Democratic and Popular Republic of Algeria

Ministry of Higher Education and Scientific Research

Ferhat Abbas Setif 1 University

Faculty of Sciences

Department of Physics

Masters in Materials Physics

Domain: Materials Science

Field: Physics

Elaboration and Physical Characterization of Co_xCr_{100-x} Thin Films

Specialty: Materials Physics

Defended by: BOUNAR Nour El Houda

Supervised by: Dr. MELLOUL Ahlem

Publicly defended: 27 /06/2026

Jury Members:

Dr. MOSBAH Ammar	Setif 1 University Professor	President
Dr. AKLOUCHE Nadjet	Setif 1 University Associate Professor	Examiner

Academic Year: 2025 / 2026

Abstract

In this work, we have studied the electrical and structural properties of Co_xCr_{100-x} thin films thermally evaporated onto Si(111) substrates. The atomic compositions evaluated from X-Ray Fluorescence (XRF) analysis are found to range from 12.2 to 15.0 at.% for Chromium. The film thickness varies between 559.1 nm and 706.3 nm.

The structural properties have been determined by the X-ray diffractometry technique (XRD). X-Ray diffraction spectra present (111), (200), and (220) Bragg peaks for all the samples deposited onto Si(111). The preferential orientation for all samples is <200> with an FCC-phase. The lattice parameter and the compressive microstrain decrease slightly with the atomic composition. The root mean square roughness (Rms) varies between 267 and 453 nm.

The electrical properties have been analysed by means of a four-point probe apparatus. The electrical resistivity increases with the chromium content. The resistivity, Rms, and grain size evolutions are studied versus chromium content, and they have been found to present a strong correlation. The resistivity values vary between 0.246 and 0.297 Ω·cm for the Co_xCr_{100-x} /Si(111) thin films. The films exhibit a nanocrystalline structure, and their microstructural evolution is perfectly described by Zone 1 of the Thornton model.

Keywords: CoCr; thin films; XRD; electrical resistivity; Thornton model.

Résumé

Dans ce travail de mémoire, nous avons étudié les propriétés électriques et structurales des couches minces Co_xCr_{100-x}, déposées par évaporation thermique sous vide, sur Si(111). La composition chimique des éléments a été identifiée par la technique de la spectroscopie de fluorescence des rayons X (XRF). Les valeurs de la concentration atomique du chrome sont confinées entre 12,2 et 15,0 %. Les épaisseurs des films varient entre 559,1 et 706,3 nm.

Les analyses structurales montrent une orientation préférentielle <200> avec une phase CFC, pour tous les échantillons. Le paramètre de maille et la microdéformation diminuent légèrement avec la composition chimique. La morphologie et la topographie des surfaces réalisées par AFM montrent des images surfaciques rugueuses. La rugosité des surfaces varie entre 267 et 453 nm.

L'analyse électrique a été réalisée à l'aide de la méthode des quatre pointes. La résistivité électrique augmente avec la composition chimique. L'évolution de la résistivité avec la composition chimique, la rugosité des surfaces et la taille des grains, a été étudiée. Les valeurs de la résistivité varient entre 0,246 et 0,297 Ω·cm pour les échantillons Co_xCr_{100-x} /Si(111). Les films présentent une structure nanocristalline et leur comportement est bien décrit par le modèle des zones de Thornton (Zone 1).

Mots clés : CoCr ; couches minces ; DRX ; résistivité électrique ; modèle de Thornton.

ملخص

في هذا العمل، قمنا بدراسة الخصائص الكهربائية والبنيوية للأغشية الرقيقة من Co_xCr_{100-x} المُرَسَّبة بالتبخير الحراري على ركائز .Si(111) وقد وُجِد أن التركيب الذري للكروم المُقَيَّم باستخدام تحليل التألق بالأشعة السينية (XRF) يتراوح بين 12.2 % و 15.0% ذري. كما تتراوح سماكة الأغشية بين 559.1 nm و706.3 nm.

تم تحديد الخصائص البنيوية باستخدام تقنية حيود الأشعة السينية (XRD) . أظهرت أطياف حيود الأشعة السينية قمم براغ (111) و (200) و(220) لجميع العينات المترسبة على Si(111) . كان التوجه المفضل لجميع العينات هو <200> مع طور FCC . انخفض كل من معامل الشبكة والإجهاد الميكروي الانضغاطي انخفاضًا طفيفًا مع زيادة التركيب الذري . تراوح متوسط الجذر التربيعي للخشونة (RMS) بين 267 nm و453 nm .

تحليل الخصائص الكهربائية باستخدام جهاز قياس رباعي النقاط . تزداد المقاومة الكهربائية مع زيادة محتوى الكروم . دُرست تغيرات المقاومة، وقيمة الجذر التربيعي المتوسط ، وحجم الحبيبات مقابل محتوى الكروم ، ووُجد أنها تُظهر ارتباطًا قويًا . تتراوح قيم المقاومة بين 0.246 Ω·cm و0.297 Ω·cm للأغشية الرقيقة. تُظهر الأغشية Co_xCr_{100-x} / Si(111) بنية نانوية بلورية ، ويُمكن وصف تطور بنيتها المجهرية بدقة بواسطة المنطقة 1من نموذج ثورنتون.

الكلمات المفتاحية : CoCr ؛ الأغشية الرقيقة؛ حيود الأشعة السينية؛ المقاومة الكهربائية؛ نموذج ثورنتون.

TABLE OF CONTENTS

Abstract

GENERAL INTRODUCTION ..... **Erreur ! Signet non défini.**

CHAPTER I : STATE OF THE ART OF CoCr THIN FILMS

Introduction ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.1. State of the art of CoCr alloy ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.1.1. Generalities on Cobalt (Co) and Chromium (Cr) ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.1.2. The CoCr alloy system ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.1.3. Co-Cr Equilibrium Phase Diagram ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.1.4. Previous works on CoCr ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.1.5. Application of CoCr alloy ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.2. Growth mechanisms of thin films ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.2.1. Nucleation ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.2.2. Coalescence ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.2.3. Growth ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3. Comparative Table ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Conclusion ..... **Erreur ! Signet non défini.**

CHAPTER II : EXPERIMENTAL PROCEDURES

Introduction ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.1. Thin Film Deposition Methods ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.1.1. Overview of thin film deposition techniques ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.1.2. Chemical deposition methods ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.1.3. Physical deposition methods ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.1.4. Vacuum thermal evaporation by Joule heating ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2. Experimental Setup and Procedure for CoCr Thin Film Deposition ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2.1. Substrate preparation ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2.2. Chamber and substrate holder cleaning ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2.3. Mounting and setup ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2.4. Pumping procedure ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.3. Characterization Techniques ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.3.1. Structural characterization: X-ray diffraction (XRD) ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.3.2. Morphological characterization: Atomic force microscopy (AFM) ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.3.3. Thickness measurement: Optical Profilometry ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.3.4. Compositional characterization: X-ray fluorescence (XRF) ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.3.5. Electrical characterization: Four-point probe method ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.3.6. Summary of characterization techniques ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Conclusion ..... **Erreur ! Signet non défini.**

CHAPTER III : RESULTS AND DISCUSSION

Introduction ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.1. Evaporation ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.2. Experimental Summary ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.3. Determination of Chemical Composition and Thickness Measurement . Erreur ! Signet non défini.

III.3.1. Elemental Composition Determined by XRF ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.3.2. Film Thickness Evolution ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.4. Structural Analysis of CoCr Samples ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.4.1. XRD Spectra and Phase Identification ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.4.2. Lattice Parameter Evolution ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.4.3. Microstrain Analysis ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.4.4. Crystallite Size Analysis ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.5. Morphological and Topographical Study of Surfaces ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.5.1. Surface Morphology ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.5.2. Surface Topography and Roughness Analysis ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.6. Electrical Properties ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.6.1. Electrical Resistivity Measurements ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.6.2. Correlation with Structural and Morphological Parameters ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.7. General Discussion and Correlations ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.7.1. Summary of Results ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Conclusion ..... **Erreur ! Signet non défini.**

GENERAL CONCLUSION ..... **Erreur ! Signet non défini.**

References ..... **Erreur ! Signet non défini.**