

مذكرة ماستر
ميدان: علوم المادة
شعبة: فيزياء

اختصاص: فيزياء المواد

الموضوع



تأثير هناك الطرقة الليزرية على جبه حبيبات سطح 300\AA من الحديد

مقدمة من طرف

بن معرفة خولة

طرهان خولة

أمام لجنة المناقشة

رئيس اللجنة	جامعة العربي التبسي-تبسة-	أستاذ تعليم عالي	بن خنبر محمد لطفي
مؤطرة	جامعة العربي التبسي-تبسة-	أستاذة محاضرة (1)	بوخالفة راضية
الممتحن	جامعة العربي التبسي-تبسة-	أستاذ محاضر (1)	فردجي محمد الحميد

تاريخ المناقشة

2019/06/25



Déclaration sur l'honneur de non-Plagiat
 (À joindre obligatoirement au mémoire; Remplie et signée)

Nous soussignés

Nom, prénom: **Ben Arfa Khaoula & Terechane Khaoula**

N° de carte d'étudiant: (1) **34018251/14** (2) **34018250/14**

Régulièrement inscrits (es) en **Master** au **Département Sciences de la Matière**

Année universitaire: **2018/2019**

Domaine: **Sciences de la matière**

Filière: **Physique**

Spécialité: **Physique des Matériaux**

Intitulé du mémoire: **تأثير سعة الحثية الكهربية على حزم حبيبات سعة 300A°**

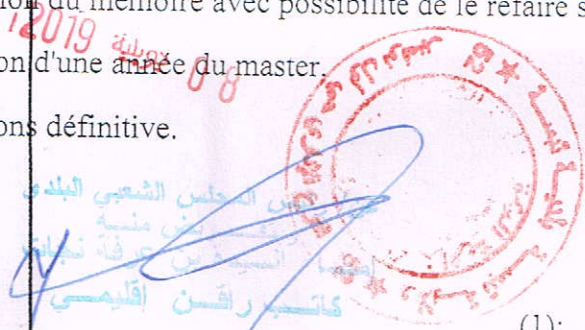


Attestons que notre mémoire est un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Nous certifions également que nous n'avons ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article, ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Sanctions en cas de plagiat prouvé:

Les étudiants seront convoqués devant le conseil de discipline, les sanctions prévues selon la gravité du plagiat sont:

- L'annulation du mémoire avec possibilité de le refaire sur un sujet différent.
- L'exclusion d'une année du master.
- L'exclusions définitive.



Fait à Tébessa, le: **08-07-2019**

Signature des étudiants (es):

(1):

(2):

12019
 المجلس الشعبي البلدي
 قاتبة راقن اقليمى

مذكرة ماستر
ميدان: علوم المادة
شعبة: فيزياء

اختصاص: فيزياء المواد

الموضوع

تأثير سمك الطبقة البيئية على حجم حبيبات سطح 300Å من الحديد

مقدمة من طرف

بن عرفة خولة

طوشان خولة

أمام لجنة المناقشة

رئيس اللجنة	جامعة العربي التبسي-تبسة-	أستاذ تعليم عالي	بن خضير محمد لطفي
مؤطرة	جامعة العربي التبسي-تبسة-	أستاذة محاضرة (أ)	بوخالقة راضية
المتحدث	جامعة العربي التبسي-تبسة-	أستاذ محاضر (أ)	فرددي محمد العميد


تاريخ المناقشة

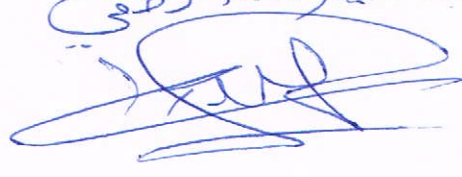
2019/06/25


الطالبان
طرشان حولة
بن عرفة حولة

الموضوع : تعهد بتصحيح أخطاء المذكرة

نتعهد نحن الطالبان طرشان حولة وبن عرفة حولة ونقر
بالي لجنة المناقشة انه تم تصحيح الأخطاء الملاحظة من طرفكم
لمذكرة تخرج ما سترجه فيزياء المواد بعنوان:
التأثير سمك الطبقة البينية على حجم حبيبات سطح 3000 \AA في النحاس
ولكم منا فائق التقدير والاحترام

الأستاذ الممتحن
عززي عبد الحميد


الأستاذ الرئيس
بن خضير محمد كطفي


الأستاذة المؤطرة
بوخالفة راضية


المُلخَص

الملخص

الشرائح الرقيقة المدروسة Fe/Ag/Cr حضرت بواسطة الترسيب بتقنية التثييد الجزيئي الموجه عند درجة حرارة الغرفة، وعند الفراغ الفائق على مسند أحادي التبلور من أكسيد المغنيزيوم MgO. سمك طبقة الحديد ثابت عند 300Å والطبقة البينية متكونة من سمك ثابت قدره 75Å من Cr وسمك متغير من 50Å إلى 150Å من الفضة Ag بفارق قدره 50Å. لحماية طبقة الحديد من التأكسد، استخدمنا سمك 20Å من الفضة، ولمعرفة تأثير سمك الطبقة البينية على حجم حبيبات طبقة الحديد حضرنا أربعة عينات:

العينة E₁: Ag(20Å)/Fe(300Å)/MgO(001)

العينة E₂: Ag(20Å)/Fe(300Å)/Ag(50Å)/Cr(75Å)//MgO(001)

العينة E₃: Ag(20Å)/Fe(300Å)/Ag(100 Å)/Cr(75Å)//MgO(001)

العينة E₄: Ag(20Å)/Fe(300Å)/Ag(150Å)/Cr(75Å)//MgO(001)

لدراسة الخصائص البنيوية للعينات استخدمنا طريقة انعراج الأشعة السينية للزوايا الكبيرة، وتحليل طيف الانعراج، تأكدنا بأن سمك الطبقة البينية له تأثير كبير على هذه الخصائص.

الكلمات المفتاحية

الحديد، الكروم، الفضة، أكسيد المغنيزيوم، الطبقة البينية، الأشعة السينية، أحادي التبلور، المسند، البعد البيني، ثابت الشبكة، الحجم الحبيبي.



Résumé

Résumé

Les couches minces étudiées Fe/Ag/Cr sont préparées par la technique d'épitaxie par la technique de jet moléculaire à la température ambiante, et l'ultra vide sur un substrat monocristallin d'oxyde de magnésium MgO(001). L'épaisseur de la couche de fer est fixée à 300Å et la couche tampon constituée d'épaisseur fixée à 75Å de Cr et d'épaisseur variée entre 50Å à 150Å d'argent par un pas de 50Å. Pour protéger la couche de fer contre l'oxydation, nous avons utilisé une épaisseur de 50Å d'argent. Pour découvrir l'effet de l'épaisseur de la couche tampon sur la taille des grains de la couche de fer nous avons préparé quatre échantillons :

Echantillon E₁: Ag(20Å)/Fe(300Å) //MgO(001) .

Echantillon E₂: Ag(20Å)/Fe(300Å)/Ag(50Å)/Cr(75Å)//MgO(001).

Echantillon E₃: Ag(20Å)/Fe(300Å)/Ag(100Å)/Cr(75Å)//MgO(001).

Echantillon E₃: Ag(20Å)/Fe(300Å)/Ag(150Å)/Cr(75Å)//MgO(001).

Pour étudier les caractérisations structurales des échantillons nous avons utilisé la méthode de la diffraction des rayons X à de grands angles et par l'analyse du spectre de diffraction, nous avons confirmé que l'épaisseur de la couche tampon a un effet significatif sur ses caractéristiques.

Mots-clés

Fer, chrome, argent, oxyde de magnésium, la couche tampon, Rayons X, monocristallin, le substrat, la distance interréticulaire, paramètre de maille, et la taille des grains.



Abstract

Abstract

The Thin layers studied Fe/Ag/Cr are prepared by the technique of molecular beam epitaxial at room temperature, and ultra-vacuum on a mono-crystalline substrate of magnesium oxide MgO(001). The thickness of the iron layer is fixed at 300Å and the buffer layer consisting of the thickness fixed at 75Å of the Cr and of varying thickness between 50Å to 150Å of silver by a step of 50Å. To protect the iron layer from oxidation, we used a thickness of 50Å silver. To discover the effect of the thickness of the buffer layer on the grains size of the iron layer we prepared four samples:

Sample E₁: Ag (20Å)/Fe(300Å) //MgO(001) .

Sample E₂: Ag(20Å)/Fe(300Å)/Ag(50Å)/Cr(75Å)//MgO(001).

Sample E₃: Ag(20Å)/Fe(300Å)/Ag(100Å)/Cr(75Å)//MgO(001).

Sample E₃: Ag(20Å)/Fe(300Å)/Ag(150Å)/Cr(75Å)//MgO(001).

To study the structural characterizations of the samples we used the method of X-ray diffraction at large angles and by analysis of the diffraction spectrum, we have confirmed that the thickness of the buffer layer has a significant effect on its characteristics.

Keywords

Iron, chrome, silver, magnesium oxide, buffer layer, X-rays, mono-crystalline, substrate, inter-reticular distance, lattice parameter, and grain size.

الإهداء

أحمد الله عز وجل على منة و عونه لإتمام هذا البحث

أهدي ثمرة عملي هذا إلى:

إلى من علمني العطاء دون انتظار إلى من أحمل اسمه بكل افتخار إلى من سهر الليالي من أجل تحقيق ألامي

إلى الذي لو يهزل جسدا ولا درهما في سبيل تعليمي إلى **أبي الغالي** أحامه الله وأطال عمره

إلى التي حملتني في بطنها إلى التي علمتني أن الحياة صمود إلى منبع العنان والتجاوز إلى من غانبه الصعاب

وتحملت لأهل أبا إلى ما فيه اليوم إلى **أمي الحنونة الغالية الكريمة** أحامها الله تاجا على رأسي

شكرا لكم والديا ومما قلبي لن أوفني حقكما ومما قلبي سوف أبقي مدينة لكم طوال حياتي

إلى سدي و أنسي في أفراحي إلى أخواتي الغاليات **عبلة ونبيلة**

دون أن أنسى الكتوتة الصغيرة ابنة أختي **حناء**

إلى من أرى التنازل بعينه والمساعدة في ضيقه إلى أخي الوحيد وقرة أعيننا **لال**

إلى جميع الأمل أعمامي وأخوالي.....

أما الآن إلى أول رفيقتاتي **خولة و لندة** اللتان كانتا لي مثل أخواتي معزتمن كبيرة واحترامي لعم

لا يقل عن احترامي لألمي

وإلى كل صديقاتي وزميلاتي في الدراسة

طرشان خولة

الاهداء

احمد الله عز وجل على منه و عونه لإتمام هذا البحث

أهدي ثمرة عملي إلى

إلى من سخر عمره لراحتي.. إلى ملجأى وملاذئى.. إلى الشمعة التي أذرت وتبهر حياتي..

إلى من علمني العطاء دون انتظار.. إلى من أحمل اسمه بكل افتخار **والدي العزيز** أحامه الله وأطال عمره.

إلى الذبح الصافي و الصدر الدافئ.. إلى عطاء الله الوافي.. إلى من يرضى لما عمري الماضي و الآتي..

إلى أغلى العبايب **والدتي الحنون** أحامها الله تاجا على رأسي.

هضرا لهما والديا ومما قلبه لن أكتفي حقهما وسوف أبقى مدينة لهما طوال حياتي

إلى النور الذي تبصر به عملي إلى الدم الذي يجري في عروقي إلى سندي وعونى.....

أخوتي وأخواتي (أحمد، فؤاد، دنيا، أية ومزار)

أما الآن إلى أولى ريفياتي **خولة و لينة** اللتان كانتا لي مثل أخواتي معزتهم كبيرة واحترامي لهم لا يقل عن

احترامي لأهلي

إلى جميع من أحببتهم وأحبوني وزملائي

بن عرفة خولة

كلمة الشكر

قول كل شيء الحمد والشكر لله العزيز العليم الذي بنعمته تتم الصالحات، الحمد لله حمدًا طيبًا مباركًا فيه على كل ما وفقنا لبلوغ هذه الدرجة وإنجاز هذا العمل.

عظيم الشكر والتقدير و الاحترام لأستاذتنا الكريمة **بوالخفة راحية**، استاذة محاضرة بجامعة العربي-تبسة- التي أطرتنا لإنجاز هذه المذكرة و أرشدتنا بنصائحها وآراءها السديدة ، التي وقفنا معها لحظة بلحظة لإنجاز هذا العمل القيم.

شكرًا لأستاذتنا الكريمة للوقوف معنا فقد كنيت لنا خير سند و خير دليل و خير معلم.

شكرًا لأعضاء اللجنة البروفيسور **بن حذير محمد لطفي** و الدكتور **فردى عبد الحميد** لقبولهم تقييم عملنا المتواضع ، وشكرًا على النواصح والإرشادات التي ستوجهنا نحو الأفضل .

ونشكر أيضا جميع أساتذة قسم علوم المادة

وفي الأخير نتقدم بجزيل الشكر لكل زملائنا و صديقاتنا ولكل من ساهم وساعدنا في إنجاز هذا العمل من قريب و بعيد.

الفهرس

القمح

المقدمة العامة

مفاهيم عامة

الفصل الأول

03

1-1- مقدمة

03

2-1- تعريف الاغشية الرقيقة

04

3-1- مبدأ ترسيب الأغشية الرقيقة

04

4-1- آلية تشكل الاغشية الرقيقة

04

1-4-1- مرحلة التنويه

04

2-4-1- مرحلة الالتحام

05

3-4-1- مرحلة النمو

06

5-1- العوامل المؤثرة على عملية تحضير الاغشية الرقيقة

06

6-1- تعريف الحبيبات و الحجم الحبيبي

07

7-1- العوامل المؤثرة على تكوين و حجم الحبيبات

07

1-7-1- طريقة التحضير

- 07 1-7-2- نوع المسند المستخدم
- 07 1-7-3- درجة الحرارة
- 08 1-7-4- سرعة الترسيب
- 08 1-7-5- نوعية الطبقة العازلة
- 08 1-7-6- خشونة السطح
- 09 1-7-7- الإجهاد
- 09 1-8- تطبيقات الأغشية الرقيقة
- 10 1-9- الاستنتاج

الفصل الثاني تقنية تحضير العينات وطريقة دراسة خصائصها البنيوية

- 11 II-1- مقدمة
- 11 II-2- الطرق العامة لترسيب الأغشية الرقيقة
- 11 II-3- العوامل المتبعة لاختيار طريقة ترسيب الأغشية الرقيقة
- 12 II-4- التقنية المستخدمة في تحضير العينات
- 12 II-4-1- ماهية التنفيد الجزئي الموجه

- 12 2-4-II مبدأ التنضيد الجزئي الموجه
- 13 3-4-II وصف هيكل تقنية التنضيد الجزئي الموجه
- 14 4-4-II مزايا تقنية التنضيد الجزئي الموجه
- 14 5-II طريقة دراسة الخصائص البنيوية للأغشية الرقيقة
- 14 1-5-II تعريف الأشعة السينية
- 14 2-5-II مبدأ عمل طريقة انعراج الأشعة السينية
- 15 3-5-II أنماط انعراج الأشعة السينية
- 16 1-3-5-II البعد البيني وثابت الشبكة
- 16 2-3-5-II عدم الانتظام الشبكي
- 16 3-3-5-II الإجهادات
- 17 5-3-5-II حجم الحبيبات
- 17 6-II كيفية تحضير العينات
- 17 1-6-II تحضير المسند
- 18 2-6-II كيفية ترسيب الطبقات

18 18-6-2-1- ترسيب الطبقة البينية

18 أ- ترسيب طبقة الكروم

19 ب- ترسيب طبقة الفضة

19 18-6-2-2- ترسيب طبقة الحديد

20 7- الاستنتاج

النتائج التجريبية ومناقشتها الفصل الثالث

21 1-1- مقدمة

21 2- تحليل طيف انعراج الأشعة السينية عند الزوايا الكبيرة

25 1-2- تأثير الطبقة البينية على ثابت الشبكة

26 2-2- تأثير سمك الطبقة البينية على عدم الانتظام الشبكي

27 3-2- تأثير سمك الطبقة البينية على حجم الحبيبات لطبقة الحديد

28 3- الاستنتاج

29 الخاتمة العامة

31 المراجع

قائمة الجداول

قائمة الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	الجدول
09	تصنيف بعض تطبيقات الأغشية الرقيقة	01-I
25	قيم مواضع حافة براغ والبعد البيني لشبكة الحديد	01-III
26	قيم ثابت الشبكة لبلورة الحديد	02-III
26	القيم التجريبية و النظرية لعدم الانتظام الشبكي بين طبقة الحديد و المسند	03-III

قائمة الأشكال

قائمة الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل	الشكل
04	مخطط التتوية للأغشية الرقيقة	01-I
05	مخطط التحام للأغشية الرقيقة	02-I
05	مخطط نمو للأغشية الرقيقة	03-I
06	أنواع نمو الأغشية الرقيقة	04-I
13	هيكل تقنية التتصيد الجزيئي الموجه	01-II
15	مخطط يوضح انعكاس الأشعة السينية	02-II
15	مخطط يوضح أنماط انعراج الأشعة السينية	03-II
17	تأثير الإجهاد خلال نمو الطبقات على مواقع حافة براغ لطيف الأشعة السينية	04-II
18	مخطط توضيحي لبلورة أوكسيد المغنيزيوم	05-II
20	مخطط توضيحي العينات الناتجة	06-II
24	طيف انعراج الأشعة السينية للعينات الأربعة E_1, E_2, E_3, E_4	01-III
27	تغير قيمة حجم الحبيبات لطبقة الحديد في كل عينة بدلالة سمك الطبقة البينية	02-III

قائمة الرموز

قائمة الرموز

الرمز	المعنى
EJM	تقنية التنضيد الجزئي الموجه
CVD	الترسيب الكيميائي للطور البخاري
PVD	الترسيب الفيزيائي للطور البخاري
λ	الطول الموجي
n	عدد صحيح موجب ويمثل رتبة الحيود
d_{hkl}	البعد الشبكي البيني
hkl	معاملات ميلر
A.S.T.M	الجمعية الامريكية للاختبار و المواد
D	الحجم الحبيبي
β	عرض منتصف الشدة
A	الثابت الشبكي
θ	زاوية براغ
U.A	وحدة دولية
$t_{Ag}(\text{\AA})$	سمك طبقة الفضة
\AA	الأنغستروم
$\Delta a/a$	عدم الانتظام الشبكي

المقدمة العامة

مقدمة عامة

تعتمد خصائص المواد الفيزيائية وخاصة منها البنيوية والتي من ضمنها حجم الحبيبات والبعد البلوري بشكل كبير على بنيتها البلورية وخصائصها البنيوية، وتتزايد قوة العلاقة بين الخصائص الميكانيكية والطبيعة البنيوية إذا ما كانت هذه المواد على شكل أغشية رقيقة، حيث أن سمكها المهمل يؤدي إلى انكسار علاقات التناظر الموجودة في حالة المادة الصلبة، والمعتمدة على الحجم، مما أدى إلى ظهور خصائص فيزيائية جديدة تختلف تماما على الخصائص الموجودة في الحالة الصلبة. وهذا ما جعل تقنية الأغشية الرقيقة من أهم التقنيات التي ساهمت في تطوير عدة مجالات صناعية.

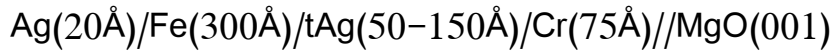
وبما أن طبيعة المادة في حالة الأغشية الرقيقة تعتمد لدراستها على مادة ترسب أو تنمو عليها، تسمى بالمسند، فإنه يجب علينا معرفة كيفية اختيار نوع المسند المخصص لكل غشاء رقيق ولكل تطبيق صناعي، وهذا ما نكتسبه من التجربة، التي تعتمد على إعادة تحضير العينة المطلوبة عدة مرات وبعدة طرق. أين اكتشفنا: أن نمو الغشاء الرقيق فوق المسند يعتمد بالإضافة إلى نوع المسند المستخدم، على الطاقة السطحية لكل منهما والتي تؤثر على مدى الالتصاق بينهما، فإذا كانت طاقة الالتصاق بين المسند والغشاء الرقيق المرسب موجبة، فإن النمو يحدث بطريقة أوتوماتيكية وبشكل ثنائي البعد. أما إذا كانت طاقة الالتصاق سالبة فإن النمو لا يحدث إلا إذا أضفنا طبقة بينية تمتاز بطاقتها السطحية قيمتها أقرب لكل من الطاقة السطحية للمسند وكذلك للغشاء الرقيق.

وبما أن نمو بعض العينات يحتاج إلى طبقة بينية، فهناك سؤال يطرح نفسه، ألا وهو: مدى تأثير طبيعة وسمك هذه الأخيرة على الخصائص الفيزيائية المدروسة ؟

وللإجابة على هذا السؤال، اخترنا أن يكون محور هذا العمل يدور حول: مدى تأثير سمك الطبقة البينية على بعض الخصائص الميكانيكية ومنها البعد البلوري وحجم الحبيبات لمادة الحديد المدروسة.

إن زيادة التقدم العلمي والتكنولوجي أدى إلى تعدد وتطور طرق تحضير الأغشية الرقيقة، وأصبحت على درجة عالية من الدقة، في تحديد تجانس وسمك كل من المادة المحضرة، والطبقة البينية. ولقد اعتمدنا في تحضير العينات المدروسة على تقنية التنضيد الجزئي الموجه، التي تسمح بالتحكم الجيد في سمك

ونوعية أسطح العينات الناتجة، حيث قمنا في عملنا هذا بترسيب مادة الحديد المغناطيسية ذات سمك 300\AA فوق مسند أوكسيد المغنيزيوم التجاري، أحادي التبلور ومصقول على المستوي (001)، ولتعزيز نمو طبقة الحديد على المسند، أضفنا طبقة بينية متكونة من مادة الكروم ذات سمك ثابت 75\AA ومادة الفضة، ولتحقيق هدفنا المذكور سابقا، استخدمنا سمك متغير لهذه الأخيرة بين 50\AA و 150\AA ، وهذا ما جعلنا نتحصل على ثلاثة عينات الفرق الوحيد بينهم هو سمك طبقة الفضة. ولتعزيز الدراسة حضرنا عينة مرجعية لا تحتوي على الطبقة البينية. ولقد استخدمنا 20\AA من مادة الفضة لمنع أكسدة طبقة الحديد في العينات الأربعة ذات الصيغة التالية:



تشمل هذه المذكرة ثلاثة فصول تُستهل بمقدمة عامة وتختتم بخاتمة عامة بالإضافة إلى المراجع المستخدمة.

✚ الفصل الأول تطرقنا فيه إلى عرض بعض المعلومات المختصرة والعامة حول الأغشية الرقيقة والعوامل المؤثرة على هذه الأخيرة دون أن ننسى ذكر بعض تطبيقاتها بالإضافة إلى معرفة المعنى الفيزيائي للحجم الحبيبي وكذلك العوامل المؤثرة عليه.

✚ الفصل الثاني وفيه اطلالة على التقنية المستخدمة في تحضير العينات، وكذا طريقة دراسة خصائصها البنيوية. حيث درسنا بالتفصيل: معنى الترسيب بالتنضيد الجزئي الموجه ومبدأ عمل تقنيته وكذلك ذكرنا بعض الخاصيات التي تتميز بها هذه التقنية. ثم تطرقنا إلى كيفية تحليل طريقة انعراج الأشعة السينية لدراسة الخصائص الميكانيكية المطلوبة. دون أن ننسى، كيفية مبدأ عملها، ومختلف أنماطها. وركزنا في هذا الفصل أيضا على كيفية تحضير وترسيب الطبقات في كل عينة.

✚ الفصل الثالث تضمن تحليل ومناقشة أهم النتائج التجريبية المتحصل عليها.

الفصل الأول

I-1- المقدمة

أعطت تقنية الأغشية الرقيقة فكرة واضحة عن العديد من الخواص الفيزيائية والكيميائية لمعظم المواد التي يصعب الحصول عليها في حالتها الطبيعية، تتمثل هذه التقنية في عملية تحويل المادة من حالتها الصلبة أو السائلة أو الغازية إلى طبقات رقيقة جدًا. ولقد شهد العالم قفزة هائلة في المجال العملي من خلال دراسة هذه الأغشية الرقيقة وتطبيقاتها المتنوعة في جميع الميادين، وذلك لما تملكه من مميزات لا تكون متوفرة في تراكيب المواد في حالتها الحجمية، حيث أن سمكها المتناهي في الصغر وتقلص الحجم أدى إلى تطور عدة خصائص تمكن العلماء من استخدامها في عدة مجالات، كالتخزين المغناطيسي الذي يساعدنا على تخزين عدة معلومات في شرائح شديدة الصغر، ما يسهل علينا الحياة اليومية... إلخ.

ولأن نوعية الأغشية الرقيقة المستخدمة تتغير حسب خصائصها الفيزيائية، المرتبطة بعضها ببعض، والتي من بينها الخصائص الميكانيكية كالبعد البلوري وحجم الحبيبات والذي يعد موضوع دراستنا هذه، والذي تتحكم فيه عدة عوامل، وهو بدوره يؤثر على نوعية الأغشية الناتجة وبالتالي على استقرار وجودة استخدامها، فإننا ارتأينا أن ندرس في هذا الفصل المعنى الفيزيائي لحجم الحبيبات، والعوامل المؤثرة فيه، وبطبيعة الحال هذا الهدف لا يتحقق دون عرض بعض المعلومات الملخصة والعامة حول الأغشية الرقيقة و تسليط الضوء على ذكر بعض تطبيقاتها.

I-2- تعريف الأغمية الرقيقة

يستخدم مصطلح الأغشية الرقيقة لوصف طبقة أو عدة طبقات من ذرات المادة التي لا يتعدى سمكها المايكرون الواحد، ولكونها رقيقة وهشة (سهلة الكسر) يجب ترسيبها على قواعد صلبة مثل الزجاج أو السيليكون أو الألمنيوم حسب طبيعة الدراسة [1-3]. وتصنف الطبقة الرقيقة على أنها مادة ثنائية الأبعاد لأن لديها أحد الأبعاد مهمل جدا بالنسبة للأبعاد الأخرى وفي أغلب الحالات يكون هذا البعد هو السمك الذي يكون صغير جدا أي من رتبة الأنغستروم (Å)، وبالتالي فإن تأثير السطح في حالة الأغشية الرقيقة يلعب دورا هاما على الخصائص الفيزيائية لهذه الأخيرة [4،5].

3-I- موحداً ترسيب الأغشية الرقيقة

تمر طرق ترسيب جُل الأغشية الرقيقة بالمراحل الثلاث التالية:

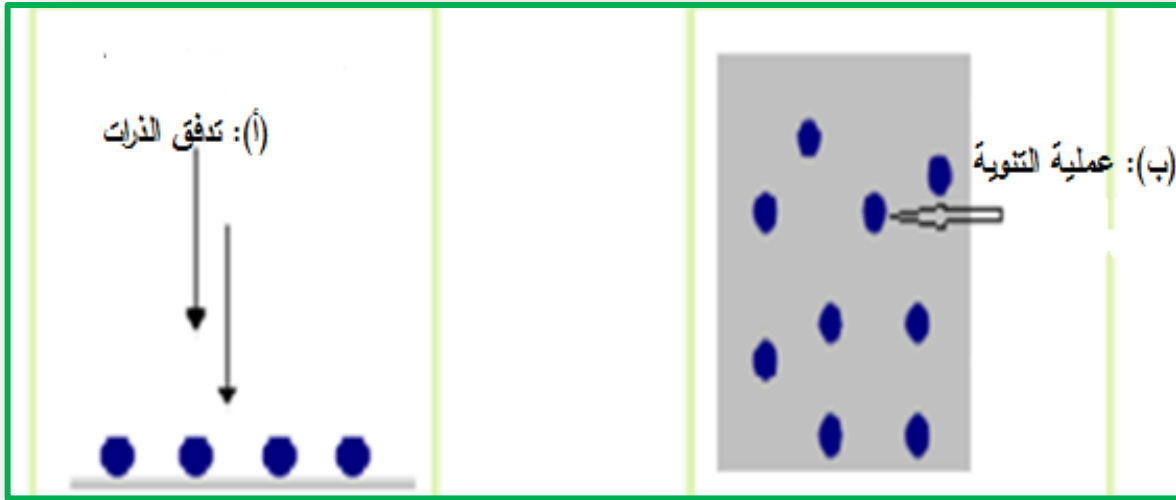
- ✚ إنتاج فضاء أيوني أو جزيئي أو ذري .
- ✚ نقل هذا الفضاء إلى المسند.
- ✚ تكاثف هذا الفضاء على المسند إما مباشرة أو بواسطة تفاعل كيميائي أو كهروكيميائي لتشكيل العينة المطلوبة.

4-I- آلية تشكيل الأغشية الرقيقة

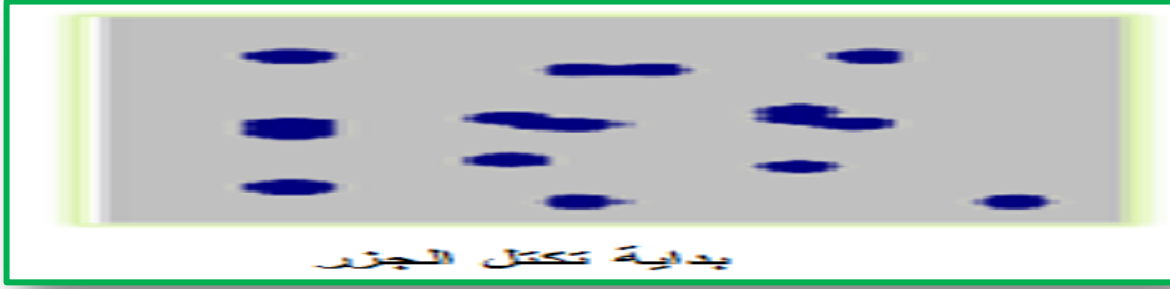
عند تكثيف المواد المترسبة على المسند تحدث المراحل الثلاث الآتية:

1-4-I- مرحلة التنبوة

عندما تسقط ذرات الهدف المراد ترسيبه فوق المسند فإنها تفقد ما فيه الكفاية من الطاقة الحركية حتى تستطيع أن تستقر على سطح هذا المسند [6]. وتتكاثر هذه الذرات مع بعضها البعض لتكون لنا ما يعرف بالجزر وهذا ما يسمى بعملية التنبوة (أنظر الشكل (1-1)).

**المطل 1-I: مخطط التنبوة للأغشية الرقيقة [7].****2-4-I- مرحلة الالتصاق**

بزيادة تدفق الذرات تبدأ الجزر في التكتل مع بعضها البعض لتشكل ما يعرف بمجموعات الجزر وهذا ما يبينه الشكل (1-2) ويمكن تسريع الالتصاق عن طريق زيادة الحركة السطحية للذرات الممتصة، على سبيل المثال زيادة درجة حرارة المسند [8،9].



الشكل I-2، مخطط النماء الأنحيمية الرقيقة [7].

I-3-4- مرحلة النمو

في هذه المرحلة وبعد تكون مجموعات الجزر، وباستمرار عملية الترسيب تلتحم الجزر فيما بينها لتشكل طبقة مستمرة رقيقة على سطح الشريحة منقسمة إلى عدة حجات يفصل بين الجزر ما يسمى بالحدود [10]. (الشكل (I-3)).



الشكل I-3، مخطط نمو الأنحيمية الرقيقة [7].

يتم نمو الأغشية الرقيقة من خلال ثلاثة أنواع [11]:

1. النوع ثنائي البعد (2D): ويسمى بالنمو فرانك فاندرومارف (Frank-Van der Merwe) ويتم

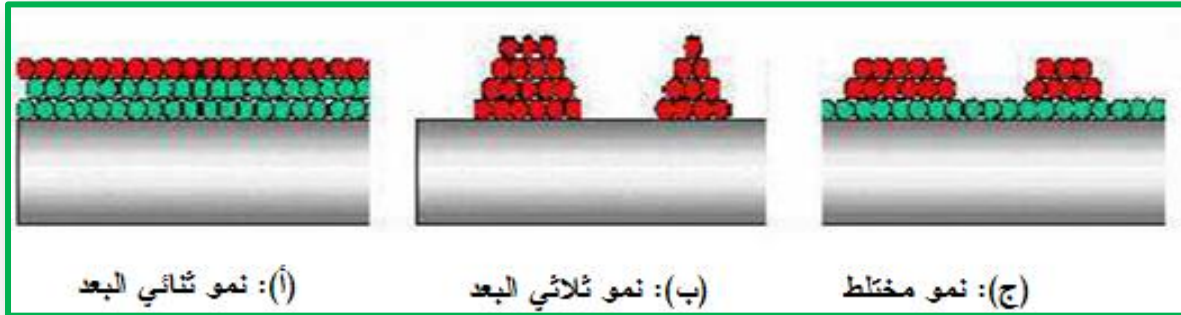
فيه إنتاج طبقة كاملة تغطي سطح المسند، كما يوضحه الشكل (I-4(أ))، وهو النوع المفضل للنمو لأن الروابط بين ذرات الركيزة أقوى من روابط الذرات المرسبة.

2. النوع ثلاثي البعد (3D): أو ما يسمى نمو فولمير-ويبر (volmer -weber) وفيه يتم نمو

الجزر (انظر الشكل (I-4(ب))).

3. النوع المختلط (2D, 3D): ويسمى بنمو سترنسكي-كريستانوف (Stranski-Krastanov) وهو

عبارة عن مزيج لنوعي النمو السابقين، حيث يكون النمو خلال المراحل الأولى ثنائي الأبعاد ويصبح بعد ذلك ثلاثي الأبعاد كما هو مبين في الشكل (I-4-ج).



I-4: أنواع نمو الأغشية الرقيقة [11].

I-5- العوامل المؤثرة على عملية تحضير الأغشية الرقيقة

نختصر العوامل المؤثرة على عملية تحضير الأغشية الرقيقة، والتي تنعكس على الخصائص الفيزيائية للعينات المحضرة في:

1. ضغط وطبيعة الغازات المتبقية في غرفة التبخير وعلاقة ذلك بنقاوة الغشاء المرسب.
2. درجة حرارة التبخير وعلاقتها بالطاقة الحركية التي تحملها الذرات المتدفقة.
3. سرعة الترسيب وعلاقتها بكثافة الذرات وسرعة نمو الجزر وعلى سرعة التحام الحبيبات.
4. نوع مادة المسند وتركيبها الجزيئي.
5. درجة حرارة المسند وتأثيرها على حركة الذرات المترسبة.

I-6- تعريف الحبيبات و الحجم الحبيبي

إن الغشاء الرقيق الذي سيترسب على المسند هو ناتج من عملية تبخير المادة المراد تحضيرها بهيئة هذا الغشاء الرقيق، وعليه فإن عملية نمو هذا الأخير على الركيزة لن يكون كطبقة ذرية مستمرة للوهلة الأولى، بل سيمر بمراحل تبدأ بعملية تبخير المادة المراد ترسيبها، مروراً بعملية تكاثف عدد قليل من ذرات المادة على المسند، ومن ثم تبدأ عملية التتوي بتجمع عدة ذرات في مكان واحد ما يؤدي إلى تشكل البلورات

الصغيرة وهذا ما يعرف باسم الحبيبات، اتجاهات نموها عشوائية إذا ما تم نموها على مسند غير بلوري، في حين أنها تتخذ اتجاه محدد إذا كان المسند أحادي التبلور، وهذا ما يعطينا فكرة أن نوع الغشاء المستخدم يؤثر على نوع واتجاه الحبيبات الناتجة. وبالتالي نستطيع القول أن ظروف الترسيب تؤثر بصورة كبيرة على حجم و معدل تكوين الحبيبات.

I-7- العوامل المؤثرة على تكوين و حجم الحبيبات

I-7-1- طريقة التحضير

تعتبر طريقة تحضير الأغشية الرقيقة من أحد العوامل المؤثرة على نوعية وبنية الحبيبات المتكونة وبالتالي على نوعية العينة الناتجة، إذ أنه عند تحضير نفس العينة بعدة طرق لا نحصل على نفس الصفات الفيزيائية، لذا يجب اختيار الطريقة التي تساعدنا للحصول على عينة مناسبة حسب التطبيق المناسب لها.

I-7-2- نوع المسند المستخدم

نوع المسند من العوامل الهامة التي تلعب دورا كبيرا في تشكيل الحبيبات، لذا فإن اختياره يبنى على أساس الخصائص الفيزيوكيميائية للثنائية (مسند - غشاء رقيق) ومنه نتبع الشروط التالية لاختياره:

1- يجب أن يكون ثابت الشبكة البلوري لكل من المسند والمادة المراد ترسيبها على شكل غشاء

بالقريب متساويان لكي لا يحدث تشوه في العينة المشكلة سببه الفارق في قيمة البعد الشبكي.

2- يجب أن يكون التصاق الغشاء مع المسند جيد، ويحدث عندما يكون كل من الطاقة السطحية

للمسند والغشاء متناسبان بشكل يجعل طاقة الالتصاق بينهما موجبة.

3- يجب أن تكون المسافة بين المسند ومادة الهدف مناسبة للترسيب، وهي تتناسب عكسيا مع حجم

الحبيبات الناتجة، ومن ثم على السمك المراد ترسيبه.

I-7-3- درجة الحرارة

1- درجة حرارة التبخير يجب أن تكون أقل من درجة حرارة انصهار مادة المسند لكي لا يذوب هذا

الأخير ويؤثر في بنية سطح العينة الناتجة.

- 2- تلعب درجة حرارة المسند دورا مهما في عملية تكاثف بخار المادة المرسبة، من خلال سيطرتها على الحركة السطحية لذرات تلك المادة وبالتالي على موضع تكوين الحبيبات وحجمها.
- 3- درجة حرارة المسند يجب أن تكون مناسبة لتموضع ذرات مادة الهدف بحيث لا تكون مرتفعة جداً حتى لا تتسبب في تبخر الذرات مرّة أخرى، ولا تكون منخفضة جداً كي لا تعرقل توزيع الذرات بشكل متجانس.

I-7-4- سرعة الترسيب

تختلف سرعة ترسيب الأغشية الرقيقة باختلاف طرق الترسيب، وتسمح السرعة المنخفضة بالتحكم في عدد الذرات المرسبة وبالتالي على نوعية الحبيبات المتكونة والتي تؤثر في بنية الأسطح في العينة الناتجة.

I-7-5- نوعية الطبقة العازلة

في غالب الأحيان يكون هناك اختلاف كبير بين ثابت الشبكة البلوري للغشاء الرقيق المخصص للدراسة والمسند، لذلك يجب الاستعانة بطبقة رقيقة أخرى تسمى بالطبقة البينية، تقوم بتعزيز التصاق الغشاء بالمسند، وتساعد على الحصول على تبلور جيد لذرات الغشاء وعلى حجم الحبيبات، وبالتالي تحسين الخصائص الفيزيائية للعينة الناتجة، ويشترط في نوع الطبقة العازلة (البينية)، أن يكون عدم الانتظام الشبكي بين المادة العازلة وكل من الغشاء المرسب والمسند أقل ما يمكن.

I-7-6- خشونة السطح

هي عبارة عن التضاريس التي تظهر على سطح العينات المحضرة والتي تكون على شكل خدوش أو تشققات بحيث لا تأخذ شكل هندسي مثالي، ويرجع ظهورها إلى عدّة أسباب منها: اختلاف درجة حرارة التبخير للذرات المرسبة يؤدي إلى اختلاف سرعة ترسيب الذرات، الفارق في البعد الشبكي بين المادة المرسبة والمسند يؤدي إلى حدوث تصدعات خلال النمو.

I-7-7- الإجهاد

إن عملية نمو الغشاء الرقيق على المسند تتم بتكون طبقة رقيقة مستمرة على هذا الأخير، وكما ذكرنا سابقا فإن هذه العملية تتكون من تلاحم الحبيبات بعضها ببعض، ويحدث هذا باستمرار تدفق الذرات المبخرة من المادة المراد ترسيبها، وملئ الثقب والمسامات التي كانت بينها، ولكن هذا الاستمرار بالتدفق يزيد من احتمالية التحولات في الطور للمادة المرسبة، وبالتالي احتمالية نشوء الإجهاد الداخلي مما يزيد من فرصة حدوث التشققات في الغشاء الذي يؤدي إلى انبعاجه وتقرشه من على المسند. وكننتيجة لذلك يحدث تباين في الخصائص البنيوية، ويتكون الإجهاد الداخلي من مركبين: ينتج الأول من اختلاف معامل التمدد الحراري بين الغشاء والقاعدة (المسند) وهو ما يعرف باسم الإجهاد الحراري، والذي تزيد قيمته كلما كان معامل التمدد الحراري للمادة المرسبة أو الغشاء الرقيق أكبر من معامل التمدد الحراري للمسند، أما الثاني فهو ناتج من زيادة سرعة الترسيب يسمى بالإجهاد الذاتي [12].

I-8- تطبيقات الأغشية الرقيقة

تعددت استخدامات الأغشية الرقيقة إلى عدة مجالات، ونصنف بعضها منها في الجدول (I-1) التالي:

المجال	أمثلة
الضوئي	تستعمل كطلاء مضاد للانعكاس في العدسات، تستخدم في الكاشف والخلايا الشمسية .
الكيميائي	لمنع الانتشار والوقاية من التآكل.
الميكانيكي	تعمل على تخفيض الاحتكاك، تساعد على الالتصاق، زيادة الصلادة، المقاومات الميكانيكية.
المغناطيسي	تستخدم كأقراص صلبة، أجهزة الذاكرة المغناطيسية.
تكنولوجيا أنصاف النواقل	في الدوائر المتكاملة.
علوم المواد	تركيب أطوار جديدة.
الطبي	أجهزة الاستشعار العصبية، عملية الزرع.
الإلكتروني	تستخدم كمقاومات، ترانزستورات، مكثفات، الاستشعار الكهروضوئي، كاشف للأشعة السينية والأشعة تحت الحمراء [13].

الجدول (I-1): تصنيف بعض تطبيقات الأغشية الرقيقة [14].

I-9- الاستنتاج

تطرقنا في هذا الفصل إلى التعرف الوجيز على ماهية الأغشية الرقيقة وطرق ترسيبها والعوامل المؤثرة على طرق تحضيرها، كما تطرقنا إلى تعريف حجم الحبيبات والعوامل المؤثرة على هاته الأخيرة مثل نوع الطبقة البينية المستخدمة، وهو صلب موضوع دراستنا في هذا العمل المقدم والذي له التأثير الكبير على الخصائص البنيوية للعينات الناتجة، ولقد لخصنا كذلك بعض التطبيقات التي تستخدم فيها الأغشية الرقيقة.

الفصل الثاني

II-1- المقدمة

إن طبيعة المادة المرسبة في هيئة أغشية رقيقة تعددت أشكالها وطبيعتها بين: أنصاف نواقل، عازل، معادن، بوليمرات، أكاسيد، سبائك وكربيدات. وبطبيعة الحال لكل شكل من الأشكال تطبيقه المحدد في مجالات مختلفة. وبالتالي فإن طريقة التحضير لن تكون نفسها لجميع هذه الأشكال، لأنه لكل طريقة مميزات خاصة بها من حيث الدقة في تحديد السمك وتجانس الغشاء. وعليه نستطيع استنتاج أن أي طريقة تحضير للأغشية الرقيقة هي الخطوة الحاسمة لأي عملية دراسة لهذه الأخيرة، حيث أنها تتحكم في الخواص الفيزيائية للعينة الناتجة، ولهذا فمن المهم اختيار طريقة التحضير الملائمة والأنسب لنوع التطبيق المطلوب [15].

ومن هنا فقد تعددت طرق تحضير الأغشية الرقيقة بين طرق فيزيائية وأخرى كيميائية وتطورت مع التطور العلمي والتكنولوجي لتطبيقاتها.

II-2- الطرق العامة لترسيب الأغشية الرقيقة

تنقسم طرق تحضير الأغشية الرقيقة إلى فئتين كبيرتين: الطرق الفيزيائية (PVD) تستخدم عموماً في البحث العلمي ومنها ما يتم عن طريق التبخير مثل طريقة التنفيد الجزئي الموجه (EJM) والتي استعنا بها لتحضير العينات المدروسة في هذا العمل، والطرق الكيميائية، مثل التبخير بالطور الكيميائي (CVD) والتي تستعمل في الصناعة بسبب مردودها الجيد (سرعة الترسيب عالية جداً). وفي مجال الأغشية الرقيقة المغناطيسية، نحن بحاجة إلى ترسيبها بسمك صغير جداً، وهذا من السهل تحقيقه بالطرق الفيزيائية. حيث في هذا المجال تستخدم ثلاثة تقنيات هي: الرش المهبطي، الترسيب بالتنفيد الجزئي الموجه والاستئصال الليزري [16].

II-3- العوامل المتبعة لاختيار طريقة ترسيب الأغشية الرقيقة

اختيار تقنية ترسيب الأغشية الرقيقة يعتمد على عدة عوامل من بينها:

✚ طبيعة المادة المرسبة.

✚ شكل ونوع المسند المستخدم.

✚ سرعة الترسيب المطلوبة.

✚ قوة التصاق الغشاء بالمسند.

✚ نقاء المادة المستعملة.

II-4-4- التقنية المستخدمة في تمضير العينات

في عملنا هذا، العينات حضرت بطريقة التنضيد الجزيئي الموجه (EJM) مما لها من مزايا تساعد على إنتاج عينات ذات جودة عالية، وسوف نتعرض لها بالتفصيل في الفقرات التالية.

II-4-1- أهمية التنضيد الجزيئي الموجه

كلمة التنضيد الفوقي أصلها يوناني وتعني "épi" - فوق و "taxie" - النظام، اقترحت في الثلاثينات من قبل العالم الفرنسي "L. Royer" وتشير لتجاور أو نمو منتظم لنوعين من البلورات. والتنضيد الفوقي نوعان: نمو متماثل التنضيد (homo-épitaxie) ويحدث عندما تكون المادة المترسبة والركيزة متماثلتان مثل (MgO/MgO...)، أما إذا كانتا مادتي المسند والغشاء المرسب مختلفتين، فإننا نتكلم عن التنضيد المغاير (hétéro-épitaxie)، كما هو الحال في العينات المدروسة في عملنا هذا حيث لدينا نوعين من المواد المرسبة فوق بعضها مثل (Fe//MgO)، (Fe//Ag)، (Ag//Cr) و (Cr//MgO) [18,17].

II-4-2- مبدأ التنضيد الجزيئي الموجه

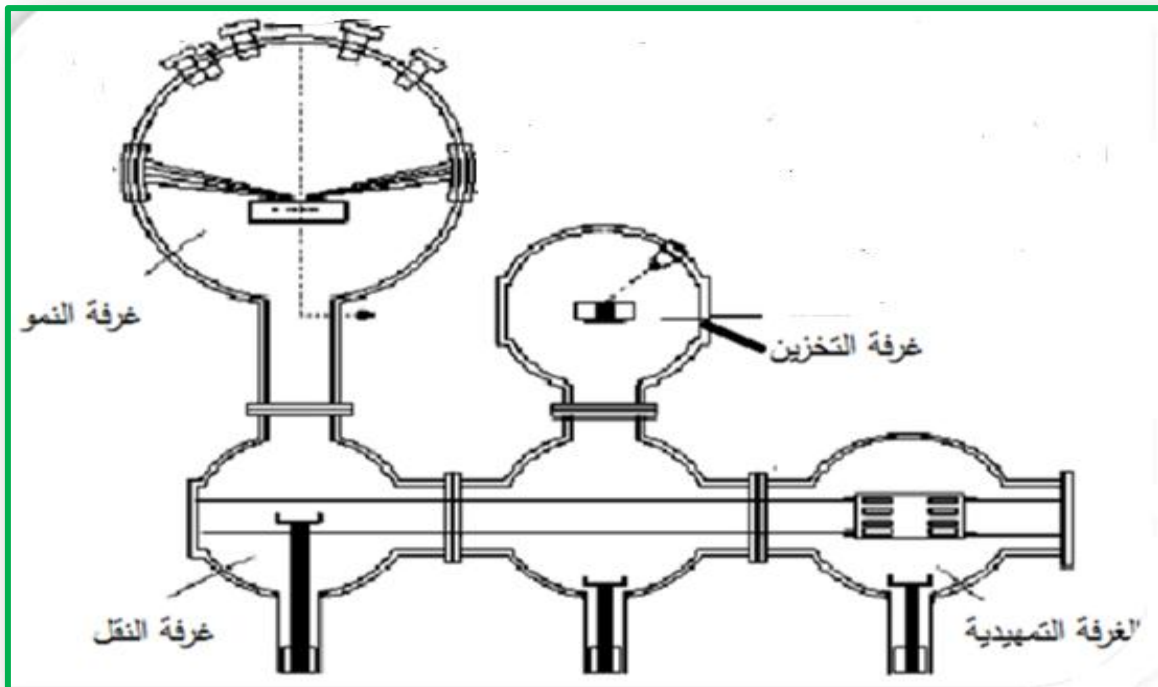
مبدأ الترسيب بتقنية التنضيد الجزيئي بسيط جدا، ويعتمد على تبخير المواد المراد ترسيبها تحت الفراغ الفائق (10^{-11} torr)، إما بواسطة التسخين بتأثير جول، أو عن طريق القذف الإلكتروني، وبفضل هذا الفراغ الفائق ينتج تدفق اتجاهي لهذه الذرات فتتحرك وفق خط مستقيم دون أن تصطدم بأي حاجز إلى أن تصل إلى مادة المسند المستخدمة، وهذا هو الدافع الذي يجعلنا نتحدث عن التنضيد الجزيئي أو الذري الموجه.

تقنية التنضيد الجزيئي تحت الفراغ تسمح بترسيب أغشية رقيقة من معظم المواد سواء أكانت أنصاف ناقلة، معادن أو حتى عوازل بواسطة التفاعل بين سطح المسند والحزمة الجزيئية أو الذرية وبسرعات

منخفضة ومن رتبة طبقة واحدة لكل ثانية (IMC/S)، مما يساعد على انتشار جيد لذرات المادة المترسبة ويسمح بتكوين أسطح ملساء ذات نوعية جيدة خالية من التضاريس الخشنة [17-19].

II-4-3- وحدة هيكل تقنية الترسيب الجزئي الموجه

يحتوي هيكل تقنية الترسيب الموجه بالقذف الجزئي على أربعة غرف كما هو موضح في الشكل (II-1): تتجلى الأولى في الغرفة التمهيدية، يقدر الضغط فيها 10^{-8} torr وتتمثل وظيفتها في إدخال وإخراج المساند، أما الثانية تسمى غرفة التخزين والتي يتم فيها حفظ العينات الناتجة، بالإضافة إلى غرفة النمو والتي تحتوي على حامل فائق الفراغ ينخفض الضغط فيها إلى 10^{-11} torr وذلك باستخدام عدة مضخات مثل المضخة الدوارة والمضخة الأيونية ومضخة التبريد حيث تحوي هذه الأخيرة على النيتروجين السائل المبرد إلى درجة 77 كلفن حتى يسمح بتبريد الغرفة، وأخيرا غرفة النقل وتستخدم للعزل بين غرفة النمو وباقي الغرف [20].



الشكل II-1، هيكل تقنية الترسيب الجزئي الموجه [17].

II-4-4-4- مزايا تقنية التخصيد الجزئي الموجه

✚ الترسيب تحت الفراغ يقلل من دمج الشوائب في العينة الناتجة.

✚ سرعة الترسيب الضعيفة تساعد على المراقبة الجيدة لسمك الطبقات المترسبة [21].

II-5-5-5- طريقة دراسة الخصائص البنيوية للأشعة الرقبة

لدراسة الخصائص البنيوية للعينات الناتجة، استخدمنا تقنية انعراج الأشعة السينية.

II-5-5-1- تعريف الأشعة السينية

هي عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية يتراوح طولها الموجي من 0.1Å إلى 100Å ، وتنتج داخل أنبوب مفرغ من الهواء جراء قذف هدف مصنوع من مادة معدنية بالكترون مسرع تحت فرق جهد كهربائي عالي.

II-5-5-2- مبدأ عمل طريقة انعراج الأشعة السينية

يتم انعراج الأشعة السينية عند انعكاسها على المستويات الشبكية التي تحتوي على عدد من الذرات المكونة للبلورة (انظر الشكل (II-2))، بحيث جزء من الأشعة ينعكس والجزء الآخر يُكمل طريقه لينعكس على أسطح أخرى [22]. حيث وضع العالم براغ قانونه بناءً على وجود فرق مسير متساوي للأشعة الساقطة والمنعكسة وهو $d \sin \theta$ حيث فرق المسير الكلي مساو لعدد صحيح من الأطوال الموجية ووصفه بالعلاقة التالية [23]:

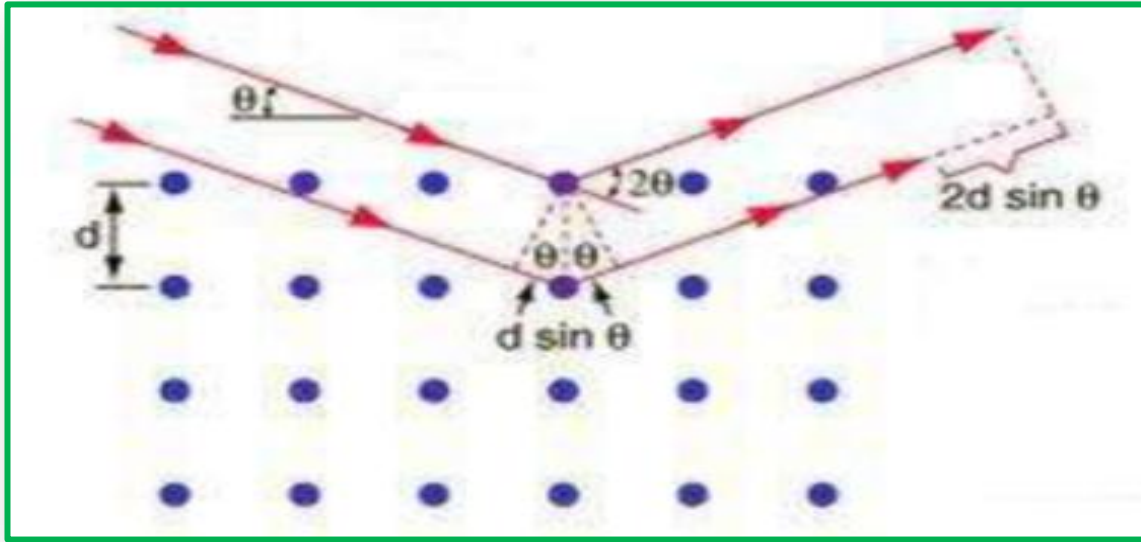
$$2d \sin \theta = n\lambda \dots \dots \dots (II - 1)$$

θ : زاوية براغ.

λ : الطول الموجي للأشعة السينية.

d : المسافة بين مستويين متتاليين في البلورة.

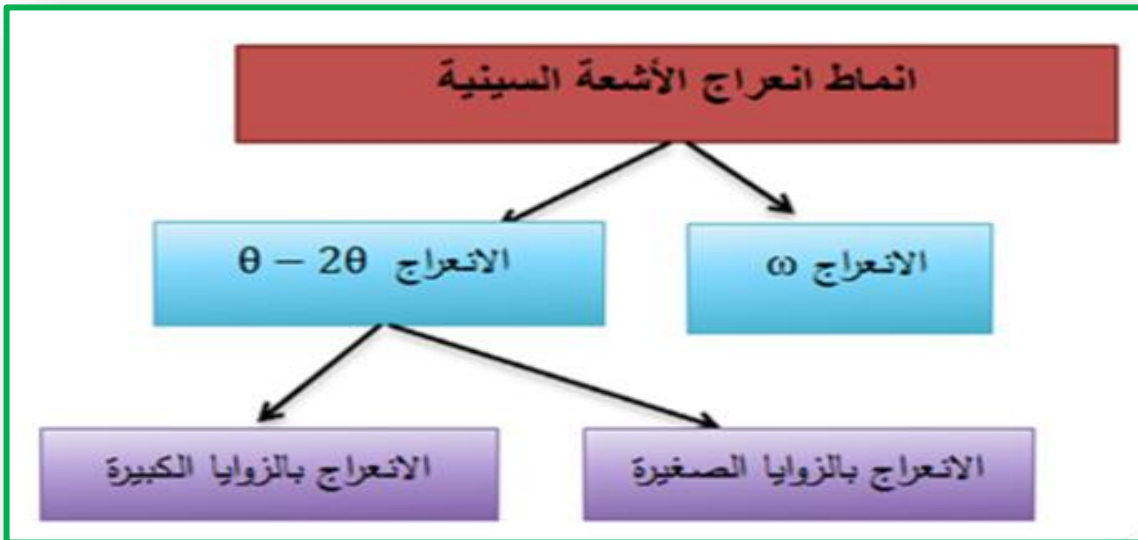
n : عدد صحيح موجب ويمثل مرتبة المستوي الذي يحدث فيه الانعراج.



الشكل II-2: مخطط يوضح انعكاس الأشعة السينية [24].

II-3-5- أنماط انعراج الأشعة السينية

يوجد نمطين من انعراج الأشعة السينية كما هو موضح في الشكل (II-3):



الشكل II-3: مخطط يوضح أنماط انعراج الأشعة السينية.

نحيط علما انه في هذا العمل سوف نهتم فقط بالانعراج $\theta - 2\theta$ عند الزوايا الكبيرة، وهو النمط الذي فيه تدور العينة حول محورها العمودي بسرعة زاوية θ ، والكاشف الذي يسجل شدة الانعكاس يدور بسرعة 2θ ويكون شعاع التشتت دوما عمودي على العينة.

ولقد خصصنا دراستنا على الانعراج بالزوايا الكبيرة ($2\theta = 30^\circ - 75^\circ$)، والذي يسمح لنا طيفه من استخراج العديد من الخصائص البلورية، مثل البعد الشبكي، الحجم الحبيبي، والتي سنوضح باختصار كيفية حسابها في النقاط الآتية:

II-3-5-1- البعد البلوي وثابت الشبكة

يمثل ثابت الشبكة المسافة البينية لمستويين يحتويان على نفس النوع من الذرات ويرمز له بالرمز a ، ويتم حساب قيمته بعد معرفة قيمة البعد البلوي من خلال قانون براغ الموضح في العلاقة (II-1). بمقارنة زاوية براغ مع ملف **A.S.T.M** نجد معاملات ميلر ومنه يمكن حساب ثابت الشبكة من خلال العلاقة (2- II) التالية [26،25]:

$$a^2 = \frac{\lambda^2(h^2 + k^2 + l^2)}{4\sin^2\theta} \dots \dots \dots (II - 2)$$

II-3-5-2- عدم الانتظام الشبكي

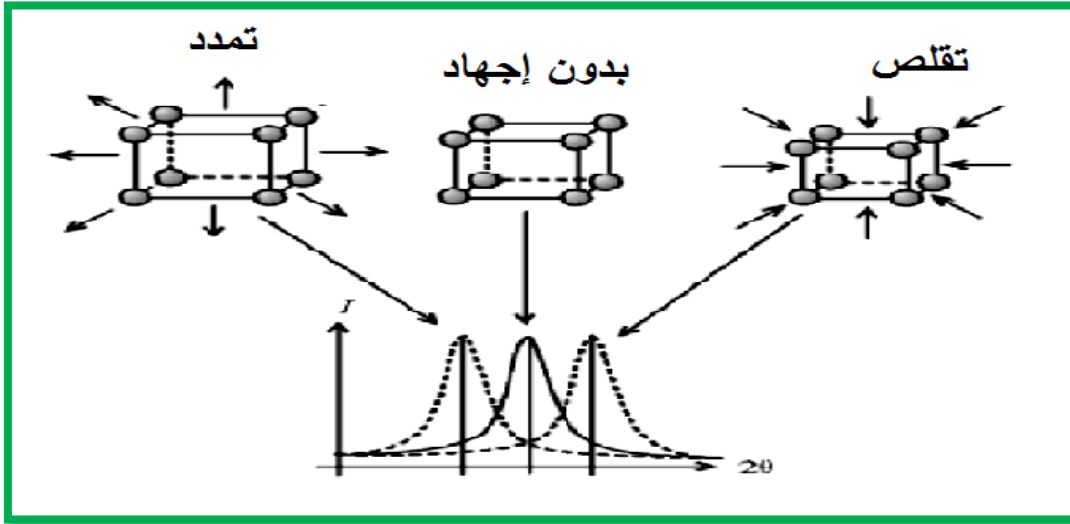
نعتبر في التنضيد الجزيئي الموجه، لدينا مادة A مكعبة، ثابت شبكتها a_A ، موضوعة على مادة B مكعبة أيضا ثابت شبكتها a_B . فإن عدم الانتظام الشبكي A/B يقاس من خلال علاقة فرانك و فاندرومارف

(Frank et Van der Merwe) (II-3) [17،27].

$$\Delta a/a = (a_A - a_B)/a_B \dots \dots \dots (II - 3)$$

II-3-5-3- الإجهاد

من خلال مخطط انعراج الأشعة السينية عند الزوايا الكبيرة نستطيع استنتاج إذا ما كان هناك إجهاد في العينات الناتجة وذلك عن طريق مقارنة القيم النظرية لقمم حواف براغ والقيم التجريبية: فإذا كان هناك انزياح في موضع الزوايا النظرية إما بالزيادة أو بالنقصان فإنه يدل على تواجد نسبة من الإجهاد داخل طبقات العينة الناتجة (انظر الشكل (II-4)).



العزل II-4: تأثير الإجهاد خلال نمو الطبقات على مواقع حافة براغ لطيف الأشعة السينية.

II-5-3-4- مجو الحبيبات

إن قياس عرض نصف ارتفاع منحنى الانعراج يسمح باستخراج حجم الحبيبات باستخدام علاقة شرار

التالية (العلاقة II-5) [28].

$$D_{(nm)} = 0.9\lambda / \beta \cos\theta \dots \dots \dots (II - 5)$$

λ : طول موجة حزمة الأشعة السينية المستخدمة قيمتها 1,54056Å

II-6-6- كيفية تحضير العينات

حضرت العينات المدروسة في هذا العمل من طرف البروفيسور الدكتور شمام فيصل في مخبر فيزياء

الجسم الصلب والمغناطيسية (VSM) في جامعة لوفن (Leuven) البلجيكية.

II-6-1- تحضير المسند

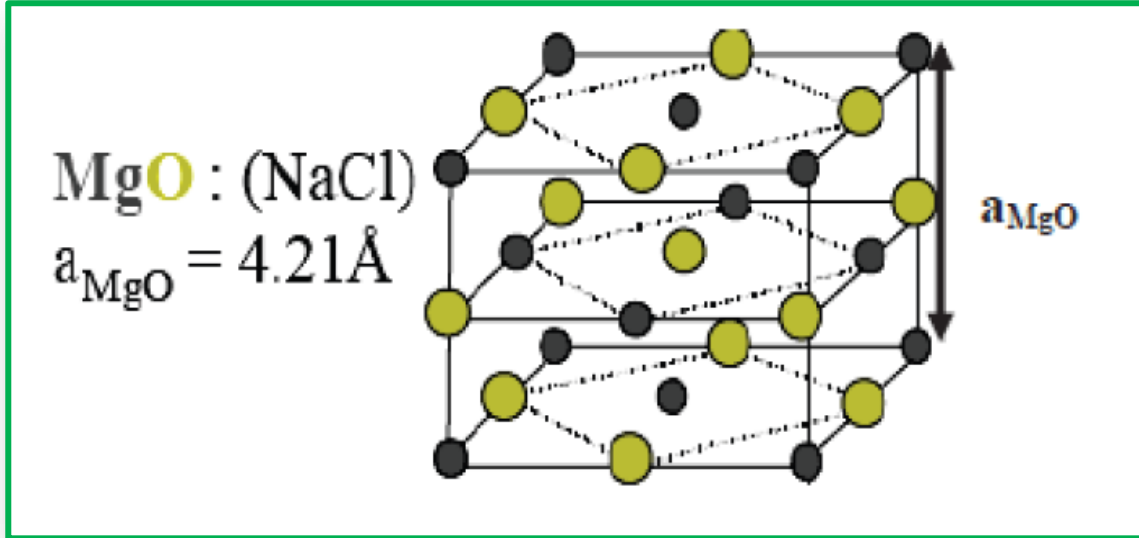
المسند عبارة على أوكسيد المغنيزيوم MgO الصناعي أحادي التبلور بأبعاد $15 \times 15 \text{mm}^2$ المصقول

على المستوى (001). وهو بلورة مكعبة من النوع NaCl كما هو مبين في الشكل (II-5). ثابت الشبكة

النتيجة هو $a_{\text{MgO}} = 4,213 \text{Å}$. ولقد اخترنا هذا المسند لسهولة تحضيره وتنظيفه وكذلك صغر قيمة عدم

التباين الشبكي بينه وبين كل من الفضة والكروم المترسبة عليه [29-31].

تم تنظيف المسند بواسطة بروبانول-2 وجفف بغاز الآزوت قبل إدخاله في الغرفة التمهيدية لتقنية التنضيد الجزيئي الموجه. ثم خضع هذا الأخير لمعالجة حرارية لمدة 20 دقيقة عند درجة حرارة 600°C تحت فراغ 10^{-7} torr لغرض إزالة الشوائب على السطح.



المحل II -5، مخطط توضيحي، لبلمرة أوكسيد المغنيزيوم [32].

II-6-2-2 - كيفية ترسيب الطبقات

جميع الطبقات المترسبة كالحديد (Fe)، الفضة (Ag) والكروم (Cr) تم تحضيرها تحت الفراغ برتبة 10^{-10} Torr وعند درجة حرارة الغرفة.

II-6-2-1 - ترسيب الطبقة البينية (75Å) / Cr (Å) / t_{Ag}

تتكون الطبقة البينية من طبقة الكروم ذات سمك ثابت 75Å وطبقة الفضة سمكها يتراوح بين 50Å و 150Å.


أ- ترسيب طبقة الكروم

يعتبر الكروم مادة مغناطيسية له بنية مكعبة مركزية الحجم ثابت شبكتها $a=2.89500\text{ Å}$ ، تم ترسيبه باستخدام التبخير بالقذف الإلكتروني وهذا راجع لدرجة انتشاره العالية، تحت فرق كمون 10.6 كيلو فولط وتيار شدته 1.3 أمبير، سرعة الترسيب هي 0.3 Å/s .

ب- ترسيب طبقة الفضة

هي مادة ذات بنية مكعبة ممرزة الأوجه ثابت شبكتها $a=4.0862\text{\AA}$ ، تم استخدامها لأن ثابت شبكتها من رتبة ثابت شبكة المسند وبالتالي تساعد على نمو أحادي الاتجاه لطبقة الحديد وعلى تحسين نمو العينات وهذا في حالة ترسيبها تحت طبقة الحديد أما عند ترسيبها فوق طبقة الحديد فإنها تحافظ عليها من التأكسد، حيث تم تبخيرها باستعمال تأثير جول بسرعة ترسيب 1\AA/s .

II-2-6-2- ترسيب طبقة الحديد

الحديد هو مادة مغناطيسية متبلورة في شكل بنية مكعبة ممرزة الحجم ثابت شبكتها $a=2.8665\text{\AA}$ ، له درجة انتشار عالية لذا تم ترسيبه عند سمك ثابت (300\AA) باستخدام القذف الالكتروني بسرعة 0.3\AA/s  تحصلنا على 4 عينات يمثل سمك الطبقة البينية الفرق الوحيد بينهم، وهو السبب الجوهرى الذي أدى إلى تباين في الخصائص البنيوية والذي نسعى إلى دراسته ويمثل الشكل (II-6) تخطيط توضيحي للعينات التي استخدمنا لها الصيغ المبينة أسفله للتفريق بينها ولتسهيل الدراسة في الفصل الثالث:

العينة الأولى E_1 : $\text{Ag}(20\text{\AA})/\text{Fe}(300\text{\AA})//\text{MgO}(001)$

العينة الثانية E_2 : $\text{Ag}(20\text{\AA})/\text{Fe}(300\text{\AA})/\text{Ag}(50\text{\AA})/\text{Cr}(75\text{\AA})//\text{MgO}(001)$

العينة الثالثة E_3 : $\text{Ag}(20\text{\AA})/\text{Fe}(300\text{\AA})/\text{Ag}(100\text{\AA})/\text{Cr}(75\text{\AA})//\text{MgO}(001)$

العينة الرابعة E_4 : $\text{Ag}(20\text{\AA})/\text{Fe}(300\text{\AA})/\text{Ag}(150\text{\AA})/\text{Cr}(75\text{\AA})//\text{MgO}(001)$



المطل II-6، مخطط توضيحي للعينات الناتجة.

II-7 - الاستنتاج

قدمنا في هذا الفصل شرح مبسط لتقنية الترسيب الموجه بالقذف الجزيئي، والتي استخدمناها لترسيب جميع الطبقات الرقيقة المكونة للعينات الأربعة الناتجة في درجة حرارة الغرفة وتحت الفراغ الفائق على مسند أحادي التبلور لأكسيد المغنيزيوم، ولقد عرضنا بطريقة مبسطة كل من مبدأ انعراج الأشعة السينية، وكيفية حساب كل من الخصائص البنيوية المدروسة في هذا العمل، كما لم ننسى توضيح كيفية تحضير العينات الأربعة والذي كان الفرق الوحيد بينهم هو سمك الطبقة البنيوية المكونة من الكروم و الفضة.

الفصل الثالث

III-1- المقدمة

خصصنا هذا الفصل لمناقشة النتائج التجريبية المتحصل عليها بتقنية انعراج الأشعة السينية لمعرفة تأثير سمك الطبقة البينية ($t_{Ag}(\text{Å})/Cr(75\text{Å})$) على الخصائص البنيوية للعينات الأربعة: E_1, E_2, E_3, E_4 ومن بين الخصائص البنيوية المدروسة نخص بالذكر: البعد البلوري والحجم الحبيبي لطبقة الحديد، ولهدف تبسيط الدراسة، سنستخدم أسلوب المقارنة بين النتائج المتحصل عليها من كل عينة من العينات الأربعة المحضرة، لاستنتاج مدى تأثير الطبقة البينية على الخصائص البنيوية للأغشية الرقيقة.

III-2- تحليل طيف انعراج الأشعة السينية عند الزوايا الكبيرة

الشكل (III-1) يبين مخططات انعراج الأشعة السينية عند الزوايا الكبيرة للعينات الأربعة المدروسة، أين نلاحظ في هذه المخططات:

✚ ظهور قمم براغ للشبكات البلورية MgO, Cr, Ag, Fe وفق الاتجاه (200)، مما يدل على أن هناك نمو أحادي التبلور لهذه الشبكات في هذا الاتجاه، كما نلاحظ أيضا أن هناك فرق في قيمة الشدة لحافة براغ لجميع الشبكات المذكورة، وهذا إن دل على شيء، فإنه يدل على أن هناك اختلاف في طبيعة الأسطح للعينات فيما بينها بالرغم من أنها تحتوي على نفس المواد الأولية، ومن الممكن أن يكون هذا الاختلاف راجع إلى التغير في سمك الطبقة البينية، لأنه الفرق الوحيد الموجود في هذه العينات الأربعة.

✚ وبما أن صلب الموضوع في هذا العمل هو دراسة الخصائص البنيوية الخاصة بمادة الحديد، فإننا سنعتمد على طريقة المقارنة بين قيمة شدة حافة براغ لطبقة الحديد المرافقة لمختلف العينات: حيث نلاحظ أنه في العينة الأولى E_1 ، والتي تتميز بعدم تواجد الطبقة البينية فيها تكون شدة حافة براغ للحديد هي $I_1=2591UA$ ، وهي شدة بالتقريب كبيرة القيمة وتدل على انتشار واصطفاف جيد لذرات الحديد فوق المسند، مما أدى إلى نمو جيد لهذه الطبقة دون تواجد تداخل لذراتها داخل ذرات الركيزة، لكن بإدخال الطبقة البينية لتشكيل العينة الثانية والمسماة E_2 ، أين رسبنا 75Å من الكروم فوق المسند عوض الحديد ثم أضفنا 50Å من الفضة قبل ترسيب 300Å من الحديد، تبين في طيف الأشعة لهذه العينة أن هناك تناقص في

شدة حافة براغ لمادة الحديد، حيث تناقصت إلى $I_2=2223UA$ ، وهذا يمكن أن يكون راجع إلى اختلاف في طبيعة السطح البيني، أو إلى زيادة الانتشار الداخلي بين الذرات، حيث أن ذرات الفضة تنتشر في طبقة الكروم لتحاول ملء المستوى البيني الموجود بين هاتين الطبقتين، مما يؤدي أيضا إلى انتشار ذرات الحديد في طبقة الفضة، السبب الذي أدى إلى انخفاض تركيز ذرات الحديد في الاتجاه (200)، ونشوء نوع من الخشونة في الأسطح البينية المتواجدة بين طبقة الحديد و الفضة ، وأدى إلى زيادة امتصاص الأشعة السينية المسلطة. لكن عند زيادة سمك الطبقة البينية وبالأخص سمك طبقة الفضة إلى 100\AA ، في العينة الثالثة أو E_3 ، تناقصت نسبة انتشار الذرات فيما بينها، الأمر الذي أدى إلى تناقص في نسبة خشونة الأسطح والأسطح البينية، أحرز انخفاض في قيمة امتصاص الأشعة السينية وارتفاع في قيمة شدة حافة براغ للحديد حيث وصلت قيمتها في هذه العينة الثالثة إلى $I_3=3772UA$ ، وهذا يدل على تحسن في طبيعة الأسطح الناتجة. وهذا التحسن لوحظ أيضا في العينة الرابعة E_4 ، التي تبلغ فيها قيمة سمك الطبقة البينية 225\AA (75\AA كروم + 150\AA فضة)، وتجلى هذا الأخير في الارتفاع الشديد لشدة حافة براغ لبلورة الحديد أين وصلت إلى غاية $I_4=4036UA$ ، ومن هذا نستنتج أن سمك الطبقة البينية له تأثير كبير على طبيعة سطح الطبقات في العينات المدروسة.

✚ يتبين لنا كذلك من خلال منحنيات الانعراج المقدمة في الشكل (III-1) أن الشبكات البلورية: MgO, Cr, Ag, Fe لجميع العينات، محافظة على نفس الترتيب من حيث ارتفاع في قمة حافة براغ، حيث نجد دائما في منحنى الانعراج أن اكبر شدة لحافة براغ هي المتعلقة بطبقة المسند MgO ، وتليها في الارتفاع حافة الفضة ثم حافة طبقة الحديد لتأتي في آخر الترتيب من حيث الارتفاع قمة براغ للكروم، وهو نفس الترتيب النظري المعطى في ملف **A.S.T.M** والمدون في العلاقة (III-1) [33] التالية :

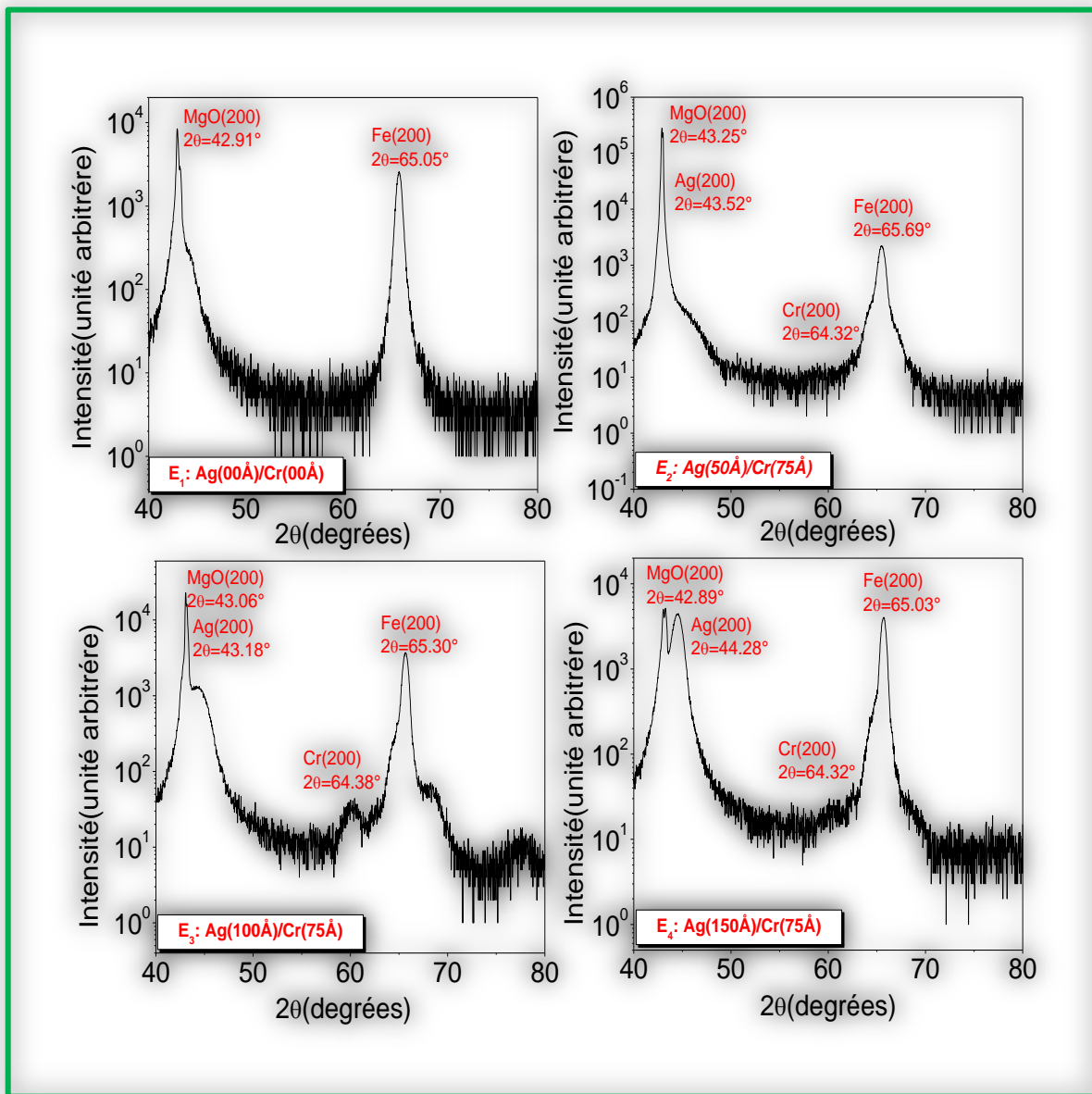
$$I_{MgO} > I_{Ag} > I_{Fe} > I_{Cr} \dots \dots \dots (III - 1)$$

✚ إن ظهور حواف التشويش [17]، والاختلاف في كل من عددها و شدة قممها في طيف الأشعة السينية للعينات الأربعة هو دلالة كذلك على اختلاف في طبيعة هذه الأخيرة: حيث إن ظهور حواف التشويش في الطيف الخاص بالعينة E_1 ، يؤكد على قلة تواجد عيوب نقطية ناتجة من صغر قيمة عدم

الانتظام الشبكي بين الشبكة البلورية لكل من الحديد والمسند MgO، ولكن بنمو الطبقة البينية في العينة الثانية، يتزايد عدم انتظام الذرات المكونة للطبقات أو المستويات البلورية بسبب النمو ثلاثي البعد لهذه الأخيرة، مما يؤدي إلى زيادة قيمة عدم الانتظام الشبكي بين الشبكات البلورية المكونة للعينة E₂ مؤدياً إلى زيادة في تشوه الشبكات البلورية، وبالتالي زيادة في خشونة الأسطح البينية، وهذا ما يقلل من ظهور حواف التشويش في هذه الأخيرة. لكن بزيادة سمك طبقة الفضة إلى 100Å في العينة E₃، تبدأ المستويات البلورية بالامتلاء والتجانس، مما يخفف درجة الانتشار الداخلي للذرات وبداية النمو ثنائي البعد، وبتسليط الأشعة السينية على هذه العينة، تتزايد عدد الانعراجات على المستويات البلورية المتشكلة، ونتيجة لذلك نلاحظ زيادة في عدد حواف التشويش، وبالاستمرار في الزيادة في سمك الطبقة البينية أو بالأحرى سمك طبقة الفضة في العينة E₄، فإن عدم الانتظام الشبكي بين البلورات المكونة للعينة ينخفض بدرجة كافية تساعد على اكتمال النمو ثنائي البعد للطبقات أو النمو طبقة بطبقة، معززا جودة هذه العينة من حيث الخصائص البنيوية، وهذا ما يدعمه البروز الواضح لحواف التشويش في منحنى الانعراج للأشعة السينية الخاص بهذه العينة وكما هو واضح دائما في الشكل (III-1).

من خلال منحنيات الانعراج للأشعة السينية و باستخدام Origin6.0 ، قمنا بإيجاد موضع حواف براغ لكل من الشبكات البلورية (Fe(200)،Ag(200)، Cr(200)،MgO(200) وباستخدام علاقة براغ (II-1) المبينة في الفصل الثاني، استطعنا حساب قيمة البعد البيني لشبكة الحديد، ووضعنا النتائج في الجدول (III-1). و بالمقارنة بين القيم التجريبية والقيم النظرية المعطاة في بطاقة A.S.T.M، تبين أن هناك اختلاف إما بالزيادة أو النقصان في القيم التجريبية بالنسبة للقيم النظرية: ففي العينة E₁، هناك انزياح صغير لجهة اليمين في موضع حافة براغ للحديد، ومن الممكن أن يكون سببه خضوع طبقة الحديد إلى إجهاد من نوع الانضغاط من طرف المسند، لكن هذا الانضغاط لم يؤدي إلى تشوه (تصدعات) في سطح العينة الناتجة ولم يتسبب في تشوه في الشبكة البلورية للحديد، ولم يؤثر حتى على البعد البيني لها، حيث تحصلنا على قيمة تجريبية للبعد البيني قريبة جدا من القيمة النظرية، وهذه النتيجة تؤكد المعلومات المتحصل عليها سابقا، لكن عند إضافة الطبقة البينية في العينة الثانية فإن الانتشار الداخلي بين الذرات المختلفة زاد

من الإجهاد المطبق على طبقة الحديد، محدثا تقلص كبير في بعدها البيني قيمته ($\Delta d=0.013\text{\AA}$) كما تبينه النتائج المدونة في الجدول (1-III)، لكن بالزيادة في قيمة سمك الطبقة البينية في العينة الثالثة، وبداية النمو ثنائي البعد اخفض نسبة انتشار الذرات فيما بينها، وكذلك قيمة الإجهاد المطبق على كل طبقة وهذا ما تؤكد عوده ارتفاع القيمة التجريبية للبعد البيني لمادة الحديد كما هو مبين في نفس الجدول، بالنسبة للعينة E_4 فإن طبقة الحديد تخلصت كليا من الإجهاد المطبق عليها بسبب استرخاء الطبقات الأخرى، والدليل على ذلك القيمة التجريبية للبعد البيني لطبقة الحديد ($d=1.433\text{\AA}$) المساوية للقيمة النظرية.



المثل 1-III: تغيرات الأبعاد البينية للعينة الأربعة E_1, E_2, E_3, E_4 .

العينة	$2\theta_{Fe} (^{\circ})$	$d_{Fe} (\text{\AA})$
E ₁	65.05	1.432
E ₂	65.69	1.420
E ₃	65.30	1.427
E ₄	65.03	1.433
القيمة النظرية	65.019	1.433

الجدول III-1: قيم مواضع حافة براغ والبعد البيئي لهيكل الحديد.

إن النتائج المتحصل عليها إلى غاية الآن بالنسبة لطبقة الحديد تؤكد مدى تأثير سمك الطبقة البينية على الخصائص البنيوية للأغشية الرقيقة، ولتعزيز الدراسة، سنتأكد من تأثير الطبقة البينية على كل من البعد الشبكي والحجم الحبيبي لهذه الطبقة.

III-2-1- تأثير سمك الطبقة البينية على ثابت الشبكة

إن إيجاد زاوية الانعراج لأي شبكة بلورية يسمح لنا بحساب ثابت الشبكة a للبلورة، وذلك بتطبيق العلاقة (II-2) الموضحة في الفصل الثاني، وهذا ما قمنا به لجميع العينات، حيث حسبنا مقدار ثابت الشبكة لمادة الحديد ووضعنا النتائج في الجدول (III-2)، أين نلاحظ أن السمك 125\AA من الطبقة البينية نتج عنه عينة ذات جودة رديئة، حاوية لطبقة حديد ذات ثابت شبكي (2.840\AA)، بعيد كل البعد على القيمة النظرية مقارنة بالعينة E₁، لكن بالزيادة التدريجية لسمك الطبقة البينية، بفارق 50\AA من الفضة في العينة E₃، نتج عنه بداية استرخاء لطبقة الحديد وتحسن تدريجي في جودة هذه الأخيرة، وبالنسبة للعينة E₄، تبين أن سمك 225\AA من الطبقة البينية كان كافياً للاسترخاء الكلي لمادة الحديد و إنتاج عينة ذات جودة عالية بأسطح ملساء خالية من العيوب النقطية وبطبقة حديد ذات ثابت شبكي (2.866\AA) قريبة تماماً للقيمة النظرية، وبالتالي نستنتج أن تغير سمك الطبقة البينية يؤثر على طبيعة وجودة العينات الناتجة.

سمك الطبقة البينية (Å)	$a_{Fe(200)}(\text{Å})$	العينة
00	2.864	E ₁
125	2.840	E ₂
175	2.850	E ₃
225	2.866	E ₄
/	2.866[34]	القيمة النظرية

الجدول III-2: قيم ثابت الشبكة لبلورة الحديد.

III-2-2- تأثير سمك الطبقة البينية على عدم الانتظام الشبكي

استخدمنا العلاقة (III-3) لحساب قيمة عدم الانتظام الشبكي بين طبقة الحديد والمسند لمختلف العينات، ووضعنا القياسات في الجدول (III-3)، أين وجدنا تغير في قيمة عدم الانتظام الشبكي من عينة إلى أخرى وهذا ما يؤكد أن سمك الطبقة البينية له تأثير على الخصائص البنيوية للحديد ويعزز صحة النتائج الموجودة سابقا: حيث يتبين لنا أن قيمة هذا الأخير أكبر ما يمكن في حالة العينة الثانية مؤكدا حالة الإجهاد المطبقة على مادة الحديد والتي أدت إلى تقلص ثابت شبكتها كما تبينه القيمة المتعلقة بهذه العينة والمدونة في الجدول (III-2)، وكما هو ملاحظ في العينة E₃ أن زيادة سمك الطبقة البينية قلل من قيمة عدم الانتظام الشبكي مما يبرهن تحسن في جودة الأسطح الناتجة، أما بالنسبة للعينة E₄ والتي تحتوي على أكبر قيمة من سمك الطبقة البينية، فإن هذا الأخير أدى إلى التخلص من جميع الاجهادات المفروضة على طبقة الحديد وحقق لها الاسترخاء المناسب الذي أعاد قيمة ثابت الشبكة إلى قيمته النظرية .

$(\Delta a/a)_{Fe/MgO}(\%)$	$a_{MgO}(\text{Å})$	العينة
-0.31	4.175	E ₁
-0.22	3.641	E ₂
-0.27	3.90	E ₃
-0.32	4.21	E ₄
-0.32	4.217 [34]	القيمة النظرية

الجدول III-3: القيم التجريبية و النظرية لعدم الانتظام الشبكي بين طبقة الحديد و المسند.

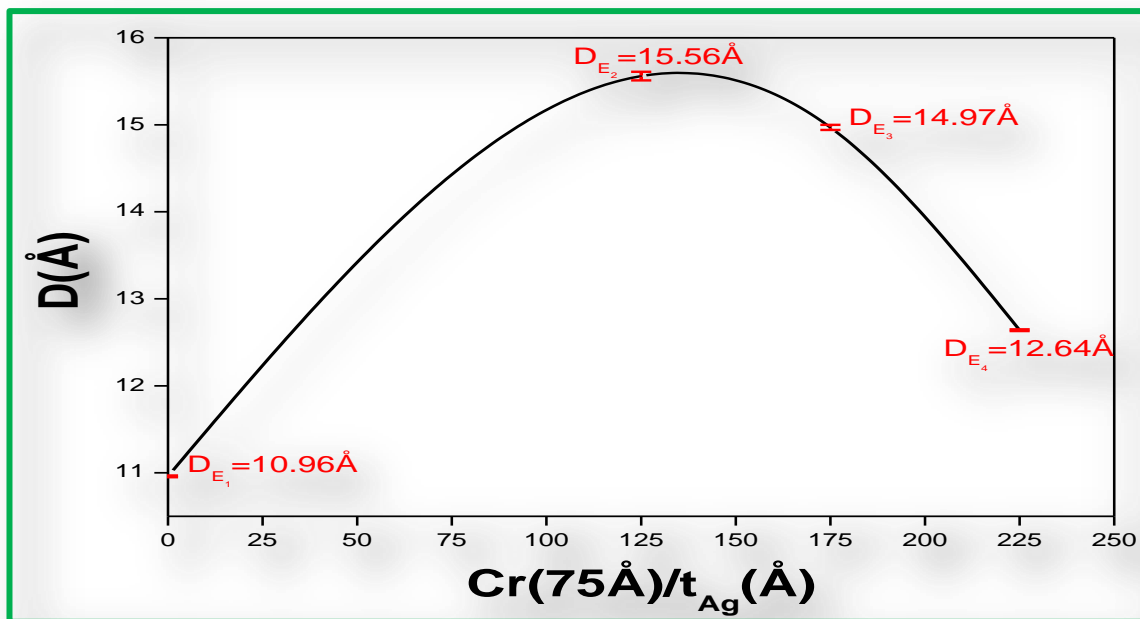
III-2-3- تأثير سمك الطبقة البينية على حجم الحبيبات لطبقة الحديد

للتأكد من النتائج السابقة وجب علينا حساب الحجم الحبيبي لطبقة الحديد لكل العينات كما هو موضح في الشكل (III-2). ابتداء من هذا الأخير، نستطيع ملاحظة أن قيمة حجم الحبيبات لمادة الحديد تتغير بتغير سمك الطبقة البينية التالية ($t_{Ag}(\text{Å})$), ($Cr(75\text{Å})$), حيث تميزت بأقل قيمة لها عند ($D_1=10.96\text{Å}\pm 0.01\text{Å}$) في حالة انعدام تواجد خشونة السطح و الذي ظهر لنا:

أولا عند النمو المباشر لطبقة الحديد فوق المسند وذلك في العينة E_1 ، والذي تجلى لنا، في التبلور الجيد لمادة الحديد في هذه الأخيرة، و بقيمة مثالية لثابت الشبكة.

ثانيا، ظهرت اقل قيمة لحجم الحبيبات عند ($D_4=12.64\text{Å}\pm 0.01\text{Å}$) في العينة E_4 ، والتي تحسنت طبيعتها البنيوية، بإضافة السمك 225Å من الطبقة البينية، السبب الذي أدى إلى انخفاض قيمة عدم الانتظام الشبكي بين مادة الحديد والمسند. على عكس هذه النتائج، تتواجد القيمة العظمى للحجم الحبيبي عند ($D_2=15.56\text{Å}\pm 0.05\text{Å}$) في العينة E_2 ، المتميزة بخشونة كبيرة لسطحها بسبب القيمة العظمى لعدم الانتظام الشبكي.

من هذا التحليل، نستنتج أن سمك الطبقة البينية المتكونة من طبقة الفضة متغيرة السمك و طبقة الكروم ذات السمك الثابت، لها تأثير كبير على الحجم الحبيبي لمادة الحديد.



الجدول III-2: تغير قيمة حجم الحبيبات لطبقة الحديد في ظل عينة بدلالة سمك الطبقة البينية.

III-3- الاستنتاج

لقد قمنا في هذا الفصل بتحليل النتائج التجريبية المتحصل عليها من خلال انعراج الأشعة السينية عند الزوايا الكبيرة، ولقد توصلنا إلى أن العينتين E_1 و E_4 ، الأولى تحتوي على طبقة بينية ذات سمك $(Cr(75\text{\AA})/Ag(150\text{\AA}))$ ، والثانية خالية من تواجد الطبقة البينية، لهما خصائص بنيوية جيدة، تطابقت فيها القيم التجريبية و النظرية، على عكس العينة E_2 ، التي تميزت بطبيعة بلورية رديئة و بحجم حبيبات كبير جدا، بسبب النمو ثلاثي البعد للطبقة البينية والذي اثر على كل من عدم الانتظام الشبكي و البعد البلوري لطبقة الحديد. وهذا ما يعزز أن سمك الطبقة البينية له تأثير جد رائع على الخصائص البنيوية للطبقات من أهمها الحجم الحبيبي لسطح 300\AA من الحديد.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة

درسنا في موضوع بحثنا هذا، الخصائص البنيوية لأربعة عينات E_1, E_2, E_3, E_4 ، وذلك لمعرفة تأثير سمك الطبقة البنية على الخصائص البنيوية لهذه الأخيرة، ولقد ركزنا على حجم الحبيبات لطبقة الحديد ذات السمك الثابت عند 300\AA ، والمترسبة باستخدام تقنية التتضيد الجزئي الموجه عند درجة حرارة الغرفة والفراغ الفائق.

استخدمنا طريقة المقارنة بين النتائج المتحصل عليها من طرف كل عينة، لدراسة الخصائص البنيوية المتحصل عليها باستخدام طريقة الانعراج للأشعة السينية عند الزوايا الكبيرة. وتوصلنا إلى النتائج التالية:

من خلال ظهور حواف براغ لجميع الشبكات البلورية $(200)\text{MgO}$ ، $(200)\text{Cr}$ ، $(200)\text{Ag}$

و $(200)\text{Fe}$ ، المكونة للعينات، استنتجنا أن جميع العينات ذات تبلور أحادي في الاتجاه (200) .

من خلال المقارنة بين شدة حافة براغ للشبكة البلورية لمادة الحديد في منحنى انعراج الأشعة السينية لكل العينات، وجدنا ان هذه الأخيرة تتغير بتغير سمك الطبقة البينية من عينة إلى أخرى. حيث وجدنا أن العينة E_4 ، والتي تحتوي على 150\AA من الفضة، تتميز بأكثر قيمة للشدة، وهذا ما يدل على أن هذا السمك قلص من قيمة الاجهاد المطبق من طرف الطبقات الأخرى على طبقة الحديد الموجود في العينتين E_2 و E_3 ، وأدى إلى انخفاض قيمة عدم الانتظام الشبكي فيها.

وجدنا كذلك من خلال قيمة موقع حافة براغ لمادة الحديد في العينات الأربعة: أن كل من العينة التي لا تحتوي على الطبقة البينية والعينة الرابعة التي لها أكبر سمك لهذه الطبقة، لا تعاني من أي انزياح في القيمة لهذا الموقع دلالة على استرخاء مادة الحديد أثناء النمو وتخلصها من أي إجهاد، عكس العينتين E_2 و E_3 أين وجدنا قيمة كبيرة للانزياح مقارنة مع القيمة النظرية، مما يدل على وجود انضغاط كبير لمادة الحديد في هاتين الأخيرتين، وهذا إن دل على شيء فإنه يدل على أن لسمك الطبقة البينية تأثير كبير على نوع وطبيعة مادة الحديد الناتجة.

✚ من خلال حساب قيم ثابت الشبكة لمادة الحديد لكل عينة، وجدنا أن هذه الأخيرة تتغير بتغير سمك الطبقة البينية، وبالمقارنة بينها: استنتجنا أن العينة E_4 ذات الطبقة البينية $Ag(150\text{\AA})/Cr(75\text{\AA})$ هي أحسن عينة من حيث الجودة، لتطابق قيمة ثابت شبكتها التجريبي مع القيمة النظرية ($a=2.866\text{\AA}$)، وهذا ما يدل على أن هذه العينة، ذات أسطح ملساء وبنية منتظمة خالية من التشوهات بالمقارنة مع العينات الأخرى.

✚ إن النتيجة السابقة، أكدتها قيمة حجم حبيبات مادة الحديد المتغير بتغير سمك الطبقة البينية. ✚ اعتمادا على النتائج السابقة، نستطيع الإجابة على السؤال المطروح في المقدمة العامة لهذا العمل، ونقول أن سمك الطبقة البينية له تأثير كبير على الخصائص الفيزيائية للعينات الناتجة.

قائمة المراجع

- [1] K.L.Chopra ;Thin Films Phenomena , Mc Graw –Hill , New York , (1969).
- [2] Sh. M. Ali ; Theoretical study for the Hetrojunction (n-amorphous /p) crystalline Silicon , M.Sc Thesis ,sinence college .AL- Mustansiriya University, (1996).
- [3] S.S. Chiad ; Optical and structural properties of (SnO2) Doped by Flourine Irradiated by Gamma Rays M. Se Thesis , science college ,for women of University of Baghdad,(2005).
- [4] N.Guechi ; élaboration et caractérisation structural, électrique et magnétique des couches minces de $Fe_x Ni_{100-x}$ déposé sur $Si(100)$, Université Ferhat Abbes Sétif,(2010).
- [5] L. Pavlovski ; Dépôts Physiques : technique, microstructures et propriétés, Presses polytechniques et universitaires romandes (2003).
- [6] بان خالد محمد؛ مجلة الهندسة و التكنولوجيا.المجلة 29. العدد 16 (2011).
- [7] O. Daranfad ; Elaboration et caractérisation des couches minces de Sulfure de Zinc préparées par spray ultrasonique , Mémoire de Magister, Université Mentouri-Constantine.
- [8] K. Badeker. 1907 Ann. Phys. (Leipzig) 22-749.
- [9] H. Abdelkader ; Etude du Dopage des Couches Minces de ZnO Elaboration par Spray Ultrasonique, Thèse de Magister, Université Mentouri Constantine,(2007).
- [10] A. RAHAL ; Elaboration des verres conducteurs par déposition de ZnO sur des verres ordinaires, thèse de Magister, Université D'el oued, (2013).
- [11] F. Khelfaoui ; Etude du mécanisme de croissance des couches a-Si:H élaborées par pulvérisation cathodique :interaction plasma-substrat, thèse de doctorat , Université Constantine 1,(2014) .
- [12] س.ك. جميل العاني، ذ.ق. عبد الرحيم العاني؛ الخصائص الميكانيكية للأغشية الصلبة الرقيقة، مجلة جامعة عدن للعلوم الطبيعية و التطبيقية، المجلد التاسع، العدد الثاني (2005).
- [13] ف.حميد خليل، و. أ. طه، س. ج. قاسم؛ تحضير ودراسة الخواص الترابيية للأغشية الرقيقة CdTe و CdS، مجلة البصرة للعلوم (أ)، المجلد(26)، العدد(1) (2012) ص 28-37.
- [14] U. Lüders ; Introduction aux couches minces, NAE TechHour, Univesité Caen Normandie, Ensiscaen, 24.04.(2018).

- [15] H. Benelmadjat ; Elaboration et caractérisation de matériaux cristallins ou amorphes purs et dopés, Thèse du doctorat, Université mentouri-Constantine,(2011).
- [16] S. Andrieu ; Magnétisme des systèmes nanoscopiques et structures hybrides, Ecole Franco-Roumaine, France (2003).
- [17] Ch. Bendjeroudib ; Effet de type de Substrat sur les propriétés de couche Mince Fe/Ag, Mémoire de Master, Université de Larbi Tébessi – Tébessa-Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la vie, (2016).
- [18] R. Dujardin ; Epitaxie par jets moléculaires de nanostructures isolées de germanium sur silicium, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier de Grenoble, (2006).
- [19] L. Louahadj ; Développement de l'épitaxie par jets moléculaires pour la Croissance d'oxydes fonctionnels sur semi-conducteurs, thèse de doctorat, École Centrale de Lyon, (2014).
- [20] N. ouarab ; Effet kerr dans les couches minces ferromagnétiques à base de fer, Thèse de Magister, Université Ferhat Abbas, 2010.
- [21] F. Chemam, R. Halimi, A. Bouabellou, M.-F. Mosbah ; Elaboration et caractérisation de super-réseaux Fe/Ag, Sciences & Technologie12, Décembre (1999)1-6.
- [22] س. إيمان؛ تأثير المعالجة الحرارية على طبقات رقيقة من TiO_2 المرسبة على مساند من الزجاج، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة قاصدي مرباح ورقلة كلية الرياضيات وعلوم المادة،(2014).
- [23] Kh. Zhour ; Elaboration et Caractérisation des nanopoudres de ZnO par Voie Chimique Sol-gel, Université Med Khider Biskra,(2013-2014)
- [24] إ. سليماني ؛ مساهمة في دراسة طبقات رقيقة معدنية من مركب التيتان مرسبة على مساند فولاذية، مذكر ماجستير، جامعة قاصدي مرباح ورقلة فرع فيزياء المواد.

- [25] P. J. Brown, J. B. Forsyth, the Crystal Structure of Solids, Edward Arnold 1973.
- [26] H.P. Klug and L.E. Alexander ; X. Ray. Diffraction Procedures, John wily & Sons, (1974).
- [27] R. Boukhalfa ; Influence du substrat sur les propriétés structurales et magnétiques des bicouches Fe/Ag , Thèse du doctorat, Université de Constantine, (2014).
- [28] Cullity, B.D. and Stock, S.R. (2001) Elements of X-ray Diffraction, 3rd ed, p.388,Printice-Hall, NJ. 2
- [29] E. Kunnen, S. Mangin, V.V. Moshchalkov, Y. Bruynseraede, A. Vantomme, A. Hoser, K. Temst ; Influence of strain on the anti-ferromagnetic ordering in epitaxial Cr (001) films on MgO, Thin solid Films. 414 (2) (2002) 262-269.
- [30] P. Etienne, J. Massies, S. Lequien, R. Cabanel, F. Petroff ; Molecular beam epitaxial growth of Cr /Fe, Ag/Cr and Ag/Co super lattices on MgO (001) substrates, J. Crystal Growth. 111 (1-4) (1991) 1001-1010.
- [31] S. Demuyneck, J. Meersschaut, J. Dekoster, B. Swinnen, R. Moons, A. Vantomme, S. Cottenier, M. Rots; Structural and Magnetic Ordering of Chromium in Ag/Cr Multilayers, Phys. Rev Lett. 81 (12) (1998) 2562-2565.
- [32] J. F-Vincent ; Transport tunnel polarisé en spin dans le système épitaxie Fe/MgO/Fe : Interactions magnétiques et Symétries électroniques, Thèse de doctorat, Ecole de nancy, (2004).
- [33] R .Boukhalfa, mémoire de magister, Les propriétés structurales et magnéto-optiques des bicouches Fe/Ag, centre universitaire Cheikh Laarbi Tbessi-Tebessa (2004), PP56.
- [34] P. Etienne, J. Massies ; Basic considerations on the growth of metallic layers by molecular beam Epitaxy : application to Cr/Fe, Ag/Fe and Cu/Co multilayers, J. phys III (8). France 3 (1993) 1581-1588.