

Objectif et tâches

Conception, réalisation, validation et application d'un spectromètre Raman polarimétrique fonctionnant dans le champ proche

- Tâche 1 :** Conception et réalisation d'un spectromètre nano-Raman polarimétrique de laboratoire.
- Tâche 2 :** Application de l'appareil à la caractérisation de structures semi-conductrices prédéfinies (mesure de contraintes internes).
- Tâche 3 :** Application de l'appareil à la caractérisation des contraintes structures microélectroniques industrielles. Étude de faisabilité industrielle.
- Tâche 4 :** Application de l'appareil à la caractérisation de nanomatériaux à base de carbone.

Instrumentation

Dispositif

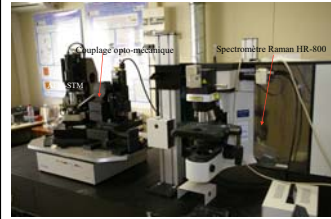
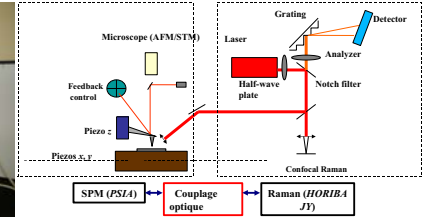


Schéma de l'expérience

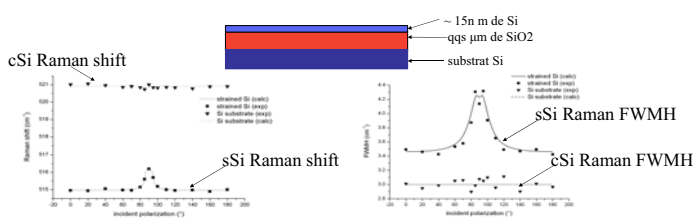


Détection des contraintes dans des structures de type SOI et SiGe : application à la caractérisation des matériaux

Nous cherchons à détecter les contraintes dans les matériaux par rétrodiffusion Raman oblique. L'échantillon est orienté à 45° par rapport au faisceau incident (axe [010] orienté à 45° par rapport au faisceau incident), l'analyseur est placé verticalement et nous enregistrons un spectre pour chaque azimut de la lame demi-onde qui polarise le faisceau incident. De ces spectres nous extrayons le décalage Raman du sSi ainsi que sa largeur à mi hauteur. Ensuite nous simulons l'évolution de ces quantités par le biais du modèle décrit dans [1] à partir duquel nous remontons aux valeurs des éléments non nuls du tenseur des contraintes du matériau.

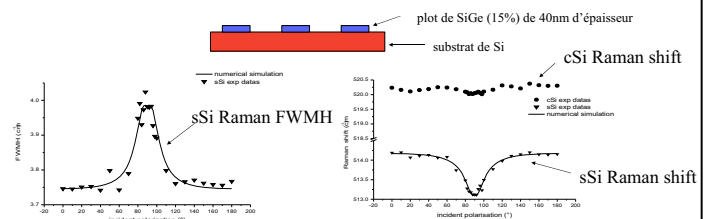
[1] Ossikovski R, Nguyen Q, Picardi G and Schreiber J. J.Appl. Phys 2008; 103: 093525

Structure de type SOI



$$\sigma_{11} = \sigma_{22} = 1.37 \text{ Gpa}$$

Structure de type SiGe

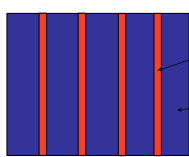


$$\sigma_{11} = \sigma_{22} = -0.95 \text{ Gpa}$$

La détection de stress dans les matériaux de type SOI et SiGe par le dispositif, qui se manifeste par un décalage de la position du pic sSi par rapport à la fréquence du cSi (520.5 cm⁻¹ pour le SOI et 510.1 cm⁻¹ pour le SiGe 15%) et une variation de sa largeur à mi hauteur, est satisfaisante aux vues des résultats précédents. Cette configuration doit aussi permettre de détecter l'anisotropie des contraintes et ainsi s'ouvrir à la caractérisation des dispositifs à base de silicium contraint.

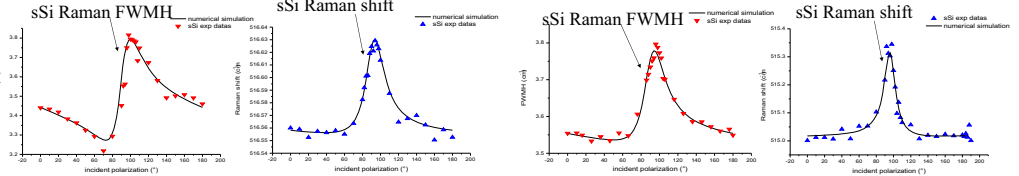
Détection de contraintes anisotropes dans des structures microélectroniques

Échantillon type



Les échantillons sont des bandelettes de silicium de 200 nm de largeur et 10 nm d'épaisseur lithographiées sur du SiO₂ et espacées de 800 nm.

Résultats Raman



$$\sigma_{11} = 1.30 \text{ Gpa } \sigma_{22} = 0.40 \text{ Gpa}$$

$$\sigma_{11} = 1.20 \text{ Gpa } \sigma_{22} = 0.99 \text{ Gpa}$$

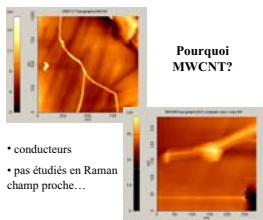
Avec ces résultats nous pouvons voir que la technique de caractérisation des dispositifs, par spectroscopie Raman, destinés à la microélectronique est tout à fait valable. En effet, avec une incertitude d'environ 0.02 Gpa sur les valeurs des éléments σ_{11} et σ_{22} la détermination du tenseur des contraintes est très précise et apportera donc des informations structurales importantes sur le dispositif. Pour renforcer la validité de cette méthode, nous avons comparé les résultats obtenus par rétrodiffusion Raman oblique aux résultats obtenus par rayons X. Les valeurs obtenues dans les deux cas et pour plusieurs échantillons sont reportées dans le tableau ci-contre.

Méthode de carac	Ech 1	Ech 2	Ech 3
RX	1.3 : 1.0	1.8 : 1.45	1.32 : 0.39
Raman	1.2 : 0.99	1.8 : 1.52	1.3 : 0.40

Les valeurs représentent les éléments σ_{11} et σ_{22} du tenseur des contraintes et sont exprimées en Gpa

Raman champ proche sur des MWCNT's

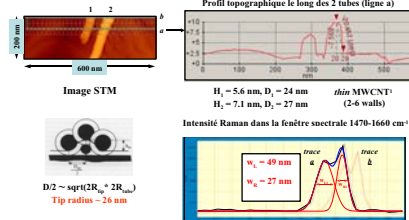
Imagerie STM de nanotubes sur Au(111)



Pourquoi MWCNT?

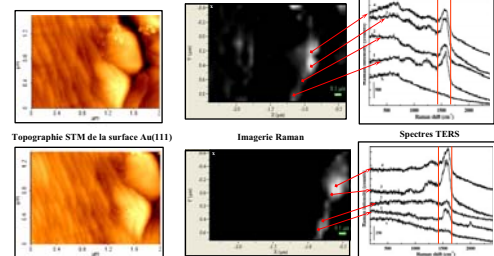
- conducteurs
- pas étudiés en Raman champ proche...

Résolution TERS



Les deux « objets » espacés de 40 nm sont résolus

Signal TERS de la contamination de surface – Imagerie Raman

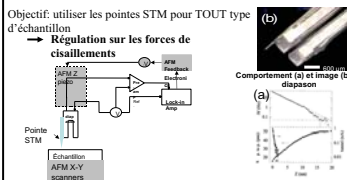


Fluctuations du signal Raman

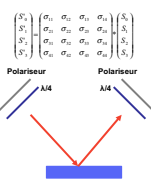
Contamination en C de la surface Au, localisée au niveau des joints des microcristaux

Perspectives

Mode shear-Force



Polarimétrie de Muller



Conclusion

La mise au point d'un système capable à la fois de caractériser des dispositifs destinés à la microélectronique et de faire du Raman champ proche est un succès. En effet, nous avons vu que notre système était capable de résoudre le tenseur des contraintes mêmes anisotropes avec une précision de 0.02 Gpa en accord avec les mesures effectuées par rayons X. De plus, les travaux présentés sur les nanotubes de carbone constituent les premiers résultats Raman champ proche sur des nanotubes multi-feuilles individuels, avec une résolution latérale de 30 nm. Des images TERS, de résolution sub-longueur d'onde, de l'échantillon d'or ont permis de localiser spatialement la contamination en carbone, information inaccessible aussi bien en spectroscopie à sonde locale (AFM et STM) qu'en spectroscopie Raman conventionnelle. De réels avancés technologiques ont été effectués et sont en cours, permettant de minimiser la dérive des éléments piézo-électriques, de renforcer la stabilité du système optique. A l'heure actuelle, il n'est pas possible de faire du Raman champ proche sur des échantillons isolants avec une pointe « bulk ». Ce type de pointe étant reconnu plus efficace que les pointes recouvertes de métaux nobles, nous avons pour projet (déjà démarré) d'implémenter un mode Shear force sur notre système afin d'utiliser ces pointes sur tout type d'échantillon. Une autre innovation en cours est d'implémenter un polarimètre de Muller dans le spectromètre Raman.