés et sur les signaux X caractéristiques émis, différents types de calcul ont été utilisés :

- des approches simplifiées, reposant sur un schéma de diffusion simple ou de diffusion multiple, dans lesquelles seule la diffusion élastique des trajectoires est traitée comme une variable aléatoire, l'effet des interactions inélastiques étant pris en compte de façon globale, au moyen d'une loi continue de ralentissement;
- une approche plus évoluée, où tous les processus, aussi bien élastiques qu'inélastiques, sont traités individuellement comme des variables aléatoires, et dans laquelle les excitations de deuxième ordre produites par les électrons secondaires les plus énergiques sont prises en compte..

L'évocation des ressources informatiques nécessaires à ces différentes approches montrera que l'évolution des méthodes n'a été possible que grâce à l'accroissement des puissances de calcul et de la mémoire des ordinateurs personnels.

Les avantages et inconvénients de ces approches seront précisés, de même que leurs possibilités et leurs limites d'utilisation. Quelques exemples d'application à des situations classiques ou plus originales seront présentés.

11h45 - 12h15 *C. Mathieu, R. Belkhorissat* (Lens, Université d'Artois)

L'interaction gaz -électron dans les MEB à haute pression

Dans cet exposé, après une présentation générale des MEB à haute pression, l'interaction gaz – électron sera décrite tant sur un plan expérimentale que théorique. Les spécificités et les limites de ces interactions seront discutées.

12h15 - 14h **Pause déjeuner**

Thème « détection »

14h - 15h30 *L. Maniguet, F. Charlot, F. Robaut, F. Roussel-Dherbey* (CMTC-INPG, Saint Martin d'Hères), *F. Grillon* (Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Evry)

Les détecteurs d'électrons dans le MEB

L'obtention des images avec le microscope électronique à balayage nécessite l'utilisation de détecteurs adaptés à la gamme d'énergie des électrons qui sortent de l'échantillon.

Le détecteur d'Everhart et Thornley, comportant une grille, un scintillateur et un guide de lumière couplé à un photomultiplicateur reste le dispositif de référence pour la détection des électrons secondaires.

La détection des électrons rétrodiffusés est assurée par des détecteurs à semi-conducteur ou à scintillateur, cette dernière technologie offrant une bande passante plus large et une meilleure sensibilité à basse tension.

Selon les modèles, les microscopes peuvent être également équipés de détecteurs spécifiques placés dans la colonne, permettant ainsi d'améliorer la résolution des images en électrons secondaires et rétrodiffusés.

Enfin, il ne faut surtout pas oublier deux détecteurs peu utilisés bien que très performants tant au niveau des contrastes que de la résolution : le détecteur de courant absorbé et le détecteur d'électrons transmis ; ce dernier pouvant permettre d'obtenir des images en "fond clair" ou en "fond sombre".

15h30 - 16h **Pause**

16h - 16h30 *C. Mathieu* (Université d'Artois, Lens)

La détection des électrons dans les MEB à haute pression

Dans cet exposé, les principes de fonctionnement des détecteurs d'électrons utilisées dans les conditions de haute pression seront présentés. Des exemples d'images obtenues dans ces conditions seront discutées