

مذكرة ماستر
ميدان: علوم المادة
اختصاص: فيزياء
شعبة: فيزياء المادة المكثفة

الموضوع

الخصائص المغناطيسية وارتباطها باتجاه
الحقل المغناطيسي المطبق لعينة
Ag/Fe/MgO

مقدمة من طرف
بن ذيب شيماء
بن خديم كريمة

أمام لجنة المناقشة

رئيس اللجنة	جامعة العربي التبسي-تبسة-	أستاذ محاضر (أ)	زيار توفيق
مؤطرة	جامعة العربي التبسي-تبسة-	أستاذة محاضرة (أ)	بوخالفة راضية
ممتحن	جامعة العربي التبسي-تبسة-	أستاذ محاضر (ب)	منصور محمد الهادي

تاريخ المناقشة

2020/09/22

النقطة:.....: الملاحظة:.....:



Université Larbi Tébessi- Tébessa



Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie

Département : Sciences de la Matière

Filière : Physique

Spécialité : physique de la matière condensée

Année universitaire 2019/2020

Formulaire de levée de réserves après soutenance d'un Mémoire de Master

Données d'identification du candidat (e) :

Nom et prénom du candidat : Benkhetim Karima
Benchib Karima

Intitulé du Sujet : المشاكل الكهربية والدينامية في مجال الحقول
Ag / Ec / Mg

Données d'identification du membre de jury :

Nom et prénom : /
Grade : /
Lieu d'exercice : Université Larbi Tébessi- Tébessa

Vu le procès-verbal de soutenance du mémoire sus citée comportant les réserves suivantes :

.....
.....
.....
.....

Et après constatation des modifications et corrections suivantes :

.....
.....
.....

Je déclare en ma qualité de président de jury de soutenance que le mémoire cité remplit toutes les conditions exigées et permet au candidat de déposer son mémoire en vue de l'obtention de l'attestation de succès.

Le 18/11/2020

Président de jury de soutenance : (Nom/Prénom et signature)

Zine Toufik



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

Nous soussignons

Nom, prénom: *Benkhedim Karima & Bendib Chaïma*

N° de carte d'étudiant: (1) *M 201534021634* (2) *M 201434017225*

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

Année universitaire: **2019/2020**

Domaine: **Sciences de la matière**

Filière: **Physique**

Spécialité: *Physique de la matière condensée*

Intitulé du mémoire: *التحليل المغناطيسية وارتباطها باتجاه الازدواج
المغناطيسي المطبق لاجزاء
Ag / Fe / Mg O*

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:

Signature des étudiants (es):

(1): *Benkhedim Karima*

(2): *Bendib Chaïma*

شكر و تقدير

شكر و تقدير

شكر وتقدير

الحمد لله الذي يسر أمرنا ووقفنا في عملنا وحقق أمانينا، والصلاة والسلام على نبي الرحمة محمد وآله وصحبه أجمعين.

نتقدم بالشكر الجزيل والعرفان الجميل إلى أستاذتنا المشرفة الأستاذة الفاضلة و الكريمة

بوخالفة راضية

أستاذة محاضرة أ بقسم علوم المادة بجامعة الشيخ العربي-تبسة- لقبولها الإشراف على مذكرتنا، و لما قدمته لنا من متابعة ونصح وتوجيه ولم تدخر معنا جهداً طيلة مدة البحث.

شكراً أستاذتنا كنت خير دليل و خير سند و معلم.

شكراً لأعضاء اللجنة

الأستاذ **زيار توفيق** رئيساً

الأستاذ **منصور محمد الهادي** ممتحناً

أستاذة محاضرين بقسم علوم المادة بجامعة الشيخ العربي-تبسة- لقبولهم تقييم عملنا المتواضع.

وشكراً على النصائح والإرشادات التي ستوجهنا نحو الأفضل.

وفي الأخير نتقدم بجزيل الشكر لكل زملائنا و أستاذتنا طول مشوارنا الدراسي ولكل من ساهم

وساعدنا في إنجاز هذا العمل من قريب وبعيد.

الاجزاء

إهداء بن خديم كريمة

الحمد الذي علم بالقلم علم الإنسان ما لا يعلم و الصلاة والسلام على معلم البشر سيدنا و حبيبنا محمد عليه الصلاة و السلام أولا و قبل كل شيء اهدي عبارات الشكر و التقدير و الامتنان

إلى من هداني على هذا الطريق *** لله ربي و رب العرش العظيم

إلى سراج الضياء في دربي و قدوتي *** أبي الغالي

إلى منبع الحنان و العطاء و نبض الحياة *** أمي الحبيبة

إلى روحي و أنيسة وحدتي *** أختي الوحيدة لدة

إلى سندي في هذه الحياة أخواتي *** علي و حسين و عثمان

إلى التي ودعتها و لكن روحها لازالت و كانت بمثابة أمي الثانية رحمها الله و أسكنها فسيح

جنات *** خالتي العزيزة حفيزة

إلى الأخوات اللواتي لم تلدهم أمي *** شيماء ، بسمة ، راضية

إلى رفيقات دربي و بسمة حياتي و مؤنساتي في مشواري هذا *** ماريما ، ليلى ، إيمان

إلى الذين غرسوا فينا حب العلم و جعلوا منا طلاب لهم إليهم كل الاحترام *** أساتذتي الكرام

إلى كل أهل و الأقارب و جيران ، و زملاء الأفاضل، و إلى كل من يعرفني و ساعدني و دعاني

أهدي لكم عمل

كريمة

إهداء بن ذيب شيماء

الإهداء

الى من علمني ان الحياة كفاح و سلاحها العلم و
المعرفة .. الى من سعى لأجل راحتي و نجاحي ..الى اعظم
و اعز رجل في الكون

ابي الغالي

الى من سهرت الليالي تنير دربي ..الى من تشاركتني افراحي
و احزاني ..الى نبع العطف و الحنان اجمل ابتسامة في
حياتي ..الى اروع امرأة في الوجود

امي الحنونة

الى من ظفرت بهما هدية من الله
الى سندي في هذه الحياة اخي العزيز

مجد الدين

الى من تنير حياتي اخي الغالية

اروى

الى كل من مر بحياتي و ترك بصمة جميلة
الى كل افراد عائلتي الكبيرة و كل اصدقائي

اهدي هذا البحث

شيماء

الفهرس

الفهرس

الفهرس

المقدمة العامة

1	مقدمة العامة
مفاهيم عامة حول الأغشية الرقيقة	الفصل الأول
03	1-1- مقدمة
03	2-1- عموميات حول الأغشية الرقيقة
03	1-2-1- تعريف الأغشية الرقيقة
04	2-2-1- أنواع الأغشية الرقيقة و مجالات استخدامها
04	1-2-2-1- أغشية المعادن و السبائك
04	2-2-2-1- أغشية مزيج من المعادن و العوازل
04	3-2-2-1- أغشية غير متبلورة
04	4-2-2-1- أغشية الموصلات الكهربائية
04	3-2-1- الفرق بين الحالة الصلبة و الغشاء الرقيق
04	4-2-1- العوامل المؤثرة على الأغشية الرقيقة
04	1-4-2-1- طريقة تحضير الأغشية الرقيقة
05	2-4-2-1- نوع المسند المستخدم
05	3-4-2-1- درجة الحرارة
05	4-4-2-1- سرعة الترسيب
05	5-4-2-1- نوعية الطبقة العازلة (البينية)
06	6-4-2-1- خشونة السطح
06	5-2-1- أشكال نمو الأغشية الرقيقة
07	6-2-1- آليات ترسيب الأغشية الرقيقة
07	3-1- المغناطيسية
07	1-3-1- أصل المغناطيسية
07	2-3-1- تصنيف المواد المغناطيسية
07	1-2-3-1- المواد ذات المغناطيسية المعاكسة (Diamagnetique)

المقرر

08	2-2-3-I-المواد ذات المغناطيسية المسايرة (Paramagnetique)
08	3-2-3-I-المواد ذات المغناطيسية الحديدية المعاكسة
08	4-2-3-I-المواد ذات المغناطيسية الحديدية
09	3-3-I-العوامل المؤثرة على الخصائص المغناطيسية
09	1-3-3-I-درجة الحرارة
09	2-3-3-I-الحقل المغناطيسي المطبق
09	3-3-3-I-زاوية الحقل المغناطيسي المطبق
10	4-3-I-العناصر المغناطيسية
10	1-4-3-I-العناصر المغناطيسية الانتقالية
10	2-4-3-I-العناصر المغناطيسية النادرة
10	5-3-I-المناطق المغناطيسية
11	4-I-تطبيقات الأغشية الرقيقة
11	1-4-I-التطبيقات الالكترونية
11	2-4-I-التطبيقات الضوئية
11	3-4-I-التطبيقات الكيمائية
11	4-4-I-التطبيقات البيولوجية
12	5-4-I-التطبيقات المغناطيسية
12	1-5-4-I-التخزين المغناطيسي
12	1-1-4-4-I-التسجيل الطولي
12	2-1-4-4-I-التسجيل العرضي
13	2-5-4-I-رؤوس التسجيل المغناطيسي
14	5-I-خلاصة
	الفصل الثاني
15	1-II-مقدمة
15	2-II-تقنية التنضيد بالقذف الجزئي
15	1-2-II-تعريف التنضيد بالقذف الجزئي
16	2-2-II-مبدأ تقنية التنضيد بالقذف الجزئي

المقهر س

16	3-2-II وصف هيكل تقنية التنضيد بالقذف الجزئي
17	4-2-II مميزات تقنية التنضيد بالقذف الجزئي
17	3-II تقنية دراسة الخصائص المغناطيسية للعينة
18	1-3-II تعريف تقنية المغنطوضونية لتأثير Kerr
18	2-3-II مبدأ عملها
18	3-3-II -أنواع تأثير Kerr
19	4-3-II مزايا تقنية MOKE
19	4-II -علاقة تقنية المغنطوضونية بالخصائص المغناطيسية للحديد
20	1-4-II تعريف بيان الهسترة
20	2-4-II شرح بيان الهسترة
21	3-4-II الخصائص المغناطيسية المستخرجة من بيان الهسترة
21	1-3-4-II مغنطة التشبع
22	2-3-4-II حقل التشبع
22	3-3-4-II المغنطة المتبقية
22	4-3-4-II الحقل القاهر (القصري)
22	5-3-4-II التربيع المغناطيسي
23	6-3-4-II الحساسية المغناطيسية
23	7-3-4-II الشكل
24	6-II كيفية تحضير العينة
24	1-6-II كيفية تحضير المسند
24	2-6-II كيفية تحضير طبقة الحديد
24	3-6-II كيفية تحضير طبقة الفضة
25	4-6-II الشكل النهائي للعينة
25	7-II الخلاصة
	الفصل الثالث
26	1-III مقدمة
26	2-III تحليل بيان الهسترة

الفهرس

28	III-3- دراسة الخصائص المغناطيسية المستخرجة من دورات الهسترة
28	III-3-1- مغنطة التشبع
29	III-3-2- المغنطة المتبقية
30	III-3-3- حقل التشبع
31	III-3-4- الحقل القاهر
32	III-3-5- التربيع المغناطيسي
32	III-3-6- الحساسية المغناطيسية
33	III-4- الاستنتاج
	الخاتمة العامة
35	خاتمة العامة
	قائمة المراجع
37	قائمة المراجع

قائمة الأشكال

قائمة الأشكال

قائمة الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل	الشكل
06	رسم تخطيطي لأشكال نمو الأعشبية الرقيقة	01-I
09	بيان يمثل لنا العلاقة بين درجة الحرارة و المواد المغناطيسية	02-I
10	رسم يبين لنا تمثيل المناطق المغناطيسية	03-I
11	كيفية تغير المغنطة في المنطقة الفاصلة	04-I
13	اتجاه المغنطة في التسجيل الطولي	05-I
13	اتجاه العزوم في التسجيل العرضي	06-I
14	الرأس المغناطيسية	07-I
17	رسم تخطيطي لهيكل تقنية التنضيد بالفنذ الجزيئي	01-II
18	رسم تخطيطي لتقنية المغنطة الضوئية لتأثير Kerr	02-II
19	رسم تخطيطي لأنواع تأثير Kerr	03-II
20	رسم تخطيطي لتأثير الحقل المغناطيسي الخارجي على مادة فيرومغناطيسية	04-II
21	تغير المغنطة بدلالة الحقل المغناطيسي الخارجي المطبق (بيان الهسترة)	05-II
23	الفرق بين شكل دورة الهسترة للمواد اللينة والمواد القاسية الفيرومغناطيسية	06-II
25	رسم تخطيطي للعينة	07-II
27	تغير بيانات الهسترة بدلالة زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي الخارجي	01-III
29	منحنى تغير قيمة المغنطة المتبقية بدلالة زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي الخارجي	02-III
30	منحنى تغير قيمة حقل التشبع بدلالة زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي الخارجي	03-III
31	منحنى تغير قيمة حقل الفاهر بدلالة زاوية تطبيق الحقل θ	04-III
32	منحنى تغير قيمة التربيع المغناطيسي بدلالة زاوية تطبيق الحقل	05-III
33	منحنى تغير قيمة الحساسية المغناطيسية بدلالة زاوية تطبيق الحقل	06-III

قائمة الجداول

قائمة الجداول

قائمة الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	الجدول
28	تغير قيمة مغنطة التشبع بدلالة زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي الخارجي	01-III

قائمة الرموز

قائمة الرموز

قائمة الرموز

الرمز	المعنى
2D	ثنائي الأبعاد
3D	ثلاثي الأبعاد
T_c	درجة حرارة كوري
T_N	درجة حرارة نيل
4f,3d	مدارات ثانوية
5s, 5p	مدارات مشبعة
CVD	الترسيب الكيميائي للطور البخاري
EJM,MBE	تقنية التنضيد بالقذف الجزيني
MOKE	المغطة الضوئية لفعل كير
$^{\circ}م$	درجة مئوية
K	كلفين
m	متر
Torr	تور وحدة قياس الفراغ
mc/s	ميلي طبقة في كل ثانية
Å	انغستروم
RHEED	تقنية انعكاس حيود الالكترن عالي الطاقة
H_{ext}	الحقل المغناطيسي الخارجي
M	المغطة
M_s	مغطة التشبع
M_r	المغطة المتبقية
-Hc	الحقل القاهر (الحقل الحرج)
Hc	الحقل القاهر (الحقل الحرج)
- M_s	مغطة التشبع العكسية
- M_r	المغطة المتبقية العكسية
$^{\circ}C$	درجة مئوية
S	التربيع المغناطيسي
X	الحساسية المغناطيسية
Fe	الحديد
Ag	الفضة
MgO	اكسيد المغنيزيوم
θ	الزاوية الموازية للحقل المغناطيسي الخارجي المطبق
emu/cm^3	وحدة قياس المغطة في نظام CGS
Oe	الاولسترد

المقدمة العامة

المقدمة العامة

مقدمة عامة

لقد لعبت المادة الصلبة دورا أساسيا في التقدم التكنولوجي الذي نعيشه الآن، حيث تسابقت المخابرة العالمية في إنتاج العديد من المواد جديدة و أجرت عدة تدخلات في تحسين المادة و خواصها الكيميائية و الفيزيائية و عملت على إيجاد آفاق تطبيقية و مبتكرة. وقد قاد التطور السريع في علم المواد إلى ميلاد عائلات جديدة من المواد اتسعت و تباينت رقة تطبيقاتها فدفعت البشرية نحو تحقيق ثوراتها الصناعية الكبرى كتكنولوجيا المعلومات والاتصالات وتكنولوجيا النانو. و لقد قدمت هذه الأخيرة العديد من التقنيات المبتكرة و الطرق الميسرة التي تمكن من التحكم في البناء الذري الداخلي للمادة و تطوير نمط ترتيب الذرات بموقع الشبكات البلورية مما أدى إلى ميلاد أنواع جديدة من المواد التي تختلف في خواصها عن أشباهها من المواد التقليدية. و من بين الأنواع الجديدة الطبقات الرقيقة من رتبة A.

و تعد دراسة هذه الأخيرة من موضوعات الهامة، خاصة أنها تعتبر إحدى الوسائل المهمة لمعرفة العديد من الخصائص الكيميائية والفيزيائية للمواد التي يصعب الحصول عليها و هي في صورتها الصلبة، و يشترط في الأغشية الرقيقة أن تكون ذات بعدين أما البعد الثالث فهو السمك فيكون صغيرا جدا أي أنه مهمل أمام البعدين الآخرين، ولقد أنجزت دراسات كثيرة و اكتشافات مثيرة لهذا النوع من المواد و التي تحتكر لنفسها العديد من الخواص الكيميائية و الضوئية و الالكترونية و المغناطيسية... الخ، و قد رشح هذا النوع من المواد في صناعة الخلايا الضوئية و الشمسية ، المتسعات و الدارات المتكاملة، أجهزة الاستشعار، مواد الطلاء و مقاومات للحماية من تأكسد و التآكل، بالإضافة إلى استخدامها في أنظمة تخزين المعلومات التي من المستحيل الاستغناء عنها في زمننا هذا. تعتمد هذه الأنظمة، بما في ذلك المحركات والمحولات والمحثات، على نقل الطاقة المغناطيسية. الدائرة المغناطيسية الموجودة في هذه الأنظمة، هي أساس تحويل الطاقة و يجب تحسينها لتحقيق تحويل فعال للطاقة. إضافة إلى تأثيرات الشكل للدائرة المغناطيسية، فإن التحكم في كفاءة الطاقة يتطلب استخدام أغشية رقيقة مغناطيسية عالية الأداء ومعروفة السلوك، خاصة تحت شروط تحضير و تطبيق معينة، مثل الضغوط العالية، درجات الحرارة العالية والترددات التي تصادف اليوم في مختلف الأجهزة. من جهة أخرى، من الضروري أن يكون لدينا نموذج من السلوك الهستيرتي في أي أنظمة ثابتة وديناميكية (دائمة وعابرة) من أجل تحسين تشغيل الأنظمة الكهرومغناطيسية، وعلى وجه الخصوص، للتنبؤ بأشكال الدائرة المغناطيسية أو بالأحرى السلوك الهستيرتي للمواد المستخدمة، ومدى ضياع الطاقة فيها، من بين هذه المواد المغناطيسية نصنف مادة الحديد المعروف بخاصيته المغناطيسية الحديدية الجيدة.

من بين المواد المغناطيسية المستخدمة في المجالات المذكورة سابقا، نصنف مادة الحديد المعروف بخصائصه المغناطيسية الحديدية الجيدة، خاصة إذا ما استخدم على شكل غشاء رقيق، لأن صغر السمك يساعد على إنتاج خصائص مغناطيسية جديدة ما يساعد على تنوع تطبيقاته، وما يعزز هذا

المقدمة العامة

التنوع هو تأثير خصائصه المغناطيسية (مغطة التشبع، المغطة المتبقية، الحساسية المغناطيسية، الحقل القاهر،.....الخ) بالتأثيرات الخارجية مثل طريقة تحضيره، سرعة ترسيبه، درجة حرارة التحضير، الضغط المطبق وكذلك الحقل المغناطيسي المطبق.

عملنا هذا يدخل ضمن مجال دراسة تأثير الخصائص المغناطيسية لمادة الحديد المحضر على شكل غشاء رقيق سمكه 300Å، بأحد هذه العوامل الا وهي المجال المغناطيسي الخارجي وخاصة عندما نغير زاوية تطبيقه من 00° إلى 315° بتغير 45° في كل مرة.

لتحقيق هذا الهدف استخدمنا مسند أحادي التبلور وهو أكسيد المغنيزيوم (MgO) المصقول على الوجه (001) ورسبنا فوقه 300Å من الحديد وللحفاظ عليه من التأكسد، رسبنا فوقه سمك صغير جدا (20Å) من الفضة، حيث حصلنا على العينة MgO //Fe/Ag عن طريق استخدام تقنية فيزيائية بحتة تعرف باسم التنضيد الفوقي الموجه (MBE) والتي سنتطرق إلى معناها وكيفية عملها في الفصل الثاني من هذه المذكرة، ولقد رسبنا الطبقات في درجة حرارة الغرفة وعند ضغط منخفض جدا، ولدراسة الخصائص المغناطيسية لمادة الحديد ونخصه هو بالتحديد، لأنه المادة المغناطيسية الوحيدة في العينة، قمنا بتطبيق تقنية المغنطو ضوئية لفعل (MOKE) Kerr مع تطبيق الحقل في اتجاه الزوايا: 00°، 45°، 90°، 135°، 180°، 225°، 270° و 315°.

و لقد قسمنا العمل في هذه المذكرة إلى ثلاثة فصول بالإضافة إلى المقدمة العامة و الخاتمة العامة:

➤ سنهتم في الفصل الأول بدراسة مفاهيم عامة حول الأغشية الرقيقة (تعريفها أنواعها و العوامل المؤثرة عليها) هذا سنعتبره الجزء الأول أما الجزء الثاني سنهتم بالمغناطيسية (تعريفها تصنيفها العوامل المؤثرة عليها) وأخيرا تطبيقات الأغشية الرقيقة في المجالات الحياتية المختلفة و سنسلط الضوء على تطبيقاتها المغناطيسية و خاصة التخزين المغناطيس.

➤ أما في الفصل الثاني فقد قمنا بدراسة تقنية تحضير الأغشية الرقيقة و المتمثلة في الترسيب بالتنضيد الجزئي الموجه و الذي يرمز لها بالرمز (EBM)، حيث قدمنا معناها و شرحنا هذه التقنية من حيث مبدأ العمل و ذكر بعض المميزات و الخصائص التي تمتاز بها، ثم تطرقنا إلى ما يعرف بتقنية المغنطو ضوئية لتأثير Kerr و التي يرمز لها بالرمز (MOKE)، و هذا من أجل استخراج الخصائص المغناطيسية المطلوبة في عملنا هذا مثل الحقل القاهر، و لقد قمنا بشرح هذه التقنية شرحا مفصلا من حيث تعريفها و مبدأ عملها و فوائدها و ميزاتها، كما قمنا بشرح المواد الفيرومغناطيسية اللينة و القاسية بالإضافة إلى بيان الهسترة و أهم عناصره مع شرح مفصل لكل عنصر (الحقل القاهر، مغطة التشبع، المغطة المتبقية، حقل التشبع و الحساسية المغناطيسية)، و في الأخير شرحنا كيفية تحضير العينة المدروسة.

➤ أما الفصل الثالث و الأخير فقد خصصناه لدراسة و مناقشة النتائج المحصلة عليها من هذه المذكرة.

الفصل الأول (1)
عموميات حول الأغشية الرقيقة و خصائصها المغناطيسية

I-1- مقدمة

منذ النصف الثاني من القرن السابع عشر أجريت العديد من البحوث المهمة حول دراسة صفات المادة وهي على شكل أغشية رقيقة والتي أثارت انتباه الفيزيائيين [1]، خاصة أنها تعتبر إحدى الوسائل المهمة لمعرفة العديد من الخصائص الفيزيائية و الكيميائية الجديدة التي يصعب الحصول عليها في حالتها الطبيعية [2]، ولقد تطور هذا المجال من البحوث من خلال تقدم تقنيات الترسيب سواء أكانت فيزيائيا أو كيميائيا، إذ تمكن الأغشية الرقيقة من توفير خواص الحجم على السطوح الرقيقة، وبالتالي تمكن من الاقتصاد في استخدام المواد مقابل الحفاظ على الخواص الفيزيائية التي يوفرها الحجم [3]. وقد امتدت آفاق هذا النوع من البحوث مما أدى إلى اتساع تطبيقاتها في مجالات عديدة كالمغناطيسية و الضوئية و منها كذلك الكيميائية... الخ.

سنقوم في هذا الفصل بالتطرق إلى مفاهيم عامة حول الأغشية الرقيقة من حيث مفهومها، وأنواعها، و العوامل التي تؤثر عليها كسرعة الترسيب و نوع المسند... الخ ، كذلك سنتطرق إلى المغناطيسية من حيث أصلها، و العوامل المؤثرة عليها كذلك سنعرض المعلومات حول تصنيف المواد حسب خصائصها المغناطيسية و سنسلط الضوء على المواد الفيرومغناطيسية سنختم هذا الفصل بذكر تطبيقات الأغشية الرقيقة .

I-2- عموميات حول الأغشية الرقيقة

I-2-1- تعريف الأغشية الرقيقة

تعد فيزياء الأغشية الرقيقة من الفروع المهمة لفيزياء الحالة الصلبة و التي تبلورت عنها و أصبحت فرعا قائما بذاته [4]، فالغشاء الرقيق هو عبارة عن وصف لطبقة واحدة أو عدة طبقات من الذرات ، تصنف أبعاد الطبقة الرقيقة على أنها مادة ثنائية لأن لديها أحد الأبعاد مهمل جدا بالنسبة للأبعاد الأخرى، وفي اغلب الحالات يكون هذا البعد هو السمك الذي يكون صغيرا جدا أي من رتبة الانغستروم (Å)، بحيث يمتلك هذا الغشاء خصائص فيزيائية و كيميائية تختلف عن خواص المادة المكونة له [5].

I-2-2- أنواع الأغشية الرقيقة و مجالات استخدامها

I-2-2-1- أغشية المعادن و السبائك

يمتاز هذا النوع من الأغشية بمقاومة عالية، نتيجة حزم الطاقة المملوءة جزئيا، و التي يمكن التحكم فيها عندما يكون سمك الغشاء أقل من معدل مسار الحر للإلكترونات [6]. و أكثر نوع مستحب في المعادن في هذا المجال هو المعادن الانتقالية كالحديد. يستخدم هذا النوع من الأغشية كموصلات كهربائية في بناء المستحاثات و المتسعات.

I-2-2-2- أغشية مزيج من المعادن و العوازل

تعتمد على مبدأ التركيز الحرج للمادة الموصلة، فعندما يكون تركيز المادة أعلى من قيمة الحرجة عندها يكون اعتبار الغشاء شبكة متصلة من الشعيرات المعدنية، أما إذا كان تركيز المادة الموصلة أقل من القيمة الحرجة فلا تكون الفواصل متصلة مع بعضها بصورة جيدة لتمثل مسارات معدنية. لذلك يحصل التوصيل الكهربائي بين جسيمات محددة. حيث إن انتقال الإلكترونات يتطلب إثارة حرارية للتغلب على القوة الكهربائية المستقرة. و مثل هذه الحرارة تجعل معامل المقاومة سالبا و هو صفة مكتسبة لمزيج المعادن و العوازل.

I-2-2-3- أغشية غير متبلورة

يستخدم هذا النوع من الأغشية في صناعة الأفلام الجافة و المفاتيح الكهربائية، و كاشف الأشعة تحت الحمراء، و التصوير الضوئي، أما أكسيد المواد الداخلة فتكون تلك الأغشية فتستخدم في الدوائر الكهربائية المتكاملة، و ترجع أهمية هذا النوع من الأغشية إلى إمكانية تحضيرها في مساحات كبيرة يمكن الاستفادة منها في التطبيقات الصناعية.

I-2-2-4- أغشية الموصلات الكهربائية

يستخدم هذا النوع من الأغشية في أجهزة قياس شدة الضوء و في التصوير الفوتوغرافي الضوئي و كواشف حزم الضوء لأغراض التنبيه و في الاستنساخ الضوئي. إن هذه التطبيقات تعتمد على التوصيل الكهربائي الضوئي .

I-2-3- الفرق بين الحالة الصلبة و الغشاء الرقيق

الفرق الجوهرى بين المادة في الحالة الصلبة و المادة في حالة الأغشية الرقيقة يتمثل في أنه في الحالة الصلبة للمادة عموما نهمل دور السطوح في الخصائص الفيزيائية و لكن في حالة الطبقات يكون العكس تأثير السطوح على الخصائص يكون هو الغالب حيث كلما ازداد انخفاض السمك زاد تأثير السطوح في الخصائص الفيزيائية [3].

I-2-4- العوامل المؤثرة على الأغشية الرقيقة

I-2-4-1- طريقة تحضير الأغشية الرقيقة

إن اختلاف الطرائق المستخدمة في تحضير الأغشية الرقيقة يتسبب في اختلاف خصائصها الفيزيائية [7]، ولذلك فإن عملية اختيار الطريقة المناسبة لتحضير الغشاء الرقيق تعتمد على خواص عدة منها: طبيعة التطبيق، نوعه، تكلفة التحضير، سهولته و سرعته بالإضافة إلى نوع المواد المستخدمة في التحضير [8]، لكن تخضع مجمل طرق تحضير الأغشية الرقيقة إلى نفس آلية الترسيب.

الفصل الأول (I) عموميات حول الأغشية الرقيقة و خصائصها المغناطيسية

I-2-4-2- نوع المسند المستخدم

هذا العامل يلعب دورا رئيسيا في عملية ترسيب الأغشية الرقيقة، حيث أن له أثر كبير في تشكيل العينات من حيث بنيتها البلورية، طبيعتها السطحية، و كذلك جودتها. ولذلك يجب توفر عدة شروط للاختيار المناسب للمسند أو الركيزة التي سوف تستخدم من بينها ما يلي:

- يجب أن يكون هناك تقارب في الأبعاد البلورية ، بمعنى أن يكون ثابت الشبكة البلورية لكل من الغشاء و المسند متقاربان لكي يكون عدم الانتظام الشبكي بينهما صغير جدا.
- 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، أما المساند البعيدة على الهدف تؤدي إلى التقليل من قيمة هذا السمك [9].

I-3-4-2- درجة الحرارة

إن لدرجة الحرارة تأثير واضح على تجانس الأغشية المرسبة و نوعيتها، لذلك يجب أن تتوفر الشروط اللازمة:

- درجة حرارة عملية التبخير يجب أن تكون اقل من نقطتي الانصهار و الانتشار للمادة الركيزة .
- درجة حرارة الركيزة يجب أن تكون مناسبة لعملية توضع ذرات الغشاء و توزيعها بشكل متجانس بحيث لا تكون عالية لدرجة إعادة تبخر الغشاء بعد أن يتشكل، ولا باردة تتسبب في توزيع غير متساوي للسمك .

I-4-4-2- سرعة الترسيب

إن اختلاف طرق ترسيب الأغشية يؤدي أيضا إلى اختلاف سرعة ترسيبها، فعندما تكون السرعة منخفضة تتمكن ذرات الغشاء المرسب من التوضع فوق المسند بطريقة سلسة ومنظمة، مما يؤدي إلى تحسين نوعية الأسطح الناتجة في العينة، بالإضافة إلى هذا تمكن سرعة الترسيب البطيئة من إمكانية التحكم في سمك الطبقات المتموضعة وبالتالي سمك العينة الناتجة [9].

I-5-4-2- نوعية الطبقة العازلة (البيئية)

في كثير من الأحيان يكون هناك تباين كبير بين ثابت الشبكة البلوري للغشاء الرقيق و المسند المعتمد، لذلك يجب إدخال طبقة رقيقة من مادة أخرى تختلف عن تلك المراد دراسة خصائصها الفيزيائية تعمل كمادة لاصقة بين الغشاء المرسب و المسند و يشترط فيها أن يكون عدم الانتظام الشبكي بينها و بين كل من الغشاء المرسب و الركيزة أقل ما يمكن للحصول على تبلور جيد لذرات الغشاء و بالتالي تحسين الخصائص الفيزيائية للعينة الناتجة [10].

الفصل الأول (I) عموميات حول الأغشية الرقيقة و خصائصها المغناطيسية

I-2-4-6-خشونة السطح

نقصد بها عدم الانتظام أو الانحراف في الشكل الهندسي المثالي لأسطح العينات المحضرة. كما تعرف الخشونة أيضا بأنها الانحرافات الراسبة و الأفقية و عمق اللانتظامية و التي تكون مندمجة ضمن الانحناءات العامة للسطح, و التي تسمى تصدعات تظهر على شكل خدوش أو تشققات في السطوح و السطوح البينية .

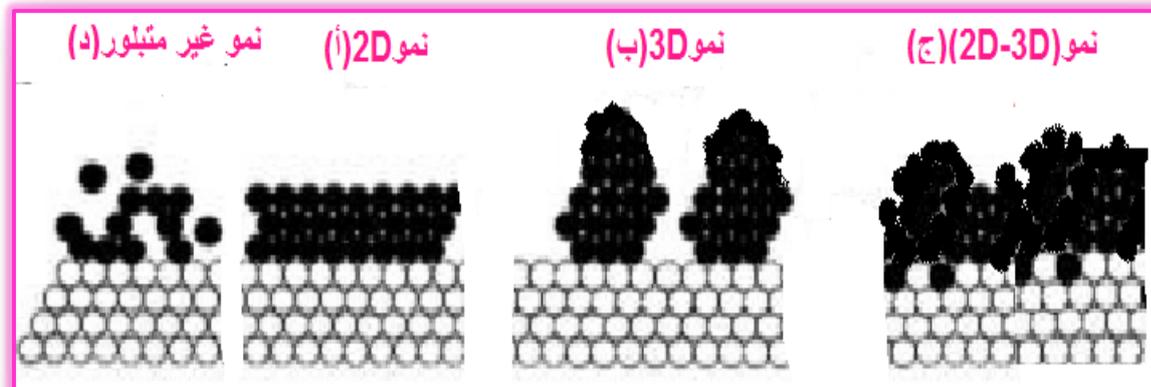
و ترجع خشونة السطح إلى جملة من أسباب منها:

- زيادة سرعة قطع المساند.
- وجود عيوب في بنية المسند.
- اختلاف حجم الذرات المتواجدة في الأسطح البينية.
- اختلاف عدم الانتظام الشبكي في الطبقات المتتالية [11]

I-2-5- أشكال نمو الأغشية الرقيقة

يتم تشكل الغشاء من خلال أربعة أشكال

- النوع 2D و هو نمو ثنائي الأبعاد يمتد على سطح الركيزة ينتج من النمو بطيء السرعة ويكون السطح الناتج ناعم تماما مثل ما هو المخطط (أ) في الشكل 1-1.
- النوع 3D تتكون فيه عناقيد ثلاثية الأبعاد وتعرف باسم الجزر (انظر الشكل 1-1(ب)), يحدث منه عدد من العيوب خلال النمو، و يعتمد على عدم التجانس بين الطبقات و الركيزة.
- النوع المختلط ميبين في الشكل 1-1(ج)، ويكون مزيج من النوعين السابقين حيث يتم النمو بالنوع 2D ثم يبدأ نمو الجزر.
- النوع غير المتبلور (انظر الشكل 1-1(د)) [12].



الشكل I-1- رسم تخطيطي لأشكال نمو الأغشية الرقيقة [12]

الفصل الأول (I) عموميات حول الأغشية الرقيقة و خصائصها المغناطيسية

I-2-6-آليات ترسيب الأغشية الرقيقة

إن عملية ترسيب الأغشية الرقيقة يتضمن ثلاثة خطوات أساسية هي :

- انتاج الأنواع الأيونية ،الجزئية ، الذرية المناسبة [13].
- نقل هذه الأيونات ، الجزئيات ، الذرات إلى الركيزة .
- تكثيفها على الركيزة إما مباشرة و إما كيميائيا و إما بعملية كهرو كيميائية لتشكيل الغشاء [7].

I-3-المغناطيسية

I-3-1-أصل المغناطيسية

تنتج المغناطيسية من حركة الإلكترونات داخل ذرات المواد، وهي صفة من صفات الشحنات المتحركة، بحيث هناك نوعان من حركة الإلكترونات هما:

- حركة الإلكترونات حول النواة وهي تشبه لحركة التيار الكهربائي في حلقة موصلة مغلقة و يكون تأثيرها بشكل ضئيل في الخصائص المغناطيسية.

➤ حركة الإلكترونات حول نفسها وتعرف هذه الحركة بالحركة المغزلية و ينسب إليها معظم

الخصائص المغناطيسية للمادة [14].

I-3-2- تصنيف المواد المغناطيسية

I-3-2-1-المواد ذات المغناطيسية المعاكسة

إن أصل الخاصية الديامغناطيسية هو الحركة المدارية لإلكترونات الأغلفة المشبعة حول النواة و التي تستحدث نتيجة تسليط المجال المغناطيسي المؤثر على المادة ،أي أن المجال الخارجي يحدث تغيرا في حركة الإلكترونات و بالتالي إحداث تغير في العزوم المغناطيسية لتلك الإلكترونات و من بين هذه المواد: الغازات الخاملة و النحاس و الفضة و الألماس و الزئبق و النتروجين و الهيدروجين ، وتتميز المواد ذات المغناطيسية المعاكسة بما يلي:

- لا تتأثر بتغير درجة الحرارة .
- معامل نفاذيتها أقل من واحد .
- الحساسية المغناطيسية لها صغيرة جدا و سالبة
- لا يمكنها التمغنط، حيث أن العزوم المغناطيسية لها تأخذ اتجاه معاكس للمجال المطبق

عليها [15] .

الفصل الأول (I) عموميات حول الأغشية الرقيقة و خصائصها المغناطيسية

I-3-2-2-المواد ذات المغناطيسية المسايرة

➤ تمتلك ذرات هذه المواد عزوما مغناطيسية دائمة تأخذ اتجاه موازي للمجال المغناطيسي، أي أن محصلة هذه العزوم تساوي الصفر، من بين هذه المواد نذكر كل من: الألمنيوم و الكالسيوم و الصوديوم و الأكسجين .

➤ معامل نفاذيتها أكبر من الواحد.

➤ الحساسية المغناطيسية لها صغيرة جدا وموجبة

➤ يمكن مغنطتها، حيث أن استجابتها للمغطة متوسطة.

يلاحظ أن الحساسية تعتمد على درجة الحرارة في حالة المواد ذات المغناطيسية المسايرة، إذ نجد أنها تقل كلما ارتفعت درجة الحرارة بسبب أن الإثارة الحرارية الناتجة عن درجة الحرارة تعمل على بعثرة اتجاه العزوم المغناطيسية بينما يعمل المجال المغناطيسي على انتظامها في اتجاهه [15].

I-3-2-3-المواد ذات المغناطيسية الحديدية المعاكسة

➤ تمتلك هذه المواد، عزوما مغناطيسية مرتبة بشكل صفوف متوازية و متشابهة لكنها متضادة عند درجات الحرارة أقل من درجة حرارة نيل .

➤ حساسيتها ضعيفة و موجبة.

➤ مغناطيسيتها ضعيفة (تقريبا صفر) لتشابه العزوم متضادة.

➤ تمتلك هذه المواد درجة حرارة تسمى درجة حرارة نيل [15] .

I-4-2-3-المواد ذات المغناطيسية الحديدية

➤ تمتلك عزوما مغناطيسية دائمة و تتأثر بالمجال المغناطيسي الأرضي، و لهذه المواد استخدامات عملية واسعة في حياتنا اليومية، حيث تنشأ الخاصية الفيرومغناطيسية من الإلكترونات المنفردة ذات العزم المغناطيسي الدائم .

➤ تسمى أيضا بالمواد الحديدية نسبة للحديد الذي يعتبر من أشهر المواد المغناطيسية بالإضافة إلى النيكل و الكوبالت.

➤ معامل نفاذيتها كبير جدا .

➤ الحساسية المغناطيسية موجبة و عالية جدا.

➤ تمتاز بمغنطتها العالية جدا إذا وضعت في مجال مغناطيسي، وهي تحتفظ تمغنطها حتى بعد

زوال المجال المغناطيسي الخارجي، و تدعى في هذه الحالة مغنطة ذاتية [15] .

الفصل الأول (I) عموميات حول الأغشية الرقيقة و خصائصها المغناطيسية

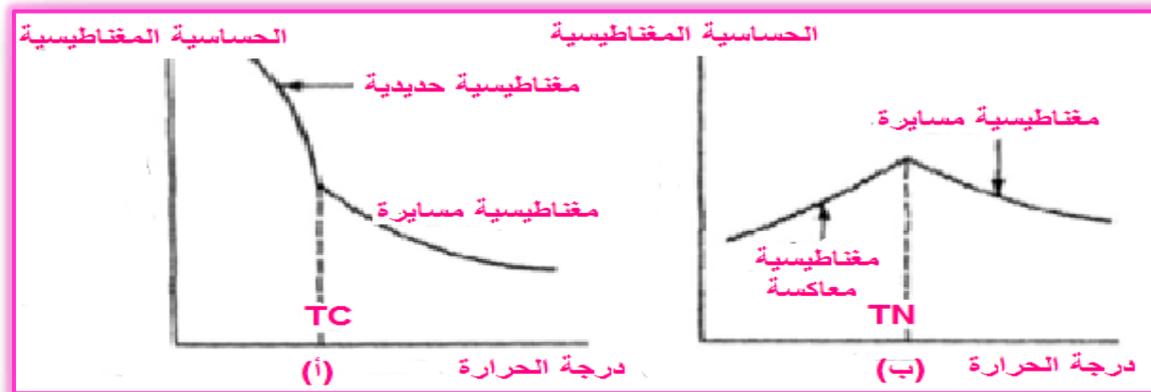
I-3-3-العوامل المؤثرة على الخصائص المغناطيسية

I-3-3-1-درجة الحرارة

تمتلك كل مادة درجة حرارة معينة تظهر فيها خواص مغناطيسية معينة و نميز نوعين من درجة الحرارة.

➤ درجة حرارة كوري، كما هي موضحة في الشكل التخطيطي I-2(أ)، وهي درجة الحرارة التي تختفي عندها خواص المادة المغناطيسية، لتصبح بعدها ذات مغناطيسية مسايرة بعد أن كانت حديدية و يرمز لها T_c [15].

➤ درجة حرارة نيل، و هي درجة الحرارة التي فوقها تتحول مادة مغناطيسية حديدية مضادة إلى حالة مغناطيسية مسايرة(أنظر التوضيح في الشكل التخطيطي I-2(ب))، أي أن عند درجة الحرارة العالية تصبح الطاقة الحرارية في العينة شديدة بحيث ينفك الترتيب المغناطيسي للحبيبات فيها و يرمز لها بالرمز T_N [15].



الشكل I-2- بيان يمثل لنا العلاقة بين درجة الحرارة و المواد المغناطيسية [18]

I-3-3-2-الحقل المغناطيسي المطبق

تتوقف شدة التمغنط على نوع المادة المغناطيسية و كذلك على المجال المغناطيسي المطبق عليها، و لقد وجد في المواد الفيرومغناطيسية أن العلاقة بين شدة التمغنط و المجال المغناطيسي المطبق علاقة غير طردية مما أدى بتسمية بيان تغير قيمة التمغنط بدلالة الحقل المغناطيسي بدورة الهسترة [19].

I-3-3-3-زاوية الحقل المغناطيسي المطبق

تتعلق كذلك الخصائص المغناطيسية للأغشية الرقيقة بزاوية تطبيق الحقل المغناطيسي المطبق، وهذا ما سنوضحه في عملنا هذا.

الفصل الأول (I) عموميات حول الأغشية الرقيقة و خصائصها المغناطيسية

I-3-4- العناصر المغناطيسية

I-3-4-1- العناصر المغناطيسية الانتقالية

أصل المغناطيسية في هذه المواد هو الإلكترونات غير المزدوجة في المدار الثانوي 3d غير المشبع الذي يشكل المدار الخارجي لها، و من أهم عناصرها الحديد و النيكل و الكوبالت التي تكون مغناطيسيتها حديدية عند درجة حرارة الغرفة، أما بقية عناصر هذه المجموعة تكون مواد ذات مغناطيسية مسايرة [20].

I-3-4-2- العناصر المغناطيسية النادرة

أصل المغناطيسية فيها هو الإلكترونات غير مزدوجة في المدار الثانوي 4f غير المشبع. و الذي يقع داخل المدارات المشبعة 5s,5p. و تكون عناصر هذه المجموعة عناصر بارامغناطيسية في درجة حرارة الغرفة [20].

I-3-5- المناطق المغناطيسية

لقد استخدم المصطلح المنطقة المغناطيسية من طرف العالمين نيل و بلوخ و يمكن تعريفها على أنها منطقة متباينة داخل المواد الفيرومغناطيسية بحيث تكون عزوم كل منطقة في نفس الاتجاه أي تكون في حالة تشبع بصورة منعزلة، وتكون متجهات و عزوم كل مناطق موزعة بطريقة عشوائية أي أن محصلة العزوم تساوي الصفر [18]. كل منطقة تكون لها اتجاهات تختلف عن الأخرى مثل ما هو موضح في الشكل 1-3، و توجد بين هذه المناطق حواجز فاصلة تعرف بالجدار وهي نوعان حواجز نيل و حواجز بلوخ الفرق الأساسي بينهما هو أن :

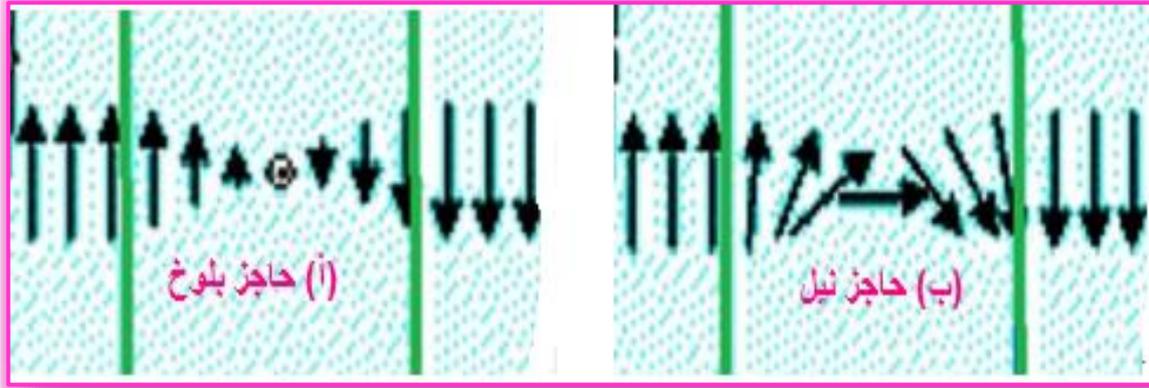
➤ حواجز بلوخ يكون فيه تغير المغنطة عموديا على الغشاء الرقيق (أنظر الشكل 1-4(أ)).

➤ جدار نيل يكون فيه تغير المغنطة في مستوى الغشاء الرقيق (الشكل 1-4(ب)) [15،21].



الشكل I-3- رسم يبين لنا تمثيل المناطق المغناطيسية [15]

الفصل الأول (I) عموميات حول الأغشية الرقيقة و خصائصها المغناطيسية



الشكل I-4 كيفية تغير المغنطة في المنطقة الفاصلة [15]

I-4-1 تطبيقات الأغشية الرقيقة

لقد شهدت الأغشية الرقيقة خلال القرنين الماضيين تطورا كبيرا، بحيث استعملت في عدة مجالات نذكر منها:

I-4-1-1 التطبيقات الالكترونية

تم استخدام الأغشية الرقيقة في صناعة المتسعات، الدارات المتكاملة، المقاومات و في الترانزستورات [22-23] إضافة إلى الاستعانة بها في الوصلة (PN) ، أقطاب التوصيل و في دوائر الفتح و الغلق [24]، كم استخدمت الأغشية الرقيقة في صناعة الثنائيات الباعثة للضوء ((LEDS) و لوحات العرض البلازمية [25]، إضافة إلى الحاسبات الرقمية (Digital comquers)

I-4-1-2 التطبيقات الضوئية

في هذا المجال تم استعمال الأغشية الرقيقة في صناعة الخلايا الشمسية و كذا صناعة الألياف البصرية المستخدمة في نقل المعلومات و الاتصالات [24]، و الكواشف الضوئية ، كما استخدمت في عمليات التداخل التي وظفت في عملية التصوير الفوتوغرافي و أجهزة الاستنساخ ، كما تم استخدامها في صناعة المرشحات الضوئية و التي بدورها تتضمن تصميم مضادات الانعكاس إضافة إلى المرايا.

I-4-1-3 التطبيقات الكيميائية

تستعمل في مواد الطلاء لمقاومة التآكل، و أجهزة استشعار الغاز، الدهانات الواقية..... الخ [25].

I-4-1-4 التطبيقات البيولوجية

تستخدم في أجهزة الاستشعار البيولوجية الدقيقة، الرقائق الحيوية، المواد المتوافقة حيويًا [25].

الفصل الأول (I) عموميات حول الأغشية الرقيقة و خصائصها المغناطيسية

I-4-5-التطبيقات المغناطيسية

يعد أكبر تطبيق للأغشية الرقيقة في المجال المغناطيسي للمواد الفيرومغناطيسية هو التخزين المغناطيسي كما توجد عدة طرق أخرى للتخزين حسب سعة التخزين ، و تستخدم هذه التقنية من أجل ربح الوقت و التكلفة ، و الحصول على أجهزة صغيرة الحجم لكنها ذات فعالية كبيرة [26].

I-4-5-1-التخزين المغناطيسي

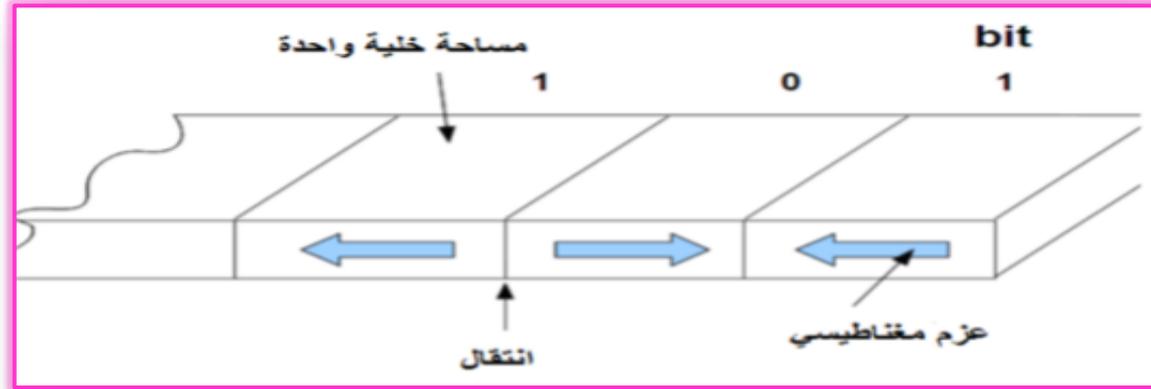
تستخدم الأغشية الرقيقة في مجال المغناطيسية بهدف زيادة كثافة التخزين فنجدها في الذاكرة المغناطيسية و الأقراص الصلبة التي تزال الطريقة الأكثر موثوقية و اقتصادية في التخزين ، حيث صنع أول قرص صلب في سنة 1956 من طرف IBM و تركز هذه الطريقة على استعادة المعلومات المخزنة على طبقة سطحية مغناطيسية مغطاة أو محفوظة بشريط أو قرص أو أسطوانة....الخ، تكون عادة من اللدائن فتتضمن هذه الطبقة جسيمات ناعمة جدا من أكسيد الحديد أو أي مادة مغناطيسية أخرى تتميز بالقدرة على مغنطتها و إزالة مغنطتها.

مبدأ التخزين المغناطيسي يبقى نفسه مهما يكن شكل المعلومة المراد تخزينها أو قراءتها (صورة، صوت، برنامج...الخ) فانه يتم تحويلها إلى إشارة كهربائية ثم إلى إشارة مغناطيسية و بصفة عامة يتكون وسط التخزين المغناطيسي من ركيزة (المسند) تكون من (الألمنيوم، الزجاج...) توضع فوقها غشاء رقيق مغناطيسي و تكون بين المسند و الطبقة المغناطيسية طبقة انتقالية تسمى بالطبقة البيئية، وأخيرا نجد طبقة الغطاء الواقي. و ينقسم السطح الحامل (الشريط، القرص....) إلى خلايا عنصرية صغيرة تسمى BIT تتصرف كل واحدة منها مثل المغناطيس حيث تأخذ المغنطة فيها اتجاهين متعاكسين تكتب على شكل رموز في النظام الثنائي 0 أو 1 و يكفي أن نميز نوعين من المغنطة للمادة المغناطيسية. الأولى يعبر عنها ب 1 و الأخرى 0، و تتميز كل خلية فعالة بالقدرة على الحفاظ على المعلومة و سعة تخزينها و كذلك زمن قراءة المعلومة أو كتابتها على الحامل و نميز طريقتين في التسجيل على الأقراص الصلبة . التسجيل الطولي و التسجيل العرضي [27،28].

I-4-5-1-1-التسجيل الطولي

يكون وسط التخزين فيه متوسط و تكون العزوم المغناطيسية في مستوى الغشاء الرقيق و موجهة وفقا للمحور سهل المغنطة (انظر الشكل-5)، سعة التخزين لا تتجاوز $10\text{Gbit} / \text{In}^2$ [29].

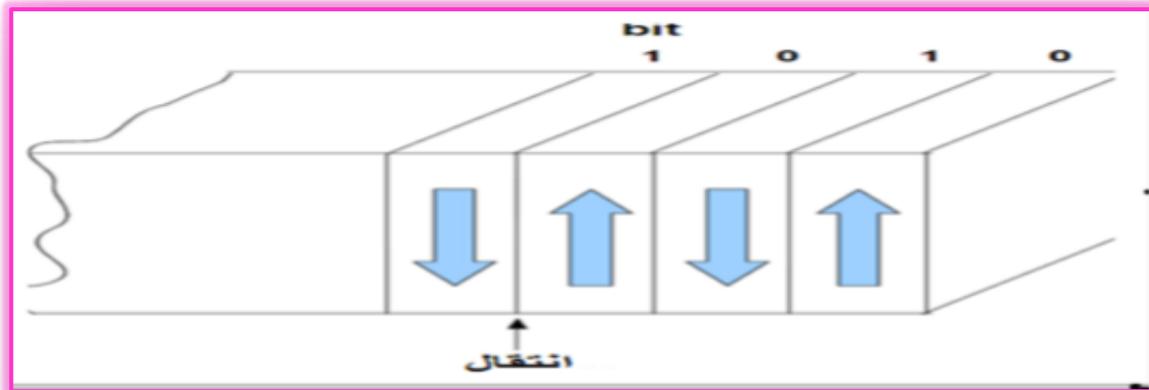
الفصل الأول (I) عموميات حول الأغشية الرقيقة و خصائصها المغناطيسية



الشكل I-5 اتجاه المغنطة في التسجيل الطولي [30]

I-4-4-1-2- التسجيل العرضي

تعتبر هذه الطريقة أفضل في التخزين حيث تكون العزوم مغناطيسية موجهة عموديا على السطح الشريط مثل ما هو موضح في الشكل I-6، مما يسمح بزيادة وحدات التخزين (lesBits)، الشيء الذي يؤدي إلى ارتفاع كثافة التخزين، و تصل كثافة تخزين في هذا النوع إلى $12\text{Tbit}/\text{In}^2$ [31].



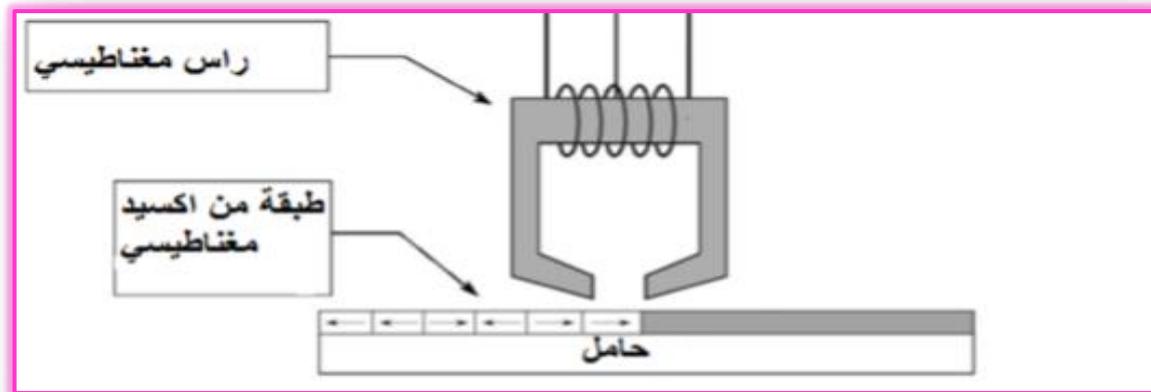
الشكل I-6 اتجاه العزوم في التسجيل العرضي [31]

I-4-4-2- رؤوس التسجيل المغناطيسي

تتمثل في رؤوس القراءة و الكتابة، بحيث يحتوي أي جهاز تخزين مغناطيسي على رؤوس القراءة و الكتابة و هو عبارة عن قطعة معدنية على شكل حرف U النهايات الحرة فيها متوضعة بشكل مباشر فوق السطح المراد تخزين البيانات عليه يمر عبره التيار الكهربائي كما هو موضح في الشكل I-7، عندما يمر التيار الكهربائي في هذه الوشيجة يتولد حقل مغناطيسي في الثغرة الهوائية بين ذراعي وهذا الحقل ذو اتجاه يؤثر في الجسيمات المعدنية الموجودة بشكل عشوائي على سطح القرص والتي تسلك سلوك مغناطيس. يؤدي الحقل المغناطيسي إلى التأثير على قطبيها بشكل يتناسب مع اتجاه الحقل المغناطيسي (أقطابها الموجبة تتوجه إلى القطب السالب لرأس القراءة /كتابة و أقطابها السالبة

الفصل الأول (I) عموميات حول الأغشية الرقيقة و خصائصها المغناطيسية

باتجاه القطب الموجب لرأس القراءة / الكتابة). إن تغيير اتجاه التيار الذي يمر في الوشعة يؤدي إلى تغيير استقطاب الشحنات الموجودة على سطح القرص .
ومن أجل قراءة البيانات لا يتم إرسال أي تيار إلى رأس القراءة / الكتابة أثناء مروره فوق القرص الصلب و بدلا من ذلك يحدث عكس ما حصل في عملية الكتابة. فمجموعة الجزئيات المستقطبة في سطح القرص الصلب هي نفسها تنشئ حقلًا مغناطيسيا يمر من خلاله رأس القراءة و الكتابة. إن حركة الرأس خلال الحقل المغناطيسي تولد تيارا كهربائيا يمر في أحد اتجاهين من خلال الأسلاك الموصلة إلى الرأس . يعتمد الاتجاه الذي يسلكه التيار على قطبية النطاقات . بتحسس اتجاه التيار يمكن للحاسوب أن يعرف فيها إذا كان رأس القراءة يمر فوق 1 أو 0 [32].



الشكل 7-I الرأس المغناطيسية [33]

5-I-5 خلاصة

بما أن هدف هذا العمل هو دراسة خصائص الأغشية الرقيقة و تأثيرها بتغيير اتجاه الحقل المغناطيسي المطبق على العينة ($Fe/Ag/MgO(001)$ كان من الواجب منا في هذا الفصل شرح بعض العموميات حول الأغشية الرقيقة و خصائصها المغناطيسية.

الفصل الثاني (II) طريقة تحضير العينة ودراسة خصائصها المغناطيسية

II-1-1- مقدمة

إن الكثير من الصناعات و الأبحاث العلمية تقوم على استخدام الأغشية الرقيقة مما دفع العلماء إلى التنوع في التقنيات المستخدمة في تحضير هذه الأغشية الرقيقة، بين الطرق الكيميائية مثل: تقنية الترسيب بالتبخير الكيميائي، تقنية (السائل- هلام) ، تقنية التريزيد، و الطرق الفيزيائية ونذكر منها: تقنية الرش المهبطي، تقنية الاستئصال الليزري وتقنية الترسيب بالتبخير الفيزيائي [33]، ولعل من أهم الطرق المستخدمة في هذه الأخيرة هي التقنية التي استخدمناها لتحضير العينة المدروسة في هذا العمل الا وهي تقنية التنضيد الفوقي بالقذف الجزيئي و المعروفة بالانجليزية MolecularBeamEpitaxy (MBE) و بالفرنسية Epitaxie par jet moléculaire و اختصارها (EJM) ، ولقد جاء هذا التنوع في التقنيات لتعدد مجالات تطبيق الأغشية الرقيقة، حيث أن كل مجال يحتاج مميزات خاصة في العينة، ولذلك تنوعت أيضا طرق دراسة الخصائص المتعددة للعينات الناتجة بين طريقة انعراج الأشعة السينية لدراسة الخصائص البنوية والميكانيكية و طريقة المغنطو ضوئية لفعل كبير أو ما يعرف بالانجليزية بالاختصار (MOKE) ويعني Magneto optical Kerr effet وهي الطريقة التي استعملناها لدراسة الخصائص المغناطيسية لعينتنا. ولقد خصصنا في هذا الفصل جزءا لتوضيح مبدأ عمل تقنية تحضير العينة وتفسير كيفية استخراج الخصائص المغناطيسية.

II-2-1- التقنية المستخدمة في تحضير العينة

لقد استخدمنا لتحضير العينة المدروسة في هذا العمل تقنية التنضيد الفوقي بالقذف الجزيئي، وسنتعرف في ما يأتي على مكونات هيكلها، مبدأ عملها وبعض مزاياها التي تجعلها تختلف عن التقنيات الأخرى.

II-2-1- تعريف التنضيد الفوقي بالقذف الجزيئي

إن تقنية التنضيد الفوقي هي تقنية تكنولوجية تستخدم لتنمية غشاء رقيق أو طبقة فوق طبقة أخرى أو فوق الركيزة والكلمة في حد ذاتها أصلها يوناني تعني (Epi-taxis)، وكما نرى فهي تتكون من جزأين (Epi) تعني فوق و (taxis) تعني نظام و قد اقترحت من طرف عالم المعادن الفرنسي L. Royer [39] و يوجد نوعين للتنضيد الفوقي و هما :

➤ التنضيد المتماثل (Homo-Epitaxie): لما تكون الأغشية الرقيقة المترسبة و الركيزة متماثلان مثل (Fe/Fe).

➤ التنضيد غير المتماثل أو المتغاير (Hetero-Epitaxie): لما تكون الأغشية الرقيقة المترسبة و الركيزة غير متماثلان مثل (MgO /Fe) و هي العينة المدروسة في هذا العمل [36].

الفصل الثاني (II) طريقة تحضير العينة ودراسة خصائصها المغناطيسية

II-2-2-مبدأ عمل تقنية التنزيد الفوقي بالقذف الجزيني

يعود أول ظهور لتقنية التنزيد الفوقي بالقذف الجزيني إلى أواخر الخمسينيات و تم إتقان مبدأها استعمالها في نهاية 1960 من طرف John Arthur و Alfred Cho في الولايات المتحدة الأمريكية، ويعتبر مبدأ عمل هذه التقنية من ابسط ما يكون حيث يتم تبخير المادة المراد ترسيبها تحت فراغ كبير جدا من رتبة 10^{-10} Torr و ذلك عن طريق:

➤ تسخينها بواسطة فعل جول و تخص هذه الطريقة المواد التي درجة انتشارها اقل من 1200° م مثل الفضة.

➤ قذفها الكترونيا و تخص المعادن التي درجة انتشارها أعلى من 1200° م مثل الحديد. فتنتقل ذرات الحديد من الضغط المرتفع نحو الضغط المنخفض أين يتواجد المسند MgO، ونتيجة الفراغ العالي داخل الحجرة فان ذرات الحديد تتحرك وفق خط مستقيم دون أن تصطدم بأي حاجز إلى أن توضع على المسند ، و هذا هو السبب الذي جعلنا نتحدث عن القذف الموجه.

تقنية التنزيد بالقذف الجزيني تحت الفراغ تمكن من ترسيب أغشية رقيقة من النواقل كالمعادن، أشباه النواقل أو العوازل، و ذلك عن طريق التفاعل بين سطح المسند و الحزمة الجزئية بسرعات منخفضة من رتبة طبقة واحدة لكل ثانية (1MC/S)، هذا ما يساعد على الانتشار الجيد لذرات المادة المترسبة و تكوين سطح ذو نوعية جيدة أملس و خالي من التضاريس الخشنة [40، 09]

II-2-3-وصف هيكل تقنية التنزيد بالقذف الجزيني

لقد تم تحضير العينة MgO/Fe/Ag عن طريق تقنية التنزيد الفوقي بالقذف الجزيني والتي يتكون هيكلها من أربعة غرف كما هي موضحة في الشكل II-1 و لكل غرفة دورها كما يلي :

➤ **الغرفة التمهيدية:** يكون فيها الفراغ من رتبة 10^{-8} Torr و يتحقق هذا الضغط بواسطة مضخة تربو جزئية (turbo moléculaire)، مهمتها إدخال و إخراج المساند.

➤ **غرفة التخزين:** تقوم بحفظ و تخزين العينات التي تم تحضيرها، قدرة استيعابها تصل إلى ستة عينات.

➤ **غرفة النمو:** تحتوي على حامل فائق الفراغ من رتبة 10^{-11} Torr و يتحقق هذا الضغط بواسطة مجموعة من المضخات موضحة في الشكل:

● **المضخة الأولية الدوارة:** مهمتها تخفيض الضغط الجوي المرتفع إلى ضغط ابتدائي

يقدر 10^{-3} Torr.

● **المضخة التيربو جزئية:** مهمتها تخفيض الضغط الابتدائي إلى الضغط الثانوي الذي

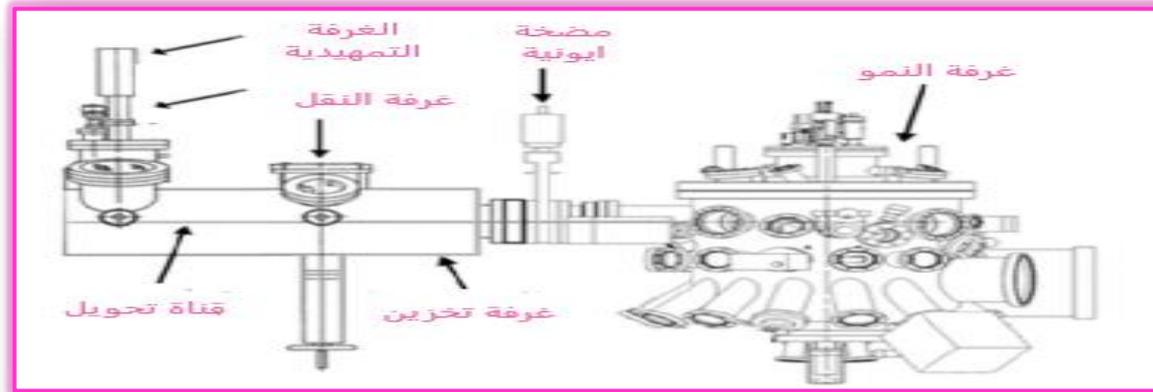
يقدر 10^{-11} Torr.

الفصل الثاني (II) طريقة تحضير العينة ودراسة خصائصها المغناطيسية

● **المضخة الأيونية:** تكون دائما في حالة تأهب و استعداد لمواجهة أي توقف أو تعطل في (الليل، العطل، نهاية الأسبوع) لتجنب ضخ الزيت من المضخة الأولية الدوارة و تجمعه في المضخة التيربو جزئية .

● **المضخة التبريد:** مهمتها تبريد غرفة النمو لاحتوائها على النيتروجين السائل المبرد لدرجة 77K كما تعمل على امتصاص الجزيئات المتبقية على الجدران و ذلك للحفاظ على الضغط المنخفض في غرفة النمو.

● **غرفة النقل:** مهمتها عزل غرفة النمو (الترسيب) عن الغرف الأخرى [42,36].



الشكل II-1- رسم تخطيطي لهيكل تقنية التنضيد بالقذف الجزيئي (EJM) [44]

II-2-4- مميزات تقنية التنضيد بالقذف الجزيئي

تتمثل المميزات الرئيسية لتقنية التنضيد بالقذف الجزيئي فيما يلي:

➤ سرعة ترسيب الأغشية الرقيقة ضعيفة تتراوح بين 0.5 \AA/s و 10 \AA/s هذا الذي يساعد

على السيطرة الممتازة على سمك الطبقات المترسبة [41]

➤ تتم عملية التنضيد في درجة حرارة الغرفة [39]

➤ تتم عملية التنضيد تحت الفراغ العالي مما يقلل من تواجد الشوائب في طبقات الأغشية

الرقيقة [41]

➤ القدرة على مراقبة و دراسة بنية سطح الأغشية المترسبة بواسطة تقنية RHEED

II-3- تقنية دراسة الخصائص المغناطيسية للعينة

لدراسة الخصائص المغناطيسية لعينة MgO/Fe/Ag استخدمنا تقنية المغنطوضونية لتأثير

Kerr و ذلك عن طريق تحليل بيان الهسترة (les cycles d'hystérésis)

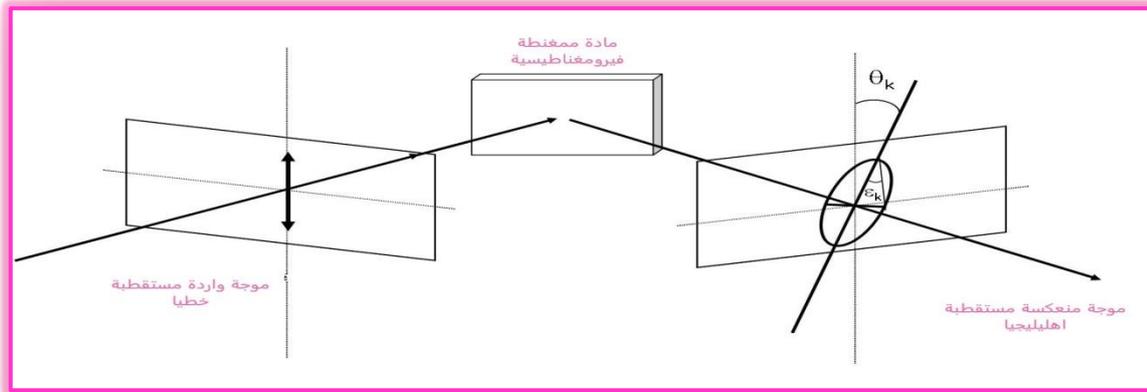
الفصل الثاني (II) طريقة تحضير العينة ودراسة خصائصها المغناطيسية

II-3-1- تعريف تقنية المغنطوضونية لتأثير كير (MOKE)

هي تقنية تستخدم لدراسة الخصائص المغناطيسية للأغشية الرقيقة تسمى بالإنجليزية Magneto-optic Kerr effect (MOKE) و اختصارها MOKE و هي ناتجة عن تفاعل موجة كهرومغناطيسية مستقطبة خطيا مع مادة مغناطيسية، اكتشفت من طرف العالم Kerr سنة 1876 م .

II-3-2 مبدأ عملها

يعتمد مبدأ تقنية المغنطة الضوئية لفعل Kerr على تسليط موجة كهرومغناطيسية (ضوء أو ليزر) على مادة فيرومغناطيسية تملك مغنطة ذاتية فتنج موجة منعكسة مستقطبة كما هو موضح في الشكل II-2، ويوجد ثلاث أنواع لهذا الاستقطاب عرضي، طولي، أو قطبي .

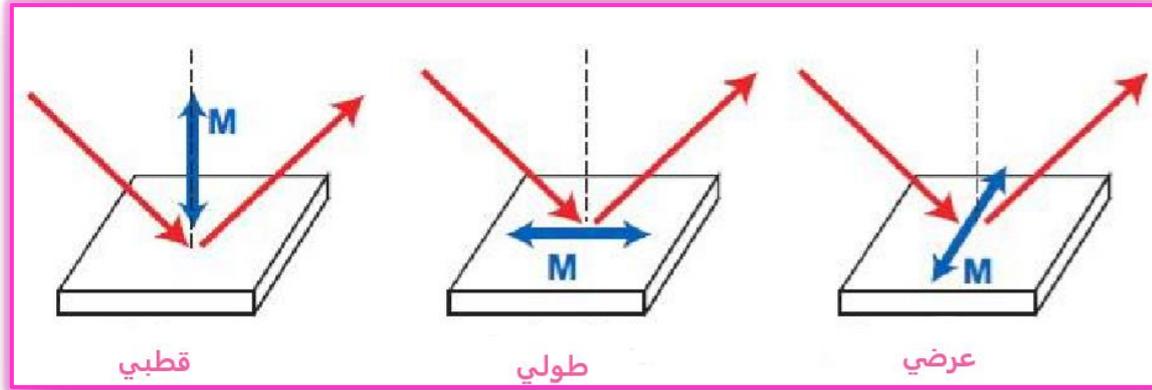


الشكل II-2- رسم تخطيطي لتقنية المغنطة الضوئية لتأثير Kerr [41]

II-3-3- أنواع تأثير Kerr

يوجد ثلاث أنواع للمغنطة الضوئية لتأثير Kerr كما هو موضح في الشكل II-3 و هي:

- النوع القطبي: يكون فيه شعاع المغنطة على سطح العينة و موازي لمستوي ورود الموجة الكهرومغناطيسية.
- تأثير Kerr الطولي: تكون المغنطة في نفس مستوي ورود و انعكاس الموجة الكهرومغناطيسية و تكون موازية لسطح العينة.
- تأثير Kerr العرضي: يكون فيه شعاع المغنطة الناتجة عمودي على مستوي ورود الموجة الكهرومغناطيسية و موازي لسطح العينة [1].



الشكل II-3- رسم تخطيطي لأنواع تأثير Kerr [36]

II-3-4- مزايا تقنية MOKE

تمتلك هذه التقنية الكثير من الايجابيات و من مميزاتها ما يلي :

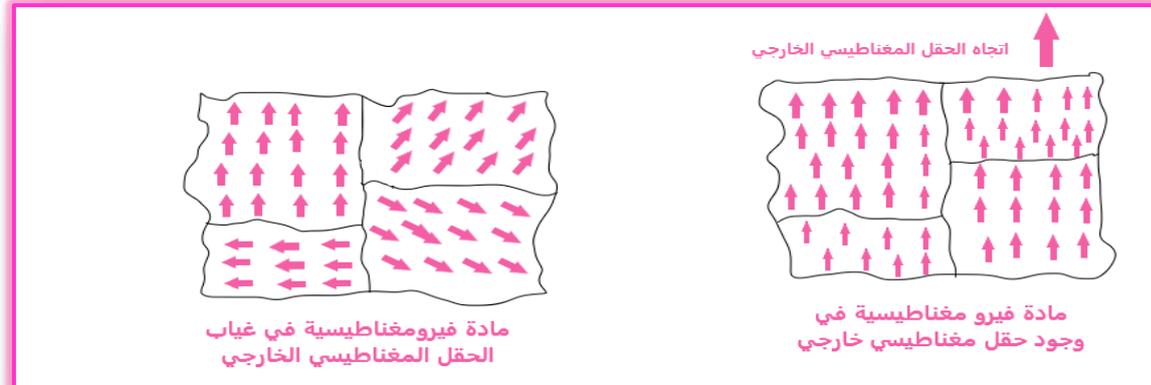
- يمكنها دراسة عينات متعددة الطبقة و ذلك لإمكانية اختراق الضوء لمادة سمكها من رتبة الانغستروم .
- زمن القياس سريع جدا لأنه لا يتعلق بالتفاعل بين الموجة الكهرومغناطيسية و المادة .
- حساسية كبيرة لسمك المادة مما يجعلها مناسبة لدراسة الخصائص المغناطيسية للأغشية الرقيقة [41].

II-4- علاقة تقنية المغنطوضوئية بالخصائص المغناطيسية للحديد

يمكننا معرفة الخصائص المغناطيسية للحديد المكون للعينة MgO/Fe/Ag عن طريق تحليل بيان الهسترة الذي نتحصل عليه انطلاقا من تقنية المغنطة الضوئية لتأثير Kerr، وهو ينتج من رد فعل العينة المغناطيسي بعد تعريضها لحقل مغناطيسي خارجي، حيث أن الغشاء الرقيق للحديد وكما نعلم عبارة على مادة مغناطيسية تكون العزوم المغناطيسية فيها موزعة في مناطق مغناطيسية تسمى بالمناطق المغناطيسية متعددة الاتجاهات لكن هذه الاتجاهات تكون مرتبة بشكل يسمح بانعدام المغنطة الكلية عند غياب المؤثر الخارجي (انظر الشكل II-4) ويكون الحديد في هذه الحالة مستقرا، و عند تطبيق حقل مغناطيسي خارجي فان هذه العزوم تتأثر بهذا الأخير و تبدأ بتغيير اتجاهاتها شيئا فشيئا لتبدأ مرحلة ظهور المغنطة في سطح الحديد إلى أن تصبح جميع العزوم مسايرة لاتجاه الحقل الخارجي كما في الشكل II-4 وتصل عندها مادة الحديد إلى مرحلة التشبع، لتصبح في حالة مغناطيسية جديدة. وعليه فان

الفصل الثاني (II) طريقة تحضير العينة ودراسة خصائصها المغناطيسية

استجابة مغنطة الحديد إلى الحقل الخارجي سميت بدورة الهسترة وسنقوم بتوضيحها بطريقة ايسر في الفقرة التالية.



الشكل II-4- رسم تخطيطي لتأثير الحقل المغناطيسي الخارجي على مادة فيرو مغناطيسية.

II-4-1- تعريف بيان الهسترة

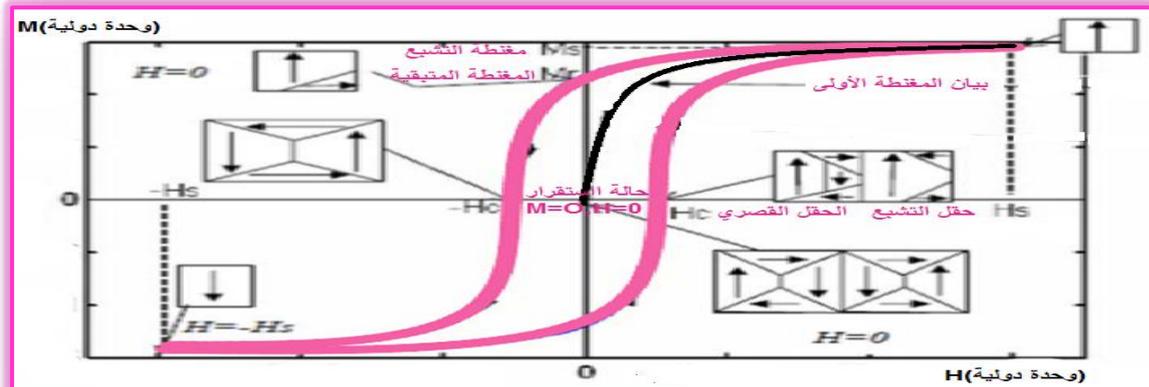
بيان الهسترة هو بيان يمثل تغير قيمة المغنطة الكلية M (مجموع العزوم المغناطيسية) لمادة الحديد، بدلالة الحقل المغناطيسي المطبق عليها H_{ext} وستجدون رسم تخطيطي لدورة الهسترة في الشكل II-5، و هو يعبر أيضا عن استجابة المادة الفيرومغناطيسية (ذات المغنطة الحديدية) للحقل المغناطيسي الخارجي، ونعني بكلمة الهسترة هي التصرف المعاكس لتأثير معين، ويعرف هذا البيان أيضا بدورة التخلف المغناطيسي للمادة الفيرومغناطيسية، وسميت كذلك لان المادة تتخلف في الاستجابة للحقل المغناطيسي الخارجي و تحتفظ بمقدار معين للمغنطة في غياب هذا الحقل [34].

II-4-2- شرح بيان الهسترة

عند تطبيق الحقل المغناطيسي على مادة فيرو مغناطيسية مثل مادة الحديد فان جميع العزوم المغناطيسية تحاول موازاة اتجاه هذا الأخير فتبدأ مساحة المناطق المغناطيسية بالتغير في كل مرة، ويبدأ انزياح حدود Blokh، وبالتالي فان المغنطة التي كانت منعدمة بانعدام الحقل الخارجي تزداد قيمتها بزيادة الحقل المطبق H إلى أن تصل إلى مغنطة التشبع $M=M_s$ و يسمى الحقل المغناطيسي المطبق حينئذ بحقل التشبع H_s ، وبالتالي ينتج بيان المغنطة الابتدائي كما هو مبين في الشكل II-5 و عند عكس اتجاه الحقل المغناطيسي و بنفس القيم الموجبة السابقة فان المغنطة تتناقص لكن ليس بنفس القيم السابقة، حيث أن البيان يأخذ منحى جديد، وعندما ينعدم الحقل المغناطيسي الخارجي من جديد فإننا نلاحظ محافظة مادة الحديد على قيمة للمغنطة تسمى بالمغنطة المتبقية ، يرمز لها بالرمز M_r ، وهي ناتجة عن وجود عزوم مغناطيسية محافظة على اصطفاها في نفس اتجاه حقل التشبع، و للتخلص من هذه قيمة هذه المغنطة نستمر في تطبيق حقل خارجي لكن في الاتجاه السالب و يسمى الحقل الذي يعدم

الفصل الثاني (II) طريقة تحضير العينة ودراسة خصائصها المغناطيسية

المغطة المتبقية في المادة بالحقل القهري أو القصري ويرمز له بالرمز H_c - (انظر لنفس الشكل II-5) و بزيادة تخفيض قيمة الحقل المطبق في الاتجاه السالب تزداد قيمة المغطة لكن بالقيمة السالبة إلى أن تصل إلى قيمة معينة تسمى مغطة التشبع $-M_s$ وهنا تكون جميع العزوم المغناطيسية في نفس اتجاه الحقل العكسي و يسمى الحقل المغناطيسي المطبق عند هذه القيمة بحقل التشبع السالب ($-H_s$)، و في هذه اللحظة تبدأ بزيادة قيمة الحقل الخارجي في الاتجاه السالب للعودة إلى انعدامه مرة أخرى حتى تكتمل دورة التخلف فنلاحظ إعادة انخفاض قيمة المغطة و لكنها لا تنعدم بل تبقى محافظة على قيمة معينة من المغطة وهي $-M_r$ ، أي أننا نلاحظ أن هناك تخلف في استجابة مادة الحديد للحقل الخارجي، فعندما انعدمت قيمة الحقل بقي الحديد محافظ على عد معين من العزوم المغناطيسية في الاتجاه الذي كان فيه الحقل مطبق ، وللتخلص من هذه القيمة وجب علينا تطبيق حقل خارجي موجب قيمته H_c ونستمر في زيادة الحقل الخارجي إلى أن تصل المغطة مرة أخرى إلى قيمة التشبع M_s عند القيمة H_s ، لنحصل أخيرا على بيان الهسترة [35].



الشكل II-5- تغير المغطة بدلالة الحقل المغناطيسي الخارجي المطبق (بيان الهسترة) [42]

II-3-4-3- الخصائص المغناطيسية المستخرجة من بيان الهسترة

II-3-4-1- مغطة التشبع

من المقادير الرئيسية المميزة لبيان الهسترة و هي المغطة التي توافق الحالة التي تكون فيها العزوم المغناطيسية للمادة في اتجاه واحد، موازي لاتجاه الحقل المطبق سواء في الاتجاه الموجب أو السالب، وتكون مادة الحديد هنا تحوي فقط منطقة مغناطيسية واحدة فقط ، مجموع العزوم المغناطيسية فيها يعطي مغطة التشبع التي يرمز لها بالرمز (M_s) [37] وهي خاصية مغناطيسية تميز كل مادة مغناطيسية عن الأخرى.

II-4-3-2- حقل التشبع

من خلال دورة الهسترة نستطيع إيجاد حقل التشبع والذي نرسم إليه بالرمز H_s وهو في البيان عبارة على فاصلة نقطة التشبع أي النقطة (H_s, M_s) ، والتي نستخرجها بتطبيق نظام **Origin**، ويمثل الحقل الذي يجب أن نطبقه لكي تتجه جميع العزوم المغناطيسية داخل مادة الحديد باتجاه واحد ويصل بذلك الحديد إلى حد التشبع بقيمة M_s ، وتتغير قيمة حقل التشبع بتغير طبيعة المادة نفسها حسب الاتجاه المطبق فيه الحقل المغناطيسي، فتكون قيمته صغيرة إذا كان الاتجاه هو اتجاه سهل المغنطة، وكذلك إذا كانت المادة المغناطيسية مادة لينة وبالتالي فهو خاصية مغناطيسية تميز كل مادة مغناطيسية عن الأخرى.

II-4-3-3- المغنطة المتبقية

تعتبر على مجموعة العزوم المغناطيسية التي بقيت في نفس اتجاه الحقل الخارجي الذي طبق على مادة الحديد بعد انعدامه، أي هي قيمة المغنطة عند تخفيض قيمة الحقل الخارجي إلى الصفر وهي ناتجة عن احتفاظ المادة على بعض المناطق المغناطيسية التي تحوي عزوما مغناطيسية لها نفس اتجاه الحقل الخارجي. وتعتبر قيمة المغنطة المتبقية (M_r) عامل مهم في مجال تطبيق المادة المغناطيسية، فمثلا بالنسبة للمغناطيس الدائمة نختار المواد التي تكون لديها مغنطة متبقية كبيرة [39].

II-4-3-4- الحقل القاهر (القصري)

هو الحقل الذي يجب تطبيقه لإعادة إنشاء مناطق مغناطيسية توفر شرط انعدام المغنطة الكلية أو هو الحقل الخارجي الذي يساعد على انعدام قيمة المغنطة في مادة الحديد، ويسمى أيضا بالحقل القصري ويرمز له بالرمز (H_c) وتتعلق قيمته بقيمة مغنطة المتبقية فكلما كانت قيمتها كبيرة وجب تطبيق حقل قصري كبير، و تتحكم قيمته أيضا في مجال تطبيق المادة المغناطيسية بحيث كلما كان اصغر كلما كانت المادة مناسبة لاستخدامها في المحولات [38]، وكلما كان اكبر كان استخدامه يناسب التخزين المغناطيسي الذي يحتاج مواد تحافظ على مغناطيسيتها لمدة اكبر ليساعد على حفظ المعلومة لوقت اكبر، وبالتالي نعتبره خاصية مغناطيسية للمادة.

II-4-3-5- التربيع المغناطيسي

تعتبر على النسبة بين مغنطة المتبقية ومغنطة التشبع أي M_s/M_r وتسمى أيضا بالتربيع المغناطيسي، نرسم لها بالرمز S ، وتساعدنا قيمتها على معرفة مجال استخدام المادة المغناطيسية، فإن كانت كبيرة فهي تستخدم في مجال التخزين المغناطيسي لان المادة تحافظ على اتجاه المغنطة لمدة أطول

الفصل الثاني (II) طريقة تحضير العينة ودراسة خصائصها المغناطيسية

، واكبر قيمة لها هي $S=1$ ، أما أن كانت قيمتها صغيرة فيستحسن استخدامها في المحولات الكهربائية لأنه في هذه الحالة يسهل تغيير اتجاه المغنطة [43].

II-4-3-6 الحساسية المغناطيسية

هي مقياس للخصائص المغناطيسية تعبر عنها النسبة بين مغنطة التشبع و حقل التشبع يعني M_s/H_s ، نرسم لها بالرمز \square و ليس لها وحدة، و هي تعبر عن قابلية التمكنظ فاذا كانت :

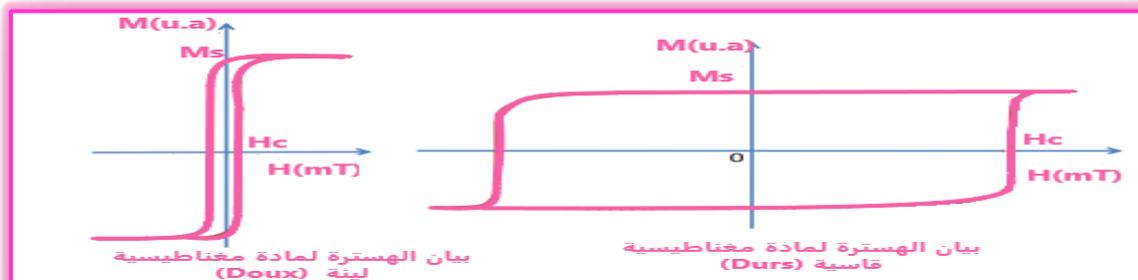
\square سالبة نقول ان المادة ديامغناطيسية.

\square موجبة و صغيرة جدا نقول ان المادة بارامغناطيسية.

\square موجبة و كبيرة نقول ان المادة فيرومغناطيسية.

II-4-3-6 الشكل

من خلال شكل بيان الهسترة يمكننا تمييز طبيعة المادة إن كانت ذات مغناطيسية حديدية أم مسابرة لان شكل استجابة مغنطة المادة حديدية المغنطة يكون هستيري بينما في حالة المادة المسابرة يكون خطي، كما يمكن تمييز المادة الفيرومغناطيسية إن كانت لينة أم قاسية مثل ما هو مبين في الشكل II-6 وبالتالي فان شكل بيان الهسترة يعتبر أيضا خاصية مغناطيسية تتميز بها كل مادة. فالمواد اللينة يسهل مغنطتها بشكل سريع وبالتالي يكون شكل دورتها الهستيرية مربع وضيقة ويكون اتجاه الحقل المغناطيسي المطبق في هذا الحالة هو اتجاه سهل المغنطة، يستعمل هذا النوع من المواد في الدارات المغناطيسية للألات (محركات ، مولدات ، المحولات.... الخ) [16]، لان تمغنطها و إزالتها سهل و سريع. أما المواد القاسية فيصعب توصيلها لحالة التشبع، لتنتج دورة هسترة منحدره و واسعة المساحة ويكون اتجاه الحقل المطبق في هذه الحالة هو اتجاه صعب المغنطة ، يستعمل هذا النوع من المواد في صناعة مواد ممغنطة دائمة لان التمغنط فيها و إزالتها صعبا جدا، مما يجعل الحقل القهري كبير جدا.



الشكل II-6- الفرق بين شكل دورة الهسترة للمواد اللينة والمواد القاسية الفيرومغناطيسية [43]

الفصل الثاني (II) طريقة تحضير العينة ودراسة خصائصها المغناطيسية

II-5- تغير الخصائص المغناطيسية باتجاه الحقل المغناطيسي الخارجي

بعد معرفة الخصائص التي تتميز بها المادة المغناطيسية لاحظنا تعلقها بتطبيق حقل مغناطيسي، لذلك يتبادر لنا السؤال التالي: ان نحن غبرنا زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي على العينة المدروسة، هل تتغير خصائصها المغناطيسية أم لا؟

إن هذا العمل جاء ينتمي لمجال الإجابة على مثل هذا التساؤل، حيث قمنا بتغيير زاوية تطبيق الحقل المطبق على العينة أو نقول بالأحرى على المادة المغناطيسية والمتمثلة في مادة الحديد، ودرسنا الخصائص المغناطيسية لنستخرج قيمها في كل مرة نغير فيها الزاوية وهذا كله لمعرفة مدى تعلق هذين العاملين ونعني الخصائص المغناطيسية بزاوية تغير الحقل الخارجي.

II-6- كيفية تحضير العينة

تم تحضير العينة المدروسة في هذا العمل والتي لها الصيغة المكثفة: MgO/Fe/Ag كالتالي:

II-6-1- كيفية تحضير المسند

المسند عبارة عن أكسيد الزنك أحادي التبلور (MgO(001)) أبعادها $15 \times 15 \text{ mm}^2$ ، و هو عبارة على ركيزة تجارية مصقولة على الوجه (001) عن بلورة مكعبة من شكل بلورة كلوريد الصوديوم NaCl و تتمثل في تداخل شبكتين ممركزي الأوجه و هما المغنيزيوم (Mg) و الأكسجين (O)، استخدمنا بروبانول-2 لتنظيف هذه الركيزة ثم قمنا بتجفيفها بغاز النيتروجين ثم خضعت لمعالجة حرارية لمدة 20 دقيقة تحت درجة حرارة 600°C و تحت فراغ 10^{-7} Torr من اجل إزالة الشوائب من على سطحها. اخترنا ركيزة MgO لان عدم الانتظام الشبكي بين هذه البلورة و الطبقة الرقيقة للحديد يكون صغير جدا مما يساعد على نمو أحادي الاتجاه وكذلك طاقتها السطحية تساعد على النمو الثنائي البعد للحديد.

II-6-2- كيفية تحضير طبقة الحديد

تم تحضير طبقة الحديد في غرفة النمو لتقنية التنضيد الفوقي عن طريق القذف الإلكتروني بسرعة ترسيب بتوتر 10.6 كيلوفولط وتيار 1.3 امبير بسرعة ترسيب 0.3 امبير/ثا و هذا في درجة حرارة الغرفة و تحت فراغ 10^{-10} Torr . سمك هذه الطبقة هو 300 \AA .

II-6-3- كيفية تحضير الطبقة الحافظة

استخدمت طبقة الفضة من اجل المحافظة على طبقة الحديد من التأكسد، قمنا بتبخيرها عن طريق تأثير جول في خلايا كنودسن لان درجة انتشارها صغيرة جدا ، و هذا بسرعة ترسيب 1 امبير/ثا ، تم ترسيب هذه الطبقة الرقيقة تحت فراغ 10^{-10} Torr . في درجة حرارة الغرفة. سمك هذه الطبقة هو 20 \AA .

الفصل الثاني (II) طريقة تحضير العينة ودراسة خصائصها المغناطيسية

II-6-4- الشكل النهائي للعينة

تحصلنا على العينة ذات الصيغة المكثفة التالية : $MgO(001)/Fe(300\text{\AA})/Ag(20\text{\AA})$ والتي يمكن رسم شكلها التخطيطي كما هو موضح في الشكل II-6



الشكل II-7- رسم تخطيطي للعينة

II-7- الخلاصة

درسنا في هذا الفصل كيفية تحضير العينة في غرفة نمو هيكل تقنية التنضيد الفوقي بالقذف الجزيئي الموجه (MBE) وكيفية استخراج بعض الخصائص المغناطيسية لمادة الحديد من دورة الهسترة الناتجة من تطبيق تقنية المغنطوضوئية، مثل مغنطة التشبع والمغنطة المتبقية و التربيع المغناطيسي وكذلك حقل التشبع والحقل القهري لنبقي على تحليل وتفسير النتائج المتحصل عليها من الدراسة بالتفصيل في الفصل الثالث و الأخير.

الفصل الثالث (III) تحليل النتائج التجريبية

الفصل الثالث (III) تحليل النتائج التجريبية

III-1- مقدمة

سنقوم في هذا الفصل بتحليل النتائج التجريبية التي تحصلنا عليها عن طريق تقنية المغنطو-ضوئية لفعل Kerr للعينة $Ag(20\text{\AA})/Fe(300\text{\AA})//MgO$ و ذلك من خلال تفسير الخصائص المغناطيسية المستخرجة من بيانات الهسترة المتحصل عليها عند تطبيق حقل مغناطيسي موازي للزوايا $00^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ و 360°

III-2- تحليل بيان الهسترة

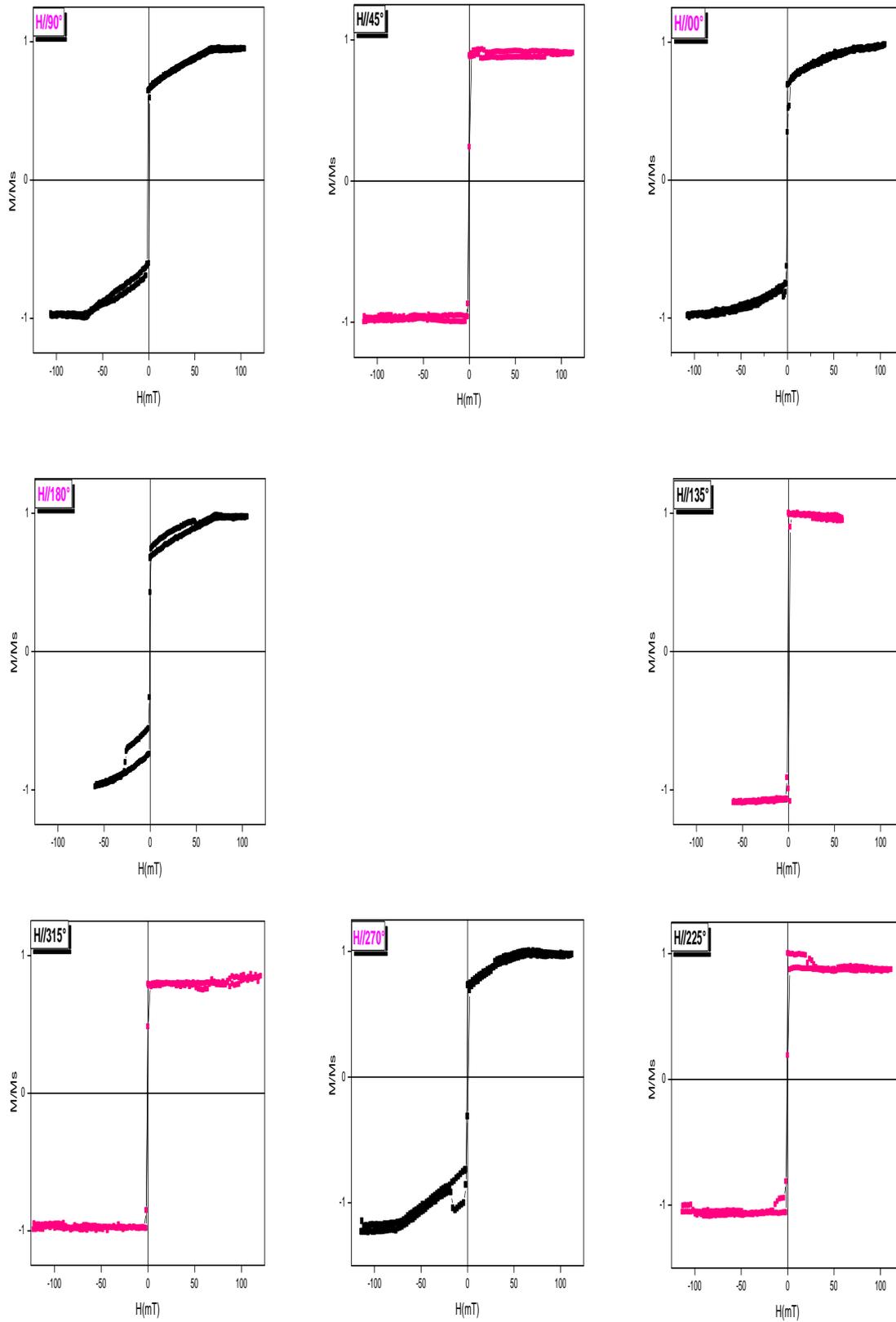
لمعرفة الخصائص المغناطيسية ، وارتباطها باتجاه الحقل المغناطيسي، تم استخدام تقنية MOKE وذلك بتطبيق حقل مغناطيسي خارجي على العينة $Ag(20\text{\AA})/Fe(300\text{\AA})//MgO$ موازي للزوايا $00^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ و 360° و بالتالي تحصلنا في كل مرة نغير فيها زاوية تطبيق الحقل على بيان التخلف المغناطيسي والمبينة جميعها في الشكل III-1.

➤ من خلال شكل دورات الهسترة نتأكد أن مادة الحديد في العينة المدروسة، تتميز بالخاصية الفيرومغناطيسية اللينة مهما تغيرت زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي المطبق عليها. وهذا يدل على أن زاوية تطبيق الحقل لا تؤثر على طبيعة مادة الحديد إذا كانت درجة الحرارة المدروسة عندها ثابتة.

➤ نلاحظ أنه عند تغيير زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي فان شكل بيان التخلف يتغير بين مربع و منحدر، مما يعني أن استجابة مادة الحديد تتغير بين سهولة التمغنط و صعوبة التمغنط على التوالي، فعندما تم التأثير على العينة بحقل مغناطيسي خارجي موازي للزوايا $00^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ و 270° نلاحظ أن مادة الحديد تصل إلى حالة التشبع المغناطيسي بشكل تدريجي مما يدل على أن الاتجاهات البلورية الموافقة لهذه الزوايا هي اتجاهات صعوبة المغنطة، أما عند التأثير على العينة بحقل مغناطيسي خارجي موازي للزوايا $45^\circ, 135^\circ, 225^\circ$ و 315° إن العزوم المغناطيسية الموجودة على سطح مادة الحديد تساير وتوازي اتجاه الحقل المطبق بشكل سلس، مما يوصل مادة الحديد إلى حالة التشبع بشكل أسرع، وهذا ما يعنيه الشكل المربع لدورات التخلف في هذه الحالات، و مما يدل على أن الاتجاهات البلورية الموافقة لهذه الزوايا هي اتجاهات سهولة المغنطة وتوجد جميعها داخل المستوى. مما تقدم استنتاجه إن دل على شيء فإنه يدل على أن لزاوية تطبيق الحقل المغناطيسي تأثير على نوع استجابة مادة الحديد.

➤ من خلال دورات الهسترة نستطيع كذلك استنتاج عدة خصائص مغناطيسية مثل: التربيع المغناطيسي، الحقل القهري و مغنطة التشبع وكذلك علاقة هذه الأخير بزاوية الحقل المغناطيسي المطبق على مادة الحديد، كل هذه الخصائص سندرسها بالتفصيل الواحدة تلو الأخرى في الفقرات الآتية.

الفصل الثالث (III) تحليل النتائج التجريبية



الشكل III-1- تغير بيانات الهسترة بدلالة زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي الخارجي

الفصل الثالث (III) تحليل النتائج التجريبية

III-3- دراسة الخصائص المغناطيسية المستخرجة من دورات الهسترة

في الفقرات القادمة سندرس الخصائص المغناطيسية التي نستطيع استخراجها من تحليل بيانات الهسترة، وذلك لمعرفة هل تتأثر هذه الأخيرة بزواوية تطبيق الحقل الخارجي أم لا؟

III-3-1- مغنطة التشبع

لمعرفة إن كانت مغنطة التشبع لمادة الحديد تتأثر بتغيير زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي، قمنا باستخراج قيمة هذه الأخيرة من كل دورة تخلف المبينة في الشكل III-1، ووضعنا هذه القيم الموافقة لكل زاوية في الجدول III-1.

زاوية تطبيق الحقل	M_s (emu/cm ³)
00°	1585.45
45°	1715.31
90°	1655,49
135°	1749,86
180°	1699,86
225°	1748,86
270°	1507,12
315°	1702,91

الجدول III-1- تغير قيمة مغنطة التشبع بدلالة زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي الخارجي

➤ من خلال الجدول III-1، نلاحظ أن أكبر القيم لمغنطة التشبع تتحقق عندما طبقنا الحقل المغناطيسي باتجاه الزوايا 45°، 135°، و 225° و 315° مما يؤكد أن هاته الأخيرة هي زوايا لاتجاهات بلورية الموازية لسطح مادة الحديد هي سهلة المغنطة.

➤ أكبر قيمة لمغنطة التشبع هي $M_s = 1749 \text{ emu/cm}^3$ ، تكون عندما طبقنا الحقل بالزاوية 135°، وهي قريبة جدا من مغنطة التشبع النظرية لمادة الحديد والمقدرة بالقيمة $1749,7 \text{ emu/cm}^3$ [45] مما يدل على أن العينة الناتجة ذات جودة عالية.

➤ نلاحظ أيضا أنه كلما غيرنا زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي فإن قيمة مغنطة التشبع لمادة الحديد تتغير، إن هذا الاختلاف في القيم يؤكد أن مادة الحديد في العينة المدروسة هي مادة متباينة المناحي مغناطيسيا.

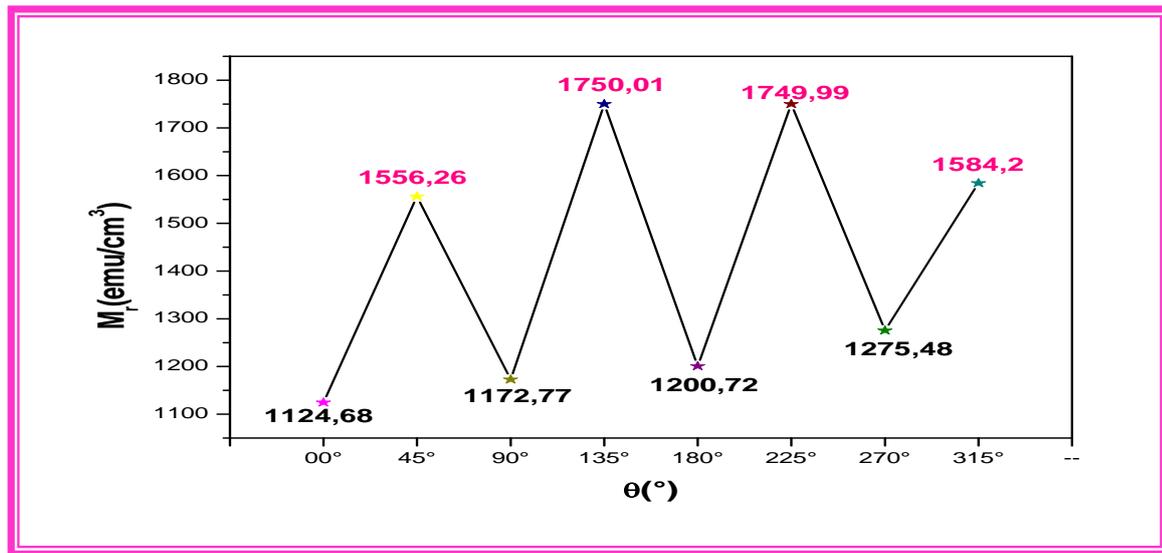
➤ القيم العظمى التي تحصلنا عليها لمغنطة التشبع هي عندما طبقنا الحقل بالزاوية 135° و الزاوية 225°، واللذان تمثلا زاويتين لاتجاهين سهل المغنطة، مما يدل أن عدم تماثل المناحي متواجد داخل المستوى وإن الكثافة الكبيرة العزوم المغناطيسية متواجدة في هذه الاتجاهات [46].

الفصل الثالث (III) تحليل النتائج التجريبية

➤ إن القيمة الصغرى التي تحصلنا عليها لمغطة التشعب هي عندما طبقنا الحقل بالزاوية 270° من الممكن انه راجع إلى نقص في كثافة العزوم المغناطيسية في هذا الاتجاه [46]، أو إلى عدم تجانس في ترتيب ذرات مادة الحديد في هذا الاتجاه [47].

III-3-2- المغطة المتبقية

من الخصائص المغناطيسية المهمة في التطبيقات العملية هي قيمة المغطة المتبقية M_r ، ولذلك قمنا باستخراج قيمة هذه الأخيرة في كل حالة نطبق فيها الحقل المغناطيسي الخارجي باتجاه زاوية معينة، ورسما منحنى تغير M_r بدلالة زاوية تطبيق الحقل في الشكل III-2.



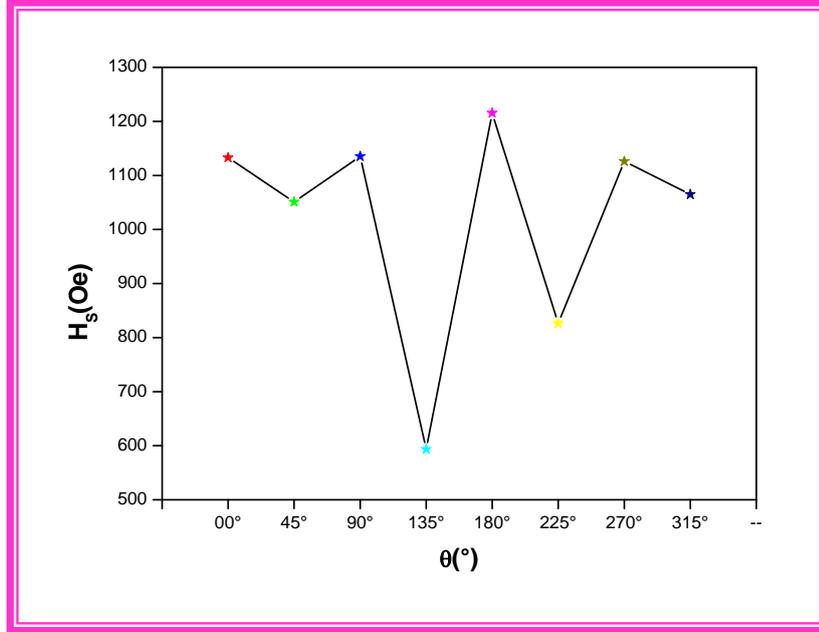
الشكل III-2- منحنى تغير قيمة المغطة المتبقية بدلالة زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي الخارجي

➤ يتضح من خلال الشكل III-2 أن قيمة المغطة المتبقية تتغير بتغير زاوية تطبيق الحقل الخارجي مما يؤكد تباين المناحي في العينة. حيث أن قيمة M_r تتغير من اقل قيمة 1124.68 emu/cm^3 في حالة تطبيق الحقل المغناطيسي باتجاه الزاوية 00° إلى اكبر قيمها 1750.01 emu/cm^3 و 1749.99 emu/cm^3 في حالة الزاويتين 135° و 225° على التوالي، مما يؤكد أن الزاويتين توافقا اتجاهين تكثر فيهما المناطق المغناطيسية، ما يدل على انه يجب تطبيق الحقل المغناطيسي باتجاه هذه الزاوية في حال ما استخدمنا العينة للتخزين المغناطيسي الطولي، لأنه في هذا المجال من التطبيقات نحتاج إلى قيمة كبيرة للمغطة المتبقية (M_r) للمساعدة على جودة قراءة المعلومات المخزنة في مناطق التخزين أو البايث [47].

الفصل الثالث (III) تحليل النتائج التجريبية

III-3-3- حقل التشبع

من اجل فهم آلية دوران المغنطة في المواد الفيرومغناطيسية وجب علينا دراسة كيفية تغير الحقول المغناطيسية في دورات التخلف المغناطيسي والتي يعد حقل التشبع HS من اهمها، وعليه قمنا باستخراج قيمة هذا الأخير في جميع دورات الهسترة المبينة في الشكل III-1 ورسم كيفية تغيرها بدلالة زاوية الحقل المطبق على العينة وتمثيل البيان في الشكل III-3.



الشكل III-3- منحنى تغير قيمة حقل التشبع بدلالة زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي الخارجي

من خلال الشكل نلاحظ أن قيم حقل التشبع تتغير عندما نغير زاوية تطبيق الحقل في كلتا الحالتين: سواء أكانت زاوية تطبيق الحقل الخارجي باتجاه سهل المغنطة والتي تمثلها القيم الوردية لحقل التشبع، أو كانت زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي باتجاه صعب المغنطة والتي تعبر عليها القيم المكتوبة باللون الأسود في البيان، وهذا راجع دائما إلى ما يسمى بعدم تماثل المناحي في مادة الحديد.

➤ القيمة الصغيرة لحقل التشبع 0,59Koe في حالة الزاوية سهلة المغنطة 135° يدل على عدم تواجد عيوب بلورية داخلية في مادة الحديد في هذا الاتجاه مما سهل على العزوم المغناطيسية التوجه باتجاه الحقل المطبق بكل سهولة.

➤ أقل قيمة لحقل التشبع هي 0,59Koe كانت في اتجاه الزاوية 315°، ما يدل على أن عملية تغير اتجاه العزوم المغناطيسية يتم عن طريق انزياح جدار بلوخ ما يحتاج إلى قيمة صغيرة من الحقل لتصل مادة الحديد إلى حالة تساير جميع العزوم في اتجاه الحقل الخارجي، وما يدل كذلك ان هذا الاتجاه تنخفض فيه نسبة العيوب البلورية التي تعيق عملية الانزياح.

الفصل الثالث (III) تحليل النتائج التجريبية

➤ أكبر قيمة لحقل التشبع هي $1,22 \text{ KOe}$ وهي في حالة الزاوية 180° وهو ما يؤكد صعوبة التمغنط في هذا الاتجاه كما تبينه دورة التخلف في الشكل III-1، وهذا إن دل على أن عملية تغير اتجاه المغنطة تتم عن طريق دوران العزوم المغناطيسية، وأن العيوب البلورية المتواجدة في الاتجاه المرافق لهذه الأخيرة عرقل هذا الدوران [47].

III-3-4- حقل القاهر

من خلال بيانات الهسترة استطعنا أيضا استخراج قيم الحقل القاهر المبينة في الجدول III-2 و قمنا برسم المنحنى البياني المبين في الشكل III-4 الذي لاحظنا فيه ما يلي:

➤ قيمة الحقل القاهر H_c لمادة الحديد في العينة $\text{Ag}(20\text{\AA})/\text{Fe}(300\text{\AA})// \text{MgO}$ تتعلق باتجاه الحقل المغناطيسي الخارجي المطبق.

➤ اختلاف قيم الحقل القاهر من زاوية إلى أخرى يؤكد وجود تباين مناحي في مادة الحديد.

➤ نلاحظ أن أكبر قيمة للحقل القاهر في كلتا حالتَي التمغنط سواء السهل أو الصعب لا تفوق

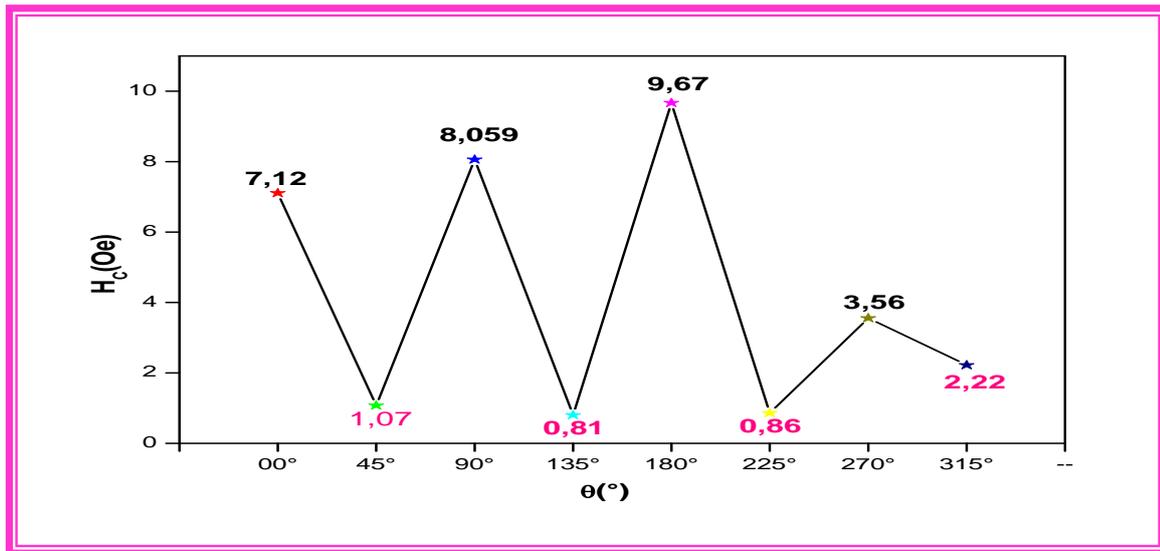
$9,67 \text{ Oe}$ ، مما يؤكد خاصية الليونة الفيرومغناطيسية لمادة الحديد المدروسة [48]، وتدل على انخفاض الضياع في الطاقة.

➤ نلاحظ أن القيمة الكبرى لحقل القاهر كانت دائما في اتجاه الزوايا صعبة المغنطة ما يدل

على تواجد العيوب في الاتجاهات الموافقة لهذه الزوايا.

➤ القيم الدنيا للحقل القاهر في اتجاه الزوايا سهلة المغنطة يدل على أن عدم تماثل المناحي

متواجد في سطح مادة الحديد.

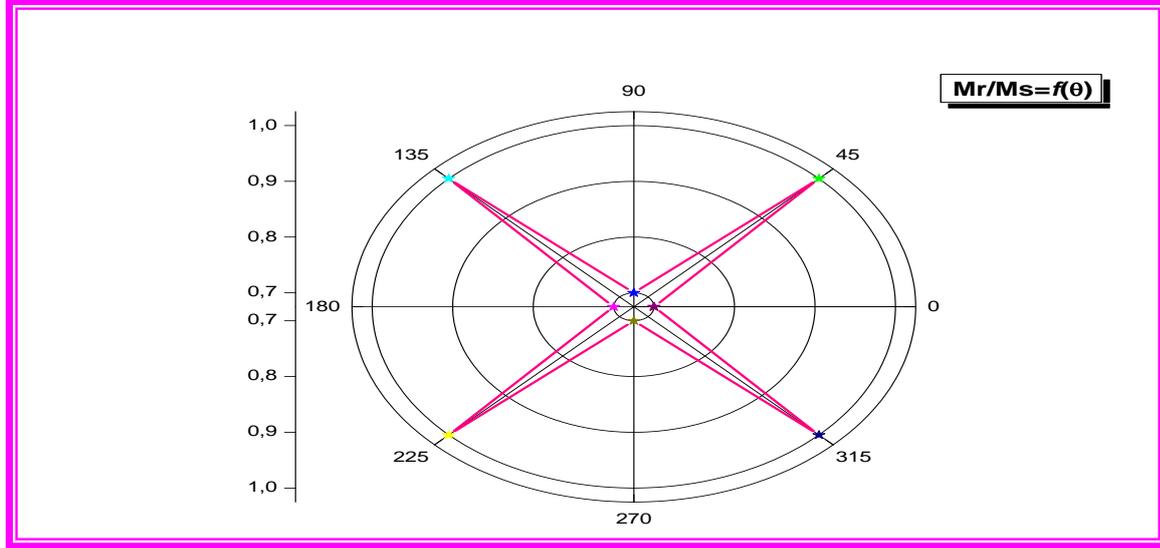


الشكل III-4- منحنى تغير قيمة حقل القاهر بدلالة زاوية تطبيق الحقل θ

الفصل الثالث (III) تحليل النتائج التجريبية

III-3-5- التربيع المغناطيسي

تغير قيمة التربيع المغناطيسي $S=Mr/Ms$ بدلالة زاوية تطبيق الحقل الخارجي رسمناها في الإحداثيات القطبية كما في الشكل III-5



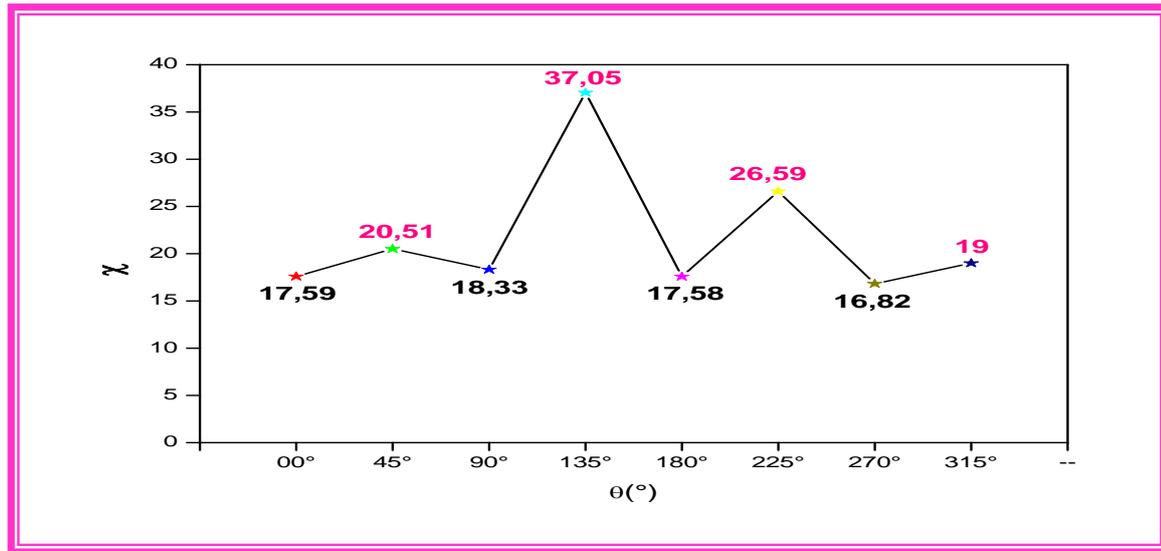
الشكل III-5- منحنى تغير قيمة التربيع المغناطيسي بدلالة زاوية تطبيق الحقل

- من خلال الشكل نلاحظ أن قيمة التربيع المغناطيسي هي 1 عندما طبقنا الحقل في اتجاه الزوايا $45^\circ, 135^\circ, 225^\circ$ و 315° ، وهذا يدل أن $Mr=Ms$ في حالة كل زاوية، بالرغم من أن قيمها تختلف من زاوية إلى أخرى، وهو ما يؤكد لنا أن هذه الزوايا توافق اتجاهات سهولة المغنطة كما اكتشفناها من خلال الشكل المربع لدورات التخلف الناتجة في كل حالة من حالات هذه الزوايا.
- في حالة تطبيق الحقل بالزوايا $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ و 270° وجدنا أيضا أن قيمة التربيع المغناطيسي $S=0.7$ مما يدل على أن $Mr < Ms$ ما يعني أن دورات التخلف في كل حالة منحرفة وهذا يوافق النتيجة المتحصل عليها عندما حللنا دورات الهستيرة، وهي أن هذه الزوايا توافق اتجاهات صعوبة المغنطة.
- تغير قيمة التربيع المغناطيسي من القيمة $S=0.7$ في حالة الزوايا صعوبة المغنطة إلى القيمة $S=1$ في اتجاه الزوايا سهولة المغنطة تؤكد دائما خاصية تباين المنحني في العينة المدروسة.

III-3-6- الحساسية المغناطيسية

تعتبر الحساسية المغناطيسية من المقادير الفيزيائية المهمة خاصة في مجال المغناطيسية حيث تعطينا قابلية المادة على التمغنط، لذلك وجب علينا دراسة كيفية تغير هذه الخاصية المهمة كلما غيرنا زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي. و وضعنا النتائج في البيان III-6

الفصل الثالث (III) تحليل النتائج التجريبية



الشكل III-6- منحنى تغير قيمة الحساسية المغناطيسية بدلالة زاوية تطبيق الحقل

من خلال المنحنى نلاحظ أن:

- الحساسية المغناطيسية في جميع الحالات لها قيم أكبر من 1 مما يؤكد الخاصية الفيرومغناطيسية لمادة الحديد المدروسة.
- قيمة الحساسية المغناطيسية تتغير كلما غيرنا زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي مما يدل على وجود تباين في المناحي.
- أكبر القيم للحساسية تكون عندما طبقنا الحقل باتجاه الزوايا 45°، 135°، 225° و 315°، وهذا ما جعل العزوم المغناطيسية الموجودة في مادة الحديد أكثر قابلية للتمغظ، وإتباع اتجاه الحقل بسهولة، هذه الملاحظة تفسر القيم الكبيرة لمغطة التشبع في هذه الزوايا، حيث أن العزوم المغناطيسية لمادة الحديد في هذه الحالة أكثر حساسية لاتجاه الحقل وهو ما جعل قيمة حقل التشبع صغير جدا.
- القيم الصغيرة لقابلية التمغظ في حالة الزوايا 00°، 90°، 180° و 270° يفسر تسمية الاتجاهات البلورية الموافقة لها بصعوبة التمغظ، ويؤكد النتائج التي تحصلنا عليها سابقا.

III-4- الاستنتاج

قمنا في هذا الفصل بتحليل النتائج التي تحصلنا عليها تجريبيا و من خلال هذا التحليل تمكنا من معرفة الخصائص المغناطيسية لعينة MgO /Fe(300A°)/Ag(20A°) والتأكد من ارتباطها باتجاه الحقل المغناطيسي الخارجي المطبق، حيث استنتجنا ما يلي:

- يوجد اتجاهان في مادة الحديد المدروسة احدهما سهل المغطة و الآخر صعب المغطة، جعلنا من هذه الأخيرة متباينة المناحي، حيث انه كلما غيرنا اتجاه الحقل تتغير الخصائص المغناطيسية الناتجة.

الفصل الثالث (III) تحليل النتائج التجريبية

➤ تميزت مادة الحديد في العينة المدروسة بخاصية الفيرو مغناطيسية اللينة.

➤ قيمة كل من مغنطة التشبع، المغنطة المتبقية، التربيع المغناطيسي، حقل التشبع، الحقل القاهر و كذلك الحساسية المغناطيسية تتغير جميعها عندما غيرنا زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي المطبق.

الخاتمة العامة

خاتمة عامة

خاتمة عامة

قد تجلى عملنا هذا في دراسة احد أنواع الأغشية الرقيقة المغناطيسية، الا وهو مادة الحديد المتميز بالمغناطيسية الحديدية المسايرة (الفيرومغناطيسية)، التي تكون في حالة استقرارها تمتلك مناطق داخلية تتوزع فيها عزوم مغناطيسية باتجاهات مختلفة، حيث يكون مجموعها بالنسبة لوحدة حجم العينة معدوم، أما في الحالة غير المستقرة، أو في حالة تسليط حقل خارجي، فإن هذا المجموع يتأثر بمقدار الحقل المطبق و باتجاه زاوية تطبيقه، و بما أن استجابة الأغشية الفيرو مغناطيسية لهذا الحقل لا تكون خطية، بل خاصة التخلف المغناطيسي يجعل هذه الاستجابة هسترية، و تترجم بمنحنى يسمى بمنحنى التخلف المغناطيسي أو بصيغة أخرى دورة الهسترة، و السبب الرئيسي في هذه التسمية، أن الأغشية الرقيقة الفيرو مغناطيسية لا تنعدم مغنطتها عند رفع تأثير الحقل المطبق، بل تبقى محافظة على كمية منها تسمى بالمغنطة المتبقية، ولكي تنعدم قيمة هذه الأخير يجب تطبيق مقدار معين من الحقل المغناطيسي، و لذلك سمي هذا الأخير بالحقل القاهر أو الحقل القسري (H_C).

و لقد ركزنا في هذا العمل على مدى تأثير تغير زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي على الخصائص المغناطيسية مثل الحقل القسري أو القاهر H_C ، مغنطة التشبع M_S ، حقل التشبع H_S ، المغنطة المتبقية M_r ، قيمة التربيع المغناطيسي وكذلك القدرة على التمنط أو ما يعرف باسم الحساسية المغناطيسية χ لمادة الحديد، المحضرة في العينة $MgO//Fe(300\text{\AA})/Ag(20\text{\AA})$ ، بواسطة تقنية التنضيد الفوقي الموجه في درجة حرارة الغرفة، هذه الأخيرة متكونة من ثلاثة طبقات: حيث استندت الطبقة الفيرومغناطيسية للحديد على شكل غشاء رقيق فوق ركيزة أكسيد المغنزيوم $MgO(001)$ أحادي التبلور، لحماية هذه الأخيرة من التأكسد رسبنا فوقها طبقة غير مغناطيسية وهي الفضة. جميع الخصائص المدروسة استطعنا استخراجها من بيان الهسترة الناتج من تطبيق تأثير المغنطو ضوئية لفاعل Kerr، عند درجة حرارة الغرفة، و بتغير زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي الخارجي على العينة الناتجة ذات الصيغة: $MgO(001)/Fe(300\text{\AA})/Ag(20\text{\AA})$

من أهم النتائج التي توصلنا إليها من خلال تحليلنا لمنحنيات التخلف المغناطيسي هي أن:

- مادة الحديد تتبع تصرف فيرومغناطيسي متباين المناحي مهما كانت زاوية تطبيق الحقل، لان استجابته كانت على شكل دورة هسترة وليست خطية.
- مادة الحديد ذات طبيعة مغناطيسية حديدية مسايرة لينة مهما كان اتجاه زاوية تطبيق الحقل، لان جميع دورات الهسترة كانت ضيقة المساحة.
- استجابة مادة الحديد كانت متباينة المناحي من حيث التمييز بين الاتجاه سهل المغنطة وهو الاتجاه الموازي للزوايا: 45° ، 135° ، 225° و 315° ، أين كان فيه شكل دورة التخلف مربع،

خاتمة عامة

و الاتجاه صعب المغنطة وهو الموازي للزوايا: 00° ، 90° ، 180° و 270° ، حيث كان فيه شكل دورة التخلف المغناطيسي منحدر.

➤ تأثرت كذلك قيمة مغنطة التشعب باتجاه زاوية تطبيق الحقل، حيث تباينت بين القيم الكبرى في اتجاه سهل التمغنط، والقيم الدنيا في اتجاه صعب التمغنط مما يدل أن توزيع العزوم المغناطيسية في المناطق المغناطيسية تختلف من زاوية إلى أخرى.

➤ في زوايا سهلة المغنطة تكون مساحة التخزين كبيرة على عكس زوايا صعبة المغنطة تكون مساحة التخزين صغيرة .

➤ قيمة الحقل القاهر و حقل التشعب تتعلق باتجاه الحقل الخارجي المطبق على العينة.

➤ قيم حساسية المغناطيسية تغيرت كذلك من زاوية إلى أخرى، و لكنها أكدت جميعا لنا أن مادة الحديد المدروسة هي مادة فيرومغناطيسية.

وأخيرا نستطيع تأكيد أن الخصائص المغناطيسية لمادة الحديد تتأثر بتغيير زاوية تطبيق الحقل الخارجي مما يغير من مجال تطبيقها.

قائمة المراجع

قائمة المراجع

قائمة المراجع

[1] R.A.SMITH, "Semiconductors", Cambridge University, Press 2nd ed, England, (1987).

[2] S.R.Barnum . Biotechnology, An Introduction.,2nd Edition ,Thomson Brooks,10,Daivs Drive, Belmont CA 94002,USA,(2005).

[3] F.J.YUSTA, M.L.HITCHMAN and S.H.SHAMILAN,"CVD preparation and characterization of tin dioxide films for electro-chemical applications", J.MTER.Chem, vol7, p1421, (1997).

[4] G.HASS and R.E.THUN,"Physics of thin Films ", Academic PRESS, New York, (1966).

[5] K.L. CHOPRA."Thin film phenomena", Mc Graw-Hill Book Co, New York, (1969).

[6] M.A.Omer, "Elementary of solid Stat ", Addison Wesley publishing CO. , (1972).

[7] D.Leaver and B.N.Chapman,"Thin Flim", pp.2-9, (1971).

[8] ر.س. صيري ، س.ن. تركي ، تحضير و دراسة بعض الخواص الكهربائية لأغشية SnO_2 عند درجات حرارة ترسيب و تليدين مختلفة ،مجلة جامعة الانبار للعلوم الصرفة ،العدد الاول، المجلد الثالث،(2009).

[9] ج. هدى، س. فلة، تأثير طبقة ذات سمك 75Å من الكروم Cr على الخصائص البنيوية لعينة $\text{MgO/Fe}(300\text{Å})/\text{Ag}(20\text{Å})$ جامعة الشيخ العربي التبسي، تبسة، 2017.

[10] ر.ص.ع. الستار الدليمي، دراسة الخصائص التركيبية البصرية $\text{XO}(X-1)$ المحضرة بطريقة التحليل الكيميائي الحراري، مذكرة ماجستير في العلوم الفيزياء، جامعة دياليا لعراق كلية العلوم، (2013).

[11] احمد زكي محمود محمد سليم ، الرسم الهندسي ،مجموعة النيل العربية القاهرة ،2005.

[12] L.Paawlowski.dèpÔts physiques, techniques microstructures et propriétés Presse polytechniques, universitaires romandes, (2003).

[13] م.حزير بلقاسم، دراسة الخصائص المغناطيسية البنيوية و الضوئية و الكهربائية لأوكسيد القصدير المطعم بالفلور المتوضع بتقنية الأمواج الصوتية ، مذكرة ماستر أكاديمي ، جامعة الوادي (2014)،

[14] Platonis Opera,Meyer and Zeller,(1839).

[15] ف. غالب ،كتاب الجسم الصلب ، منشورات دمشق (2011-2012).

[16] T. Zhao, A. Scholl, F. Zavaliche, K. Lee, M. Barry, A. Doran, M.P. Cruz, Y.H. Chu, C. Ederer, N.A. Spaldin, R.R. Das, D.M. Kim, S.H. Baek, C.B. Eom, R. Ramesh, Nature materials 5, 823 (2006).

قائمة المراجع

[17] CH. Cyr; modélisation et caractérisation des matériaux magnétiques composites doux utilisés dans les machines électriques, thèse de doctorat, (2007).

[18] سيود.عبود، دراسة الخصائص المغناطيسية للمركب $\text{Bi}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_3$ من أجل $x=0.25-0.5$ ، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2017.

[19] Giorgio Bertotti, Hysteresis in Magnetism, Academic Press, (1998).

[20] محاضرة د.صالح يونس درويش /مادة الحرارة – المرحلة الأولى –كلية التربية للعلوم الصرفة –طوزخورماتو/قسم الفيزياء، جامعة بغداد.

[21] L.Thomas,Masamitsu,Hayashi,XinJiang,RaiMoriya,CharlesRettn er,StuartPar kin,"ResonantAmplification of Magnetic Domain-Wall Motion By a Train Of Current Pulses", (2007).

[22] L. ECKERTOVA, "Physics of Thin Films", Plenum presses, New York and London, (1977).

[23] H. G. Rashid, "Design and optimization of thin films optical filters with applications in the visible and infrared regions", Ph.D.thesis, AlMustansiriya University, Iraq, (1996).

[24] K. L. CHOPRA, "Thin film phenomena", McGraw-Hill Book Co, New York, (1969).

[25] ع.ح.حسين، "دراسة الخواص التركيبية و البصرية لأغشية $\text{CdSe}:\text{Al}$ الرقيقة كدالة لنسب التشويب و درجة الحرارة التلدين"، رسالة ماجستير، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة بغداد، (2015).

[25] S. Hariach, " Elaboration et caractérisation des couches minces de sulfure de cadmium (CdS) préparées par bain chimique (CBD)", thèse de magister, Université Mentouri Constantine, Algeria, (2009).

[26] Benmir AEK, Chapitre 5: Mémoires secondaires, P1.

[27] S. Khizroev, and D. Litvinov, Perpendicular Magnetic Recording, U.S.A, 2005.

[28] A. Moser et al; Magnetic Recording: advancing into the future, J. Phys. D: Appl. Phys. 35(2002) R157–R167.

[29] محاضرة الثامنة أوساط التخزين جامعة الأندلس الخاصة بالعلوم الطبية.

[30] Olivier.Cador Nanomagnétisme, 2015 P30.

[31] M.SUSSIAU ,Thèse de doctorat, P.11.

قائمة المراجع

[32] P. Turban ; Epitaxie de films minces métalliques : (i) Relaxation élastique pendant la croissance pseudomorphe (ii) Epitaxie d'hétéro structures NiMnSb/MgO/NiMnSb pour l'électronique de spin, Thèse de doctorat, Université nancy1 (2001) P8.

[33] محمدي عبد القادر ،دراسة الطبقات الرقيقة ذات الخاصية المغناطيسية ،مذكرة ماستر ،جامعة المسيلة، 2017.

[34] خير سليمان شواهين ،الكهرومغناطيسية تجارب و أنشطة و هوايات ، دار الخطيب للنشر و التوزيع، عمان ،الأردن .

[35] A.Mansri, Processus d'aimantation dans les matériaux doux à base de fer – représentation des pertes en régime dynamique, Thèse de Doctorat l'Université de Badji Mokhtar ,(2014).

[36] ع. نوال ،ن. عفاف ،عدم تماثل المناحي لعينة،مذكرة ماستر ،جامعة الشيخ العربي التبسي، (2018).

[37] J. Bernaud, Chapitre A.2.8 Milieux Ferro ou Ferri - magnétiques. Vecteur excitation magnétique H Courbes d'aimantation Hystérésis Champ magnétique rémanent et excitation coercitive.

[38] Massinissa Tinouche, Élaboration et caractérisations de couches minces à base de cobalt, Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas de Sétif, (2010).

[39] ق. وناسة و ج. سعاد، مذكرة ماستر ،تغير الحقل الحرج في الاغشية الرقيقة باختلاف نوع المسند المستخدم،جامعة الشيخ العربي التبسي، (2018) .

[40] B .Chafia, Effet de type de substrat sur les propriétés physique de couche mince Fe/Ag, (2016).

[41] R .Boukhalfa, thèse du doctorat, (Influence du substrat sur les propriétés structurales et magnétiques des bicouches Fe/Ag),université de Constantine,(2014).

[42] Mémoire présenté en vue d'obtenir Le diplôme d'Ingénieur CNAM En Electrotechnique Par NeimatNahouli (Etude et Réalisation d'un hystérésis-graphe d'un système de mesure du cycle 'hystérésis) universite libanaise (.2013-2014).

[43] Thèse présentée a l'université BORDEAUX 1 par Clémence Rouge pour obtenir le garde de docteur, modélisation du rayonnement ultrasonore par un traducteur emat dans une pièce ferromagnétique, (2013).

قائمة المراجع

- [44] Plasma-assisted Molecular Beam Epitaxy of N-polar InAlN-barrier High-electron-mobility Transistors - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/MBE-system-schematic-Schematic-showing-the-load-lock-transfer-system-outgassing_fig1_310810562 [accessed 10 Jun, 2020].
- [45] Chp 24 , physical origins and theoretical models of magnetic anisotropy,P. Bruno institut d'Electronique Fondamentale, CNRS UA 022 B3t. 220, Université Paris-Sud, F-91405 Orsay, France.
- [46] Mémoire de magister présentée par Amrouche Teyri, propriétés magnétiques et électroniques «spino-trinique»des matériaux magnétiques,université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou ,2012.
- [47] Intissar DJOUADA, Etude de propriétés structurales et magnétiques des couches minces ferromagnétiques à base de métaux de transition, Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif1 (UFAS), (2012).
- [48] M. BUI Anh Tuan, Caractérisation et modélisation du comportement des matériaux magnétiques doux sous contrainte thermique, diplôme de doctorat, école doctoral de Lion ,(2011).

ABSTRACT

ABSTRACT

Abstract

To study the effect of the angle of application of the magnetic field on the magnetic properties of the iron material prepared as a thin film in the sample MgO / Fe (300Å) / Ag (20Å) by the technique of molecular beam epitaxy at room temperature and ultra high vacuum, we used the Kerr effect magneto-optic technique with a magnetic field angle changed between the values: 00 °, 45 °, 90 °, 135 °, 180 °, 225 °, 270 ° and 315 °. After analyzing the resulting hysteresis cycles, we made sure that no matter how we changed the angle of application of the field, the iron material retained the soft ferromagnetic property, with the emergence of a Magnetic anisotropy in the plane characterized by the appearance of two magnetic directions, one of which is easy magnetization and the other is difficult magnetization. The directions of easy magnetization are parallel to the angles 45 °, 135 °, 225 °, 315 °, in which the magnetic moments of the iron material were characterized by a great ability to be magnetized or in some other form, these moments were characterized by a great magnetic sensitivity, and this is what made large values of both saturation magnetization and remanent magnetization values, with small values for the saturation field and the coercive field. The square shape of the hysteresis cycles results in a squareness value of 1. These results all help to apply this sample to the magnetic storage field. On the other hand the directions parallel to the angles 00 °, 90°,180° and 270 ° were difficult magnetization, or we found small values for the saturation magnetization and the remanent magnetization leading to a small value for the squareness ($S = 0.7$), despite the large field and saturation field values. This indicates the presence of crystal defects in these directions of the ferrous material, which led to a decrease in the sensitivity of the magnetic moments of the applied magnetic field. Thus, the application of the magnetic field to these angles can help us to use this sample in the transformer field.

Key words

Fe, Ag, MgO, Thin Films, MBE, Substrate, single crystalline, MOKE, Hysteresis loop, Saturation Magnetization, Remanent Magnetization, Saturation Field, coercive Field, squareness, Ferromagnetic, Soft Material, Magnetic Sensitivity.

مأخض

ملخص

لدراسة تأثير زاوية تطبيق المجال المغناطيسي على الخواص المغناطيسية لمادة الحديد المحضرة كغشاء رقيق في العينة $MgO / Fe (300\text{\AA}) / Ag (20\text{\AA})$ بتقنية التنضيد الفوقي بالقذف الجزيئي الموجه عند درجة حرارة الغرفة والفراغ العالي جداً، استخدمنا تقنية تأثير Kerr المغنطو ضوئي بزاوية مجال مغناطيسي متغيرة بين القيم: 00° ، 45° ، 90° ، 135° ، 180° ، 225° ، 270° و 315° . بعد تحليل بيانات الهسترة الناتجة، تأكدنا أنه مهما غيرنا زاوية تطبيق الحقل، فإن مادة الحديد حافظت على الخاصية المغناطيسية الحديدية المسيرة اللينة، مع نشوء تباين مناحي داخل المستوى ميزه ظهور اتجاهين مغناطيسيين احدهما سهل المغنطة والآخر صعب المغنطة. الاتجاهات سهلة المغنطة موازية للزوايا 45° ، 135° ، 225° ، 315° ، تميزت فيها العزوم المغناطيسية لمادة الحديد بقدرة كبيرة على التمنط أو بصيغة أخرى تميزت هذه العزوم بحساسية مغناطيسية كبيرة، وهذا ما جعل قيمة كل من مغنطة التشعب و المغنطة المتبقية ذات قيم كبيرة، مع قيم صغيرة لحقل التشعب والحقل القاهر. إن الشكل المربع لدورات الهسترة في هذه الحالة أدى إلى قيمة تربيع مغناطيسي تساوي 1، هذه النتائج جميعها تساعد على إمكانية تطبيق هذه العينة في مجال التخزين المغناطيسي. أما الاتجاهات الموازية للزوايا 00° ، 90° ، 180° و 270° فكانت صعبة التمنط، حيث أننا وجدنا قيم صغيرة لكل من مغنطة التشعب و المغنطة المتبقية أدت إلى قيمة صغيرة للتربيع المغناطيسي ($S=0.7$)، بالرغم من القيم الكبيرة لحقل التشعب والحقل القاهر، وهذا ما يدل على وجود عيوب بلورية في هذه الاتجاهات لمادة الحديد أدت إلى خفض من قيمة حساسية العزوم المغناطيسية للحقل المغناطيسي المطبق. من ناحية أخرى، كانت الاتجاهات الموازية للزوايا 00° و 90° و 180° و 270° ذات مغنطة صعبة، أين وجدنا قيمًا صغيرة لمغنطة التشعب والمغنطة المتبقية مما أدى إلى قيمة صغيرة للتربيع المغناطيسي ($S = 0.7$) على الرغم من قيم حقل التشعب و الحقل القاهر. مما يدل على وجود عيوب بلورية في مادة الحديد في هذه الاتجاهات مما أدى إلى انخفاض حساسية العزوم المغناطيسية للمجال المغناطيسي المطبق. بالتالي يمكن أن يساعدنا تطبيق المجال المغناطيسي باتجاه هذه الزوايا على استخدام هذه العينة في مجال المحولات. إن النتائج السابقة أكدت لنا تأثير زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي على الخصائص المغناطيسية لمادة الحديد

الكلمات المفتاحية

Ag، MgO، Fe، أغشية رقيقة، MBE، ركيزة، أحادية التبلور، MOKE، بيان الهسترة، مغنطة التشعب، المغنطة المتبقية، حقل التشعب، الحقل القاهر، التربيع المغناطيسي، فيرو مغناطيسي، مادة لينة، حساسية مغناطيسية.

RÉSUMÉ

RÉSUMÉ

Résumé

Pour étudier l'effet de l'angle d'application du champ magnétique sur les propriétés magnétiques du matériau de fer préparé sous forme de film mince dans l'échantillon MgO / Fe (300a) / Ag (20a) par la technique d'épitaxie par faisceau moléculaire à la température ambiante et ultra vide, nous avons utilisé la technique magnéto-optique à effet Kerr avec un angle de champ magnétique changé entre les valeurs: 00 °, 45 °, 90 °, 135 °, 180 °, 225 °, 270 ° et 315 °. Après avoir analysé les cycles d'hystérésis résultantes, nous nous sommes assurés que peu importe la façon dont nous avons changé l'angle d'application du champ, le matériau de fer a conservé la propriété ferromagnétique douce, avec l'émergence d'une anisotropie magnétique dans le plan caractérisé par l'apparition de deux directions magnétiques, dont l'une est facile aimantation et l'autre est difficile aimantation. Les directions de facile aimantation sont parallèles aux angles 45 °, 135 °, 225 °, 315 °, dans lesquels les moments magnétiques du matériau en fer étaient caractérisés par une grande capacité à être magnétisé ou sous une autre forme, ces moments étaient caractérisés par une grande sensibilité magnétique, et c'est ce qui a fait des grand valeurs à la fois d'aimantation de saturation et des valeurs d'aimantation remanente, avec de petites valeurs pour le champ de saturation et le champ coercitif. La forme carrée des cycles d'hystérésis conduit à une valeur de rectangularité égale à 1. Ces résultats aident tous à appliquer cet échantillon dans le champ de stockage magnétique. Par contre les directions parallèles aux angles 00 °, 90 °, 180 ° et 270 ° étaient difficiles aimantation, où nous avons trouvé de petites valeurs pour l'aimantation à saturation et l'aimantation remanente conduisant à une petite valeur pour la rectangularité ($S = 0,7$), malgré les grandes valeurs du champ coercitif et du champ de saturation. Ce qui indique la présence de défauts cristallins dans ces directions du matériau ferreux, qui a conduit à une diminution de la sensibilité des moments magnétiques du champ magnétique appliqué. Ainsi, l'application du champ magnétique vers ces angles peut nous aider à utiliser cet échantillon dans le champ du transformateur

Mots clés

Fe, Ag, MgO, couches minces, MBE, substrat, monocristallin, MOKE, boucle d'hystérésis, magnétisation de saturation, magnétisation rémanente, champ de saturation, champ coercitif, rectangularité, ferromagnétique, matériau doux, sensibilité magnétique.

بن زيب تيماء + بن خليم كريمه، ماستر فيزياء المادة المكثفة (دفعة 2020)