

Analyses morphologiques et dimensionnelles de nanostructures organisées par diffusion centrale des rayons X

Guillaume FREYCHET

Sous la direction de Mireille Maret et Patrice Gergaud

Jeudi 20 octobre à 10h00

Salle Palladium (RDC) - Maison MINATEC

Résumé : L'industrie des semi-conducteurs fait aujourd'hui face à des challenges importants en termes de caractérisation. En effet, la diminution des tailles et des distances inter-objets a mis en évidence plusieurs limites des techniques jusqu'alors utilisées majoritairement, la microscopie (SEM) et l'ellipsométrie (OCD). Ainsi, afin de répondre aux demandes de l'industrie, soit un contrôle précis de l'uniformité et des défauts en cours de production, des besoins en termes de métrologie sont apparus. Dans ce contexte, des techniques utilisant les rayons X ont commencé à être évaluées.

Ainsi, le SAXS (Small Angle X-Ray Scattering) est une technique de diffusion des rayons X aux petits angles (angles d'incidence compris entre 0.1 et 10°) permettant l'étude d'objets de taille comprise entre 1 et 100 nm. Cette technique consiste à bombarder un échantillon avec des rayons X et à collecter grâce à un détecteur les photons traversant l'échantillon (étude en transmission). Elle est sensible au contraste de densité électronique à l'intérieur de l'échantillon. C'est une technique complémentaire aux techniques de caractérisation locale telles que les microscopies, car elle permet d'obtenir une information moyennée sur une grande surface (plusieurs mm^2). Une seconde technique, le GISAXS (Grazing-Incidence SAXS) est également en plein développement. C'est une technique analogue au SAXS cependant, le faisceau de rayons X ne traverse plus l'échantillon mais est réfléchi par celui-ci. Ce qui permet l'étude de films minces ou de nanoobjets déposés sur des surfaces. Ces deux techniques sont non destructives. L'objectif de cette thèse a été d'implanter ces deux techniques au sein de la plateforme de nanocaractérisation du CEA-LETI et de montrer leur pertinence et leur capacité à répondre aux demandes de l'industrie de la micro-électronique. Pour se faire la thèse se divise en deux thématiques.

Dans un premier temps, des études de Contrôle-Dimensionnel SAXS (CD-SAXS) ont été réalisées sur des réseaux d'objets tridimensionnels, tels que des réseaux de lignes ou d'empilement multicouches avec des applications autour de la lithographie. Nous avons ainsi pu mettre en évidence la capacité du CD-SAXS à extraire la période de réseaux de lignes ainsi que leur largeur et leur profil (hauteur de lignes et angle de parois notamment) avec une précision sub-nanométrique. De plus, la caractérisation de rugosité le long des lignes a également été étudiée. Les résultats autour du CD-SAXS sont prometteurs et permettent aujourd'hui d'envisager des approches multi-techniques afin de combiner par exemples les informations locales obtenues par microscopie et les informations statistiques obtenues par SAXS.

Dans un second temps, des études GISAXS sur des films de copolymères à blocs ont été réalisées, avec pour objectif l'utilisation de ces films comme masques pour la lithographie. Tout d'abord le système classique PS-b-PMMA a été étudié à haute énergie, et plus précisément le retrait

d'un des deux blocs de polymères uniquement. Puis des mesures au seuil du carbone (basse énergie) ont également été réalisées afin de montrer la capacité des rayons X à différencier deux espèces très proches chimiquement. De nouveaux systèmes de copolymères dit high χ (avec une plus grande répulsion entre blocs) ayant pour objectifs la génération d'objets plus petits ont également été étudiés. Pour finir l'approche développée au CEA nommée « contact hole shrink » a également été suivie par GISAXS et comparée avec les résultats obtenus par CD-SAXS.