



## Métallisation d'une surface d'oxyde par dépôt d'hydrogène

**Le titanate de strontium,  $\text{SrTiO}_3$  (STO) apparaît comme un matériau clé pour l'électronique tout oxyde depuis la mise en évidence d'un gaz bi-dimensionnel d'électrons à l'interface  $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ <sup>1</sup> ainsi qu'à la surface du cristal clivé sous ultra-vide<sup>2</sup>. Cependant, les mécanismes précis conduisant à l'apparition de ce gaz 2D ne sont toujours pas éclaircis, en raison d'une maîtrise insuffisante des surfaces. Parallèlement à ces travaux, des calculs ab-initio ont prédit une métallisation de la surface  $\text{SrTiO}_3(001)-1 \times 1$  induite par adsorption d'hydrogène atomique<sup>3</sup>. Pour vérifier ces prédictions, une physicienne de l'équipe « Couches nanométriques : formation, interface, défauts » de l'INSP a effectué des mesures de photoémission sur la ligne TEMPO du synchrotron SOLEIL, en collaboration avec une équipe de l'université de Tokyo. Les résultats confirment pour la première fois que l'hydrogène induit une transition isolant-métal de la surface de STO et mettent en évidence le mécanisme de cette métallisation.**

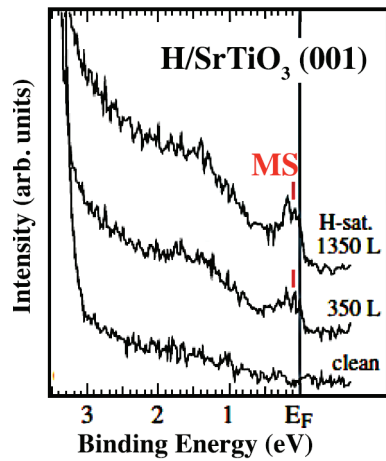
Un traitement *ex-situ* à l'acide fluorhydrique suivi de recuits sous ultra-vide permet d'obtenir une surface STO(001)-1x1 parfaitement contrôlée : elle est terminée par un plan de  $\text{TiO}_2$ , sans lacune d'oxygène, sans carbone de contamination et avec une ségrégation de strontium négligeable.

La figure 1 montre les spectres de photoémission de bande de valence de cette surface STO(001)-1x1 pour différents taux d'absorption d'hydrogène. Pour la surface non hydrogénée, aucun état n'est observé au niveau de Fermi, confirmant ainsi la nature isolante du substrat. Par contre, après exposition à l'hydrogène, un état au niveau de Fermi apparaît et se développe pour des taux croissants d'hydrogène, confirmant ainsi la métallisation de la surface de STO. De plus, les spectres de photoémission des niveaux de cœur du strontium, du titane et de l'oxygène présentent un décalage de l'ordre de 200 meV vers les énergies de liaison plus hautes pour une surface saturée en hydrogène.

1 J. Biscaras et al., Nature Communications 1, 89 (2010)

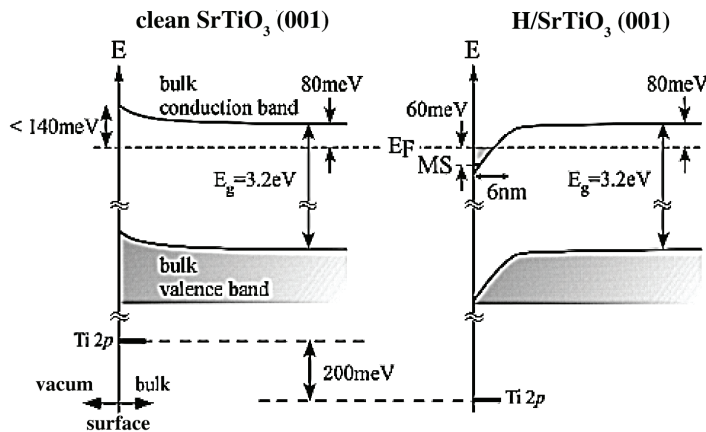
2 A.F. Santander-Syro et al., Nature 469, 189 (2011)

3 F. Lin et al., Phys. Rev. B 79, 035311 (2009)



**Figure 1**  
Spectre de photoémission de bande de valence en émission normale de  $\text{SrTiO}_3(001)$  pour différents taux d'exposition à l'hydrogène. L'énergie des photons incidents est  $h\nu = 81 \text{ eV}$

Ils nous permettent de proposer le mécanisme suivant pour la métallisation de la surface : alors que pour la surface propre isolante le niveau de Fermi se situe dans le gap, les atomes d'hydrogène qui s'adsorbent, dopent progressivement la surface par transfert de leur électron dans la bande de conduction. Celle-ci se courbe peu à peu vers le bas et peut, pour un taux de couverture en hydrogène suffisant, passer sous le niveau de Fermi : la surface devient alors métallique (Figure 2).



**Figure 2**  
Schéma du changement des courbures de bande induit par l'adsorption d'hydrogène sur la surface  $\text{SrTiO}_3(001)$

Nous avons confirmé ces résultats grâce à des mesures de transport qui montrent une augmentation de la conductivité de la surface de STO par adsorption d'hydrogène. Pour la surface saturée, cette conductivité est bien supérieure à la limite 2D de Ioffe-Regel, indiquant un régime de conduction métallique. Enfin, en combinant résultats de photoémission et de transport, nous pouvons affirmer que le libre parcours moyen des électrons pour la surface hydrogénée est de l'ordre de 2 nm à température ambiante.

Nos travaux ouvrent des perspectives pour l'étude, en photoémission résolue en temps, de la dynamique des porteurs sur les surfaces de  $\text{SrTiO}_3$  lors de la transition isolant-métal.

Cette publication figure parmi les Highlights 2012 du synchrotron SOLEIL.

### Référence

"Hydrogen-Induced Surface Metallization of  $\text{SrTiO}_3(001)$ "

M. D'angelo, R. Yukawa, K. Ozawa, S. Yamamoto, T. Hirahara, S. Hasegawa, M. G. Silly, F. Sirotti, I. Matsuda

*Physical Review Letters*, Vol. 108, 116802 (2012)

### Contact

dangelo@insp.jussieu.fr