



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

جامعة العربي التبسي - تبسة

كلية العلوم الدقيقة و علوم الطبيعة و الحياة

قسم علوم المادة

مذكرة ماستر

ميدان علوم المادة

شعبة فيزياء

اختصاص فيزياء المادة المكثفة

الموضوع:



الخصائص المغناطيسية للعينة

$Ag/Fe//Si(100)/SiO_2$

وارتباطها بزواوية الحقل المغناطيسي المطبق

انجزت من طرف

جارش عماد سعايد لمين

امام لجنة المناقشة

طق محمد امين استاذ محاضرة (أ) جامعة العربي التبسي- تبسة- رئيس لجنة

بوخالفة راضية استاذة محاضرة (أ) جامعة العربي التبسي- تبسة- مؤطرة

سردوك فضيلة استاذة محاضرة (ب) جامعة العربي التبسي- تبسة- ممتحنة

تاريخ المناقشة: 2021/06/23

النقطة: الملاحظة:



Déclaration sur l'honneur de non-plagiat

(à joindre obligatoirement au mémoire, remplie et signée)



Je soussigné(e),

Nom, Prénom : Saïed Lamine - Djareche Elmad.

Régulièrement inscrit(e) en Master au département : Science de la matière

N° de carte d'étudiant : 2015 34029454 - 15 15 34029469

Année universitaire : 2020 - 2021

Domaine : Science de la matière

Filière : physique

Spécialité : physique de la matière condensée

Intitulé du mémoire : Ag /Pd /Si(100) /SiO2 et son application en catalyse

والتحليل الكمي باستخدام الكروماتوغرافيا الغازية

Atteste que mon mémoire est un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie également que je n'ai 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 :

L'étudiant sera convoqué 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'exclusion définitive.

Fait à Tébessa, le : 13-07-2021

Signature de l'étudiant(e) :





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 2020/2021



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

Données d'identification du candidats(es) :

Nom et prénom du candidat : Saïed Lamine.

Ngareche Imad.

Intitulé du Sujet : Ag/ Fe // Si (100) / SiO₂ - étude théorique et expérimentale

de la structure cristalline et de la diffusion des neutrons

Données d'identification du membre de jury :

Nom et prénom : JAG M^{me} Amine

Grade : MCA

Lieu d'exercice : Université Larbi Tébessi- Tébessa

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

R. A. S.

Et après constatation des modifications et corrections suivantes :

R. A. S.

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 13/07/2021

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

JAG M^{me} Amine



شكر و تقدير

نشكر الله ونعنده حمداً كثيراً مباركاً

على هذه النعمة الطيبة والنافعة نعمة العلم و البصيرة.

لابد لنا ونحن نخطو خطواتنا الأخيرة في الحياة الجامعية من وقفة نعود إلى أعوام

قضيناها في رحاب الجامعة مع اساتذتنا الضراء الذين قدموا لنا الكثير باذنين بذلك جسودنا كغيرة

في بناء جيل العبد لتبصر الأمة من جديد

" نحن عالماء..فان لو تمتلح فنحن متعلما، فان لو تمتلح فاحجب العلماء، فان لو تمتلح فلا تبغضهم"

وقبل ان نمضي نقدم اسمى آيات الشكر الجزيل والامتنان والثناء الخالص والتقدير،

الى الأستاذة الماهرة الدكتور **بوخالبة راحية** استاذك محاضرة أ في قسم علوم المادة على قبولها الأضرائه على هذه

المذكرة واقتراحاتها ونسانحما أذناء التحضير للمذكرة.

كما يهرفني ان اتقدم بالشكر الجزيل الى الذين حملوا اقدس رسالة في الحياة

الى الذين مسدو لي طريق العلم الى جميع اساتذتنا الافاضل

كما يخص بالشكر الاستاذ **" طارق محمد امين "** على قبوله ترأس لجنة المناقشة،

والأستاذة **" سرحدوك فضيلة "** على قراءه و مناقشة هذه المذكرة.

وذلك بشكر كل من ساعدنا ومد لنا يد العون وزودنا بالمعلومات اللازمة

لإتمام هذه المذكرة .

الى زملائنا وزميلاتنا الذين زرعوا التفاؤل في حدينا وقدموا لنا المساعدات

والتسميلاء والأفكار والمعلومات فلمو مني كل الشكر .



إهداء

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

(قل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون ..)

صدق الله العظيم

من هذا المنطلق القوي

وبسم من بلغ الرسالة وأدى الأمانة .. ونصح الأمة ...

نبي الرحمة ونور العالمين ...

محمدنا محمد ﷺ

بصدي هذا العمل المتواضع:

الى من جمعهم الأوراق المبعثرة في شكل مذكرة

الاستاذة الفاضلة بورخانة راضية

والاستاذة الصوام الذين قدموا لنا الكثير جزاهم الله كل خير

على مجهوداتهم التي بذلوها معنا

الى كل من في الوجود بعد الله ورسوله الى الوالدين الصوام

الى عائلاتنا الصريمة الى اخوتنا واخواتنا الى جميع اساتذتنا وايضا

الى كل الزملاء والاصدقاء.

الفهرس

1.....مقدمة عامة

الفصل الاول(I): مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية

3.....1-I- تاريخ و منشأ المغناطيسية

4.....2-I- بعض المفاهيم الاساسية في المغناطيسية

4.....1-2-I- مصدر المغناطيسية

5.....2-2-I- المغنطة (\vec{M}) Magnétisation

6.....3-2-I- القابلية المغناطيسية (Magnetic Susceptibility)

7.....3-I- انواع المواد المغناطيسية ومميزاتها

7.....1-3-I- المواد الديامغناطيسية

8.....1-3-I- 1- اهم مميزات المواد الديامغناطيسية

8.....2-3-I- 2- المواد البارامغناطيسية

9.....1-2-3-I- 1- اهم مميزات المواد البارامغناطيسية

10.....3-3-I- 3- المواد الفيرومغناطيسية

11.....1-3-3-I- 1- اهم مميزات المواد الفيرومغناطيسية

11.....1-1-3-3-I- 1- المواد الفيرومغناطيسية اللينة

12.....2-1-3-3-I- 2- المواد الفيرومغناطيسية الصلبة

13.....4-3-I- 4- المواد ضد الفيرومغناطيسية

14.....1-4-3-I- 1- اهم خواص المواد ضد الفيرومغناطيسية

14.....5-3-I- 5- المواد الفيرومغناطيسية

15.....1-5-3-I- 1- اهم مميزات المواد الفيرومغناطيسية

15.....4-I- 4- العوامل المؤثرة على الخصائص المغناطيسية

15.....1-4-I- 1- الحقل المغناطيسي

16.....1-1-4-I- 1- زاوية و اتجاه الحقل المغناطيسي المطبق

16.....2-4-I- 2- درجة الحرارة

16	.....I-4-2-1- درجة حرارة كوري
17	.....I-4-2-2- درجة حرارة نيل
17	.....I-4-2-3- قانون كوري – وايس
18	.....I-4-4- المسند
18	.....I-4-5- الطبقة البينية
18	.....I-4-6- تقنية التحضير
18	.....I-5- المناطق المغناطيسية
19	.....I-6- الخصائص الفيزيائية الاساسية للحديد
21	.....I-6-1- مغنطة الحديد
22	.....I-7- تطبيقات المواد المغناطيسية
22	.....I-7-1- التخزين المغناطيسي
22	.....I-7-1-1- التسجيل الطولي
22	.....I-7-1-2- التسجيل العرضي
23	.....I-7-2- الجلفانوميترات
23	.....I-7-3- المحرك الكهربائي
24	.....I-7-4- مكبرات الصوت
25	.....I-8- الاستنتاج
الفصل الثاني(II): تقنية تحضير العينة وطريقة دراسة خصائصها المغناطيسية	
26	.....II-1- مفهوم الاغشية الرقيقة
27	.....II-2- تقنيات تحضير الأغشية الرقيقة
28	.....II-2-1- الطرق الكيميائية
28	.....II-2-1-1- تقنية سائل هلام (Sol-Gel)
29	.....II-2-1-2- تقنية الرش الكيميائي الحراري (Chemical Spray Pyrolysis)
31	.....II-2-2- الطرق الفيزيائية

- 31(Ablation Laser) 1-2-2-II-الاقطلاع بالليزر
- 32(MBE) 2-2-2-II-تقنية الترسيب بالتضيد الجزيئي الموجه
- 32 1-2-2-2-II-تعريف التضيد الجزيئي الموجه
- 33 2-2-2-2-II-مبدأ عمل تقنية التضيد الجزيئي الموجه
- 34 3-2-2-2-II-وصف هيكل تقنية التضيد الجزيئي الموجه
- 35 4-2-2-2-II-مزايا تقنية التضيد الجزيئي الموجه
- 36 3-II-معايير اختيار تقنية الترسيب المناسبة
- 37 4-II-تقنية تحليل الخصائص المغناطيسية للعينة
- 37 1-4-II-تعريف تقنية المغنطو- ضوئية لتأثير كير(MOKE)
- 37 2-4-II-مبدأ عمل تقنية المغنطو- ضوئية لتأثير كير
- 38 3-4-II-انواع تأثير المغنطو- ضوئية لتأثير كير
- Erreur ! Signet non défini..... 4-4-II-ايجابيات تقنية المغنطو- ضوئية لتأثير كير**
- 39 5-II-علاقة تقنية المغنطو-ضوئية بالخصائص المغناطيسية للحديد
- 40 6-II-حلقة التخلف المغناطيسي
- 40 1-6-II-تعريف التخلف المغناطيسي (magntic hystérisis)
- 40 2-6-II-شرح حلقة التخلف المغناطيسي
- 41 1-2-6-II-المواد الفيرومغناطيسية الصلبة
- 42 2-2-6-I-المواد الفيرومغناطيسية اللينة
- 42 7-II-الخصائص المغناطيسية المستخرجة من بيان الهسترة
- 42 1-7-II-طبيعة الغشاء المدروس
- 43 2-7-II-مغنطة التشبع
- 43 3-7-II-المغنطة المتبقية
- 43 4-7-II-الحقل القسري(القهري)

43	..... حقل التشبع	II-7-5
44	..... التربيع المغناطيسي	II-7-6
44	..... القابلية المغناطيسية	II-7-7
44	..... طريقة تحضير العينة	II-8
44	..... طريقة تحضير المسند Si/SiO ₂ (100)	II-8-1
45	..... طريقة تحضير طبقة الحديد	II-8-2
46	..... طريقة تحضير طبقة الفضة	II-8-3
46	..... الشكل النهائي للعينة	II-8-4
46	..... استنتاج	II-9
الفصل الثالث (III): تحليل النتائج التجريبية		
47	..... تحليل بيان الهسترة	III-1
49	..... دراسة الخصائص المغناطيسية المستخرجة من بيانات التخلف المغناطيسي	III-2
49	..... مغنطة التشبع	III-2-1
51	..... المغنطة المتبقية	III-2-2
52	..... حقل التشبع	III-2-3
54	..... الحقل القهري	III-2-4
55	..... التربيع المغناطيسي	III-2-5
56	..... القابلية المغناطيسية	III-3-6
58	..... الاستنتاج	III-4
59	..... الخاتمة العامة	
61	..... المراجع	
70	..... ملخص	

قائمة الأشكال

- الشكل I-1: حركة الإلكترون 4
- الشكل I-2: (a) تغيرات المغنطة بدلالة الحقل المغناطيسي، (b) تغيرات القابلية المغناطيسية بدلالة درجة الحرارة 8
- الشكل I-3: تموضع العزوم المغناطيسية للمادة بارامغناطيسية 9
- الشكل I-4: تغير القابلية ومقلوبها بدلالة درجة الحرارة 9
- الشكل I-5: تغيرات الحساسية المغناطيسية بدلالة درجة الحرارة 10
- الشكل I-6: تموضع العزوم عند درجة حرارة: (a) أقل من درجة حرارة كوري (b) أعلى من درجة حرارة كوري 11
- الشكل I-7: بيان التخلف المغناطيسي لكل من: (a) المواد الصلبة، (b) المواد اللينة 12
- الشكل I-8: تموضع العزوم عند درجة حرارة: (a) أعلى من درجة حرارة نيل، (b) أقل من درجة حرارة نيل 13
- الشكل I-9: تغيرات الحساسية المغناطيسية بدلالة درجة الحرارة 14
- الشكل I-10: تموضع العزوم المغناطيسية في مادة فيريمغناطيسية عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة نيل 15
- الشكل I-11: العلاقة بين درجة الحرارة والقابلية المغناطيسية 18
- الشكل I-12: (a) تمثيل المناطق المغناطيسية، (b) كيفية تغير المغنطة في المنطقة الفاصلة 19
- الشكل I-13: التكوين الإلكتروني لذرة الحديد 20
- الشكل I-14: (a) قطعة حديد ممغنطة (b) قطعة حديد غير ممغنطة (c) رسم أكثر واقعية للنطاقات المغناطيسية 21
- الشكل I-15: اتجاه المغنطة في التسجيل الطولي (a) في التسجيل العرضي (b) 22
- الشكل I-16: (a) الجلفانوميتر (b) ملف جلفانوميتر على قلب حديدي 23
- الشكل I-17: (a) مخطط لمحرك بسيط (b) نظام العاكس والفرشتان 24
- الشكل I-18: مكبر الصوت 25

- الشكل II- 1: مخطط موجز للتقنيات المستخدمة في ترسيب الأغشية الرقيقة..... 27
- الشكل II- 2: التحولات الكيميائية من السائل الى هلام 28
- الشكل II- 3: رسم تخطيطي يوضح عملية الترسيب بواسطة الرش بالانحلال الحراري..... 31
- الشكل II- 4: عملية الاقتلاع بالليزر 32
- الشكل II- 5: هيكل تقنية الترسيب بالقذف الجزيئي الموجه..... 34
- الشكل II- 6: تخطيط بياني لهيكل تقنية الترسيب بالقذف الجزيئي الموجه 34
- الشكل II- 7: تغير استقطاب الموجه المسطحة على مادة مغناطيسية(تأثير كبير)..... 38
- الشكل II- 8: رسم تخطيطي لأنواع تأثير Kerr..... 38
- الشكل II- 9: رسم تخطيطي لتأثير الحقل المغناطيسي الخارجي على مادة فيرو مغناطيسية..... 39
- الشكل II- 10: دورة التخلف المغناطيسي لمادة فيرومغناطيسية 41
- الشكل II- 11: دورة التخلف المغناطيسي لمادة فيرو مغناطيسية رخوة 42
- الشكل II- 12: رسم تخطيطي للبنية الماسية..... 45
- الشكل II- 13: رسم تخطيطي لبلورة الحديد..... 45
- الشكل III- 1: تغير شكل دورات الهسترة بدلالة زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي الخارجي 48
- الشكل III- 2: منحنى تغير مغنطة التشبع بدلالة زوايا الحقل المغناطيسي المطبق 50
- الشكل III- 3: منحنى تغيرات المغنطة المتبقية بدلالة زوايا الحقل المغناطيسي المطبق 51
- الشكل III- 4: منحنى تغير حقل التشبع بدلالة تغير زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي 53
- الشكل III- 5: منحنى تغير الحقل القهري بدلالة زوايا الحقل المغناطيسي المطبق 54
- الشكل III- 6: منحنى تغير قيم التربيع المغناطيسي بدلالة زوايا الحقل المغناطيسي المطبق 55
- الشكل III- 7: منحنى تغير قيم الحساسية المغناطيسية بدلالة زوايا الحقل المغناطيسي المطبق..... 57

قائمة الجداول

- الجدول I-1: الخصائص الفيزيائية للحديد.....19
- الجدول II-1: مقارنة بين بعض التقنيات المختلفة لترسيب الأغشية الرقيقة (° = جيد، * = سيئ).....36
- الجدول III-1: تغير قيم الخصائص المغناطيسية بدلالة زوايا الحقل المغناطيسي المطبق.....49

قائمة الرموز
والوحدات

الرموز

H_{ext} : الحقل المغناطيسي الخارجي

M_s : مغنطة التشبع

M_r : المغنطة المتبقية

H_c : الحقل القاهر (الحقل الحرج)

$-M_s$: مغنطة التشبع العكسية

S : التربيع المغناطيسي

χ : القابلية المغناطيسية

CVD : الترسيب بالتبخير الكيميائي

PVD : الترسيب بالتبخير الفيزيائي

$LACVD$: تقنية التوضع الكيميائي للأبخرة بواسطة أشعة الليزر

$PECVD$: تقنية التوضع الكيميائي للأبخرة بواسطة البلازما

$MOCVD$: الترسيب بالتبخير الكيميائي العضوي المعدني

ALD : ترسب الطبقة الذرية

EJM, MBE : تقنية التنضيد بالقذف الجزيئي

$MOKE$: المغنطة الضوئية لتأثير كبير

$RHEED$: تقنية انعكاس حيود الإلكترون عالي الطاقة

TCO_s : أكاسيد موصل شفافة

CdS : كبريتيد الكاديوم

الوحدات

K : كلفين

m : متر

A : امبير

Kv : كيلو فولط

Torr : تور وحدة قياس الفراغ

Mc/S : ميلي طبقة في كل ثانية

Å : انغستروم

Å/s : انغستروم على كل ثانية

A/m : الامبير على المتر

A/s : الامبير على الثانية

°C ، °م : درجة مئوية

emu / cm³ : وحدة قياس المغنطة في نظام CGS

mT : ميلي تسلا

Oe : الاوسترد

U.A : وحدة دولية

Ω.cm⁻¹ : الاوم على السنتمتر

G : غوص

GBit / In² : جيغا بايت على الانش مربع

مقدمة عامة

لعلم الفيزياء- كما هو معروف - أهمية كبيرة بين سائر العلوم الأساسية، إذ أنه يكون حجر الأساس الذي لا غنى عنه في جميع مجالات العلوم المختلفة.

لقد كان تطور علم الفيزياء في القرن العشرين بمثابة ثورة شاملة في مفاهيمنا لطبيعة المادة والطاقة والإشعاع، وكانت الحقيقة الأخيرة من هذا القرن على قمة التطور مما استوجب قسمة علم الفيزياء إلى فيزياء كلاسيكية وأخرى معاصرة، لما كان التطور التكنولوجي الكبير المصاحب لهذه الاكتشافات في حاجة دائما إلى نوعيات خاصة جدا من المواد التي لها صفات مختلفة منها الميكانيكية، الحرارية و الضوئية و المغناطيسية، لذلك أصبح من الضروري الاهتمام بمعرفة الطبيعة الذرية للمادة وأثرها على الخواص المايكروسكوبية و تطبيقاتها في الحياة اليومية، ومن بين هذه الخواص نجد الخاصية المغناطيسية التي تعرف بمدى تأثر موادها بالحقل المغناطيسي ، وكذا مدى احتفاظها بالمغناطيسية المتولدة فيها. [1] وفي هذا السياق و بالاعتماد على الدراسات والبحوث السابقة، سنعرض في عملنا هذا الخصائص المغناطيسية للعيينة $Ag/Fe/Si(100)/SiO_2$ ونخص بالذكر مادة الحديد لأنها المادة المغناطيسية الوحيدة في العينة المدروسة، وارتباطها بالحقل المغناطيسي الخارجي وذلك عندما نغير زاوية تطبيقه من 0° إلى 180° بتغير 45° في كل مرة .

إن زيادة التقدم العلمي والتكنولوجي أدى إلى تعدد و تطور الطرق و التقنيات المستخدمة في ترسيب الأغشية الرقيقة بمختلف فئاتها و بدرجة تفاوتها من ناحية الجودة، السرعة و التكلفة، وإن هذه الطرق يمكن إدراجها تحت نوعين أساسيين من الأساليب يعرفان باسم الطرق الفيزيائية والطرق الكيميائية. [2] إن من أنسب طرق إنتاج الأغشية الرقيقة في عملنا هذا هو استخدام تقنية الترسيب بالتنزيد الجزيئي الموجه و التي تعد من أهم الطرق الفيزيائية في ترسيب الأغشية الرقيقة وذلك لكونها بسيطة الاستخدام، تمكننا من التحكم بجميع الظروف التجريبية (درجة حرارة الركيزة- زمن الترسيب و سرعته - ضغط الترسيب، سمك العينات المترسبة -... الخ)، كما تمكننا أيضا من تحضير أغشية رقيقة بالحجم المطلوب وبمساحات قد لا يمكن الحصول عليها باستخدام طرق أخرى.

ولتحقيق هذا الهدف المذكور سابقا استخدمنا مسند أحادي التبلور وهو السليسيوم $Si(100)/SiO_2$ المصقول على الوجه (100) ورسبنا فوقه 300 \AA من الحديد وللحفاظ عليه من التأكسد رسبنا فوقه سمك صغير جدا من الفضة 20 \AA ، حيث تحصلنا على العينة $Ag(20 \text{ \AA}) / Fe(300 \text{ \AA}) // Si(100) / SiO_2$ وذلك باستخدام تقنية فيزيائية تعرف باسم التنزيد الفوقي الموجه (MBE) والتي سنتطرق إلى تعريفها

ومبدأ عملها في الفصل الثاني من هذه المذكرة، حيث رسبت هذه الطبقات في درجة حرارة الغرفة وعند ضغط منخفض جدا، ومن أجل دراسة الخصائص المغناطيسية لمادة الحديد استخدمت تقنية المغنطوضوئية لتأثير كبير (MOKE) وذلك بتطبيق الحقل في اتجاه الزوايا: 0° ، 45° ، 90° ، 180° .

ولقد قسمنا هذا العمل العلمي إلى ثلاثة فصول بالإضافة إلى مقدمة عامة و خاتمة:

■ الفصل الأول كان بعنوان " مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية " تطرقنا فيه الى تاريخ ونشأة المغناطيسية و بعض المفاهيم الاساسية عنها وكذا انواع ومميزات هذه المواد وسلوكها في وجود الحقل المغناطيسي والعوامل المؤثرة عليها ، كما تطرقنا في هذا الفصل الى شرح موجز عن الحديد والمغناطيسية وأخيرا سلطنا الضوء على التطبيقات المغناطيسية في المجالات الحياتية المختلفة المتمثلة في (التخزين المغناطيسي ، الجلفانوميتر ، المحرك الكهربائي ، مكبرات الصوت).

■ أما الفصل الثاني كان بعنوان " طريقة تحضير العينات و دراسة خصائصها المغناطيسية" حيث ينقسم الى جزئين قمنا بداية في الجزء الاول بعرض تقنيات تحضير الأغشية الرقيقة، فيزيائية كانت او كيميائية ومعايير اختيارها ، ولقد اهتمنا بتقنية الترسيب بالتضيد الجزئي الموجه و الذي يرمز لها بالرمز MBE التي سنعمدها في هذا العمل. حيث قدمنا معناها و شرحنا هذه التقنية من حيث مبدأ العمل ومكوناتها و ذكرنا بعض المميزات و الخصائص التي تمتاز بها وايضا بعض العيوب التي فيها ، ثم تطرقنا إلى تقنية تحليل الخصائص المغناطيسية للعينة و المتمثلة في تقنية المغنطوضوئية لتأثير Kerr و التي يرمز لها بالرمز MOKE ، و هذا من أجل استخراج الخصائص المغناطيسية المطلوبة في عملنا هذا مثل الحقل القسري او القهري...، و لقد قمنا بشرح هذه التقنية شرحا مفصلا من حيث تعريفها و مبدأ عملها و ميزاتها، اما في الجزء الثاني قمنا بشرح بيان التخلف المغناطيسي و أهم عناصره مع شرح مفصل لكل عنصر (الحقل القاهر، مغنطة التشبع، المغنطة المتبقية، حقل التشبع، القابلية المغناطيسية والتربيع المغناطيسي)، و في الأخير شرحنا طريقة تحضير العينة المدروسة في هذا العمل.

■ أما الفصل الثالث و الأخير كان بعنوان " تحليل النتائج التجريبية " وهو محصلة للعمل التجريبي حيث خصصناه لدراسة و مناقشة النتائج المتحصل عليها.

الفصل الاول (I)

مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية

مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية

ان دراسة طبيعة المواد المختلفة وخصائصها وانواعها وضح كثيرا من الغموض، وصح الاخطاء التي وقع فيها الاولون ولهذا اصبح من الضروري الاهتمام بالظواهر التي تحدثها هذه المواد ومن بين هذه الظواهر ظاهرة المغناطيسية، سنعرض في هذا الفصل اثر الخصائص المغناطيسية على المواد، ومدى تأثرها بالحقل المغناطيسي، وكذا مدى احتفاظ المواد بالمغناطيسية المتولدة فيها، وفهم اصل هذه الخصائص الجديدة و الغير متوفرة في الحالة الطبيعية للمادة.

I-1- تاريخ و منشأ المغناطيسية

المغناطيسية هي ظاهرة فيزيائية تتمثل في ظاهرة الجذب لبعض المواد ذات المغناطيسية الحديدية [3]، حيث تعتبر من خصائص الحجر المغناطيسي الطبيعي أو المصنع ، ولقد تطرقت اليها عدة نظريات، تفترض احداها أن جزيئات المادة المغناطيسية تكون مغناطيسات صغيرة جدا يماثل بعضها البعض، اما في حالة المغنطة تترتب في اتجاه واحد وذلك بفعل تأثير المجال المغناطيسي .

وكانت اولى الظواهر المغناطيسية هي التي رافقت ما يعرف باسم المغناطيس الطبيعي وهو عبارة عن قطع من خامات اكسيد الحديد Fe_3O_4 تعرف باسم الاحجار المغناطيسية، حيث اكتشفت منذ زمن الاغريق أي قبل اكثر من الفي سنة في منطقة مكينزيا في اسيا الصغرى، ومن خصائص هذه المغناطيسيات الطبيعية جذب بعض المعادن كقطع الحديد الصغيرة والقريبة منها، ويكون هذا التأثير أكثر وضوحا في مناطق معينة من المغناطيس تسمى الاقطاب (قطب جنوبي وشمالى). ولقد ظهرت الصلة بين الظواهر المغناطيسية والكهربائية في سنة 1819 وكان اول من اشار الى هذه الظاهرة العالم الفيزيائي اورستد الذي اثبت ان ابرة البوصلة تنحرف عند تقريبها من سلك يمر به تيار كهربائي، مستنتجا من خلالها ان الظواهر المغناطيسية يمكن توليدها من تيار كهربائي، وكانت تجربته هذه بداية لتطور هذا الموضوع تطورا كبيرا .

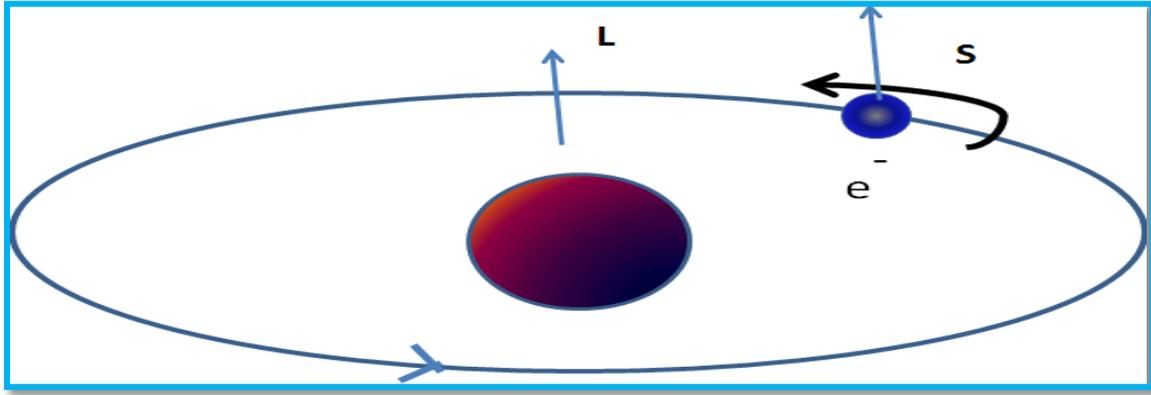
لقد ركزت الدراسات المغناطيسية الحديثة في ما بعد على فهم الاصول الجزيئية والذرية لخصائص المواد المغناطيسية، حيث وضع العالم الفيزيائي الفرنسي بول لا نجفان عام 1905 نظرية حول علاقة الخواص المغناطيسية بدرجة الحرارة، اعتمدت هذه النظرية على البنية الذرية للمادة. وتعتبر مثالا مبكرا لوصف الخصائص المجهرية وعلاقتها بخواص الذرات والالكترونات، ثم جاء الفيزيائي بيير ويس وطور في هذه النظرية حيث افترض وجود حقل مغناطيسي جزيئي داخلي في بعض المواد، وهذه الإضافة ساعدت على تفسير بعض خصائص المواد شديدة المغناطيسية مثل حجر المغناطيس، ومن خلال هذه النظرية تبين ان العزم المغناطيسي لجسم معين ما هو الا مقدار متجه يعبر عن شدة الحقل المغناطيسي للجسم.

مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية

بعد ظهور ميكانيك الكم اعطى الفيزيائي هايزن برغ تفسيراً مفصلاً لحقل ويس الجزيئي حيث مهد هذا التفسير الطريق لعلماء آخرين بالتنبؤ بالعديد من الترتيبات الذرية المعقدة للعزم المغناطيسي مع خصائص مغناطيسية مختلفة. [4]

I-2- بعض المفاهيم الأساسية في المغناطيسية

I-2-1- مصدر المغناطيسية



الشكل I-1: حركة الإلكترون [5]

تنتج المغناطيسية من حركة الإلكترونات داخل ذرات المواد، لذلك فإن المغناطيسية صفة من صفات الشحنات المتحركة و على ضوء الفكرة الحديثة عن المغناطيسية هناك نوعان من حركة الإلكترونات هما :

اولاً: دوران الإلكترونات حول نواة الذرة يعطي خصائص مغناطيسية لتركيب الذرة، وان دوران الإلكترونات حول النواة مشابهاً لحركة تيار الكتروني في حلقة موصلة مغلقة، وحركة الإلكترون المدارية لها عزم مغناطيسي مداري :

$$\mu_L = -m_l \mu_B \quad (I.1)$$

حيث :

m_l : العدد الكمي المغناطيسي للإلكترون

μ_B : مغناطيس بور $\mu_B = e \hbar / 2m_e$

مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية

\hbar : ثابت بلانك

m_e : كتلة الالكتران

e : شحنة الالكتران

اذا دار الكترونان حول النواة في الذرة بسرعتين زاويتين متساويتين بالمقدار و متعاكستين بالاتجاه وبنصف قطر واحد للمدار، ينتج عن ذلك ان الخاصية المغناطيسية لاحدهما تلغي تأثير الاخرى، اما اذا انفرد الالكتران بدورانه حول النواة في الذرة اكسبها صفة مغناطيسية جاعلا من الذرة او الايون دايوبولا (مغناطيس صغير ثنائي القطب).

ثانيا: عبارة عن تفاعل مجموع العزوم المغناطيسية لللف الذاتي فيما بينها وهذا الدوران يولد العزم المغناطيسي لللف الذاتي و تعطى عبارة العزم المغناطيسي لللف الذاتي μ_s بالشكل التالي :

$$\mu_s = -g m_s \mu_B \quad (I.2)$$

حيث :

g : معامل Landé

$S = \pm 1/2$ هو اللف الذاتي.

ان دوران الالكتران حول محوره يعتبر كحركة تيارات متناهية في الصغر تولد مجالا مغناطيسيا، وهناك اتجاها ل دوران الالكتران حول محوره و يعتبر الاول موجب و الثاني سالب وعليه فالإلكترونان اللذان يدور كل منهما حول محوره باتجاه معاكس لدوران الاخر يؤلف ازدواج الكتروني يلغي احدهما الخصائص المغناطيسية للأخر، اما اذا انفرد الكترون او اكثر بدورانه حول محوره او حول النواة جعل الذرة تبدو وكأنها مغناطيس ضعيف ثنائي القطب . [6]

I-2-2- المغنطة (\vec{M}) Magnétisation

ان التوزيع العشوائي للعزوم المغناطيسية لذرات و جزيئات المادة يجعل محصلة العزم المغناطيسي الكلي لعينة ما مساويا للصفر مع ان كل ذرة تمتلك عزما مغناطيسيا حتى في حالة انعدام التأثيرات الخارجية، لكن الحال يختلف عندما تقع المادة تحت تأثير مجال مغناطيسي خارجي كافي لترتيب عزوم ذرات المادة فانه يسبب نشوء عزم مغناطيسي للعينة وتدعى هذه الظاهرة بالتمغنط Magnétisation، الذي يعرف بمجموع العزوم المغناطيسية $\sum \vec{m}_i$ لوحدة الحجم (v) من المادة اي ان [7]:

$$\vec{M} = \frac{\sum \vec{m}_i}{V} \quad (I.3)$$

I-2-3- القابلية المغناطيسية (Magnetic Susceptibility)

عند تسليط مجال مغناطيسي على المادة فإنها تتمغنط وتتناسب كمية التمغنط الناتجة B ، مع كل من متجه التمغنط، M (العزم المغناطيسي لوحدة الحجم) وشدة المجال المغناطيسي H ، وتعطى عبارة كمية التمغنط الناتجة داخل المادة كما يلي :

$$B = \mu_0 (H + M) \quad (I.4)$$

حيث:

μ_0 : هي نفاذية الفراغ.

نستنتج من المعادلة السابقة أن مقدار التمغنط الناتج في المادة يتكون من قسمين : القسم الأول $H \mu_0$ ينتج عن تأثير المجال الخارجي، والقسم الثاني $M \mu_0$ يكون منشأه داخلي وينتج عن تمغنط المادة، يمكننا في الأخير القول بأن مقدار التمغنط يتناسب طردياً مع شدة المجال، أي ان قابلية التمغنط لأي وسط مادي تساوي النسبة بين التمغنط الحاصل في المادة الى المجال الممغنط المسلط على المادة ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$\chi = M / H \quad (I.5)$$

حيث:

χ : ثابت التناسب يسمى بالقابلية المغناطيسية للمادة وهي كمية دون وحدة في النظام الدولي للوحدات. بالتعويض عن M في المعادلة (I.4) نحصل على:

$$B = \mu_0 (1 + \chi) H \quad (I.6)$$

نلاحظ من خلال هذه المعادلة أن B يتناسب مع H ويمكن كتابتها على الشكل:

$$B = \mu H \quad (I.7)$$

حيث :

μ : ثابت التناسب ويسمى بنفاذية المادة.

مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية

ومنه تكتب نفاذية المادة على الشكل التالي:

$$B = \mu (1 + \chi) \quad (I.8)$$

كما يمكن كتابة النفاذية النسبية للمادة على الشكل التالي:

$$\mu = 1 + \chi \quad (I.9)$$

تأتى اهمية هذه المعادلة من كونها تربط بين نفاذية المادة والقابلية المغناطيسية. [8]

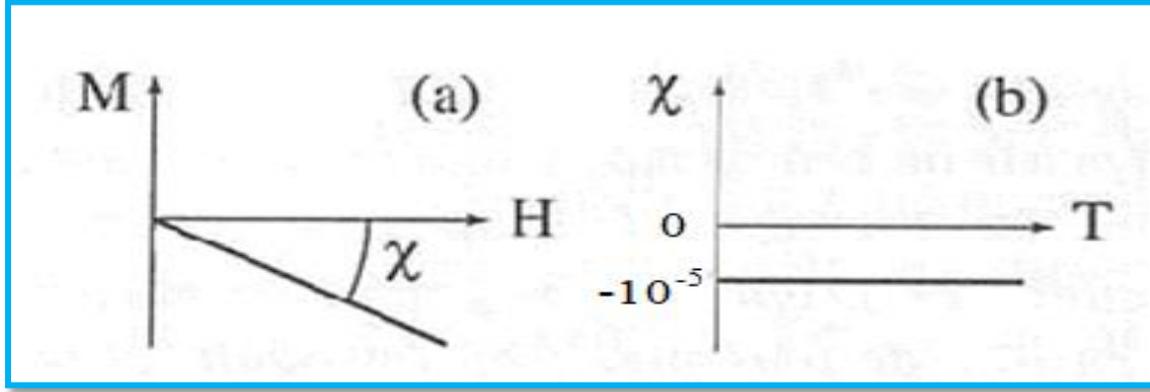
I-3- انواع المواد المغناطيسية ومميزاتها

تختلف جاذبية المغناطيس للمواد من مادة الى اخرى حيث نلاحظ ان هناك مواد تنجذب اليه بقوة مثل الحديد والفولاذ، وهناك مواد اخرى يجذبها المغناطيس ولكن بصفه اقل مثل الكوبالت والنيكل، وتصنف هذه المواد مغناطيسيا على اساس قيمة واشارة القابلية المغناطيسية χ ، فاذا كانت χ بحدود $(10^{-4}-10^{-6})$ وموجبة وتخضع لقانون كوري فان المادة تعتبر بارا مغناطيسية، اما للمواد الفيرومغناطيسية فان قيمة χ كبيرة فمثلا حساسية الحديد تساوي 10^3 وتخضع لقانون كوري ويس. [9] وتصنف المواد المغناطيسية الى العديد من الاقسام، منها الاصناف التالية:

I-3-1- المواد الديامغناطيسية

ان اصل الخاصية الديا مغناطيسية هو الحركة المدارية للإلكترونات التي تستحث نتيجة تسليط المجال المغناطيسي الخارجي على المادة، وان هذا المجال يحدث تغيرا في حركة الالكترونات، وان العزم المغناطيسي الناتج عن هذا التغير هو السبب في تكوين الخاصية الديامغناطيسية (يكون هذا العزم، عزم مغناطيسي مستحث ويكون باتجاه يعاكس اتجاه تأثير المجال المغناطيسي الخارجي). ان خاصية الديا مغناطيسية هي صفة مؤقتة تدوم او تستمر باستمرار وجود المجال المغناطيسي الخارجي، وتختفي عند ازالة هذا المجال، اي انها تمثل رد الفعل المعاكس على تأثير المجال الخارجي المسلط عليها، ومن المواد الديا مغناطيسية نذكر الكوارتز. [10] تملك هذه المواد قابلية مغناطيسية سالبة ($\chi < 0$) والتي تختلف قليلاً جداً كدالة لدرجة الحرارة عن القيمة 10^{-5} - (انظر الشكل I-2: (b))، اما المغنطة في هذه المواد فتكون ناتجة عن مجال خارجي له اتجاه معاكس لاتجاه مجال الحث. (انظر الشكل I-2: (a)). [7]

مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية



الشكل I-2: (a) تغيرات المغنطة بدلالة الحقل المغناطيسي، (b) تغيرات القابلية المغناطيسية بدلالة درجة الحرارة [7]

I-3-1-1-1-اهم مميزات المواد الديامغناطيسية

- 1- ان هذه الصفة لا تعتمد على اتجاه العزوم المغناطيسية في المادة حيث ان هذه العزوم تأخذ اتجاه معاكس للمجال المطبق عليها
- 2- جميع المواد تصبح الديامغناطيسية بدرجة الحرارة العالية
- 3- صفة الديامغناطيسية صفة مؤقتة تزول بزوال المجال المغناطيسي المسلط عليها
- 4- القابلية المغناطيسية سالبة و قليلة جدا
- 5- معامل نفاديتها اقل من الواحد. [10]

I-3-2-المواد البارامغناطيسية

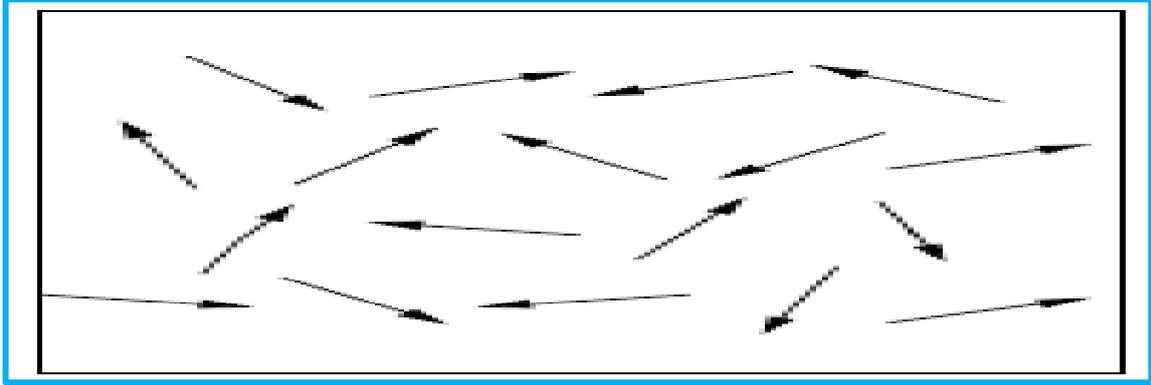
تظهر الخاصية البارامغناطيسية في الذرات او الجزيئات التي تمتلك عددا فرديا من الالكترونات التي تعمل على اعطاء عزم مغناطيسي دائم للذرة او الجزيء، و الشكل I-3 يوضح تموضع العزوم المغناطيسية للمادة البارامغناطيسية، في حالة غياب المجال المغناطيسي في المادة فان الاتجاهات المبعثرة للعزوم سيجعل المغناطيسية للمادة معدومة. [11]

في حالة وجود مجال مغناطيسي ذو قيمة معقولة (ولكنها ضعيفة) فان علاقة القابلية المغناطيسية ودرجة الحرارة تكون خطية وتعطى بالعلاقة:

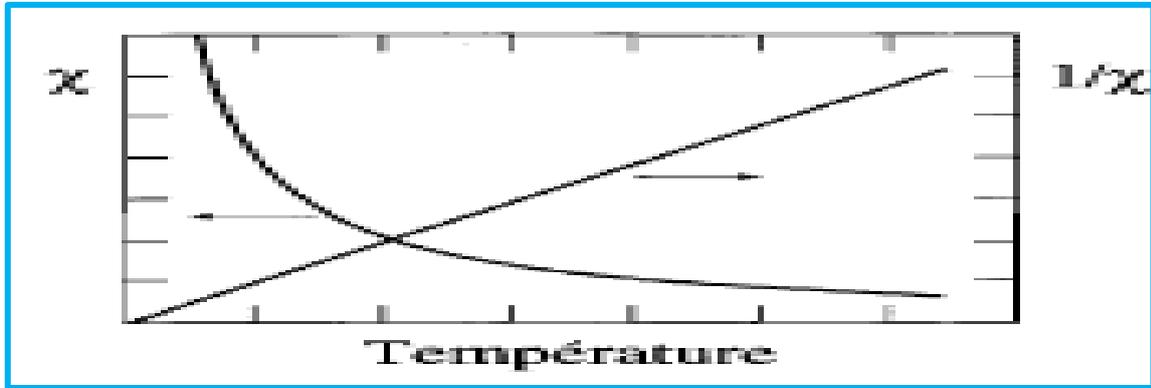
$$\chi=C/T \quad (I.10)$$

مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية

يعرف هذا القانون بقانون كوري، و C تمثل ثابت التناسب (ثابت كوري). الشكل I-4 يوضح العلاقة بين كل من χ و $1/\chi$ مع درجة الحرارة للمواد البارامغناطيسية. [11]



الشكل I-3: تموضع العزوم المغناطيسية للمادة بارامغناطيسية [12]



الشكل I-4: تغير القابلية ومقلوبها بدلالة درجة الحرارة [13]

I-3-2-1-اهم مميزات المواد البارامغناطيسية

1. معامل نفاذيتها اكبر من الواحد
2. القابلية المغناطيسية موجبة و صغيرة جدا
3. تمتلك عزوم مغناطيسية ذاتية تأخذ اتجاه موازي للمجال المغناطيسي
4. تتناسب القابلية المغناطيسية لهذه المواد تناسبا عكسيا مع درجة الحرارة اي: $\chi \propto 1/T$ [11]

3-3-I- المواد الفيرومغناطيسية

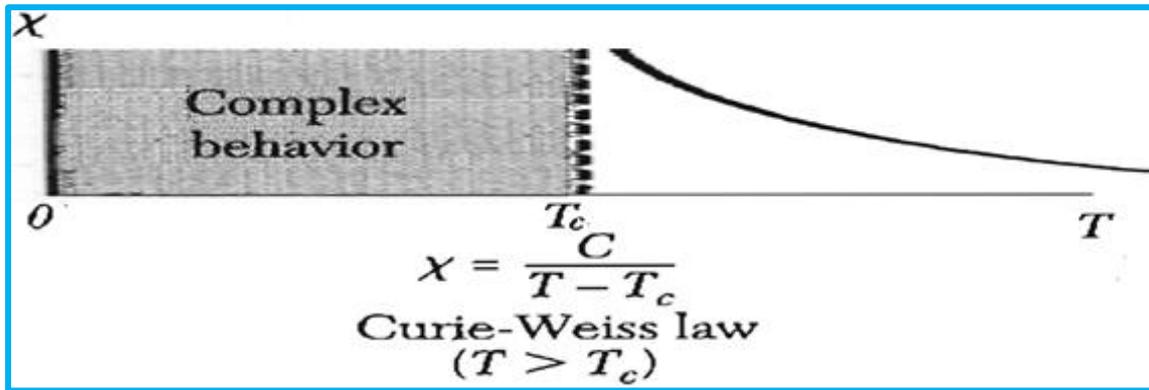
اطلق على هذه المواد تسمية الحديد والمغناطيس ذلك لأنها تحتوي على معدن الحديد او احد مركباته الذي يعد اشهر هذه المواد وتمتاز بان لها تمغنت كبير، ويعود سبب التمغنت العالي في المواد الفيرومغناطيسية بصورة رئيسية الى وجود نوع من التأثير المتبادل بين مجموعة من الذرات المتجاورة للمادة وبقائها مرتبة باتجاه واحد، حيث ينتج عن طبيعة هذا النوع من التأثير المتبادل قوى كبيرة تعمل على ابقاء العزوم المغناطيسية لذرات المجموعة الواحدة متوازية، يعتمد تمغنت المادة الفيرومغناطيسية على درجة حرارتها فكل مادة درجة حرارة حرجة وفي هذه المواد تسمى درجة حرارة كوري حيث تفقد عندها المادة خواصها المغناطيسية وتتحول الى مادة بارامغناطيسية. [13]

ان القابلية المغناطيسية للمادة في درجات الحرارة الاعلى من درجة حرارة كوري تتغير كما في الشكل I-5 وذلك حسب قانون كوري- وايس:

$$\chi = \frac{C}{T - T_c} \quad (I.11)$$

حيث:

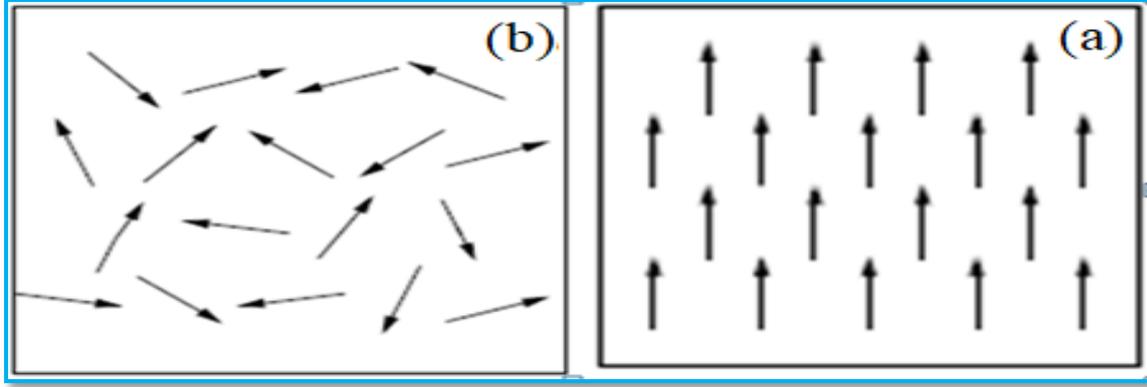
T_c : تمثل درجة كوري.



الشكل I-5: تغيرات الحساسية المغناطيسية بدلالة درجة الحرارة. [14]

مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية

عندما تكون درجة حرارة المادة اقل من درجة حرارة كوري تترتب العزوم المغناطيسية باتجاه واحد كما في الشكل I-6:(a)، وباتجاه عشوائي عندما تكون درجة حرارة المادة اكبر من درجة حرارة كوري ، كما في الشكل I-6:(b). [13]



الشكل I-6: تموضع العزوم عند درجة حرارة: (a) اقل من درجة حرارة كوري (b) اعلى من درجة حرارة كوري [12]

I-3-3-1- اهم مميزات المواد الفيرومغناطيسية

1. تكون مغنطتها عالية تحت تأثير مجال مغناطيسي
 2. تحتفظ بمغنطتها حتى بعد زوال المجال المغناطيسي وتسمى في هذه الحالة مغنطة ذاتية
 3. تتحول المواد الفيرومغناطيسية الى مواد بارامغناطيسية اذا اصبحت درجة حرارتها اكبر من درجة حرارة كوري
 4. معامل نفاذيتها كبير جدا
 5. القابلية المغناطيسية موجبة وعالية جدا. [13]
- تصنف هذه المواد حسب خصائصها المغناطيسية الى:

I-3-3-1-1- المواد الفيرومغناطيسية اللينة

تتميز بالخصائص التالية: [15]

1. يمكن مغنطتها بسهولة
2. تملك نفاذية عالية
3. قابلية تسجيلها ضعيفة

مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية

4. لها حقل قسري H_c ضعيف وضياع مغناطيسي ضعيف وتستخدم في الآلات ذات الطاقة العالية.

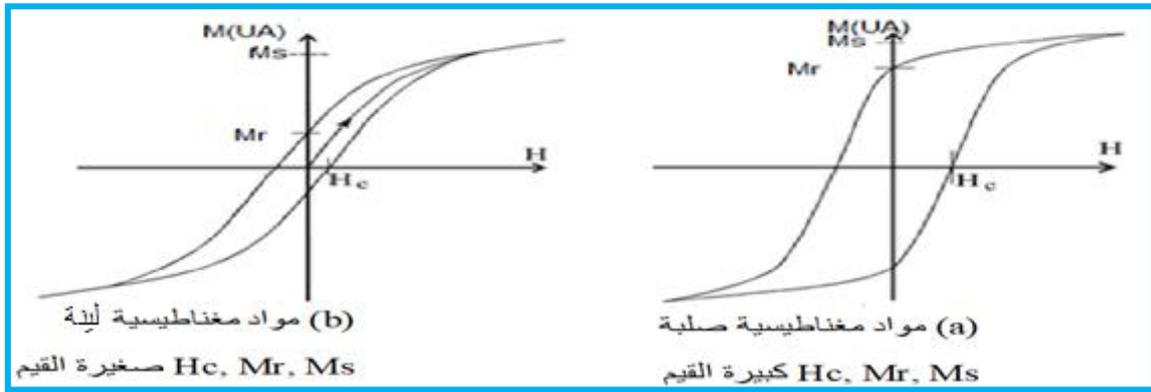
5. بيان التخلف المغناطيسي ضيق (مساحة حيز صغيرة) مثل ما يوضحه الشكل 7-I: (b)، ولا تعطي قيمة دقيقة لثوابت التباين المغناطيسي.

6. تستخدم في العديد من التطبيقات مثل المحولات، والمحثات، والدروع المغناطيسية، والمحركات، والمولدات، ... الخ.

I-3-3-1-2- المواد الفيرومغناطيسية الصلبة

تتميز بالخصائص التالية: [16]

1. بيان التخلف المغناطيسي كبير (مساحة حيز كبيرة) (انظر الشكل 7-I: (a)) وتعطي قيمة مقبولة جدا لثوابت التباين المغناطيسي.
2. هذه المواد يصعب مغنطتها
3. لها قابلية تسجيل عالية
4. تحتاج الى حقل قسري H_c كبير
5. تتطلب مجالاً مغناطيسياً خارجياً قوياً للوصول إلى التشبع
6. تستخدم في صناعة المغناطيس الدائم، و في مجال التخزين المغناطيسي

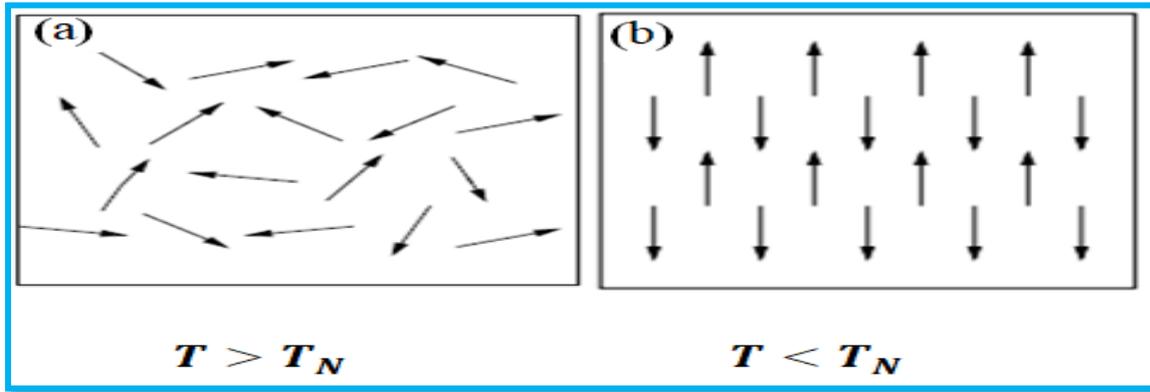


الشكل I-7: بيان التخلف المغناطيسي لكل من: (a) المواد الصلبة، (b) المواد اللينة [17]

مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية

I-3-4- المواد ضد الفيرومغناطيسية

تطلق تسمية ضد الفيرومغناطيسية على المواد التي تملك عزوما متساوية في القيمة والعدد بحيث تترتب بصورة يعاكس بعضها البعض، حيث تتميز هذه المواد بدرجة حرارة تسمى درجة حرارة نيل T_N ، اذ تكون المادة تحت هذه الدرجة مادة ضد فيرومغناطيسية و تترتب فيها العزوم كما في الشكل I-8: (b) اما اذا كانت المادة عند درجة حرارة اعلى من درجة حرارة نيل فان المادة تتحول الى مادة بارامغناطيسية كما في الشكل I-8: (a).



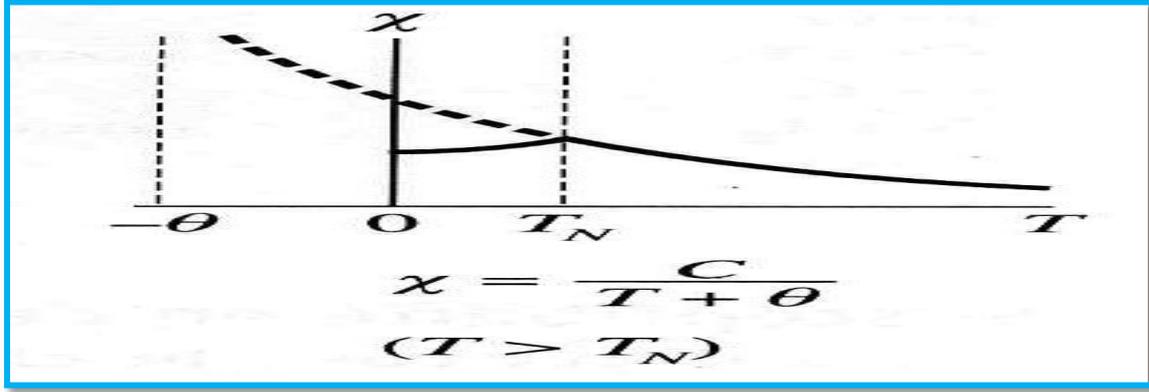
الشكل I-8: تموضع العزوم عند درجة حرارة: (a) اعلى من درجة حرارة نيل، (b) اقل من درجة حرارة نيل [12]

ان القابلية المغناطيسية للمادة في مثل هذه الدرجة الحرجة (درجة حرارة نيل T_N) تتغير مع درجة الحرارة بحسب قانون خاص يدعى قانون كوري – وايس [18]:

$$\chi = \frac{C}{T - T_N} \quad (I.11)$$

حيث:

T_N : تمثل درجة حرارة نيل.



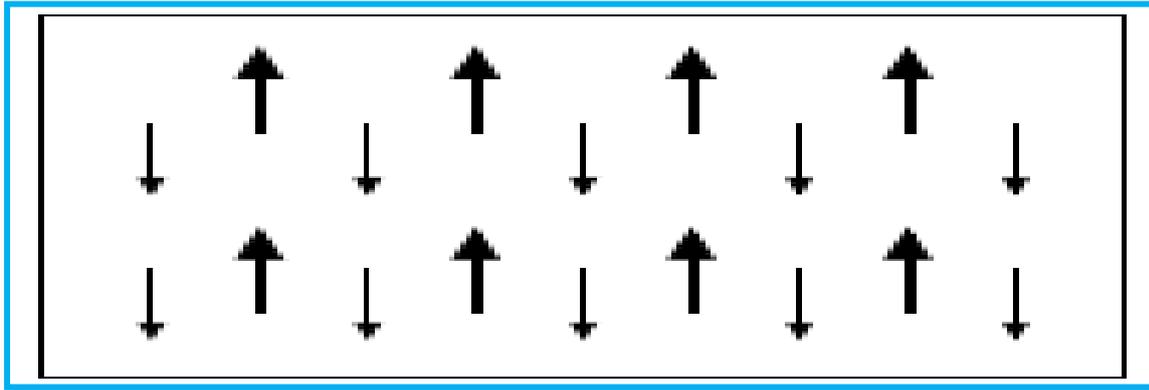
الشكل I-9: تغيرات الحساسية المغناطيسية بدلالة درجة الحرارة [14]

I-3-4-1- اهم خواص المواد ضد الفيرومغناطيسية

1. قابليتها للتمغنط ضعيفة و موجبة
2. العزوم المغناطيسية مرتبة بشكل صفوف متوازية متشابهة ولكنها متضادة عند درجة حرارة اقل من درجة حرارة نيل .
3. مغناطيسيتها ضعيفة (صفر تقريبا) لتمائل العزوم المتضادة
4. لهذه المواد درجة حرارة تسمى بدرجة حرارة نيل T_N . [18]

I-3-5- المواد الفيرومغناطيسية

وهي حالة خاصة من المواد ضد الفيرو مغناطيسية، تطلق على المواد التي تترتب عزومها المغناطيسية باتجاهات متعاكسة بواسطة قوى تبادل المجال الجزيئي و لكن لا تلغي بعضها كليا كما في حالة المواد ضد الفيرومغناطيسية ، هذا يعني ان محصلة التمغنط للمواد الفيرومغناطيسية لا تساوي صفرا، وعليه يمكن اعتبار هذه المواد مكونة من شبكتين متداخلتين ذات عزوم مغناطيسية اما متعاكسة في الاتجاه ولكن ذات قيم غير متساوية او متعاكسة ومتساوية القيم ولكن تختلف في عددها (أي توزيعها على الشبكتين) كما في الشكل I-10، وتستخدم المواد الفيرومغناطيسية في صناعة لب المواد الحثية ومجال تخزين المعلومات (الذاكرة). [19]



الشكل I-10: تموضع العزوم المغناطيسية في مادة فيريمغناطيسية عند درجة حرارة اقل من درجة

نيل [12]

I-3-5-1- اهم مميزات المواد الفيريمغناطيسية

1. كل صفيين متجاورين من العزوم المغناطيسية متعاكسين في الاتجاه، لكنها غير متساوية في المقدار.
2. تمتلك المادة الفيريمغناطيسية مغناطيسية ذاتية
3. تقل قابليتها المغناطيسية كلما ارتفعت درجة الحرارة (اعلى من درجة حرارة كوري)
4. العلاقة بين مقلوب القابلية المغناطيسية ودرجة الحرارة لا تكون خطية. [19]

I-4- العوامل المؤثرة على الخصائص المغناطيسية

I-4-1- الحقل المغناطيسي

يعرف الحقل المغناطيسي في المادة بالعلاقة :

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J} \quad (I.12)$$

حيث:

\vec{B} : حقل التحريض المغناطيسي.

\vec{J} : شعاع التمغنط.

μ_0 : نفاذية الفراغ. [20]

ويعبر عن وحدته في الجملة الدولية بالأمبير / المتر (A/m)، تختلف استجابة المواد إلى الحقل المطبق حسب طبيعتها، فالمواد الفيرومغناطيسية تكون استجابتها غير خطية و تعرف باسم منحني التخلف المغناطيسي.

I-1-4-1-1 زاوية و اتجاه الحقل المغناطيسي المطبق

لتفسير تمغنط المواد تقليديا افترض امبير ان جزيئات المادة تحوي تيارات دائرية وكل تيار له عزم مغناطيسي يولد حقلًا مغناطيسيا، وقد تحققت فرضيته بعد ان كشف عن بنية الذرة وعن العزوم المغناطيسية. فاذا خضعت هذه المادة لحقل مغناطيسي خارجي باتجاه معين أي بزاوية تطبيق معينة، اكتسبت العزوم المغناطيسية للجزيئات اصطفافا باتجاه او عكس اتجاه هذا الحقل ، فتصبح محصلة عزمه المغناطيسي غير معدومة ونتيجة لذلك تتمغنط المواد، حيث وجد ان شعاع التمغنط يتفق في الاتجاه مع الحقل المغناطيسي في الاوساط البارامغناطيسية والفيرومغناطيسية ويعاكسه في الاوساط الديامغناطيسية. [20]

وبالتالي فان الخصائص المغناطيسية لهاته المواد تتغير حسب مقدرا تمغنطها باتجاه او باتجاه زاوية الحقل المطبق وهذا ما سنوضحه في عملنا هذا.

I-2-4-1-2 درجة الحرارة

تمتلك كل مادة درجة حرارة معينة تظهر فيها خواصها المغناطيسية و نميز نوعين من درجة الحرارة.

I-1-2-4-1-1 درجة حرارة كوري

هي درجة حرارة حرجة تميز المواد المغناطيسية. أبعد من درجة الحرارة هذه ، لا يكون تفاعل التبادل كافيًا للحفاظ على العزوم المغناطيسية مصطفة مع بعضها البعض ، ومن ثم تتصرف المادة كجسم مغناطيسي. [21] وهي الدرجة التي فوقها تتحول خواص مادة فيرومغناطيسية الى مادة بارامغناطيسية يرمز لدرجة حرارة كوري بالرمز T_c . [9]

مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية

ولقد وجد العالم بير كوري أن بعض المواد لها قابلية مغناطيسية تتناسب عكسيا مع درجة الحرارة، وهو قانون يحمل اسمه، صيغته من الشكل :

$$\chi = \frac{C}{T} \quad (I. 13)$$

حيث:

T: درجة الحرارة

C: ثابت يسمى ثابت كوري . [9]

I-4-2-2- درجة حرارة نيل

هي درجة الحرارة التي فوقها تتحول مادة ضد فيرومغناطيسية الى مادة بارامغناطيسية أي ان عند درجة الحرارة العالية تصبح الطاقة الحرارية في العينة شديدة بحيث تفكك الترتيب المغناطيسي للحبيبات فيها ويرمز لها بالرمز T_N او θ_N وبالتالي يصبح قانونون كوري- وايس من الشكل [4] :

$$\chi = \frac{C}{T + T_N} \quad (I. 14)$$

I-4-2-3- قانون كوري – وايس

يصف القابلية المغناطيسية للمواد البارامغناطيسية :

$$\chi = \frac{C}{T + T_c} \quad (I. 15)$$

حيث :

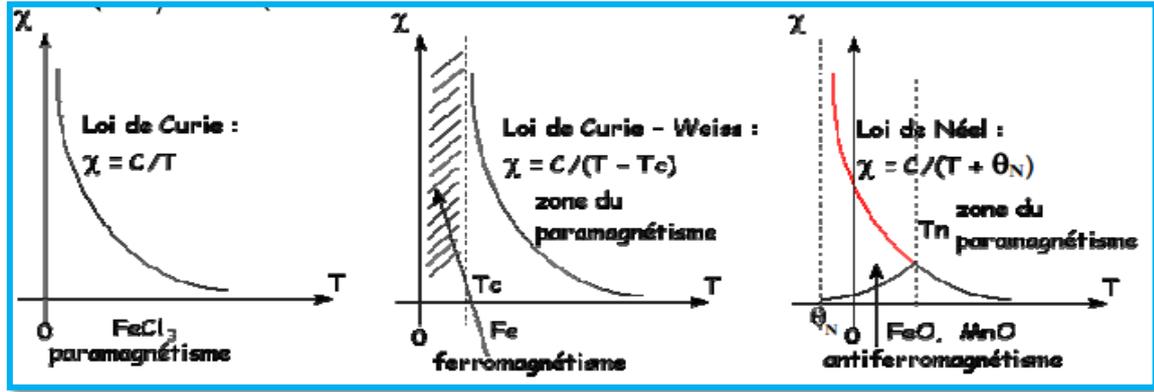
C: ثابت كوري

T: درجة الحرارة المطلقة تقاس بالكلفن

T_c : تمثل درجة حرارة كوري. [13]

نستطيع تلخيص ما سبق بالمقارنة بين انواع درجة الحرارة في الشكل I-11

مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية



الشكل I-11: العلاقة بين درجة الحرارة والقابلية المغناطيسية [22]

I-4-4- المسند

بما ان في التكنولوجيا الحديثة نستخدم دائما المواد في صفة اغشية رقيقة، وهذه الاخيرة تحتاج دوما الى مسند ترتكز عليه، فان طبيعة ونوعية هذا المسند له تأثير كبير على الغشاء المرتكز عليه.

I-5-4- الطبقة البينية

تحتاج بعض الاغشية الرقيقة لالتصاقها ونموها فوق المسند الى وسيط يساعدها على ذلك، ويسمى هذا الوسيط بالطبقة البينية، و سميت كذلك لأنها تتموضع بين المسند والغشاء المدروس، وبطبيعة الحال سيكون لهذه الطبقة تأثير كبير على الخصائص الفيزيائية لهذا الاخير.

I-6-4- تقنية التحضير

نستخدم للأبحاث التجريبية، الكثير من المواد وبصور وطبائع مختلفة و تحضر بطرق وتقنيات متعددة، هذه الاخيرة تكون لها اثر كبير على الخصائص الناتجة.

I-5- المناطق المغناطيسية

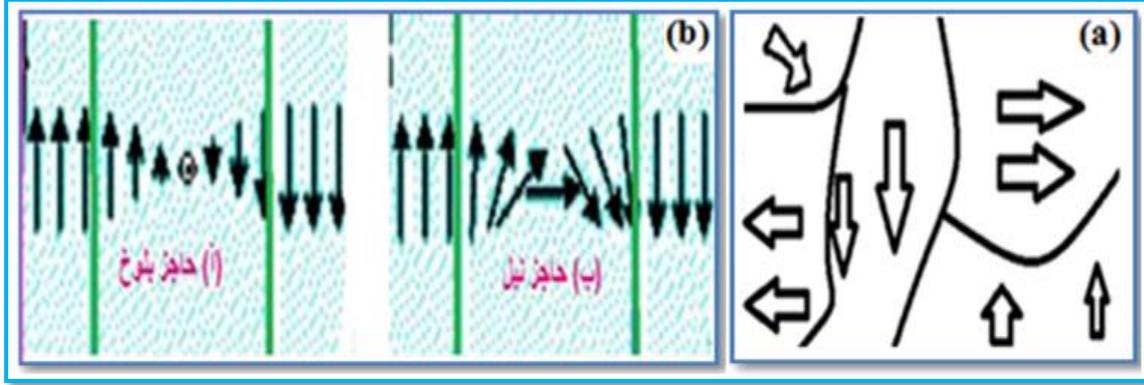
لقد استخدم مصطلح المنطقة المغناطيسية من طرف العالمين نيل و بلوخ و يمكن تعريفها على أنها منطقة متباينة داخل المواد الفيرومغناطيسية بحيث تكون عزوم كل منطقة في نفس الاتجاه أي تكون في حالة تشعب بصورة منعزلة، وتكون اتجاهات و عزوم كل المناطق في حالة تشعب، وموزعة بطريقة عشوائية بحيث تكون محصلة العزوم تساوي الصفر [23]، اي كل منطقة تكون لها اتجاهات

مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية

تختلف عن الأخرى مثل ما هو موضح في الشكل I-9: (a)، و توجد بين هذه المناطق حواجز فاصلة، تعرف بالجدار وهي نوعان حواجز ز نيل و حواجز بلوخ الفرق الأساسي بينهما هو أن:

- حواجز بلوخ يكون فيه تغير المغنطة عموديا على الغشاء الرقيق ((الشكل I-12: (b) (أ)).

- جدار نيل يكون تغير المغنطة في مستوى الغشاء الرقيق ((الشكل I-12: (b) (ب)). [13،24]



الشكل I-12: (a) تمثيل المناطق المغناطيسية، (b) كيفية تغير المغنطة في المنطقة الفاصلة. [13]

I-6- الخصائص الفيزيائية الأساسية للحديد

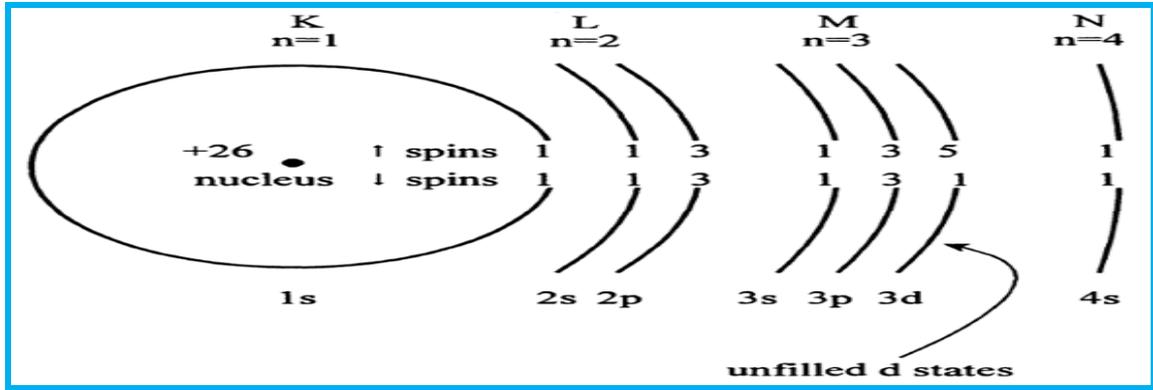
يعد الحديد احد العناصر الكيميائية والانتقالية الأكثر وفرة في الطبيعة حيث يشكل 5.6% من كتلة القشرة الأرضية، ولقد لعب دورًا مهمًا في التطور الصناعي، وحتى اليوم لم يفقد أهميته. غالبًا ما يتواجد في الطبيعة على شكل اكاسيد تكافؤية متمثلة في الحديد ثنائي التكافؤ (Fe^{+2}) والحديد ثلاثي التكافؤ (Fe^{+3})، كما انه يتواجد على شكل اكاسيد هي:

- اكسيد الحديد الاحمر هيماتيت (Fe_2O_3)
- اكسيد الحديد الاسود ماغنيتيت (Fe_3O_4)

يعتبر الحديد أحد عناصر السلسلة الأولى من المعادن الانتقالية "3d" ذات التشكيل الإلكتروني $[Ar] 3d^6 4s^2$ مثل ما يوضحه الشكل I-13 ، تتبلور المرحلة المسماة α (Fe_α) من الحديد في بنية مكعبة مركزة الجسم (bcc) مع ثابت شبكة $a = 2.8662 \text{ \AA}$ وذلك عند درجة حرارة 295 k، هذه المرحلة α مستقرة الى غاية 1184 k؛ ويتبلور كذلك في بنية مكعبة ممركرة الوجوه (fcc) في المجال

مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية

الممتد بين 1184k و 1665k وتعرف هذه المرحلة ب γ (Fe_γ)، بعد 1665k الى غاية درجة حرارة الانصهار ، يستعيد الحديد حالته bcc وتعرف هذه المرحلة ب (Fe_δ)، يتم الحصول على مرحلة أخرى من الحديد في ضغوط عالية حيث تصبح بنيته "hcp" [25،21].



الشكل I - 13: التكوين الإلكتروني لذرة الحديد [26]

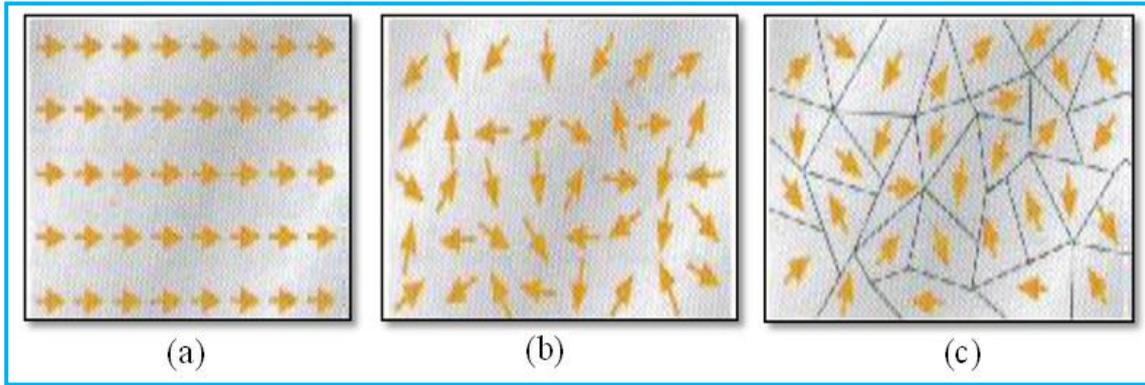
يلخص الجدول I-1 بعض الخصائص الفيزيائية للحديد .

55.6	الكتلة الذرية (A)
26	العدد الذري (Z)
$[Ar] 3d^6 4s^2$	التشكيل الإلكتروني
2.8662	ثابت الشبكة (Å)
1.27	نصف قطر المعدن (Å)
1535	نقطة الانصهار (°C)
10	المقاومة عند 20 °C ($10^{-8} \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$)
فيرومغناطيسية	الحالة المغناطيسية
2.2	العزم المغناطيسي (μ_B/atome)
1043	درجة حرارة كوري (K)
1707	مغطة التشبع عند درجة حرارة الغرفة (G)
0.01	المجال القسري (Oe)

الجدول I-1: الخصائص الفيزيائية للحديد [19]

I-6-1- مغنطة الحديد

نعلم جميعا ان المغنطيسيات تجذب الحديد بينما لا تجذب معظم المواد الاخرى وقد وجد ان هناك عددا قليلا من المواد الفيرومغناطيسية (كالحديد والنيكل والكوبالت) هي التي تتأثر تأثرا كبيرا بالمجال المغناطيسي، ويعد الحديد صنفا من اصناف المواد المغناطيسية حيث تمتلك هذه المواد عزم مغناطيسي غير معدوم حتى في غياب المجال المغناطيسي كما في الشكل I-14:(b)، وهذه الخاصية ناتجة عن التأثير الشديد بين العزوم المغناطيسية للإلكترونات او الذرات في المواد المغناطيسية، اما في حالة وجود حقل مغناطيسي فان هذه العزوم المغناطيسية تصبح في حالة توازي مع بعضها البعض كما في الشكل I-14:(a)، تنقسم هذه المواد عادة الى مناطق تسمى نطاقات موضحة في الشكل I-14:(b)، وفي كل منطقة تترتب العزوم الذرية متوازية فيما بينها اما المناطق المنفصلة فلها عزوم كلية لا تتجه بالضرورة في اتجاه واحد، وهكذا و على الرغم من ان قطعة الحديد قد لا تملك عزم مغناطيسي اجمالي، فانه يمكن تحريض المغنطة فيها في وجود حقل مغناطيسي مما يجعل عزوم هذه المناطق مرتبة، ان الطاقة المبذولة في اعادة توجيه عزوم النطاقات من حالة المغنطة الى غياب المغنطة تتجلى في استجابة متأخرة، لكن عند تسخين هذه المواد فإنها تبدا في فقدان خواصها المغناطيسية حتى تفقدها كاملا فوق درجة حرارة كوري. [4]



الشكل I-14: (a) قطعة حديد ممغنطة (b) قطعة حديد غير ممغنطة (c) رسم اكثر واقعية للنطاقات

المغناطيسية [27]

I-7- تطبيقات المواد المغناطيسية

هناك العديد من تطبيقات المواد المغناطيسية اكثرها شيوعا هي :

I-7-1- التخزين المغناطيسي

هو تسجيل المعلومات على طبقة سطحية مغناطيسية يغطي بها شريط او قرص او اسطوانة من اللدائن عادة وتتضمن الطبقة جسيمات ناعمة جدا من اكسيد الحديد او مادة مغناطيسية اخرى تتميز بسهولة المغنطة وازالتها، يمكن إدخال المعلومات عن طريق توجيه المغنطة محليًا في اتجاهين محتملين، وبالتالي تنفيذ تخزين ثنائي (0 = مغنطة إيجابية أو 1 = مغنطة سلبية)، يتم الكشف عن اتجاه مغنطتها بواسطة رأس قراءة استقرائي أو مغناطيسي . [28،29]

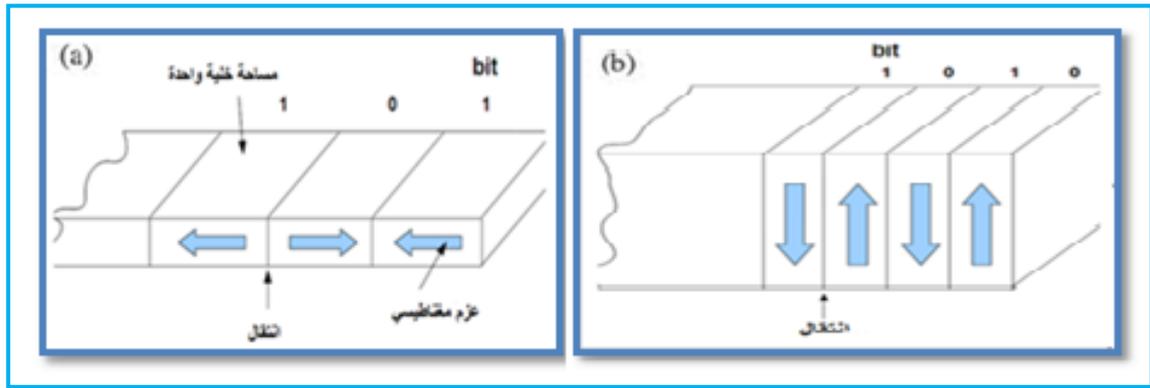
يمكننا تسجيل البيانات بطريقتين هما :

I-7-1-1- التسجيل الطولي

يكون وسط التخزين فيه متوسط و تكون العزوم المغناطيسية في مستوى الشريط و موجهة وفقا للمحور سهل المغنطة(الشكل I-14-a)، سعة التخزين فيه لا تتجاوز 10 GBit/In^2 . [30]

I-7-1-2- التسجيل العرضي

تعتبر هذه الطريقة الأفضل في التخزين حيث تتكون العزوم المغناطيسية موجهة عموديا على سطح الشريط (الشكل I-14-b)، مما يسمح بزيادة عدد وحدات التخزين (les Bits) الشيء الذي يؤدي إلى ارتفاع كثافة التخزين، و تصل كثافة التخزين في هذا النوع إلى 12 Tbit/In^2 . [31]

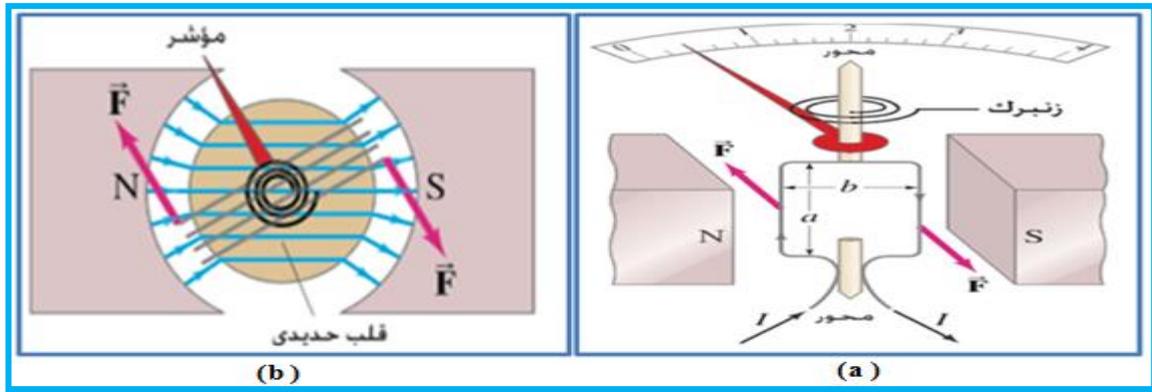


الشكل I-15: اتجاه المغنطة في التسجيل الطولي (a) في التسجيل العرضي (b) [32]

I-7-2- الجلفانوميترات

هو المكون الأساسي لأجهزة القياس الكهربائي ، يتكون الجلفانوميتر من ملف من السلك مع مؤشر مرتبط به معلق في مجال مغناطيسي لمغناطيس دائم كما هو مبين في الشكل I - 16 (a)، عندما يمر تيار في الملف فإنه يتأثر بعزم ازدواج وهذا العزم يعاكس بعزم مروني لل نابض حيث يتساوى العزمان عندما يدور الملف والمؤشر المرتبط به ويصبح المؤشر ساكنا في حالة اتزان .

حتى يكون الجلفانوميتر أكثر فائدة؛ يجب أن يعتمد مقدار انحراف المؤشر طرديا على التيار فقط وليس على الزاوية θ بين الملف والمجال المغناطيسي B ؛ ولهذا يتم استخدام مغناط ذات أقطاب منحنية حول ملف يحيط بقلب حديدي أسطواني كما هو مبين في الشكل I - 16 (b) ، يؤدي الحديد الى تكثيف خطوط المجال المغناطيسي ويكون B دائما موازيا لوجه الملف وتكون القوة عمودية على وجه الملف دائما كما ان ملفوف العزم لا يتغير مع الزاوية وهنا يعتمد على التيار فقط . [33]



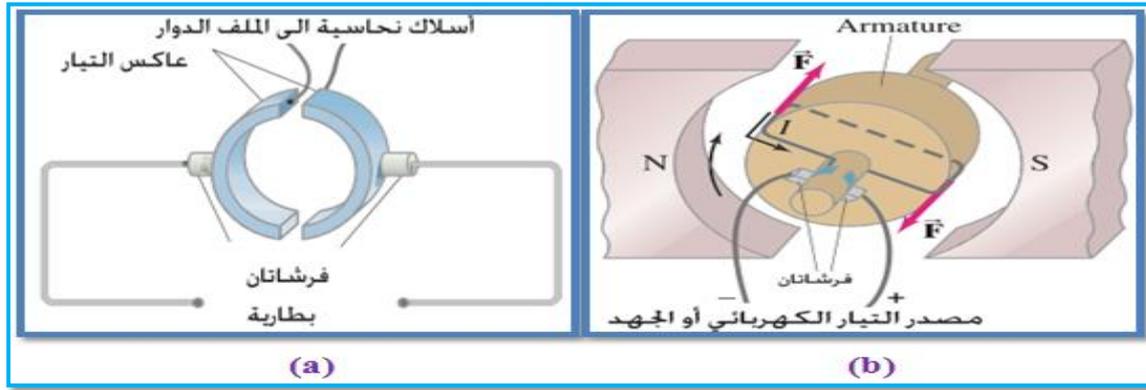
الشكل-I-16: (a) الجلفانوميتر (b) ملف جلفانوميتر على قلب حديدي [33]

I-7-3-المحرك الكهربائي

يعرّف المحرك الكهربائي بأنه جهاز يستخدم لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية ، إذ أنه يعمل بنفس مبدأ عمل الجلفانوميتر، باستثناء عدم وجود النابض ولكن الوشيعه هنا اكبر ويكون ملفوفا على اسطوانة كبيرة تسمى الدوار، يمكن تصنيف المحركات الكهربائية الى عدة انواع منها الموضح في الشكل I - 17، حيث يتم تشغيل محركات التيار المستمر عن طريق توصيلها بمصدر للتيار المستمر كالبطاريات، ويتم توصيل البطارية من خلال أسلاك كهربائية مع ملف معدني يمثل الجزء الدوار من المحرك الكهربائي، وتتصل البطارية بالجزء الدوار عن طريق الفرشتان النحاسية

مفاهيم عامة حول الخصائص المغناطيسية

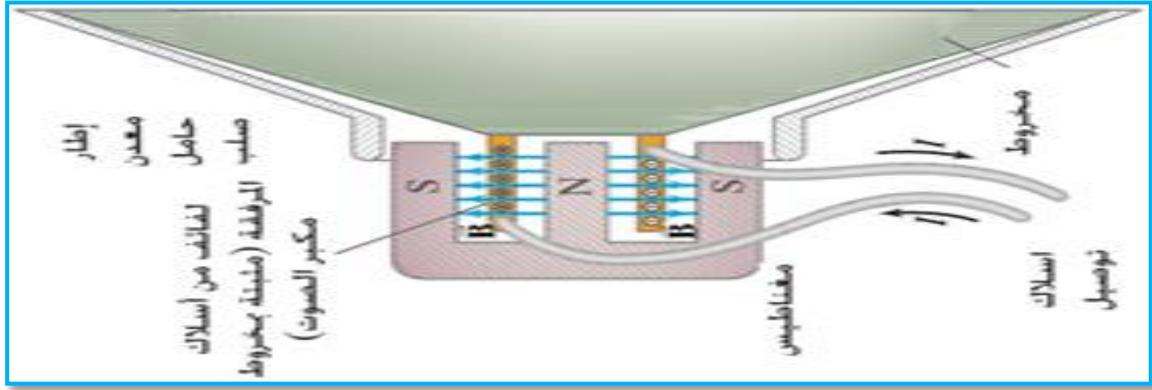
والعاكس الكهربائي، وعند توصيل الجزء الدوار بالبطارية يسري فيه التيار مما يحوله لمغناطيس كهربائي يولد مجالاً مغناطيسياً في محيطه، ويكون الجزء الدوار من المحرك الكهربائي محاطاً بمجال مغناطيسي دائم ناتج عن الجزء الثابت من المحرك، مما يؤدي لتأثر المغناطيس الكهربائي بالمجال المغناطيسي المحيط به، وبالتالي يتم توليد عزم دوران يجعل الملف يدور بحركة دائرية نصف دورة، ولاستمرار دوران هذا الملف فإنه يستخدم العاكس الكهربائي الموضح في الشكل I-16 الذي يعكس اتجاه التيار المار في الملف الدوار كل نصف دورة مما يعني استمرار دورانه. [33]



الشكل I-17: (a) مخطط لمحرك بسيط (b) نظام العاكس والفرشتان [33]

I-7-4- مكبرات الصوت

يعمل مكبر الصوت مثل الذي موضح في الشكل I-18 على تحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة صوتية ويعتمد في مبدأ عمله على كون المغناطيس يؤثر بقوة في السلك الحامل للتيار، عندما يتدفق التيار المتردد لإشارة صوتية خلال سلك الملف فإن هذا الملف يتأثر بقوة ناتجة عن المجال المغناطيس للمغناطيس و يتردد هذا التيار بتردد مماثل لتردد الإشارة الصوتية التي ادت الى توليده مما ينتج مجالاً مغناطيسياً متناوباً في لفائف الصوت واثناء تغير قطبية المجال المغناطيسي في اللفائف فإنها تتحرك نحو الامام والخلف بشكل متبادل مما يؤدي الى اهتزازها، وبالتالي اهتزاز مخروط السماعة المتصل بها ليعاد بذلك انتاج الاصوات الصادرة عن المصدر الاصلي وذلك عن طريق توليد موجات صوتية ناتجة عن الاهتزازات في الهواء حول مكبر الصوت. [33]



الشكل I-18: مكبر الصوت [33]

I-8- الاستنتاج

بما أن هدف هذا العمل هو دراسة الخصائص المغناطيسية للعينة ($Ag/Fe/Si(100)/SiO_2$) وارتباطها بزاوية الحقل المغناطيسي المطبق كان من الواجب منا في هذا الفصل دراسة بعض المفاهيم العامة المرتبطة بهذا الموضوع ، مثل: دراسة تاريخ و منشأ المغناطيسية على مدى قرون عديدة و شرح بعض المفاهيم الاساسية للمغناطيسية، وكذلك دراسة انواع المواد المغناطيسية ومميزاتها ومعرفة سلوكها في وجود الحقل المغناطيسي والعوامل المؤثرة عليها، بالإضافة الى التعرف على بعض تطبيقات هذه المواد.

الفصل الثاني (II)

تقنية تحضير العينة وطريقة دراسة
خصائصها المغناطيسية

تقنية تحضير العينات وطريقة دراسة خصائصها المغناطيسية

إن التطبيقات الواسعة والمهمة في مجال الطبقات الرقيقة دفعت الباحثين إلى استخدام طرق مختلفة لتحضيرها ونتيجة للتطور العلمي فقد تطور تحضير الطبقات و أصبحت على درجة عالية من الدقة في تحديد سمك الطبقة والتحكم فيه وكذلك في خواصه المختلفة فالتجانس يحتاج إلى تقنيات وأجهزة دقيقة ومعقدة وبحاجة إلى تكلفة عالية، و بالتالي قامت عدة دراسات على أساس البحث عن التقنيات والأجهزة التي تساعد في تحضير الأغشية الرقيقة بطرق أكثر دقة وتحكم واقتصادية، هذه الطرق تختلف عن بعضها اختلافا جوهريا، يرجع هذا الاختلاف إلى تنوع مجالات استخدام هذه الطبقات، ويمكن تقسيم الطرق إلى مجموعتين رئيسيتين فيزيائية و كيميائية.

سننظر في هذا الفصل إلى شرح مفهوم الاغشية الرقيقة و طرق تحضيرها ومعايير اختيار التقنية المناسبة، و قد تم اختيار تقنية الترسيب بالتنضيد الجزيئي الموجه (MBE) لتحضير العينة المدروسة في بحثنا الحالي ، إضافة الى ذلك استخدمت تقنية المغنطة الضوئية لتأثير كبير (MOKE) لدراسة الخصائص المغناطيسية لعينتنا، كما سننظر في هذا الفصل الى تعريف وشرح حلقة التخلف المغناطيسي ودراسة الخصائص المغناطيسية المستخرجة منها.

II-1- مفهوم الاغشية الرقيقة

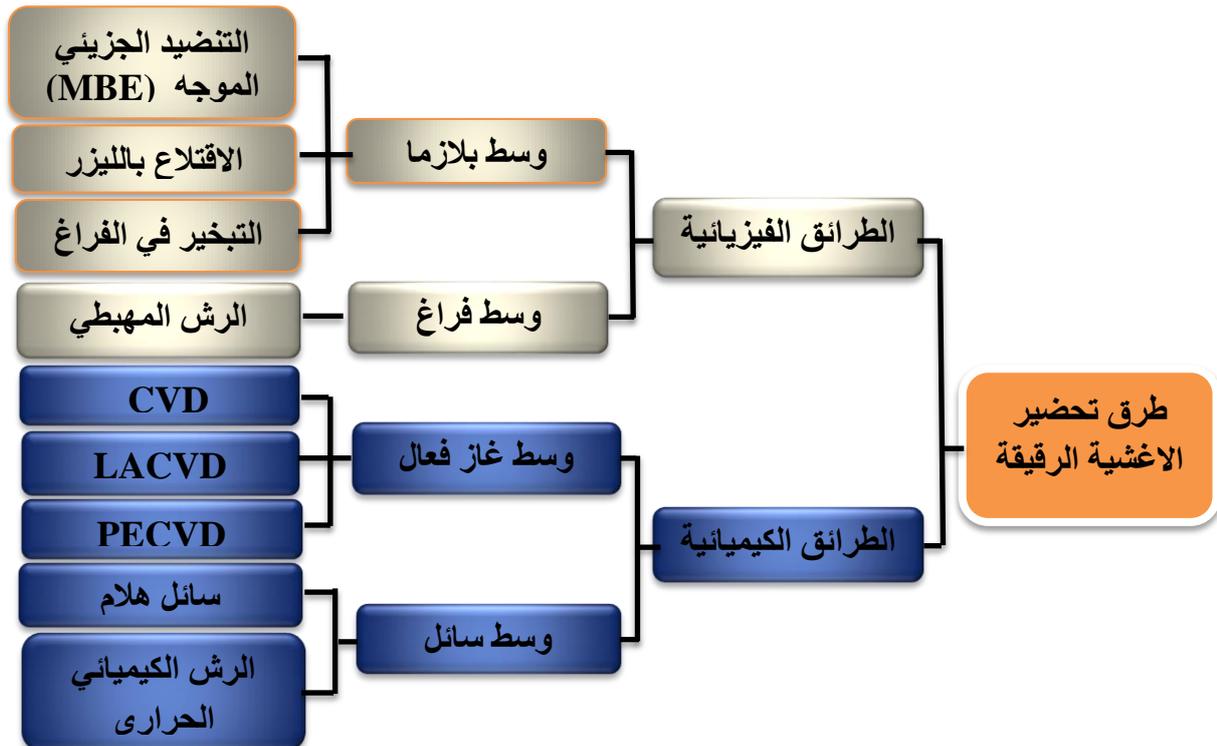
يعبر مصطلح الاغشية الرقيقة عن طبقة أو طبقات عديدة من ذرات المادة لا يتعدى سمكها ميكرو مترا واحدا أو عدة نانومترات، وتوصف الطبقة الرقيقة على أنها مادة ثنائية الأبعاد لان لديها احد الأبعاد مهمل بالنسبة للأبعاد الأخرى، وفي اغلب الحالات يكون هذا البعد هو السمك الذي يكون صغيرا جدا أي من رتبة الانغستروم (\AA)، وهي ناتجة عن تكثيف الذرات أو الجزيئات على ركيزة (قاعدة صلبة) تكون من زجاج أو سليكون أو ألمنيوم حسب طبيعة دراستها وذات مساحة سطحية كبيرة [34،35]، ففي الحالة الصلبة للمادة عموما نهمل دور الحدود (السطوح) في الخصائص، و لكن في حالة الطبقات الرقيقة على العكس من ذلك تأثير السطوح على الخصائص يكوف هو الغالب، حيث كلما زاد انخفاض السمك زاد تأثير السطوح في الخصائص الفيزيائية [36]، تتميز هذه الاغشية بخواص فيزيائية وكيميائية تختلف عن خواص المادة المكونة لها في حالتها الطبيعية ، فبعد سمكها المتناهي في الصغر وكبر نسبة السطح إلى الحجم منحنتها تركيبيا فيزيائيا فريدا يضاهي تركيب أحادي البلورة أحيانا و يفوقها أحيانا أخرى. [37]

ولقد ساهمت خصائص الاغشية الرقيقة في استعمال هذه الاخيرة في العديد من التطبيقات الصناعية و العلمية المختلفة مثل الخلايا الشمسية ، الكواشف ، الليزر، اشباه الموصلاتالخ، حيث نجد هناك عدة انواع لهذه الاغشية نذكر منها [38]:

1. اغشية المعادن و السبائك
2. اغشية مزيج من المعادن والعوازل
3. اغشية غير متبلورة
4. اغشية الموصلات الكهربائية
5. اغشية مغناطيسية

2-II- تقنيات تحضير الأغشية الرقيقة

تعددت طرائق تحضير الأغشية الرقيقة بزيادة التطور العلمي التكنولوجي وتطورت وتعقدت الأجهزة المستخدمة في تحضيرها وازدادت تبعاً لذلك تكلفة التحضير أمام الحصول والتي تشكل عائقاً كبيراً أمام الحصول على أغشية رقيقة بتكلفة مقبولة، ولكل طريقته من طرق تحضير الأغشية مميزات الخاصة بها من حيث الدقة في تحديد السمك وتجانس الغشاء والتي تؤدي الغرض المطلوب منها، كما أن استخدام طريقة دون أخرى يعتمد على عوامل عدة من أهمها: كلفة التحضير، مجال استخدام الأغشية المحضرة، نوع المادة المستخدمة، سرعة التحضير. مع العلم أن بعض الطرق تكون مناسبة لمواد محددة وغير مناسبة لمواد أخرى وبعضها تكون سهلة الاستخدام وبعضها الآخر تكون معقدة أو قليلة الوجود [32]، ونلخص في الشكل II-1 أهم هذه الطرق.



الشكل II-1: مخطط موجز للتقنيات المستخدمة في ترسيب الأغشية الرقيقة [39]

عموما يمكن تقسيم طرق تحضير الأغشية الرقيقة إلى نوعين أساسيين:

II-2-1- الطرق الكيميائية

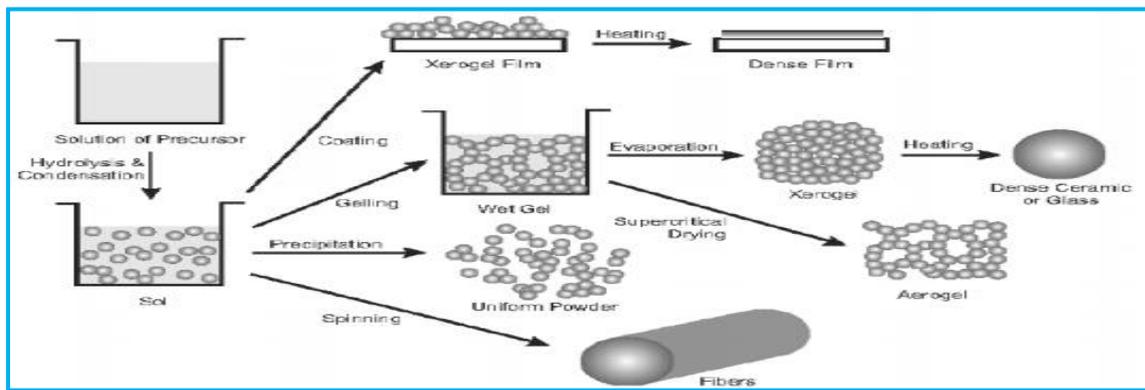
يمكن استخدام عدة طرق كيميائية لترسب مجموعة من المواد ونذكر منها:

II-2-1-1- تقنية سائل هلام (Sol-Gel)

تم اكتشاف هذه التقنية قديما ولكن استخدامها الفعلي بدأ مع بداية ستينيات القرن العشرين لما فيها من مميزات لا نجدها في الطرق الأخرى .

و تعد هذه التقنية من الطرائق الكيميائية التي تستعمل فيها سوائل خلال التحضير لإنتاج مجموعة من المواد العضوية وغير العضوية، ومن أكاسيد المواد الفلزية، حيث لا ينتج عن هذه التقنية أي منتجات ضارة بالبيئة وبذلك تعتبر من الطرق الصديقة للبيئة. بداية يتم اذابة مساحيق حبيبات المواد الأولية التي تم تحضيرها سابقا والتي تسمى السوائل (Précurseurs)، فيتشكل محلول رغوي نتيجة للتفاعلات المصاحبة لإذابة السوائل في المحلول (حمض، قاعدة، كحول...) [40] كما هو موضح في

الشكل التالي:



الشكل II-2: التحولات الكيميائية من السائل الى هلام [41]

و على العكس مما هو مبين في هذا الشكل فإننا لا نر الرواسب نظرا لأبعادها النانوية إلا بواسطة الفحص بأجهزة التكبير العملاقة من ميكروسكوبيات عالية التكبير والدقة. و نستطيع استخدام الناتج في:

تقنية تحضير العينات وطريقة دراسة خصائصها المغناطيسية

■ غمس أسطح لتشكيل منتجات فلزية وغير فلزية حيث تترسب جزيئات على الأسطح في شكل طبقات وبذلك يمكننا التحكم في سمكها حسب الاستخدام و الغرض الموافق.

■ تغطية أسطح المعدات لحمايتها من التآكل والتأكسد

■ إنتاج مساحيق الحبيبات النانوية فائقة النعومة

عند سحب الماء من السائل يتشكل لنا الهلام بعد ذلك نقوم بتجفيفه سريعا للحصول على مواد هلامية، وهي عبارة عن جسيمات نانوية تشكل في تجمعاتها أشكال صلبة عالية النقاوة ولكنها رغوية وغير متماسكة وتتمتع بلزوجة عالية. [40]

تستخدم هذه الطريقة الاصطناعية على نحو متزايد في مختلف المجالات و ذلك لأنها توفر العديد من المميزات أكثر من الطرق التقليدية [42]:

■ درجة حرارة منخفضة للعملية

■ تكوين المادة النهائية التي يمكن التحكم فيها على المستوى الجزيئي

■ تجانس ممتاز

■ سماكة طلاء متحكم فيها

■ سهولة إنتاج الأنظمة المعقدة

اما عيوب هذه التقنية فهي : [42]

■ وقت طويل للعملية

■ سمك الطلاء يقتصر على بضعة ميكروميتر

■ ارتفاع أسعار السلائف

■ السيطرة على العملية الحساسة في كثير من الأحيان

II-2-1-2- تقنية الرش الكيميائي الحراري (Chemical Spray Pyrolysis)

تعد هذه التقنية من الطرائق الكيميائية، تم تطويرها في ستينيات القرن الماضي وذلك للحاجة الماسة الى تقنية أقل تكلفة لتحضير العينات ذات المساحة الكبيرة في الصناعات الفوتوفولتائية. [43] وأول من استخدم هذه الطريقة هما الباحثان (Skarmam و Chamber lin) وذلك عام (1966) حيث عمدا إلى القيام بتحضير اغشية CdS، حيث تم استخدام هذه الطريقة بكثرة في تحضير اغشية (TCOS). [44].

تقنية تحضير العينات وطريقة دراسة خصائصها المغناطيسية

كما أن تقنية الرش الكيميائي الحراري تعتبر من التقنيات الأكثر انتشارا والتي تهدف إلى تحضير الاغشية الرقيقة، ومبدأ عمل هذه التقنية يعتمد على رش المادة المراد ترسيبها بشكل غشاء على قواعد ساخنة (تحت درجة حرارة معينة) وذلك حسب نوع المادة المستخدمة ، فيحدث تفاعل كيميائي حراري بين ذرات المادة والقاعدة الساخنة ، وكنتيجة لهذا التفاعل يتشكل الغشاء الرقيق. [43]

من خلال التحكم بظروف الترسيب المختلفة يمكن التحكم بنسب الترسيب التي تسمح بتحديد سمك الغشاء فعند توفر الظروف المثالية للترسيب فإن الأغشية الرقيقة المحضرة تتميز بالتصاقها الشديد بالركيزة ، وتكون ذات مواصفات جيدة حيث يمكن استخدامها في دراسة العديد من الخصائص الفيزيائية.

إن لتقنية الرش بالانحلال الحراري عدة مزايا مهمة مقارنة بغيرها من التقنيات تتمثل في: [44] [45]

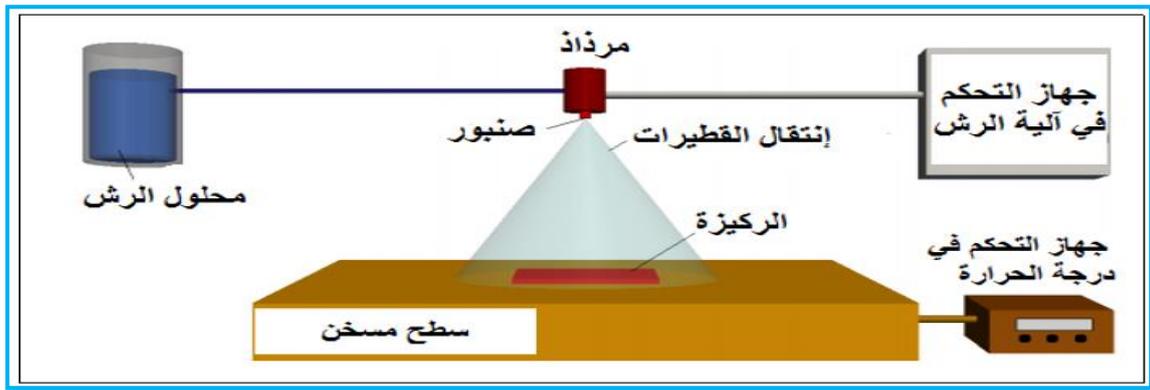
1. يمكن ترسيب الأغشية على مساحة واسعة إذ تكون الاغشية المحضرة ذات التصاقه واستقراره عالية في خواصها الفيزيائية مع مرور الزمن.
2. تقنية غير مكلفة وذلك لكون الأجهزة المستخدمة فيها لا تحتاج الى منظومات معقدة او أجهزة تفرغ .
3. يمكن تحضير أغشية لكثير من المواد ذات درجات الانصهار العالية التي يصعب تحضيرها بطرق أخرى.
4. يمكن تغيير عوامل الترسيب بسهولة للحصول على أغشية بمواصفات منتقاة من حيث الخواص.
5. التركيبية الضوئية والكهربائية وذلك عن طريق خلط مادتين او أكثر أو تغيير تراكيز العناصر المشكلة للغشاء أو تغيير درجة حرارة القاعدة.
6. يتم استخدام تقنية الرش بالانحلال الحراري لترسيب الأغشية الرقيقة على الزجاج
7. تمكن من الترسيب وطلاء الركائز ذات التركيبة المعقدة

أما عيوب هذه التقنية فهي [43]:

تستخدم فيها المحاليل الكيميائية فقط، أي لا يمكن ترسيب مسحوق المادة بشكل مباشر أو باستخدام السبائك. تتطلب الكثير من الجهد والوقت للحصول على أغشية متجانسة.

تتم عملية الترسيب وفق الخطوات الآتية [38]:

1. انحلال القطرات الأولى للمحلول.
 2. انتقال القطيرات في الهواء.
 3. ترسب وتحلل القطيرات على الركيزة للانطلاق في عملية نمو وتطور الغشاء الرقيق.
- الشكل التالي يوضح مخططا لطريقة الرش بالانحلال الحراري لترسيب الأغشية الرقيقة:



الشكل II-3: رسم تخطيطي يوضح عملية الترسيب بواسطة الرش بالانحلال الحراري [45]

II-2-2- الطرق الفيزيائية

يتم استخدام الطرق الفيزيائية على مجموعة من المواد بما في ذلك المعادن، وهي تقنية تسمح بتحويل الذرات من مصدر ما إلى سطح الركيزة، كما أن لها العديد من المزايا أكثر من الترسيب الكيميائي، باعتبار أن الطبقات تكون أكثر كثافة، ومراقبة العينة تكون أسهل بالإضافة إلى أن العملية تكون غير ملوثة و تتمثل في:

II-2-2-1- الاقتلاع بالليزر (Ablation Laser)

تعتمد هذه التقنية في إرسال حزمة من الليزر على المادة المراد ترسيبها، وتكون كثافة استطاعة الليزر عالية جدا بما فيه الكفاية لإخراج كمية من مادة الهدف التي تكون عمودية على سطح الركيزة لتتشكل سحابة من المادة المقتلعة التي تترسب على الركيزة الساخنة وهذا من أجل توفير الطاقة اللازمة لتحفيز تبلور الطبقة الرقيقة بحيث هذه الأخيرة تكون موضوعة على التوازي مع الهدف كما هو مبين في الشكل (II-04) ويمكننا وصف عملية الاستئصال بالليزر وفقا لأربع مراحل [36]:

- 1 . تفاعل المادة مع الليزر
- 2 . تشكيل سحابة من البلازما
- 3 . التوسع في السحابة
- 4 . تفاعل البلازما مع الركيزة

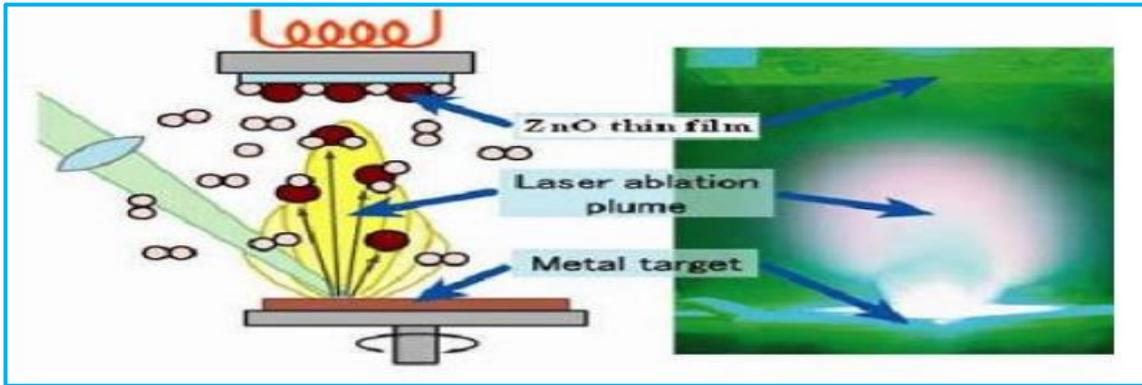
وتمتاز هذه التقنية بعدة إيجابيات نتلخص فيما يأتي[46]:

- الدقة - يمكن تركيز شعاع الليزر على بقعة يبلغ قطرها بضع مئات من الميكرومترات
- انخفاض مدة النبض بالليزر وإمكانية التحكم فيه مما يؤدي إلى تقليل التأثيرات الحرارية على مستوى المواد.

- نظافة عمليات الليزر، لا تنتج أي منتجات تلوث البيئة أو تنتج القليل منها
- مرونة أداة الليزر، مما يسمح بتطبيقها على مجموعة واسعة من المواد: المعادن ، وأشباه الموصلات ، والسيراميك ، والبلاستيك إلخ.

اما عيوب هذه التقنية فتتمثل في :

- صعوبة الحصول على طبقات موحدة على أبعاد كبيرة. [46]
- تطلب دقة عالية في التعامل مع الليزر بالإضافة الى تكلفته العالية. [47]



الشكل II-4: عملية الاقتلاع بالليزر [48]

II-2-2-2-2- تقنية الترسيب بالتنضيد الجزيئي الموجه (MBE)

II-2-2-2-1- تعريف التنضيد الجزيئي الموجه

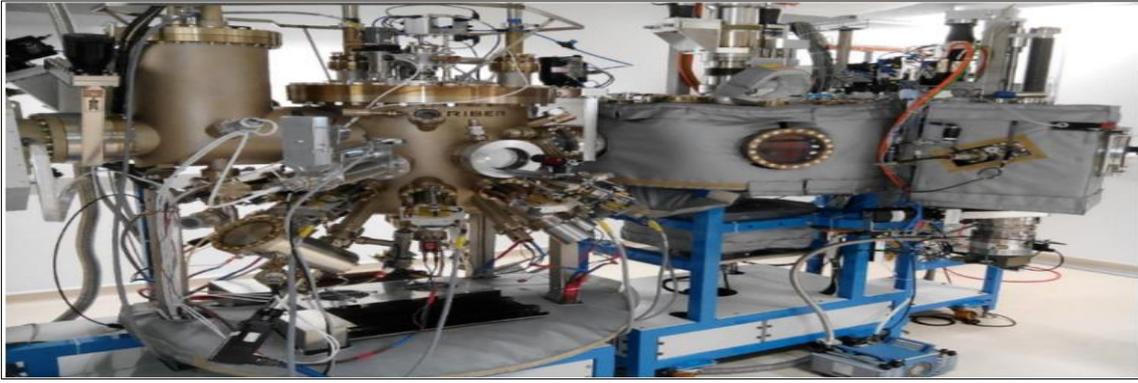
مصطلح **التنضيد الفوقي** "l'épitaxie" أصله يوناني "épi"- ويعني فوق و "taxie" تعني النظام، اقترحه عالم المعادن الفرنسي ML.Royer في عام 1928، للإشارة إلى ظاهرة التوجه

تقنية تحضير العينات وطريقة دراسة خصائصها المغناطيسية

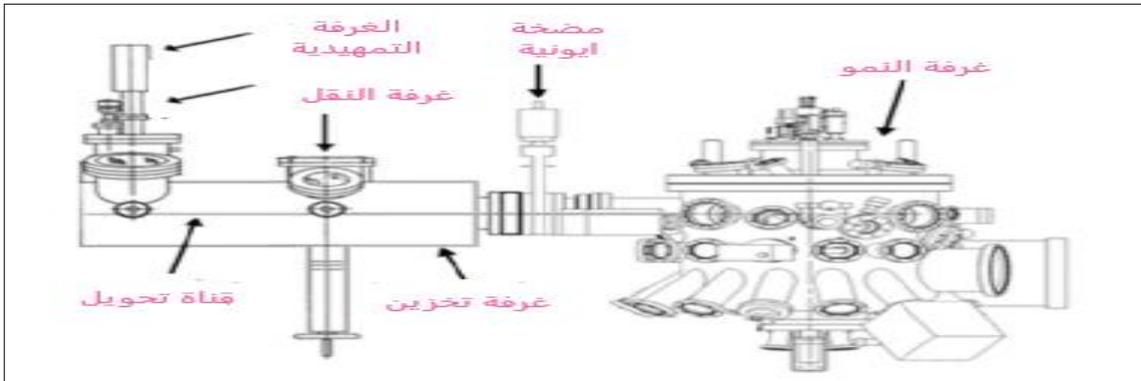
منخفضة ومن رتبة طبقة واحدة لكل ثانية (1MC/S)، الشيء الذي يساعد على انتشار جيد لذرات المادة المترسبة مما يسمح بتكوين أسطح ملساء ذات نوعية جيدة خالية من التضاريس الخشنة [53,52,51]

II-2-2-3- وصف هيكل تقنية التنضيد الجزيني الموجه

لقد تم تحضير العينة Ag/ Fe /Si/SiO₂ عن طريق تقنية التنضيد الفوقي بالقذف الجزئي الموضح هيكلها في الشكل II-5، والتي يتكون هيكلها من الغرف المرتبة كما في المخطط البياني المبين في الشكل II-6:



الشكل II-5: هيكل تقنية الترسيب بالقذف الجزئي الموجه [54]



الشكل II-6: تخطيط بياني لهيكل تقنية الترسيب بالقذف الجزئي الموجه [55]

تقنية تحضير العينات وطريقة دراسة خصائصها المغناطيسية

1. **الغرفة التمهيدية** تستخدم أساسا لإدخال الركائز إلى الغرفة الرئيسية والتي ينخفض الضغط فيها حتى 10^{-8} Torr بواسطة مضخة تيربو-جزيئية (turbo moléculaire).
2. **غرفة النقل** دورها عزل غرفة النمو عن باقي الغرف الأخرى.
3. **غرفة التخزين** تقوم بحفظ و تخزين العينات التي تم تحضيرها، قدرة استيعابها تصل إلى ستة عينات.
4. **غرفة النمو** تحتوي على حامل فائق الفراغ ينخفض الضغط فيها إلى 10^{-11} Torr و يتحقق هذا الضغط بواسطة مجموعة من المضخات موضحة في الشكل II-06 :

 - **المضخة الدوارة** تقوم بتخفيض الضغط الجوي إلى الضغط الابتدائي الذي يقدر ب 10^{-3} Torr.
 - **مضخة التيربو- جزيئية:** دورها تخفيض الضغط الابتدائي إلى الضغط الثانوي الذي يقدر ب 10^{-11} Torr.
 - **المضخة الأيونية** التي تشتغل دائما و تكون في حالة تأهب في حالة توقف أو تعطل في الليل، أو في نهاية الأسبوع أو العطلة لتجنب ضخ الزيت من المضخة الدوارة وتجمعه في مضخة التيربو جزيئية.
 - **مضخة التبريد** وهي حلقة مبردة محيطية بغرفة النمو أين يسري النيتروجين السائل عند 77 K كما تعمل على امتصاص الجزيئات المتبقية على الجدران وذلك للحفاظ على الضغط المنخفض في غرفة النمو. [55]

II-2-2-2-4- مزايا تقنية التنضيد الجزيئي الموجه

تتمثل المزايا الرئيسية لهذه التقنية فيما يلي :

1. سرعة الترسيب ضعيفة (بضعة أنغستروم في الثانية) مما يساعد على المراقبة الجيدة لسمك الطبقات المترسبة [57]
2. التحكم بالنسب الكيميائية لتكوين طبقات مختلفة الصفات الكترونيا و بصريا [58]
3. ظروف فراغ عالية جداً تضمن نقاءً مثاليًا للمادة المترسبة [59]
4. إمكانية تغيير المواد ليتم إيداعها بسهولة وبدون تعقيدات [59]
5. ترسيب الأغشية في درجة حرارة منخفضة [60]
6. تعتبر من التقنيات الدقيقة جدا القادرة على توضيح طبقة ذرية على أخرى.

اما عيوب هذه التقنية فهي [60،61]:

1. باهظة الثمن
2. التفاعلات الجانبية للمواد المبخرة التي تكون على اتصال فيما بينها
3. لا توجد تفاعلات تنظيف أو تنقية في التقنية
4. الفراغ العالي جداً (10^{-9} - 10^{-7} Torr) وهذا يتطلب تقنيات ثقيلة (مضخات ، مواد خاصة ..)

3-II- معايير اختيار تقنية الترسيب المناسبة

في الأونة الأخيرة تم تطوير عدة تقنيات تم الاعتماد عليها في ترسيب الأغشية الرقيقة، فألية النمو والتطور تلعب دورا مهما في التأثير في الخصائص المختلفة للأغشية الرقيقة ، فعندما نقوم بترسيب مادة معينة باستخدام تقنيتين مختلفتين نتحصل على نتائج مختلفة واحيانا ما تكون مختلفة الخصائص الفيزيائية ، وذلك بسبب اعتماد الاغشية الرقيقة بشكل كبير على البنية والتشكل وكذلك طبيعة الشوائب الموجودة في الخصائص الضوئية والكهربائية، وهو ما يستوجب دراسة شاملة ومفصلة عن العلاقة القائمة بين تقنيات الترسيب المختلفة و خصائص الأغشية الرقيقة.[62] انطلاقا من خصائص ومعايير ترسيب مختلف الأغشية الرقيقة تم تقديم مقارنة بين بعض تقنيات الترسيب كما هو موضح في الجدول:

المطابقة	نقاء المادة المترسبة	اعطال كهربائية	التحكم في السمك	سطح كبير	
○	○○	**		○○	الرش بالطلي (Pulvérisation)
○	○○	○	○○	○	ترسيب المعادن + الأكسدة (Dépôt métal + Oxydation)
○○	○	○○	○○	○○○	MOCVD
○○○	○	○○	○○○	○○○	ALD
**	○○○	○○○	○○	○○○	الترسيب الجزيئي (MBE) الموجه

الجدول II-1: مقارنة بين بعض التقنيات المختلفة لترسيب الأغشية الرقيقة (○ = جيد، * = سيئ).[63]

4-II-4- تقنية تحليل الخصائص المغناطيسية للعيينة

لدراسة الخصائص المغناطيسية للعيينة الناتجة، استخدمت تقنية المغنطو- ضوئية لتأثير كير، ما يرمز لها (MOKE)

1-4-II-1- تعريف تقنية المغنطو- ضوئية لتأثير كير(MOKE)

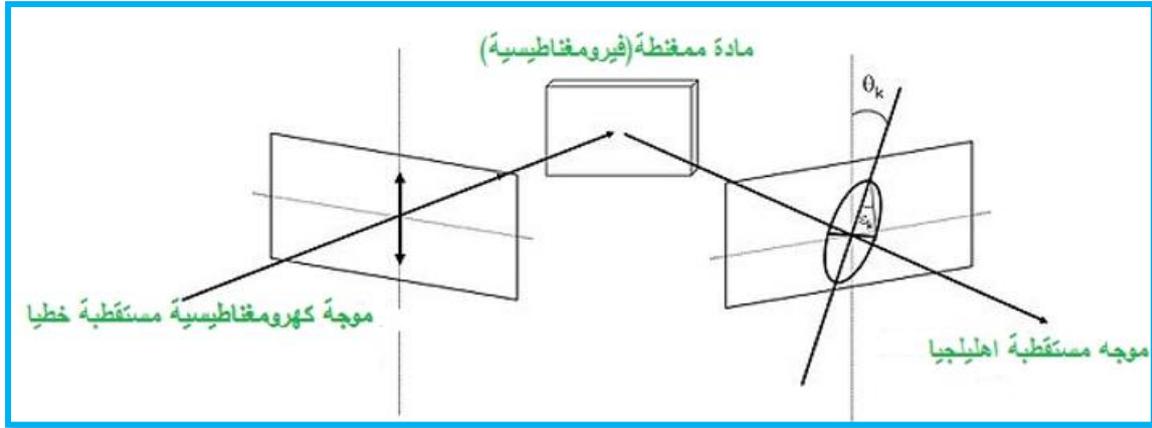
تسمى بالإنجليزية (Magneto – optic kerr effect) واختصارها (MOKE) كما يوحي الاسم، فهي التفاعلات بين الضوء والمجالات المغناطيسية. تم اكتشافه من قبل جون كير (John Kerr)، بينما كان يفحص التغيير في الضوء المستقطب المنعكس من قطب كهرومغناطيسي مصقول، في عام 1877 ذكر في مقاله الأولى "حول دوران مستوى الاستقطاب عن طريق الانعكاس من قطب المغناطيس"، والذي يُعرف باسم تأثير كير القطبي. لاحقاً ، في العام التالي (1878) ، جاء بالمقالة الثانية بالقول "انعكاس الضوء المستقطب من السطح الاستوائي للمغناطيس" ، والذي يُعرف باسم تأثير كير الطولي. في كلتا التجربتين، مبدأ العملية هو نفسه. حيث انه عندما ينعكس شعاع من الضوء المستقطب خطياً من سطح ممغنط، يغير مستوى استقطابه (تأثير كير) ويتم الكشف عن الاتجاهات المختلفة للمغطة على سطح مجالات مختلفة. تسمح هذه التقنية بدراسة الخصائص المغناطيسية مثل التباين المغناطيسي، العزوم المغناطيسية، من بين أمور أخرى في الأنظمة مثل الألواح الرقيقة... إلخ، على الرغم من أن MOKE معروفة منذ أكثر من 100 عام. وسبب ذلك البساطة، MOKE هي واحدة من أكثر التقنيات المستخدمة على نطاق واسع لدراسة الأغشية المغناطيسية الرقيقة. [64]

2-4-II-2- مبدأ عمل تقنية المغنطو- ضوئية لتأثير كير

يتم وضع عينة فيرومغناطيسية في ملف يسمح بتطبيق مجال مغناطيسي عليها (الشكل II-7) مثل مادة الحديد المستخدمة في العينة المدروسة في هذا العمل. يتم إرسال موجة أحادية اللون مستقطبة خطياً فوق العينة بالتوازي مع اتجاه المغنطة (MOKE الطولي)، يمكن تقسيم هذه الموجة إلى مكونين: أحدهما باستقطاب دائري يمين والآخر باستقطاب دائري يسار، نظراً لاختلاف سرعة كل مكون، يتغير استقطاب الموجة بعد الانعكاس حيث استقطاب الموجة الناتجة لا يكون نفسه استقطاب الموجة الواردة(المسلطة). في الواقع، يصبح استقطابها إهليلجياً وينحرف محورها الرئيسي بزواوية معينة من اتجاه استقطاب الموجة الساقطة. زاوية الدوران θ_k هي زاوية دوران كير وتناسب مع

تقنية تحضير العينات وطريقة دراسة خصائصها المغناطيسية

مغطة العينة. من خلال هذه التجربة من الممكن متابعة تطور المغطة بدلالة الحقل المطبق انطلاقاً من زاوية دوران Kerr. [65]



الشكل II-7: تغير استقطاب الموجه المسلطة على مادة مغناطيسية (تأثير كير) [60]

II-3-4- انواع تأثير المغطو- ضوئية لتأثير كير

يوجد ثلاث أنواع للمغطة الضوئية لتأثير Kerr كما هو موضح في الشكل II-08 وهي [66]:

1. تأثير كير الطولي

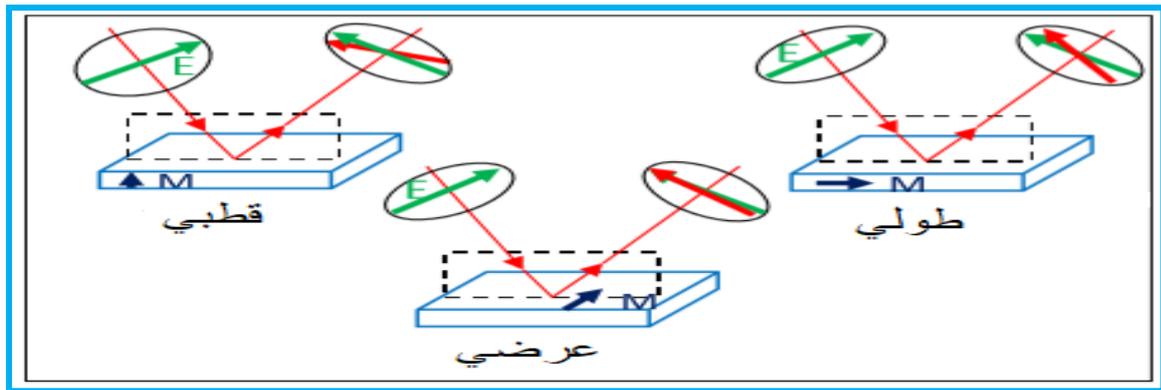
تكون المغطة في نفس مستوي ورود و انعكاس الموجه الكهرومغناطيسية و موازية لسطح العينة.

2. تأثير كير العرضي

تكون المغطة الناتجة عمودية على مستوي ورود الموجه الكهرومغناطيسية و موازية لسطح العينة.

3. تأثير كير القطبي

المغطة الناتجة عمودية على مستوي العينة لكن موازية لمستوى ورود الموجه الكهرومغناطيسية.



الشكل II-8: رسم تخطيطي لأنواع تأثير Kerr [67]

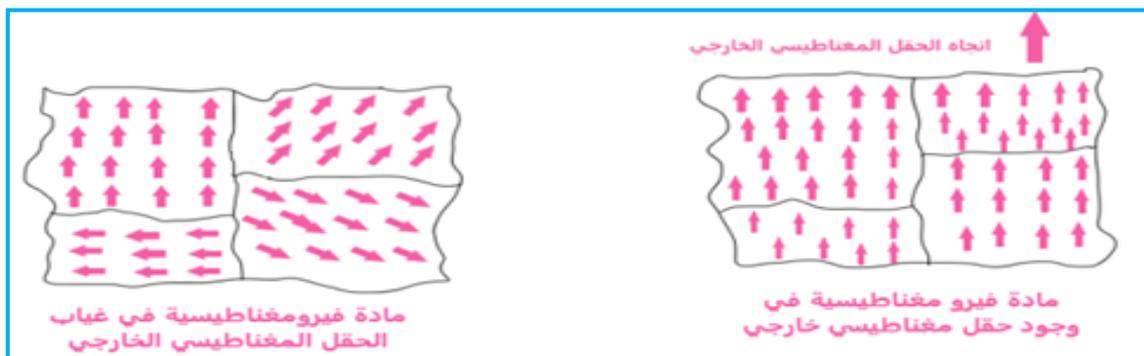
II-4-4- ايجابيات تقنية المغطو- ضوئية لتأثير كير

تمتلك هذه التقنية الكثير من الايجابيات منها [60،68] :

1. تمكنا من دراسة عينات متعددة الطبقات و ذلك لإمكانية اختراق الموجة الكهرومغناطيسية لمادة سمكها من رتبة الانشتغروم.
2. مدة إجراء القياسات صغير جدا
3. حساسية كبيرة لسمك المادة وهي مناسبة بشكل خاص لدراسة الاغشية رقيقة
4. تعتبر أهم ميزة لتقنية MOKE مقارنة بالتقنيات الأخرى هي بساطة التنفيذ ومرونة بيئة العينة.

II-5- علاقة تقنية المغطو-ضوئية بالخصائص المغناطيسية للحديد

باستخدام تقنية المغطو ضوئية لتأثير Kerr، يمكننا دراسة الخصائص المغناطيسية لمادة الحديد المتواجدة كغشاء رقيق داخل العينة $Ag/Fe/Si(100)/SiO_2$ ، وذلك بتحليل بيان التخلف المغناطيسي الناتج من رد فعل العينة المغناطيسي بعد تعريضها لحقل مغناطيسي خارجي، حيث أن الغشاء الرقيق للحديد وكما نعلم عبارة على مادة مغناطيسية تحوي عزوما مغناطيسية موزعة في مناطق متعددة الاتجاهات وتكون هذه الاتجاهات مرتبة بشكل يسمح بانعدام المغنطة الكلية وذلك عند غياب الحقل الخارجي كما في الشكل II-9، وعليه يكون الحديد في حالة مستقرة، ويكون الحديد في حالة مغناطيسية وذلك عند تطبيق حقل مغناطيسي خارجي حيث تتأثر العزوم وتتغير اتجاهاتها تدريجيا لتبدأ مرحلة ظهور المغنطة في سطح الحديد إلى غاية أن تصبح جميع العزوم مسايرة لاتجاه الحقل الخارجي كما في الشكل II-9 وتصل عندها مادة الحديد إلى مرحلة التشبع، وعليه فان استجابة مغنطة الحديد إلى الحقل الخارجي سميت بحلقة التخلف المغناطيسي. [38]



الشكل II-9: رسم تخطيطي لتأثير الحقل المغناطيسي الخارجي على مادة فيرو مغناطيسية. [38]

6-II- حلقة التخلف المغناطيسي

1-6-II- تعريف التخلف المغناطيسي (magnetic hysteresis)

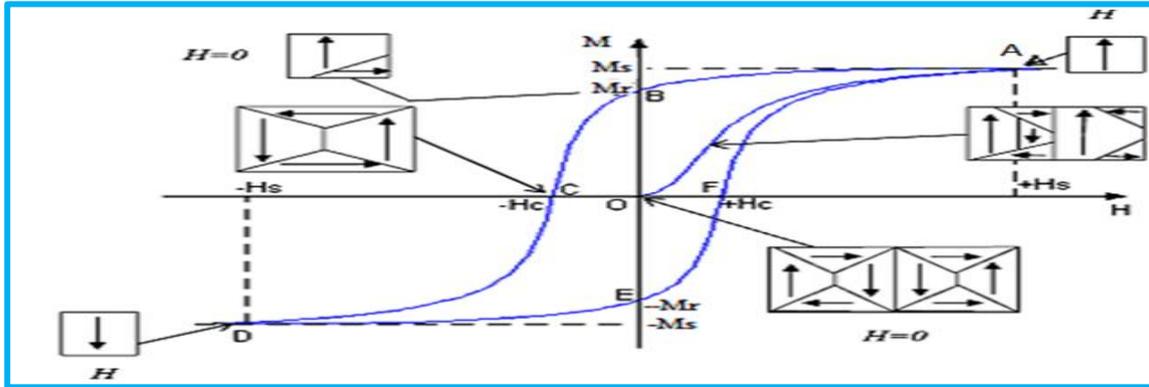
كلمة hystérésis مشتق من hystéry وتعني التاريخ او زمن التخلف وسميت كذلك لان المادة تتخلف في الاستجابة للحقل المغناطيسي الخارجي وتحتفظ بمقدار معين للمغطة في غياب هذا الحقل وهو عبارة عن تغير قيمة المغطة الكلية M لمادة فيرو مغناطيسية مثل الحديد بدلالة الحقل المغناطيسي المطبق عليها H_{ext} والذي يمثل قوة تمغنط المادة الفيرومغناطيسية . [69]

2-6-II- شرح حلقة التخلف المغناطيسي

عند وضع مادة فيرو مغناطيسية في مجال مغناطيسي H ، فان العلاقة بين شدة التمغنط للمادة والمجال المغناطيسي المسلط عليها يوضحها الشكل 10-II حيث نلاحظ انه عند انعدام الحقل المطبق $H=0$ تكون $M=0$ ، وعند زيادة الحقل المغناطيسي المطبق H فان العزوم الذرية ستتخذ نفس اتجاهه وتكون قيمته H_s وتزداد قيمة المغطة M حتى تصل الى مغطة التشبع المغناطيسي (saturation magnetization) اي النقطة A وبالتالي $M=M_s$ ، مهما زاد مقدار الحقل المغناطيسي المطبق عن قيمة التشبع يبقى مقدار مغطة التشبع نفسه. تتناقص قيمة المغطة M بتناقص مقدار الحقل المغناطيسي H ولكن على خط عودة اخر، وعند انعدام قيمة H تبقى هناك مغطة (النقطة B) اي ان بعض العزوم الذرية تبقى في نفس اتجاهها ويتولد ما نسميه بالمغانط الدائمة (permanent magnets) مشكلة هنا ما يسمى بالمغطة المتبقية او المتخلفة (magnetization) Mr والتي تعتبر قيمتها ميزة اساسية في تطبيقات الاغشية الرقيقة المغناطيسية في المجالات العلمية حيث انه كلما كانت قيمة هذه الاخيرة كبيرة ، كلما استنتجنا ان الطبقات الرقيقة تحتفظ بالمغطة لمدة اطول، ولإزالة هذا المقدار من المغطة يجب تطبيق حقل مغناطيسي معاكس يسمى هذا الاخير بالحقل القسري او الحقل القاهري H_c (coercive field) وتدل الاشارة (-) على اتجاه الحقل (النقطة C)، وبلاستمرار في تطبيق الحقل الخارجي في هذا الاتجاه نلاحظ زيادة في قيمة المغطة لكن في الاتجاه السالب الى ان تصل العينة الى نقطة التشبع والتي تسمى ايضا بمغطة التشبع $-M_s$ اي ان اصطفاف العزوم المغناطيسية يكون متجه في نفس اتجاه المناطق المغناطيسية ، لكن في الاتجاه العكسي (النقطة D)، ويسمى الحقل المغناطيسي في هذه النقطة بحقل التشبع $-H_s$ ، ولكي تكتمل دورة التخلف يجب اعادة تصغير قيمة الحقل الخارجي المطبق لكن في الاتجاه العكسي فنلاحظ عودة نقصان قيمة المغطة الى ان تصبح $-Mr$ (النقطة E) عند انعدام هذا الاخير، وللتخلص من المغطة المتبقية يجب تطبيق حقل H_c (النقطة F)، وعند الاستمرار في رفع مقدار هذا الحقل تصل المادة مرة

تقنية تحضير العينات وطريقة دراسة خصائصها المغناطيسية

اخرى الى نقطة التشبع M_s عند القيمة H_s من الحقل المطبق، وتسمى هذه الظاهرة بالتخلف المغناطيسي (magnetic hysteresis) وتدعى الدورة الكاملة المغلقة بدورة التخلف المغناطيسي (Hysteris loop) ويمثل ايضا بيان استجابة المادة الفيرومغناطيسية الصلبة للحقل المغناطيسي الخارجي، ويعتمد شكلها على نوع المادة [70] .



الشكل II-10: دورة التخلف المغناطيسي لمادة فيرومغناطيسية [71]

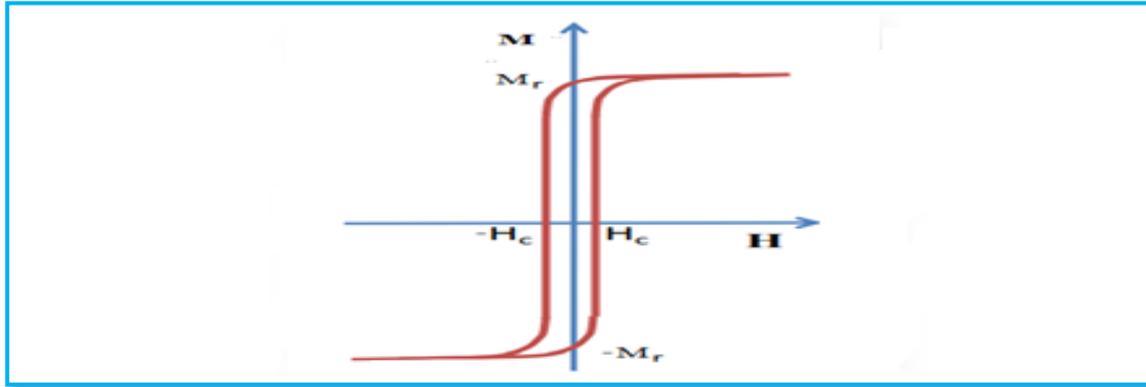
وعليه فان ظاهرة التخلف المغناطيسي تحدث في المواد الفيرومغناطيسية فقط مثل الحديد ومن خصائصها ان التماغنط لا يندعم بانعدام الحقل الخارجي المطبق وتحتفظ بمغنطتها . من خلال ما سبق يمكننا القول انه اذا وضعنا مادة في مجال مغناطيسي خارجي فإن شدة المغنطة M تتعلق بقيمتها بنوع المادة وشدة المجال المغناطيسي H وكذلك درجة الحرارة، حسب تأثير المجال المغناطيسي الخارجي تصنف هذه المواد إلى صنفين رئيسيين هما:

II-6-2-1- المواد الفيرومغناطيسية الصلبة

لا يمكن مغنطة هذه المواد بصورة سريعة، لأنها لا تصل الى قيمة التشبع بطريقة سهلة، فاذا سلط عليه مجال مغناطيسي خارجي فإنها تحتفظ ببعض مغناطيسيتها حتى بعد زوال المجال الخارجي، وتتمثل هذه المواد في الفولاذ (steel)، حيث يوضح الشكل II-10 السلوك المثالي للدورة المغناطيسية في المواد الفيرومغناطيسية الصلبة.

I-6-2-2- المواد الفيرومغناطيسية اللينة

يمكن مغنطة هذه المواد بسهولة عند تسليط حقل مغناطيسي خارجي ولكنها تفقده بسهولة عند زواله مثل الحديد المطاوع، حيث يوضح الشكل **11-II** السلوك المثالي للدورة المغناطيسية في المواد الفيرومغناطيسية اللينة، ولكن عمليا لا يمكن الحصول على ذلك لان دورة التخلف المغناطيسية للمواد الفيرومغناطيسية الرخوة تكون ضيقة جدا. [72]



الشكل **11-II**: دورة التخلف المغناطيسي لمادة فيرو مغناطيسية لينة [72]

II-7- الخصائص المغناطيسية المستخرجة من بيان الهسترة

II-7-1- طبيعة الغشاء المدروس

من خلال شكل استجابة العينة للحقل المغناطيسي المطبق عليها نستطيع التعرف على طبيعة الغشاء المدروس ان كان فيرومغناطيسي ام لا ، فاذا كانت الاستجابة ترسم منحنى تخلف مغناطيسي فان العينة فيرومغناطيسية، ومن خلا شكلها نستطيع استنتاج اتجاه التمغنط اذا كان سهل او صعب ، حيث يكون شكلها شديد الانحدار وذلك وفق اتجاه صعب التمغنط وبالتالي صعوبة وصول المادة الى مغنطة التشبع، اما اذا كان اتجاه الزاوية المطبق فيه الحقل المغناطيسي سهل التمغنط سنتحصل على دورة تخلف مربعة الشكل تقريبا ومن خلال هذا البيان ايضا يمكن تصنيف المواد فيرو مغناطيسية الى صنفين مواد فيرو مغناطيسية صلبة تمتلك بيان تخلف مغناطيسي واسع المساحة واخرى رخوة بيانها ضيق، بالإضافة الى امكانية تحديد الخصائص العامة للمواد فيرو مغناطيسية. [73،74]

II-7-2- مغنطة التشبع

هي مقدار مميز لبيان التخلف المغناطيسي وتعرف بانها الحالة التي تكون فيها جميع العزوم المغناطيسية المكونة للمادة في اتجاه واحد اي موازي لاتجاه الحقل المطبق حيث يعطى مجموع هذه العزوم مغنطة كلية تعرف باسم مغنطة التشبع ونرمز لها بالرمز Ms، وحسب هذه القيمة يتم استخدام المواد الفيرومغناطيسية في عدة تطبيقات مختلفة. [75]

II-7-3- المغنطة المتبقية

عند انعدام الحقل المغناطيسي المطبق على المادة الفيرومغناطيسية نلاحظ ان هناك مجموعة من العزوم المغناطيسية تبقى في نفس اتجاه وتعرف عندئذ بالمغنطة المتبقية ويرمز لها بالرمز Mr وتعتبر ايضا من المقادير الرئيسية في اختيار التطبيق المناسب للعينة المناسبة فمثلا بالنسبة للمغانط الدائمة يجب ان نختار مواد ذات مغنطة متبقية كبيرة القيمة. [38]

II-7-4- الحقل القسري (القهري)

يعرف على أنه حقل مغناطيسي يطبق لإلغاء المغنطة المتبقية في مادة الحديد، حيث يتأثر بالخصائص المجهرية للطبقة البنيوية مثل: الشكل، الملمس و حجم الحبيبات البلورية، ويعرف ايضا بالحقل الحرج و يرمز له بالرمز Hc وتعلق قيمته بقيمة المغنطة المتبقية فكلما كانت قيمة هذه الاخيرة كبيرة وجب تطبيق حقل قسري كبير، فمن خلال قيمة Hc يمكننا معرفة طبيعة التطبيقات الملائمة للمواد، فعندما تكون قيمته صغيرة كلما كانت المادة مناسبة لاستخدامها في المحولات، و كلما كان اكبر يمكننا استخدامه في التخزين المغناطيسي، ويعتبر ايضا من الخصائص المميزة لبيان التخلف المغناطيسي. [74]

II-7-5- حقل التشبع

هو الحقل الذي يجب ان نطبقه لكي نتجه جميع العزوم المغناطيسية داخل المادة الفيرومغناطيسية في اتجاه واحد وتصل بذلك المادة الفيرومغناطيسية الى مغنطة التشبع Ms، حيث نستطيع استخراجها من بيان التخلف المغناطيسي بتطبيق نظام Origine وهو عبارة عن فاصلة نقطة التشبع ويرمز اليه ب Hs وتغير قيمته بتغير طبيعة المادة نفسها وذلك حسب الاتجاه المطبق فيه الحقل المغناطيسي (سهل او صعب) ويعتبر خاصية مميزة للمادة. [38]

II-7-6- التربيع المغناطيسي

يرمز له بالرمز S هو النسبة بين المغنطة المتبقية ومغنطة التشبع اي: $S = Ms/Mr$ ، ومن خلال قيمته يمكننا معرفة مجال تطبيق المادة المغناطيسية، فلما تكون قيمته كبيرة فان المادة نستخدمها في التخزين المغناطيسي لان المادة تحافظ على اتجاه المغنطة لمدة طويلة ، اما عندما تكون قيمته صغيرة فإننا نستخدمه في المحولات بسبب سهولة تغيير اتجاه المغنطة ، واكبر قيمة للتربيع المغناطيسي هي 1 لذلك نعتبره خاصية مغناطيسية للمادة. [76]

II-7-7- القابلية المغناطيسية

تعبّر عن قابلية التمعنط وهي النسبة بين مغنطة التشبع وحقل التشبع اي $\chi = Ms/Hs$ ، ويرمز لها بالرمز χ ليس لها وحدة قياس في النظام الدولي للوحدات، حيث تتغير قيمتها من مادة الى اخرى. [77]

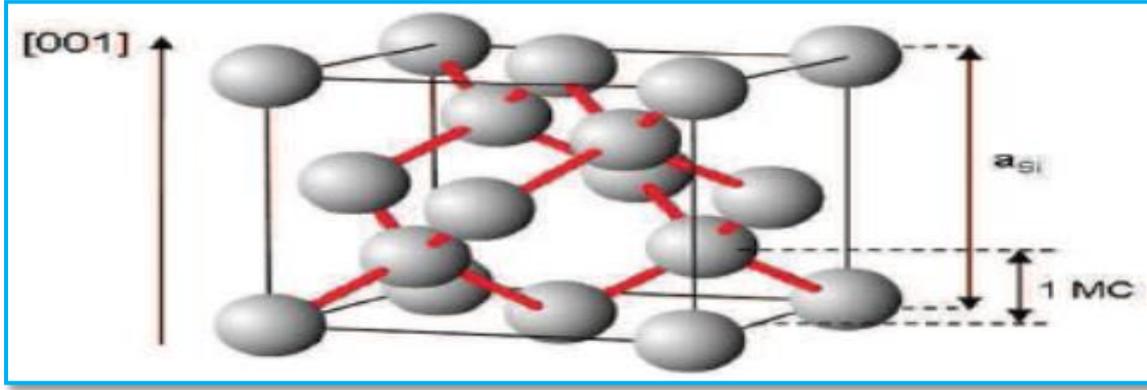
II-8- طريقة تحضير العينة

حضرت العينات المدروسة في هذا العمل من طرف البروفيسور شمام فيصل في مخبر فيزياء الجسم الصلب و المغناطيسية (VSM) في جامعة لوفن (Leuven) البلجيكية.

II-8-1- طريقة تحضير المسند Si/SiO₂(100)

يوجد السليسيوم في العمود الرابع (IV) من الجدول الدوري للعناصر ومبلور طبقا لبنية الماس [78] (الشكل II -12)، له ثابت شبكة يساوي $a_{Si} = 5.431 \text{ \AA}$. ولقد كثرت في الوقت الحاضر استخداماته، لأنه يتواجد في القشرة الأرضية بنسبة 20٪ وهو مادة غير سامة، بالإضافة إلى خصائصه الهامة كأشباه الموصلات.

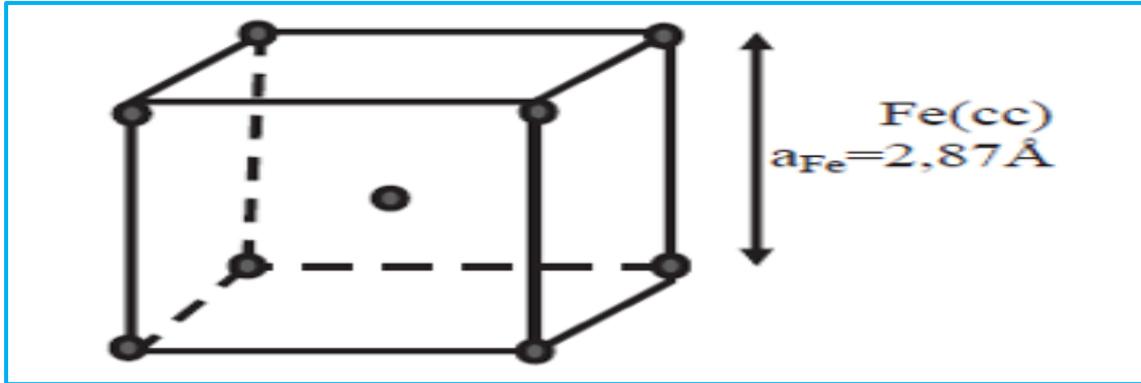
أكسيده الطبيعي هو SiO_2 ولقد تم تحضير ركيزة Si/SiO_2 متعددة البلورات بالترسيب وذلك باستخدام القذف الإلكتروني لطبقة رقيقة من السيلكون متعدد البلورات Si ذات سمك 1000 \AA ، على ركيزة من أكسيد السليسيوم SiO_2 أحادي التبلور وبالتالي ينتج مسند السليسيوم متعدد التبلور المصقول على الوجه (100).



الشكل II-12: رسم تخطيطي للبنية الماسية [78]

II-8-2- طريقة تحضير طبقة الحديد

تعتبر مادة الحديد مادة فيرومغناطيسية لها بنية مكعبة ممرزة الجسم ثابت شبكتها $a_{Fe} = 2.866 \text{ \AA}$ [60]، كما هو مبين في الشكل II-13، ولقد تم تحضير طبقة الحديد في غرفة النمو لتقنية التنضيد الفوقي عن طريق القذف الإلكتروني بتوتر 10.6 kv و تيار 1.3 A و بسرعة ترسيب 0.3 A/s وهذا في درجة حرارة الغرفة و تحت فراغ 10^{-10} Torr، حيث يبلغ سمك هذه الطبقة 300Å.



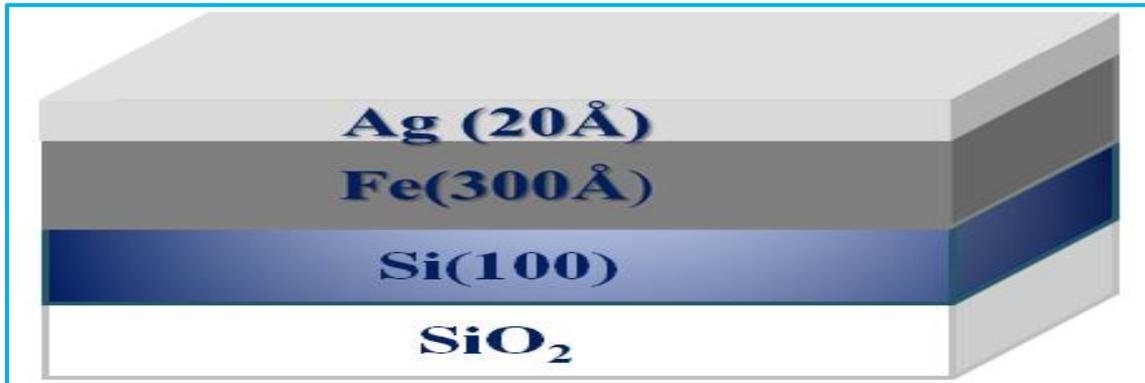
الشكل II-13: رسم تخطيطي لبلورة الحديد [36]

3-8-II- طريقة تحضير طبقة الفضة

هي مادة ذات بنية مكعبة ممركرة الأوجه ثابت شبكتها $a_{Ag}=4.0862\text{\AA}$ ، تم استخدام طبقة الفضة للمحافظة على طبقة الحديد من التأكسد، حيث قمنا بتبخيرها عن طريق تأثير جول في خلايا كنودسن لان درجة انتشارها صغيرة جدا، و هذا بسرعة ترسيب $1\text{\AA}/s$ ، تم ترسيب هذه الطبقة الرقيقة تحت فراغ 10^{-7} Torr في درجة حرارة الغرفة، سمك هذه الطبقة هو 20\AA .

4-8-II- الشكل النهائي للعينة

بعد ترسيب طبقة الحديد ذات السمك 300\AA فوق المسند $\text{Si}(100)/\text{SiO}_2$ ، رسبت فوقها طبقة الفضة ذات سمك 20\AA لمنع الأكسدة، تحصلنا في الاخير على العينة ذات الصيغة المكثفة التالية: $\text{Ag}(20\text{\AA}) / \text{Fe}(300\text{\AA}) // \text{Si}(100) / \text{SiO}_2$ والتي يمكن تمثيلها في الرسم التخطيطي المبين في الشكل II- 14 كالتالي:



الشكل II- 14: رسم تخطيطي للعينة

II- 9- استنتاج

قدمنا في هذا الفصل طريقة تحضير العينات باستخدام تقنية الترسيب الموجه بالقذف الجزيئي (MBE) تحت الفراغ الفائق وفي درجة حرارة الغرفة، وكيفية استخراج بعض الخصائص المغناطيسية لمادة الحديد من تحليل بيان التخلف المغناطيسي، الناتجة من تطبيق تقنية المغنطو-ضوئية لتأثير كير (MOKE)، مثل : مغنطة التشعب، المغنطة المتبقية و التربيع المغناطيسي وكذلك حقل التشعب، الحقل القسري والقابلية المغناطيسية لترك تحليل وتفسير النتائج المتحصل عليها من الدراسة بالتفصيل في الفصل القادم.

الفصل الثالث (III)
تحليل النتائج التجريبية

تحليل النتائج التجريبية

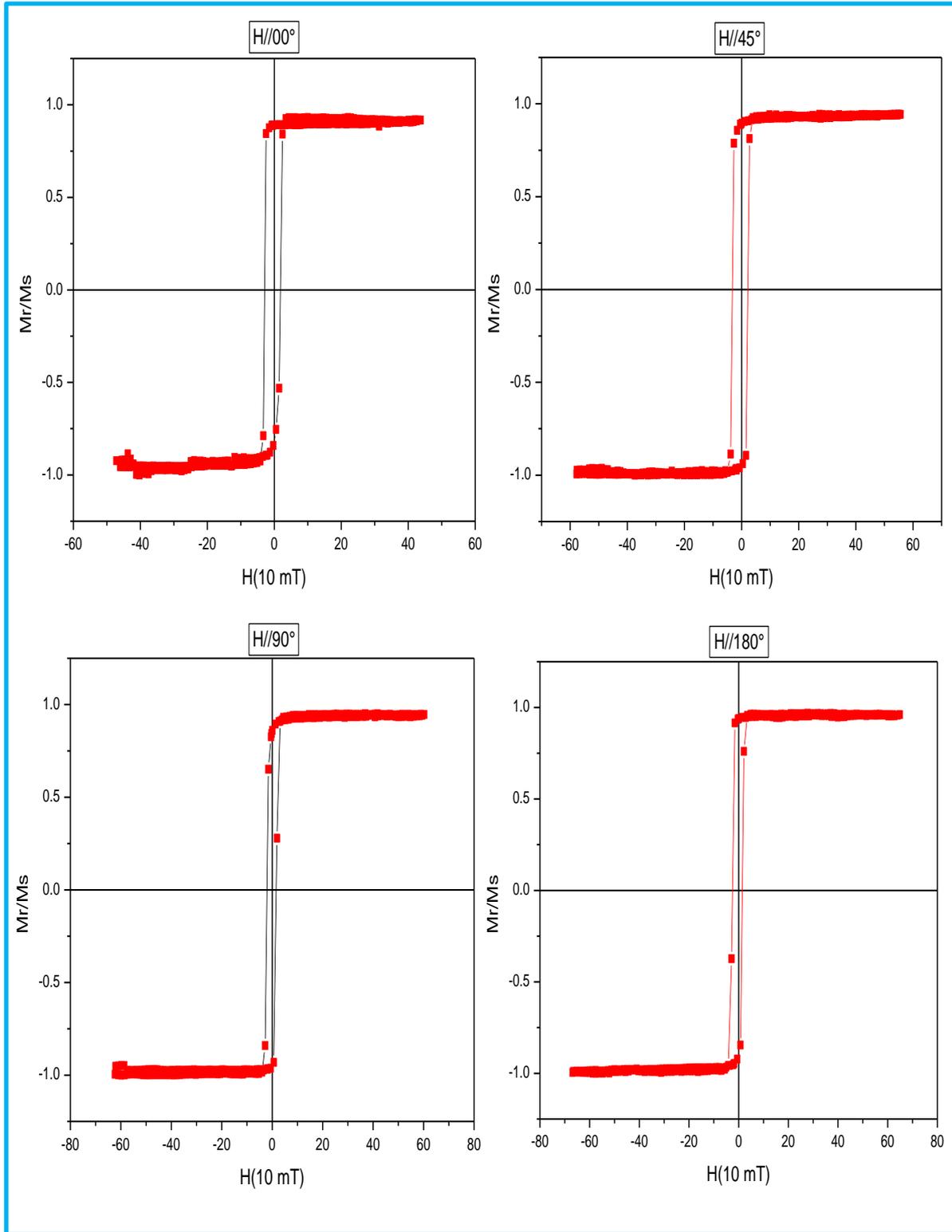
بعد معرفة بعض الخصائص التي تتميز بها المادة المغناطيسية، تبادر لنا السؤال التالي: ان نحن غيرنا زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي على العينة المدروسة، هل تتغير خصائصها المغناطيسية أم لا؟

إن هذا العمل عبارة على محاولة للإجابة على مثل هذا التساؤل، من خلال دراسة الخصائص المغناطيسية المستخرجة من دورات التخلف المغناطيسي مع تغير زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي بين القيم: 00° ، 45° ، 90° ، 180° .

III-1- تحليل بيان الهسترة

لمعرفة الخصائص المغناطيسية وارتباطها باتجاه الحقل المغناطيسي، تم استخدام تقنية مغنطو-ضوئية مع تطبيق حقل مغناطيسي خارجي موازي للزوايا 00° ، 45° ، 90° ، 180° على العينة $\text{Ag}(20\text{\AA})/\text{Fe}(300\text{\AA})//\text{Si}(100)/\text{SiO}_2$ ، فتحصلنا على اربعة بيانات للتخلف المغناطيسي مبينة جميعها في الشكل III-1.

- إن شكل استجابة العينة للحقل المغناطيسي المطبق عليها من زوايا مختلفة، والتي لم تكن ابدا استجابة خطية، بل تغيرت في كل مرة ومثلت دورة تخلف مغناطيسي، مما يؤكد لنا ان مادة الحديد المدروسة تحمل الخاصية الفيرومغناطيسية.
- الشكل المربع لدورات التباطؤ المغناطيسي مهما تغيرت زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي، يبين ان جميع الاتجاهات البلورية الموافقة لهذه الزوايا هي سهلة المغنطة، وان مادة الحديد المدروسة متماثلة المناحي مغناطيسيا.
- جميع دورات التخلف المغناطيسي الواسعة المساحة، توضح الطبيعة الصلبة لغشاء الحديد الرقيق.



الشكل III-1: تغير شكل دورات الهستيرة بدلالة زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي الخارجي

III-2- دراسة الخصائص المغناطيسية المستخرجة من بيانات التخلف المغناطيسي

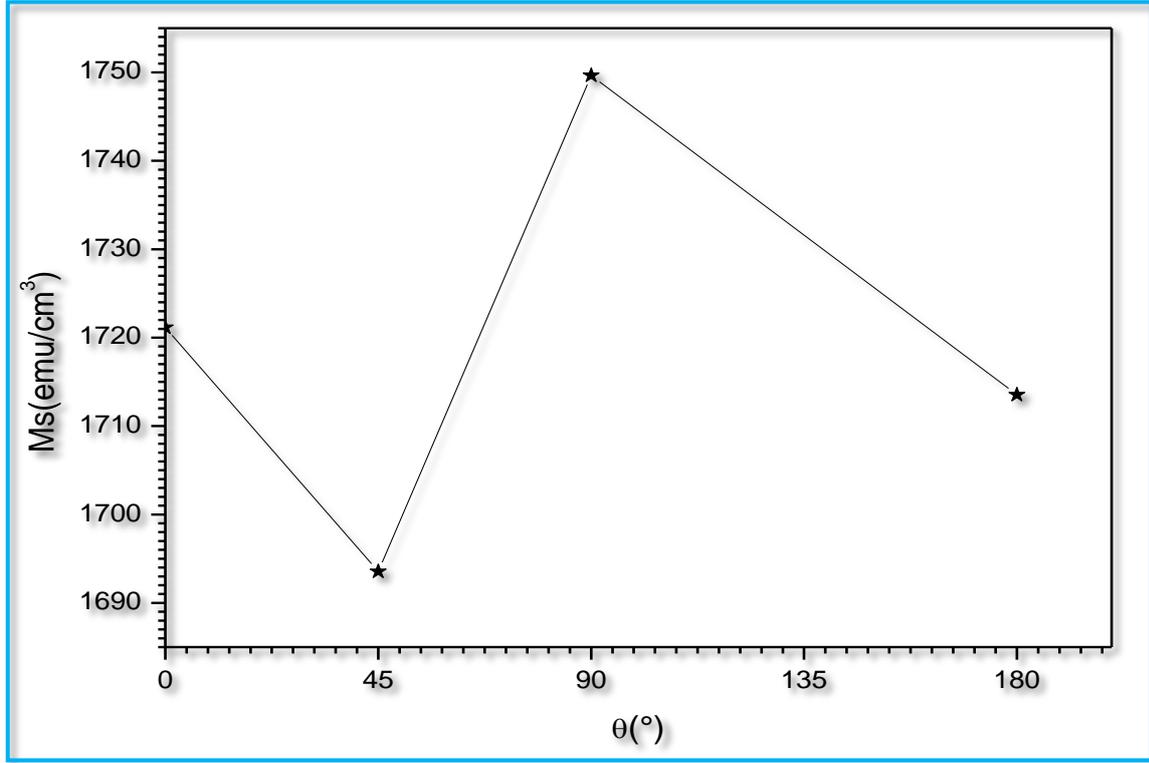
من خلال شكل دورات التباطؤ المغناطيسي نستطيع استنتاج عدة خصائص مغناطيسية مثل :
التربيع المغناطيسي، الحقل القهري، حقل التشبع، مغنطة التشبع، المغنطة المتبقية، القابلية المغناطيسية، ودراسة مدى تأثيرها بزواوية تطبيق الحقل الخارجي.
لتحقيق هاته الدراسة، قمنا باستخراج قيم جميع الخصائص المغناطيسية في كل مرة تغيرت فيها زاوية تطبيق الحقل المطبق على العينة، وجمعنا كل هاته القيم في الجدول (III-1). وسندرسها جميعا بالتفصيل الواحدة تلو الأخرى في الفقرات الآتية.

180	90	45	00	زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي(°)
1713.54	1749.66	1693.55	1721.15	مغنطة التشبع (Ms(emu/cm ³)
1709	1735	1685	1716.25	المغنطة المتبقية (Mr (emu/cm ³)
0.99	0.99	0.99	0.99	التربيع المغناطيسي Mr/Ms
44.8	62.8	43.3	61.6	حقل التشبع Hs(Oe)
22.5	25.7	21.7	23.55	الحقل القهري Hc(Oe)
478.11	348.26	488.90	349.26	القابلية المغناطيسية χ

الجدول III-1: تغير قيم الخصائص المغناطيسية بدلالة زوايا الحقل المغناطيسي المطبق.

III-2-1- مغنطة التشبع

مغنطة التشبع هو سمة من سمات المواد المغناطيسية الحديدية، ولمعرفة إن كانت مغنطة التشبع لمادة الحديد الموجود في العينة تتأثر بتغيير زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي، قمنا باستخراج قيمة هذه الأخيرة (انظر للجدول III-1)، و مثلناها في منحنى بياني كما هو موضح في الشكل III-2



الشكل III-2: منحنى تغير مغنطة التشبع بدلالة زوايا الحقل المغناطيسي المطبق

ولقد استنتجنا ما يلي:

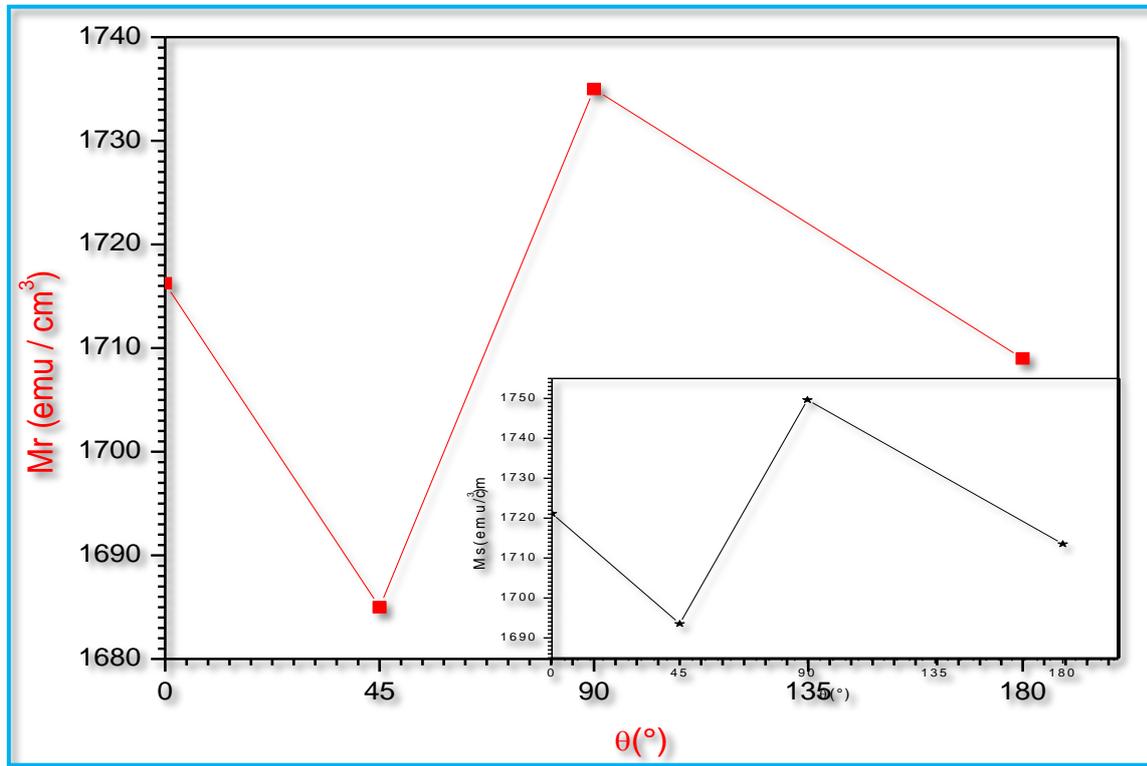
1. قيم مغنطة التشبع تتغير من زاوية الى اخرى، ما يدل على ان هذه الاخيرة لها تأثير كبير على كمية العزوم المغناطيسية المصطفة باتجاه الحقل المطبق.
2. إن القيمة العظمى لمغنطة التشبع مساوي تقريبا للقيمة النظرية لمغنطة تشبع الحديد ذات المقدار 1750.7 emu/cm^3 [21]، ما يدل على ان جميع العزوم المغناطيسية المتواجدة في الحبيبات المغناطيسية ووجهت نفسها باتجاه الحقل الخارجي، ولم تجد أي عارض يعيق حركتها وبالتالي فان العينة المدروسة ذات جودة اسطح عالية وخالية تماما من الشوائب الخارجية. وهذا نتيجة الفراغ العالي المستخدم في تقنية التنضيد الموجه المحضرة بها هذه الاخيرة، مما يؤكد ان هذه التقنية من افضل التقنيات الفيزيائية لتحضير الاغشية الرقيقة.
3. اقل قيمة لمغنطة التشبع توافق اتجاه الزاوية 45° ، وتقدر 1693.55 emu/cm^3 ، مما يوضح ان اقل كثافة للعزوم المغناطيسية هي باتجاه هذه الزاوية والنتائج من انخفاض كثافة ذرات الحديد في هذا الاتجاه.

تحليل النتائج التجريبية

4. أكبر قيمة لمغطة التشبع هي في حالة تطبيق الحقل المغناطيسي باتجاه الزاوية $\theta=90^\circ$ ، وهي تدل على ان الاتجاه البلوري لغشاء الحديد الموافق لهذه الزاوية هو اسهل اتجاه لمغطته، حيث ان تطبيق الحقل من هذه الزاوية ساعد على اصطاف المزيد والمزيد من العزوم المغناطيسية الموازية والمسايرة لاتجاه هذا الاخير.

III-2-2- المغطة المتبقية

من احد الخصائص المغناطيسية المهمة في التطبيقات العملية هي قيمة المغطة المتبقية M_r ، ولذلك قمنا باستخراج قيم هذه الأخيرة في كل حالة زاوية طبق باتجاهها الحقل المغناطيسي الخارجي ووضعت في الجدول III-1، ولقد قمنا بتمثيل تغيراتها بدلالة تغير زاوية الحقل المطبق في المنحنى الموضح في الشكل III-3



الشكل III-3: منحنى تغيرات المغطة المتبقية بدلالة زوايا الحقل المغناطيسي المطبق

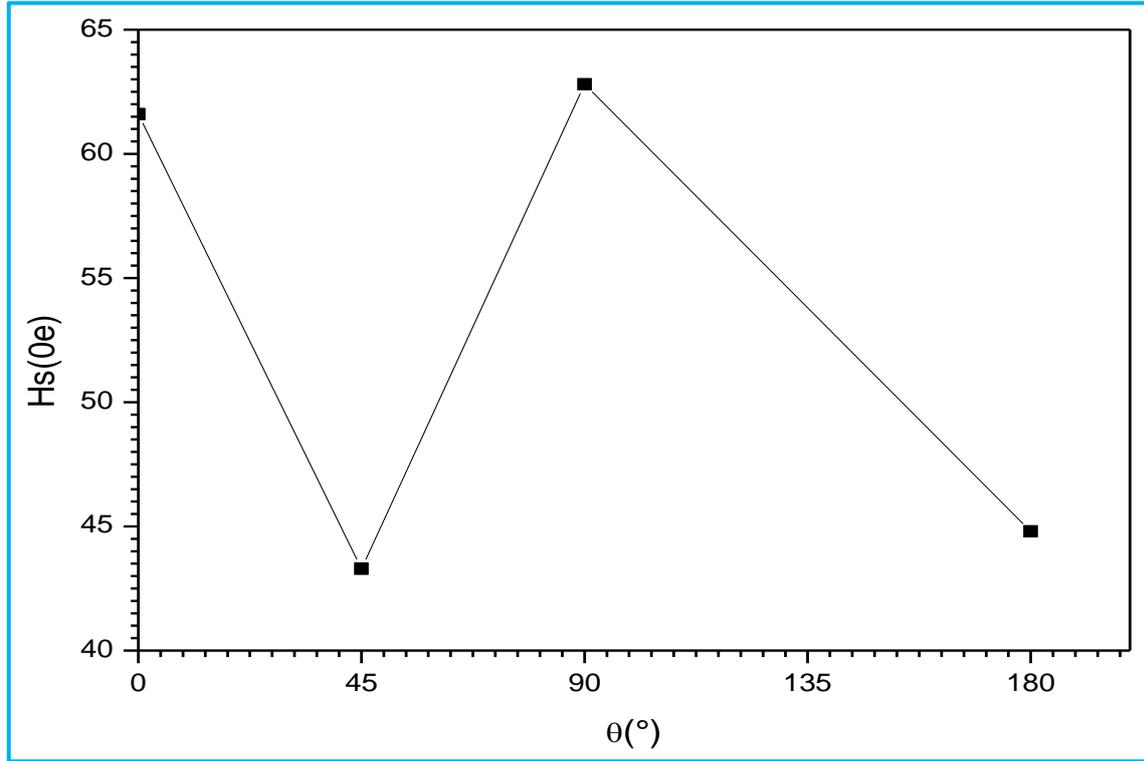
من خلال هذا المنحنى نستطيع ملاحظة ما يلي:

تحليل النتائج التجريبية

1. تغير قيمة المغنطة المتبقية بتغير زاوية الحقل المغناطيسي المطبق، وهذا يفسر تأثير زاوية تطبيق الحقل على قيمة التخلف المغناطيسي للعينة.
2. تغير منحنى المغنطة المتبقية بدلالة تغير زاوية تطبيق الحقل، يماثل تماما تغير منحنى مغنطة التشبع، ففي الزاوية التي تكون فيها قيمة مغنطة التشبع صغيرة كانت قيمة المغنطة المتبقية صغيرة والعكس صحيح. كما ان قيمة المغنطة المتبقية الموافقة لكل زاوية من زوايا تطبيق الحقل الخارجي، هي من نفس رتبة قيمة مغنطة التشبع، وهذا ما جعل شكل منحنيات التخلف المغناطيسي مربعة مهما تغيرت الزاوية، وهو ما يؤكد طبيعة تماثل المناحي المغناطيسية المتسمة بها العينة والمستنتجة من عدم تغير شكل دورات التخلف المغناطيسي.
3. إن القيمة العظمى للمغنطة المتبقية توافق حالة تطبيق الحقل في اتجاه الزاوية 90° ، تدل على أن الحديد حافظ على اكبر قدر ممكن من العزوم المغناطيسية المصطفة باتجاه هذه الزاوية، أي ان له استبقائية مغناطيسية كبيرة، وهو ما يفسر الطبيعة المغناطيسية الصلبة للحديد. و يفسر الاستخدام الواسع لمادة الحديد في مجال المغناط الدائمة. ان هذا الاستنتاج يوافق الاستنتاج المستنتج من اتساع مساحة حلقات التخلف المغناطيسي الموضحة في الشكل III-1.
4. اقل قيمة للمغنطة المتبقية هي في حالة تطبيق الحقل باتجاه الزاوية 45° ، دلالة على قلة كثافة العزوم المغناطيسية المتجهة الى هذه الزاوية.

III-2-3- حقل التشبع

من اجل فهم آلية اصطفاف العزوم المغناطيسية في المناطق المغناطيسية لاتجاه الحقل المطبق، وجب علينا دراسة كيفية تغير الحقول المغناطيسية في دورات التخلف المغناطيسي والتي يعد حقل التشبع H_s من اهمها، وعليه قمنا باستخراج قيمة هذا الأخير في جميع دورات الهسترة المبينة في الجدول III-1 ورسم كيفية تغيرها بدلالة زاوية الحقل المطبق في المنحنى المبين في الشكل III-4:



الشكل III-4: منحنى تغير حقل التشبع بدلالة تغير زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي

1. نلاحظ من البيان ان حقل التشبع يتغير كلما تغيرت زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي، وله علاقة وطيدة بمغنطة التشبع، فكلما كانت قيمة هذه الاخيرة كبيرة مثلما هو محقق في حالة تطبيق الحقل باتجاه الزاوية 90° ، كانت بحاجة الى اكبر قيمة للحقل المطبق، حيث بلغت (62.8Oe)، هاته القيمة كانت كافية لإيصال العينة الى مرحلة اصطافاف جل العزوم المغناطيسية ان لم نقل جميعها باتجاه الحقل المطبق، ادى بإيجاد قيمة تجريبية لمغنطة التشبع متقاربة جدا الى القيمة النظرية، كما رأينا في الفقرة السابقة.

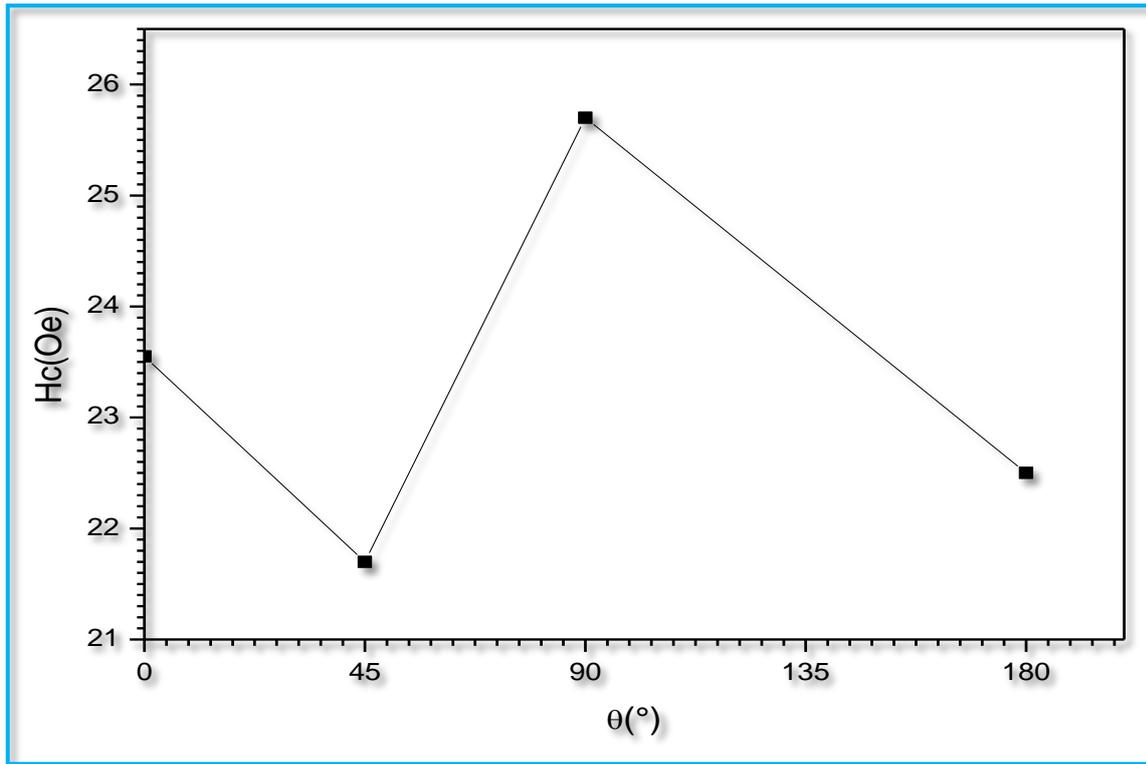
2. نستطيع ملاحظة ايضا، بان قيم حقل التشبع في حالة الزوايا 90° و 180° كبيرة نوعا ما، مما يدل على ان عملية اصطافاف العزوم المغناطيسية باتجاه الحقل الخارجي تمت عن طريق دورانها داخل المناطق المغناطيسية المتواجدة بها [78]، و ان هناك عدم انتظام شبكي اثناء عملية نمو الطبقات نتجت عنها خشونة في الاسطح عرقلت عملية الدوران مما احتاج الى طاقة اكبر تجلت في اتساع في مساحة بيان التخلف المغناطيسي كما هو موضح مسبقا في الشكل III-I، وهو الامر الذي جعل من الحديد مادة مغناطيسية صلبة، تصلح للاستخدام في مجال المغناط الدائمة وفي الانوية ومكبرات الصوت،،،،،الخ.

تحليل النتائج التجريبية

3. أقل قيمة لحقل التشبع هي (43.30e) ما يدل على أن عملية تغير اتجاه العزوم المغناطيسية يتم عن طريق انزياح جدار بلوخ ما يحتاج إلى تطبيق قيمة صغيرة من الحقل لتصل مادة الحديد إلى حالة تساير جميع العزوم في اتجاه الحقل الخارجي.

III-2-4- الحقل القهري

منحنى تغير الحقل القسري بدلالة زاوية تطبيق الحقل مبيّن في الشكل III-5.



الشكل III-5: منحنى تغير الحقل القهري بدلالة زوايا الحقل المغناطيسي المطبق

نستطيع ملاحظة ما يلي:

1. هناك تغير في قيم الحقل القهري في كل مرة تتغير فيها زاوية تطبيقه.
2. قيم الحقل القهري تتغير تغيراً طردياً مع المغنطة المتبقية (انظر إلى شكل كل من المغنطة المتبقية و الحقل القهري ستجد ان لهما نفس التغير). فكلما كانت قيمة هذه الاخيرة صغيرة مثلما لاحظناه في حالة الزاوية 45° اين كانت المغنطة المتبقية لها قيمة دنيا هي (1685emu/cm³)، وجدنا قيمة صغيرة للحقل القهري لم تتجاوز القيمة 21.7 Oe، وهذا يدل على ان قيمة المقاومة المغناطيسية

تحليل النتائج التجريبية

للحديد في هذه الزاوية صغير جدا بالنسبة للزاوية الاخرى، ومن الممكن ان يرجع سبب صغر هذه القيمة الى قلة كثافة العزوم المغناطيسية المتجهة الى هذه الزاوية.

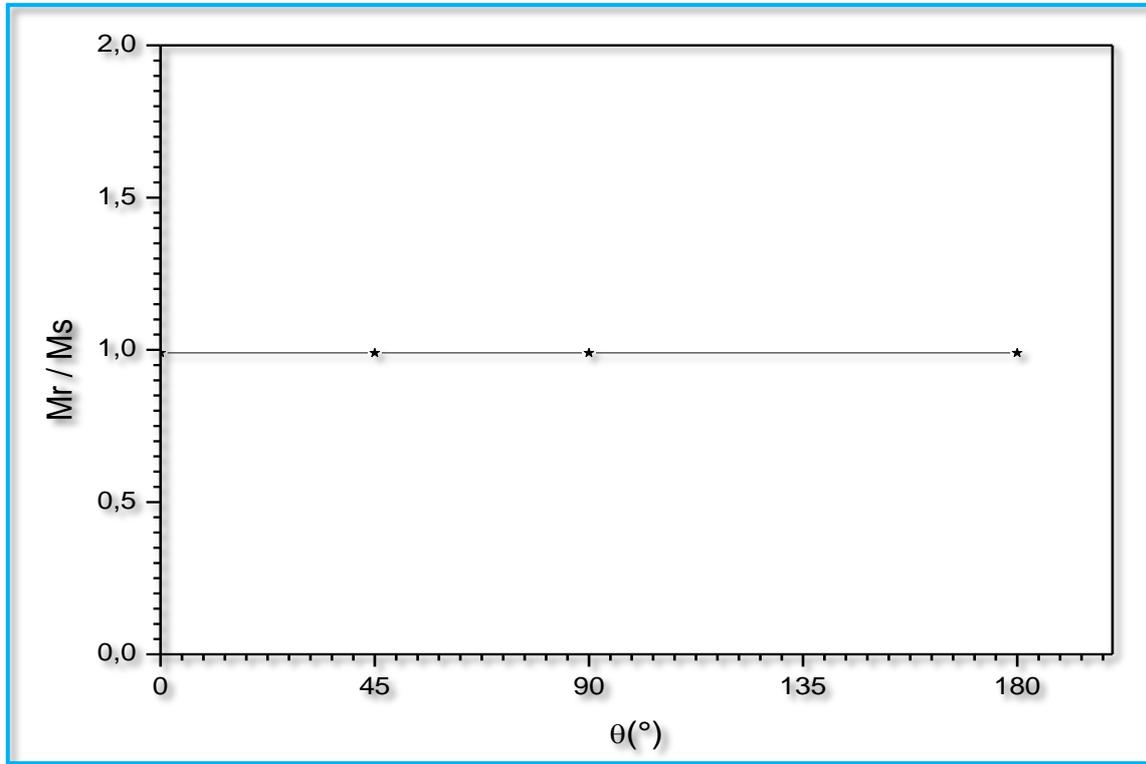
3. اكبر قيمة للحقل القهري هي لما طبق في اتجاه الزاوية 90°، ما يدل على مقاومة مغناطيسية كبيرة في حالة تطبيق الحقل في اتجاه هذه الزاوية و يعود السبب الى احتفاظ الحديد الى ذاكرة مغناطيسية كبيرة سببها الكثافة الكبيرة للعزوم المغناطيسية المصطفة باتجاه هذه الزاوية.

4. يجب تطبيق الحقل المغناطيسي باتجاه الزاوية 90° في حال ما استخدمنا العينة للتخزين المغناطيسي الطولي، لأنه في هذا المجال من التطبيقات نحتاج إلى قيمة كبيرة للمغطة المتبقية (Mr) للمساعدة على جودة قراءة المعلومات المخزنة في مناطق التخزين أو البايث [78].

III-2-5- التربيع المغناطيسي

المنحنى الذي يمثل تغيرات التربيع المغناطيسي بدلالة زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي مبين في الشكل

III-6:



الشكل III-6: منحنى تغير قيم التربيع المغناطيسي بدلالة زوايا الحقل المغناطيسي المطبق

بالنظر الى هذا المنحنى نستطيع ابداء عدة ملاحظات و استنباط استنتاجات مهمة مدونة اسفله:

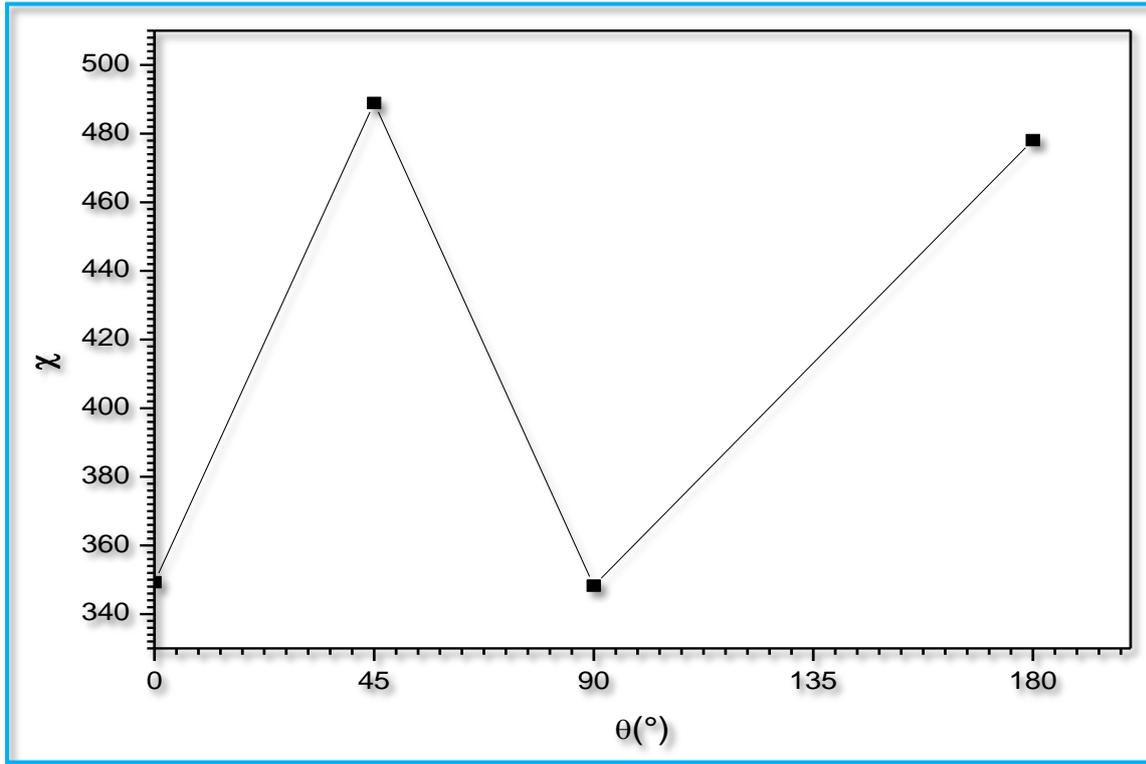
تحليل النتائج التجريبية

1. التربيع المغناطيسي له قيمة ثابتة مهما تغيرت الزاوية، ما يدل على وجود تماثل مغناطيسي في استجابة العينة للحقل المطبق عليها.
2. كلما تغيرت زاوية تطبيق الحقل تغيرت قيمة كل من مغنطة التشبع والمغنطة المتبقية مثلما راينا في الفقرات السابقة، لكن العلاقة بينهما كانت دوماً طردية لان قيمتهما في جميع الحالات كانت بالتقريب متساوية ($M_r \approx M_s$)، وهو ما يجعل التربيع المغناطيسي بينهما دوماً له قيمة متساوية وتقدر ب 0.99 وهي قريبة جداً من الواحد (1)، وهذا ما جعل شكل منحنيات التباطؤ المغناطيسي تماثل ومربع في جميع حالات الحقل المطبق باتجاه زوايا مختلفة .
3. قيمة ($S=0.99$) تدل على ان الحديد المدروس في العينة يحافظ على نسبة % 99 من العزم المغناطيسية المسيرة للحقل المطبق مهما اختلفت زاوية تطبيقه، عدم التأثير بتغيير هذه الزاوية هو نتيجة للتماثل المغناطيسي الصلب المتسمة به هذه العينة، وهو ما يدل على ان الحديد يتبع اسلوب الحفاظ على الذاكرة المغناطيسية بشكل قوي مما يمكنه من الاستخدام في مجال التخزين المغناطيسي، حيث انه في تطبيقات الأغشية الرقيقة في مجال التخزين المغناطيسي وللحد من قيمة الضوضاء اثناء التشغيل ، نبحث دائماً عن المواد المغناطيسية التي لها تربيع مغناطيسي قريب من 1

[60]

III-3-6- القابلية المغناطيسية

تعتبر القابلية المغناطيسية من المقادير الفيزيائية المهمة خاصة في مجال المغناطيسية حيث تعطينا معلومات حول قابلية المادة على التمنظ ومدى حساسيتها للحقل المغناطيسي المطبق عليها، لذلك وجب علينا دراسة كيفية تغير هذه الخاصية المهمة كلما تغيرت زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي. ومن خلال قيم مغنطة التشبع وقيم حقل التشبع استطعنا ايجاد قيم القابلية المغناطيسية المبينة في الجدول III-1 وذلك باستخدام العلاقة المعطاة في الفقرة (II-7-6) ، ثم رسمنا منحنى بياني لها بدلالة زوايا الحقل المغناطيسي المطبق المبين في الشكل III-7 :



الشكل III-7: منحنى تغير قيم الحساسية المغناطيسية بدلالة زوايا الحقل المغناطيسي المطبق.

من خلال المنحنى نلاحظ :

1. قيمة القابلية المغناطيسية تتأثر بتغير زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي على العينة.
2. القابلية المغناطيسية في جميع الحالات لها قيم موجبة وكبيرة مما يؤكد الخاصية المغناطيسية الحديدية لمادة الحديد المدروسة [13].
3. القابلية المغناطيسية الموافقة للزاوية 90° هي الاقل قيمة من بين القيم الموافقة للزوايا الاخرى، ما يؤكد مقدار الاستباقائية المغناطيسية الكبير، حيث ان العزوم المغناطيسية لم تستجب الى الحقل القهري الذي يريد اعادة حالتها الى حالة الترتيب العشوائية ليزيل مغنطة العينة، حيث ان القيمة الدنيا للقابلية المغناطيسية جعلت العينة اكثر مقاومة للحقل القهري وادى الى كبر قيمته مثلما رأيناه سابقا.
4. القيمة العظمى للقابلية المغناطيسية في حالة الزاوية 45° يفسر سهولة ازالة مغنطتها او استباقائيتها الضعيفة والتي احتاجت فقط لقيمة صغيرة من الحقل القهري.

III-4-الاستنتاج

من خلال تحليل النتائج التجريبية المتحصل عليها تمكنا من معرفة الخصائص المغناطيسية لطبقة الحديد المحضرة على شكل غشاء رقيق لا يتجاوز سمكه 300\AA في العينة $\text{Ag}(20\text{\AA}) / \text{Fe}(300\text{\AA}) // \text{Si}(100) / \text{SiO}_2$ ومدى ارتباطها بزاوية الحقل المغناطيسي المطبق، حيث استنتجنا ما يلي:

- سلوك الحديد تحت تأثير الحقل المغناطيسي الخارجي وفي جميع حالات الزوايا التي طبق باتجاهها كان متماثل المناحي و تجلى ذلك في المحافظة على الشكل المربع لاستجابته المغناطيسية التي لم تكن خطية بل تمثلت في بيان التخلف المغناطيسي.
- العينة تتبع تصرف فيرومغناطيسي لان استجابتها كانت على شكل دورة تخلف مغناطيسي وليست خطية.
- مادة الحديد ذات طبيعة مغناطيسية حديدية مسايرة صلبة مهما كان اتجاه زاوية تطبيق الحقل، لان جميع دورات التخلف المغناطيسي كانت واسعة وكبيرة المساحة.
- قيم كل من : مغنطة التشبع M_s ، المغنطة المتبقية M_r ، الحقل القهري H_c ، حقل التشبع H_s و القابلية المغناطيسية χ ، تتغير من زاوية الى أخرى وهذا الاختلاف في القيم يؤكد لنا مدى تأثير زاوية تطبيق الحقل المغناطيسي المطبق على بعض الخصائص المغناطيسية.
- ثبوت قيمة التربيع المغناطيسي يؤكد تماثل المناحي.
- أخيرا نستطيع ان نجزم بان بعض الخصائص المغناطيسية لمادة الحديد تتأثر بتغيير زوايا الحقل المغناطيسي الخارجي المطبق عليها.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة

قد تجلى عملنا هذا في دراسة الخصائص المغناطيسية للغشاء الرقيق المتمثل في مادة الحديد المعروفة بالخاصية المغناطيسية الحديدية (الفيرومغناطيسية). و يتميز في الحالة المستقرة أي في غياب أي مؤثر خارجي بامتلاكه مناطق داخلية او حبيبات مغناطيسية صغيرة جدا تحوي عزوم مغناطيسية باتجاهات مختلفة، حيث تكون محصلتها المغناطيسية لوحدة حجم العينة معدوم، ولكن بوضع العينة تحت تأثير حقل مغناطيسي خارجي في اتجاه زاوية معينة سيتمغنط الحديد نتيجة اصطفاف عزومه المغناطيسية باتجاه الحقل الخارجي المطبق عليها ، ونقول ان الحديد قد تمغنط او قد استجاب للحقل المطبق عليه نتيجة قابليته المغناطيسية والتي تعني قابليته على التمغنط. وفي حالة ازالة تأثير الحقل المطبق عليه لن يعود ابدأ الى حالته المستقرة، بل سيبقى محافظا على عدد من العزوم التي باتجاه الحقل الذي طبق عليها وهو ما يسمى الاستباقية المغناطيسية وتستخدم هذه الخاصية في مجال المغناط الدائمة والتخزين المغناطيسي. وبالتالي لإزالة ذاكرته المغناطيسية يجب تطبيق حقل قهري يخلص الحديد من مغنطته ويعيد محصلتها الى الصفر ، وبالتالي فان استجابة الحديد الى الحقل الخارجي لن تكون ابدأ خطية بل ان خاصية التخلف المغناطيسي(الاستباقية) يجعل الاخيرة هستيرية، وتترجم بمنحنى يسمى منحني التخلف المغناطيسي أو بصيغة أخرى ببيان التباطؤ المغناطيسي أي تباطؤ في استجابة الحديد للحقل الخارجي. وسبب هذه التسمية ، أن الأغشية الرقيقة الفيرومغناطيسية لا تنعدم مغنطتها بانعدام الحقل المطبق، بل تبقى محافظة على كمية منها تسمى بالمغطة المتبقية، ولكي تنعدم قيمة هذه الأخيرة يجب تطبيق مقدار معين من الحقل المغناطيسي معاكس، و لذلك سمي هذا الأخير بالحقل القهري او الحقل القسري (Hc).

إن العينة المدروسة في هذا العمل حضرت بواسطة تقنية التنضيد الموجه بالقذف الجزيئي (MBE) تحت الفراغ الفائق وعند درجة حرارة الغرفة، حيث بخر الحديد باستخدام القذف الالكتروني فوق مسند $Si(100) / SiO_2$ ثلاثي التبلور، لينتج غشاء سمكه 300Å ، و لحمايتها من التأكسد استخدم سمك قدره 20Å من الفضة Ag، وهكذا فان العينة تحمل الصيغة المكثفة:



لدراسة الخصائص المغناطيسية للعينة - ونخص بالذكر مادة الحديد بالتحديد المحضرة كغشاء رقيق في العينة لأنها المادة المغناطيسية الوحيدة في العينة المحضرة- وكذا ارتباط هذه الخصائص بزاوية الحقل المغناطيسي المطبق، استخدمت تقنية المغنطو ضوئية لتأثير كبير وغيرت زاوية تطبيقه بين القيم $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ و 180° . في كل مرة تغيرت فيها زاوية تطبيق الحقل تحصلنا على بيان تخلف مغناطيسي الذي من خلاله قمنا باستخراج الخصائص المغناطيسية المتمثلة في : الحقل القسري أو القهري Hc ، مغنطة التشبع Ms ، حقل التشبع Hs ، المغنطة المتبقي Mr، قيمة التربيع المغناطيسي S وكذلك القابلية المغناطيسية أو ما يعرف باسم الحساسية المغناطيسية χ ، وبالتالي استطعنا معرفة

مدى تأثير زاوية تطبيق الحقل على هذه الخصائص المغناطيسية ولقد لخصنا اهم النتائج التي تحصلنا عليها في النقاط التالية:

1. مادة الحديد تتبع تصرف فيرومغناطيسي متماثل المناحي لان استجابته لم تتأثر بزاوية تطبيق الحقل ولم تكن خطية بل على شكل بيان تخلف مغناطيسي.
2. مادة الحديد ذات طبيعة مغناطيسية حديدية صلبة مهما كان اتجاه زاوية تطبيق الحقل، لان جميع دورات الهسترة كانت واسعة المساحة.
3. قيم كل من : مغنطة التشبع M_s ، المغنطة المتبقية M_r ، الحقل القهري H_c ، حقل التشبع H_s و القابلية المغناطيسية χ ، تتغير من زاوية الى أخرى وهذا الاختلاف في القيم يؤكد لنا تأثيرها بزاوية الحقل المغناطيسي المطبق.
4. القيمة العظمى لحقل التشبع في حالة الزاوية 90° يدل على ان عملية اصطفاف العزوم المغناطيسية داخل المناطق المغناطيسية تمت عن طريق دورانها وليس بواسطة انزياح جدار بلوخ.
5. يعزى انخفاض المغنطة المتبقية في حالة الزاوية 45° إلى قلة كثافة العزوم المغناطيسية المصطفة باتجاه هذه الزاوية.
6. القيمة العظمى للمغنطة المتبقية عندما طبق الحقل المغناطيسي باتجاه الزاوية 90° يثبت خاصية الصلابة او القساوة المغناطيسية للحديد ويجعل استخدامه اكثر في مجال المغناط الدائمة.
7. القيمة العظمى للحقل القهري في اتجاه الزاوية 90° يفسر المقاومة المغناطيسية الشديدة لإزالة تمغنط الحديد وعلى الاستبقائية المغناطيسية الكبيرة.
8. تماثل المناحي للعينة جعل تغير المغنطة المتبقية له علاقة طردية بتغير مغنطة التشبع ، حيث انه مهما تغيرت زاوية تطبيق الحقل فان $M_s \approx M_r$ واكسب الحديد قيمة كبيرة لتربيعه المغناطيسي حيث كانت بالتقريب مساوية 1 وهو ما اكده الشكل المربع لبيانات التخلف المغناطيسي. مما يخفف صوت الضوضاء أثناء الكتابة والقراءة فيما استخدمت العينة في مجال التخزين المغناطيسي.
9. القابلية المغناطيسية في جميع الحالات لها قيم اكبر بكثير من 1 وهو ما يؤكد الخاصية الفيرومغناطيسية للحديد.
10. بالنظر الى كل التفسيرات السابقة نستطيع الاجابة على التساؤل المطروح سابقا حول مدى تأثير زاوية تطبيق الحقل على الخصائص المغناطيسية للعينة. ونستطيع حسم الامر في كون ان هناك بعض الخصائص المغناطيسية لمادة الحديد تتأثر بتغيير زاوية الحقل المغناطيسي الخارجي المطبق عليها ونكون قد حققنا الهدف المنشود من الدراسة المقدمة في هذه المذكرة.

المراجع

- [1] ع. ا. طاوسي ع. بربري، "المغناطيسية وتطبيقاتها"، مذكرة ماستر، المدرسة العليا للأساتذة القبة القديمة (الجزائر)، 2019.
- [2] إ. بالطيب، "دراسة الخواص البنيوية، المورفولوجية والضوئية لأغشية أكسيد الزنك المطعمة بالنيكل بتقنية رذاذ الانحلال الحراري"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2019.
- [3] H.P. Meyers, "Introductory solid state physics", Chalmers University of Technology, Sweden, (1997).
- [4] س. عبود، "دراسة الخصائص المغناطيسية للمركب $Bi_{1-x}FeO_3$ من أجل $x = 0.25-0.5$ "، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2017.
- [5] J. Georg Baiter, J. Kaspar von Orelli, "Platonis opera quae feruntur Omnia", publisher Meyer and Zeller, 1839.
- [6] S. Ben moussa, "étude de l'aimantation et de l'hystérésis des matériaux ferromagnétiques doux (Fe, FeSi)", Thèse de Master Académique l'Université de Kasdi - merbeh Ouargla, 2017.
- [7] M.VALETAS, " Couches minces magnétiques pour applications hyperfréquences étude des Samarium-Cobalt et des Néodyme-Fer-Bore par pulvérisation radio fréquence magnétron ", Université de Limoges, 2003
- [8] ي. مصطفى، " فيزياء الحالة الصلبة – الجزء الثاني-"، منشورات الدار الأكاديمية للطباعة والتأليف والترجمة والنشر طرابلس – الجماهيرية العظمى، أكاديمية الدراسات العليا، 2007 .
- [9] ع.ع. داخل ، " تمرينات محلولة في فيزياء الجسم الصلب الطبعة الثانية "، 1992
- [10] ع. ا. الشاذلي، "فيزياء الجوامد الجزء الثالث"، كلية التربية – جامعة عين شمس.
- [12] N. A. Spaldin, Magnetic Materials Fundamentals and Applications, Second edition, University of California, Santa Barbara, (2003-2011)
- [11] ف. غ. عوض– "الفيزياء الصلب الجزء الثاني"، منشورات جامعة دمشق كلية العلوم، (2011-2012)
- [13] M.Cyrot, M.Decorps, B.Dieny, O.Geoffroy, D.Gignoux, C.Lacroix, J.Laforest, P.Lethuillier, P.Molho, J.C Peuzin, J.Pierre, J.L.Porteseil, P.Rochette, M.F.Rossigno,

M.Schlenker, C.Segebarth, Y. Souche, E. du Tremolet de Lacheisserie, J.P.Yonnet, "magnetism 1 fondements", 2000.

[14] C. Kittel, introduction to Solid State Physics, University of California, Berkeley.

[15] 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." Electrical control of antiferromagnetic domains in multiferroic BiFeO₃ films at room temperature", University of California, Berkeley, 2006

[16] I.McLoughlin," Computer Peripherals", School of Computer Engineering Nanyang Technological University Singapore,2011.

[17] C. Cyr, " modélisation et caractérisation des matériaux magnétiques composites doux utilisés dans les machines électriques" , thèse de doctorat, Université Laval, 2007.

[18] F. Issaoui , Etude des propriétés magnétiques des matériaux à bases des métaux de transition sous forme de poudre (AúBO₃) et monocristaux (RMX₂). Matériaux. Université de Grenoble, Français, 2012.

[19] j.Kacher, I.M.Robertson, M.Nowell, J.Knapp,K. Hattar, "Study of rapid grain boundary migration in a nanocrystalline Ni thin film". Mater. Sci. Eng, (2011).

[20] س.الطرايبشي وب.الاشقر و م. صائم الدهر، " الفيزياء للسنة التحضيرية للكليات الطبية "، مطبعة جامعة دمشق، 2015-2016

[21] I. Bensehil, Structure et magnétisme de couches minces, thèse de doctorat, science physique, université Ferhat Abbas Sétif-1-, 2016

[22] S. Couderc, " Etude de matériaux ferromagnétiques doux à forte aimantation et à résistivité élevée pour les radiofréquences Applications aux inductances spirales planaires sur silicium pour réduire la surface occupée", Thèse de Docteur de l'Université de Limoges Discipline, 2006

[23] س. كاصد حسن، " دراسة ديناميكية حدود الحجيرات المغناطيسية باستخدام نظام الماتلاب، أطروحة ماجستير، تموز، 2006

[24] L.Thomas, M.Hayashi, X.Jiang, R.Moriya, C.Rettner, S.Parkin, "Resonant Amplification of Magnetic Domain-Wall Motion By a Train Of Current Pulses", (2007) .

- [25] ل.سقني، " تحديد خصائص أكسيد القصدير (SnO_2) المطعم بالحديد (Fe)", مذكرة ماستر [25] أكاديمية ، جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي، 2016
- [26] W.Pepperhoff, M.Acet, "Constitution and Magnetism of Iron and its alloys", 2001.
- [27] ف. ج. بوش، د.ا. جيرد، "اساسيات الفيزياء"، الجزء الاول، جامعة دايتون سابقا وجامعة سانت كلاود الحكومية .
- [28] S. Khizroev, and D. Litvinov, "Perpendicular Magnetic Recording", U.S.A, 2005.
- [29] A. Moser, K.Takano¹, D.T.Margulies, M.Albrecht¹, Y.Sonobe¹, Y.Ikeda¹, S.Sun, E.E. Fullerton, " Magnetic Recording: advancing into the future", Journal of Physics D: Applied Physics, 2002.
- [30] المحاضرة الثامنة " اوساط التخزين "، جامعة الاندلس الخاصة بالعلوم الطبية.
- [31] جعلالي هدى ، سليم فلة ، " تأثير طبقة ذات سمك 75 \AA من الكروم على الخصائص البنيوية للعينة ($\text{Fe (300 \AA)/Ag (100 \AA)/MgO(001)}$ "، جامعة العربي التبسي-تبسة، 2017
- [32] O.Cador, Nanomagnétisme, 2015.
- [33] جيانكولي ، س. دوغلاس، "الفيزياء المبادئ والتطبيقات"، منشورات دار العبيكان- الرياض، 2014.
- [34] N.Guechi ; " élaboration et caractérisation structural, électrique et magnétique des couches minces de Fex Ni100-x déposé sur Si(100) ", Université Ferhat Abbes Sétif, 2010.
- [35] L. Pavlovski, "Dépôts Physiques : technique microstructures et propriétés Presses polytechniques", universitaires romandes (2003).
- [36] ل.الزهرة، " دراسة الخواص الفيزيائية للطبقات الرقيقة لأكسيد الزنك (ZnO) المطعم بالنيكل (Ni) المتوضع بتقنية رذاذ الانحلال الحراري (صنع محلي) " ، مذكرة ماستر أكاديمية ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2016.
- [37] ع. جمعة، ن بخيت، ع صالح، " دراسة تأثيري التطعيم بالمنغنيز Mn على الخصائص البصرية لأغشية كبريتيد الزنك ZnS المحضرة بتقنية الترسيب بالليزر النبضي"، مجلة جامعة بابل العلوم الصرفة والتطبيقية، 2012.
- [38] ش. بن ذيب، ك. بن خديم ، "الخصائص المغناطيسية وارتباطها باتجاه الحقل المغناطيسي المطبق لعينة Ag/Fe/MgO "، مذكرة ماستر، جامعة العربي التبسي، 2020.

- [39] G. Huertas." Etude de nouveaux matériaux d'électrode positive et d'électrolyte solide vitreux sous forme de couches minces pour des microbatteries au lithium", Université Sciences et Technologies - Bordeaux I, Français. 2006
- [40] ع.ق. محمدي ، " دراسة الطبقات الرقيقة ذات الخاصية المغناطيسية"، مذكرة ماستر أكاديمية ، جامعة محمد بوضياف – المسيلة، 2017.
- [41] G. Bahuguna, N. k. Mishra, P. Chaudhary , A. Kumar and R. Singh," Thin Film Coating through Sol-Gel Technique",Article, University of Delhi, Dwarka, New Delhi, 2016.
- [42] B. Mahamout Mahamat." Mise en évidence d'effets magnétiques par voie Sol-gel sur des méta-lignes". Optique / photonique. Université de Lyon, Français, 2016
- [43] م.العقون ، " دراسة تأثير زمن ترسيب الطبقات الرقيقة أكسيد النيكل (NiO) على بعض الخصائص الفيزيائية" ، مذكرة ماستر أكاديمية ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة ، (2017).
- [44] م.ح. حسوني، " دراسة بعض الخصائص الفيزيائية لأغشية اوكسيد الخارصين الرقيقة المشوبة بالمنغنيز وتطبيقاتها في تحسس الغازات"، اطروحة ماجيستر ، جامعة المستنصرية ، 2004
- [45] ح. خنفر ، دراسة الخواص الضوئية لأغشية رقيقة من أكسيد الزنك النقي (ZnO) المحضرة بتقنية رذاذ الانحلال الحراري ، مذكرة ماستر أكاديمية ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، (2020)
- [46] Mihaela Cirisan." Dynamique d'expansion de la plume-plasma formée lors d'un impact laser Nd : YAG nanoseconde sur une surface métallique en milieu atmosphérique : caractérisation expérimentale et simulation numérique", Université de Bourgogne, 2010
- [47] Jean-Christophe Moreno," Etude de la croissance et des propriétés de films minces d'AlN épitaxies par jets moléculaires sur substrat silicium : application aux résonateurs acoustiques et perspectives d'hétéro structures intégrées sur silicium", Matière Condensée, Université Nice Sophia Antipolis, Français, 2009.
- [48] D. Dijkkamp, T. Venkatesan, X. D. Wu, S.A.Shaheen, N.Jisrawi, Y.H.Min Lee, W.L.McLean, M. Croft, " Preparation of Y-Ba-Cu oxide superconductor thin films using pulsed laser evaporation from high T_c bulk material", Appl, Phys Lett, (51. 619), 1987.

- [49] L. Mazet. "Épitaxie par jets moléculaires de l'oxyde BaTiO_3 sur Si et $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$: étude de la croissance, des propriétés structurales ou physico-chimiques et de la ferroélectricité - applications à des dispositifs à effet de champ". Ecole Centrale de Lyon, 2016.
- [50] T. Giang Le Thuy. " Croissance de nanofils III-V par épitaxie par jets moléculaires", Université de Grenoble, 2014.
- [51] A. Goschew , " Magneto–Optical investigations of Eus/Co and Eus/Ni multilayers for spintronic applications" , University at Berlin, 2017.
- [52] R .Dujardin, Épitaxie par jets moléculaires de nanostructures isolées de germanium sur silicium, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier de Grenoble, 2006.
- [53] H.Khachab, " Modélisation de la croissance épitaxiale par jets moléculaires (MBE) avec la méthode de Monte Carlo Cinétique (KMC) ", Thèse de doctorat Université Abou. Berk Belkad de Tlemcen, 2010.
- [54] Olivier Delorme. " Etude de l'incorporation de Bismuth lors de l'épitaxie par jets moléculaires de matériaux antimoniures ", Université Montpellier, 2019.
- [55] Hardy, M. T., Storm, D. F., Katzer, D. S., Downey, B. P., Nepal, N., & Meyer, D. J. "Plasma-assisted Molecular Beam Epitaxy of N-polar InAlN-barrier High-electron-mobility Transistors". Journal of Visualized Experiments, (117). 2016
- [56] L. Louahadj, " Développement de l'épitaxie par jets moléculaires pour la croissance d'oxydes fonctionnels sur semi-conducteurs ", thèse de doctorat, École Centrale de Lyon, 2014.
- [57] M. A. Herman , H. sitter , "Molecular Beam Epitaxy" ,Springer series in Materials Science ,1996.
- [58] A. Benzagouta, " Effet de la stœchiométrie sur les propriétés structurales, dynamiques et électroniques des systèmes Si-C, étude par la dynamique moléculaire", Thèse de doctorat, Université de Constantine, 2004.
- [59] S. Pelloquin. " LaAlO_3 amorphe déposé par épitaxie par jets moléculaires sur silicium comme alternative pour la grille high- κ des transistors CMOS " , Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon & École Centrale de Lyon, 2011.
- [60] R .Boukhalfa, thèse du doctorat, " Influence du substrat sur les propriétés structurales et magnétiques des bicouches Fe/Ag " , université de Constantine, (2014).
- [61] E. Lefebvre. "Croissance métamorphique par Épitaxie par Jets Moléculaires et caractérisations physiques pour Transistor Bipolaire à Hétérojonction InP/InGaAs sur

GaAs. Micro et nanotechnologies /Micro-électronique ", Université des Sciences et Technologie de Lille - Lille I, 2005

[62] ز. أولاد العربي ، س. قريدة ، " تأثير التطعيم الثنائي بالفلور والكوبالت على الخصائص البنيوية والضوئية و الكهربائية للأغشية الرقيقة لأكسد الزنك مرسبه بتقنية رذاذ الانحلال الحراري " ، مذكرة ماستر أكاديمي ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة ، (2020) .

[63] L. Mazet." Epitaxie par jets moléculaires de l'oxyde BaTiO₃ sur Si et Si_{1-x}Gex : étude de la croissance, des propriétés structurales ou physico-chimiques et de la ferroélectricité -applications à des dispositifs à effet de champ". Ecole Centrale de Lyon, 2016.

[64] S. Kumar Chaluvadi. "Influence of the epitaxial strain on magnetic anisotropy in LSMO thin films for spintronics applications". Norman die Université, 2017.

[65] S. Couderc, " Etude de matériaux ferromagnétiques doux à forte aimantation et à résistivité élevée pour les radiofréquences ", "Applications aux inductances spirales planaires sur silicium pour réduire la surface occupée", Communications Optiques et Microondes, Université de Limoges, 2006

[66] Lamrani Sabrina, "Etude des propriétés structurales et magnétiques des couches minces de Permalloy élaborées par évaporation sous vide et électrodéposition ", Thèse du doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2015-2016

[67] H. Tuzcuoglu, " Corrélation entre les propriétés structurales et magnétiques des couches minces et nanostructures de Co₂FeAl", Université Paris 13, 2014.

[68] C. Bendjeroudib, "Effet de type de Substrat sur les propriétés de couche Mince Fe/Ag", Mémoire de Master, Université de Larbi Tébéssi – Tébéssa , 2016

[69] خ. س. شواهين، " الكهرومغناطيسية تجارب و أنشطة و هوايات " ، دار الخطيب للنشر و التوزيع، عمان، الاردن.

[70] 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.

[71] A. Tuan Bui , "Caractérisation et modélisation du comportement des matériaux magnétiques doux sous contrainte thermique ", Université Claude Bernard - Lyon I, 2011.

[72] C. Rouge. "Modélisation du rayonnement ultrasonore par un traducteur EMAT dans une pièce ferromagnétique". Thèse de Doctorat, Université Sciences et Technologies –

Bordeaux I, 2013.

[73] 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, Electrical control of antiferromagnetic domains in multiferroic BiFeO₃ films at room temperature, University of California, Berkeley, (2006).

[74] M.Tinouche, Élaboration et caractérisations de couches minces à base de cobalt, Université Ferhat Abbas de Sétif, 2010.

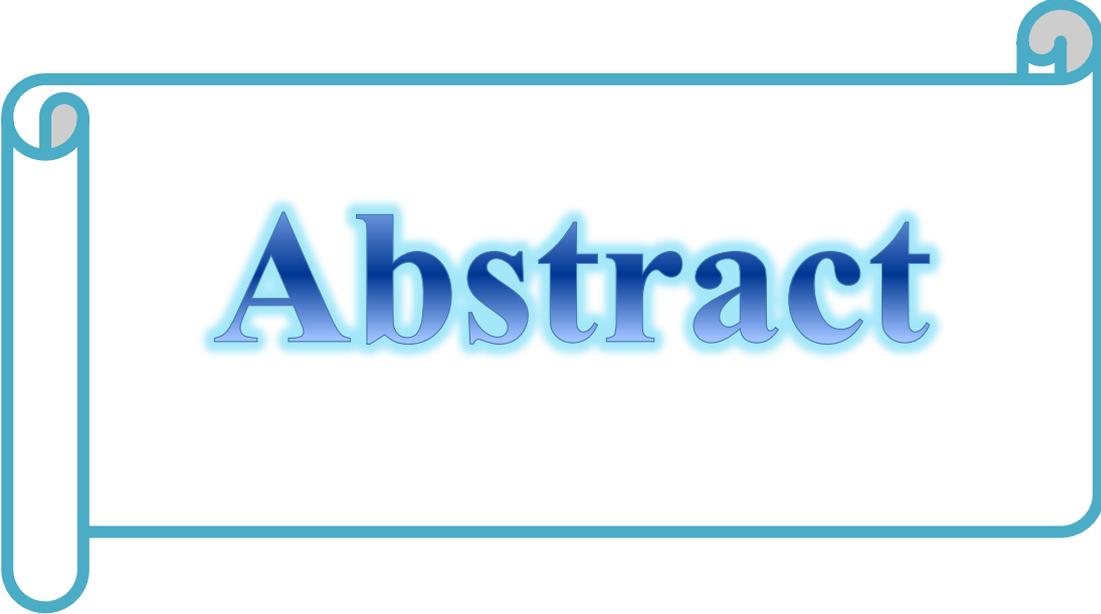
[75] J. Bernaud, " Electromagnétisme ", Chapitre A.2.8 Milieux Ferro ou Ferri - magnétiques. Vecteur excitation magnétique H Courbes d'aimantation Hystérésis Champ magnétique rémanent et excitation coercitive., Articles, 2010

[76] C. Rouge, Modélisation du rayonnement ultrasonore par un transducteur EMAT dans une pièce ferromagnétique, Thèse de docteur, Université Sciences et Technologies - Bordeaux I, (2013).

[77] R. Dujardin ; Épitaxie par jets moléculaires de nanostructures isolées de germanium sur silicium, thèse de doctorat, université Joseph Fourier Grenoble (2006).

[78] I.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

Abstract



Abstract

Abstract

The sample studied in our work was prepared by the molecular beam epitaxy technique under ultra-high vacuum and at room temperature, with the use of a Si (100) / SiO₂ substrate, the thickness of the iron layer. magnetic is equal to 300Å, and to protect it from oxidation, a thickness of Silver of 20Å was used, so the mathematical formula of the sample is:

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

To study the magnetic properties of this sample and their relationship with the angle of the applied magnetic field, the magneto-optical technique of the Kerr effect was used by applying an external magnetic field in the direction of angles 0 °, 45 °, 90 ° and 180 °

The analysis of the hysteresis loops - resulting from the Kerr effect technique - corresponding to each angle of application of the field, confirmed the presence of an isotropic at the level of the sample, which led to the stability of the value of the squareness in all cases where the angle changed scope. Iron has a hard ferromagnetic property.

This work was based on the determination of the most important magnetic constants extracted from the magnetic hysteresis data, such as: coercive field, saturation field, saturation magnetization, remanent magnetization, rectangularity, magnetic susceptibility, and showing the evolution of their values in terms of magnetic field angles in a graphical curve, and the results obtained showed that as the angle of application of the field changes, some of the magnetic properties of the sample change.

Key words

Ag, Fe, SiO₂, Si(100), Thin Films, MBE, substrate, MOKE, Hysteresis loop, Saturation Magnetization, Remanent Magnetization, saturation field, coercive field, squareness, Magnetic Sensitivity, Ferromagnetic, Soft Material, matériau durs, symmetry isotropy



Résumé

Résumé

L'échantillon étudié dans notre travail, a été préparé par la technique d'épitaxie par jet moléculaire sous ultravide et à température ambiante, avec l'utilisation d'un substrat Si(100)/SiO₂, l'épaisseur de la couche de Fer magnétique est égale à 300Å, et pour le protéger de l'oxydation, une épaisseur d'Argent de 20Å a été utilisée, donc la formule mathématique de l'échantillon est : Ag(20Å) /Fe (300Å)//Si(100)/SiO₂.

Pour étudier les propriétés magnétiques de cet échantillon et leur relation avec l'angle du champ magnétique appliqué, la technique magnéto-optique de l'effet Kerr a été utilisée en appliquant un champ magnétique externe dans la direction des angles 0°, 45°, 90° et 180°.

L'analyse de la courbe de retard magnétique - résultant de la technique de l'effet Kerr - correspondant à chaque angle d'application du champ, a confirmé la présence d'un isotrope au niveau de l'échantillon, ce qui a entraîné la stabilité de la valeur de la rectangularité dans tous les cas où le champ angle d'application modifié. Le fer a une propriété ferromagnétique dure.

Ce travail était basé sur la détermination des constantes magnétiques les plus importantes extraites des données d'hystérésis magnétique, telles que : le champ coercitif, le champ de saturation, l'aimantation à saturation, l'aimantation rémanente, la rectangularité, la susceptibilité magnétique, et représentant l'évolution de leurs valeurs en termes des angles de champ magnétique dans une courbe graphique, et les résultats obtenus ont montré que l'angle d'application du champ change, certaines des propriétés magnétiques de l'échantillon changent.

Mots clés

Ag, Fe, SiO₂, Si (100), couches minces, MBE, substrat, MOKE, boucle d'hystérésis, magnétisation de saturation, magnétisation rémanente, champ de saturation, champ coercitif, rectangularité, sensibilité magnétique, ferromagnétique, matériau doux, matériau durs, symétrie isotrope.

ملخص

ملخص

ملخص

العينة المدروسة في عملنا هذا، حضرت بواسطة تقنية التنضيد الموجه بالقذف الجزيئي تحت الفراغ الفائق وعند درجة حرارة الغرفة، مع استخدام المسند $\text{Si}(100)/\text{SiO}_2$ ثلاثي التبلور، سمك طبقة الحديد المغناطيسية يساوي 300 \AA ، و لحمايتها من التأكسد استخدم سمك قدره 20 \AA من الفضة Ag ، وبذلك كانت الصيغة الرياضية للعينة هي: $\text{Ag}(20\text{\AA}) / \text{Fe}(300\text{\AA}) // \text{Si}(100) / \text{SiO}_2$

لدراسة الخصائص المغناطيسية لهذه العينة وارتباطها بزواوية الحقل المغناطيسي المطبق استخدمت تقنية المغنطو ضوئية لتأثير كبير وذلك بتطبيق حقل مغناطيسي خارجي في اتجاه الزوايا $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ و 180° .

ان تحليل بيان التخلف المغناطيسي - الناتج عن تقنية تأثير كبير - الموافق لكل زاوية من زوايا تطبيق الحقل، اكد وجود تماثل مناحي في مستوى العينة نتج عنه ان ثبات في قيمة التربيع المغناطيسي في جميع الحالات التي تغيرت فيها زاوية تطبيق الحقل. وان الحديد له الخاصية الفيرومغناطيسية القاسية.

لقد ارتكز هذا العمل على تحديد اهم الثوابت المغناطيسية المستخرجة من بيانات التباطؤ المغناطيسي مثل: الحقل القهري، حقل التشبع، مغنطة التشبع، المغنطة المتبقية، التربيع المغناطيسي، القابلية المغناطيسية، وتمثيل تغير قيمها بدلالة زوايا الحقل المغناطيسي في منحنى بياني، وقد بينت النتائج المتحصل عليها انه كلما تغيرت زاوية تطبيق الحقل فان بعض الخصائص المغناطيسية للعينة تتغير.

الكلمات المفتاحية

Ag ، أغشية رقيقة، MBE، مسند، MOKE، بيان التخلف المغناطيسي، مغنطة التشبع، المغنطة المتبقية، حقل التشبع، الحقل القهري، التربيع المغناطيسي، القابلية المغناطيسية، المغناطيسية الحديدية، مادة قاسية، مادة لينة، تماثل المناحي.