



Doctoral Thesis

Magnon spectroscopy of epitaxial thin films with application to Fe on Cu(100)

Author(s):

Xhonneux, Pascal

Publication Date:

1992

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000654727> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 9797

MAGNON SPECTROSCOPY OF EPITAXIAL THIN FILMS
WITH APPLICATION TO Fe ON Cu(100)

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

Presented by

Pascal Xhonneux
Licencié en Sciences Physiques FUNDP
born April 23, 1965
Verviers (Belgium)

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. H.C. Siegmann, examiner
Dr. E. Courtens, co-examiner

1992

Abstract

The Fe/Cu(100) system, which in principle allows fcc iron to be produced, in practice turns out to exhibit many structures also associated with different magnetism. In this work, Brillouin light-scattering spectroscopy and transverse Kerr effect measurements are performed on epitaxial films grown in ultra-high vacuum under well-controlled conditions. Measurements on numerous films up to 40 atomic layers (AL) reveal an unexpected sequence of structures and magnetism.

For high purity growth conditions and flat substrates at room temperature, four successive and well-reproducible structures in the thickness range 0-40 AL are identified. These reconstructions are identified by the LEED pattern as 1×1 , 5×1 , 2×1 , and a coexisting 3×1 with outside spots corresponding to the bcc lattice, for the following thickness ranges [0-3], [3-6], [6-17], and [17-40], respectively. The latter reconstruction is called here "pseudo-bcc".

Fe films with a surface reconstruction of the type 1×1 and 2×1 show neither magnon peaks nor transverse Kerr signal, even when cooled down to ~ 160 K. In the first case, this might be due to the fact that the Curie temperature is lower than 160 K. In the second case, the absence of magnons for the thicker films is surprising and could be related to a low spin state. The two other reconstructions are ferromagnetic at room temperature, one (5×1) with out-of-plane and the other (pseudo-bcc) with in-plane magnetization. Their magnon dynamics was studied as a function of temperature and under an applied magnetic field.

New theoretical calculations of the magnetic surface modes of thin slabs have been performed in the magnetostatic approximation with an arbitrary orientation of the anisotropies – magnetocrystalline and uniaxial – with respect to the direction of the applied field. For films with spontaneous out-of-plane magnetization, one finds that especially for thin layers, magnetic properties are a sensitive function of the exact layer thickness. A simple thin slab model cannot take their structural irregularities into account. The pseudo-bcc structure of the films with spontaneous in-plane magnetization is structurally multi-domain. The diffraction pattern suggests 3×1 domains rotated 90° . The magnetic properties observed in this case can be reproduced by a homogeneous thin slab model that takes into account both magnetocrystalline anisotropy and surface anisotropy with different easy axis directions.

The film properties are found to be highly sensitive to such growth conditions as substrate roughness, temperature and film purity. It is observed that the structural phase transition about 6 AL from a 5×1 to a 2×1

reconstruction does not take place when the films are prepared on a rough or cooled copper substrate. For either growth condition, magnons are measured over the entire thickness range and the 5×1 overstructure is present for thicknesses up to at least 9 AL. For thin films below ~ 6 AL the magnetization is out-of-plane at zero field and tilts in-plane for thicker coverages. The magnetization of the films prepared on the rough substrate is in-plane for a smaller thickness than that for films prepared on the cold substrate. Furthermore, the epitaxial growth can be strongly modified by the presence of slight contamination, for example by O or C which induces a (2×2) surface reconstruction and an in-plane magnetization at zero field from 2 AL on. Finally, a reduction of the uniaxial out-of-plane anisotropy by coating the iron layers with copper is demonstrated. Cu coating is the first step for studying magnetic bilayers, or multilayers.

The above observations establish a direct correlation between magnetism and details of the crystalline structure for Fe-films on Cu(100). Spin polarized band-structure calculations of bulk fcc Fe have indicated the possibility of several different magnetic states depending on small variations of the lattice parameter: non-magnetic, low-spin ferromagnetic, antiferromagnetic, and high-spin ferromagnetic. Clearly the reconstructed films have a more complicated structure than bulk fcc. Different reconstructions correspond to different effective lattice parameters, thus the variety of magnetic properties might be in agreement with the results of spin-polarized band-structure calculations of bulk fcc. The results described in this work emphasize the importance of observing the structure in magnetic studies of thin epitaxial films.

Résumé

Le système Fe/Cu(100), permet en principe de stabiliser le fer sous sa phase cristalline cfc. En pratique, plusieurs structures sont observées lors de la croissance du fer. Celles-ci sont associées à des propriétés magnétiques différentes. La spectroscopie de diffusion de lumière Brillouin et l'effet Kerr magnéto-optique de surface ont servi à analyser ces films épitaxiaux préparés dans un vide très poussé et sous des conditions bien contrôlées. Les nombreuses mesures de ces films jusqu'à une épaisseur de 40 couches atomiques (CA) montrent une séquence inattendue de structures et de magnétisme.

Quatre structures reproductibles se succèdent dans un domaine d'épaisseur de 0-40 CA, lors de la croissance à température ambiante sur un substrat plat et dans des conditions de pureté extrême. Ces structures sont identifiées à l'aide de la diffraction d'électrons lents comme étant les reconstructions 1×1 , 5×1 , 2×1 et la combinaison d'une 3×1 avec des spots extérieurs correspondants à la maille élémentaire de la phase cristalline cc. Ces structures apparaissent dans les intervalles d'épaisseur respectifs suivant: [0-3], [3-6], [6-17], and [17-40]. La dernière reconstruction est dénommée ici "pseudo-cc".

Les films de fer ayant une reconstruction de surface du type 1×1 ou 2×1 , ne montrent ni des ondes de spin, ni l'effet Kerr transverse, ni même lorsque ceux-ci sont refroidis à ~ 160 K. Dans le premier cas, cela peut être expliqué par le fait que la température de Curie est inférieure à 160 K. Dans le second cas, l'absence de magnons pour les films plus épais est surprenante et pourrait être reliée à un moment magnétique faible. Les reconstructions 5×1 et pseudo-cc sont ferromagnétiques à température ambiante, avec d'une part une magnétisation spontanée hors du plan (5×1) et d'autre part dans le plan (pseudo-cc). La dynamique des ondes de spin a été étudiée en fonction de la température et du champ magnétique appliqué.

Des calculs théoriques originaux de modes magnétiques localisés à la surface de films minces ont été réalisés dans l'approximation magnétostatique pour une orientation arbitraire des anisotropies – magnétocristalline et uniaxiale – par rapport au champ appliqué. Pour les films ayant la magnétisation perpendiculaire au plan, la dépendance des magnons par rapport au champ est bien reproduite pour le modèle. Ce dernier néglige fortement les effets de fluctuations d'épaisseur des films minces. La structure pseudo-cc des films magnétisés parallèlement au plan, est une structure à domaines multiples. Les figures de diffraction suggèrent des domaines 3×1 tournés l'un par rapport à l'autre de 90° . Les propriétés magnétiques observées pour cette structure peuvent être reproduites à l'aide d'un modèle en tenant compte de

l'anisotropie de volume et de surface avec des directions arbitraires d'aimantation spontanée. Ces anisotropies sont dues respectivement à la symétrie d'ordre quatre des domaines dans le film et à la symétrie d'ordre deux de la reconstruction (3×1).

Ces films sont très sensibles aux conditions de croissance, telles que la rugosité, la température du substrat et la pureté du film. La transition de phase structurelle aux environs de 6 CA qui transforme la reconstruction de 5×1 vers 2×1 n'a plus lieu si les conditions de croissance sont modifiées, comme c'est le cas lors de l'utilisation d'un substrat refroidi ou rugueux. Les films évaporés dans ces conditions montrent la présence d'ondes de spin pour toutes les épaisseurs, ainsi qu'une seule et unique structure (5×1) jusqu'à ~ 10 CA. Pour les films d'une épaisseur inférieure à 6 CA, la magnétisation est perpendiculaire au plan. Celle-ci est parallèle au plan pour des épaisseurs supérieures à cette valeur de transition. La valeur de transition est légèrement plus élevée pour les films déposés sur le substrat refroidi. La croissance épitaxiale des films est très fortement influencée par la présence d'impuretés telles que le carbone et l'oxygène. Ces éléments ont pour effet d'engendrer une reconstruction de type 2×2 ainsi qu'une magnétisation dans le plan à partir de 2 CA. L'effet d'une couche de protection de cuivre est la réduction de l'anisotropie uniaxiale de surface.

Les observations faites lors de cette étude établissent une liaison directe entre le magnétisme et les détails de la structure du Fe sur Cu(100). Des calculs de structures de bandes d'électrons polarisés pour le fer cfc ont montré la possibilité de différents états magnétiques en fonction de faibles modifications du paramètre cristallin, tels que: ferromagnétisme, antiferromagnétisme, ferromagnétisme à spin faible et non-magnétisme. Il est clair que les films reconstruits ont des structures plus compliquées que le fer cfc pur. Les différentes reconstructions correspondent bien à différents paramètres de réseau, et la variété des propriétés magnétiques peut être comprise à l'aide de ces calculs. Les résultats de ce travail mettent en évidence l'importance d'étudier simultanément la structure et les propriétés magnétiques de films minces.