

# ESSAI NANOMECHANIQUE *IN-SITU* EN TEMPERATURE POUR L'EXPLORATION DES MECANISMES DE FISSURATION ET DE PLASTICITE DANS LES SEMI-CONDUCTEURS ET LES METAUX

J. Michler†

† EMPA – Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research,  
Feuerwerkerstrasse 39, Thun CH-3602, Switzerland  
E-mail: Johann.Michler@empa.ch

## Mots Clés

Essais hautes températures, Nanomécanique

## INTRODUCTION

La taille réduite des équipements d'essai nanomécanique permet de les intégrer au sein de différents instruments de micro-analyses (microscopie en champ proche (SPM), microscopie électronique à balayage (MEB), diffraction d'électrons rétrodiffusés (EBSD), sondes optiques, etc.), ce qui rend possible l'observation de la surface de l'échantillon et l'analyse des microstructures au cours des essais mécaniques. Au travers de deux exemples, cet exposé illustre les avantages de cette approche combinée.

## DEUX ETUDES DE CAS

1. La micro-compression et la nanoindentation *in situ* sous MEB ont été utilisées pour étudier les mécanismes de plasticité dans les métaux. Dans le but d'éprouver les différents modèles de plasticité aux petites échelles et d'étudier l'influence de la taille sur le comportement plastique des petits objets, des micro-murs présentant divers ratio longueur/largeur ont été comprimés. Il a été observé que la limite d'élasticité est dépendante de l'épaisseur du mur, la longueur de la paroi n'ayant que peu ou pas d'influence. La plus petite dimension d'une structure, appelée ici « épaisseur », est donc le facteur déterminant de la limite d'élasticité des métaux monocristallins. Il a également été trouvé que les piliers métalliques bicristallins se comportent de manière similaire. Parallèlement à cela, des métaux amorphes ont été indentés à température ambiante et à hautes températures. Il a été observé que la dureté augmentait linéairement avec la température jusqu'à 200°C, tandis que le module d'Young restait constant dans la même gamme de température. Il a été également observé que l'adhérence entre l'indenteur et la surface de l'échantillon augmentait avec la température. A la fois le nombre et l'amplitude des traces de cisaillement en surface diminuent avec l'augmentation de la température. A l'inverse, l'amplitude des chutes de force de la courbe –force-pénétration a augmenté de façon spectaculaire avec la température. La transition entre le régime de déformation continu vers le régime de déformation « par sauts » apparaît dans des gammes de température et de déformation déjà rapportées dans d'autres travaux de compression uniaxiale.
2. Des essais de compression *in situ* sous MEB, *in situ* sous spectroscopie Raman et *in situ* sous EBSD ont été menés à différentes températures afin d'étudier l'influence du diamètre du pilier sur le comportement fragile du silicium (Si) et de l'arséniure de gallium (GaAs)

La plupart des micro piliers présentent une activité de dislocations prenant très souvent place dans des plans sécants. Des fissures pourraient alors être nucléées à ces intersections, puis se propager par à-coups le long de l'axe de compression. Les mesures *in situ* sous spectroscopie Raman et sous EBSD ont permis respectivement de déterminer les premiers stades de plasticité ou de fissuration et d'observer les changements d'orientation du cristal au cours de la déformation. Les piliers de GaAs et Si orientés  $\langle 100 \rangle$  de diamètres respectifs inférieurs à 1  $\mu\text{m}$  et à 300 nm ne présentent pas de comportement fragile. A des températures supérieures à 250°C, le diamètre critique de transition fragile-ductile des piliers de silicium est repoussé vers des dimensions de l'ordre du micron.

Des essais de micro compression *in situ* sous MEB ont également été réalisés à hautes températures afin d'explorer la plasticité dans le nitrure de gallium (GaN). L'analyse de ces données a permis l'extraction de paramètres fondamentaux sur la déformation de GaN pour des températures allant de 25 à 500°C.

## CONCLUSION

Nous avons démontré l'utilité de l'indentation ainsi que des tests de micro-compression *in situ* sous MEB, en particulier lorsqu'elles sont couplées à la diffraction d'électrons et à des tests à différentes températures.