

From nuclear materials to advanced ferroelectric thin films: towards in situ studies by x-ray diffraction and GISAXS at INS2

Frédéric Leroy¹

¹Centre Interdisciplinaire de Nanoscience de Marseille, UMR 7325, Marseille, France

Courriel : frederic.leroy.3@univ-amu.fr

Dans cette présentation j'aborderai l'apport de la diffusion des rayons X à l'étude des matériaux dans le cadre des recherches menées par l'équipe "structure et dynamique des surfaces" du Centre Interdisciplinaire de Nanoscience de Marseille (CINaM). En particulier la diffusion des rayons X, disponible sur l'instrument ultraviolet INS2 de la ligne de lumière BM32, permet d'étudier in situ les propriétés structurale et morphologique des nanomatériaux pendant des processus physiques. J'aborderai deux cas d'études récentes sur des matériaux d'intérêt pour la fusion nucléaire et pour la spintronique.

Sur le volet nucléaire, le tungstène (W) a été choisi dans ITER comme le matériau face au plasma et doit donc résister à un bombardement intense d'hélium (He). L'irradiation à l'He génère des bulles de taille nanométrique qui modifient la microstructure du W et peuvent altérer ses propriétés physiques. La compréhension de la formation et de la croissance des bulles d'He est donc cruciale pour l'exploitation à l'échelle industrielle de la fusion nucléaire. Dans cette perspective, nous avons caractérisé en temps réel, pendant des bombardements d'He, la croissance des bulles d'He par diffusion centrale des rayons X en incidence rasante (GISAXS) en utilisant l'installation INS2 [1]. Des monocristaux de W ont été implantés avec des ions He de 400 eV et de 2 keV pour étudier l'effet des dommages causés par l'implantation sur la formation des bulles. En outre, la dépendance en température a été abordée entre TA et 1200°C pendant l'implantation et jusqu'à 1500°C par recuit post-implantation [2,3]. Nous avons ainsi pu caractériser in operando la cinétique de croissance des bulles d'He par migration coalescence et leur forme facettée.

Sur le volet spintronique, une nouvelle classe de matériaux à fort potentiel pour des applications utilisant la conversion spin-to-charge a récemment été introduite: les semi-conducteurs ferroélectriques à effet Rashba [4,5]. Etant donné la structure rhomboédrique du GeTe et l'existence d'un dipôle électrique dans la direction $\langle 111 \rangle$, des nanodomains ferroélectriques se forment. Ces nanodomains peuvent altérer les propriétés de swiching de la polarisation du matériau. Nous avons déterminé par diffraction des rayons X [6] la fraction volumique des nanodomains ferroélectriques et la taille des domaines dans une large gamme d'épaisseur de film (10-1800 nm) et de température (TA-270°C). L'apparition/disparition réversible des domaines ferroélectriques en température, démontrée par diffraction X in situ, est attribuée à la contrainte thermomécanique induite par le substrat de silicium sur la couche mince de GeTe [7]. Nous avons également mis en évidence de très importantes rotations du réseau atomique aux intersections de domaines ferroélectriques en étudiant la diffusion diffuse autour des pics des Bragg [8].

1) G. Renaud, R. Lazzari, et F. Leroy, Surf. Sci. Rep. 2009 64, 255.

2) L. Corso et al., J. Nucl. Mater. Energy 2023, 37, 101533.

3) L. Corso et al., submitted to J. Nucl. Mater. Energy.

4) C. Rinaldi et al., Nano Lett., 2018, 18, 2751

5) J. Krempasky et al., Phys. Rev. X, 2018 8, 021067

6) B. Croes et al. Phys. Rev. Mater. 2023 7, 014409

7) B. Croes et al., J. Appl. Phys., 2023, 134, 204103

8) B. Croes et al., Phys. Rev. B, 2024, 109, 024103