

Résumée et Objectifs

Le projet vise à établir la connaissance pour fabriquer des jonctions tunnel magnétiques à anisotropie perpendiculaire

• L'approche « anisotropie perpendiculaire » pressentie comme la seule voie possible pour atteindre des tailles de cellules inférieures à 35nm. Meilleur compromis entre la stabilité thermique et la densité de courant critique de commutation.

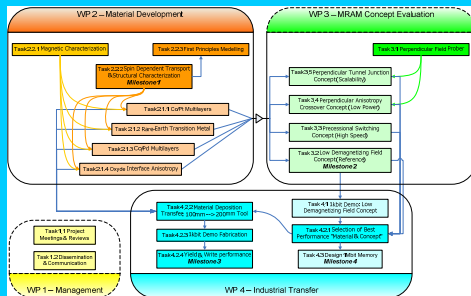
• Intégration de couches à anisotropie perpendiculaire dans des structures comportant une barrière de MgO.

• Démonstration de quatre concepts MRAM exigent au moins une couche à anisotropie perpendiculaire.

• Viabilité industrielle de ces concepts sera l'objectif final du projet et le but du développement de jonctions perpendiculaires est de réduire la densité de courant critique de commutation inférieure à 10⁶A/cm².

Le projet est organisé autour de 3 actions principales:

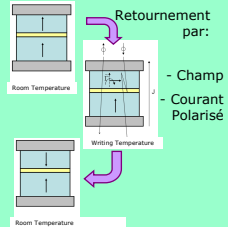
1. Le développement de matériaux à anisotropie perpendiculaire et leur intégration dans une jonction tunnel MgO
2. Activités de démonstration de concepts MRAM
3. Transfert industriel, prototype de démonstration et optimisation du design



Concepts MRAM Anisotropie Perp.

Ecriture à basculement d'anisotropie

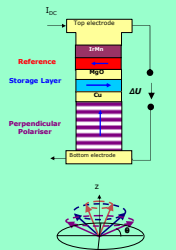
- Développement de structures à aimantation perpendiculaire pour réduire les courants critiques à l'écriture
- Basculement d'anisotropie contrôlée
- Signal TMR ~20% jonctions perp. fabriquées MgO
- Solution électrode de référence top multicouches Co/Pd
- Couche de référence synthétique nécessaire pour réduire champ rayonné
- Permet de découpler la stabilité thermique de la densité de courant critique à l'écriture



$$\frac{I_C}{\Delta} = \frac{4e}{\hbar} \frac{\alpha}{P} k_B T$$

Retournement précessionnel par courant polarisé en spin

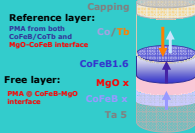
- Structures à aimantation planaire et polariseur perpendiculaire pour commutation précessionnelle de l'aimantation
- Obtention de temps de commutation ultimes de 250ps à 1ns
- Densité de courant encore trop élevée pour utilisation de jonctions tunnel (MTJ)
- Intégration de polariseur dans MTJ réalisés



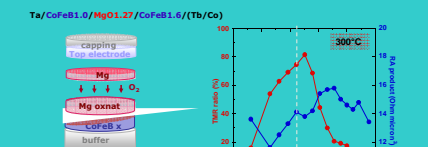
Développement de jonctions à anisotropie perpendiculaire

• Solution électrode de référence top avec alliage TbCo implémentée

• Structure: Ta 10 / CoFeB 1.0 / MgO 1.27 / CoFeB 1 / (Tb 0.4 / Co 0.5)₅ / Capping



Propriétés TMR de jonctions perpendiculaires à base de CoFeB



TMR_{max} = 75% pour 1.05nm
CoFeB RA ~ 12 > 14 Ωμm²

Jonction Tunnel à base de CoFeB/MgO pour application STT:
Électrodes à anisotropie perpendiculaire, faible RxA, TMR élevée

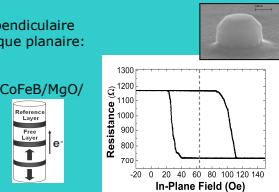
Production scientifique

- Precessional spin-transfer switching in a magnetic tunnel junction with a synthetic antiferromagnetic perpendicular polarizer
Marins de Castro Souza, M., R.C. Sousa, S. Bandiera, C. Ducruet, A. Chavent, S. Auffret, C. Papusoi, I.L. Prejbeanu, C. Portemont, L. Vila, U. Ebels, B. Rodmacq, and B. Dieny, J. Appl. Phys. 111, 07C912 (2012)
- Spin transfer torque switching assisted by thermally induced anisotropy reorientation in perpendicular magnetic tunnel junctions
Bandiera, S., R.C. Sousa, M. Marins de Castro Souza, C. Ducruet, C. Portemont, S. Auffret, L. Vila, I.L. Prejbeanu, B. Rodmacq and B. Dieny, Applied Physics Letters 99 (2011) 202507
- Co/Ni multilayers with perpendicular anisotropy for spintronic device applications
L. You, R. C. Sousa, S. Bandiera, B. Rodmacq, and B. Dieny, Appl. Phys. Lett. 100, 172411 (2012)
- Enhancement of perpendicular magnetic anisotropy through reduction of Co-Pt interdiffusion in (Co/Pt) multilayers
S. Bandiera, R. C. Sousa, B. Rodmacq, B. Dieny, APL 100, 142410 (2012)
- Enhancement of perpendicular magnetic anisotropy thanks to Pt insertions in synthetic antiferromagnets
S. Bandiera, R. C. Sousa, S. Auffret, B. Rodmacq, B. Dieny, APL 101, 072410 (2012)

Commutation par retournement précessionnel

Intégration de polariseur perpendiculaire dans jonction tunnel magnétique planaire:

Structure: (Pt/Co)/CoFeB/Cu/CoFeB/Ru/CoFeB/MgO/CoFeB/Ru/Co/IrMn



Observation de retournement précessionnel avec un temps de commutation inférieur à 500ps

Précession cohérente jusqu'à 2-3 oscillations, mais perte de cohérence après.

Mise en évidence d'un régime de retournement direct à des niveaux de densité de courant inférieurs au régime de précession.

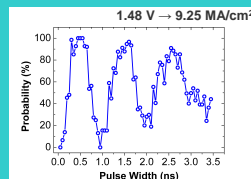
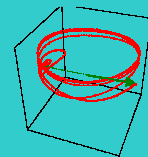
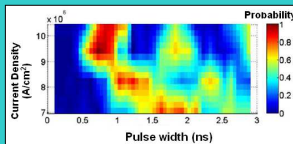


Diagramme de Phase

Mesure de la probabilité de retournement en fonction du courant et de la durée d'impulsion



Calcul Macrospin

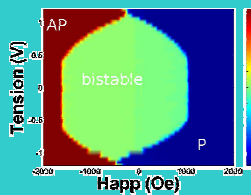
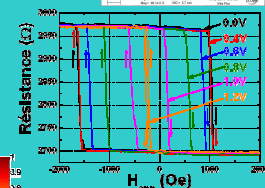
Trajectoire de la couche de stockage incluant les effets:
- Polariseur perpendiculaire
- Couche de référence planaire.

Commutation par basculement d'anisotropie

Réalisation de jonction tunnel à basculement d'anisotropie

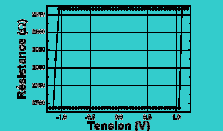
Structure: (Pt/Co)/CoFeB/MgO/CoFeB/(Pd/Co)

Coercitif T_{amp} 1350 Oe
Facteur de stabilité Δ=167 (>>70)
Diamètre: 110nm
Impulsion électrique 30ns



Ecriture par courant polarisé en spin à 1.15V
Densité de courant critique d'écriture: ~ 6 10⁶ A/cm²

Diagramme de Phase
Diminution du champ d'écriture de 1350 à 60 Oe
Ecriture par champ assisté thermiquement



Démonstration du meilleur rapport entre le facteur de stabilité Δ (=KV/kBT) et la densité de courant critique JC.

Reference	Material	J _C (30ns) (A/cm ²)	Δ(=KV/kBT)	Δ/J _C	TMR(%)	α
Nakayama et al. (2008)	CoFeB/TbFeCo	4.8 10 ⁶	10	2	10	?
Ohno et al. (2010)	CoFeB/MgO	3.8 10 ⁶	43	113	120	0.013
Wedge et al. (2011)	CoFeB/MgO	2.6 10 ⁶	20	71	46	0.04
This work (2011)	CoFeB/TbFeCo	5.5 10 ⁶	73	159	10	0.16

CONTACTS :

Spintec (Coordinateur): ricardo.sousa@cea.fr
Crocus Technology: lprejbeanu@crocus-technology.com
Institut Néel: stefania.pizzini@grenoble.cnrs.fr