



N° d'ordre :



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

Université de M'sila
Faculté des Sciences
Département de Physique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de:

MASTER

Domaine : **Sciences de la matière**

Filière : **Physique**

Option : **Sciences des Matériaux**

Par

Khadidja OUALI

THEME

Etude des propriétés structurales et électriques des couches minces de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ (x massif = 0, 0.25, 0.5, 0.75 et 1) élaborées par évaporation sous vide.

Soutenu le : ../06/2014

Devant le jury composé de:

M. IBRER	MCB Univ. de M'sila	Président
B. GHEBOULI	MCA Univ. de Sétif 1	Rapporteur
M.FATMI	MCA Univ. de Sétif 1	Examineur

Promotion Juin 2014

Remerciements

Ce fut pour moi un grand honneur d'avoir la chance de réaliser ce mémoire. Ce mémoire m'a permis de rencontrer plusieurs personnes qui m'ont aidé à accomplir ce travail dans les meilleures conditions et pour lesquels j'exprime mes remerciements les plus sincères.

Mes remerciements vont en premier lieu à Allah le tout Puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a données durant toutes ces longues années.

Je remercie le prof M.IBRER de l'Université de M'sila pour avoir accepté de présider ce jury.

Je tiens d'abord à remercier Monsieur B. GHEBOULI, M.C.A de l'Université Sétif 1, qui m'a fait l'honneur d'encadrer ce mémoire, m'a accompagné dans la préparation de ce travail avec une grande assiduité ainsi qu'avec des qualités humaines remarquables, et dont la présence au quotidien fut un atout majeur pour la réalisation de ce travail, tant d'un point de vue scientifique que moral.

Mes remerciements vont également au Dr. M.FATMI M.C.A de l'Université Sétif 1.

Mes remerciements également à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Enfin, à toute ma famille, petits et grands, pour leur support, leurs présence ainsi que leur soutien, en particulier Ma maman, mon grand amour, pour sa bienveillance et son affection qui m'a accompagnée toute ma vie. Sincèrement il me semble impossible, en quelques lignes, de la remercier comme il conviendrait. , mes frangines et mes frangins, Un merci infini.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale.....	5
----------------------------	---

Chapitre I

I. Techniques d'élaboration et de caractérisation.....	8
--	---

I. 1. Introduction.....	8
-------------------------	---

Partie A Techniques d'élaboration

I. A. Techniques d'élaboration.....	8
-------------------------------------	---

I. A. 1. Pulvérisation cathodique.....	8
--	---

I. A. 1. a. Dispositif de pulvérisation.....	9
--	---

I. A. 2. Technique sol-gel.....	9
---------------------------------	---

I. A. 3. Principe de l'évaporation sous vide.....	10
---	----

I. A. 3. a. Evaporateur MEGA 2000.....	10
--	----

I. A. 3. a. 1. Enceinte de l'évaporateur.....	10
---	----

I. A. 3. a. 2. Groupe de pompage.....	12
---------------------------------------	----

I. A. 3. a. 3. Mesure de la pression.....	12
---	----

I. A. 3. b Mesure des épaisseurs.....	14
---------------------------------------	----

I. A. 3. b. 1. Méthode de pesée.....	14
--------------------------------------	----

I. A. 3. b. 2. Méthode du profilomètre.....	14
---	----

I. A. 3. b. 3. Mesure de l'épaisseur par oscillateur à quartz.....	14
--	----

Partie B Techniques de caractérisation.....	15
---	----

I. B. 1. Diffraction des rayons X.....	15
--	----

I. B. 1. a. Principe de mesure.....	16
-------------------------------------	----

I. B. 1. b. Diffractomètre à rayons X.....	16
--	----

I. B. 2. Microscopie électronique à balayage (M. E. B.).....	17
--	----

I. B. 2. a. Introduction.....	17
-------------------------------	----

I. B. 2. b. Principe.....	17
---------------------------	----

I. C. Propriétés électriques	19
I. C. 1. Introduction	19
I. C. 2. Dispositif de mesure de la résistance carrée	19
I. C. 2. a. Principe de la méthode des quatre pointes	19
I. C. 2. b. Mesure de la résistance carrée	20
References	22

Chapitre II

II. 1. Introduction	24
II. 2. Elaboration des échantillons	24
II. 3. Résultats et discussions	24
II. 3. A. Propriétés structurales	25
II. 3. A. a. Texture	25
II. 3. A. b. Paramètre de maille	27
II. 3. A. c. Contraintes	28
II. 3. A. d. Taille des grains	29
II. 3. A. e. Analyse par microscopie électronique	30
II. 3. B. Propriétés électriques	32
II. 3. B. a. Etude de la résistance carrée en fonction de la concentration	32
II. 3. B. b. Etude de la résistivité électrique en fonction de la concentration	33
II. 3. B. c. Variation de la résistance carrée en fonction de la taille des grains	34
II. 3. B. d. Variation de la résistivité en fonction de la taille des grains	35
II. 4. Conclusion	36
Références	37
Conclusion générale	39

Introduction générale

Introduction générale

Les éléments de transition cristallisent dans des structures hexagonale compacte, cubique à faces centrées et cubique centré à cause de leur symétrie sphérique. Ils forment entre eux des alliages solides très résistants. Ceci, leur vaut un rôle primordial en métallurgie (aciers spéciaux), en aéronautique (alliage au titane) et en physique nucléaire (piles). L'existence de niveaux profonds incomplets dans ces éléments leur confère des propriétés voisines. Ces matériaux se caractérisent par un haut point de fusion, une densité élevée et présentent des propriétés physiques anormales comme le ferromagnétisme et la supraconductivité.

Les matériaux ferromagnétiques (Fe, Co et Ni) en couches minces acquièrent des propriétés structurales et électriques qui sont différentes de celles qu'ils possèdent dans l'état massif. Ce qui donne aux couches minces et aux multicouches une place privilégiée dans la technologie moderne. Les propriétés structurales (la structure cristallographique, l'orientation préférentielle ou texture, le paramètre de maille et la taille des grains) sont d'une importance capitale dans l'étude des couches minces. Ces paramètres renseignent sur le mode de croissance des films et influent sur les propriétés physiques de ces films. Les propriétés électriques (résistance carrée et résistivité) donnent des informations sur le phénomène de transport. Les propriétés structurales et électriques des couches minces de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) dépendent fortement des conditions de préparation et de la méthode d'élaboration. Les composés binaires formés par la combinaison de Fe et Co sont utilisés dans certaines applications comme des têtes magnéto-résistives.

Dans ce mémoire, nous nous sommes focalisés sur l'étude des propriétés structurales et électriques des couches minces de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) élaborées par évaporation sous vide en fonction de la concentration x et en fonction de la taille des grains.

Ces résultats seront discutés et comparés avec ceux reportés dans la littérature et concernant le Fe et le Co déposées par d'autres méthodes et sur divers substrats. Dans cette partie, on s'intéresse à illustrer la structure cristallographique, au calcul des constantes de la maille et la taille des grains, ainsi que la résistivité électrique des couches minces de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1). La résistivité électrique est un phénomène de transport, qui véhicule beaucoup d'informations sur les systèmes étudiés. Rappelons aussi que les propriétés électriques dépendent fortement de certains paramètres parmi lesquels on peut citer l'épaisseur, la concentration, la taille des grains et leurs forme, les effets de surface et la nature et l'orientation du substrat.

Ce mémoire comprend deux chapitres, une introduction générale et la conclusion générale qui permet de faire un bilan sur la qualité et l'intérêt du choix de ces matériaux.

1. Le premier chapitre présente les techniques d'élaboration et de caractérisation de ces films.
2. Le second chapitre est réservé à la présentation et l'interprétation des résultats de l'étude des propriétés structurales et électriques des couches minces de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1).

Chapitre I

Techniques d'élaboration et de

caractérisation des couches minces de

Fe_xCo_{1-x} ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1)

I. Techniques d'élaboration et de caractérisation

Diverses méthodes sont utilisées dans la synthèse des couches minces, où on cite la pulvérisation cathodique dc et rf, la technique sol-gel (appellation qui signifie solution-gélification) et l'évaporation sous vide. Dans ce chapitre, nous allons décrire très brièvement les techniques expérimentales qui ont été utilisées dans ce travail pour élaborer et caractériser les couches minces de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1). Nous décrirons l'évaporateur et les différents accessoires, la diffraction des Rayons X, le Microscope Electronique à Balayage (Scanning Electron Microscopy ou SEM) et la méthode des quatre pointes.

I. 1. Introduction

Divers paramètres influent sur le comportement des propriétés physiques des matériaux, en particulier la structure cristallographique, l'épaisseur des couches minces, la nature des substrats, la rugosité de la surface et la teneur en concentration pour les alliages. Les techniques de dépôt ont aussi un effet considérable sur les propriétés physiques et chimiques des matériaux. On décrit dans ce chapitre les techniques d'élaboration des couches minces. On cite la pulvérisation cathodique dc, la déposition par voie chimique sol-gel et l'évaporation sous vide. Les couches minces $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) ont été déposées sur un substrat constitué de silicium monocristallin d'orientation [111].

I. A. Techniques d'élaboration

On élabore les couches minces par pulvérisation, par la technique solution gélification et par évaporation sous vide.

I. A. 1. Pulvérisation cathodique

La pulvérisation cathodique dc (sputtering) est une méthode de dépôt des couches minces. Le dépôt du matériau se fera à partir de la condensation d'une vapeur métallique issue d'une source cible sur un substrat. Le principe consiste en l'application d'une différence de potentiel entre la cible et les parois de l'enceinte où on introduit un gaz comme de l'argon qui permet la création du plasma. Sous l'effet du champ électrique, les atomes d'argon ionisés (+) du plasma entrent en collision avec la cible en provoquant l'extraction des atomes de la cible qui se pulvérisent (condensent) sur le substrat. L'importance que présente la pulvérisation sur les autres techniques de dépôt est que le film montre une composition uniforme et

pratiquement identique à celle de la cible. Le dépôt par pulvérisation présente un autre avantage où moins d'impuretés peuvent atteindre la surface du substrat. L'adhérence des films sur le substrat dépend des forces d'interactions entre le substrat et le film. La géométrie de la cible à pulvérisée est un disque circulaire d'environ 10 cm de diamètre et une épaisseur de 0.5 cm. La cible est reliée à la cathode, tandis que le porte substrat est connecté à l'anode.

I. A. 1. a. Dispositif de pulvérisation

Le système d'élaboration des couches minces par pulvérisation cathodique comprend une enceinte équipée pour la pulvérisation qui est une chambre cylindrique en pyrex de 31 cm de diamètre et de 36 cm de hauteur [1]. On réalise à l'intérieur de l'enceinte un vide poussé à l'aide d'un groupe de pompage primaire et secondaire. Un système d'excitation constitué d'un générateur haute tension capable de délivrer un courant minimal de 200 mA et une tension maximale de 3000 V. Le vide primaire et le vide secondaire sont contrôlés respectivement par une jauge Pirani et une jauge Penning.

I. A. 2. Technique sol-gel

La technique sol-gel (appellation qui signifie solution-gélification) est un procédé d'élaboration de matériaux à partir de précurseurs en solution. Cet procédé qui s'effectue dans des conditions de chimie douce à des températures nettement plus basses que celles des voies classiques de synthèse. Ce procédé peut être utilisé dans différents domaines tels que l'encapsulation, l'élaboration de matériaux hyper-poreux et dans la réalisation des dépôts en couches minces. La première polymérisation sol-gel a été réalisée par Ebelmen en 1845. La firme allemande Schott Glaswerke utilise pour la première fois le procédé de polymérisation sol-gel dans la fabrication de récipients en verre puis de rétroviseurs. Le procédé sol-gel était né mais il fallut attendre près d'un siècle pour que cette idée soit appliquée dans l'industrie verrière. Le premier brevet sol-gel a été déposé en 1939. Le principe du procédé sol-gel repose sur l'utilisation d'une succession de réactions d'hydrolyse-condensation à température modérée (proche de l'ambiante) pour préparer des couches.

Le système est initialement à l'état liquide avant que l'état gel soit atteint. Ce système est constitué d'un mélange d'oligomères colloïdaux et de petites macromolécules. Cette dispersion stable de particules colloïdales au sein d'un liquide est appelée sol. La taille des particules solides, plus denses que le liquide, doit être suffisamment petite pour que les forces responsables de la dispersion ne soient pas surpassées par la gravitation. Le gel est constitué

d'un réseau d'oxyde gonflé par le solvant, avec des liaisons chimiques qui assurent la cohésion mécanique du matériau en lui donnant un caractère rigide, non déformable. Un gel peut présenter un caractère élastique, mais pas de viscosité macroscopique. Le gel correspond à la formation d'un réseau tridimensionnel de liaisons de Van der Waals. Le temps nécessaire au sol pour se transformer en gel est appelé temps de gel (ou point de gel).

I. A. 3. Principe de l'évaporation sous vide

L'évaporation sous vide est une technique de dépôt des couches minces. Le principe consiste à chauffer le matériau à évaporer dans un creuset par effet Joule ou par bombardement par un canon à électrons. La condensation de la vapeur sur un substrat froid conduit à la formation d'une couche mince solide. L'évaporation du matériau se fera à l'intérieur de l'enceinte de l'évaporateur.

I. A. 3. a. Evaporateur MEGA 2000

L'évaporateur est un outil pour comprendre les techniques du vide et du dépôt des couches minces. Le schéma de l'évaporateur MEGA 2000 est montré sur la [figure I. 1](#). Ce dispositif comprend les différents accessoires suivants:

I. A. 3. a. 1. Enceinte de l'évaporateur

L'enceinte de l'évaporateur MEGA 2000 est constituée d'une chambre cylindrique en acier, de 29 cm de diamètre interne, de 31 cm de diamètre externe et de 36 cm de hauteur. On crée à l'intérieure de l'enceinte un vide d'environ $3 \cdot 10^{-7}$ mbar. Cette enceinte comprend les accessoires suivants:

- * Un porte substrat en acier est monté sur une tige en acier, où on fixe les substrats sur sa face inférieure. On le monte aussi à proximité du quartz pour que l'indication de l'épaisseur soit correcte.
- * Trois électrodes en cuivre sont fixées au bas de l'enceinte. On fixe le creuset sur deux de ces électrodes. L'existence de trois électrodes dans l'enceinte nous permet d'élaborer un système de bicouches sans casser le vide.
- * Un cache mobile constitué d'une tôle métallique est placé entre le porte substrat et le creuset. Ce cache est utilisé pour masquer le substrat lors du décapage ionique et la préévaporation.

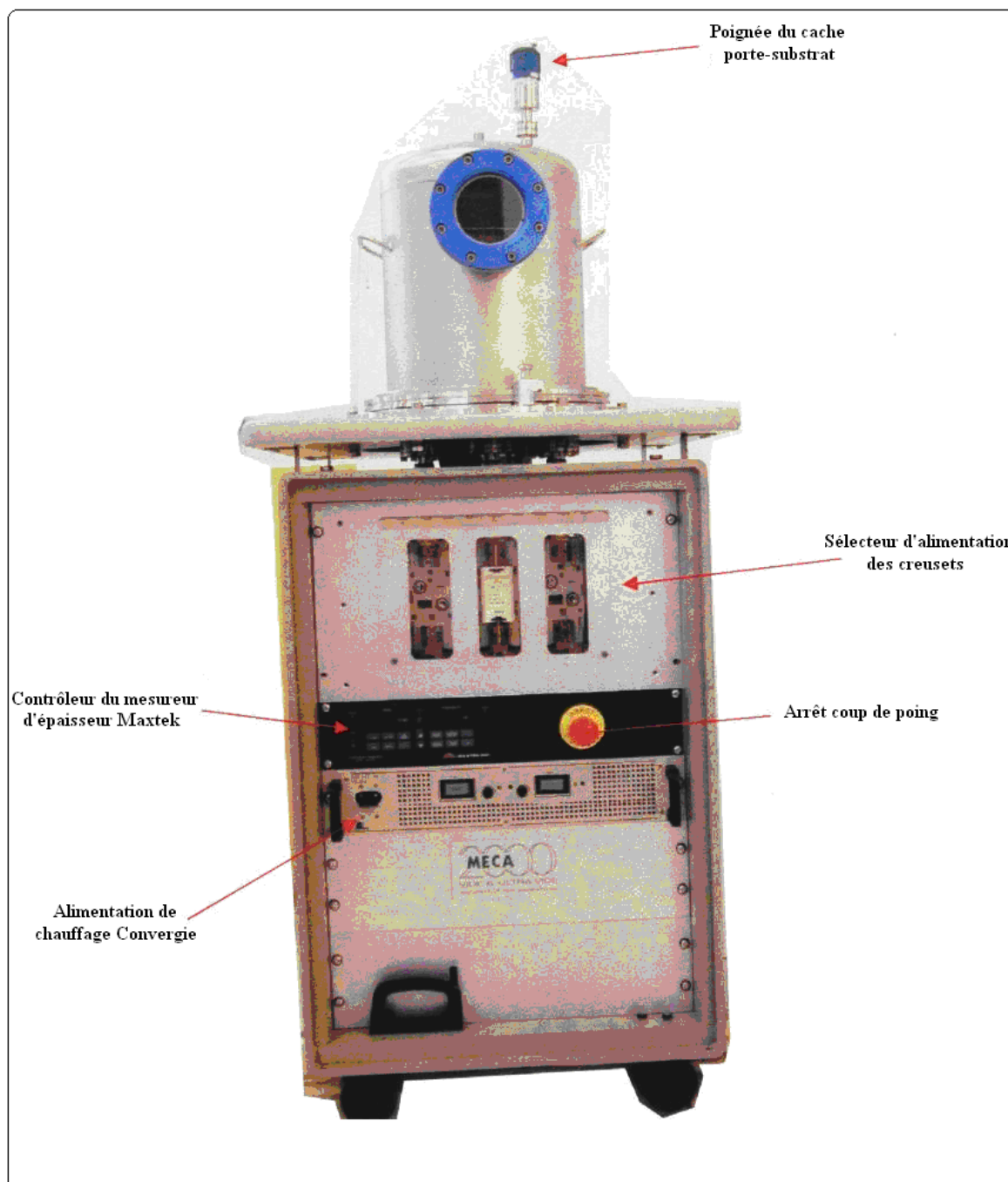


Figure I. 1. Le bati d'évaporation.

I. A. 3. a. 2. Groupe de pompage

On raccorde le groupe de pompage à la partie inférieure de l'enceinte. Ce système qui crée un vide poussé dans l'enceinte est constitué de:

- * Une pompe primaire ALCATEL série PASCAL 2015 SD.
- * Une pompe turbo moléculaire ALCATEL ATP 150 qui peut assurer dans l'enceinte d'évaporation un vide initial d'environ $3 \cdot 10^{-7}$ mbar. Ce vide s'améliore en fonction du nombre successive d'évaporations réalisées.

I. A. 3. a. 3. Mesure de la pression

La mesure de la pression à l'intérieure de l'enceinte se fait à l'aide d'un manomètre constitué des éléments suivants:

- * Une jauge Pirani ACT 600 T qui sert à indiquer la pression primaire (inférieure à 10^{-4} mbar) et secondaire (pression d'évaporation).
- * Un contrôleur ACS 1000 pour indiquer la vitesse de rotation de la pompe turbo moléculaire. Cette vitesse est maintenue constante durant toutes les évaporations. Pour les couche minces, on maintient cette vitesse dans la gamme 25076 - 25083 tr/mn pour assurer le bon déroulement de l'évaporation. Cette évaporation aura lieu avec succès sous certaines conditions dont on cite le vide.

La [figure I. 2](#) illustre l'évolution du vide dans l'enceinte d'évaporation en fonction du courant qui traverse le creuset lors de la préévaporation du Fe, Co ou leur alliage. On note que durant la préévaporation, le vide se dégrade avec l'augmentation du courant. On augmente le courant avec un pas de 10-20 A et on attend un temps jusqu'au dégazage de l'enceinte. On remarque aussi que l'évaporation débute quand un courant d'environ 225 A traverse le creuset. La réussite de l'évaporation nécessite que le vide qui correspond à ce courant ne doit pas franchir approximativement la valeur 5×10^{-6} mbar.

On peut aussi étudier l'effet du vide sur la tension aux bornes du creuset. Cette tension augmente avec l'augmentation du courant jusqu'au début de l'évaporation qui correspond à une valeur de 16 V. Si on dépasse cette tension, la température interne de l'enceinte augmente considérablement et on risque de détériorer l'évaporateur. On montre sur la [figure I. 3](#) l'évolution de la tension entre les bornes du creuset en fonction du courant.

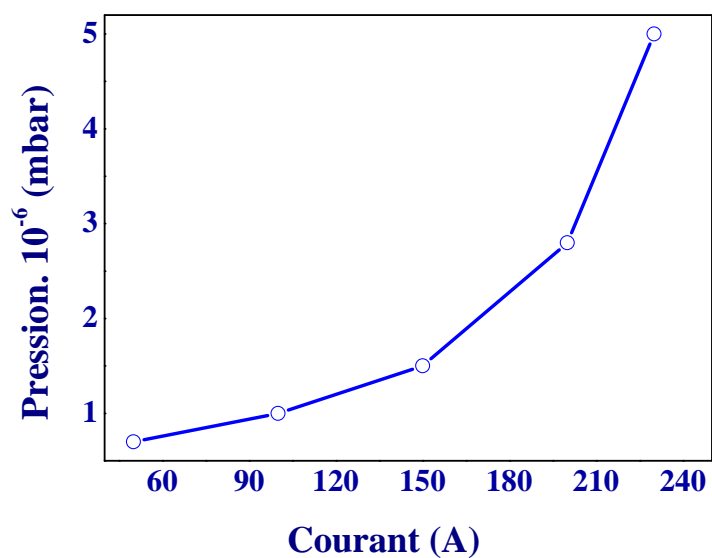


Figure I. 2. Evolution de la pression dans l'enceinte en fonction du courant durant la préévaporation.

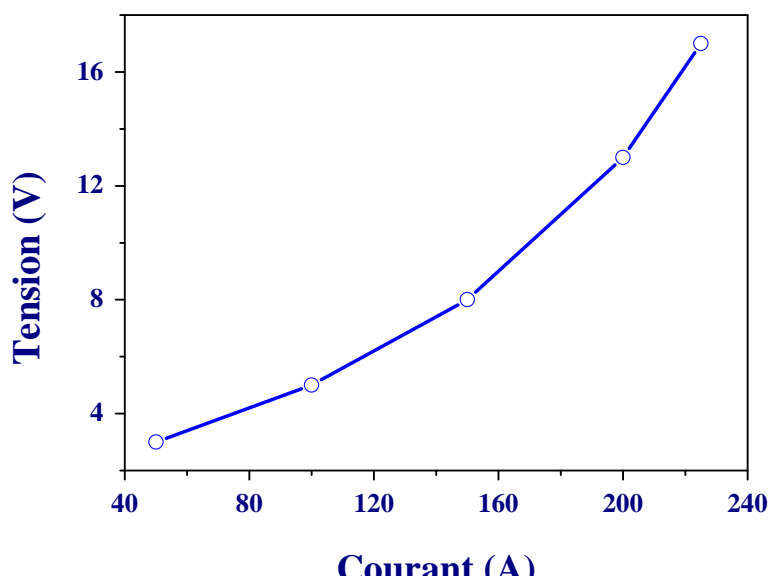


Figure I. 3. Evolution de la tension aux bornes du creuset en fonction du courant qui le traverse durant la préévaporation.

I. A. 3. b Mesure des épaisseurs

Diverses techniques sont utilisées dans la mesure des épaisseurs des couches minces, parmi lesquelles on cite la méthode de pesée, la méthode du profilomètre et celle de l'oscillateur à quartz.

I. A. 3. b. 1. Méthode de pesée

Cette méthode consiste à peser le substrat avant et après le dépôt. L'écart entre ces deux valeurs donne la quantité de matière déposée. Cette quantité de matière est reliée au volume du matériau. La connaissance de la surface du substrat utilisée permet d'estimer l'épaisseur de la couche.

I. A. 3. b. 2. Méthode du profilomètre

La mesure de l'épaisseur d'une couche mince l'aide d'un profilomètre nécessite la réalisation d'un palier sur l'échantillon. Ceci peut se faire en masquant une partie du substrat durant le dépôt. La descente du profilomètre à travers le palier donne l'épaisseur de la couche mince.

I. A. 3. b. 3. Mesure de l'épaisseur par oscillateur à quartz

Cette méthode de mesure se fait insitu par un oscillateur à quartz. L'oscillateur à quartz sert à contrôler l'épaisseur de la couche durant l'évaporation. Ce système a été utilisé pour la première fois par Sauerbrey en Allemagne puis par M.P. Lostis en France. La mesure des épaisseurs des films étudiés dans ce travail a été mesurée in situ à l'aide d'un moniteur à quartz piézoélectrique durant le dépôt. Le modèle de ce moniteur est du type TM-350. Il est constitué d'un monocristal de quartz sous forme d'un disque plan de 10 mm de diamètre et d'environ 1 mm d'épaisseur. Il est soumis à un champ électrique et inséré dans un circuit oscillant. La mesure directe de la fréquence propre d'oscillation est inversement proportionnelle à la quantité de matière déposée sur le quartz [2].

$$f^2 = \frac{c}{4\pi^2 m}$$

f , m et c sont respectivement la fréquence propre de l'oscillateur, la masse du quartz et la force de rappel exercée sur le quartz.

Lors du dépôt de la couche mince, la masse augmente de Δm et la fréquence du quartz varie de Δf tel que:

$$2 \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta m}{m}$$

Pour une force de rappel constante, la variation relative de la fréquence propre du quartz est une fonction linéaire de la masse déposée.

$$f = f_0 \left(1 - \frac{\Delta m}{m} \right)$$

f_0 est la fréquence propre du quartz sans dépôt et f la fréquence du quartz chargé d'une masse Δm .

Partie B Techniques de caractérisation

La réalisation de ce travail a nécessité une caractérisation structurale de nos échantillons par diffraction des rayons X et par un microscope électronique à balayage. La caractérisation électrique pour la mesure de la résistance carrée a été réalisée par la méthode des quatre pointes.

I. B. 1. Diffraction des rayons X

La diffraction des rayons X est une technique d'étude macroscopique pour la caractérisation structurale des matériaux, notamment les couches minces. Cette technique non destructive et très performante permet l'obtention des spectres qui donnent l'intensité de la lumière diffractée en fonction de l'angle de diffraction. Cette technique permet de calculer le paramètre du réseau cristallin et la taille des grains en se servant de certaines formules théoriques. La découverte des rayons X fut faite par Röntgen mais c'est Laue qui parvient à produire une interface de rayons X avec un cristal et qui rendit possible la mesure des distances entre particules élémentaires constituant le réseau cristallin. Tous les atomes recevant l'onde incidente deviennent des sources de rayonnement diffusées. Si les différentes ondes sont quelconques, on a une onde résultante de faible intensité, par contre si toutes les ondes émises dans une direction déterminée sont en phase, l'intensité peut alors devenir très importante [3].

I. B. 1. a. Principe de mesure

Un matériau cristallin est caractérisé par un ordre à longue période associé à un réseau tridimensionnel et à l'existence de rangées de plans réticulaires. Un faisceau de rayons X monochromatique peut être diffracté de manière constructive par des plans réticulaires. La condition d'interférence constructive est exprimée par la loi de Bragg qui s'écrit [4]:

$$2d_{hkl} \sin \theta = n\lambda$$

d_{hkl} représente la distance entre les plans interréticulaires (hkl) du réseau cristallin, θ est l'angle d'incidence des rayons X par rapport à la surface de l'échantillon, λ est la longueur d'onde du rayonnement et n est un entier qui représente l'ordre de diffraction. Cette condition dépend de la distance entre les plans réticulaires du réseau cristallin. Ainsi, chaque famille de plans de distance interréticulaire d_{hkl} est à l'origine d'un faisceau diffracté sous un angle d'incidence θ unique.

I. B. 1. b. Diffractomètre à rayons X

Les propriétés structurales des couches minces de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}/\text{Si}(111)$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) ont été déduites à partir des spectres de diffraction des rayons X aux grands angles. Ces échantillons élaborés au laboratoire des couches minces de l'Université de Sétif 1 ont fait l'objet d'une caractérisation par diffraction des rayons X. L'ensemble des échantillons ont été caractérisés par un diffractomètre utilisant un rayonnement X monochromatique produit par un générateur à anticathode en cuivre. Un filtre ou un monochromateur est utilisé pour sélectionner la raie K_α du Cu de longueur d'onde $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$ dans la géométrie de diffraction $\theta/2\theta$ c'est-à-dire, que l'échantillon tourne d'un angle θ tandis que le détecteur tourne d'un angle 2θ . On montre le schéma de principe d'un diffractomètre à rayons X sur la [figure I. 4](#). Cette technique non destructive et très performante nous a permis de déterminer la texture, le paramètre de maille et la taille des grains de nos échantillons. Ces résultats seront discutés dans le chapitre résultats et discussions.

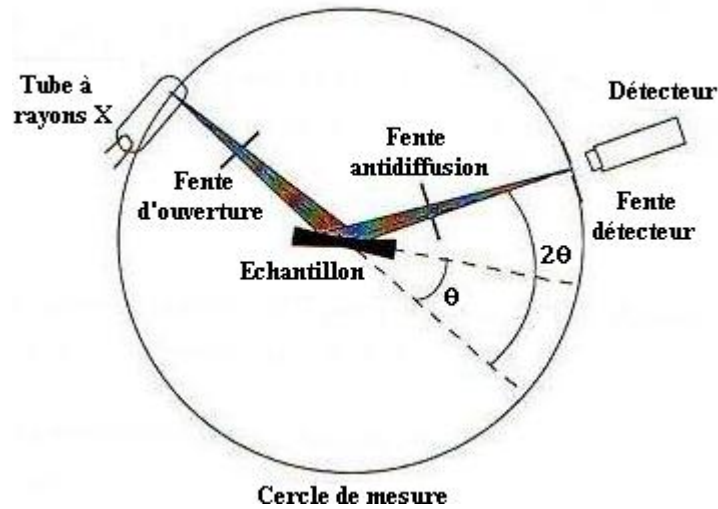


Figure I. 4. Le schéma de principe d'un diffractomètre à rayons X.

I. B. 2. Microscopie électronique à balayage (M. E. B.)

I. B. 2. a. Introduction

La microscopie électronique à balayage MEB (Scanning Electron Microscopy SEM) est une technique d'étude de la morphologie et la composition de la surface des couches minces. Cette technique ne nécessite pas une préparation de l'échantillon lors de la caractérisation. Cependant, l'échantillon doit être conducteur car les électrons ont une charge qui doit s'écouler à la terre. Pour les couches minces isolantes, la métallisation est nécessaire. La caractérisation de nos échantillons a été faite au laboratoire de l'Université de Sétif 1.

I. B. 2. b. Principe

La microscopie électronique à balayage consiste à utiliser un faisceau d'électrons très fin accéléré par une anticathode qui balaye rectangulairement point par point la surface de l'échantillon observée à l'aide de deux bobines (Lentilles magnétiques). L'image de chaque point balayé est formée dans un tube cathodique à partir des électrons réémis par la matière. L'interaction du faisceau avec l'objet crée différentes émissions de particules (électrons secondaires, électrons rétrodiffusés, des électrons Auger, les rayons X caractéristiques des éléments présents dans l'échantillon). Un détecteur approprié est nécessaire à l'analyse de ces particules. L'image est réalisée par:

- Des électrons secondaires libérés par les atomes de l'échantillon. Cette émission de faible énergie renseigne sur la topographie de la surface de l'échantillon.
- Des électrons rétrodiffusés appartenant au faisceau incident et ayant subi des chocs avec les atomes de l'échantillon. Cette émission d'énergie proche permet d'obtenir un contraste de nature chimique du matériau analysé. Le schéma de principe du microscope électronique à balayage est montré sur la [figure I. 5](#) [5].

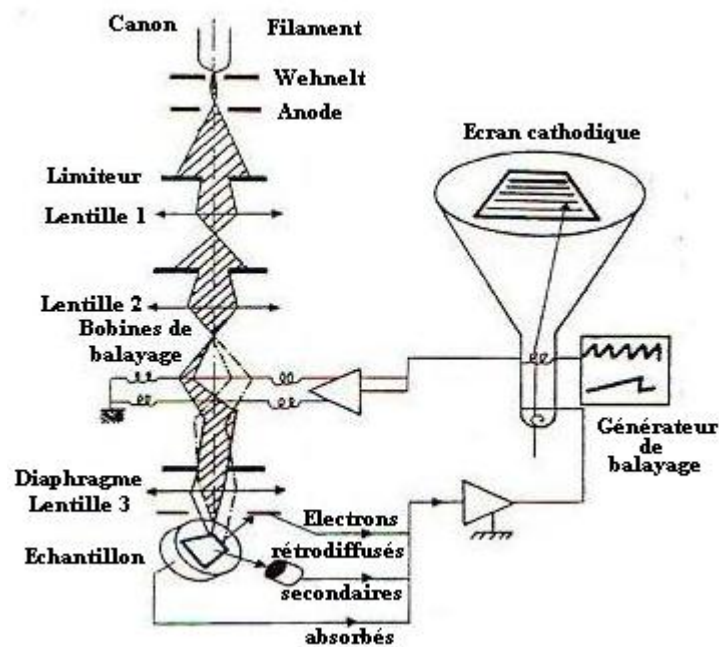


Figure I. 5. Le schéma de principe du microscope électronique à balayage.

I. C. Propriétés électriques

I. C. 1. Introduction

Les matériaux ferromagnétiques en couches minces acquièrent des propriétés électriques qui sont différentes de celles qu'ils possèdent dans l'état massif. Ce qui donne aux couches minces et aux multicouches une place privilégiée dans la technologie moderne. Ces systèmes sont utilisés dans certaines applications comme des têtes magnétorésistives. Dans notre étude, on s'intéresse à l'étude de la résistance carrée et la résistivité électrique des couches minces de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}/\text{Si}(111)$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1). La résistivité électrique, étant un phénomène de transport, elle véhicule beaucoup d'informations sur l'état structural et électrique du système étudié. Rappelons aussi que les propriétés électriques dépendent fortement des méthodes et des conditions de préparation des couches minces et de certains paramètres parmi lesquels on peut citer la concentration x , l'épaisseur et la taille des grains. Dans ce chapitre nous avons étudié l'effet de la concentration x et la taille des grains sur la résistance carrée R_{\square} et la résistivité électrique ρ des échantillons de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}/\text{Si}(111)$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1).

I. C. 2. Dispositif de mesure de la résistance carrée

Les résistances carrées de nos échantillons ont été mesurées par la méthode des quatre pointes décrite dans la section suivante. On a utilisé le dispositif des quatre pointes du laboratoire LESIMS de l'Université de Sétif 1 pour la mesure de la résistance carrée de nos échantillons.

I. C. 2. a. Principe de la méthode des quatre pointes

Dans la méthode des quatre pointes, on applique contre le film quatre pointes conductrices fines, alignées et équidistantes, comme le montre la [figure I. 6](#). Les mesures des résistances carrées de nos échantillons ont été réalisées par le dispositif du laboratoire LESIMS. La mesure de la résistance carrée se fait avec une erreur de $10 \mu\Omega$ pour un échantillon de section 1 cm^2 . Le dispositif de mesure est constitué de quatre pointes alignées et équidistantes. On utilise un multimètre digital pour la mesure du courant, de la tension et la résistance carrée. Les mesures données par le multimètre sont constantes et sans fluctuations.

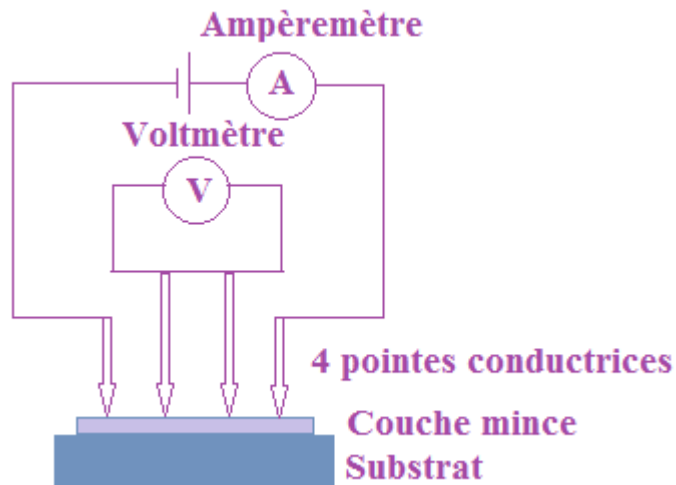


Figure I. 6. Le schéma de principe du dispositif des quatre pointes.

I. C. 2. b. Mesure de la résistance carrée

Dans la méthode des quatre pointes, on injecte un courant continu à travers la surface extérieure du film par les deux électrodes extrêmes, comme l'indique la [figure I. 6](#). On mesure la différence de potentiel entre les deux bornes internes. La résistance carrée est donnée généralement par l'expression [\[6\]](#):

$$R_{\square} = C_f \frac{V}{I}$$

avec :

R_{\square} : la résistance carrée en Ω .

C_f : un facteur de forme, il traduit la dispersion des lignes de courant entre les pointes du dispositif. Il dépend de la géométrie et des dimensions du matériau. Lorsque l'épaisseur t du film est négligeable devant la moitié de la distance b entre les pointes $t \ll b/2$, $C_f = 4.53$ [\[7\]](#), ce qui est notre cas.

V : la tension relevée en volt.

I : le courant qui circule entre les électrodes en Ampère.

En mesurant la résistance carrée R_{\square} et connaissant l'épaisseur t du film, la résistivité de ce dernier est donnée par [8]:

$$\rho_f = R_{\square} t$$

où ρ_f est la résistivité électrique du film exprimée en $\Omega \cdot \text{cm}$.

D'une manière générale, la résistivité électrique des métaux est attribuée à l'interaction des électrons de conduction avec leur environnement.

References

- [1] S. Bouras, Thèse de Magister, U.S.T.H.B. (1992).
- [2] J.J. Bessot, Enseignement des techniques du vide. Tome 1.
- [3] C. Kittel, Physique de l'état solide, 5^{ème} edition Dunod, (1983).
- [4] J.P. Eberhart, Analyse Structurale et Chimique des Matériaux, Bordas, Paris 1989.
- [5] L. Kerkache, Thèse de Doctorat, U.F.A.S. (2006).
- [6] A. Vapaille et R. Castagné, Dispositifs et circuits intégrés semiconducteurs, Bordas, Paris (1990).
- [7] Daniel David et Renault Caplain, Méthodes usuelles de caractérisation des surfaces, Edition Eyrolles (1988).
- [8] B. Ghebouli, A. Layadi et L. Kerkache, Eur. Phys. J. AP. 3 (1998) 35-39.

Chapitre II

*Résultats et discussions des propriétés
structurales et électriques des couches minces
de Fe_xCo_{1-x} ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1)*

II. 1. Introduction

Les propriétés structurales (structure cristallographique, orientation préférentielle ou texture, paramètre de maille, taille des grains...) sont d'une importance capitale dans l'étude des couches minces. Ces propriétés donnent des informations sur le mode de croissance des films et influent sur les autres propriétés physiques (électriques et magnétiques par exemple). Dans cette partie, nous avons étudié l'effet de la fraction de Fe sur les propriétés structurales et électriques des couches minces de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) préparées par évaporation sous vide. On présente aussi les résultats obtenus sur ces propriétés. Ces résultats seront discutés et comparés avec ceux reportés dans la littérature et concernant Fe et Co déposés par d'autres méthodes et sur divers substrats.

II. 2. Elaboration des échantillons

Une série de cinq échantillons de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) a été déposées sur un substrat monocristallin Si(111). Les échantillons ont été élaborés par évaporation sous vide dans les conditions suivantes:

Un creuset en tungstène contenant une poudre de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ de pureté 99.99% est placé à une distance de 20 cm du porte substrat. La poudre de cet alliage a été pesée par une balance électronique digitale. Après évacuation de l'enceinte d'évaporation jusqu'à $3,8 \cdot 10^{-7}$ mbar à l'aide d'une pompe turbo moléculaire (Alcatel), le $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ est évaporé par effet Joule sous une tension de 18 kV et un courant de 225 A. L'évaporation de ce matériau se fera avec une vitesse moyenne d'environ 1 nm/mn. L'évaporateur décrit dans le chapitre I est équipé d'une microbalance à quartz qui permet l'estimation de la quantité de matière déposée. La tête de la balance est constituée d'un oscillateur en quartz dont la fréquence de vibration est une fonction de la masse de la matière déposée à la surface. La microbalance est disposée à la même distance de la source que l'échantillon. L'épaisseur affichée est calculée à partir de la fréquence de vibration et de la densité du matériau massif. Les cinq échantillons de la même série diffèrent par la concentration x de Fe; et l'épaisseur de nos échantillons est 200 Å.

II. 3. Résultats et discussions

On présente et on discute dans ce chapitre les résultats trouvés dans l'étude des propriétés structurales et électriques. Les propriétés structurales étudiées sont déduites des

spectres de diffraction des rayons X. Alors que les propriétés électriques sont mis en évidence à partir de la mesure de la résistance carrée.

II. 3. A. Propriétés structurales

Les propriétés structurales étudiées dans cette partie sont la texture ou orientation préférentielle, le paramètre de maille, la taille des grains et les contraintes.

II. 3. A. a. Texture

Dans certains matériaux polycristallins, quelques orientations prédominent. Cette orientation préférentielle ou texture est due aux caractéristiques géométriques des cristaux. La connaissance de la texture est importante, car elle influe sur les propriétés physiques du matériau. On observe sur la Fig. II. 1 un pic situé à $2\theta = 28.39$ degrés pour tous les échantillons. Ce pic est identifié comme le (111) du silicium monocristallin. Pour illustrer les pics présents dans les échantillons $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1), on visualise les spectres dans la gamme $2\theta = 40-90$ degrés. La Fig. II. 2 montre les spectres de diffraction des rayons X des films de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) d'épaisseur 20 nm déposés sur un substrat Si(111).

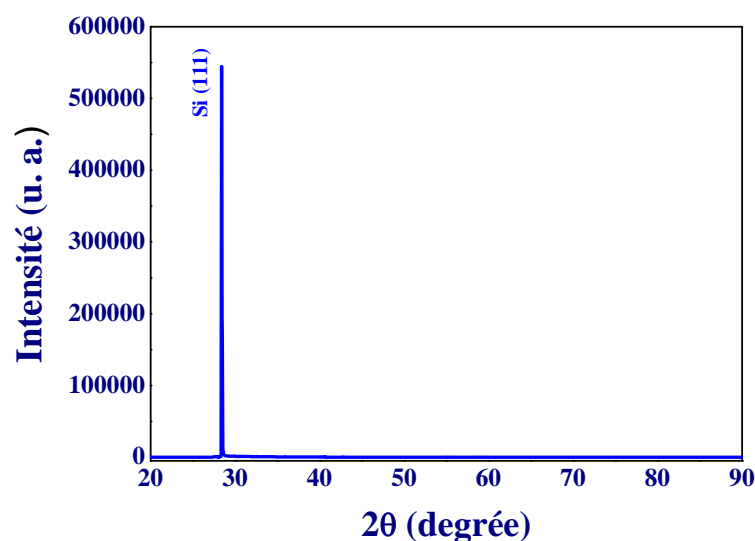


Fig. II. 1. Le spectre de diffraction des rayons X du substrat Si(111).

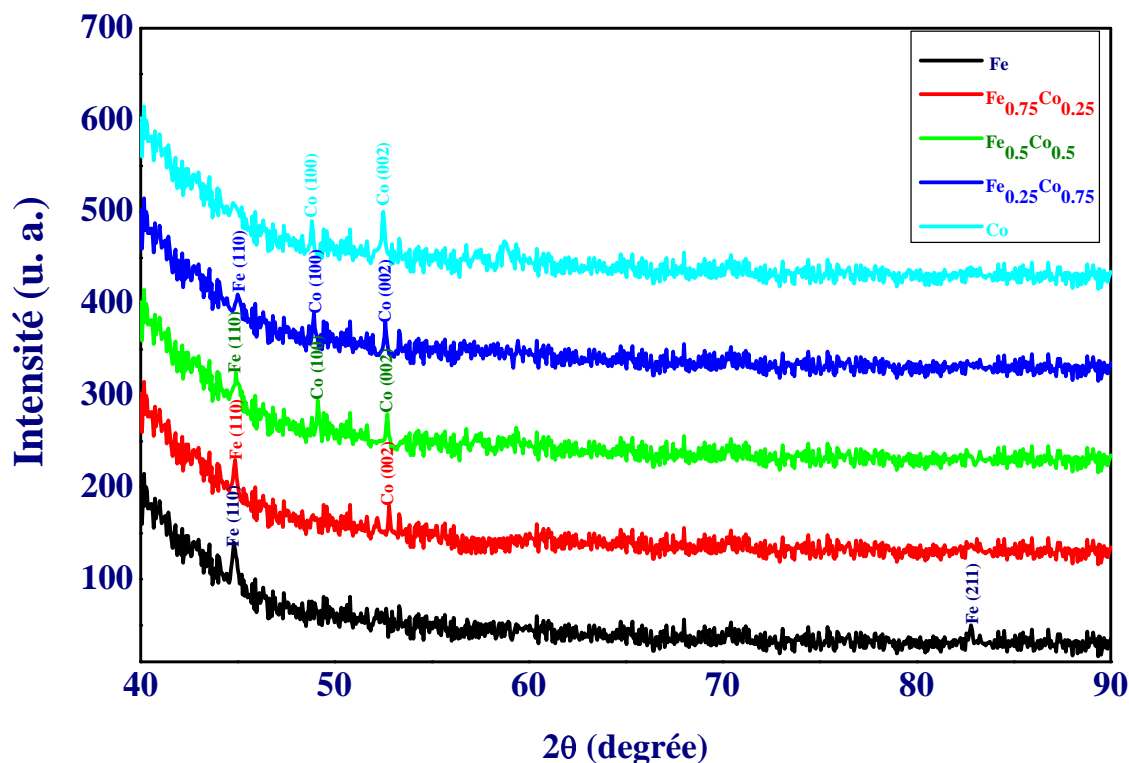


Fig. II. 2. Les spectres de diffraction des rayons X des films de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) d'épaisseur 200 \AA déposés sur un substrat $\text{Si}(111)$.

Pour les couches minces de Fe, on observe deux pics d'orientations (110) et (211) situés à $2\theta = 44.80$ degrés et $2\theta = 82,8$ degrés. Les films de Co présentent deux pics d'orientations (100) et (002) localisés à $2\theta = 48.83$ degrés et $2\theta = 52.50$ degrés. Fe cristallise dans la structure cubique à faces centrées, tandis que Co prend la structure hexagonale compacte. $\text{Fe}_{0.75}\text{Co}_{0.25}$ montre un pic de Fe d'orientation (110) et un autre de Co d'orientation (002). $\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}$ et $\text{Fe}_{0.25}\text{Co}_{0.75}$ présentent un pic de Fe d'orientation (110) et deux pics de Co l'un ayant une orientation (100) et l'autre identifié comme (002).

On cite à titre de comparaison avec nos résultats que les films de Fe d'épaisseur 100 nm en croissance sur des substrats en Saphir montrent une structure cubique centrée (bcc) avec une orientation (110) [1]. Les couches minces monocristallines de Fe déposées sur des surfaces $W(hkl)$, le mode de croissance dépend fortement de l'orientation du substrat [2]. Les films de Fe épitaxiaux par jet moléculaire (MBE) en croissance sur des substrats $\text{InAs}(100)$ montrent une orientation (001) [3].

II. 3. A. b. Paramètre de maille

Le paramètre de maille est très utile à connaître car il peut nous renseigner sur les contraintes (stress) éventuelles qui s'exercent sur le film. Un paramètre plus grand (plus petit) que la valeur naturelle du massif indique que le film est soumis à une dilatation (compression). Ces situations influent sur les propriétés physiques du film. Les paramètres de la maille sont calculés à partir des spectres de diffraction des rayons X en utilisant la relation reliant la distance interréticulaire d_{hkl} aux indices de Miller (h, k, l) pour un système cubique

$$\text{et hexagonal } \frac{a^2}{h^2 + k^2 + l^2} = \frac{\lambda^2}{4(\sin \theta)^2} \text{ et } \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3} \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}}} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad [4, 5].$$

Les constantes de la maille a et c des cristallites hexagonaux compacts de Co sont représentées en fonction de la concentration de Fe sur la Fig. II. 3. On remarque une légère décroissance monotone de a et c avec l'augmentation de la composition. Notons que les valeurs trouvées pour les constantes de la maille de Co dans l'ensemble de nos échantillons sont plus petites que celles de Co massifs citées dans la littérature, $a_{\text{Co}} = 2.5020 \text{ \AA}$ $c_{\text{Co}} = 4.0611 \text{ \AA}$ [6]. Ceci indique l'existence de contraintes de compression ($\epsilon_{002} < 0$) dans les grains d'orientation (002).

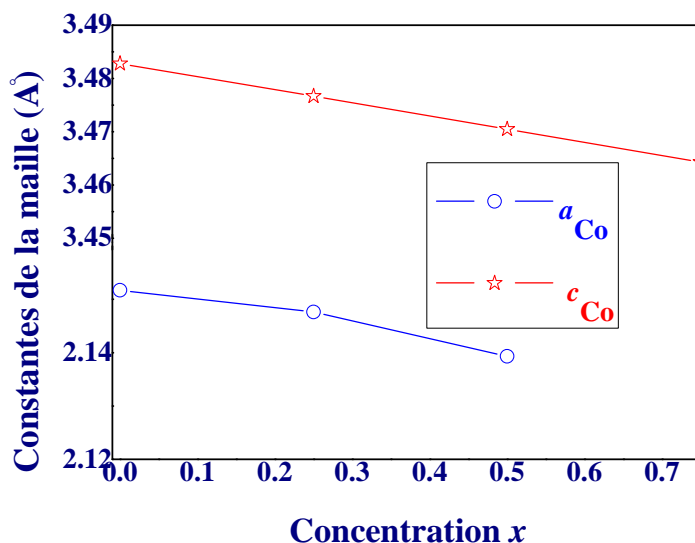


Fig. II. 3. Evolution des constantes de la maille a et c des cristallites hexagonaux des films $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5$ et 0.75) d'épaisseur 200 \AA déposés sur un substrat Si(111).

Tandis que le paramètre de maille des cristallites de structure cubique augmente d'une façon monotone avec l'augmentation de la concentration comme le montre la Fig. II. 4. Notons que les valeurs trouvées pour le paramètre de maille de Fe dans l'ensemble de nos échantillons sont plus petites que celles de Fe massifs citées dans la littérature $a_{Fe} = 2,861 \text{ \AA}$ [6]. Ceci indique l'existence de contraintes de compression ($\varepsilon_{110} < 0$) dans les grains d'orientation (110).

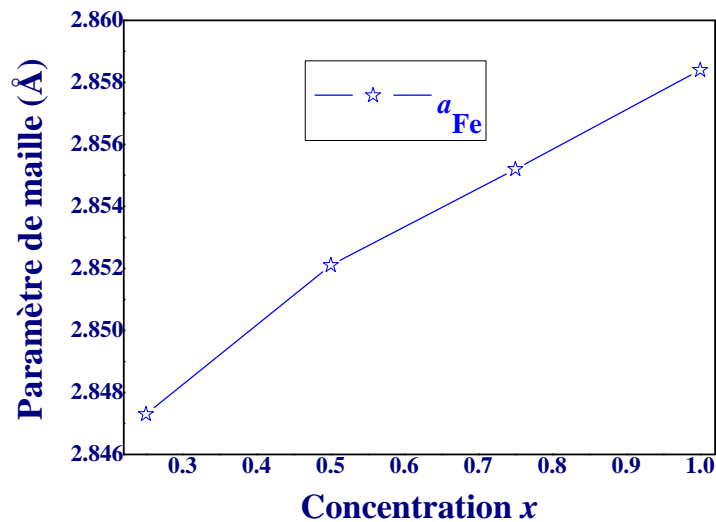


Fig. II. 4. Le paramètre de la maille des cristallites cubiques des couches minces Fe_xCo_{1-x} ($x = 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) en fonction de la concentration.

II. 3. A. c. Contraintes

Les contraintes de compression dans la direction (110) et (002) ($\varepsilon_{110} < 0$ et $\varepsilon_{002} < 0$) sont présentes dans les grains d'orientation (110) et (002). Ces contraintes sont formées durant la croissance du film lors de l'évaporation. L'évolution de ces contraintes en fonction de la concentration est montrée sur la Fig. II. 5. On remarque que les atomes des cristallites de Fe sont soumis à de faibles contraintes relativement à ceux correspondants aux cristallites hexagonaux, et spécialement pour des concentrations élevées. La contrainte observée sur les cristallites de Co est $\varepsilon_a = 0.14$ $\varepsilon_c = 0.1423$.

Nous déterminons la Contraintes en utilisant la relation :

$$\varepsilon_{Fe} = \frac{a_{Feth} - a_{Feexp}}{a_{Feth}}$$

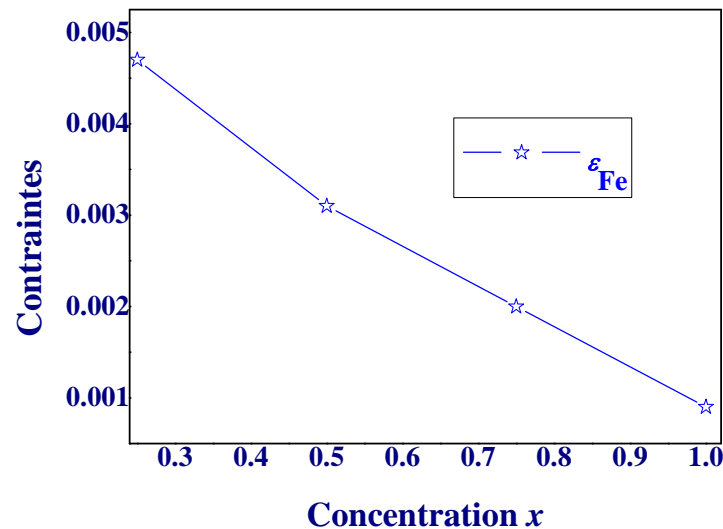


Fig. II. 5. Evolution des contraintes sur les cristallites d'orientation (110) en fonction de la concentration.

II. 3. A. d. Taille des grains

La connaissance de la taille moyenne des grains d'un échantillon polycristallin solide peut être intéressante, car elle donne des renseignements sur les conditions de cristallisation. Dans le cas où les grains sont trop petits, la méthode des poudres peut être utilisée pour déterminer leurs dimensions moyennes. Lorsque la taille des grains devient nettement inférieure au micron, le nombre de plans cohérents qui donnent naissance à une réflexion devient petit pour qu'on observe un élargissement des raies du diagramme à cause du relâchement des conditions de diffraction.

A l'aide des spectres de diffraction des rayons X des films de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) obtenus par évaporation sous vide, nous déterminons la taille des grains en utilisant la relation de Scherrer donnée par [7]:

$$D = \frac{\lambda}{\Delta(2\theta) \cos \theta}$$

λ est longueur d'onde du rayonnement utilisé dans l'analyse des spectres de diffraction des rayons X (dans notre étude $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$), $\Delta(2\theta)$ est largeur à mi-hauteur du domaine de

diffraction (hkl), dans la direction (hkl), $\Delta(2\theta)$ est exprimé en radian et θ est l'angle de diffraction. Dans la Fig. II. 6, on montre la variation de la taille des grains des films de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) en fonction de la concentration. On remarque que la taille des cristallites diminue d'une façon monotone avec l'augmentation de la concentration.

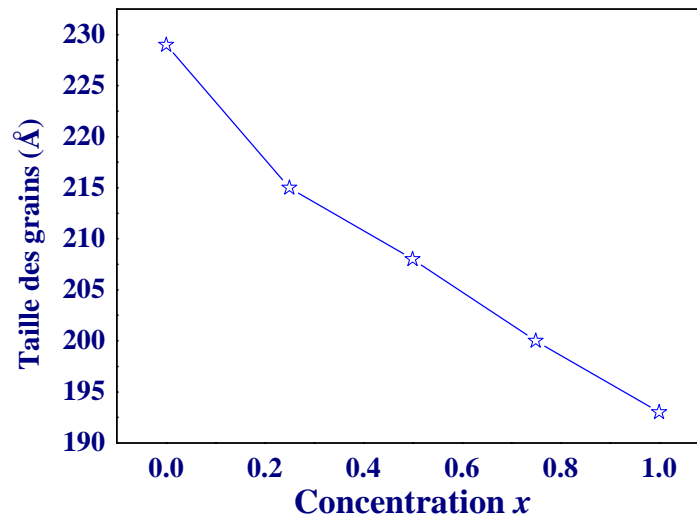


Fig. II. 6. Evolution de la taille des grains des films de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) en fonction de la concentration.

II. 3. A. e. Analyse par microscopie électronique

La figure II. 7 montre une image MEB en surface pour l'échantillon $\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}$ ayant une épaisseur 200 \AA . A partir de cet image, on voit que la surface des films est uniforme et relativement plane (la rugosité n'est pas grande). De plus on n'arrive pas à visualiser les cristallites de Fe ou de Co malgré l'utilisation d'un grossissement de 50000. Ceci est connu dans les métaux de transition en couches minces qui montrent de très petits grains.

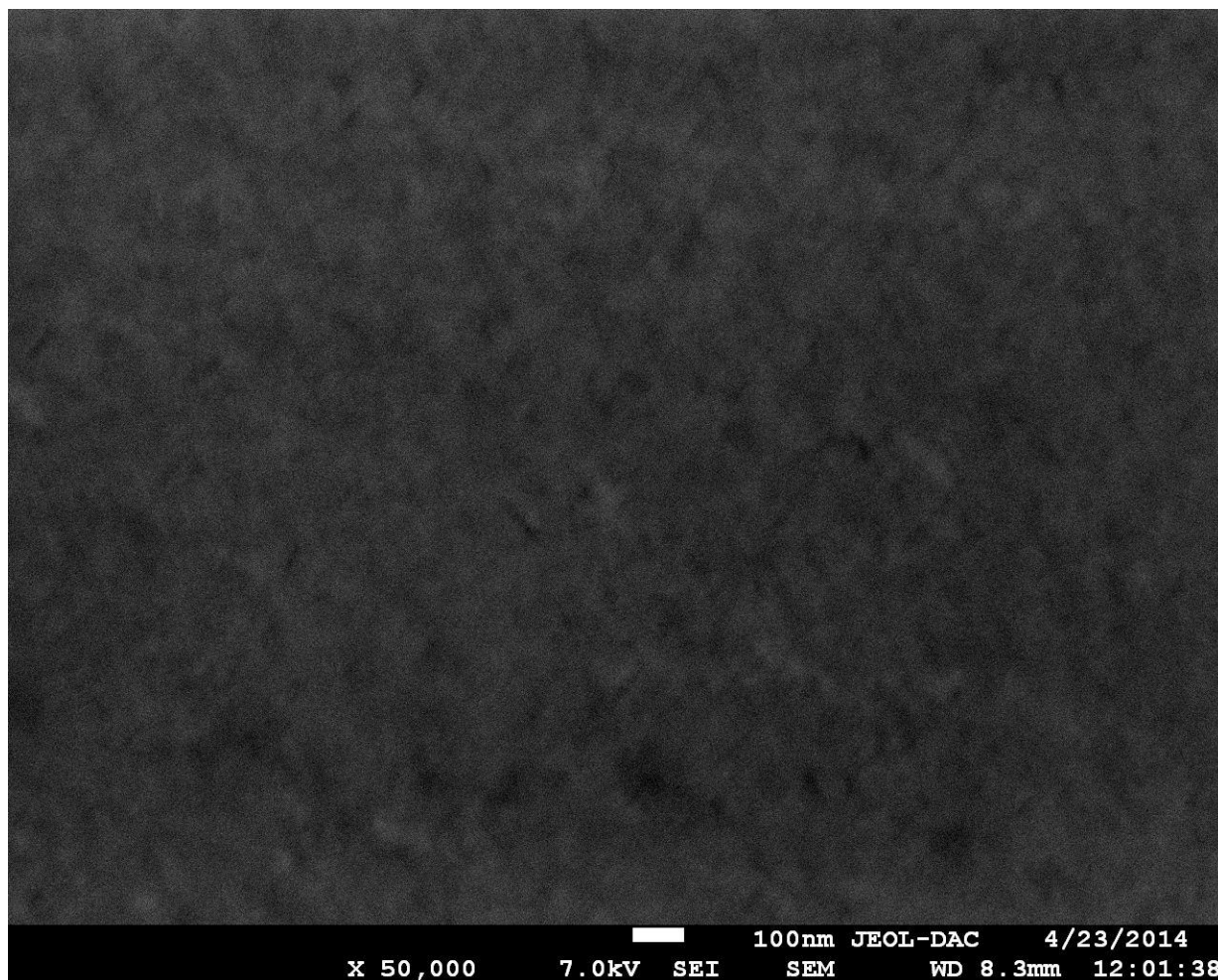


Fig. II. 7. Evolution de la taille des grains des films de Fe_xCo_{1-x} ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) en fonction de la concentration.

II. 3. B. Propriétés électriques

On étudie dans cette partie la résistivité électrique qui explique le phénomène de transport et comprend un terme résiduel et un autre idéale. La résistivité électrique idéale est une propriété intrinsèque du matériau, elle est due principalement à l'interaction électron-phonon. Tandis que, la résistivité résiduelle comprend divers termes:

un terme dû aux impuretés présentes dans la couche mince, d'origine les creusets en tungstène utilisés durant l'évaporation, qui laissent des traces de W dans les couches et les différents gaz présents dans une atmosphère de 3×10^{-7} mbar.

Une partie due aux défauts inter-granulaires, qui se forment lors de la croissance du film au cours de l'évaporation.

la résistivité due au désordre magnétique dans les métaux de transition ferromagnétiques. Cette résistivité est due à la diffusion en désordre du spin des électrons de conduction s par les électrons localisés d dans le métal [8], ainsi que la diffusion des électrons par les parois de domaines magnétiques.

la résistivité due à la diffusion des électrons par les joints de grains présents dans le film. Les joints de grains limitent le mouvement des électrons de conduction, d'où on observe une résistivité élevée comparée avec celle du métal en volume [9]. la résistivité due à la diffusion par la surface est présente lorsque l'épaisseur de la couche mince est comparable avec le libre parcours moyen de l'électron dans le matériau massif. Dans ces conditions, la diffusion des électrons de conduction par les deux bords, supérieur et inférieur du film, fait augmenter la résistivité de celui-ci. Par conséquent, ce terme de résistivité augmente lorsque l'épaisseur du film diminue.

II. 3. B. a. Etude de la résistance carrée en fonction de la concentration

La variation de la résistance carrée en fonction de la concentration x des films de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) déposés sur un substrat Si(111) est montrée sur la Fig. II. 8. On remarque que la résistance carrée mesurée diminue d'une façon monotone quand la composition x augmente. Les valeurs de la résistance carrée des films $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) à température ambiante, sont toutes finies. Ce qui confirme que les couches minces élaborées sont continues. A titre de comparaison Howard S. Bergh et al [10]

rapportent une résistance de 34Ω pour les films de Fe d'épaisseur de 175 \AA . Cette valeur est en bon accord avec la résistance de notre couche de Fe d'épaisseur 200 \AA qui vaut 39Ω .

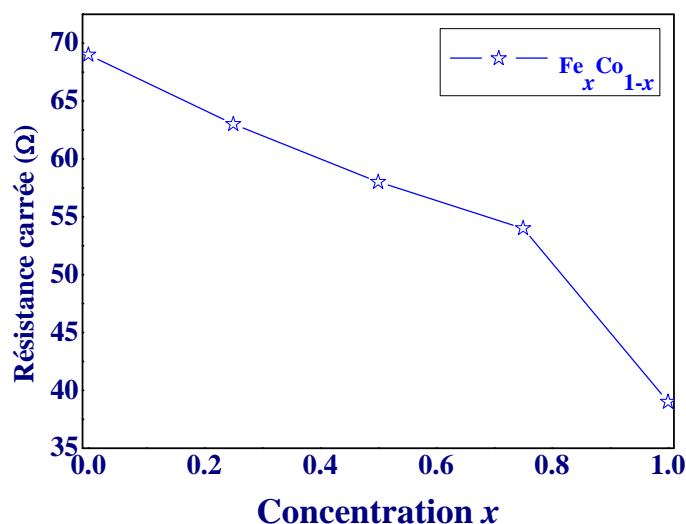


Fig. II. 8. Variation de la résistance carrée des films de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) en fonction de la concentration.

II. 3. B. b. Etude de la résistivité électrique en fonction de la concentration

L'effet de la concentration x sur la résistivité électrique des films de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) déposés sur un substrat Si(111) est montré sur la Fig. II. 9. On constate que cette résistivité diminue d'une façon monotone lorsque la composition augmente. Cette résistivité est comprise entre celles de Fe et Co. Les valeurs des résistivités mesurées pour le Fe et le Co en couches minces sont plus grandes que celles de Fe et du Co massifs citées dans la littérature 9.7 et $6.24 \mu\Omega.\text{cm}$.

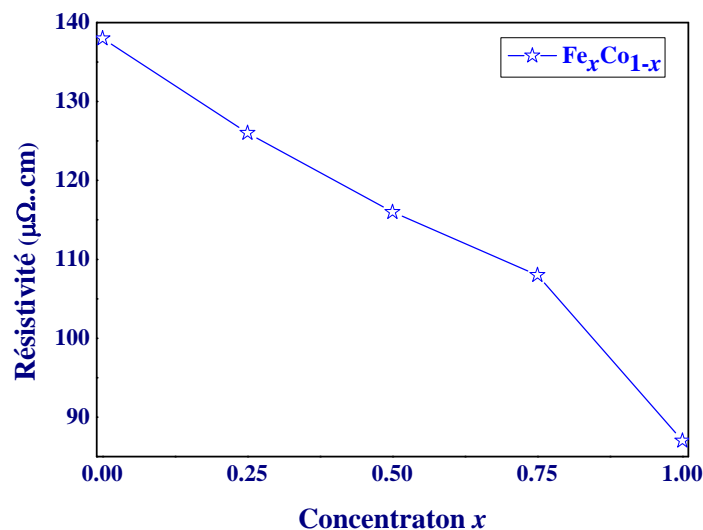


Fig. II. 9. Variation de la résistivité électrique des films de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) en fonction de la concentration.

II. 3. B. c. Variation de la résistance carrée en fonction de la taille des grains

La variation de la résistance carrée en fonction de la taille des grains pour les films de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) déposés sur Si(111) est montrée sur la Fig. II. 10. On remarque que cette résistance diminue d'une façon monotone quand la taille des grains augmente.

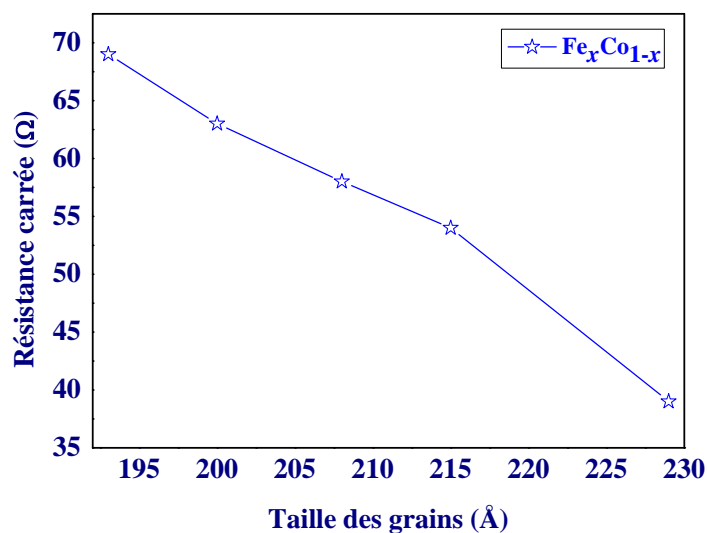


Fig. II. 10. Variation de la résistance carrée en fonction de la taille des grains.

II. 3. B. d. Variation de la résistivité en fonction de la taille des grains

La variation de la résistivité des couches minces de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) en fonction de la taille des grains est montrée sur la Fig. II. 11. On remarque une diminution monotone de la résistivité avec la taille des grains. Une partie de la résistivité électrique est probablement due à la diffusion par les joints de grains de forte désorientation, pour les métaux dont la surface de Fermi est anisotrope. Lorsque la taille des cristallites diminue fortement, la propagation des phonons et celle des porteurs de charges vont être toutes les deux gênées. Cependant le libre parcours moyen des porteurs (la distance moyenne qu'ils peuvent parcourir entre deux processus de diffusion) est généralement largement inférieur à celui des phonons. Aussi il y a moins de diffusion par les joints de grains, et par conséquent, il est donc possible d'augmenter la résistivité électrique. On peut l'expliquer aussi par le fait que lorsque la taille des grains augmente, le nombre de joints de grains diminue, et par conséquent la diffusion par les joints de grains est réduite, ce qui explique la diminution de la résistivité électrique.

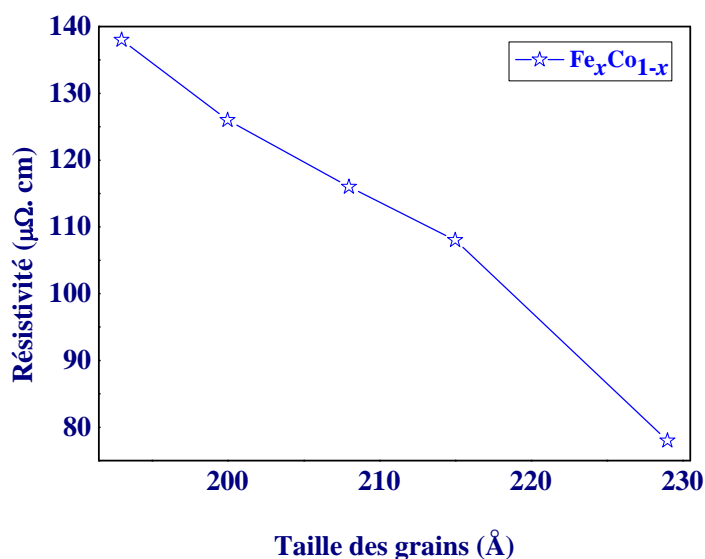


Fig. II. 11. Variation de la résistivité des couches minces de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) en fonction de la taille des grains.

II. 4. Conclusion

Nous avons montré dans ce chapitre que le Fe déposé sur le silicium développe la texture (110). Le paramètre de maille de l'ensemble de nos échantillons a une valeur inférieure à celle correspondante au Fe massif. Cette différence peut être due à l'existence de contraintes (compression) dans les films. La taille des grains diminue avec l'augmentation de la concentration. Dans ce chapitre, on a étudié les propriétés structurales et électriques des couches minces de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) déposées par évaporation sous vide, sur des substrats de Si(111). Tous les films de Fe étudiés montrent une résistance carrée finie, donc les couches minces sont continues. De plus la résistance carrée diminue d'une façon monotone avec l'augmentation de la concentration. La résistivité électrique diminue lorsque la composition augmente. On observe aussi une diminution de la résistivité avec l'augmentation de la taille des grains. Pour les effets de taille dans les films minces de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1), la diffusion à la surface n'est pas apparente. C'est la diffusion aux joints de grains qui domine les résistivités électriques mesurées sur nos films.

Références

- [1] A. Ruediger, J. Yu, S. Zhang, A. D. Kent, S. S. P. Parkin, Phys. Rev. Lett. 80 (1998) 5639.
- [2] H. J. Elmers, J. Hauschild, V. Gradmann, J. Magn. Magn. Mat. 221 (2000) 535.
- [3] Y. B. Xu, E. T. M. Kernoham, M. Tselepi, J. A. C. Bland, S. Holmes, Appl. Phys. Lett. 73 (2001) 1720.
- [4] Said Benramache, Hachemi Ben Temam, Ali Arif, Abderrazak Guettaf, Okba Belahssen, American Journal of Modern Physics 2 (2), (2013) 88.
- [5] Jean-Jacques Rousseau, Cristallographie géométrique et radiocristallographie, Dunod, Paris, (2000).
- [6] Richard Bozorth, Ferromagnetism, D. Van Nostrand Company, INC. Princeton, New Jersey, (1951).
- [7] J.P. Eberhart, Analyse Structurale et Chimique des Matériaux, Bordas, Paris 1989.
- [8] A. I. Maarouf and B. L. Evans, J. Appl.Phys. 76 (1994) 1047-1054.
- [9] K. L. Copra, Thin Film Phenomena, Mc Graw-Hill, New York (1969).
- [10] Howard S. Bergh, Brian Gergen, Hermann Nienhaus, Arun Majumdar, W. Henry Weinberg, Eric W. McFarland, Rev. Sci. Instrum, Vol. 70, No. 4, (1999) 2087-2094.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons étudié l'effet de la concentration de Fe sur les propriétés structurales et électriques des couches minces de $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) élaborées par évaporation sous vide. Nous avons montré que le Fe déposé sur le silicium montre la texture (110), tandis que le Co présente les orientations (100) et (002). On remarque une légère décroissance des constantes de la maille a et c des cristallites hexagonaux avec l'augmentation de la concentration. Le paramètre de maille des cristallites de structure cubique augmente d'une façon monotone avec l'augmentation de la concentration. On remarque aussi que la taille des cristallites diminue d'une façon monotone avec l'augmentation de la concentration. On signale l'existence des contraintes de compression ($\epsilon_{110} < 0$ et $\epsilon_{002} < 0$) dans les grains d'orientation (110) et (002). Les atomes des cristallites de Fe sont soumis à de faibles contraintes relativement à ceux correspondants aux cristallites hexagonaux.

Tous les films de Fe étudiés montrent une résistance carrée finie, donc les couches minces sont continues. De plus la résistance carrée diminue d'une façon monotone avec l'augmentation de la concentration. La résistivité électrique diminue d'une façon monotone lorsque la concentration augmente. On a observé aussi une diminution de la résistivité avec l'augmentation de la taille des grains.

Résumé

Une série de cinq échantillons de Fe_xCo_{1-x} ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) a été élaborée par évaporation sous vide. Une étude de l'effet de la fraction de Fe et de la taille des cristallites sur les propriétés structurales et électriques a été accomplie. Les cristallites de Fe et de Co prennent respectivement l'orientation (110) et (002). On signale l'existence des contraintes de compression dans les grains de Fe et Co d'orientation (110) et (002). Tous les films étudiés montrent une résistance carrée finie, donc les couches minces sont continues. La contribution des joints de grains à la résistivité électrique est présente dans nos échantillons.

Abstract

A series of five samples of Fe_xCo_{1-x} ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) was elaborated by vacuum evaporation. A study of the effect of the fraction of iron and the size of cristallites on the structural and electrical properties was carried out. The cristallites of iron and cobalt show respectively the orientation (110) and (002). We indicate the existence of strains of compression in the grains of iron and cobalt. All studied films show a finished square resistance, thus the layers are continuous. The contribution of the joints of grains to the electrical resistivity is present in our samples.

ملخص

تم انجاز سلسلة تتكون من خمس شرائح رقيقة (Fe_xCo_{1-x} ($x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ et 1) بواسطة التبخير. أيضا تمت دراسة تأثير نسبة الحديد و حجم الحبيبات على الخواص البنيوية و الكهربائية لهذه الشرائح. تأخذ حبيبات الحديد و حبيبات الكوبالت الاتجاه (110) و (002) على التوالي. يحدث للحبيبات تشوه نتيجة الانضغاط. تعطي هذه الشرائح مقاومة محدودة و بالتالي تكون هذه الشرائح مستمرة. تساهم مفاصل الحبيبات في المقامية عند الشرائح.