

Modélisation et conception de circuits hybrides CMOS/magnétiques basés sur de nouveaux phénomènes spintroniques

Contact : Guillaume PRENAT DRF//INAC/SPINTEC guillaume.prenat@cea.fr 0438786315

Stage pouvant se poursuivre en thèse : Oui

Résumé :

L'électronique de spin est un mariage entre l'électronique et le magnétisme qui cherche à tirer parti du meilleur des deux mondes. Le magnétisme est très approprié pour les fonctions mémoire car permet de coder une information de façon non-volatile grâce à l'orientation de l'aimantation de nanostructures magnétiques. Des mémoires magnétiques appelées MRAM sont sur le point d'entrer en production de volume chez plusieurs industriels majeurs de l'électronique. Celles-ci utilisent pour la lecture la magnétorésistance de jonctions tunnel magnétiques et pour l'écriture le couple créé par un courant polarisé en spin traversant une nanostructure magnétique (couple de transfert de spin). Mais l'électronique de spin ne cesse de progresser et de nouveaux phénomènes ont été découverts depuis sur lequel notre laboratoire travaille activement. Ces nouveaux phénomènes qui reposent sur l'interaction spin-orbite et sur le contrôle par champ électrique des propriétés magnétiques permettent de concevoir des mémoires et des circuits logiques non-volatiles extrêmement performants en particulier par leur vitesse et ultra-faible consommation électrique. Le but de la thèse sera dans un premier temps de développer des modèles compacts de dispositifs mettant en ?uvre ces phénomènes, pour simulation électrique dans les suites de conception standard de la microélectronique. Les modèles seront confrontés aux résultats expérimentaux obtenus au laboratoire et disponibles dans la littérature. Une fois validés, ils seront utilisés pour concevoir un certain nombre de circuits relativement simples (cellules standard pour conception de circuits numériques, petites matrices mémoires, oscillateurs radiofréquence...) pour lesquelles ces nouveaux dispositifs semblent particulièrement prometteurs. Les performances de ces circuits seront évaluées par simulation et comparées aux performances des circuits équivalents de l'état de l'art.

Sujet détaillé :

SpinTEC est un laboratoire spécialisé dans la spintronique, qui vise à faire le pont entre la recherche fondamentale en magnétisme et les applications pour la microélectronique. La spintronique est une discipline en plein essor qui consiste à utiliser des dispositifs magnétiques en plus des dispositifs standards de la microélectronique pour essayer de repousser les barrières physiques qui limitent la miniaturisation des circuits intégrés. Ces dispositifs magnétiques sont à la base d'une catégorie de mémoire émergente, appelée MRAM pour Magnetic Random Access Memory. Ces mémoires font partie des mémoires résistives non-volatiles. Elles combinent un grand nombre d'avantages pour les circuits logiques qu'aucune autre forme de mémoire ne rassemble : intrinsèquement non-volatiles, elles ont une vitesse d'opération proche de la SRAM, une densité proche de la DRAM et une endurance quasiment infinie.

De nombreuses études académiques ont montré les avantages en termes de performances, consommation électrique et nouvelles fonctionnalités que l'on pouvait attendre de l'usage des MRAM dans les systèmes de calculs pour différentes applications. Les plus grands acteurs industriels de la microélectronique s'intéressent à cette technologie, dans sa version la plus standard, c'est-à-dire à écriture par courant polarisé en spin (STT pour Spin Transfer Torque). Cependant, tandis que cette technologie devient de plus en plus mature et proche de la commercialisation, d'autres générations sont à l'étude dans les laboratoires et en particulier à SPINTEC, comme l'écriture par basculement d'anisotropie induite par tension électrique ou interconversion entre courant de spin et courant de charge par effet spin-orbite. Ces nouvelles générations promettent des performances encore plus intéressantes, mais sont encore actuellement au stade de l'étude théorique, de la compréhension fondamentale et de développement matériaux. Le but de la thèse est d'évaluer de façon préliminaire les avantages qu'on pourrait obtenir de circuits mémoire et logique utilisant ces nouveaux concepts, au niveau électronique. Il sera pour cela nécessaire de développer les modèles compacts permettant de simuler des composants

électroniques basés sur ces nouveaux phénomènes puis de les intégrer aux outils de conception standards de la microélectronique (suite CADENCE). Ces outils permettront alors de concevoir des circuits élémentaires qui permettront à plus long terme une évaluation des avantages potentiels dans des circuits plus complexes. Dans la pratique, la thèse comprendra les tâches suivantes :

- ? Le développement, en langage verilogA, de modèles compacts électriques pour simulation électrique de circuits hybrides CMOS/Magnétiques basés sur ces nouveaux phénomènes (contrôle par champ électrique des propriétés magnétiques et conversion courant de spin en courant de charge par effet Hall de spin Inverse (ISHE)).
- ? La validation de ces modèles par confrontation avec les résultats expérimentaux obtenus au laboratoire et d'autres disponibles dans la littérature.
- ? La conception, en utilisant ces modèles, de circuits élémentaires tels que des portes logiques non-volatiles (NOR, NAND etc), des petits blocs mémoires ou des oscillateurs radiofréquence spintroniques.
- ? L'évaluation par simulations des performances de ces circuits en comparaison avec les circuits équivalents en termes de fonctionnalité de l'état de l'art.
- ? Rédaction d'articles et du manuscrit de thèse.

Compétences requises :

Le candidat devra avoir un niveau de Master 2, de formation universitaire ou école d'ingénieurs. Ses compétences devront couvrir la conception microélectronique analogique au niveau circuit, idéalement en utilisant le logiciel Cadence. Des notions de programmation en langage verilogA seraient un plus. Le candidat devra maîtriser suffisamment l'anglais pour être à l'aise pour la lecture et la rédaction d'articles scientifiques, ainsi que dans les discussions techniques qui pourraient avoir lieu en anglais. Un intérêt pour la recherche et la multidisciplinarité sont essentielles pour cette thèse.