



HAL
open science

Structure cristallographique de multicouches métalliques et magnétiques étudiées par spectroscopie d'absorption X

S. Pizzini, F. Baudelet, A. Fontaine, D. Chandesris, Hélène Magnan, A. Fert,
F. Petroff, C. Marlière

► To cite this version:

S. Pizzini, F. Baudelet, A. Fontaine, D. Chandesris, Hélène Magnan, et al.. Structure cristallographique de multicouches métalliques et magnétiques étudiées par spectroscopie d'absorption X. Journal de Physique IV Proceedings, EDP Sciences, 1992, 02 (C3), pp.C3-185-C3-189. 10.1051/jp4:1992326 . jpa-00251531

HAL Id: jpa-00251531

<https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00251531>

Submitted on 1 Jan 1992

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 cristallographique de multicouches métalliques et magnétiques étudiées par spectroscopie d'absorption X

S. PIZZINI, F. BAUDELET, A. FONTAINE, D. CHANDESRIS, H. MAGNAN, A. FERT*, F. PETROFF* et C. MARLIÈRE**

LURE, Bât. 209D, Université Paris-Sud, 91405 Orsay, France

**Laboratoire de Physique des Solides, Université Paris-Sud, 91405 Orsay, France*

***Laboratoire d'Optique, Université Paris-Sud, 91405 Orsay, France*

ABSTRACT

The results of X-ray Absorption Spectroscopy (XAS) measurements on magnetic Co/Cu and Fe/Cu multilayers show the capability of this technique to point out the dependence of crystallographic phase on the layers thickness and the presence of structural anisotropies and strain in these multilayers.

1. Introduction

Les multicouches et les super-réseaux métalliques présentent des propriétés structurales et magnétiques inhabituelles. L'aimantation perpendiculaire observée récemment dans ces nouveaux matériaux, et la magnétoresistance géante, mise en évidence pour la première fois dans les multicouches Fe/Cr sont les propriétés fondamentales de ces multicouches métalliques qui sont appelées à devenir des matériaux de base de l'enregistrement magnétique du futur [1;2].

Dans ces matériaux des structures cristallographiques inhabituelles, différentes de celles de l'état massif, peuvent être stabilisées. La sélectivité de la spectroscopie d'absorption de rayons X (XAS) rend cette technique puissante pour caractériser la structure locale des multicouches [3]. Dans ce papier nous présentons les résultats de nos récentes mesures sur des multicouches Fe/Cu et Co/Cu, où le couplage entre couches magnétiques montre des oscillations en fonction de l'épaisseur des couches non magnétiques [2].

2. Méthodes expérimentales

Les multicouches Fe/Cu ($t_{\text{Fe}}=15\text{Å}$, $t_{\text{Cu}}=6, 13, 24, 42$ and 60Å) ont été préparées par pulvérisation dans une enceinte ultra-vide [4].

Les multicouches Co/Cu, préparées par évaporation thermique en ultra-vide sont déposées sur une couche tampon d'or, épaisse de 250Å, elle-même déposée sur du verre.

La diffraction des rayons X et les résultats de RMN du cobalt [5] prouvent que les interfaces Co/Cu sont très abruptes (rugosité $rms < 4\text{Å}$). Les couches $\text{Co}_{10}\text{Cu}_{10}$, Co_5Cu_5 , Co_3Cu_3 , Co_3Cu_5 , Co_3Cu_3 (où sont portés en indice les nombres de monocouches de Co et Cu) sont fortement texturées avec l'axe [111] perpendiculaire à la surface des échantillons.

Les mesures de XAS ont été réalisées sur la station expérimentale D42 de LURE-DCI équipée d'un monochromateur type "channel cut" utilisant la réflexion 311 du silicium. Puisque les couches sont minces et déposées sur substrat, la détection des électrons secondaires émis à la suite de la création du trou profond est la méthode la plus efficace de mesure du spectre. Deux mesures avec les configurations géométriques classiques ont été réalisées: la direction de polarisation des photons X est parallèle ou quasi-perpendiculaire à la surface de l'échantillon. Les spectres EXAFS expérimentaux ont été simulés en utilisant l'approximation en ondes planes et les phases et amplitudes expérimentales obtenues à partir de spectres de composés standards. Dans ce cas, phase et amplitude contiennent la correction "onde courbe" qui reste quasi-invariante lors que les distances interatomiques varient peu, ce qui est le cas.

3. Resultats

La figure 1 montre les transformées de Fourier (TF) des spectres EXAFS (Cu K) des multicouches Cu/Co, avec la polarisation des rayons X dans le plan des couches. Pour chaque multicouche, les TF (qui sont des quasi fonctions de distribution radiale) sont très proches de celle du spectre de Cu massif: la structure cubique faces centrées (cfc) des couches de Cu de ces échantillons est très ordonnée. La modélisation des spectres EXAFS (Tableau 1) montre en outre que les facteurs de Debye-Waller pour les couches de Cu sont pratiquement identiques à ceux du Cu massif.

Les distances des premiers voisins Co-Co et Cu-Cu dépendent de l'épaisseur des couches (Table 1). Les distances entre atomes dans le plan des couches (l_l) sont en général différentes des distances entre atomes dans des plans atomiques différents (l_{ll}), donnant une structure anisotrope. Dans le plan des couches, la distance Co-Co (2.52Å) est plus longue que celle du Co massif (2.51Å), alors que la distance Cu-Cu (2.54Å) est plus courte que celle du Cu massif (2.556Å). Cette variation structurale est la réponse du réseau aux contraintes imposées par l'épitaxie de deux matériaux présentant un désaccord de maille à l'état massif. La tendance est naturellement de dilater le réseau du Co ($d_{\text{Co}} < d_{\text{Cu}}$) et de contracter celui du Cu. La valeur moyenne des distances (l_l) dans ces multicouches est celle des matériaux massifs.

En revanche, dans la direction perpendiculaire aux plans, les distances des premiers voisins ne changent pas: elles sont celles des matériaux massifs. Les facteurs de Debye

Waller (Tableau 1) montrent que les couches de Co sont beaucoup plus désordonnées que les couches de Cu. Alors que le cuivre croît avec la structure cfc du massif, le cobalt adopte la structure métastable (cfc) imposée par le cuivre. Ce résultat important est aussi suggéré par la RMN du cobalt. Les fortes valeurs des facteurs de Debye-Waller sont dues probablement à la présence de défauts qui tendent à rétablir localement la structure hexagonale du Co massif.

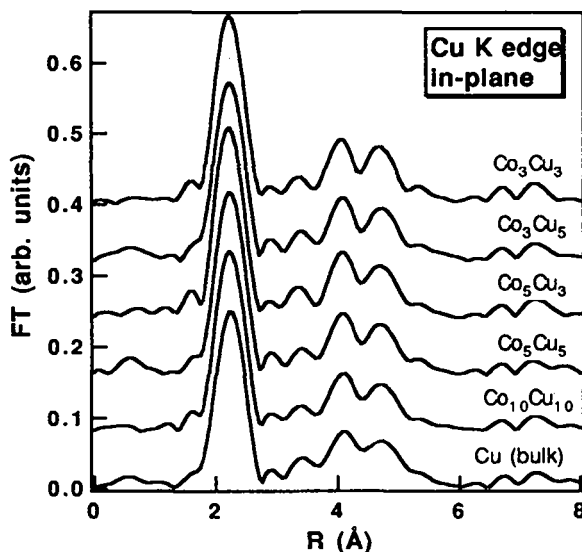


Figure 1: Les transformées de Fourier des spectres EXAFS des multicouches Co_xCu_y (x et y étant les nombres de monocouches de Co et de Cu) au seuil Cu K, mesurées avec la polarisation des rayons X dans le plan des couches, sont comparées à la TF du spectre du Cu massif.

Table 1: Résultats des modélisations des spectres EXAFS aux seuils Cu K et Co K, mesurés pour les multicouches Co_xCu_y , avec la polarisation du faisceau X dans le plan (in-plane) ou perpendiculaire au plan des couches (out-of-plane). R_1 est la distance du premier voisin (Cu-Cu ou Co-Co). DW_1 est le facteur de Debye-Waller, relatif à celui de Cu ou Co massifs.

SAMPLE	R_1 (Å) (in-plane)	DW_1 (Å ²) (in-plane)	R_1 (Å) (out-of-plane)	DW_1 (Å ²) (out-of-plane)
<u>Cu K edge</u>				
Cu (bulk)	2.556	-	2.556	-
$\text{Co}_{10}\text{Cu}_{10}$	2.54	0.0001	2.55	0.0004
Co_5Cu_5	2.54	0.0000	2.55	0.0005
Co_3Cu_3	2.54	-0.0005	2.55	0.0000
<u>Co K edge</u>				
Co (bulk)	2.51	-	2.50	-
$\text{Co}_{10}\text{Cu}_{10}$	2.52	0.0003	2.50	0.0008
Co_5Cu_5	2.52	0.0018	2.51	0.0019
(Co_3Cu_3	2.52	0.0023	2.51	0.0023

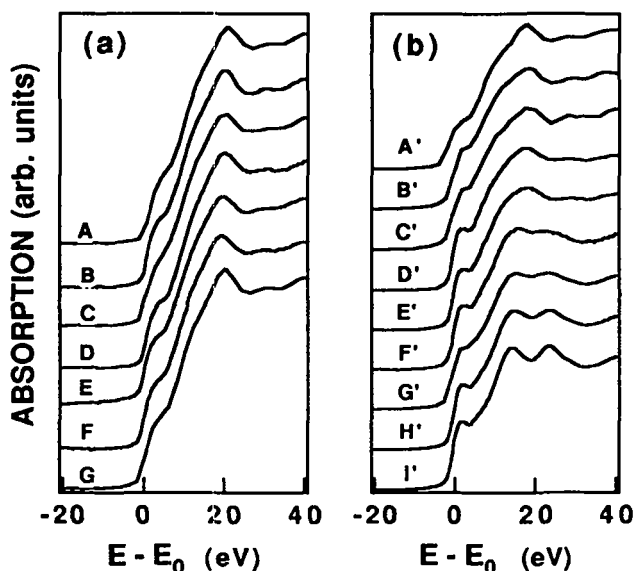


Figure 2: Seuils d'absorption Fe K (a) et Cu K (b) pour les multicouches (Fe 15Å / Cu t_{Cu}) ($E_0=8982\text{eV}$) mesurés avec la polarisation des rayons X dans les plans ou perpendiculaire aux plans des couches (out-of-plane). A) $t_{Cu}=13\text{Å}$ (out-of-plane); B) $t_{Cu}=13\text{Å}$; C) $t_{Cu}=24\text{Å}$; D) $t_{Cu}=42\text{Å}$; E) $t_{Cu}=60\text{Å}$ (out-of-plane); F) $t_{Cu}=60\text{Å}$; G) Fe massif. (b): A') Fe massif; B') $t_{Cu}=6\text{Å}$ (out-of-plane); C') $t_{Cu}=6\text{Å}$; D') $t_{Cu}=13\text{Å}$ (out-of-plane); E') $t_{Cu}=13\text{Å}$; F') $t_{Cu}=24\text{Å}$; G') $t_{Cu}=42\text{Å}$; H') $t_{Cu}=60\text{Å}$; I') Cu massif.

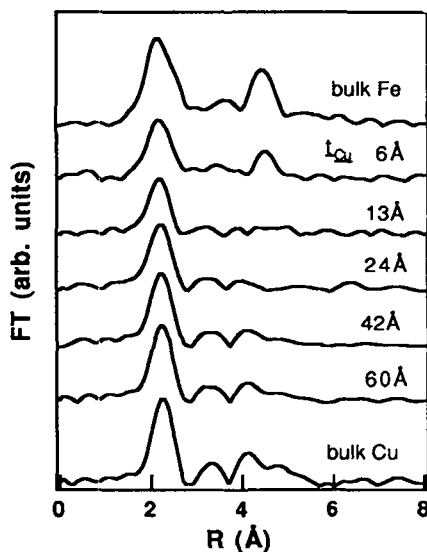


Figure 3: Les transformées de Fourier des spectres EXAFS au seuil Cu K mesurées pour les multicouches (Fe 15Å / Cu t_{Cu}) avec la polarisation des rayons X dans le plan des couches sont comparées aux TF des spectres de Cu massif (cfc) et Fe massif (cc).

La figure 2 montre les seuils d'absorption Fe K et Cu K pour les multicouches Fe/Cu ($t_{\text{Fe}}=21\text{\AA}$, $t_{\text{Cu}}=6, 13, 24, 42, 60\text{\AA}$) comparés aux seuils de Cu et Fe massifs [7]. Le est cubique centré (cc), quelle que soit l'épaisseur du Cu, alors que la structure des couches de Cu dépend fortement de leurs épaisseurs.

La forme des spectres d'absorption Cu K change avec l'épaisseur évoluant de celle typique d'une structure cc pour $t_{\text{Cu}}=6\text{\AA}$, à celle d'une structure cfc pour $t_{\text{Cu}}=60\text{\AA}$. La même tendance est montrée par les TF des spectres EXAFS au seuil Cu K (fig. 3). Les TF pour $t_{\text{Cu}}=6\text{\AA}$ montrent à grande distance les pics typiques d'une structure cc. Pour $t_{\text{Cu}}=24, 42$ et 60\AA les TF montrent les distances typiques d'une structure cfc. La présence de pics bien définis à grande distance est l'indication d'une structure ordonnée. D'autre part la modélisation des spectres EXAFS montrent que le désordre dans ces couches de Cu est beaucoup plus important que dans le Cu massif. Les couches de Cu de 13\AA se trouvent près du point de transition entre la structure cc et la structure cfc. Elles sont très désordonnées, comme l'indique l'absence de pics à grande distance dans les TF.

Les résultats de la modélisation des spectres d'EXAFS [7] montrent que pour les couches de cuivre plus fines (6\AA et 13\AA) la distance du premier voisin Cu-Cu ($2.50\text{-}2.52\text{\AA}$) est courte et typique d'une structure cc (2.556\AA pour cfc). Pour 13\AA de Cu, la structure cc est très désordonnée. Pour des épaisseurs plus importantes, la structure relaxe vers la phase cfc tdu cuivre massif. Pour ces épaisseurs ($24, 42$ et 60\AA) la distance Cu-Cu est plus longue, et typique du Cu cfc. Le processus de relaxation est lent, et les couches de Cu deviennent plus ordonnées au fur et à mesure que leurs épaisseurs augmentent.

References

- [1] L.M. Falicoff, D.T. Pierce, S.D. Bader, R. Gronsky, K.B. Hathaway, H.J. Hopster, D.N. Lampeth, S.S.P. Parkin, G. Prinz, M. Salamon, I.K. Schuller, R.H. Victoria, *J. Mater. Res.* Vol. 5, No. 6, June 1990, et références
- [2] F. Petroff, A. Barthélemy, D.H. Mosca, D.K. Lottis, A. Fert, P.A. Schroeder, W.P. Pratt, R. Loloee, S. Lequien, *Phys. Rev. B* 44 (1991) 5355
- [3] F. Baudelet, Thèse de Doctorat, Université d'Orsay, 1991
- [4] J.M. Slaughter, W.P. Pratt, P.A. Schroeder, *Rev. Sci. Instrum.* 60 (1989) 127
- [5] S. Pizzini, F. Baudelet, A. Fontaine, M. Galtier, D. Renard, C. Marlière, soumis à *Phys. Rev. B*
- [6] D.C. Koningsberger, R. Prins, X-ray Absorption. Principles, Applications, Techniques of EXAFS, SEXAFS and XANES, J. Wiley, 1988
- [7] S. Pizzini, F. Baudelet, D. Chandersis, A. Fontaine, H. Magnan, J.M. George, F. Petroff, A. Barthélemy, A. Fert, R. Loloee, P.A. Schroeder, *Phys. Rev. B* (Rapid Communications) 46 (1992) 1253