

Electronic properties of 2D electron gas at the interface between complex oxides

PhD supervisors: Dr. Walter Escoffier & Prof. Michel Goiran

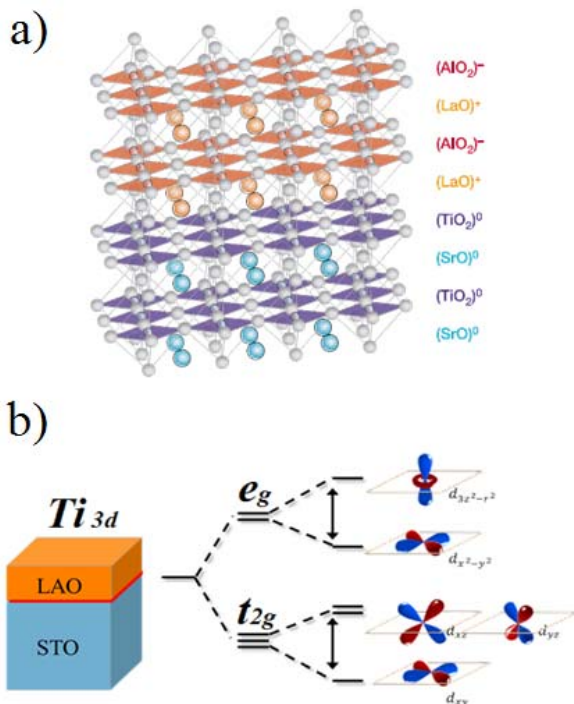
Laboratory: Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses
<http://www.toulouse.lncmi.cnrs.fr/spip.php?&lang=fr>

Speciality: Condensed Matter Physics

Keywords: Electronic band-structure, two-dimensional electron gas, quantum transport, high magnetic field

Start date: 01/10/2017

The discovery of a high-mobility two-dimensional electron gas (2DEG) at the interface between two insulating complex oxides ABO_3 (with $A=\text{Sr, La, Ba}$ and $B=\text{Al, Ti, Mn}$) has triggered extensive researches aiming at understanding its peculiar electronic properties [1]. For instance, in the well-known case of $\text{LaAlO}_3 / \text{SrTiO}_3$, the origin of such a 2DEG is often ascribed to the polar discontinuity arising at the interface between a polar oxide overlayer (LaAlO_3) and a nonpolar oxide substrate (SrTiO_3). An internal electric potential builds up in the alternating stacks of polar $\text{AlO}_2^{(-)}/\text{LaO}^{(+)}$ layers on the $\text{TiO}_2^{(0)}$ terminated nonpolar SrTiO_3 . As a consequence, electrons can be transferred from the LaAlO_3 valence band to the SrTiO_3 conduction band, giving rise to the conducting 2DEG at the interface between the two insulating materials. Contrary to conventional 2DEG, unexpected properties including two-dimensional superconductivity [2], magnetic interactions [3], and electronic phase separation [4] have been reported, pointing towards the rich physics and complexity of the electronic states at the oxide interfaces. Complex oxides are envisioned as key materials for future multi-functional devices. Therefore, the determination of the band-structure and the subsequent understanding of the electronic properties are required [5]. This knowledge is essential for further engineering at all the levels of device fabrication, including the growth, structuration and integration steps. Making advantage of a long-standing collaboration between the Multifunctional (Oxide) Materials & Devices group at the National University of Singapore specialized in device fabrication, engineering and characterization ; this project aims at studying the magneto-transport properties of such 2DEG in extreme conditions of very high magnetic field (70T) and low temperature (350mK) [6]. The magneto-resistance oscillations (Shubnikov-de Haas oscillations) will be analyzed as function of the Fermi level position, temperature and magnetic field tilt angle in order to resolve the



Legend: (a) Polar atomic planes of LaAlO_3 ($\text{AlO}_2^{(-)} / \text{LaO}^{(+)}$) in contact with non-polar planes $\text{TiO}_2^{(0)} / \text{SrO}^{(0)}$ yields a partial charge transfer into the first atomic planes of SrTiO_3 . As a result, a two dimensional electron gas with high mobility is created at the interface between the two materials. (b) The low energy electronic band-structure is derived from the Titanium orbitals d_{xy} , d_{xz} and d_{yz} . Their energy degeneracy is lifted by the presence of the interface.

As a consequence, electrons can be transferred from the LaAlO_3 valence band to the SrTiO_3 conduction band, giving rise to the conducting 2DEG at the interface between the two insulating materials. Contrary to conventional 2DEG, unexpected properties including two-dimensional superconductivity [2], magnetic interactions [3], and electronic phase separation [4] have been reported, pointing towards the rich physics and complexity of the electronic states at the oxide interfaces. Complex oxides are envisioned as key materials for future multi-functional devices. Therefore, the determination of the band-structure and the subsequent understanding of the electronic properties are required [5]. This knowledge is essential for further engineering at all the levels of device fabrication, including the growth, structuration and integration steps. Making advantage of a long-standing collaboration between the Multifunctional (Oxide) Materials & Devices group at the National University of Singapore specialized in device fabrication, engineering and characterization ; this project aims at studying the magneto-transport properties of such 2DEG in extreme conditions of very high magnetic field (70T) and low temperature (350mK) [6]. The magneto-resistance oscillations (Shubnikov-de Haas oscillations) will be analyzed as function of the Fermi level position, temperature and magnetic field tilt angle in order to resolve the

electronic band-structure. The transport properties of the 2DEG will be addressed in order to investigate the scattering mechanism at the LAO/STO interface. The chemical composition and growth conditions realized on a set of different samples will be investigated to correlate the microscopic characteristics to the electronic band structure and the macroscopic transport properties.

We are looking for a motivated student with solid knowledge in condensed matter physics. An experience in cryogenics and/or electronic transport would be considered as assets. The candidate will develop and drive magneto-transport experiments under high magnetic field and low temperature. Please contact Prof. M. Goiran or Dr. W. Escoffier for further details.

Références:

- [1] A. Ohtomo and H. Y. Hwang, *Nature* **427**, 423 (2004).
- [2] N. Reyren *et al.*, *Science* **317**, 1196-1199 (2007).
- [3] A. Brinkman *et al.*, *Nat. Mater.* **6**, 493 (2007).
- [4] Ariando *et al.*, *Nat. Commun.* **2**, 188 (2011).
- [5] A. D. Caviglia *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 236802 (2010).
- [6] M. Yang *et al.*, *APL* **109**, 122106 (2016).

Contacts :

Dr. ESCOFFIER Walter, **Tel :** 05 62 17 29 70, **e-mail :** walter.escoffier@lncmi.cnrs.fr
Prof. MICHEL Goiran, **Tel :** 05 62 17 28 63, **e-mail :** michel.goiran@lncmi.cnrs.fr

Propriétés électroniques des gaz d'électrons bidimensionnels à l'interface entre oxydes complexes

Directeurs de thèse : Dr. Walter Escoffier & Prof. Michel Goiran

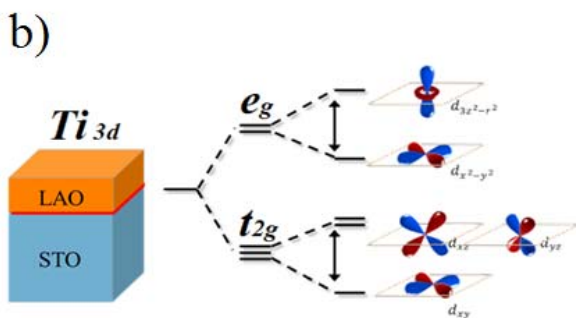
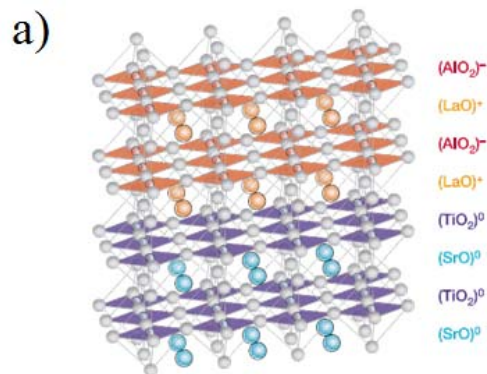
Laboratoire : Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses
<http://www.toulouse.lncmi.cnrs.fr/spip.php?&lang=fr>

Spécialité : Physique de la Matière

Mots clefs : Electronic band-structure, two-dimensional electron gas, quantum transport, high magnetic field

Date de début de la thèse : 01/10/2017

La découverte d'un gaz bidimensionnel d'électrons à l'interface entre deux oxydes complexes ABO_3 (avec $A=Sr, La, Ba$ et $B=Al, Ti, Mn$) a été le point de départ à de nombreuses recherches dédiées à la compréhension de ses propriétés électroniques très particulières [1]. Par exemple, dans le cas le plus étudié de l'interface entre $LaAlO_3$ et $SrTiO_3$, l'origine du gaz d'électrons est attribuée à la présence d'une discontinuité de polarité entre une surcouche d'oxyde polaire ($LaAlO_3$) et un substrat non polaire ($SrTiO_3$).



Légende : (a) La présence de plans atomiques alternés polaires ($AlO_2^{(-)}/LaO^{(+)}$) en contact avec un oxyde non-polaire ($TiO_2^{(0)}/SrO^{(0)}$) provoque le transfert d'une partie de la charge dans les premiers plans atomiques du matériau $SrTiO_3$, créant ainsi un gaz d'électron bidimensionnel de haute mobilité. (b) La structure de bande électronique à basse énergie est déduite des orbitales d_{xy} , d_{xz} et d_{yz} du Titane, dont la dégénérescence énergétique est levée par la présence de l'interface.

Dans $LaAlO_3$, un potentiel électrique interne se développe perpendiculairement aux plans alternés polaires $AlO_2^{(-)}/LaO^{(+)}$ terminés par le plan neutre $TiO_2^{(0)}$ du matériau $SrTiO_3$. Le système relaxe vers une énergie plus faible en transférant une partie de la charge dans la bande de conduction de $SrTiO_3$, provoquant l'apparition d'un gaz d'électrons bidimensionnel à l'interface entre les deux oxydes initialement isolants. Contrairement aux gaz d'électron 2D traditionnels issus des matériaux semi-conducteurs, des propriétés électroniques inattendues impliquant la supraconductivité 2D [2], les interactions magnétiques [3], et la séparation de phases électroniques [4] ont été reportées dans la littérature. Ces effets attestent d'une physique très riche liée à la présence d'états électroniques complexes proches de l'interface. Les oxydes complexes sont envisagés comme les matériaux de base pour la fabrication de futurs composants multifonctionnels. La détermination de leur structure de bande électronique [5] et la compréhension de leurs propriétés électroniques constituent des prérequis essentiels. Cette connaissance est indispensable pour l'ingénierie des composants à tous les stades de leur fabrication, de la croissance du matériau à leur intégration en passant par leur structuration. Ce projet, en collaboration avec l'Université Nationale de Singapour, vis à mettre en place des expériences de magnéto-transport sous conditions extrêmes de champ magnétique intense

(70T) et très basse température (350mK) [6]. Les oscillations de la magnéto-resistance (oscillations de Shubnikov-de Haas) seront analysées en fonction du dopage, de la température et de l'angle formé entre le champ magnétique et l'échantillon afin de résoudre la structure de bande. Les propriétés de transport permettront aussi d'étudier les mécanismes de diffusion électronique à l'interface entre les deux oxydes. La composition chimique et les conditions de croissance des matériaux seront étudiées afin de corrélérer les caractéristiques microscopiques des oxydes à leur structure de bande et à leurs propriétés de transport macroscopique.

Nous recherchons un étudiant motivé avec une formation solide en physique de la matière condensée. Une expérience en cryogénie et/ou en transport électronique sont des atouts. Le candidat devra développer et mener des expériences de magnéto-transport sous champ magnétique intense et à très basse température au Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses, sur le site de Toulouse. Pour plus de renseignements, veuillez contacter directement Prof. M. Goiran et/ou Dr. W. Escoffier

Références:

- [1] A. Ohtomo and H. Y. Hwang, *Nature* **427**, 423 (2004).
- [2] N. Reyren *et al.*, *Science* **317**, 1196-1199 (2007).
- [3] A. Brinkman *et al.*, *Nat. Mater.* **6**, 493 (2007).
- [4] Ariando *et al.*, *Nat. Commun.* **2**, 188 (2011).
- [5] A. D. Caviglia *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 236802 (2010).
- [6] M. Yang *et al.*, *APL* **109**, 122106 (2016).

Correspondants :

Dr. ESCOFFIER Walter, **Tel :** 05 62 17 29 70, **e-mail :** walter.escoffier@lncmi.cnrs.fr
Prof. MICHEL Goiran, **Tel :** 05 62 17 28 63, **e-mail :** michel.goiran@lncmi.cnrs.fr