



Structure et magnétisme de super-réseaux Ru/Mn et MnFeMn/Ru préparés par MBE

V. Dupuis, M. Piecuch, J. Bobo, F. Baudalet, A. Fontaine, J. Bauer

► To cite this version:

V. Dupuis, M. Piecuch, J. Bobo, F. Baudalet, A. Fontaine, et al.. Structure et magnétisme de super-réseaux Ru/Mn et MnFeMn/Ru préparés par MBE. Journal de Physique IV Proceedings, 1992, 02 (C3), pp.C3-205-C3-209. 10.1051/jp4:1992330 . jpa-00251535

HAL Id: jpa-00251535

<https://hal.science/jpa-00251535>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Structure et magnétisme de super-réseaux Ru/Mn et MnFeMn/Ru préparés par MBE

V. DUPUIS⁽¹⁾, M. PIECUCH, J.F. BOBO, F. BAUDELET⁽²⁾, A. FONTAINE* et J.Ph. BAUER**

Laboratoire Mixte, CNRS-Saint Gobain, CRPAM, BP. 109, 54704 Pont-à-Mousson, France

**LURE, CNRS, CEA, MENJS, Bt 209d, 91405 Orsay, France*

***Université de Nancy I, Laboratoire de Physique des Solides, BP. 239, 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy, France*

Our recent works on Fe/Ru superlattices revealed a new hexagonal structure, a reduced magnetic moment ($1.7 \mu\text{B}$) for the Fe inner layers, and two magnetic dead layers at the interface. Then we decided to insert just one plane of manganese between Fe and Ru to test the interface influence on the structural and magnetic properties in these superlattices. In this paper, we present results obtained from X-ray diffraction and absorption and from macroscopic magnetization and Mössbauer spectroscopy on MnFeMn/Ru superlattices. The Mn environment identical to that of Fe, is quantitatively described. We show that there is no solid solution at the Fe/Ru interface; thus the four Fe magnetic dead layers do not originate in interface alloying. For the inner Fe layers, we obtain the same reduced magnetic moment as in Fe/Ru superlattices and a few tenth of μB for Mn atoms. Finally we confirm once more the quality of the interfaces in these superlattices.

⁽¹⁾ *Université C. Bernard Lyon I, Département Physique des Matériaux, 43 bd du 11 Novembre, 69622 Villeurbanne, France*

⁽²⁾ *Université de Nancy I, Laboratoire de Physique des Solides, BP. 239, 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy, France*

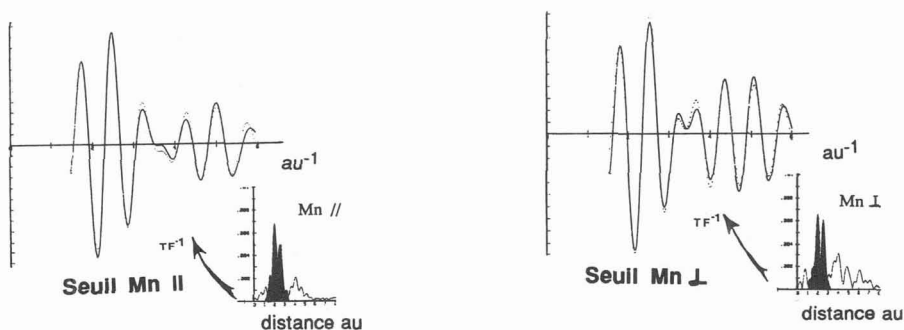
Les précédents travaux du laboratoire sur l'épitaxie par jets moléculaires de couches métalliques ont abouti à stabiliser jusqu'à sept plans atomiques de fer hexagonal par croissance sur du ruthénium (0001). Cette nouvelle phase est fortement dilatée (10%) par rapport à celles connues. En alternant un grand nombre de fois ces deux éléments, des superréseaux monocristallins de fer/ruthénium ont été réalisés avec une interface quasi-idéale ne portant pas de moment magnétique (mesure Mössbauer). A partir de la troisième couche de Fe, le moment est plus petit ($1.7\mu_B$) que celui du fer bcc ($2.2\mu_B$)¹. Quelques questions encore non résolues sur la structure du fer et ses propriétés magnétiques à l'interface avec Ru restaient ouvertes. Nous avons donc élaboré des superréseaux en insérant un plan manganèse entre Fe et Ru pour matérialiser l'interface entre ces deux éléments. En utilisant des techniques sélectives comme l'absorption X et la spectroscopie Mössbauer nous avons cherché à sonder quantitativement les caractéristiques de cette frontière. Les résultats obtenus sur des superréseaux Mn/Ru viennent compléter cette étude.

Les échantillons ont été réalisés sous un vide de 10^{-10} Torr par MBE dans une chambre décrite ailleurs ² équipée d'un canon à électron pour évaporer le fer et le ruthénium, et d'une cellule de kundsén pour le manganèse. La croissance de Mn sur un substrat de Ru est suivie par RHEED. L'évolution de l'intensité des pics Auger a été enregistrée toutes les 8 secondes lors du dépôt. Ces deux dernières techniques ont permis de déterminer un mode de croissance couche par couche type Franck-Van der Merwe de trois plans Mn en épitaxie sur Ru (0001) ³. L'exploitation des spectres de diffraction X des superréseaux Mn/Ru et MnFeMn/Ru réalisés sur le diffractomètre haute résolution du laboratoire ⁴ conduisent à un empilement ABAB comme dans le cas de Fe/Ru. La distance le long de l'axe c, d_{Mn} , a été estimée à $2,10\text{\AA}$ pour tous nos échantillons.

Nous avons alors pratiqué des mesures d'absorption X en rayonnement synchrotron ⁶. Cette technique est non seulement sensible à l'environnement local d'un type d'atome donné mais aussi à la polarisation du faisceau incident: lorsque celle-ci est dans le plan des couches, le poids relatif des voisins dans le même plan que l'absorbeur est accru. Ceci provient des interactions dipolaires qui introduisent une dépendance de l'angle entre le champ électrique et le vecteur de la position relative des voisins. Inversement le poids relatif des voisins hors du plan est accru pour une polarisation perpendiculaire. Ainsi les spectres d'absorption près du seuil (XANES) Fe pour Fe/Ru et du seuil Mn pour Mn/Ru ont révélé la signature d'un empilement

type fcc ou hcp (en accord avec les résultats de la diffraction X) pour une polarisation parallèle mais présentent une signature type bcc hors du plan. Cette forte anisotropie nous a amené à envisager un nouvel empilement hexagonal plus complexe qu'un empilement hexagonal compact classique parfaitement isotrope. Le superréseau $\text{Mn}_2\text{ÅFe}_8\text{ÅMn}_2\text{Å/Ru}_{17\text{Å}}$ est l'échantillon idéal pour tester l'environnement d'un plan Mn à l'interface avec des voisins Ru d'un côté et des voisins Fe ayant une structure analogue à Mn de l'autre côté. Comme pour Fe/Ru ⁶ nous avons obtenu une anisotropie des spectres XANES en fonction de la polarisation du faisceau de rayon X mais cette fois-ci nous avons réussi quantitativement à simuler les spectres EXAFS (voir figure 1).

Figure 1: Spectres EXAFS du superréseau $\text{Mn}_2\text{ÅFe}_8\text{ÅMn}_2\text{Å/Ru}_{17\text{Å}}$

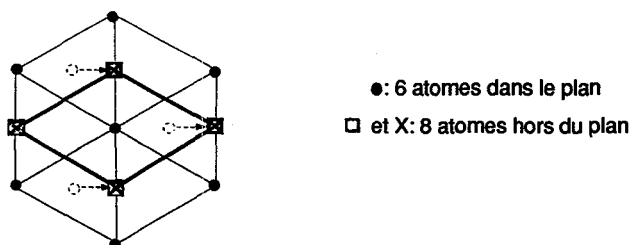


Théorie : Voisins Fe hors du plan :
 0,88 à 2,50Å et 1,64 à 3,17Å
 9 voisins Mn dans le plan à 2,68Å
 1,5 voisins Ru hors du plan à 2,64Å
Expérience: Voisins Fe hors du plan :
 1,2 à 2,51Å
 9,1 voisins Mn dans le plan à 2,71Å
 1,7 voisins Ru hors du plan à 2,68Å

Théorie : Voisins Fe hors du plan
 4,2 à 2,50Å et 2,6 à 3,17Å
 0 voisin Mn dans le plan
 6 voisins Ru hors du plan à 2,64Å
Expérience: Voisins Fe hors du plan
 4,35 à 2,56Å et 2,65 à 3,22Å
 0 voisin Mn dans le plan
 5,9 voisins Ru hors du plan à 2,63Å

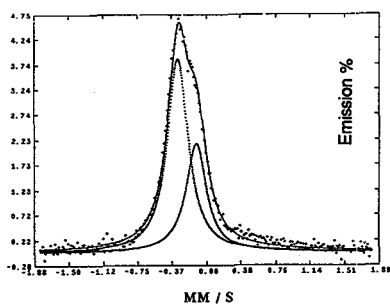
Pour obtenir le meilleur accord entre les spectres théoriques et expérimentaux nous avons envisagé un modèle à 14 voisins. Pour retrouver par le calcul les distances locales déterminées par EXAFS, il faut translater un plan dense (0001) par rapport à l'autre de façon à déplacer le centre de gravité de chaque triangle au centre du côté de ce triangle (voir figure 2). La projection des plans (0001) de cette nouvelle structure ressemble bien à la projection de plans bcc (110) avec une très faible déformation en accord avec les spectres XANES hors du plan de base.

Figure 2 : Nouvel empilement hexagonal AB'AB' obtenu par translation d'un plan (0001) à comparer avec un plan (110) de Fer bcc.



Les valeurs des distances entre voisins dans ce nouveau modèle permettent de retrouver exactement les valeurs expérimentales d'EXAFS et conduisent à un rapport c/a égal à 1,59 à comparer avec 1,55 obtenu pour la diffraction. La symétrie d'ordre 6 dans le plan de base observée en RHEED en cours de croissance apparaît comme la moyenne de domaines avec trois directions de translation possibles. Des mesures préliminaires de diffusion anormale confortent déjà cette hypothèse puisque les intensités des pics $(10\bar{1}0)$, $(20\bar{2}0)$ et $(30\bar{3}0)$ du superréseau aux grands angles sont plutôt dans un rapport propre à ce nouvel empilement hp.

Figure 3 : Spectre Mössbauer du superréseau $\text{Mn}_2\text{ÅFe}_8\text{ÅMn}_2\text{Å/Ru}_{17}\text{Å}$



Déplacement isomérique par rapport au Fe bcc à 300K :

$$-0,02 \pm 0,006 \text{ mm/s}$$

Séparation Quadrupolaire : ΔE_Q

$$0,198 \pm 0,003 \text{ mm/s}$$

Les mesures de spectroscopie Mössbauer (^{57}Fe) effectuées à température ambiante sont obtenues en réflexion par détection d'électron de conversion avec un faisceau γ normal à l'échantillon $\text{Mn}_2\text{ÅFe}_8\text{ÅMn}_2\text{Å/Ru}_{17}\text{Å}$ déposé sur $\text{Al}_2\text{O}_3 (11\bar{2}0)$. Elles révèlent un doublet quadrupolaire asymétrique ayant pour origine un axe local de symétrie 6 et un comportement paramagnétique du fer des couches de coeur et à l'interface avec un plan Mn (voir figure 3). En déconvoluant ces deux pics I^+ (pic de droite) et I^- (pic de gauche) on obtient un rapport $R=I^+/I^-$ égal à $0,56 \pm 0,02$ qui diffère du 0,33 attendu dans nos conditions expérimentales; ceci peut s'expliquer par des défauts ou des contraintes à l'interface induisant une

contribution aléatoire non axiale. Ce résultat est semblable à ceux obtenus sur des superréseaux Fe/Ru purs ($R=0,47$) où le sextuplet magnétique disparaît pour des épaisseurs de fer inférieures à $8\text{\AA}$ ¹. Néanmoins cette analogie permet de conclure que les quatre couches magnétiquement mortes de fer ne sont pas dûes à la formation d'un composé $\text{Fe}_{1-x}\text{Ru}_x$ non magnétique.

Nous retrouvons ce faible magnétisme des superréseaux Mn/Ru et MnFeMn/Ru dans les résultats d'aimantation macroscopiques obtenus à température ambiante à l'aide d'un magnétomètre à gradient de force alternatif⁵. Le moment magnétique par atome augmente avec l'épaisseur du film magnétique (Fe+Mn) et les cycles d'hystérésis sont caractéristiques d'un faible couplage antiferromagnétique (confirmé par des mesures de diffraction de neutrons⁷ sur Ru/Mn sous et sans champ magnétique appliqué) pour des épaisseurs de Ru inférieures à $17\text{\AA}$ avec un champ coercitif de l'ordre de 100 Oersted. En reportant le moment total des couches magnétiques dans ces superréseaux, nous observons un comportement paramagnétique pour les couches de fer inférieures à quatre monocouches et un moment de $1,7\text{ }\mu\text{B}$ par atome dans les couches supplémentaires (comme dans Fe/Ru¹), ainsi qu'un moment de $0,15\text{ }\mu\text{B}$ par atome de Mn.

Finalement nous confortons le fait qu'il existe un lien étroit entre cette structure originale du manganèse (classiquement bcc complexe et antiferromagnétique avec une température de Néel de 100K) et ses nouvelles propriétés magnétiques dans ces superréseaux et nous soulignons la qualité de leurs interfaces.

REFERENCES

- ¹ M. Piecuch, S Andrieu, J.F. Bobo, M. Maurer, M.F. Ravet, V. Dupuis, J.C. Ousset, B. Dieny, Proceedings MRS-Anaheim-USA-(May 1991)
- ² M. Maurer, J.C. Ousset, M. Piecuch, M.F. Ravet, J.P. Sanchez, Mat. Res. Soc. Sym. Proc. **151** 99 (1989)
- ³ V. Dupuis, M. Maurer, M. Piecuch, M.F. Ravet, J. Dekoster, S. Andrieu, J.F. Bobo, F. Baudalet, A. Fontaine, P. Bauer, à soumettre
- ⁴ P. Dhez, S. Megtert, M.F. Ravet, E. Ziegler, Proc. SPIE **984** 89 (1988)
- ⁵ Appareil commercialisé par Princeton Measurement Corporation
- ⁶ F. Baudalet, A. Fontaine, G. Tourillon, D. Gay, M. Maurer, M. Piecuch, M.F. Ravet, V. Dupuis *soumis à Phys. Rev. B* (1991)
- ⁷ F. Baudalet, Thèse au LURE (Orsay-France 1991)
- ⁷ J.L. Martinez, Proceedings of ICN'91, Oxford (1991)