

مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر

الموضوع :

تغير قيمة التثوه في غشاء محضر من الحديد بتغير نوعية المسند

مقدمة من طرف :

❖ شرفي عبدالرزاق ❖ جعلاي عبير

أمام لجنة المناقشة :

| | | | |
|------------|--------|-----|-----------------|
| جامعة تبسة | رئيسا | MCA | ❖ حنيني فوزي |
| جامعة تبسة | مؤطرا | MCA | ❖ بوخالفة راضية |
| جامعة تبسة | ممتحنا | MCB | ❖ سردوك فضيلة |

تاريخ المناقشة : 2020/09/15



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
1438



تَشْكُرَات

باسمك اللهم نستعين على أمور الدنيا و الدين ،وبك آمنا و عليك توكلنا وإليك المصير
لا مانع لما أعطيت،ولا معطي لما منعت،ولا راداً لما قضيت.أنت على كل شيء قدير.
لك الحمد الكثير و الشكر الدائم ،والسلام على سيدنا محمد الداعي إلى سبيل ربه بالحكمة و الموعظة
الحسنة و على آله و صحبه،والذين يستمعون القول فيتبعون أحسنه أما بعد.

❖ هي كلمة أبت إلا الحضور هي كلمة شكر و تقدير الله عزوجل الذي وفقنا في إتمام هذه المذكرة في
أحسن الأحوال.نتقدم بأسمى آيات الشكر و الامتنان و التقدير و المحبة، إلى الذين حملوا أقدس رسالة في
الحياة، إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم و المعرفة و نخص بالتقدير و الشكر الأستاذة الفاضلة التي لم تبخل
علينا بمساعداتها و توجيهاتها و نصائحها من أجل هذا العمل المتواضع " الأستاذة الدكتورة بوخالفة راضية
" التي تفضلت بالإشراف على هذا البحث فجزاها الله عنا كل خير. كما نتقدم بالشكر و الامتنان
لأساتذة أعضاء لجنة المناقشة بداية بالدكتور حنيني فوزي رئيسا و الدكتورة سردوك فضيلة ممتحنا و
كل من أفادنا و لو بحرف و كل من كان سببا في تعلمنا و تربيتنا بدءا بالوالدين الكريمين اللذان هما
أول مدرسة ينهل منها الأستاذ أصول العلم و المعرفة و الأخلاق ❖

❖ عبد الرزاق ❖ عيبر ❖

إهداء

كل النفوس تعشق النهايات السعيدة وتسعى لها وتطرب إن عَاشَتْهَا ولا أجل من أن نرى حصاد سنين من التعب والاجتهاد والسعي الحثيث نحو التفوق ينتهي بتألق وفرح وها نحن الآن نفرح بخرجنا والحمد لله.

الى من قال فيهما الله تعالى **﴿وَأَخْفِضْ لَهُمَا جَنَاحَ الذَّلِيلِ مِنَ الرَّحْمَةِ وَقُلْ رَبِّي أَرْحَمُهُمَا كَمَا رَبَّيَانِي صَغِيرًا﴾**
❖ الى بؤرة النور التي عبرت بي نحو الأمل والأمني الجميلة واتسع قلبه ليحتوي حلبي حين ضاقت الدنيا، فروض الصعاب من أجلي و سار في حلقة الدرب لغرس معاني النور والصفاء في قلبي، وعلمني معنى أن نعيش من أجل الحق والعلم لنظل أحياء حتى لو فارقت أرواحنا أجسادنا ، ولطالما تفتطر قلبه شوقا وحت عيناه الوضاءتان الى رؤيتي متقلدا شهادة أستاذ وهاهي قد أيقنت وأينعت لأقدمها الآن بين يده .. **والدي الحبيب**.

❖ الى من تتسابق الكلمات لتخرج معبرة عن مكنون ذاتها ، الى التي تمتن الحب وتغزل الأمل في قلبي عصفورا يرفرف فوق ناصية الأحلام فتبقى روحي متلاثلة ومشرفة، والتي لطالما كانت دعواتها عنوان دربي ، وتبقى أمنياتي على وشك التحقق طالما يدها في يدي وصنارة جهدها وسهرها تصطاد لي الراحة وتخطف التعب والألم من قلبي ، وعندما تكسوني الهموم أسبح في بحرها وحنانها ليخفف بل ويزيل آلامي.

الى التي مهما كبرت سأظل طفلها الذي يكتب اسمها على دفتر قلبي ساعة حزنه ويهتف بفضلها حين يتقدم في عمله و علمه درجات ... **أمي الغالية**.

❖ الى القلوب الطاهرة الرقيقة والنفوس الصافية الى رياحين حياتي الى من حبهم يجري في عروقي ويلهج بذكر لهم فؤداي الى **إخوتي وأخواتي وأبنائهم** .

❖ الى من تحلوا بالإخاء وتميزوا بالوفاء والعطاء الى ينابيع الصدق الصافي الى من معهم سعدت و برفقتهم في دروب الحياة الحلوة والحزينة سرت الى من عرفت كيف أجدهم و علموني أن لا أضيعهم **أصدقائي**

شرفي عبدالرزاق

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

❖ وقل اعملوا فسيري الله عملكم والمؤمنون ❖

❖ الى ملاكي في الحياة الى معنى الحب والحنان الى بسمه الحياة وسر الوجدان الى من كان دعائها سر نجاحي الى من سهرت وتعبت على راحتي الى أغلى انسانة في الوجود الى امي الغالية "جميلة"

❖ الى من كان سببا في وصولي الى معالي الوجود الى من تحدى الصعاب لتربيتي وتعليمي الى من كان شمعة تنير دربي في الحياة الى من لم يبخل علي في حب وحنان وتعب الى ابي الغالي "عبد المجيد"

❖ الى من شاركني حب والديّ وكل لحظات حياتي الى من يفرحن لفرحتي اخوتي سماح، شهيناز
عبلة، سلمى، ريم

❖ الى رفقاء دربي الذين ساندوني في كل شيء اخوتي: علي، وأخص بالذكر أخي "عامر" رحمه الله

❖ الى من كانوا بمثابة والدي الى مدرسة النصح والموعظة جدي "التركي" وجدتي "مهنية"

رحمة الله عليهما ، والى جدي حفصهما الله "عمارة" و"باهية"

❖ الى اخوالي وخالاتي، اعمامي وعماتي ، وكل ابنائهم الى كل من دعمني وشجعني طوال مسيرتي الدراسية ومن كان سنداً لي والى كل افراد العائلة

❖ الى كل من علمني حرفا الى كل معلميني وأساتذتي الكرام والى من رافقنا المشوار الدراسي

❖ الى من شاركت معهن كل لحظات المرح والجنون الى من كن اخوات وزميلات وصديقات صديقاتي ، حسينة، سلاف، احلام، بسمه، نجاح، صباح، اسمهان، عواطف، مروى، صورية، وداد، ليلي

❖ اهداء خاص الى زميلي الذي شاركني بحثي هذا وكان دعماً لي والذي كان بمثابة الاخ "عبدالرزاق"

جعلاني عبير

الفهرس

الفهرس

| | |
|----|---------------|
| I | الفهرس |
| IV | قائمة الجداول |
| V | قائمة الرموز |
| VI | قائمة الأشكال |
| 01 | مقدمة عامة |

ا. الفصل الأول: مفاهيم عامة حول الأغشية الرقيقة.

| | |
|----|-------------------------------------------------|
| 03 | 1.1. تمهيد |
| 03 | 2.1. ماهية الأغشية الرقيقة |
| 03 | 3.1. الفرق بين الأغشية الرقيقة و المادة الصلبة. |
| 04 | 4.1. آلية تشكل الأغشية الرقيقة |
| 04 | 5.1. طريقة نمو الأغشية الرقيقة |
| 04 | 1.5.1. مرحلة التتويه Nucleation |
| 04 | 2.5.1. مرحلة الالتحام Coalescence |
| 05 | 3.5.1. مرحلة نمو Growth |
| 05 | 6.1. أشكال نمو الطبقات الرقيقة |
| 06 | 7.1. العوامل المؤثرة على تكوين الأغشية الرقيقة |
| 06 | 1.7.1. البنية البلورية للمساند |
| 07 | 2.7.1. طرق التحضير |
| 07 | 3.7.1. سرعة التحضير |
| 07 | 4.7.1. نوعية الطبقة العازلة |
| 07 | 8.1. العيوب البلورية |
| 08 | 1.8.1. العيوب النقطية |
| 08 | 2.8.1. العيوب الخطية |
| 08 | 3.8.1. العيوب السطحية |
| 08 | 9.1. التشوه |
| 08 | 1.1.9.1. التشوه الداخلي |
| 08 | 1.1.9.1. التشوه الحراري |
| 09 | 10.1. تطبيقات الأغشية الرقيقة |
| 09 | 1.1.1. الاستنتاج |

ب. الفصل الثاني: طريقة تحضير العينات و دراسة خصائصها

| | |
|----|-----------------------------------------------|
| 10 | 1.1. تمهيد |
| 10 | 2.1. طرق ترسيب الأغشية الرقيقة |
| 11 | 1.2.1. طريقة الترسيب الكيميائي بالتبخير (CVD) |
| 12 | 2.2.1. طريقة الترسيب الفيزيائي (PVD) |
| 12 | 3.1. طريقة التنضيد الفوقي بالقذف الجزئي |
| 13 | 1.3.1. تعريف التنضيد الفوقي |
| 13 | 2.3.1. مبدأ عمل تقنية التنضيد الجزئي |
| 13 | 3.3.1. هيكل جهاز التنضيد الجزئي |
| 14 | 4.3.1. مزايا تقنية التنضيد الفوقي الجزئي |
| 15 | 5.3.1. عيوب تقنية التنضيد |

| | |
|----|-----------------------------------------------------------------|
| 15 | 4.ii طريقة دراسة بنية الأغشية الرقيقة |
| 15 | 1.4.ii التحليل باستعمال انعراج الأشعة x |
| 16 | ii. 1.1.4 مبدأ عمل طريقة انعراج الأشعة x |
| 16 | ii. 1.1.1.4 انعراج النمط θ - θ |
| 17 | ii. 2.1.1.4 انعراج النمط 2θ - θ |
| 18 | ii. 1.2.1.1.4 الانعراج بالزوايا الصغيرة |
| 18 | ii. 2.2.1.1.4 الانعراج بالزوايا الكبيرة |
| 19 | ii. 2.4 الخصائص البنيوية المستخرجة من تحليل طيف انعراج الاشعة x |
| 19 | ii. 1.2.4 البعد بين الشبكي dhkl |
| 19 | ii. 2.2.4 التشوه البلوري ξ_d . |
| 20 | ii. 3.2.4 ثابت الشبكة ahkl |
| 20 | ii. 4.2.2 التشوه الجوهري ξ_{int} . |
| 20 | ii. 5.2.4 حجم الحبيبات D |
| 21 | ii. 6.2.4 كثافة الانخلاع $\bar{\rho}$. |
| 21 | ii. 7.2.4 التشوه المجهري ϵ |
| 21 | ii. 5 طريقة تحضير العينات |
| 21 | ii. 1.5 طريقة تنظيف المساند |
| 22 | ii. 1.1.5 الركيزة MgO(001) |
| 22 | ii. 2.1.5 الركيزة SiO ₂ /Si(100) |
| 23 | ii. 2.5 طريقة ترسيب الطبقات |
| 23 | ii. 1.2.5 ترسيب طبقة الحديد Fe |
| 23 | ii. 1.1.2.5 خصائص الحديد |
| 24 | ii. 2.1.2.5 طريقة ترسيب طبقة الحديد |
| 24 | ii. 2.2.5 ترسيب طبقة الفضة Ag |
| 24 | ii. 3.5 الشكل النهائي للعينات . |
| 25 | ii. 6. الاستنتاج |

iii. الفصل الثالث : مناقشة النتائج التجريبية

| | |
|----|---------------------------------------------------------------------------------|
| 26 | iii. 1. تمهيد |
| 26 | iii. 2. دراسة أطيف انعراج الأشعة السينية |
| 26 | iii. 1.2. دراسة طيف الانعراج بالنمط θ |
| 27 | iii. 2.2. دراسة طيف الانعراج 2θ |
| 27 | iii. 1.2.2. الانعراج بالزوايا الصغيرة |
| 28 | iii. 2.2.2. الانعراج بالزوايا الكبيرة |
| 29 | iii. 3. دراسة تغير الخصائص البنيوية بتغير نوع المسند المستخدم |
| 29 | iii. 1.3. دراسة زاوية الانعراج و الشدة العظمى لحافة براغ على المستويات البلورية |
| 30 | iii. 2.3. دراسة البعد البيني و ثابت الشبكة لطبقة الحديد |
| 31 | iii. 3.3. تأثير نوع المسند على التشوه الذي يخضع له غشاء الحديد |
| 32 | iii. 4.3. تأثير نوع المسند على حجم الحبيبات و كثافة الانخلاع و التشوه المجهري |
| 34 | iii. 4. الاستنتاج |

35
36

الخاتمة العامة
المراجع

قائمة الجداول

قائمة الجداول

| الصفحة | عنوان الجدول | الجدول |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 23 | بعض الخصائص الفيزيائية للحديد | 1-II |
| 30 | القيم التجريبية وقيم البطاقة الدولية التجريبية لكل من زوايا و الشدة العظمى لحواف الانعراج لبراغ لجميع المواد المكونة للعينتين 01 و 02 | 1-III |
| 32 | القيم التجريبية وقيم البطاقة الدولية التجريبية لكل من البعد البيني و ثابت الشبكة لجميع المواد المكونة للعينتين 01 و 02. | 2-III |
| 33 | قيم كل من التشوه البلوري و التشوه الجوهري في غشاء الحديد في العينتين 01 و 02 | 3-III |
| 34 | قيم كل من حجم الحبيبات D و كثافة الانخلاع و التشوه المجهرى في العينتين 01 و 02 | 4-III |

قائمة الرموز

قائمة الرموز

| المعنى | الرمز |
|---------------------------------|----------------------|
| مكعب متمركز الأوجه | CfC |
| مكعب متمركز الجسم | Cc |
| انعراج الأشعة السينية | DRX |
| الترسيب الكيميائي للطور البخاري | CVD |
| الترسيب الفيزيائي للطور البخاري | PVD |
| الطول الموجي | λ |
| عدد صحيح موجب ويمثل رتبة الحيود | m |
| المسافة البلورية (البعد البيني) | d_{hkl} |
| معاملات ميلر | hkl |
| الحجم الحبيبي | D |
| عرض منتصف الشدة | β |
| الثابت الشبكي | a |
| زاوية براغ | θ |
| عدم الانتظام الشبكي | $\frac{\Delta a}{a}$ |
| التشوه المجهرى | ε |
| نسبة الشدة | $\frac{I_b}{I_p}$ |
| التشوه البلوري | ξ_d |
| التشوه الجوهري | ξ_{int} |
| كثافة الانخلاع | δ |

قائمة الأشكال

قائمة الأشكال

| الصفحة | عنوان الشكل | الشكل |
|--------|--------------------------------------------------------------------|-------|
| 03 | رسم تخطيطي لعملية التنوي | 1-I |
| 04 | رسم تخطيطي لمرحلة الالتحام | 2-I |
| 04 | رسم تخطيطي لمرحلة النمو | 3-I |
| 05 | رسم تخطيطي لأشكال نمو الأغشية الرقيقة | 4-I |
| 10 | مخطط توضيحي لأنواع طرق الترسيب للأغشية الرقيقة | 1-II |
| 11 | مخطط توضيحي لمبدأ الترسيب الكيميائي | 2-II |
| 12 | مخطط توضيحي لمبدأ الترسيب الفيزيائي | 3-II |
| 14 | رسم تخطيطي لهيكل تقنية التنضيد الفوقي الموجه | 4-II |
| 17 | رسم تخطيطي لمبدأ انعراج الأشعة السينية | 5-II |
| 17 | رسم تخطيطي للنمط $\theta - \theta$ من انعراج الأشعة السينية | 6-II |
| 17 | رسم تخطيطي للنمط $2\theta - \theta$ من انعراج الأشعة السينية | 7-II |
| 18 | طيف انعراج الأشعة السينية عند تسليطه بالزوايا الصغيرة | 8-II |
| 19 | طيف انعراج الأشعة السينية عند تسليطه بالزوايا الكبيرة | 9-II |
| 20 | مخطط يبين تأثير الضغط أثناء الترسيب على كل من البعد البيني للمادة | 10-II |
| 21 | رسم تخطيطي يبين موضع نصف ارتفاع عرض حافة براغ ذي الشدة العظمى. | 11-II |
| 22 | رسم تخطيطي يبين تموضع ذرات البلورة MgO | 12-II |
| 23 | رسم تخطيطي يبين بلورة السيليسيوم الماسية | 13-II |
| 24 | رسم تخطيطي يوضح البنية البلورية للحديد | 14-II |
| 25 | رسم تخطيطي للعينتين | 15-II |
| 27 | طيف انعراج الأشعة السينية للنمط $\theta - \theta$ للعينتين 01 و 02 | 1-III |
| 28 | طيف انعراج الأشعة السينية للزوايا الصغيرة للعينتين 01 و 02 | 2-III |
| 29 | طيف انعراج الأشعة السينية للزوايا الكبيرة للعينتين 01 و 02 | 3-III |

مقدمة عامة

مقدمة عامة

من الواضح أن الكثير منا قد أصبح على دراية كبيرة بتأثير وفصل الأغشية الرقيقة و التي ساهمت في تطوير دراسة أشباه الموصلات وأعطت فكرة واضحة عن العديد من الخصائص الفيزيائية المبهمة، ويومًا بعد يوم ازدادت واتسعت مجالات وتطبيقات هذه الأخيرة، حتى أصبحت تغزو كل مرافق الحياة؟

يعتبر سمك الأغشية الرقيقة والذي يكون من رتبة الانغستروم (Å)، احد العوامل الأساسية التي تجعلها تختلف على الحالة الصلبة للمواد سواء من حيث طريقة إعدادها أو الخصائص الهامة التي تتوفر عليها. ومع تنوع تقنيات تحضيرها، فالأغشية الرقيقة تشترك في كونها تحتاج دوماً لمسند معين ترتكز عليه، وبطبيعة الحال لن تكون هذه الأخيرة (الركائز) من نفس الطبيعة، ولهذا السبب بالذات يجب طرح السؤال التالي: "هل لنوع و طبيعة المسند المستخدم في تحضير الأغشية الرقيقة تأثير على الخصائص المدروسة؟

ورغبة منا في تعميق معرفتنا، والتعرف عن كثب على طريقة تأثير نوع الركيزة المستخدمة على الخصائص الفيزيائية للأغشية الرقيقة والتي من بينها التشوه، اخترنا أن يكون محور عملنا في مذكرتنا هذه هو مدى تأثير تغير قيمة التشوه في غشاء محضر من الحديد بتغير نوعية المسند المستعمل وحتى لا نكون بعيدين عن الاحتواء و الفهم الجيد لمذكرتنا سواء من الناحية النظرية أو التطبيقية قمنا بوضع الخطوط العريضة لعملنا إذ:

سنتطرق في **الفصل الأول** إلى عموميات حول الأغشية الرقيقة وآلية تشكلها و تحضيرها ، كذلك العوامل المؤثرة على تكوينها و حاجتها الضرورية لمسند توضع عليه، كما سنذكر بعض العيوب البلورية الداخلية التي يمكن أن تتواجد داخل الأغشية الرقيقة ، دون أن ننسى تعريف التشوه التي تتعرض إليه الأغشية الرقيقة أثناء عملية نموها، والتعرف على مختلف أنواعه، و ختاماً سنوجز الذكر لبعض تطبيقاتها في المجال العلمي و حياتنا اليومية.

ثم سنتعرض في **الفصل الثاني** إلى دراسة تقنيات الترسيب للأغشية الرقيقة، و من ثم نقوم بالتوسع في شرح أحد الطرق المعتمدة في تحضير العينات وبالأخص المدروسة في عملنا هذا، ألا وهي التنزيد بالقذف الجزيئي (MBE) ويكون الشرح من حيث طريقة عملها و هيكل جهازها ثم مزاياها و كذلك ذكر بعض عيوبها، وبما أن التشوه عبارة على خاصية ميكانيكية أو بالأحرى بنيوية للمواد الرقيقة، فإننا سنتطرق إلى دراسة احد طرق التحليل المستخدمة في اكتشاف الخصائص البنيوية، والتي تتمثل في انعراج الأشعة السينية، حيث سنتعرف إلى مبدأ عملها و أنواع أنماطها وكيفية استخراج الخصائص البنيوية للأغشية المدروسة بتحليل أطياف انعراجها، وفي الأخير نتعرف على كيفية تحضير المساند في العينتين وكيفية ترسيب طبقاتها، إلى أن نصل بكم إلى تقديم شكل توضيحي لبنيتها.

وصولاً للفصل الثالث من مذكرتنا، والذي سنخصصه لدراسة و مناقشة النتائج المتحصل عليها من دراسة طيف الأشعة السينية بنوعي نمط انعراجها لتحقيق المبتغى من هذا العمل والمتمثل في دراسة كيفية تغير التشوه الذي يتعرض إليه غشاء الحديد أثناء عملية ترسيبه بتغير نوع المسند المستخدم. وأخيراً سنلخص كل ما درسناه وتوصلنا إليه في هذا العمل في الخاتمة العامة.

الفصل الأول

1.1. تمهيد

إن مجال الطبقات الرقيقة يعتبر مجال قديم ولكنه يكتسي أهمية بالغة، من حيث وفرة الدراسات المتعلقة به، وتتجلى هذه الأهمية في توجه العديد من الجهود البحثية إلى دراسة هذا النوع من التخصص في السنوات الأخيرة، مما أدى إلى غزو الأغشية الرقيقة لعديد من المجالات التكنولوجية وتلبية الحاجيات الصناعية أين أثبتت هذه الأخيرة جدارتها.

و نظرا لأهمية الأغشية الرقيقة سيتم في هذا الفصل التركيز على مفهومها، مبدأ ترسيبها وكذا آليات تشكيلها، بالإضافة إلى مختلف العوامل المؤثرة على تكوينها وأخيرا بعض من تطبيقاتها.

2.1. ماهية الأغشية الرقيقة

إن الأغشية الرقيقة في الأصل هي عبارة عن ترتيب لذرات مادة في بعدين و يكون البعد الثالث صغيرا جدا و يعرف هذا الأخير بالسلك الذي لا يتعدى $1\mu\text{m}$ [1]. فسمكها المتناهي في الصغر جعل عامل السطح يتغلب على عامل الحجم، ونتج منه تركيبا فيزيائيا فريدا من نوعه يضاهي تركيب أحادية البلورة أحيانا أو يفوقها، وأدى إلى توفير خصائص جديدة غير موجودة في الحالة الصلبة للمواد، ساهمت في تطور الاقتصاد [2]. ومن بين الخصائص التي تمتلكها الأغشية الرقيقة دون المواد في الحالة الصلبة، هي أن هذه الأخيرة ترسب دوما على ركيزة تستند إليها يمكن أن تكون من الزجاج، الألمنيوم، الكوارتز أو غيرها، ولهذا السبب كان من الضروري الأخذ بعين الاعتبار أهمية الركيزة أثناء تحضير العينات المكونة من الأغشية الرقيقة. لأنه من الواضح أن تغير نوعها له تأثير على الخصائص البنوية للأغشية الرقيقة المرسبة عليها فمن غير المعقول أن طبقة رقيقة من نفس المادة و نفس السمك تكون لها خصائص الخصائص الفيزيائية، إذا ما ترسبت على أنواع مختلفة من الركائز (عازلة غير متبلورة أو بلورة أحادية،..) [3].

3.1. الفرق بين الأغشية الرقيقة و المادة الصلبة

الفرق الجوهرى بين المواد الصلبة والأغشية الرقيقة هو: أن خصائص المادة في الحالة الصلبة لا تتأثر بعامل السطح لان الذرات منتشرة في حجم معين، بينما في حالة الطبقات الرقيقة، فان هذا العامل هو المهيمن على جميع الخصائص، وخاصة كلما كان سمك العينة صغير جدا، وهو نفس السبب الذي جعل الأغشية الرقيقة في حالة حاجتها الدائمة إلى ركيزة تستند إليها [4].

4.1. آلية تشكل الأغشية الرقيقة

لترسيب غشاء رقيق على سطح مسند صلب يجب أن تمر جسيمات المادة المكونة للغشاء عبر وسط ناقل (سائل أو غازي أو في الفراغ) متصل مباشرة مع هذا الأخير، فبمجرد وصول الجسيمات (إما أيونات أو جزيئات وقد تكون ذرات) لسطح المسند جزء منها يتمسك بالسطح من خلال قوى فاندرفالس. أما الجزء الآخر ممكن أن ينعكس أو يقتلع ذرة من ذرات المسند لكي يستقر في مكانها عوضا عنها.

و الجدير بالذكر في موضوع ترسيب الأغشية الرقيقة ، أنه لا توجد طريقة مرجعية للترسيب، حيث يمكن استخدام طرق متنوعة تشترك جميعها في المراحل الثلاث التي تشكل آلية الترسيب:

✚ إنتاج المواد المترسبة المناسبة (الأيونات، الجزيئات، الذرات...الخ).

✚ نقل هذه المواد إلى المسند عن طريق وسيط (سائل أو غازي أو بلازما في الفراغ).

✚ تكثيف هذه المواد المترسبة على المسند و غالبا ما يحدث في هذه الخطوة الأخيرة المراحل

ثلاث لتشكيل الأغشية الرقيقة ألا وهي: التنوي، الالتحام و النمو[5].

1. 5. طريقة نمو الأغشية الرقيقة

1. 5. 1. مرحلة التنوي (Nucléation)

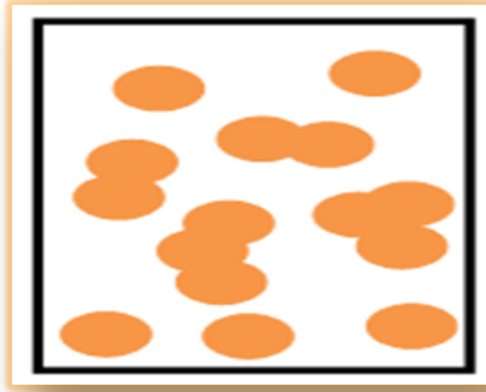
في هذه المرحلة تظهر على الواجهة العلوية للمسند تجمعات عناصر صغيرة (ذرات) من المادة المترسبة كما هو مبين في (الشكل 1.1). وهذا بعد تكثف الجسيمات التي فقدت طاقتها الحركية المنطلقة بها من المصدر وتموضعها في مكان معين، بحيث تتفاعل ذرات هذه المادة مع الركيزة و التي تشكل ما يعرف باسم الأنوية المنشأة [6].



الشكل 1.1. رسم توضيحي لعملية التنوي

1. 5. 2. مرحلة الالتحام (Coalescence)

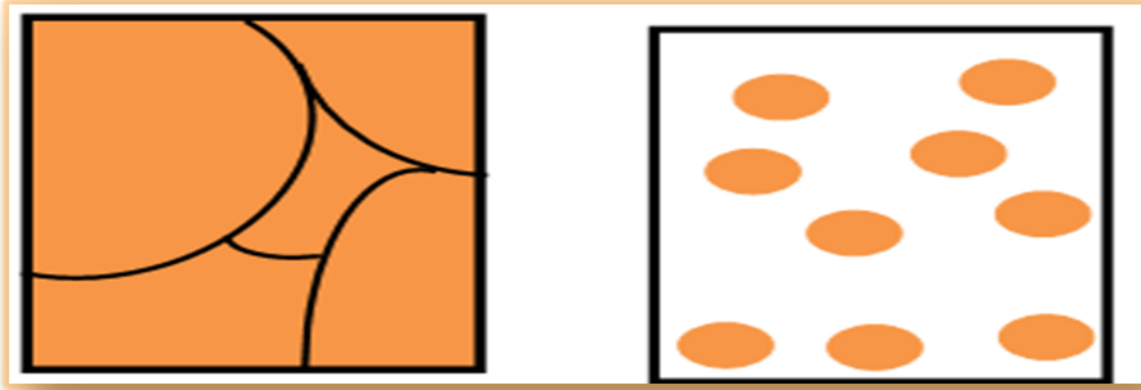
عند زيادة عدد التكتاف للذرات المتموضعة على سطح الركيزة، و المشكلة في المرحلة السابقة فتصغر المسافات الفاصلة بين التكتاف و تلتحم فيما بينها تدريجيا لتكوين مجموعة متباعدة من الجزر (انظر (الشكل 2.1)). [6].



الشكل 2.1. رسم توضيحي لمرحلة الالتحام

1. 5. 3. مرحلة النمو (Growth)

وهي المرحلة الأخيرة في عملية تشكل الطبقة الرقيقة ، بحيث يتم تشكيل طبقة مستمرة وذلك عن طريق ملئ الثقوب (الفجوات) المتواجدة بين الجزر فتستمر عملية التلاحم إلى أن تتشكل طبقة رقيقة فوق الركيزة وتغطي هذه الأخيرة تماما كما هو موضح في (الشكل 3.1).



الشكل 3.1. رسم تخطيطي لمرحلة النمو [6]

1. 6. أشكال نمو الأغشية الرقيقة

يتم تشكل الغشاء من خلال ثلاثة أشكال للنمو ((الشكل 4.1.)) وهي كالتالي:

1. 6. 1. النوع 2D

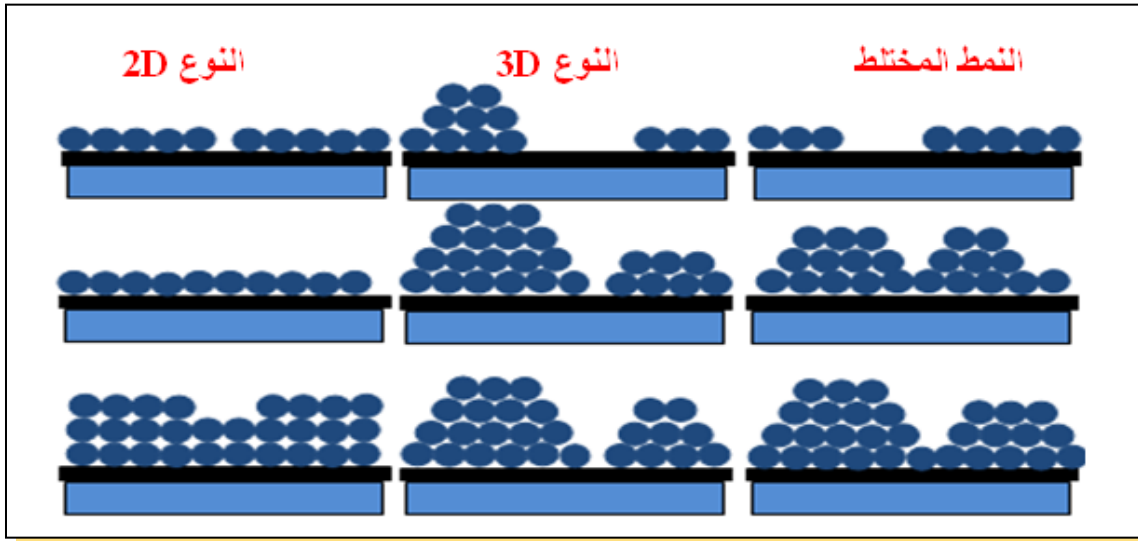
هو نمو ثنائي الأبعاد و يدعى عادة بنمو (Frank – Van der Merwe) يحدث عندما تكون عملية النمو طبقة فوق طبقة أي بعد تشكل الطبقة الأولى فوق المسند تنمو فوقها طبقة ثانية وهكذا دواليك

1. 6. 2. النوع 3D

هو نمو ثلاثي الأبعاد يدعى (Volmer –Weber) في هذا النمط من النمو الأنوية صغيرة تتشكل على سطح الركيزة ثم تنمو لتشكل جزر أو مجموعة من الجزر حيث يكون نمو الطبقات الرقيقة غير مستمر في بعض الأماكن وكأنها مجموعة من الجبال الملتحمة مع بعضها.

1. 6. 3. النوع المختلط

و يسمى عادة بنمط (Stranski –Krastanov) و هو عبارة عن مزيج بين النمطين المذكورين سابقا [7].



الشكل 4.1. رسم تخطيطي لأشكال نمو الأغشية الرقيقة

1. 7. العوامل المؤثرة على تكوين الأغشية الرقيقة

هناك العديد من العوامل المؤثرة على تكوين الأغشية الرقيقة نذكر منها :

1. 7. 1. البنية البلورية للمسند

إن نوع المسند المستخدم في ترسيب الأغشية الرقيقة له دور هام في تشكيل العينات من حيث بنيتها البلورية وطبيعتها البنيوية، وكذلك جودتها. لذلك يجب إتباع الشروط التالية عند اختيار المسند المستخدم :

✚ يجب أن يكون هناك تقارب في الأبعاد البلورية (ثابت الشبكة البلوري) لكل من المسند والغشاء المرسب عليه لكي تقل قيمة عدم الانتظام الشبكي بينهما [8].

✚ بعد المسند على الهدف يجب أن يكون مناسب للحصول على السمك الذي نبحث عنه حيث أن المساند المتواجدة تحت الهدف مباشرة تمكننا من الحصول على أعلى تموضع ممكن لذرات الغشاء ومنه سمك أكبر و المساند البعيدة على الهدف تؤدي للتقليل من قيمة السمك [8].

✚ درجة حرارة التبخير يجب أن تكون أقل من نقطة الانصهار و نقطة الانتشار [4]

✚ درجة حرارة الركيزة يجب أن تكون مناسبة لعملية تموضع ذرات الغشاء و توزيعها بشكل متجانس بحيث لا تكون عالية لدرجة إعادة تبخر الغشاء بعد أن يتشكل ،ولا باردة تتسبب في توزيع غير متساو للسلك [4].

1. 7. 2. طريقة التحضير

إن طريقة تحضير الأغشية الرقيقة تعد من أهم العوامل المؤثرة على نوعية العينة الناتجة، حيث أن الطريقة المختارة للتحضير يجب أن تناسب التطبيق التكنولوجي للعينة المشكلة، فلا يمكن تحضير أنواع مختلفة من الأغشية الرقيقة بنفس الطريقة لان صفات نفس العينة تختلف حسب الطريقة المتبعة في ترسيبها .

1. 7. 3. سرعة التحضير

إن اختلاف طرق ترسيب الأغشية الرقيقة يؤدي إلى اختلاف سرعة ترسيبها ، حيث أن السرعة المنخفضة تمكن ذرات الغشاء المرسب من التموضع المرتب فوق المسند أو فوق الغشاء المرسب أسفلها و هو ما يساعد على النمو ثنائي البعد للطبقات، و تحسين نوعية الأسطح و يمكننا من التحكم في سمك العينة الناتجة .

1. 7. 4. نوعية الطبقة العازلة

عندما تكون طاقة الالتصاق الناتجة من الفرق بين الطاقة السطحية للغشاء الرقيق المراد ترسيبه و المسند المستخدم سالبة فيحدث انزلاق لكل ذرة من ذرات هذا الغشاء ، ولذلك يجب إدخال طبقة رقيقة من مادة أخرى تختلف عن تلك المراد ترسيبها ودراسة خصائصها الفيزيائية تعمل كمادة لاصقة بين الغشاء المرسب و المسند ويشترط فيها أن يكون عدم الانتظام الشبكي بينها وبين كل من : الغشاء المرسب و الركيزة اقل ما يمكن للحصول على تبلور جيد لذرات الغشاء وبالتالي تحسين الخصائص الفيزيائية للعينة الناتجة [4].

1. 8. العيوب البلورية

في البلورات المثالية تترتب الذرات بشكل دوري منتظم بحيث نسمي البعد بين كل مستوى ذري وآخر بالبعد الشبكي لهذه البلورات، إلا انه في الحقيقة لا توجد بلورة مثالية تخلو من أي خلل في الترتيب الدوري للذرات ولو كان هذا الأخير بنسبة بسيطة جداً، مما يؤدي إلى نشوء عيوب بلورية في هذه الأخيرة. ولا تعتبر هذه العيوب أمراً سيئاً، بل إنها تلعب دوراً مهماً في فيزياء الحالة الصلبة فتألق البلورات الضوئي مرتبط بوجود العيوب البلورية وكثيراً من الخواص الميكانيكية والكهربائية والمغناطيسية لا يمكن فهمها وشرحها إلا بفهم دور العيوب أو التي تسمى في الكثير من الأحيان

بالتشوهات. و تصنف العيوب البلورية إلى ثلاثة أنواع تقسم حسب حجمها وهي: العيوب النقطية (Defects Point)، العيوب الخطية (Defects Line)، العيوب السطحية (Defects Surfac).

1.8.1. العيوب النقطية

تلعب العيوب النقطية دوراً هاماً في التشوه الميكانيكي للمواد البلورية، وهي عبارة عن نواقص بنيوية تنتج عن التحريض الحراري، وهي ذات بعد صفري. حيث تمثل انحراف أو اختلال في موقع ذرة ما، إما أن تكون على شكل فراغ أو ذرة إضافية.

1.8.2. العيوب الخطية

تدعى العيوب الخطية في البلورة بالانخلاع، فالخلع (Dislocation) وهو خط من الذرات ذات إحداثيات مختلفة عن الذرات الأخرى في البلورة ويعتبر الخلع مصدر رئيس لعدم الانتظام في البلورة، ونتيجة لنوع من الإجهاد على البلورة يمكن لمنطقة أن تنزلق على أخرى. والخط الفاصل بين المنطقتين يسمى خط الانخلاع والجهد المسمى جهد القص [9].

1.8.3. العيوب السطحية

سميت هذه العيوب بهذا الاسم لأنها تنشأ من تجمع العديد من العيوب الخطية مكونة سطح من العيوب، و يشترك في هذا النوع مستوي بلوري كامل حيث تمتد العيوب في بعدين، و سطح البلورة بحد ذاته يشكل عيباً لان دورية الشبكة مختلة عند السطح ويظهر ذلك من خلال دراسة الأغشية الرقيقة.

1.9. التشوه

نقصد بكلمة تشوه كل تغير يطرأ على المادة سواء كانت في حالتها الصلبة أو في حالة الأغشية الرقيقة، حيث يؤثر التشوه على الخصائص الفيزيائية للمادة مثل بعدها الشبكي، ويتم ذلك بتطبيق قوة على سطحها كقوة الشد أو قوة الانضغاط، أو بتغيير درجة حرارتها. وإذا كان التشوه يزول بزوال العامل المسبب له أي أن المادة تعود لحالتها الابتدائية، فيسمى بالتشوه المرن، وان كان يحافظ على قيمته أي أن المادة تحافظ على حالتها الجديدة، يسمى التشوه بالتشوه الميكانيكي (اللدن).

1.9.1. أنواع التشوه

1.9.1.1. التشوه الداخلي

ينتج جراء عملية الترسيب، ويتعلق بنوع و طريقة التحضير إن كانت كيميائية، فيزيائية أو طريقة التنضيد الفوقي، من حيث سرعة الترسيب، الضغط، قوة البلازما،..... الخ. حيث يبدأ الإجهاد من بداية عملية النمو، و كذلك من التداخل الذري في المستويات البينية مما ينتج اختلاف في نوع و حجم الحبيبات المتكونة، مما يؤدي إلى تولد تشوه في المستويات الذرية المرسبة ليتنقل إلى الطبقات ومنها للعينة ككل و هو ما يسمى التشوه المجهري. كما يتولد أيضاً في سطح الركيزة المستخدمة في حد ذاتها ليتنقل إلى الطبقات المرسبة فوقها ومن ثم إلى العينة المتشكلة [10، 11]. بالنسبة لتحضير الأغشية

الرقيقة بعملية التنضيد الفوقي فان التشوه ينتج من تغير قيمة ثابت الشبكة بين المسند و الطبقة المرسبة فوقه [12]. و هو ما يسمى بالتشوه الجوهري. كما أن لتغير قيمة البعد البيئي لبلورة الغشاء المتشكل دخل أيضا في تشوه العينة الناتجة وهو ما يعرف بالتشوه البلوري.

ا. 9. 2.1. التشوه الحراري

ينتج عندما تكون الطبقات المرسبة تحت تأثير تغير درجة الحرارة و اختلاف الخصائص الحرارية بين الطبقة المرسبة و الركيزة، هاته الأخيرة التي تكون متعلقة بمعامل المرونة الحراري لكل من الغشاء و المسند، وبالتالي فان قيمة التشوه الحراري الناتج في العينة يتعلق باختلاف درجة الحرارة وكذلك بمعامل المرونة الحراري للركيزة والغشاء المرسب عليها ، وفي حالة العينتين المدروستين في عملنا هذا فان التشوه الحراري مستبعد أو ملغى تأثيره لان عملية الترسيب تمت في درجة حرارة الغرفة.

ا. 10. تطبيقات الأغشية الرقيقة

إن استعمالات الأغشية الرقيقة كثيرة ومتنوعة فمنها الأقراص الصلبة و أنصاف النواقل و السيراميك و الطلاء البصري و تصنيع الخلايا الشمسية و الضوئية، صناعة الكواشف و الوقاية من التآكل والتأكسد [9]. وغيرها من التطبيقات المهمة، فلا يخلو جهاز أو منظومة إلكترونية منها. وان استعمال الأغشية الرقيقة لها فوائد كثيرة منها تقليل التكلفة وتقليل الحجم والوزن وتحسين المواصفات [13]. ونخص بالذكر في مجال التخزين المغناطيسي الذاكرة المغناطيسية الصلبة حيث تعتبر عملية تخزين البيانات من أهم العمليات في وقتنا الحالي ، وكذلك محركات الأقراص الصلبة وهو أكبر تطبيق لهذا القطاع التكنولوجي حيث أن هوس التسابق الحالي يكمن في آلية الحصول على مواد فائقة القدرة (كبيرة السعة) على تخزين البيانات وبأحجام مادية صغيرة قدر الإمكان، ومنه أصبحت الأغشية الرقيقة المغناطيسية موضوعا لعدة أبحاث في هذا المجال [14].

ا. 11. الاستنتاج

تكمن الفكرة الأساسية المدروسة في عملنا هذا في دراسة تغير قيمة التشوه في غشاء محضر من الحديد بتغير نوعية المسند ، ولكي يتم فهم هذا التغير ارتأينا أن نذكر في الفصل الأول من مذكرتنا بعض المفاهيم العامة و الأساسية المتعلقة بالأغشية الرقيقة.

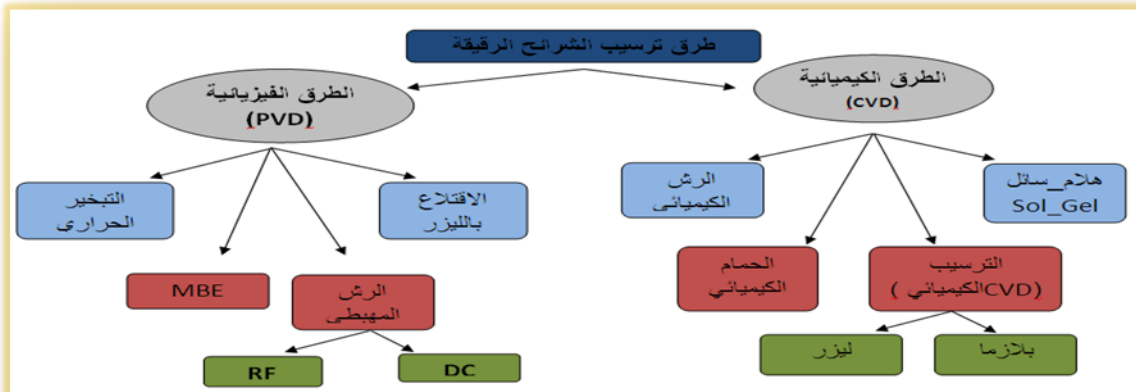
الفصل الثاني

1. تمهيد

بعد اكتشاف علم الأغشية الرقيقة الذي لاقا اهتماما كبيرا في مختلف التطبيقات الواسعة والمهمة، توجه الباحثون بدراسة الطرق المختلفة في تحضيرها، و استطاعوا تصنيفها إلى نوعين أساسيين هما: طرق ترسيب كيميائية من بينها طريقة الترسيب بالتبخير الكيميائي (CVD) وطرق ترسيب فيزيائية من ضمنها طريقة الترسيب بالتبخير الفيزيائي (PVD)، سنتطرق في هذا الفصل إلى شرح مختصر لكل نوع على حدا. ولقد اعتمدنا لتحضير العينات في دراستنا هذه على احد فروع الطريقة الفيزيائية والمتمثلة في طريقة التنضيد بالقذف الجزيئي الموجه (MBE) تحت الفراغ العالي لتمييزها بخواص وعوامل مختلفة عن غيرها من الطرق و سيتم شرح مفصل لهذه الطريقة وكيفية استخدامها و مزاياها في الفقرات اللاحقة، فلقد قمنا بترسيب غشاء رقيق من الحديد سمكه 300\AA على نوعين مختلفين من المساند، لينتج لدينا نوعين مختلفين من العينات الفرق الوحيد بينهما هو نوع المسند المستخدم لمساعدتنا على فهم كيفية تأثير نوع الركيزة المستخدمة على مختلف الخصائص البنيوية والتشوهات لهاته الشرائح المرسبة.

2. طرق ترسيب الأغشية الرقيقة

تصنف طرق الترسيب إلى صنفين أساسيين هما: الطرق الفيزيائية والطرق الكيميائية، و لكل طريقة منهما فروع أخرى مختلفة كما هو مبين في (الشكل 1.11)، لكل منها خصائصها التي تميزها عن الأخرى، وبما أن طريقة ترسيب الأغشية الرقيقة له أهمية كبيرة نظرا لما تمتلكه من تأثير كبير على الصفات الفيزيائية لهذه الأغشية [15]، فان اختيار الطريقة المناسبة للتحضير يعتمد على نوع المادة المراد ترسيبها خصائصها الفيزيائية [15]، ولقد تم تصنيف هذه الطرق حسب المخطط الموضح في (الشكل 1.11).



الشكل 1.11. مخطط توضيحي لأنواع طرق ترسيب الأغشية الرقيقة [16]

II . 2 . 1. طريقة الترسيب الكيميائي للبخر

تستخدم هذه الطريقة CVD للحصول على أغشية رقيقة نقية من المعادن وأشباه النواقل والعوازل، يجري في عملية الترسيب الكيميائي للبخر تعريض المسند (الركيزة) إلى مركب أو عدة مركبات طليعية متطايرة والتي تتفاعل و/أو تتفكك على سطح الركيزة لتعطي المادة المرغوبة. يصاحب العملية نشوء نواتج ثانوية، والتي تزال من حجرة التفاعل بواسطة تدفق تيار غازي كما هو موضح في (الشكل II.2). [17]. يعتمد مبدأ الترسيب الكيميائي للبخر على تشكل غشاء رقيق من الطور الغازي نتيجة تفاعل كيميائي على سطح المسند الساخن [18]. و من الشروط الواجب توافرها لتحقيق الترسيب: أن تكون المواد المكونة للطبقة المراد وضعها ذات تطايرية عالية.

تتم آلية الترسيب الكيميائي للبخر عبر أربعة خطوات كالتالي:

- ✚ يتم حقن المركبات المتطايرة (الطليعية أو مواد الانطلاق [19]) في غرفة التفاعل مع أو من دون غازات تفاعلية إضافية، وتوجيهها إلى الركيزة.
- ✚ تمتز المركبات الغازية (تمتص كيميائياً) على سطح الركيزة.
- ✚ تتفاعل المركبات المتطايرة معاً أو مع سطح الركيزة كيميائياً، ويتم تنشيطه حرارياً بتسخين الركيزة.
- ✚ يتم امتزاز ناتج التفاعل الثانوي للمرحلة الغازية وإخلائه من غرفة التفاعل عبر تدفق تيار غازي.



الشكل II.2. مخطط توضيحي لمبدأ الترسيب الكيميائي (CVD) [17].

II. 2. 2. طريقة الترسيب الفيزيائي للبخار

يتمحور ترسيب الأغشية الرقيقة بواسطة طريقة PVD على عملية فيزيائية تنفصل فيها الذرات عن الهدف وترسب على الركيزة، كما هو موضح في (الشكل II.3.) تجري عمليات الترسيب الفيزيائي للبخار دون حدوث تفاعل كيميائي على سطح المسند وإلا فإنه يصنف على أنه ترسيب كيميائي للبخار.

تعتمد طريقة التبخير على تسخين الهدف (باستخدام شعاع إلكترون شديد وحيوي أو بواسطة تأثير جول) عند ضغط منخفض جداً وفي درجة حرارة عالية لحد تكثف الذرات على الركيزة [20]، ومن بين التقنيات التي تعتمد على التبخير الفيزيائي نذكر: التبخير الحراري، الاقتلاع بالليزر ومن أهم التقنيات الأكثر استخداماً نذكر: تقنية الرش المهبطي و تقنية التنضيد الفوقي بالقذف الجزيئي والتي اعتمدها في تحضير العينتين المدروستين في هذا العمل و سنتطرق إلى شرح جميع المعلومات التي تخصها في الفقرات القادمة.



الشكل II.3. مخطط توضيحي لمبدأ الترسيب الفيزيائي (PVD) [17].

II. 3. طريقة التنضيد الفوقي بالقذف الجزيئي

في هذا العمل، تم استخدام طريقة التنضيد بالقذف الجزيئي، لاعتبارها واحدة من أهم الطرق التي تساهم في إنشاء أغشية رقيقة عالية الجودة، حيث يتم في هذه الطريقة تبخير المواد المراد ترسيبها تحت الفراغ العالي 10^{-11} torr، وتعتمد طريقة التبخير المتبعة على خصائص المادة المبخرة، حيث تستخدم التبخير عن طريق التسخين بتأثير جول إذا كانت للمادة درجة حرارة انتشار صغيرة وقل من 1200°C مثل الفضة، أو التبخير بواسطة القذف الإلكتروني للمعادن التي تزيد درجة انتشارها على 1200°C مثل الحديد، وأكسيد المغنيزيوم [19]، فتتحرك الجسيمات الناتجة (ذرات أو أيونات) عن التبخير وفق خط مستقيم دون أن تصطدم بأي حاجز سواء كان ذرات متبقية في الحاوية (الحجرة) أو جدار الحجرة نتيجة الفراغ الفائق المتواجد داخل هذه الأخيرة ولهذا سميت بالتنضيد الموجه في الفراغ العالي حيث يكون الوسط الناقل للجسيمات الناتجة من التبخير هو الفراغ فقط الفراغ، ولذلك ينتج تدفق

اتجاهي لهذه الذرات فتتحرك مغادرة لمنطقة الضغط العالي أين توجد منبع هذه الجسيمات، إلى منطقة الضغط المنخفض أين تتواجد الركيزة [21]. تسمى هذه الأخيرة بالانجليزية كما يلي: molecular beam epitaxy ويرمز لها بالرمز (MBE)، وهذا المختصر تتفرع منه عدة حالات أخرى وفق ما يستعمل من مصادر للحزم الجزيئية، مثل المصادر الغازية (GSMBE) والمصادر العضوية (MOMBE)، والتي تدعى أحيانا (CBE) لذلك فان طريقة (MBE) تمتد لتشمل تقنيات تبخير حراري أو تقنيات تنحو نحو كيميائيا لعمليات التدفق كطريقة (CVD) [22].

II. 3. 1. تعريف التنضيد الفوقي

كلمة التنضيد أصلها يوناني وتعني "épi" فوق و "taxie" النظام، اقترحت في أعوام الثلاثينيات من قبل العالم الفرنسي "L.Royer"، وتشير لتجاور منتظم لنوعين من البلورات. و للتنضيد الفوقي نوعان:

✚ التنضيد المتماثل (homo-épitaxie) في حالة كون المادة المترسبة والركيزة متماثلة مثل (MgO//MgO) [23].

✚ التنضيد المغاير (hétéro-épitaxie) في هذه الحالة تكون المادة المترسبة والركيزة مختلفتان مثل (Fe//MgO) [23].

II. 3. 2. مبدأ عمل تقنية التنضيد الجزيئي

أول من استخدم هذه التقنية كان العالم جونتر (Gunther) في أواخر الخمسينيات حيث نجح في ترسيب الأغشية الرقيقة لكل من InSb و InAs على ركيزة من الزجاج ثلاثي التبلور. مبدأ الترسيب بتقنية التنضيد الجزيئي بسيط جدا حيث يتم تبخير المواد المراد ترسيبها داخل غرفة مفرغة من الهواء في ضغط يصل إلى 10^{-11} torr [24]، إما عن طريق التسخين بتأثير جول، أو بواسطة القذف الإلكتروني. فتترسب ذرات المادة المبخرة على سطح الركيزة عن طريق التكاثر، و إنتاج الجزر ثم مجموعة الجزر وأخيرا يبدأ النمو و إنتاج الطبقة الرقيقة. تسمح هذه التقنية تحت الفراغ 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، الشيء الذي يساعد على انتشار جيد لذرات المادة المترسبة يسمح بتكوين أسطح ملساء ذات نوعية جيدة خالية من التضاريس الخشنة [23].

II. 3. 3. هيكل جهاز التنضيد الفوقي الجزيئي

يتكون جهاز التنضيد بالقذف الجزيئي من عدة غرف كما هي موضحة في (الشكل II.4)، ولكل غرفة دورها وخاصيتها المهمة، وهذه الغرف هي:

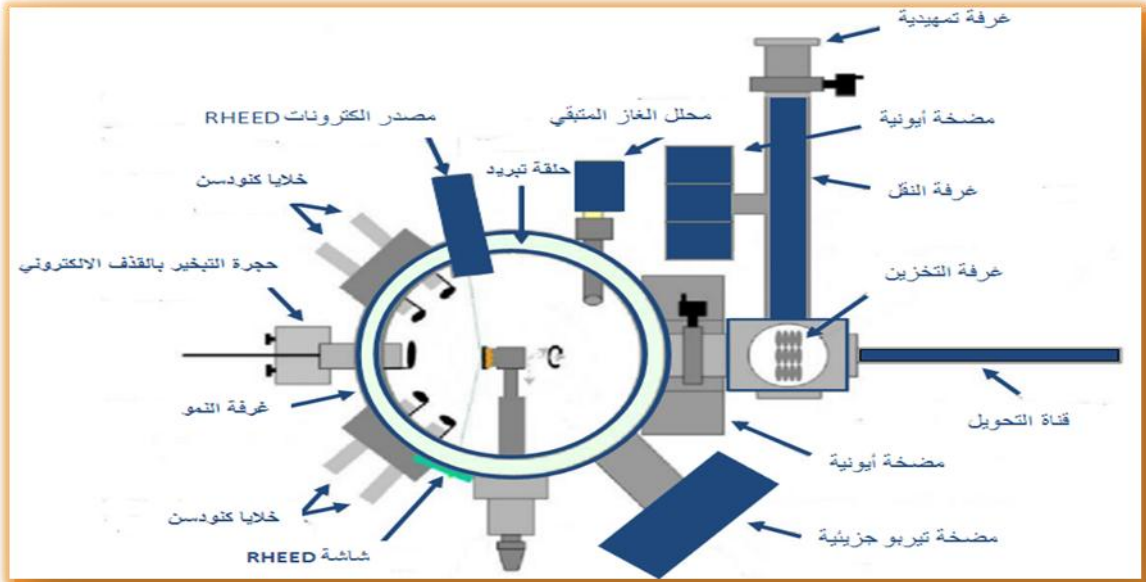
➤ **الغرفة التمهيدية:** تستخدم لإدخال الركائز للغرفة الرئيسية التي يكون الضغط فيها في حدود 10^{-8} torr وهي موصولة بمضخة تريبو-جزيئية (turbo moléculaire) لتحقيق هذا الضغط.

➤ **غرفة التخزين:** تستخدم لتخزين العينات المحضرة

➤ **غرفة النقل:** تستخدم كغرفة عزل بين غرفة النمو (الترسيب) وباقي الغرف

➤ **غرفة النمو:** عبارة على غرفة فائقة الفراغ حيث ينخفض الضغط فيها كثيرا الى غاية 10^{-11} torr ولتحقيق هذا الضغط المنخفض والمحافظة عليه نستخدم عدة مضخات منها: المضخة الدوارة، مضخة التريبو جزيئية، المضخة الأيونية و مضخة التبريد.

➤ تحاط غرفة النمو بأغلفة مبردة بالنيتروجين السائل، والتي تكثف الأبخرة غير المرغوب فيها وتحسن الفراغ في منطقة العينة التي يمكن رصدها من خلال مطياف الكتلة [25].



الشكل II.4. رسم تخطيطي لهيكل تقنية التنضيد الفوقى الموجه [26]

II. 3. 4. مزايا تقنية التنضيد الفوقى الجزيئي

➤ مراقبة بنية سطح الأغشية المتكونة في نفس وقت التحضير باستخدام تقنية RHEED.

➤ الترسيب تحت الفراغ يقلل من دمج الشوائب في العينة وطبقاتها.

➤ سرعة النمو بطيئة عموما تتراوح من 0.1 \AA/s إلى 10 \AA/s والذي يسمح بالسيطرة الممتازة والمراقبة الجيدة لسمك الطبقات المودعة وتحقيق واجهات جديدة شديدة الانحدار [27]، وعموما تعتمد سرعة الترسيب على درجة حرارة المصدر، والمسافة بين المادة المبخرية والركيزة [28].

➤ ترسيب الأغشية في درجات حرارة منخفضة [21].

➤ السهولة النسبية لوضع أجهزة التشخيص (in situ في الموقع) في نظام الخلاء.

✚ التحكم بالنسب الكيميائية لتكوين طبقات مختلفة الصفات الكترونيا وبصريا [29].

II. 3. 5. عيوب تقنية التنضيد الفوقي الجزئي

✚ سرعة الترسيب بطيئة جدا، تؤدي إلى أخذ وقت كبير لتحضير عينة واحدة.

✚ تفكك الأكاسيد بسبب درجة الحرارة العالية للتبخر [24].

✚ التفاعلات الجانبية للمواد المبخرة التي تكون على اتصال فيما بينها [24].

✚ عملية إزالة الغازات، التفكك، الانفجار الدقيق للمواد المعروضة للتبخر. لكن تبقى تقنية

التبخير مفضلة وخاصة في تطوير مواد عالية النقاوة [30].

II. 4. طرق دراسة الأغشية الرقيقة

تختلف الطرق المستخدمة لدراسة الخصائص البنيوية للأغشية الرقيقة حسب طبيعة الخصائص المراد دراستها و من بين هذه الطرق: التحليل باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء (IR)، الرامون (RAMON)، UV-visible، انعراج الالكترونات البطيئة (LEED)، انعراج الالكترونات السريعة (RHEED) أو التحليل باستخدام الأشعة السينية (DRX). في هذه الدراسة استخدمنا التحليل باستخدام انعراج الأشعة السينية.

II. 4. 1. التحليل باستعمال انعراج الأشعة X

نستخدم في طريقة التحليل باستعمال انعراج الأشعة X إشعاع سيني وحيد اللون، بأية دقيقة في معلوماتها ويتم التسجيل فيها باستعمال عداد حيث يوصل هذا الأخير بجهاز راسم يقوم برسم مخطط أي شدة لكمية الإشعاع | بدلالة زاوية (2θ)، تسمح هذه التقنية بتأشير خطوط الانعراج حيث يرفق بكل خط قيمتين محسوبتين هما على التوالي الشدة | والمسافة البلورية d_{hkl} أو الزاوية 2θ، و تحسب هذه الأخيرة من قانون براغ المعروف.

$$2d_{hkl} \sin \theta = n\lambda \quad (1 - II)$$

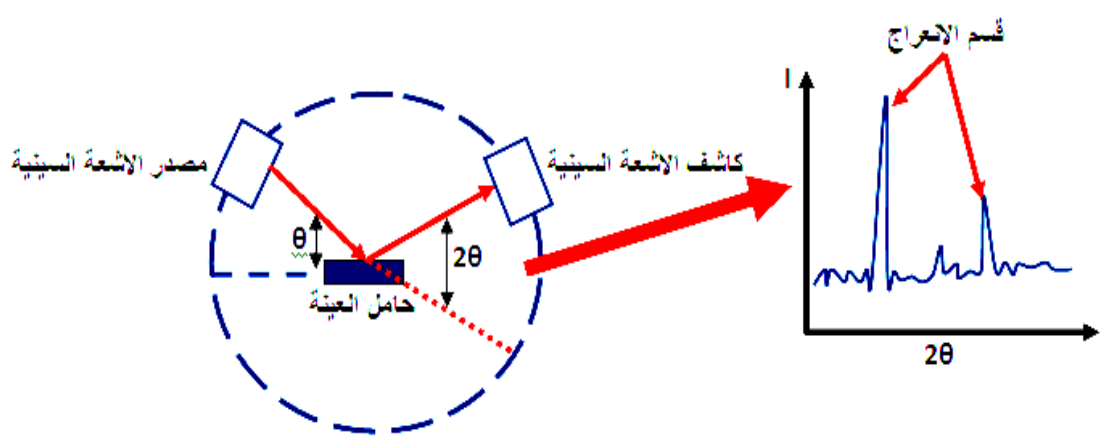
ومنه يمكن الحصول على قائمة الثنائيات (θ_{hkl} -I) انطلاقا من المخطط ، هذه القائمة تكون مميزة لكل عنصر أو مركب ، مثل هذه القوائم تم إعدادها مسبقا ووضعت على شكل كتب في نظام بطاقات تعرف ببطاقات A.S.T.M، ومؤخرا أصبحت هذه البطاقات مبرمجة ومسجلة على أقراص مضغوطة لتسهيل استعمالها مباشرة من خلال الحاسوب. كما أن هذه البطاقات مرتبة تبعا لقيم d_{hkl} للخطوط الثلاثة الأكثر شدة لكل عنصر أو طور وهي تعتبر كافية لتحديد ماهية المادة [31].

إن القيام بعملية التحليل الكيفي لمادة مجهولة يعتمد على تأشير خطوط الانعراج وترتيبها حسب تزايد شدتها ثم العودة إلى بطاقة A.S.T.M للكشف عن هذا العنصر أو الطور، تزداد هذه الطريقة تعقيدا في حالة احتواء المادة على أكثر من طور واحد، لكن الطريقة تبقى دوما نفسها [31].

II. 4. 1.1. 4. مبدأ عمل طريقة انعراج الأشعة X

تصدر الأشعة السينية من المنبع ثم تسلط على العينة المراد دراسة خصائصها البنوية و المثبتة على قاعدة الحامل، حيث يمكنها الدوران حول محور عمودي بالزاوية θ كما هو مبين في (الشكل II.5.)، وبعد انعكاسها خلال هذه الأخيرة تكون أشعة منعرجة، ويلتقطها الكاشف الذي يكون في الزاوية 2θ ، بحيث يكون دوران العداد مصحوبا آليا بدوران العينة بزاوية وهذا يضمن أن تكون زاويتا السقوط على العينة المستوية والانعكاس منها متساويتين دائما، وهو النظام الضروري للاحتفاظ بشرط التركيز، وذلك حتى يتسنى قياس شدة الانعكاسات الضعيفة [32].

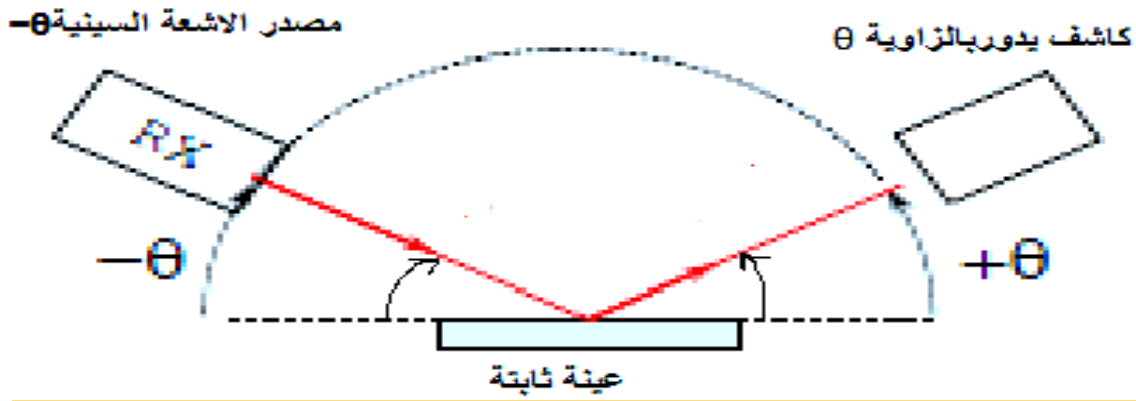
تتغير زاوية الورود أثناء القياس من زاوية إلى زاوية خطوة بخطوة، وفي كل خطوة تسجل الشدة الفعلية للشعاع المنعكس بواسطة عداد. عندما يتحقق شرط براغ تظهر قمة لشدة الشعاع المنعكس [33]، وبمساعدة الجداول الموجودة في بنك المعطيات (بطاقات) A.S.T.M ، يمكننا الوصول إلى تحديد كل المعلومات المطلوبة. في التطبيقات العملية نستخدم نمطين من الانعراج هما: النمط θ - θ والنمط θ - 2θ ، سنقوم بتوضيح معنى كل نمط في الفقرات التالية:



الشكل II.5. رسم تخطيطي لمبدأ انعراج الأشعة السينية [34]

II. 4. 1.1. 4. انعراج حسب النمط θ - θ

في هذا النمط، تبقى العينة ثابتة في حين مصدر الأشعة السينية يدور بالزاوية θ - و يدور الكاشف الذي يستقبل الأشعة المنعكسة من العينة بالزاوية مثل ما هو مبين في (الشكل II.6.) ، و يسمح طيف الانعراج بإعطائنا معلومات حول التوزيع العشوائي للمستويات الجانبية للغشاء، ونوعية التبلور.



الشكل II.6. رسم تخطيطي للنمط (θ - θ) من انعراج الأشعة السينية

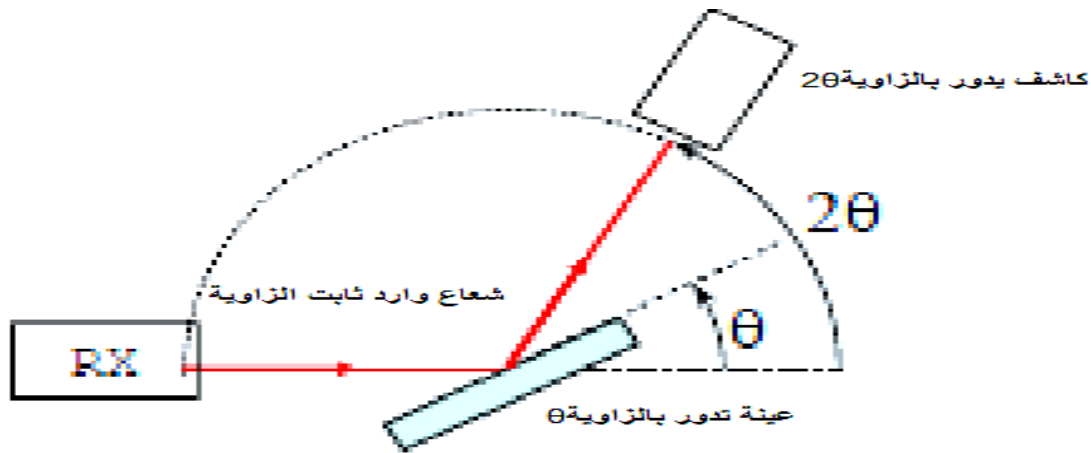
II. 4. 1.1. 2. انعراج حسب النمط θ - 2θ

يعتبر هذا النمط الأبسط و الأكثر شيوعا هندسياً، حيث تدور العينة حول محورها العمودي بسرعة زاوية θ و الكاشف الذي يسجل شدة الانعكاس يدور على طول الزاوية بسرعة 2θ , ويكون شعاع التشتت عمودي على العينة [35]، كما هو موضح سابقا في (الشكل II.7.)، و هناك نوعين من الانعراج يعتمدان على قيمة زاوية الورود وهما:

➤ انعراج الزوايا الصغيرة $2\theta=0^\circ-10^\circ$.

➤ انعراج الزوايا الكبيرة $2\theta=30^\circ-75^\circ$.

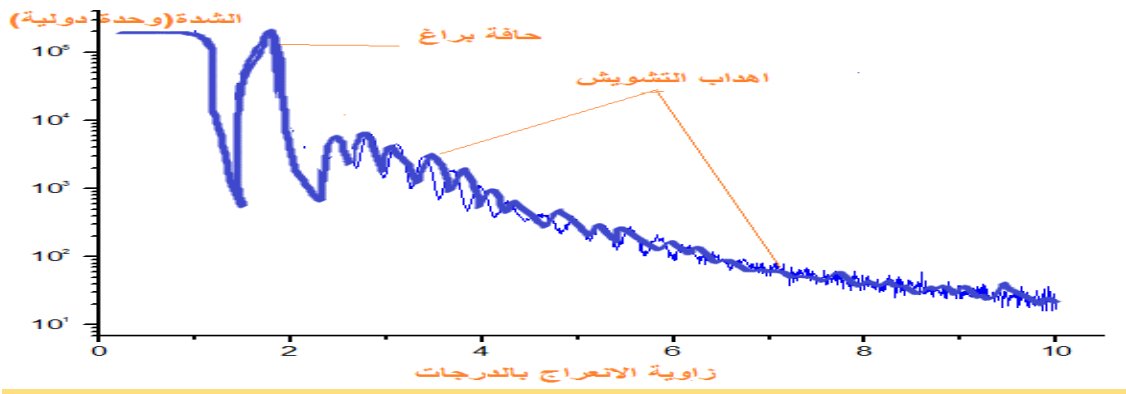
الشكل التالي يوضح الانعراج بالنمط θ - 2θ والبيان يوضح الانعراج بالزوايا الكبيرة



الشكل II.7. رسم تخطيطي للنمط (θ - 2θ) من انعراج الأشعة السينية

II. 4. 1.1. 1.2. انعراج الزوايا الصغيرة

يمثل (الشكل II.8.) الطيف المسجل في هذا النمط من الانعراج و يمكننا تحليل طيف هذا الانعراج من معرفة مدى خشونة الأسطح والواجهات. نلاحظ في هذا الطيف قمم براغ الناتجة من التداخل بين الأشعة X المنعكسة من الأسطح البينية وتلك المنعكسة من السطح الحر للعينة. كما يظهر لنا أيضا أهداب التشويش (Kissing) الناتجة عن تداخل الأشعة المنعكسة من سطح المسند والسطح الحر للطبقات المترسبة فوقه [36]، تحليل طيف الانعراج يعطينا معلومات حول خشونة السطح، جودة العينة و كلما زاد عدد طبقات العينة (أو سمك العينة) زاد عدد أهداب التداخل.



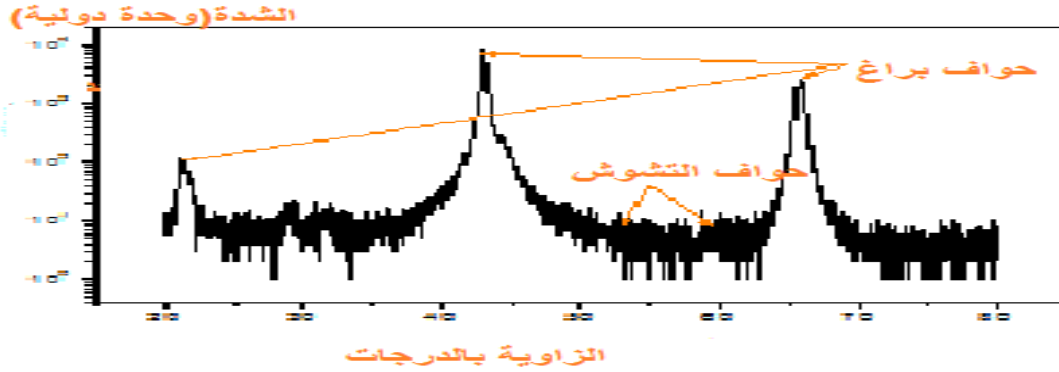
الشكل II.8. طيف انعراج الأشعة السينية عند تسليطه بالزوايا الصغيرة

I. 4.1.1.2.2. الانعراج بالزوايا الكبيرة

في هذا النوع من الانعراج يكون الطيف المسجل من تداخل الأشعة السينية المنعكسة من المستويات الذرية للعينة (انظر (الشكل II.9.)) ، مكون من قمم عالية الشدة تسمى حواف Bragg عبارة على انعراج بشكل بناء للأشعة المنعكسة، و حواف التشويش (Pics satellites) ناتجة من انعكاس الأشعة من الأسطح البينية المكونة للعينة ، فكلما كان عدد الانعكاسات أكثر كان عدد هذه الحواف وشدة قممها أكبر. طيف الانعراج هو سمة مميزة لأي مركب أو عينة، فمن معرفة الزوايا و الموضع الزاوي θ_{hkl} لخطوط الانعراج التي تحقق علاقة Bragg المعرفة في العلاقة (II - 1) نستنتج المسافات البلورية d_{hkl} والشدة I و كذلك الثابت الشبكي a الناتج . إضافة إلى ذلك بمقارنة قيمة هاته المسافات البلورية المحسوبة مع تلك المخزنة في قواعد البيانات (ملف ASTM (قيم البطاقة الدولية التجريبية)) ، نستطيع استنتاج نوع التبلور واتجاهه من خلال معرفة ثوابت ميلر لحواف براغ [24]. ويمكن أيضا استنتاج المعلومات التالية: عدم الانتظام الشبكي الذي يحدث بين كل طبقتين متتاليتين $\Delta a/a$ ، الحجم الحبيبي D ، وقيمة التشوه ϵ ، بالنسبة لخشونة سطح الأغشية والجودة البلورية للطبقات نستطيع فهي

تستنتج من شكل وعدد حواف التشويش (Pics satellites) حيث يدل ارتفاع عددها على الجودة البنيوية العالية وانخفاض نسبة الخشونة [19، 37].

سنتطرق إلى جميع الخصائص الممكن استنتاجها والمذكورة اعلاه بالتفصيل في الفقرات التالية:



الشكل 9. II. طيف انعراج الأشعة السينية عند تسليطه بالزوايا الكبيرة

II. 4. 2. الخصائص البنيوية المستخرجة من تحليل طيف انعراج الأشعة X

II. 4. 1. 2. المسافة البلورية d_{hkl}

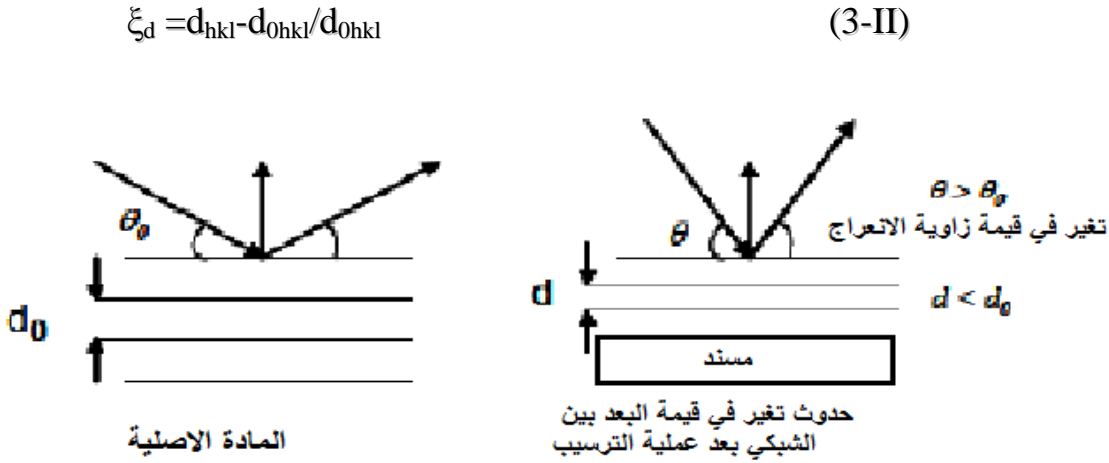
المسافة البلورية و يدعى أيضا البعد البيني وهو البعد بين مستويين ذريين متتاليين، يستنتج من علاقة براغ (Bragg) الموضحة في العلاقة (II-1)، وتحسب قيمته من العلاقة (II-2)، فبمعرفة قيمة زاوية براغ من منحنى الانعراج θ_{hkl} ومقارنتها بقيم الزوايا الموجودة في البطاقة الدولية التجريبية ASTM، نستنتج قرائن ميلر h, k, l للانعراج أو مستوى الانعراج الذي سقطت عليه الأشعة السينية (hkl) بصفة العينة تدور فان الأشعة في كل مرة تسقط على مستوى مغاير، ومنه نتوصل إلى الاتجاه المفضل لنمو البلورة

$$d_{hkl} = \lambda / 2 \sin \theta_{hkl} \quad (II-2)$$

II. 4. 2. 2. التشوه البلوري ξ_d

إن معرفة البعد البيني d_{hkl} ومقارنته بالقيمة النظرية للمادة غير المشوهة [38]، يمكننا من معرفة قيمة التشوه التي آلت إليه العينة بعد ترسيب طبقاتها الرقيقة، جراء الضغط التي تتعرض إليه هاته الأخيرة أثناء فترة النمو، والذي يتجلى في التغير الذي يطرأ على قيمة البعد البيني للغشاء المرسب، و يستنتج من تغير في قيمة زاوية براغ للمستوى البلوري عن القيمة النظرية حسب ما يظهره (الشكل II.10)، سنرمز لهذا التشوه في هذا العمل بالرمز ξ_d ، و يمكننا حسابه باستخدام العلاقة (II-3)

[39] التالية:



الشكل 10.11. مخطط يبين تأثير الضغط أثناء الترسيب على كل من البعد البيني للمادة [39].

3.2.4. ثابت الشبكة a_{hkl}

يمثل ثابت شبكة البلورة البعد بين مستويين لنفس النوع من الذرات المكونة للغشاء المدروس، نستطيع قياسه بمعرفة زاوية براغ للمستوى (hkl) المعين وتطبيق العلاقة (4-II) [40] وبمقارنة قيمته التجريبية بقيم البطاقة الدولية التجريبية لثابت الشبكة للبلورة، يمكننا معرفة نوع الإجهاد التي تعرضت إليه الشبكة البلورية أثناء النمو. فإذا انخفضت قيمة ثابت الشبكة التجريبي فان الإجهاد المطبق هو عبارة على ضغط للطبقات وان كان العكس فان الطبقات قد استرخت بفعل التمدد.

$$a_{hkl} = d_{hkl} ((h^2 + k^2 + l^2))^{1/2} \quad (4-II)$$

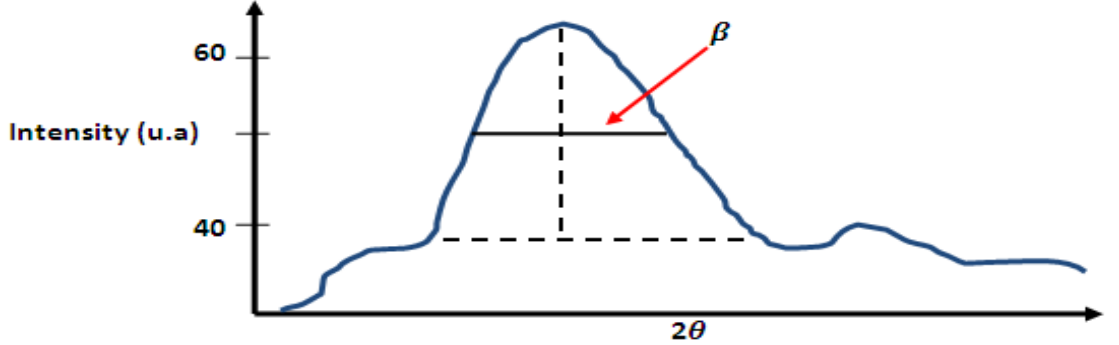
4.2.4. التشوه الجوهري ξ_{int}

إن الأغشية الرقيقة تحتاج دوماً إلى ركيزة تستند عليها لتتم عملية الترسيب، وخاصة إذا كانت هذه الأخيرة تتم عن طريق التنضيد الموجه، ولذلك لا بد من تواجد علاقة وثيقة تربط بين ثابت الشبكة للغشاء المرسب a_f و المسند المرتكز عليه a_s ، فأى تغير يتعرض إليه المسند أثناء عملية الترسيب ينتج عنه غالباً تغير في قيمة ثابت شبكته و يؤدي إلى تشوه ينتج في الأغشية المرسبة حيث يترجم في تغير قيمة ثابت شبكته، ونسمي هذه العملية بالتشوه الجوهري للعينة والذي يلخص في عدم الانتظام الشبكي بين الركيزة و الطبقة المرسبة فوقها وليس له علاقة بتغير درجة الحرارة أثناء عملية الترسيب، ونرمز له بالرمز ξ_{int} ، يعطى بالعلاقة (5-II) [41] التالية:

$$\xi_{int} = (a_s - a_f) / a_s \quad (5-II)$$

II. 4. 5.2. 4. حجم الحبيبات D

يساعدنا أيضا تحليل طيف الانعراج للأشعة السينية من إيجاد الحجم الحبيبي للعينات والذي نرمز له بالرمز D ويقاس بالنانومتر ، ولحساب قيمته يكفي معرفة موقع حافة براغ 2θ وتقاس بالدرجات



و كذلك نصف ارتفاع عرضها β (أنظر (الشكل II.11.)) والذي يجب أن يكون بالراديان، وبعده نطبق علاقة شيرار (Scherrer) الموضحة في العلاقة (6-II) التالية [42-43]

$$D = 0.9\lambda / \beta \cos\theta_{hkl} \quad (6-II)$$

الشكل II.11. رسم تخطيطي يبين موضع نصف ارتفاع عرض حافة براغ ذي الشدة العظمى.

II. 4. 6.2. 4. كثافة الانخلاع δ

تمثل كثافة الانخلاع عدد خطوط الانخلاع التي تقطع وحدة المساحة في تلك البلورة، نرمز لها بالرمز δ ، وتتعلق أيضا بموضع أعلى قمة في طيف انعراج الأشعة السينية وكذلك بمنصف عرضها، ونستطيع حسابها باستخدام علاقة Williamson and Small mans الموضحة في (7-II) [44-45].

$$\delta = 1/D^2 \quad (7-II)$$

II. 4. 7.2. 4. التشوه المجهرى ϵ

وتعرف أيضا بالمطاوعة المايكروية، تنتج هذه التشوهات عن الاجهادات الموجودة في الشبكة البلورية حيث تحسب بالعلاقة (8-II) التالية [46-47]

$$\epsilon = \beta \cos\theta / 4 \quad (8-II)$$

II. 5. 5. طريقة تحضير العينات

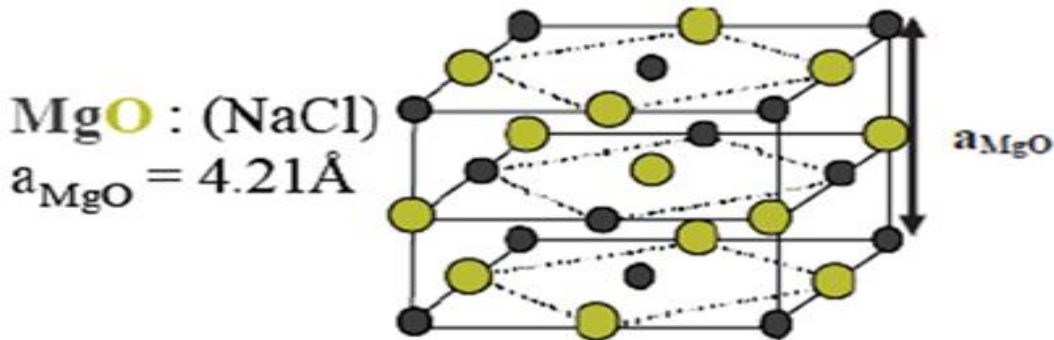
II. 5. 1. طريقة تنظيف المساند

إن نوع المسند المستخدم أثناء الدراسة مهم جدا، حيث يتم اختياره حسب خصائصه وتبعاً لشروط معينة. في هذه الدراسة استعملنا مسندين مختلفين كلياً من حيث الخصائص الفيزيائية وان دل هذا التنوع

إنما يدل على حرصنا على استكشاف تأثير نوعية المسند المستخدم على الخصائص البنوية للغشاء الرقيق للحديد ، وذلك اخترنا أن تكون الركيبتين كل من: $MgO(001)$ و $SiO_2/Si(100)$ ، وستتطرق في الفقرات التالية الى خاصية كل مسند وكيفية تحضيره

II. 5. 1.1. الركييزة $MgO(001)$

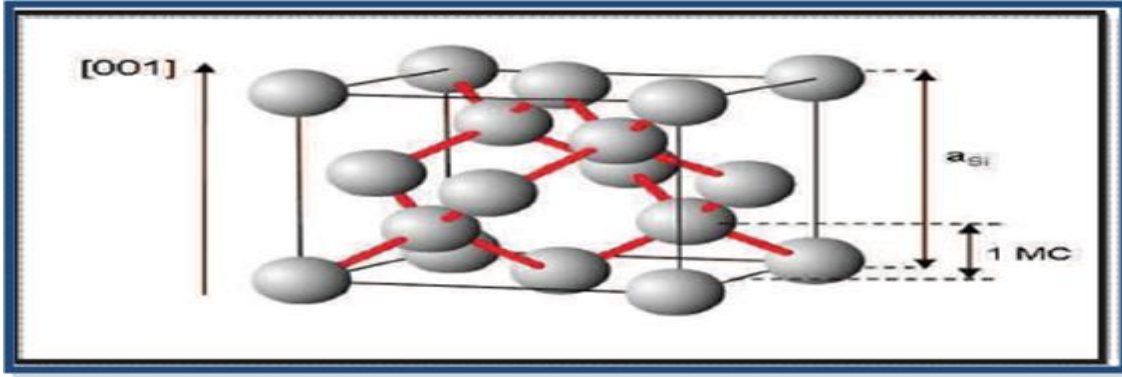
استخدمنا الركييزة MgO الأحادية التبلور التجارية ذات أبعاد $15*15*1mm$ والمصقولة على الوجه (001)، وهي بلورة أيونية لها بنية مكعبة من نوع كلوريد الصوديوم (NaCl)، ومؤلفة من شبكتين ممركتزي الأوجه المتداخلة فيما بينها واحدة من المغنزيوم (Mg)، والأخرى من الأوكسجين (O)، شكل الشبكة MgO موضح في الرسم التخطيطي((الشكل II.12.)) ، يقدر قيمة ثابت الشبكة $a_{MgO}=4,21\text{\AA}$ ولقد اخترنا هذه الركييزة لان عدم الانتظام الشبكي ($\Delta a/a$) بين هذه الأخيرة وكل من الغشاء الرقيق للحديد صغير جدا مما يساعد على نمو أحادي الاتجاه [41-42]. هذه الركييزة تجارية و لقد قمنا بتنظيفها باستخدام بروبانول-2، ثم تجفيفها بغاز النيتروجين ومن ثم إخضاعها لمعالجة حرارية لمدة 20 دقيقة في درجة حرارة $600\text{ }^\circ\text{C}$ تحت فراغ 10^{-7} torr لغرض إزالة الشوائب على السطح.



الشكل II.12. رسم تخطيطي يبين تموضع ذرات البلورة MgO [19].

II. 5. 2.1. الركييزة $SiO_2/Si(100)$

يوجد السيليسيوم (Si) في العمود الرابع (IV) من الجدول الدوري للعناصر و مبلور طبقا لبنية الماس (كما هو موضح في (الشكل II.13.)) [43] ، ثابت شبكته يساوي $a_{Si} = 5.431\text{ \AA}$ ، يستخرج السيليسيوم من الطبيعة بسهولة لتواجده فيها، حيث تقدر نسبة تواجده في القشرة الأرضية ب 20% (يستخرج من الرمل مثلا)، كما أن لديه العديد من المزايا والخصائص الهامة كأشباه الموصلات، يستعمل أكسيد السيليسيوم في العديد من المجالات الفيزيائية كركائز مثلا، قمنا بتحضير ركييزة السيليسيوم متعدد البلورات بتقنية القذف الالكتروني، حيث يتم ترسيبه على ركييزة من أكسيد السيليسيوم بسمك يصل إلى 1000\AA وبالتالي نحصل على ركييزة SiO_2/Si متعدد التبلور وفق الاتجاه (100).



الشكل II.13. رسم تخطيطي يبين بلورة السيليسيوم الماسية [19].

II. 5. 2. طريقة ترسيب الطبقات

في هذه الدراسة رتبنا نوعين من المعادن: الحديد Fe والفضة Ag تحت الفراغ العالي 10^{-11} torr وفي درجة حرارة الغرفة

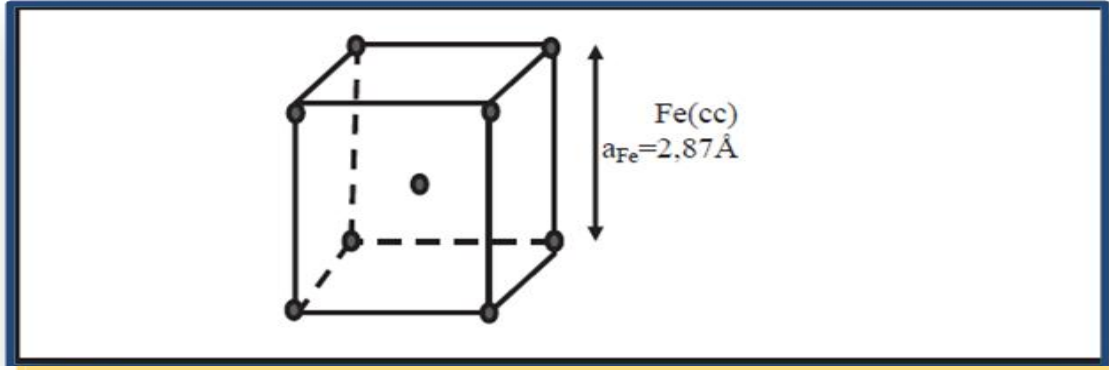
II. 5. 1. 2. ترسيب طبقة الحديد Fe

II. 5. 1. 1. 2. خصائص الحديد

يعد الحديد أحد العناصر الكيميائية و الانتقالية المهمة في الطبيعة، يتمتع الحديد النقي بتحولين تأصليين. فهو يتبلور في بنية مكعبة ممرضة الجسم (CC) و يكون مستقرا في هذه البنية من درجة الحرارة العادية إلى غاية 912°C م و هو الحديد $(\text{Fe}_{\alpha})\alpha$ ، و من 1394°C م إلى غاية نقطة انصهار الحديد و التي تقدر بالقيمة 1538°C م و هو الحديد $(\text{Fe}_{\delta})\delta$ ، و يتبلور كذلك في بنية مكعبة ممرضة الوجوه (CFC) في المجال الممتد من 912°C م إلى 1394°C م و يُعرف بالحديد $(\text{Fe}_{\gamma})\gamma$ [48]. يتبلور الحديد وفق البنية المكعبة الممرضة الجسم (cc) بثابت شبكة $a=2.86\text{\AA}$ (انظر الشكل II.14). [19]، كثافته $\rho=7.94\text{g/cm}^2$ ، يمثل الجدول (II-1) بعض الخصائص الكيميائية والفيزيائية للحديد.

| الصيغة الكيميائية | Fe |
|-------------------|------------------------|
| العدد الذري | 26 |
| الكتلة المولية | 55.847 غ/مول |
| درجة الانصهار | 1536°C |
| درجة الغليان | 3000°C |
| الكتلة الحجمية | 7.86 غ/سم ³ |
| البعد البلوري | $a=0.2866\text{ nm}$ |

الجدول II. 1. بعض الخصائص الفيزيائية للحديد [49].



الشكل II.14. رسم تخطيطي يوضح البنية البلورية للحديد [19].

II . 5 . 2.1.2. طريقة ترسيب طبقة الحديد

قمنا بترسيب طبقة الحديد في غرفة الترسيب لهيكل التنضيد الفوقي الموجه (MBE) بتوتر 10.6KVolt وتيار 1.3A بسرعة ترسيب 0.3 \AA/s ودرنا الخصائص البلورية له وقيم التشوهات لهذه الطبقة بتغيير المسند المستخدم، ولقد ثبتنا سمكه عند القيمة 300 \AA ودرنا هذه الخصائص باستخدام انعراج الأشعة السينية

II . 5 . 2.2. ترسيب طبقة الفضة Ag

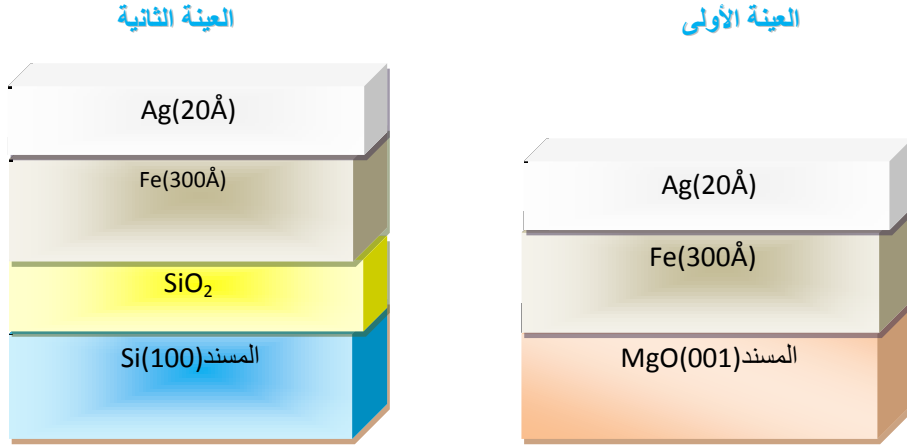
تم ترسيب طبقة الفضة في هذه الدراسة باستخدام طريقة التبخير باستعمال تأثير جول لكون درجة انتشارها صغيرة بسرعة 1 \AA/s بسمك 20 \AA ، كما يتم استنتاج تأثير الطبقة على السطح وفي انعراج الأشعة السينية . قمنا باستخدام طبقة الفضة فوق طبقة الحديد للحفاظ عليها من التأكسد. ولقد اخترنا الفضة لأنها تتبلور وفق البنية المكعبة الممرزة الحجم (cc) و شكل بنيتها البلورية يشبه شكل البنية البلورية للحديد بثابت شبكي $a = 4.286 \text{ \AA}$ ، وعددها الذري هو 47

II . 5 . 3. الشكل النهائي للعينات

لقد تم التحضير في هذا العمل، نوعين من العينات باستخدام نوعين من المساند كما هو موضح في الرسم التخطيطي الممثل في (الشكل II.15). بهدف معرفة تأثير المسند على الخصائص الفيزيائية للحديد بحيث تحصلنا في النهاية على عينتين رمزنا لهما بالصيغتين التاليين :

العينة 01: $\text{MgO}(001)//\text{Fe}(300 \text{ \AA})/\text{Ag}(20 \text{ \AA})$

العينة 02: $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)//\text{Fe}(300 \text{ \AA})/\text{Ag}(20 \text{ \AA})$



الشكل II.15. رسم تخطيطي للعينتين.



II.6. الاستنتاج

درسنا في هذا الفصل الخصائص التركيبية لشرائح رقيقة من الحديد (Fe) المرسب فوقه الفضة (Ag) بدلالة مسندين مختلفين، وذلك باعتماد طريقة الترسيب بالقذف الجزيئي الموجه (MBE) لترسيب طبقات العينتين، وكذلك قدمنا كيفية استخدام انعراج الأشعة السينية (DRX) لدراسة بعض الخواص البنوية منها ثابت الشبكة البلوري و حجم الحبيبات، كما بينا كيفية حساب قيمة التشوه باستخدام تحليل طيف هذا الأخير. لنبقي على تحليل وتفسير النتائج المتحصل عليها من الدراسة بالتفصيل في الفصل الثالث و الأخير.

الفصل الثالث

III. 1. تمهيد

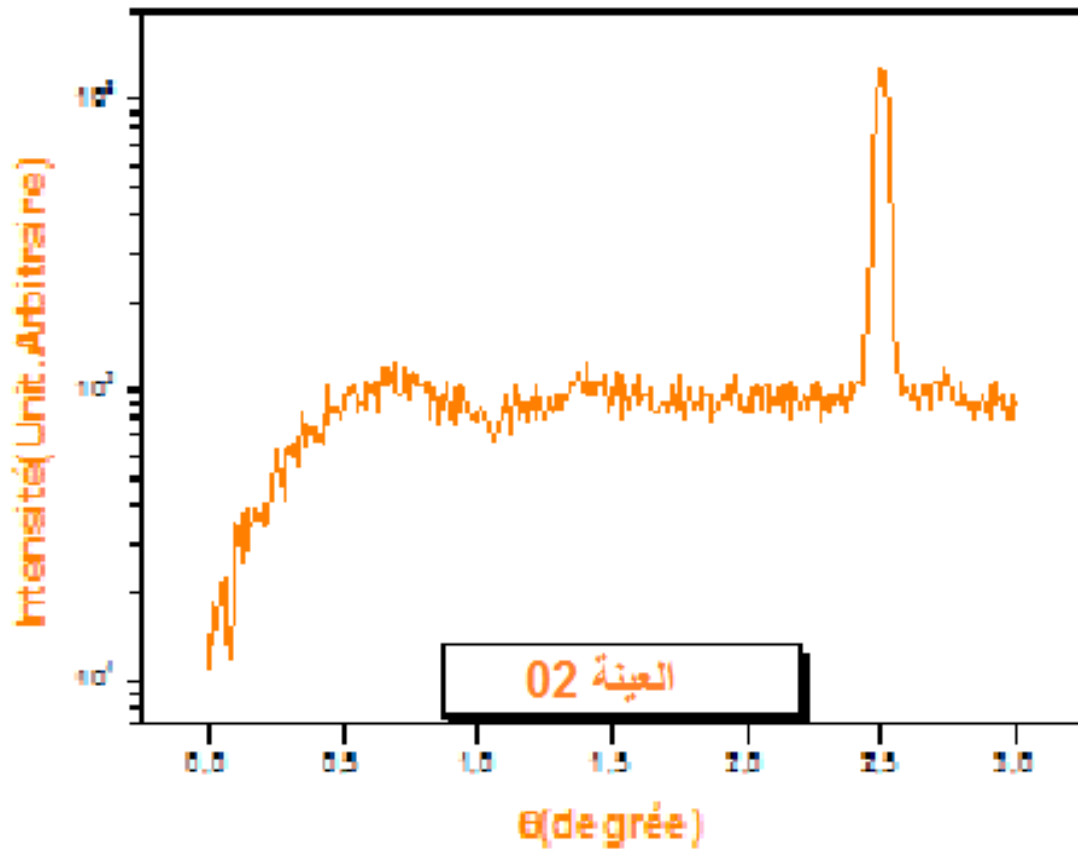
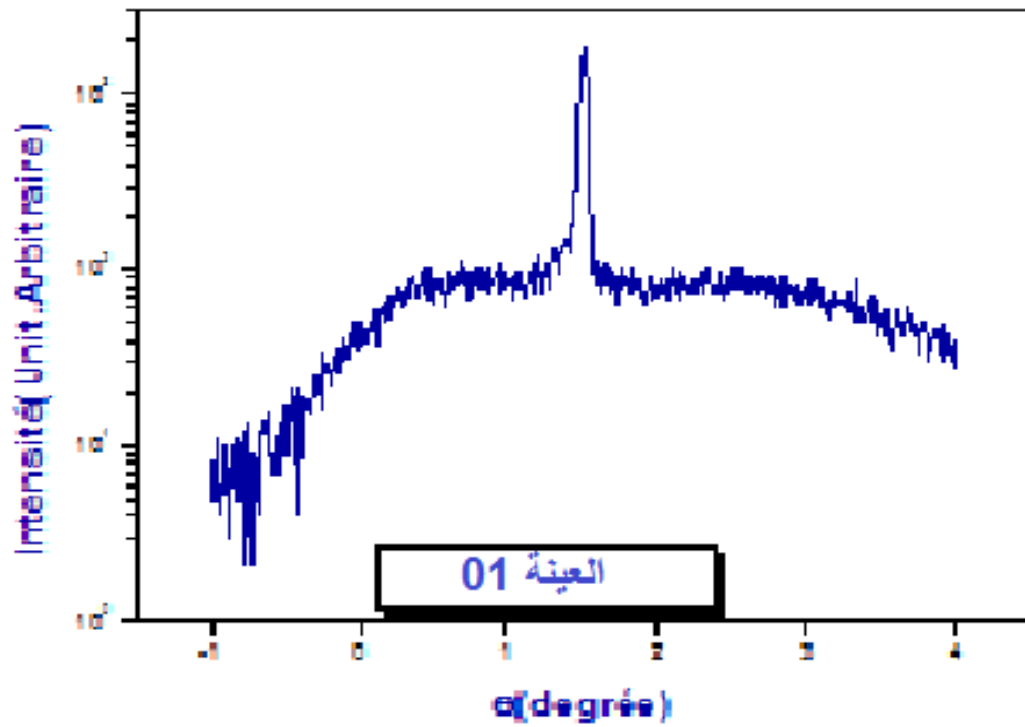
سننظر في هذا الفصل إلى عرض النتائج التجريبية التي تحصلنا عليها والمتعلقة بالعينتين 01 و02، التي حضرنا بواسطة تقنية التنضيد الفوقي الموجه، حيث كان الفرق الوحيد بين هاتين العينتين هو نوع المسند المستخدم، والهدف من هذا الاختلاف هو دراسة مدى تأثير الخصائص الفيزيائية لغشاء سمكه 300\AA من الحديد. ولقد اخترنا من هذه الخصائص البنيوية منها مثل ثابت الشبكة و حجم الحبيبات لنتيجة من عملية النمو، و اختصنا بدراسة كيفية تغير التشوه من عينة إلى أخرى، واعتمدنا لتحقيق هذا لهدف على تحليل طيف انعراج الأشعة السينية واستخدم العلاقات المعتمدة نظريا. لتبسيط عملية الشرح بالمناقشة استعملنا الترميز التالي:

العينة 01: $\text{MgO}(001)//\text{Fe}(300\text{\AA})/\text{Ag}(20\text{\AA})$ 
العينة 02: $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)//\text{Fe}(300\text{\AA})/\text{Ag}(20\text{\AA})$ 

III. 2. دراسة أطياف انعراج الأشعة السينية

III. 2. 1. دراسة طيف الانعراج بالنمط $\theta-\theta$

يتميز طيف انعراج الأشعة السينية للنمط $\theta-\theta$ المتعلق بالعينتين 01 و02 و الممثلتين في (الشكل III.1.) ، ب بروز قمة حادة واحدة ذات شدة مرتفعة مما يدل على التبلور الجيد لكاتنا العينتين.



الشكل III.1. طيف انعراج الأشعة السينية للنمط θ - θ للعينتين 01 و02

الفرق بين طيف الأشعة للعينتين هو قيمة الشدة، حيث أنها مرتفعة في طيف العينة 01 أكثر منها في العينة 02، مما يدل على أن خشونة الناتجة في أسطح العينة 02 أكبر منها في العينة 01، وهذا إن دل على شيء إنما يدل على تأثير نوع المسند المستخدم على اصطاف ذرات طبقة الحديد حيث أنها أكثر ترتيباً في العينة 01 منها في العينة 02 مما جعل خشونة السطح في العينة الأخيرة أكثر قيمة، وهذا يستخلص لنا أن طبيعة السطح الناتج ان كان خشن أم أملس يتعلق بنوع الركيزة المستخدمة [50].

للتحقق من هذه النتيجة وجب علينا حساب النسبة في الشدة بين القاعدة (I_b) والقيمة (I_p) من منحنى كل عينة، وسنرمز لها بالرمز $\frac{I_b}{I_p}$ ، وكانت النتيجة كالتالي: بالنسبة للعينة 01 فإن القيمة هي $\frac{I_b}{I_p} = 5\%$ ،

أما العينة 02 وجدناها $\frac{I_b}{I_p} = 8\%$ ، أي أن هناك اختلاف في النتائج، مما يؤكد أن هناك اختلاف في قيمة

خشونة السطح في العينتين [51]، وتتجلى هذه النتيجة أيضاً في انزياح موقع الانعراج في الطيف الخاص بالعينة الثانية، حيث يمكن أن تكون خشونة السطح أدت إلى تشوهات في الطبقات الناتجة في هذه الأخيرة. هذا ما يدل أيضاً على قيمة تأثير نوع المسند المستخدم على نوعية وطبيعة العينات الناتجة، فالمسند المستخدم في العينة 01 كان مساعد لنمو طبقة ملساء من الحديد وأحسن من حيث الجودة من طبقة الحديد الموجودة في العينة 02. من هذا التحليل نستخلص أن العينة الأولى كانت هي الأفضل ومنها يكون المسند MgO أدى إلى خصائص أفضل.

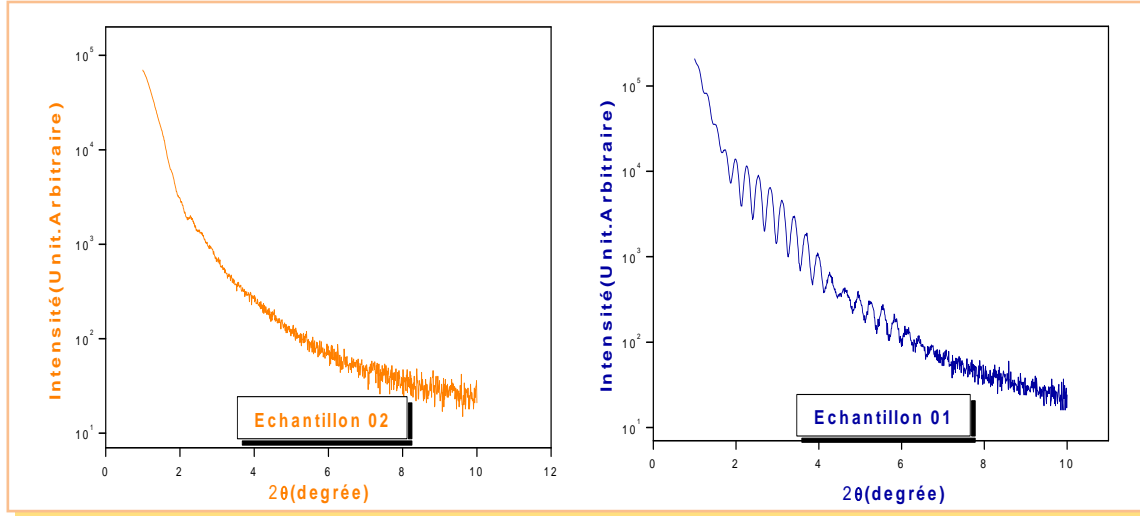
III. 2. 2. دراسة طيف الانعراج بالنمط 20-θ

في هذا النمط من انعراج الأشعة السينية لدينا نوعين من الانعراجات انعراج بالزوايا الصغيرة وانعراج بالزوايا الكبيرة سيتم تحليل نتائجهما في الفقرات التالية

III. 1. 2. 2. الانعراج بالزوايا الصغيرة

من منحنيات طيف انعراج الأشعة السينية للنمط 20-θ بالزوايا الصغيرة للعينتين 01 و 02 الممثلتين في (الشكل III.2)، نلاحظ وجود اختلاف كبير، حيث أن المنحنى الخاص بالعينة 01 يتميز بوجود عدد كبير من حواف براغ الناتجة من تداخل الأشعة السينية المنعكسة من السطح الحر للعينة والأسطح البينية، مما يدل على الترتيب الدوري للمستويات الذرية في هذه الأخيرة وعلى النمو الطبقي والجيد للحديد فوق الركيزة ($MgO(001)$) نتج عنه عينة ذات جودة كبيرة [24، 52]، في حين اختفاء هذه الحواف في طيف العينة 02 يدل على الخشونة الكبيرة للأسطح البينية الناتج من تداخل ذرات الحديد وذرات الركيزة في هذه الأخيرة [53]. وهذا ما يؤكد ذلك اضمحلال حواف التشويش والتي تعرف في حالة الانعراج بالزوايا الصغيرة بحواف كيسيغ [54]، مؤكداً عدم انتظام اصطاف ذرات الحديد وتداخلها مع ذرات الركيزة مما نتج عنه خشونة كبيرة وعدم تجانس في طبقاتها. من خلال هذه النتائج

تبين لنا وجود اختلاف واضح في طبيعة العينتين المدروستين وهذا الاختلاف يكمن في اختلاف نوعية المساند، و كذلك قد يكون للتشوهات دور في الاختلاف في هذه الخصائص البنيوية.

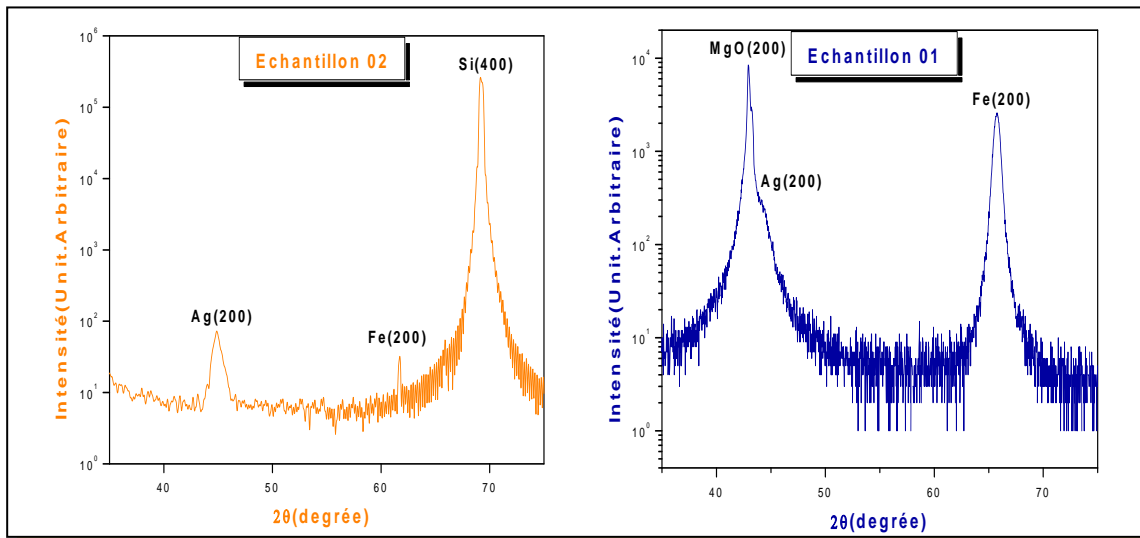


الشكل 2. III. طيف انعراج الأشعة السينية للزوايا الصغيرة للعينتين 02 و 01

ستكون النتائج التالية أكثر توضيحاً للنتائج السابقة وكما سنقوم بتفسيرها وشرحها بطريقة مفصلة أكثر.

III. 2.2.2. الانعراج بالزوايا الكبيرة

يمثل (الشكل 3. III) منحنيات طيف انعراج الأشعة السينية للنمط 2θ - θ بالزوايا الكبيرة، حيث نلاحظ في هذا النمط ظهور قمم عالية الشدة تبين زوايا انعراج لمركبات العينتين 01 و 02 تسمى هذه القمم بحواف براغ للشبكات البلورية للحديد (Fe)، الفضة (Ag) وكذلك للمسندين. إن ظهور حافة براغ للمستوى (200) في طيف الانعراج للعينتين، يؤكد تبلور هذا الأخير في البنية المكعبة ممرزة الجسم مفضلاً الاتجاه [200] في كلتا الحالتين مما يدل أن ترسيب الحديد في درجة حرارة الغرفة جعله يحافظ على طور تبلوره في كلتا الحالتين.



الشكل 3. III. طيف انعراج الأشعة السينية للزوايا الكبيرة للعينتين 02 و 01

نلاحظ كذلك، أن هناك اختلاف في قيمة الشدة لحافة براغ للمستوى (200) للحديد بين العينتين، مما يدل على تأثير نوع المسند المستخدم على طبيعة وجودة طبقة الحديد، حيث أنها في العينة 01 أحسن منها من حالتها في العينة 02، وهذا ما يوضحه أيضا كثرة عدد حواف التشويش في طيف العينة 01 فإن دل هذا على شيء فإنه يدل على نمو طبقة بطبقة في هذه الاخيره و على انتظام المستويات الذرية وعدم انزياح الذرات من مستوياتها، عكس التداخل الذري بين مسند السيليسيوم و الحديد في السطح البيني للعينة 02 والذي نتج عنه نوعا من خشونة السطح [55]. هذه الملاحظات تسير أيضا النتائج السابقة التي توصلنا إليها.

للتأكد الجيد من النتائج، وجب علينا دراسة تغير باقي الخصائص البنيوية مثل البعد البيني (d) و ثابت الشبكة (a) والتشوه بأنواعه في العينتين أي بتغير نوع الركيزة المستخدمة. وهذا حقا ما قمنا به، حيث استخدمنا تطبيق معين لاستخراج قيم زوايا الانعراج (2θ) وشدة هذه الحواف (I) وكذلك عرض نصف القمة (β)، واستعنا بالعلاقات المذكورة في الفصل الثاني لحساب قيم العناصر البنيوية. كل النتائج المتحصل عليها للخصائص البنيوية سيتم التعريف عليها وتحليلها بالتفصيل في النقاط التالية:

III. 3. دراسة تغير الخصائص البنيوية بتغير نوع المسند المستخدم

III. 1.3. دراسة زاوية الانعراج و الشدة العظمى لحافة براغ على المستويات البلورية

إن تحليل طيف انعراج الأشعة السينية للزوايا الكبيرة مكننا من استخراج قيمة زاوية الانعراج لحافة براغ وكذلك شدة كل حافة لكافة المواد المكونة للعينتين، ولقد قمنا باستظهارها و كذلك القيم النظرية المأخوذة من البطاقة الدولية التجريبية ASTM لكل بلورة في الجدول (III-1) التالي :

| MgO | | Si | | Fe | | Ag | | |
|---------------------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-----------|
| $2\theta_{(200)}$ | $I_{(200)}$ | $2\theta_{(400)}$ | $I_{(400)}$ | $2\theta_{(200)}$ | $I_{(200)}$ | $2\theta_{(200)}$ | $I_{(200)}$ | |
| (°) | (U.A) | (°) | (U.A) | (°) | (U.A) | (°) | (U.A) | |
| النتائج التجريبية | | | | | | | | |
| 42.92 | 8449 | / | / | 65.77 | 2591 | 44.5 | 301 | العينة 01 |
| / | / | 69.15 | 261676.7 | 61.71 | 31.9 | 44.85 | 72.3 | العينة 02 |
| نتائج البطاقة الدولية التجريبية | | | | | | | | |
| 42.86 | 3833.8 | 69.13 | 385 | 65.02 | 4362.1 | 44.29 | 30182.2 | |

الجدول III.1. القيم التجريبية وقيم البطاقة الدولية التجريبية لكل من زوايا و الشدة العظمى لحواف

الانعراج لبراغ لجميع المواد المكونة للعينتين 01 و 02

من خلال هذا الجدول نلاحظ وجود اختلاف في القيم لكل من موضع حافة براغ وشدة هذه الأخيرة لكل مادة بين العينتين وكذلك بينه وبين القيمة النظرية، فلو أخذ على سبيل المثال غشاء الحديد وهو

هدف هذه الدراسة، سنجد أن القيمة التجريبية لزاوية الانعراج عن المستوى (200) هي (65.77°) وهي بالتقريب من نفس رتبة قيم البطاقة الدولية التجريبية المأخوذة من بطاقة ASTM المقدر ب (65.02°)، مما يدل على عدم وجود تشوه في هذه العينة، مؤكداً ذلك محافظة حافة براغ لمادة الحديد على نفس رتبة الشدة النظرية حيث قدرت القيمة التجريبية ب ($I_{Fe(200)}=2591UA$) ، وتدل هذه القيمة والتي تعتبر كبيرة نوعاً ما على اصطاف جيد لذرات الحديد فوق المسند، مما قلل من امتصاص الأشعة السينية، وأدى إلى نمو جيد لهذه الطبقة دون تواجد تداخل لذراتها داخل ذرات الركيزة [56]. أما في حالة العينة 02، فإن موقع حافة براغ لمادة الحديد حدث له انزاح إلى الجهة اليسرى من المنحنى أو نقصد بذلك انحراف إلى القيم الصغيرة، حيث وجدناها (61.71°)، وهي صغيرة جداً عن القيمة النظرية المبينة في الجدول (III-1)، مما يدل على زيادة الانتشار الداخلي لذرات الحديد بينها وبين ذرات مسند السيليسيوم في السطح البيني مما نتج عنه خشونة في هذا السطح و تشوه في طبقة الحديد المرسبة، وأدى هذا الانتشار الكبير للذرات إلى امتصاص كبير للأشعة السينية و انخفاض في شدة حافة براغ للحديد كما هو مبين في الشكل (III-3). ويدل هذا على نشوء تشوهات كبيرة في هذه العينة نتيجة عدم انتظام الترتيب البلوري في الطبقات و في السطح البيني [57]. إن الاختلاف في قيمة زاوية براغ و شدة هذه الحافة لمادة الحديد بين العينتين يؤكد أن هناك تأثير كبير لنوع المسند المستخدم على جودة العينة الناتجة وبالتالي على عملية انعراج الأشعة السينية عليها.

III. 2.3. دراسة البعد البيني و ثابت الشبكة لطبقة الحديد

بعد معرفة قيمة موقع زاوية براغ للمستويات البلورية (200) لكل من الركيزتين: MgO و Si و طبقة الحديد Fe و الغطاء Ag، استطعنا حساب قيمة كل من البعد البيني $d_{(200)}$ و ثابت الشبكة $a_{(200)}$ لكل مادة ، وذلك باستخدام العلاقتين (II-2) و (II-4) على التوالي، وتعويض طول موجة الأشعة السينية بقيمتها المستعملة $\lambda=1.54056\text{\AA}$ ، و كذلك ثوابت ميلر كل بقيمته كالتالي ($h=2, k=0, l=0$) و وضعنا النتائج في الجدول (III-2). سنركز التحليل على مادة الحديد لأنها الهدف الأساسي للدراسة في هذا العمل.

بداية من هذا الجدول نلاحظ أن هناك اختلاف كبير في القيمة التجريبية لكل من البعد البيني و ثابت الشبكة من العينة 01 إلى العينة 02، وكذلك بين القيم التجريبية و القيم النظرية، مما يدل على أن تغيير نوع الركيزة المستخدمة يغير من الخصائص البنيوية لغشاء الحديد المرسب فوقها، ففي العينة 01 نلاحظ أن القيمة التجريبية للبعد البيني للحديد هي $d_{(200)} \approx 1.42\text{\AA}$ ، وهي بالتقريب نفس القيمة النظرية المعروفة $d_{Th}^{Fe} = 1.433\text{\AA}$ ، مما يعني أن ترسيب غشاء الحديد فوق مسند ووكسيد المغنيزيوم تم بطريقة ممتازة و نتج عنه غشاء ذو جودة عالية، وخال من التشوه ، وهذا ما تثبته القيمة التجريبية المثالية لثابت شبكته والتي وجدناها $a_{(200)} \approx 2.84\text{\AA}$ ، وهي قريبة جداً من ثابت شبكة مادة الحديد في الحالة الصلبة $a_{Th(200)} \approx 2.87\text{\AA}$ ، مما يعني عدم وجود تشوهات في طبقات هذه العينة، إن هذه النتيجة يعززها أيضاً قيم

كل من البعد البيني و ثابت الشبكة لكل من الغطاء المحضر من الفضة و المسند المستخدم، كما هو موضح دائما في الجدول (2-III)، أي أن هناك ترسيب بطريقة منضدة لجميع طبقات العينة 01. هذه النتيجة تؤكد أيضا النتائج السابقة والتي أعربت كلها على أن نمو الغشاء الرقيق من الحديد فوق مسند من أكسيد المغنيزيوم يتم بطريقة منضدة ومثالية و خالية من التشوهات.

| MgO | | Si | | Fe | | Ag | | |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|
| d (200) (Å) | a (200) (Å) | d (200) (Å) | a (200) (Å) | d (200) (Å) | a (200) (Å) | d (200) (Å) | a (200) (Å) | |
| النتائج التجريبية | | | | | | | | |
| 2.105 | 4.210 | / | / | 1.419 | 2.838 | 2.034 | 4.069 | العينة 01 |
| / | / | 1.357 | 5.428 | 1.502 | 3.005 | 2.019 | 4.038 | العينة 02 |
| نتائج البطاقة الدولية التجريبية | | | | | | | | |
| 2.109 | 4.218 | 1.358 | 5.431 | 1.433 | 2.866 | 2.043 | 4.086 | |

الجدول 2.III. القيم التجريبية وقيم البطاقة الدولية التجريبية لكل من البعد البيني و ثابت الشبكة لجميع المواد المكونة للعينتين 01 و 02

إن تأثير الركيزة على الخصائص البنيوية للغشاء المرسب عليها يتضح ويتجلى لنا كذلك من خلال التغير الكبير في قيمة البعد البيني لغشاء الحديد عندما رسب فوق مسند من السيليسيوم أي حالة الحديد في العينة 02، حيث وجدنا أن قيم كل من البعد البيني و ثابت الشبكة على التوالي هما: (1.502 Å)، (3.005 Å) أي أكبر بكثير من القيم النظرية المعتادة: (d^{Fe}_{Th}=2.866 Å)، (a^{Fe}_{Th}=1.433 Å)، وهذا ما يبين التمدد الحاصل في الغشاء و يؤكد أيضا الانحراف الذي حصل في حافة براغ للمستوى (200) عن موضعه الأصلي والى جهة اليسار [57] في (الشكل 3.III). من خلال هذا التحليل يتبين لنا أن مسند Si في العينة 02 لم يوفر النمو الجيد لغشاء الحديد وأدى إلى انتشار كبير للذرات المختلفة فيما بينها فادى إلى تمدد في طبقة الحديد و تقلص في كل من المسند و طبقة الفضة Ag، وأدى إلى تشوه كبير في هذه العينة، في حين أن المسند MgO كان الركيزة المناسبة للنمو المنضد لغشاء الحديد، هذه النتيجة سنؤكد منها جيدا عند حسابنا للتشوه في العينتين.

III. 3.3. تأثير نوع المسند على التشوه الذي يخضع له غشاء الحديد

في الجدول (3-III) وضعنا قيمة كل من التشوه البلوري الناتج من تغير البعد البيني لغشاء الحديد أثناء الترسيب و كذلك التشوه الجوهري الناتج من تغير ثابت الشبكة بين هذا الأخير وبين الركيزة في كل من العينتين 01 و 02.

| Fe | | | | |
|-------------------|-------------|-----------------------|-----------------|-----------|
| $\xi_d^{The}(\%)$ | $\xi_d(\%)$ | $\xi_{int}^{The}(\%)$ | $\xi_{int}(\%)$ | |
| 0 | 0 | 0.32 | 0.33 | العينة 01 |
| 0 | 0.05 | 0.46 | 0.53 | العينة 02 |

الجدول 3.III. قيم كل من التشوه البلوري والتشوه الجوهري في غشاء الحديد في العينتين 01 و02

نلاحظ من هذا الجدول أنه عندما غيرنا نوع الركيزة، فإن غشاء الحديد قد ترسب بنسب مختلفة من التشوه: فعندما استعملنا اوكسيد المغنيزيوم المصقول على المستوى (001)، أي في العينة 01 فإن الحديد قد ترسب بطريقة جيدة وتبلور في الطور المكعب ممرکز الجسم، و نتج عنه سطح أملس وخال من التشوهات البلورية و الجوهريّة كما يبينه الجدول (III-3) أعلاه، ففي هذه العينة وجدنا قيمة معدومة للتشوه البلوري وهي نفس القيمة النظرية أي ($\xi_d^{The} = \xi_d$) و قيمة قريبة جدا من القيمة النظرية بالنسبة للتشوه الجوهري ($\xi_{int}^{The} \approx \xi_{int}$) وهو ما يؤكد جميع الملاحظات التي بينها سابقا في الفقرات (III.1.3 و III.2.3)، أما بالنسبة للعينة 02 عندما غيرنا المسند فلقد قلنا في الفقرات السابقة انه قد حدث تشوه كبير في طبقات هذه الأخيرة، لذلك انزاح موقع حافة براغ للحديد عن موضعه الأصلي و انخفضت شدته مما انجر عليه تغير كبير في قيمة كل من بعده البيني وثابت شبكته، ولقد رجحنا بان التشوه الذي حصل في هذه العينة نتج من الاختلاف الكبير في قيمة ثابت شبكة المسند وطبقة الحديد المرسبة فوقه، و أدى إلى تمدد في طبقة الحديد، ولذلك وجدنا قيمة ثابت شبكته التجريبية اكبر من قيم البطاقة الدولية التجريبية (انظر للقيم المبينة في الجدول (III-3)). لقد تأكدت هذه النتائج بصفة جازمة بعد قياسنا لقيمة التشوه البلوري والتي وجدناها ($\xi_d=0.05$) والتي تعتبر قيمة كبيرة مما يبرهن وجود انتشار كبير لذرات الحديد وتداخلها مع ذرات المسند مؤديا إلى ارتفاع في القيمة التجريبية للبعد البلوري، وبالتالي زيادة في قيمة ثابت الشبكة للحديد، وما يعزز وجود هذا التمدد هو القيمة التجريبية الكبيرة و الموجبة في التشوه الجوهري ($\xi_{int}=0.53$) والناجمة من الاختلاف الكبير بين ثابت شبكة هذا الأخير وثابت شبكة المسند كما هو مبين في الجدول (III-3) السابق. و بالتالي نستطيع تأكيد بأن تغيير الركيزة المستخدمة تغير من كيفية ترتيب و انتشار الذرات وبالتالي اختلاف في طبيعة وجودة الأسطح والطبقات المرسبة فوقها.

III.4.3. تأثير نوع المسند على حجم الحبيبات و كثافة الانخلاع و التشوه المجهرى

في الجدول (III-4) وضعنا القيم المتحصل عليها حسابيا لكل من الحجم الحبيبي، كثافة الانخلاع وكذلك التشوه المجهرى الحاصل في طبقات العينتين 01 و 02 المدروستين، بعد اعتمادنا على العلاقات (II-6، II-7 و II-8) المذكورة في الفصل II والمخصصة لكل عنصر على التوالي.

بالنسبة لحجم الحبيبات في العينة 01 وجدنا قيمته ($D=1651\pm 10^{-5}(nm)$) وهي أكبر بكثير من قيمة حجم حبيبات طبقة الحديد الموجودة في العينة 02 والمقدر بالقيمة ($D=499\pm 10^{-4}(nm)$)، وهو ما يدل على قوة انتظام الترتيب البلوري لذرات الحديد وعدم انتشارها وعدم تداخلها مع ذرات المسند مما نتج عليه غشاء مستمر وأملس ذي حجم حبيبات منخفض وهو بدوره ما تسبب في زيادة عرض منتصف قمة حافة براغ في طيف الانعراج في العينة 01 [44]، عكس ما حصل في العينة 02 أين كان هناك تداخل كبير لذرات الحديد المرسبة مع ذرات ركيزة السيليسيوم مما تسبب في زيادة بعض الحدود الحبيبية عند التحام الحبيبات لتكوين بلورات ذات حجم حبيبي اصغر و سطح خشن لطبقة الحديد المرسبة في هذه العينة.

| Fe | | | | |
|---------------------|-------------------|----------------------------------------|-------------------|-----------|
| $\beta(\text{rad})$ | $\varepsilon(\%)$ | $\delta(\text{nm}^{-2})\times 10^{-6}$ | D(nm) | |
| 0.001 | 0.02 | 0.4 | 1651 ± 10^{-5} | العينة 01 |
| 0.004 | 0.31 | 5 | 449 ± 10^{-4} | العينة 02 |

الجدول 4. III. قيم كل من حجم الحبيبات D و كثافة الانخلاع δ والتشوه المجهرى ε في العينة 01 والعينة 02

فيما يخص كثافة الانخلاع فان قيمته في العينة 01 هي ($0.4\times 10^{-6}(\text{nm}^{-2})$)، وهي أقل بكثير من قيمتها في العينة 02 والمقدرة ب: ($5\times 10^{-6}\text{nm}^{-2}$)، وهو ما يؤكد الانتظام الجيد والترتيب المتناسق لذرات الحديد في مستوياتها البلورية وعدم تداخلها فيما بينها و بين المسند في العينة 01 مما نتج عنه نمو طبقي، عكس التداخل الكبير بين ذرات الحديد و ذرات ركيزة السيليسيوم والذي تسبب في خلق شكل من أشكال عدم الاستمرارية في طبقة الحديد أثناء نموها على ركيزة السيليسيوم في العينة 02 وهو ما أدى إلى خلق نوع من العيوب البلورية والمسمى بالشوائب الاستبدالية [45] حيث تستبدل ذرة من ذرات الركيزة بذرة الحديد مما يؤدي إلى نقصان في حجم حبيباتها البلوري، و بزيادة عدد الذرات أو الشوائب الاستبدالية تزداد قيمة كثافة الانخلاع ويزداد مقدار امتصاص الأشعة السينية الواردة على العينة فتتخفف شدة حافة براغ لطبقة الحديد وتزاح عن موقعه الأصلي كما لاحظنا في طيف الانعراج الممثل في (الشكل III.3)، وعليه فان لنوع الركيزة المستخدم أثرا كبيرا على جودة وطبيعة الطبقات المرسبة.

وأخيرا نستطيع تأكيد كل ما سبق من شرح واستنباطات بقياس التشوه المجهرى و المعطى قيمته في نفس الجدول (III-4) حيث نلاحظ في حالة العينة 01 قيمة صغيرة جدا للتشوه المجهرى والمقدرة ب: (0.02%) مما يدل على النمو المنضد لطبقة الحديد وعلى جودة طبقات هذه العينة، أما في حالة

العينة 02 فان خشونة السطح الناتج من تداخل ذرات طبقة الحديد والمسند، أدت إلى تشوه كبير بنسبة (0.32%) في هذه العينة و انخلاع كبير لطبقاتها.

III. 4. الاستنتاج

كل ما استنتجناه في هذا الفصل هو أن تغيير نوع المسند المستخدم له تأثير كبير على نوع وطبيعة الطبقات المرسبة فوقه حيث أن وجدنا أن المسند MgO انسب مسند للتقليل من قيمة جميع أنواع التشوه.

خاتمة عامة

خاتمة عامة

إنه لمن أبرز الأعمال الراسخة في الأذهان تلك التي تكون بسيطة المبنى عميقة المعنى ، ولقد سعينا جاهدين لتحقيق هذا المقال حيث قمنا بتجسيده في مذكرتنا ، وذلك بدراسة مدى تأثير تغير قيمة التشوه في غشاء محضر من الحديد بتغير نوعية المسند المستعمل بواسطة تقنية التنضيد الجزيئي الموجه (MBE) عند درجة حرارة الغرفة .

و لغرض تحقيق هدفنا من هذا البحث حضرنا عينتين مختلفتين في المسند ، و استخدمنا الترميز التالي :

العينة 01 : $MgO(001)//Fe(300\text{\AA})/Ag(20\text{\AA})$

العينة 02 : $SiO_2/Si(100)//Fe(300\text{\AA})/Ag(20\text{\AA})$

استنتجنا من خلال هذه الدراسة :

❖ من خلال المقارنة بين قيمة شدة حافة براغ للعينتين 01 و 02 ، وجدنا أن لطبيعة السطح الناتج أن كان أملس أو خشن علاقة بنوع الركيزة المستخدمة .

❖ من خلال المقارنة بين القيم التجريبية و النظرية لكل من زوايا و الشدة العظمى لحواف الانعراج لبراغ لجميع المواد المكونة للعينتين 01 و 02 ، وجدنا أن الاختلاف في قيمة زاوية براغ و شدة الحافة لمادة الحديد بين العينتين، يؤكد أن هناك تأثير كبير لنوع المسند المستخدم على جودة العينة الناتجة و بالتالي على عملية انعراج الأشعة السينية عليها.

❖ من خلال حساب كل من البعد البيني و ثابت الشبكة ، وقيم كل من التشوه البلوري و المجهري في غشاء الحديد للعينتين 01 و 02 نستطيع التأكيد بأن تغيير الركيزة المستخدمة تغير من كيفية ترتيب و انتشار الذرات و بالتالي اختلاف في طبيعة وجود الأسطح و الطبقات المرسبة فيها .

❖ مما سبق استنتجناه نستطيع القول بأن لتغيير نوع المسند المستخدم تأثير كبير على نوع و طبيعة الطبقات المرسبة فوقه حيث وجدنا أن المسند MgO انسب مسند للتقليل من قيمة جميع أنواع التشوه .

وختاماً و يبقى المجال مفتوحاً للسعي نحو أفاق جديدة لا حدود لها في هذا العمل.

آملين أن نكون قد وفقنا في إيصال فكرتنا، وأن يفيد هذا العمل الطلاب ولو بقدر يسير.

ونحمد لله تعالى أن وفقنا لإتمامه ، فهو الموفق والهادي إلى سواء السبيل.

مراجع عامة

مراجع عامة

- [1] عبد المجيد عيادة إبراهيم، دراسة تأثير التلدين والتشويب على بعض الخواص البصرية لأغشية كبريتيد الخارصين الرقيقة، Kirkuk University Journal – Scientific Studies، (2013).
- [2] ردينه صديق عبد الستار الدليمي، دراسة الخصائص التركيبية والبصرية للأغشية $Ni_{(1-x)}Zn_xO$ المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري، مذكرة الماجستير في العلوم الفيزياء، جامعة ديالى لعراق كلية العلوم، (2013).
- [3] سماحي 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).
- [4] جعلالي هدى، سليم فلة، تأثير طبقة ذات سمك 75 \AA من الكروم Cr على الخصائص البنيوية للعينة $Fe(300 \text{ \AA})/Ag(100 \text{ \AA})/MgO(001)$ ، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة تبسة كلية علوم المادة، 2017.
- [5] I. Guesmi, Dépôt de couches minces de cuivre sur substrats polymère de formes complexes par pulvérisation cathodique magnétron avec ionisation de la vapeur, thèse de doctorat, Université Paris Sud – XI, (2012).
- [6] A. RAHAL, "Elaboration des verres conducteurs par déposition de ZnO sur des verres ordinaires", Mémoire de Magister, UNIVERSITE D'ELOUED, (2013)
- [7] Noua Bouhssira" Elaboration des films minces d'oxyde de zinc par Evaporation et par pulvérisation magnétron et étude de lus propriétés", Thèse de Doctorat, Université Mentouri de Constantine 1, 2013.
- [8] قواسمية وناسة، جباري سعاد، تغير حقل الحرج في الأغشية الرقيقة باختلاف نوع المسند المستخدم، جامعة تبسة كلية علوم المادة، 2018.
- [09] اطلع عليه يوم <https://www.mobt3ath.com/uplode/book/book-7476.pdf>، 24/05/2020

[10] M. F. Doerner et W. D. Nix, «Stresses and deformation processes in thin films on substrates», Critical review in solid state and material science, vol. 14, pp. 225-268, 1988.

[11] W. D. Nix, «Mechanical properties of thin films», Metallurgical and material Transaction A, vol. 20, n° 111, pp. 2217-2245, 1988

[12] A. G. Evans et J. W. Hutchinson, «The thermo mechanical integrity of thin films and multilayers», Acta Metallurgica et Materialia, vol. 43, n° 17, pp. 2507-2530, 1995.

[13] Bendjeroudib Chafia, 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).

[14] R .GHERIANI, Influence de la proportion de phases dans le domaine de températures (400°C–1000°C) sur des films de ti et de Cr, déposés sur des substrats en aciers, Thèse de Doctorat D'Etat, Université Constantine, (2005).

[15] ع.ص.هادي " دراسة الخواص التركيبية و البصرية لأغشية كبريتيد النحاس المحضرة بطريقة الانحلال بالرش الكيميائي ", رسالة ماجستير، جامعة القادسية (2017).

[16] G.Huertas ,Etude des nouveaux matériaux d'électrode positive et d'électrolyte solide vitreux sous forme des couches minces pour micro batteries au lithium ,thèse doctorat ,(2006).

[17] H .ISSELÉ, Caractérisation et modélisation mécaniques de couches minces pour la fabrication de dispositifs microélectroniques-application au domaine de l'intégration 3D, thèse de doctorat, Université de Grenoble, 2006,PP26.

[18] P.Zhang,V.H-Crespi ,E.chang,S.G.louie ,M.L.Cohen , "physical here " ,64 (2001) 235201.

[19] ل. الزهرة، دراسة الخواص الفيزيائية للطبقات الرقيقة، لأكسيد الزنك (ZnO) المطعم بالنيكل (Ni)، المتوضع بتقنية رذاذ الانحلال الحراري (صنع محلي (،مذكرة ماستر، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة ، 2015 ص رقم 28.

[20] بلحاج حسبية، "تأثير التركيب الكيميائي للمساند على التفاعل البيني بين الطبقات الرقيقة من التيتان و المساند الفولاذية"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، (2006).

[21] Khachab hamid , Modélisation de la croissance epitaxiale par jet moléculaires (MBE) avec la méthode de monte carlo-cinétique (KMC), thèse de doctorat Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen ,(2010).

[22] فوزي غالب عوض، "فيزياء الجسم الصلب II"، كتاب جامعة دمشق، 2011-2012 م.

[23] Romain Diyardin , Epitaxie par jets moléculaires de nanostructures isolées de germanium sur Silicium , thèse de doctorat , Université Joseph Fourier de Grenoble ,(2006).

[24] Rhadia Boukhalfa , "Influence du substrat sur les propriétés structurales et magnétique des bicouches Fe/Ag " , thèse de doctorat , Université constantine1,(2014).

[25] Bendjeroudib Chafia, Effet de type de Substrat sur les propriétés de couche mince Fe/Ag, Mémoire de Master, Université de Larbi Tébéssi – Tébéssa- Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la vie, (2016) PP30.

[26] Landre O , Etude de la nucléation et de la croissance de structures filaires GaN et AlN , PhD thèses, Université Joseph fourier ,2010.

[27] M.A.Herman ,H.sitter , Molecular Beam Epitaxy ,Springer series in Matériaux Science ,(1996).

[28] A.Phuruangrat,T.Thongtem, B. Kuntalue, S. Thongtem, " Microwave-assisted synthesis and characterization of rose- like and lower- like zinc oxide nanostructures " , University, Chiang Mai 50200, Thailand, p. 110, (2011).

[29] A. Benzagouta," Thèse de doctorat, Effet de la stœchiométrie sur les propriétés structurales, dynamiques et électroniques des systèmes Si-C, étude par la dynamique moléculaire, Université de Constantine (2004).

[30] Rhadia Boukhalfa , "Influence du substrat sur les propriétés structurales et magnétique des bicouches Fe/Ag " , thèse de doctorat , Université constantine1,(2014) pp 45.

- [31] ب. ب. ع. وردة، ب. صبرين، تحضير ودراسة الأغشية الرقيقة لكبريتيد الكاديوم (CdS) المرسبة بطريقة الحمّام الكيميائي (CBD)، مذكرة ماستر، جامعة الشهيد حمة لخضر، الوادي، 2018، ص رقم 51.
- [32] م. سليمان، أ. باشا، ش. خيرى، "سلسلة الفكر العربي لمراجع العلوم الأساسية فيزياء الجوامد"، دار الفكر العربي، القاهرة مصر، (2005).
- [33] S.Chelouche, "Propriétés des fenêtres optique ZnO :Al pour cellules Solaires en couches minces a base de CIGS", Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas, Sétif, (2012).
- [34] Search Manual Minerals, "Powder diffraction Files", joint committee on powder diffraction standards, USA, (2003).
- [35] M. Hehn; Elaboration, étude des propriétés structurales et magnétiques de couches et réseaux de plots submicroniques a base de cobalt, Thèse de doctorat, Université Strasbourg, (1997)
- [36] J. Barralis et G. Maeder, Métallurgie; élaboration, structures propriétés, normalisation, (1999).
- [37] K.ZINE ALI. Thèse de magister, Université Houari Boumediene Alger, Cité par A, KABIR, Thèse de magister, Université Skikda, (2003).
- [38] L. B. Freund et S. Suresh, "Thin Film Materials - Stress, defect formation and surface evolution", Cambridge University Press, 2003.
- [39] M. Mouis, «Contraintes mécaniques en micro, nano et optoélectroniques», Hermes Science Publications, 2005.
- [40] ط. راضية، تحضير وتحديد البنية البلورية للمركب $O_{3.7}Mo_0.SrFe_03$ ، مذكرة ماستر، جامعة الشهيد حمة لخضر، الوادي، 2018 ص رقم 45
- [41] H. Isselé, «Caractérisation et modélisation mécaniques de couches minces pour la fabrication de dispositifs microélectroniques-application au domaine de l'intégration 3D», Micro et nanotechnologies/ Microélectronique, Université de Grenoble 2014.PP98

[42] G. Gordillo, J. M. Florez, L. C. Hernandez. (1995). Preparation and characterization of CdTe thin films deposited by CSS, Solar Energy Mater. Solar Cells, V. 37, pp 273-281.

[43] Mario Birkholz. (2006). Thin Film Analysis by X-Ray Scattering, pp 115.

[44] B.D. Cullity, S.R. Stock, "Elements of X Ray Diffraction" , 3rd Ed, Prentice Hall, New York, (2001).

[45] ب. خلود، أ. عماد و م. خالد ، الخواص الضوئية والبنوية لأغشية الكادميوم تيلورايد (CdTe) المرسبة بالتبخير الحراري، مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية المجلد (27) العدد الثاني، ص رقم 185، 2011

[46] G. B. Williamson, and R. E. Smallman, "III. Dislocation densities in some annealed and cold-worked metals from measurements on the X-ray debye-scherrer spectrum" Phil. Mag., 1 (1956) 34-35

[47] ع. ح. حسين ، دراسة الخواص التركيبية والبصرية لاغشية CdSe:Al الرقيقة كدالة لنسب التشويب ودرجة حرارة التلدين، بكالوريوس علوم فيزياء، جامعة بغداد، ص رقم 35، 1998

[48] Z. R. Khan, M. Zulfequar, and M. S. Khan, "Optical and structural properties of thermally evaporated cadmium sulphide thin films on silicon (1 0 0) wafers", Mater. Sci. Eng. B, 174 (2010)145-149.

[49] E. Koller, Dictionnaire encyclopédique des sciences des matériaux Imprieries chirat. France 2008.

[50] F. Chemam, A. Bouabellou, R. Boukhalifa ; The influence of Ag buffer layer on the structural and magnetic properties in epitaxial Fe films, J. Magn Magn. Mater. 272–276 (2)(2004) 1174-1175.

[51] F. Chemam, R. Boukhalifa, A. Bouabellou ; Effect of interface roughness on the magnetic anisotropy in epitaxial Fe films, phys. stat sol. (c) 3. (5) (2006) 1298-1301.

[52] E. E. Fullerton, M. J. Conover, J. E. Matteson, C. H. Sowers, S. D. Bader ; Oscillatory interlayer coupling and giant magnetoresistance in epitaxial Fe/Cr(211) and (100) superlattices, Phys. Rev. B 48 (21) (1993) 15755-15763.

[53]J. -M. Baribeau ; Low angle xray reflection study of ultrathin Ge films on (100)Si, J. Appl Phys. Lett. 57(17) (1990) 1748-1750.

[54]Z. J. Yang, M. R. Sheinfein ; Interfacial-roughness effects on giant magneto résistance and interlayer coupling in Co/Cu superlattices, Phys. Rev. B. 52(6) (1995) 4263-4274.

[55]J. M. Gallego, S. Kim, T. J. Moren, D. Lederman, I. K. Schuller ; Growth and Structural Characterization of Ni/Co Superlattice, Phys. Rev B. 51(4) (1995) 2550-2554.

[57] ب.ع.خولة، ط.خولة، تأثير سمك الطبقة البينية على 300 \AA من الحديد، مذكرة ماستر، فيزياء المواد، جامعة تبسة، (2019)، ص رقم 26.

[57]Intissar. D, Etude de propriétés structurales et magnétiques des couches minces ferromagnétiques à base de métaux de transition, Phys. Rev B. 51(4) (1995) 2550-2554. these de Doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif1, 2012 , pp 69

Abstract

Abstract

In order to study and determine the effect of the change in strain value in a film prepared in iron with the change of substrate used for Fe (300 Å) / Ag (20 Å) thin films, we use the molecular beam epitaxy technique at room temperature to prepare two types of samples:

SAMPLE ❶ : MgO (001) // Fe (300Å) / Ag(20Å)

SAMPLE ❷: SiO_2/Si (100) // Fe (300Å) / Ag (20Å)

The structural characterizations of the two samples were taken from the analysis of X-ray diffraction curves for large and small angles, where we made sure that the change in the type of substrate used has a major impact on the type and nature layers deposited on it, because we have found that MgO is the most suitable substrate to reduce the value of all types of deformation.

Keywords: Fe, Ag, MgO, X-ray diffraction, substrate, interreticular dimension, mesh parameter, grain size, strain, dislocation.

ملخص

ملخص

لغرض دراسة و معرفة مدى تأثير تغير قيمة التشوه في غشاء محضر من الحديد بتغير نوعية المسند المستعمل للأغشية الرقيقة (20Å) / Ag(20Å) / Fe(300Å) ، استعملنا تقنية التتضيد الموجه بالقذف الجزئي في درجة حرارة الغرفة لتحضير نوعين من العينات:

العينة ① : MgO(001) // Fe(300Å) / Ag(20Å)

العينة ② : SiO₂/Si (100) // Fe(300Å) / Ag(20Å)

الخصائص البنيوية للعينتين استخرجناها من تحليل بيانات انعراج الأشعة السينية للزوايا الكبيرة والصغيرة، أين تأكدنا أن تغيير نوع المسند المستخدم له تأثير كبير على نوع و طبيعة الطبقات المرسبة فوقه حيث وجدنا أن المسند MgO انسب مسند للتقليل من قيمة جميع أنواع التشوه.

الكلمات المفتاحية: Fe، Ag، MgO، Si، SiO₂ ، انعراج الأشعة السينية، المسند، البعد البيني، البعد الشبكي، الحجم الحبيبي، التشوه، الانخلاع.

Résumé

Résumé

Pour étudier et connaître l'effet du changement la valeur de déformation dans un film préparé de fer en modifiant la qualité du support des couches minces Fe(300Å) / Ag(20Å), nous avons utilisé la technique de composition dirigée par la bombardement moléculaire à température ambiante pour préparer deux types d'échantillons :

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

Echantillon ❷ : SiO₂/Si (100) // Fe(300Å) / Ag(20Å)

Les caractéristiques structurelles des deux échantillons ont été extraites de l'analyse des donnée de diffraction des rayons x pour les grands et les petits angles, ou nous nous sommes assurés que le changement du type de support utilisé a un impact majeur sur le type et la nature des couche déposées dessus ou nous avons constaté que le MgO est le support la plus appropriée pour réduire la valeur de tous les types de déformation.

Mots-clés: Fe, Ag, MgO, diffraction des rayons X, substrat, dimension interreticulaire, le parameter de maille, la taille de grain, la déformation, la dislocation.