

## Mémoires magnétiques à courant d'écriture réduit par assistance micro-onde

Contact : Bernard DIENY DRF//INAC/SPINTEC [bernard.dieny@cea.fr](mailto:bernard.dieny@cea.fr) 0438783870

Stage pouvant se poursuivre en thèse : Oui

### Résumé :

Il y a un intérêt croissant dans l'industrie microélectronique pour une nouvelle catégorie de mémoires magnétiques non-volatiles, les MRAM, qui ont été développées notamment dans notre laboratoire depuis une dizaine d'années. Dans ces mémoires, les éléments de stockage sont des jonctions tunnel magnétiques nanostructurées. Celles-ci sont formées de deux couches ferromagnétiques séparées par une fine couche d'oxyde servant de barrière tunnel (~1nm de MgO). L'information (0 ou 1) est codée dans l'orientation relative de l'aimantation des deux couches magnétiques dont l'une à une aimantation fixe (couche de référence) et l'autre une aimantation commutable (couche de stockage). Ces mémoires devraient commencer à être produites commercialement dès 2018. Beaucoup d'applications (appareils portables comme smartphones, objets communicants (IoT), etc) nécessitent de minimiser la consommation électrique des mémoires. Ici, nous proposons dans ce stage d'étudier une approche innovante pour réduire la consommation à l'écriture en assistant la commutation de l'aimantation de la couche de stockage de la jonction tunnel par un effet micro-onde produit par transfert de spin. Ce phénomène résulte du passage d'un courant électrique à travers la jonction tunnel, qui se polarise en spin en traversant la couche de référence et exerce des couples magnétiques sur différentes couches de l'empilement. Le stage comprendra des aspects modélisation et expérimentaux.

### Sujet détaillé :

Les MRAM sont des mémoires non-volatiles basées sur des jonctions tunnel magnétiques (MTJ). Ces dernières sont formées de deux couches ferromagnétiques séparées par une fine barrière tunnel de MgO typiquement d'épaisseur 1nm. L'information est codée dans l'orientation de l'aimantation d'une des couches magnétiques (couche de stockage), tandis que l'aimantation de l'autre couche reste dans une direction fixe (couche de référence). Quand un courant circule à travers la jonction, la résistance électrique dépend de l'orientation relative des aimantations de ces deux couches magnétiques (Phénomène de magnétorésistance tunnel : Parallele= «0»=basse résistance ; Antiparallele= «1»=Forte résistance).

Pendant l'écriture, l'aimantation de la couche de stockage est commutée en utilisant le phénomène de transfert de spin qui résulte de l'interaction d'échange entre les électrons tunnels et ceux responsables de l'aimantation de la couche de stockage. Ces mémoires développées notamment à SPINTEC depuis plus d'une dizaine d'années font l'objet d'un intérêt croissant dans l'industrie microélectronique. Cet intérêt réside dans une unique combinaison d'atouts qu'aucune autre forme de mémoire ne possède : non-volatilité (capacité à garder l'information écrite sans être alimentée électriquement), relativement faible consommation électrique, forte densité et endurance à l'écriture quasi-illimitée. Ces mémoires doivent entrer en production de volume en 2018 pour des applications de mémoires embarquées utilisées dans l'électronique grand public.

Pour les applications nomades (smartphones, objets connectés de l'internet des objets) mais aussi pour les serveurs, les calculateurs haute performance (HPC), réduire la consommation électrique des circuits et en particulier des mémoires restent un objectif majeur. Nous proposons ici d'étudier une nouvelle approche d'écriture dans les mémoires MRAM utilisant le phénomène de transfert de spin assisté par micro-ondes. Le transfert de spin (STT) est un phénomène qui se produit lorsqu'un courant électrique polarisé en spin est injecté dans une nanostructure magnétique. A cause de l'interaction d'échange entre les électrons injectés et ceux responsables de l'aimantation locale, le courant polarisé en spin exerce un couple magnétique sur l'aimantation de la nanostructure. Ce couple peut avoir deux effets suivant la configuration magnétique de la nanostructure par rapport à la direction de polarisation du courant : 1) une commutation de l'aimantation de la nanostructure suivant son axe d'anisotropie, phénomène utilisé pour l'écriture de l'information dans les STT-MRAM mais conduisant à une consommation électrique relativement importante à l'écriture ; 2) soit génération d'un mouvement de précession entretenue de l'aimantation parfois utilisée dans des oscillateurs radiofréquence.

L'idée que nous voulons explorer dans ce stage consiste à combiner les deux effets ci-dessus pour réduire la consommation électrique à l'écriture des MRAMs. Le principe consiste à utiliser des empilements jonctions tunnel dans lesquels la commutation de la couche de stockage est assistée par la micro-onde produite par une autre couche entraînée dans un mouvement de précession entretenue par le même courant traversant l'empilement.

Ce stage à portée à la fois fondamentale et applicative comprendra une partie simulations magnétiques et une partie expérimentale. Profitant de l'expertise du laboratoire dans ce domaine, nous proposons d'évaluer le concept proposé par simulations numériques puis de participer à la croissance des matériaux par pulvérisation cathodique, à la caractérisation de leurs propriétés magnétiques et électriques. Les dépôts magnétiques seront ensuite nanostructurés dans notre salle blanche sous forme de piliers nanométriques contactés électriquement. Les propriétés d'écriture/lecture des points mémoire ainsi formés seront alors caractérisées sur nos testeurs électriques.

Nous souhaitons que le stage soit poursuivi en thèse. Celle-ci permettra une optimisation approfondie des empilements pour minimiser l'énergie d'écriture en vue d'applications nomades mais aussi de mémoires rapides du type mémoires CACHE SRAM non-volatiles.

**Compétences requises :**

Bases en programmation et magnétisme