

Proposition de sujet de thèse 2014

Equipe dispositifs électroniques

Pour une nouvelle électronique basée sur le contrôle des domaines ferroélectriques

Directeur de thèse : Brice GAUTIER

Co-encadrement : Bertrand VILQUIN

Domaine et contexte scientifiques, mots-clefs

Les matériaux ferroélectriques possèdent un potentiel inégalé pour la fabrication de composants à mémoires novateurs grâce à leur densité d'intégration ultime (les domaines ferroélectriques sont séparés d'un seul plan atomique), leur rapidité de commutation ainsi qu'aux faibles tensions nécessaires à leur retournement sur des couches ultra-minces. Récemment a été démontrée la conduction aux frontières de domaines ferroélectriques sur certaines compositions de ferroélectriques usuels comme PbZrTiO_3 . Cette propriété rend les ferroélectriques encore plus attractifs car elle permet de passer d'un matériau totalement isolant électriquement à une situation où les frontières de domaines constituent un plan unique conducteur contrôlable par une relativement faible tension électrique. Mais la réalisation de dispositifs exploitant cette propriété nécessite un contrôle absolu des domaines ferroélectriques, tant sur le plan de leur taille que sur le plan de leur position et de leur stabilité dans le temps. Ce sujet de thèse s'inscrit dans ce contexte.

Mots Clés : Couches Minces Ferroélectriques, Microscopie à Force Atomique, Domaines Ferroélectriques, Mémoires, Propriétés de transport.

Objectif de la thèse, verrous scientifiques et contribution originale attendue

Le but de ce travail de thèse est la compréhension et le contrôle de propriétés physiques et électriques des films fins ferroélectriques en termes de taille, basculement, et propriétés électriques des frontières de domaines. L'influence de la surface du ferroélectrique sera mise en avant (surface ultra-propre, recouverte d'eau, recouverte d'une électrode métallique etc).

La mesure et le contrôle des propriétés de transport des frontières de domaine, encore mal connues aujourd'hui, constitue un enjeu majeur de cette thèse car les propriétés d'éventuels dispositifs basés sur cet effet de conduction aux frontières de domaines sont conditionnés par la compréhension des mécanismes qui les régissent.

La maîtrise de l'atmosphère de mesure et le passage sous ultra-vide pour des mesures de domaines ferroélectriques constituent une originalité forte dont l'INL a encore l'exclusivité en France.

Programme de recherche et démarche scientifique proposée :

Sur des échantillons disponibles par ailleurs grâce aux collaborations internes et externes, ou sur des échantillons réalisés dans le cadre du projet (notamment sur des monocristaux amincis), il s'agira de :

- Mesurer précisément à l'échelle nanométrique la dynamique de formation des frontières de domaine, de leur stabilité dans le temps et de leur taille minimale dans un environnement sous ultra-vide. Pour ce faire, l'AFM OMICRON du laboratoire sera utilisé pour la création et la lecture des domaines.
- Mieux comprendre l'influence de la compensation des charges de polarisation en

surface sur les mécanismes de formation des domaines ferroélectriques. Pour cela, différents environnements seront utilisés, de l'ultra-vide à l'atmosphère ambiante en passant par l'air sec d'humidité contrôlée et l'ultra-vide avec introduction contrôlée d'eau.

- Décrire complètement les propriétés électriques des frontières de domaines en fonction de l'environnement de mesure.
- Concevoir et fabriquer un/des dispositif(s) démontrant l'utilisation des matériaux ferroélectriques pour obtenir des composants basés sur le principe du contrôle des frontières de domaines ferroélectriques (voir la figure 1 ci-dessous où deux électrodes contrôlent la position du domaine pour contrôler l'état passant ou bloqué du canal entre deux autres électrodes) .

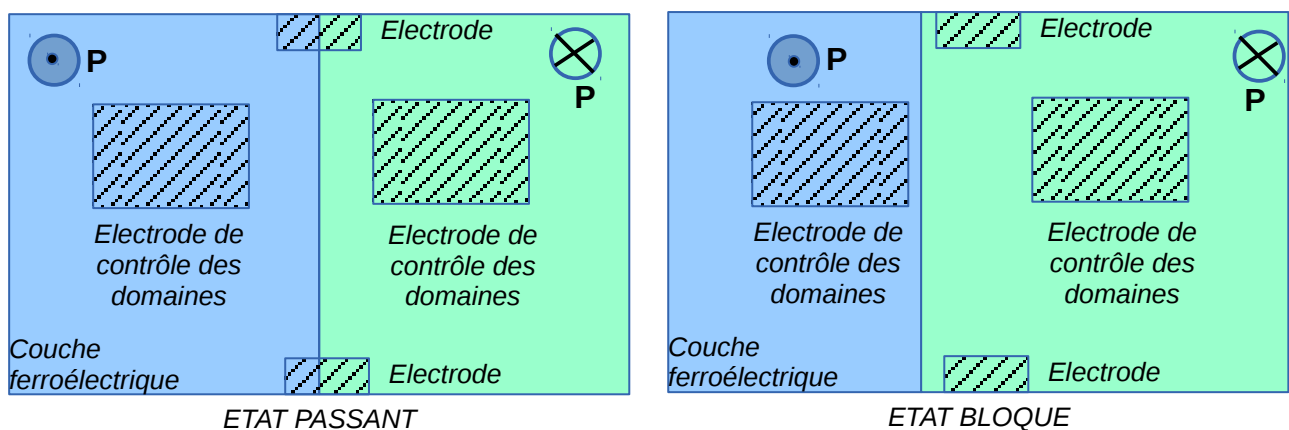


Figure 1 : Exemple de dispositif exploitant le contrôle de la position des domaines ferroélectriques : si la frontière de domaine (conductrice) se trouve entre deux électrodes polarisées alors le courant peut passer, dans le cas contraire la jonction est bloquée. Deux électrodes supplémentaires contrôlent la position du domaine.

Encadrement scientifique, intégration au sein du laboratoire (Département/Equipe(s) impliquées), collaboration(s)/partenariat(s) extérieurs

Le sujet de thèse implique deux équipes de l'INL : dispositifs électroniques (DE) pour les volets caractérisation nanométrique et Hétéroépitaxie et Nanomatériaux (H&N) pour le volet fabrication d'échantillons et certaines étapes en salle blanche pour la réalisation de dispositifs simples.

Le projet se nourira également d'une collaboration avec l'Institut d'Electronique Fondamentale (IEF) d'Orsay : Guillaume Agnus et Philippe Lecoer pour la fourniture d'échantillons. Le projet aura besoin d'étapes technologiques réalisées en salle blanche pour la fabrication de démonstrateurs.

Profil du candidat recherché (prérequis)

Le (la) candidat(e) devra impérativement posséder de solides connaissances en physique des matériaux et en caractérisation électrique des matériaux acquises lors d'un master de micro-nanoélectronique ou un master de physique des matériaux.

Compétences développées au cours de la thèse et perspective professionnelle

Le/La candidat(e) sera formé(e) à la microscopie en champ proche sous air et sous ultra-vide. Il/Elle recevra également une formation aux étapes de salle blanche pour la

réalisation des démonstrateurs. Son environnement de travail lui permettra d'acquérir des connaissances en caractérisation électriques des matériaux (mesures intensité – tension, capacité – tension).

Il/Elle sera intégré(e) dans la communauté nationale de microscopie en champ proche et dans la communauté scientifique internationale des couches minces ferroélectriques et multiferroïques. Il/Elle participera au GDR OXYFUN dédié à l'intégration des oxydes fonctionnels.

Cette formation homogène lui permettra de postuler à un poste académique dans tous les laboratoires impliqués dans ce domaine ou de chercher un emploi privé dans des services de recherche et développement des grandes entreprises qui tirent partie de ce type de matériaux (Thales, ST-Microelectronics, IBM...)

Références bibliographiques sur le sujet de thèse

Références sur le travail déjà effectué à l'INL :

B. Gautier, A. Brugère, S. Gidon, Impact of the ambient humidity on the kinetics of formation of ferroelectric domains in monocrystalline LiTaO₃, *Int. J. Nanosciences* 11(4):1240013, 2012.

A. Brugère, B. Gautier, S. Gidon, Finite element method simulation of the domain growth kinetics in single-crystal LiTaO₃: Role of surface conductivity, *J. Appl. Phys.* 5:052016 (2011), doi:10.1063/1.3623762

A. Brugère, B. Gautier, S. Gidon, Abnormal switching of ferroelectric domains created by the tip of an atomic force microscope in a congruent LiTaO₃ single-crystal thin film, *J. Appl. Phys.* 110(2):024102, 2011, doi:10.1063/1.3607302

Références sur l'état de l'art international :

J. Guyonnet, I. Gaponenko, S. Gariglio, P. Paruch, Conduction at domain walls in insulating PbZr_{0.2}Ti_{0.8}O₃ thin films, *Advanced materials* 45, pp. 5377-82, 2011

J. Seidel, L. W. Martin, Q. He, Q. Zhan, Y.-H. Chu, A. Rother, M. E. Hawkrige, P. Maksymovych, P. Yu, M. Gajek, N. Balke, S. V. Kalinin, S. Gemming, F. Wang, G. Catalan, J. F. Scott, N. A. Spaldin, J. Orenstein and R. Ramesh, Conduction at domain walls in oxide multiferroics, *Nature Materials* 8, pp. 229, 2009

Contact : Brice GAUTIER : 04 72 43 70 03