

Anisotropie magnétique dans les hétérostructures Mn_5Ge_3/Ge en fonction de l'état de contraintes dans les films

Projet ANR PNANO: 07-NANO-028 MnGe-SPIN

Partenaire 1 : CINaM - CNRS, UPR 3118, Campus de Luminy, Marseille (Coordinateur: V. Le Thanh)

Partenaire 2: IM2NP - UMR CNRS 6242, Université Paul Cézanne (Responsable: L Favre)

Partenaire 3: IEF – UMR8622, Université Paris-Sud, Orsay (Responsable: D. Bouchier)

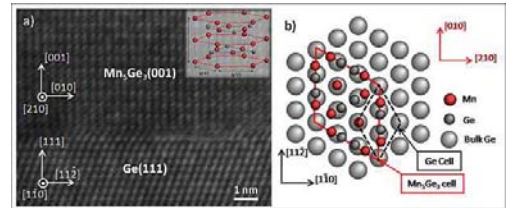
Introduction

Objectifs du projet:

Synthèse d'hétérostructures Mn_5Ge_3/Ge permettant d'injecter du courant polarisé en spin dans les semi-conducteurs du groupe IV (Si, Ge)

Résultats obtenus en 2008:

- Avoir démontré les relations d'épitaxie entre Mn_5Ge_3 et Ge(111)
 - Obtention de films épitaxiaux sur Ge(111) avec une interface abrupte à l'échelle atomique malgré l'existence d'un désaccord de paramètre de maille de 3,7 %
 - Propriétés magnétiques:
 - Axe facile parallèle au plan hexagonal tandis que dans le matériau massif il est parallèle à l'axe c
 - Température de Curie à ~ 340 K pour les films épitaxiaux tandis qu'elle est à 296 K dans le matériau massif.
- Réf.: S. Olive-Mendez, *Thin Solid Films* 517 (2008) pp. 191-196.



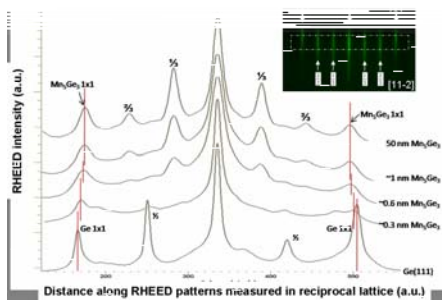
a) Image en microscopie électronique en transmission dans la région d'interface entre Mn_5Ge_3 et Ge(111)
b) Schéma illustrant les relations d'épitaxie entre Mn_5Ge_3 et Ge(111)

Travaux effectués en 2009:

- Étudier l'effet de l'épaisseur sur les propriétés magnétiques et structurales de Mn_5Ge_3 sur Ge(111)
- Étudier la croissance de Mn_5Ge_3 sur Ge(001): films de symétrie hexagonale versus la symétrie carrée du Ge(001)

Effet de l'épaisseur sur les propriétés magnétiques et structurales de Mn_5Ge_3 sur Ge(111)

Détermination du mode de croissance de Mn_5Ge_3 sur Ge(111) par de mesures RHEED de la variation du paramètre de maille dans le plan (a//).



Sur Ge(111), les films de Mn_5Ge_3 sont totalement relaxés après le dépôt de 2 premières couches (~1nm)

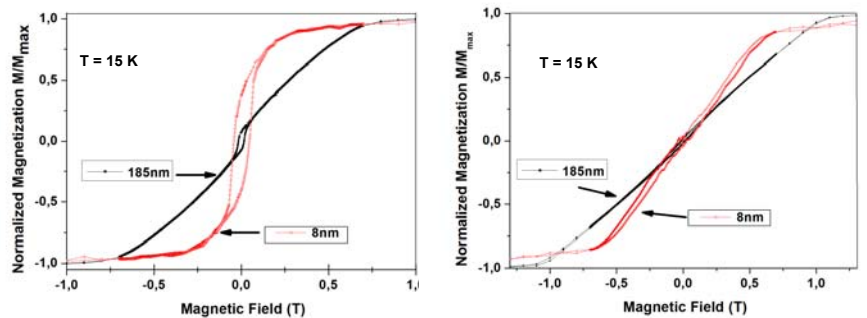
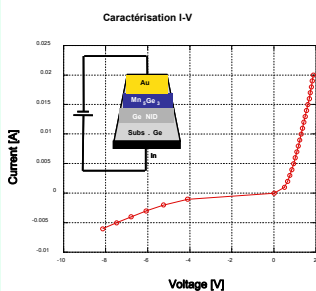
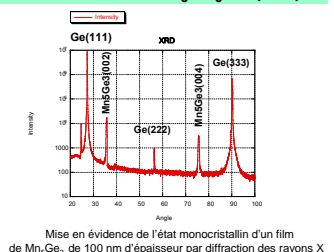


Illustration de cycles d'hystérésis pour les films de 8 nm et 185 nm d'épaisseur avec champs magnétique appliqué dans le plan (à gauche) et perpendiculaire aux films (à droite)

Propriétés électriques et structurales de $Mn_5Ge_3/Ge(111)$



Première mise en évidence de la nature du contact Schottky de la jonction $Mn_5Ge_3/Ge(111)$



Mise en évidence de l'état monocristallin d'un film de Mn_5Ge_3 de 100 nm d'épaisseur par diffraction des rayons X

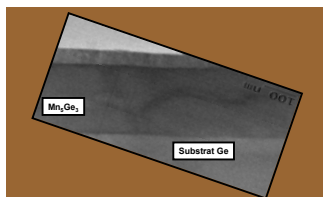
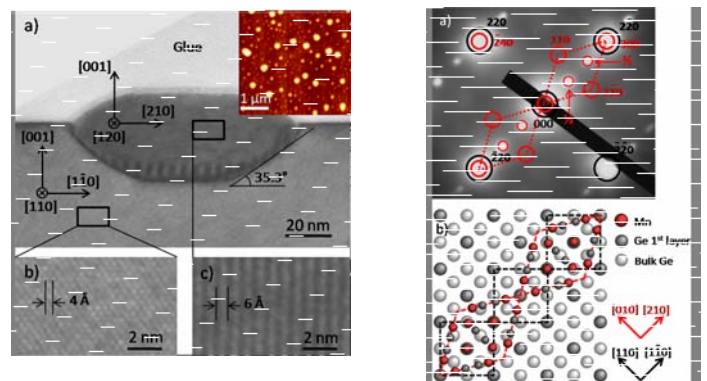


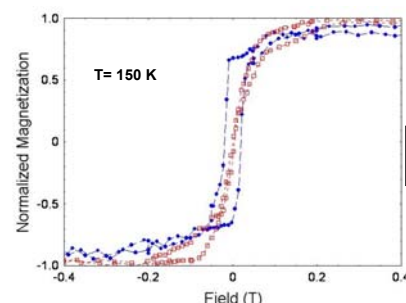
Image TEM d'un film Mn_5Ge_3 de ~300 nm d'épaisseur: film monocristallin et aucune dislocation n'est visible

Croissance et propriétés magnétiques de Mn_5Ge_3 sur substrats Ge(001)



Images TEM et AMF (dans insert) mettant en évidence le mode croissance tridimensionnelle de Mn_5Ge_3 sur substrats Ge(001). La présence des franges de Moiré indique que les îlots Mn_5Ge_3 sont contraints et cohérents par rapport au substrat de Ge(001).

(a) Diagramme de diffraction en transmission à travers d'un îlot et (b): schéma illustrant les relations d'épitaxie d'îlots Mn_5Ge_3 sur Ge(001): deux mailles de Mn_5Ge_3 sont superposées à trois mailles de Ge suivant la direction $[1-10]_{Ge}$.



Cycles d'hystérésis mesurés avec champ magnétique appliqué dans le plan de la couche (en rouge) et perpendiculaire à la couche (en bleu): l'axe facile magnétique est perpendiculaire à la couche c'est-à-dire parallèle à l'axe c comme dans le matériau massif.

Conclusions et perspectives

Hétérostructures Mn_5Ge_3 sur Ge(111):

- ☛ films relaxés dès la première couche, interface abrupte à l'échelle atomique
- ☛ Films demeurent monocristallins jusqu'à l'épaisseur de ~300 nm
- ☛ Axe facile est dans le plan pour épaisseur inférieure à 50 nm et sort progressivement hors du plan au-delà de cette épaisseur tandis que l'axe difficile demeure perpendiculaire.
- ☛ Première mise en évidence de la jonction type Schottky

Hétérostructures Mn_5Ge_3 sur Ge(001):

- ☛ Croissance tridimensionnelle, îlots contraints et cohérents par rapport au substrat
- ☛ Axe facile est perpendiculaire à la couche, similaire au matériau massif

Perspectives:

- Dopage de carbone pour augmenter l'ordre ferromagnétique
- Réalisation de dispositifs pour évaluation l'efficacité d'injection de spin: diodes PIN