

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة العربي التبسي - تبسة
كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة
قسم: علوم المادة



مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر

الميدان: علوم المادة

الشعبة: فيزياء

الاختصاص: فيزياء المادة المكثفة

الموضوع:

التسجيل المغناطيسي وارتباطه بالخصائص المغناطيسية

من إعداد الطلبة:

شريف ندى

بلغيث أيمن

لجنة المناقشة:

| | | | |
|--------|------------------------------|-------------------|---------------|
| رئيسا | جامعة العربي التبسي - تبسة - | أستاذ محاضر (أ) | فوزي حيني |
| مؤطرا | جامعة العربي التبسي - تبسة - | أستاذة محاضرة (أ) | بوخالقة راضية |
| ممتحنا | جامعة العربي التبسي - تبسة - | أستاذ محاضر (أ) | خشبة مراد |

تاريخ المناقشة: 2021/06/22

العلامة: 18,00 التقدير: جيد جدًا



Université Larbi Tebessi- Tébessa

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

DépartementSciences 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 :Cherif Nada
.....Belghit Aiman

Intitulé du Sujet :التسجيل المغناطيسي و ارتباطه بالخصائص المغناطيسية.....
.....
.....

Données d'identification du membre de jury :

Nom et prénom : HANI NI Faouzi
Grade : M. C. A
Lieu d'exercice : Université Larbi Tebessi- Tébessa

Vu le procès-verbal de soutenance de la thèse sus citée comportant les réserves suivantes :

(1) الكلي من المناقشة لا المخطأ، إضافة للخطأ
وترك الملاحظ العام، (4) المخطأ من المناقشة العامة
(5) بيان الملاحظة، (6) تغير المراجع، وملاحظات أخرى
مسجلة في المذكرة

Et après constatation des modifications et corrections suivantes :

تم رفع جميع الملاحظات والحقها
.....
.....

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.

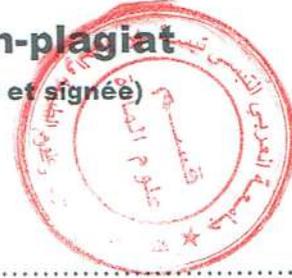
Le..... 13 juillet 2021

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

F. Hanini

Déclaration sur l'honneur de non-plagiat

(à joindre obligatoirement au mémoire, remplie et signée)



Je soussigné(e),

Nom, Prénom : (1) Cherif Nada / (2) Belghit Aiman

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

N° de carte d'étudiant : (1) 161634020967 / (2) 201534028407

Année universitaire : ...2020/2021

Domaine: ...Sciences de la matière

Filière: ...Physique

Spécialité: ...Physique de la matière condensée

Intitulé du mémoire :التسجيل المغناطيسي وارتباطه بالخصائص المغناطيسية.....

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, le07 Juillet 2021

Signature de l'étudiant(e) :



Cherif

(2)

AB

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الإهداء

نشكر الله ونحمده حمدا كثيرا مباركا على هذه النعمة الطيبة والنافعة نعمة العلم والبصيرة

أهدي عملي هذا المتواضع الى قدوتي فخري واعتزازي

الى صاحبة الفكر المستنير الى أمي جميلة نابلي.

الى والدي محمد شريف قوتي واماني.

الى السندان اخوتي حمزة و رؤوف . الى من ينثر الفرحة اخواتي منى و أمل.

الى من أصبحوا من العائلة زوج اختي محمد، و زوجة اخي سامية.

الى نكهة الحياة أبناء اختي جهاد و مجد والى الصغيرة الاقحوانة ابنة اخي ميرال.

الى أعز صديقاتي سناء و جهينة.

الى كل من رافقني طوال مشواري الدراسي

شكرا لكم على دعمكم لي.



شريف ندى



الاهداء

نشكر الله ونحمده حمدا كثيرا مباركا على إتمام هذا العمل  .

- أهدي ثمرة نجاحي إلى من قال فيهما الله عز وجل

*** وَأَخْفِضْ لَهُمَا جَنَاحَ الذُّلِّ مِنَ الرَّحْمَةِ وَقُلْ رَبِّ ارْحَمْهُمَا كَمَا رَبَّيَانِي صَغِيرًا ***

الإسراء -24-

إلى من كان دعائهما سر نجاحي لأصل إلى ما أنا عليه.

- **هأمي الغالية رجوية هأبي العزيز إبراهيم** - حفظكما الله و أطال الله عمركما في طاعته

- إلى القلوب الطاهرة الرقيقة والنفوس البريئة إلى رياحين حياتي وأملها أخوتي:

ه عبد الغفور ه عبد الحليم ه جمال ه زهية ه مايسة .

- إلى كل من شاركني كلماته يوماً ما ، إلى كل من بدت عليه علامات الاهتمام والتمني بالخير.

- إلى كل حبيب على القلب وكل عزيز على العين، إلى كل من عرفتهم خلال مشواري

الدراسي، وكل أصدقائي وأخوتي أينما كانوا سعدت برفقتكم دائماً وأدام الله اجتماعنا...

وأخيراً...

إلى كل روح نقية اهدي نجاحي



بلغيث أيمن

شكر وتقدير

الحمد لله الذي يسر أمرنا ووفقنا في عملنا وحقق أمانينا
والصلاة والسلام على نبي الرحمة محمد صلى الله عليه وسلم وآله وصحبه أجمعين.
نتقدم بالشكر الجزيل والعرفان الجميل إلى أستاذتنا المشرفة الأستاذة الفاضلة

كهبوخالفة راضية

أستاذة محاضرة -أ- بقسم علوم المادة بجامعة الشيخ العربي-تبسة- لقبولها الإشراف على
مذكرتنا، ولما قدمته لنا من متابعة ونصح وتوجيه ولم تدخر معنا جهداً طيلة مدة البحث.
شكراً أستاذتنا كنت خير دليل و خير سند و معلم.

شكراً لأعضاء اللجنة

كهاالأستاذ فوزي حنيني رئيساً

كهاالأستاذ خشية مراد ممتحناً

أستاذة محاضرين بقسم علوم المادة بجامعة الشيخ العربي-تبسة- لقبولهم تقييم عملنا
المتواضع، وشكراً على النصائح والإرشادات التي ستوجهنا نحو الأفضل.
وفي الأخير نتقدم بجزيل الشكر لكل زملائنا و أستاذتنا طول مشوارنا
الدراسي ولكل من ساهم وساعدنا في إنجاز هذا العمل من قريب وبعيد.

ملخص

ملخص

العينتين المدروستين في عملنا هذا، حضرت بواسطة تقنية التنضيد الموجه بالقذف الجزيئي تحت الفراغ الفائق (10^{-2} torr) وعند درجة حرارة الغرفة، مع استخدام نوعين من المساند: الاول $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ ثلاثي التبلور، والثاني احادي التبلور $\text{MgO}(001)$ ، سمك طبقة الحديد المغناطيسية في العينتين متساوي ويقدر بالقيمة 300\AA ، و لحماية طبقة الحديد من التأكسد استخدم سمك 20\AA من الفضة Ag، وبذلك تكون صيغة العينتين كالتالي:

العينة E₁: $\text{MgO}(001)/\text{Fe}(300\text{\AA})/\text{Ag}(20\text{\AA})$

العينة E₂: $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)/\text{Fe}(300\text{\AA})/\text{Ag}(20\text{\AA})$

التخزين المغناطيسي وارتباطه بالخصائص المغناطيسية لهاتان العينتان درس من خلال تحليل منحنوي التخلف المغناطيسي الناتج من تقنية المغنطو ضوئية لتأثير كبير، وتاكدنا انه بالرغم من محافظة الحديد على خاصيته الفيرومغناطيسية الا ان طبيعتها اختلفت بين اللينة بالنسبة للعينة E₁ الى صلابة بالنسبة للعينة E₂، اختلاف طبيعته نتج عنها اختلاف في معظم خصائصه المغناطيسية مثل: مغنطة التشبع، المغنطة المتبقية، الحقل القهري، حقل التشبع، التربيع المغناطيسي، القابلية المغناطيسية، وبالتالي مدى تطبيقه في مجال التخزين المغناطيسي.

الكلمات المفتاحية:

MOKE، MBE، المسند، $\text{SiO}_2/\text{Si}/\text{Fe}/\text{Ag}$ ، $\text{MgO}/\text{Fe}/\text{Ag}$ ، التخزين المغناطيسي، بيان التخلف المغناطيسي، مغنطة التشبع، المغنطة المتبقية، حقل التشبع، الحقل القهري، التربيع المغناطيسي، فيرو- مغناطيسية، مادة لينة، مادة صلابة، قابلية مغناطيسية.

Abstract

Abstract

The two samples studied in our work were prepared by molecular beam epitaxy technique under ultra-vacuum (10^{-2} torr) and at room temperature, with the use of two types of substrates: the first is polycrystalline SiO₂/Si (100), and the second is single crystalline MgO (001), the thickness of the magnetic iron layer in the two samples. It is equal and estimated at a value of 300Å, and to protect the iron layer from oxidation, a thickness of 20Å of Ag silver was used. So, the formula for the two samples was as follows:

The sample E₁: MgO(001)//Fe(300Å)/Ag(20Å)

The sample E₂: SiO₂/Si(100)//Fe(300Å)/Ag(20Å)

The magnetic properties of these two samples and their association with the storage magnetic field were studied from the magnetic retardation curves resulting from the Kerr effect magneto-optic technique. The magnetic storage and its relation with the magnetic properties of these two samples were studied by analyzing the magnetic retardation curves resulting from the Kerr effect magneto-optic technique. That magnetic storage is linked to certain magnetic properties of the material. And we confirmed that despite the preservation by Iron of its ferromagnetic property, its nature varied between soft for sample E₁ and hard for sample E₂. The difference in its nature has resulted in a difference in most of its magnetic properties such as: saturation magnetization, residual magnetization, coercive field, saturation field, magnetic squareness, magnetic susceptibility, and therefore the scope of its application in the field of magnetic storage.

▪ Keywords:

MgO//Fe/Ag , SiO₂/Si//Fe/Ag , MBE, Substrate, MOKE, Magnetic storage, magnetic hysteresis curve, saturation magnetization, remanent magnetization, saturation field, coercive field, magnetic squareness, ferromagnetism, soft material, hard material, magnetic susceptibility .

Résumé

Résumé

Les deux échantillons étudiés dans notre travail, ont été préparés par technique d'épithaxie par jet moléculaire sous ultra-vide (10^{-2} torr) et à température ambiante, avec l'utilisation de deux types de substrats: le premier est polycristalline $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$, et le second est monocristallin $\text{MgO}(001)$, l'épaisseur de la couche de fer magnétique dans les deux échantillons. Elle est égale et estimée à une valeur de 300\AA , et pour protéger la couche de fer de l'oxydation, une épaisseur de 20\AA d'argent Ag a été utilisée. Ainsi, La formule pour les deux échantillons était la suivante:

L'échantillon E_1 : $\text{MgO}(001)/\text{Fe}(300\text{\AA})/\text{Ag}(20\text{\AA})$

L'échantillon E_2 : $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)/\text{Fe}(300\text{\AA})/\text{Ag}(20\text{\AA})$

Les propriétés magnétiques de ces deux échantillons et leur association avec le champ magnétique de stockage ont été étudiées à partir des courbes de retard magnétique résultant de la technique magnéto-optique à effet Kerr.

Le stockage magnétique et sa relation avec les propriétés magnétiques de ces deux échantillons ont été étudiés en analysant les courbes de retard magnétique résultant de la technique magnéto-optique à effet Kerr. que le stockage magnétique est lié à certaines propriétés magnétiques du matériau. Et nous avons confirmé que malgré la préservation par le Fer de sa propriété ferromagnétique, sa nature variait entre doux pour l'échantillon E_1 et dur pour l'échantillon E_2 . La différence de sa nature a entraîné une différence dans la plupart de ses propriétés magnétiques telles que: l'aimantation à saturation, l'aimantation résiduelle, le champ coercitif, le champ de saturation, la rectangularité magnétique, la susceptibilité magnétique, et donc l'étendue de son application dans le domaine du stockage magnétique.

▪ Mots clés:

$\text{MgO}/\text{Fe}/\text{Ag}$, $\text{SiO}_2/\text{Si}/\text{Fe}/\text{Ag}$, MBE, Substrat, MOKE, Stockage magnétique, courbe d'hystérésis magnétique, magnétisation à saturation, magnétisation rémanente, champ de saturation, champ coercitif, rectangularité magnétique, ferromagnétisme, matériau doux, matériau dur, susceptibilité magnétique.

الفهرس

الفهرس

| | |
|-----------|---------------|
| I..... | ملخص |
| II..... | Abstract |
| III..... | Résumé |
| IV..... | قائمة الرموز |
| VI..... | قائمة الاشكال |
| VIII..... | قائمة الجداول |

المقدمة العامة

| | |
|--------|----------------|
| 1..... | المقدمة العامة |
|--------|----------------|

الفصل الأول(I): مفاهيم عامة حول التسجيل المغناطيسي

| | |
|---------|---|
| 4..... | 1-I- مقدمة |
| 4..... | 2-I- لمحة تاريخية |
| 5..... | 3-I- مفهوم التسجيل المغناطيسي |
| 5..... | 4-I- طبيعة المعلومة المخزنة |
| 6..... | 5-I- مكونات جهاز التسجيل المغناطيسي |
| 6..... | 6-I- مواد التسجيل المغناطيسي |
| 6..... | 7-I- آلية التسجيل المغناطيسي |
| 7..... | 8-I- خصائص وسائط التسجيل المغناطيسي |
| 7..... | 9-I- أنواع التسجيل المغناطيسي |
| 8..... | 1-9-I- التسجيل الطولي |
| 8..... | 2-9-I- التسجيل المتعامد |
| 11..... | 10-I- نقل المعلومات |
| 11..... | 1-10-I- التسجيل التماثلي |
| 12..... | 2-10-I- التسجيل الرقمي |
| 12..... | 11-I- الكتابة (التسجيل) و القراءة المغناطيسية |
| 12..... | 1-11-I- التسجيل المغناطيسي في الشريط المغناطيسي |
| 12..... | 1-1-11-I- آلية الكتابة |

- 13.....2-1-11-I- آلية القراءة.....
- 14.....3-1-11-I- ايجابيات الشريط المغناطيسي.....
- 14.....4-1-11-I- مساوئ الشريط المغناطيسي.....
- 15.....2-11-I- التسجيل المغناطيسي في الأقراص الصلبة.....
- 15.....1-2-11-I- الية القراءة على القرص الصلب.....
- 17.....2-2-11-I- خصائص القرص الصلب.....
- 17.....12-I- الفرق بين الشريط المغناطيسي و القرص الصلب.....

الفصل الثاني(II): دراسة الخصائص المغناطيسية للمواد وطريقة تحضير العينات

- 18.....1-II- مقدمة.....
- 18.....2-II- بعض المفاهيم الأساسية على المغناطيسية.....
- 18.....1-2-II- أصل الخصائص المغناطيسية.....
- 19.....2-2-II- المغنطة.....
- 19.....3-2-II- القابلية المغناطيسية.....
- 19.....3-II- تصنيف المواد المغناطيسية (وفق سلوكها المغناطيسي).....
- 19.....1-3-II- المواد غير المرتبة مغناطيسيا.....
- 20.....1-1-3-II- المواد ذات المغناطيسية المعاكسة (Diamagnétique).....
- 20.....2-1-3-II- المواد ذات المغناطيسية المسايرة (Paramagnétique).....
- 20.....2-3-II- المواد المرتبة مغناطيسيا.....
- 20.....1-2-3-II- المواد ذات المغناطيسية الحديدية (ferromagnétique).....
- 21.....2-2-3-II- المواد ذات المغناطيسية الحديدية المعاكسة (Anti-ferromagnétique).....
- 22.....3-2-3-II- المواد الفيري مغناطيسية (ferrimagnétique).....
- 22.....4-II- اهم خصائص المواد المغناطيسية.....
- 23.....5-II- المناطق المغناطيسية.....
- 24.....6-II- العوامل المؤثرة على الخصائص المغناطيسية للمواد.....
- 24.....1-6-II- الحقل المغناطيسي المطبق.....
- 25.....2-6-II- درجة الحرارة.....
- 25.....3-6-II- نوع المسند.....
- 25.....4-6-II- نوع الطبقة البينية.....
- 25.....7-II- حلقة التخلف المغناطيسي (دورة هسترة ، بيان التباطؤ المغناطيسي).....

- 25.....1-7-II تعريف دورة الهسترة
- 26.....2-7-II شرح بيان التباطؤ المغناطيسي
- 27.....3-7-II الخصائص المغناطيسية المستخرجة من حلقة التخلف المغناطيسي وارتباطها بالتخزين المغناطيسي
- 27.....1-3-7-II مغنطة التشبع
- 27.....2-3-7-II حقل التشبع
- 28.....3-3-7-II المغنطة المتبقية
- 28.....4-3-7-II الحقل القهري (القسري)
- 29.....5-3-7-II التربيع المغناطيسي
- 29.....6-3-7-II القابلية على التمغنط (الحساسية المغناطيسية)
- 29.....7-3-7-II الشكل
- 30.....8-3-7-II المساحة
- 30.....8-II التقنية المستخدمة في تحضير العينات
- 31.....1-8-II تعريف التنضيد بالقذف الجزيئي
- 31.....2-8-II مبدأ عمل تقنية التنضيد الفوقي بالقذف الجزيئي
- 31.....3-8-II وصف هيكل جهاز التنضيد الجزيئي
- 32.....4-8-II مزايا تقنية التنضيد الجزيئي الموجه
- 33.....9-II تقنية دراسة الخصائص المغناطيسية للعينات
- 33.....1-9-II تعريف تقنية المغنطو ضوئية لتأثير كير (MOKE)
- 33.....2-9-II مبدأ عملها
- 33.....3-9-II انواع تأثير Kerr
- 34.....4-9-II مزايا تقنية MOKE
- 34.....10-II كيفية تحضير العينات
- 34.....1-10-II تحضير المساند
- 35.....1-1-10-II تحضير المسند $SiO_2/Si(100)$
- 35.....2-1-10-II تحضير المسند $MgO(001)$
- 35.....2-10-II كيفية ترسيب الطبقات
- 35.....1-2-10-II ترسيب طبقة الفضة
- 36.....2-2-10-II ترسيب طبقة الحديد
- 36.....3-10-II الشكل النهائي للعينات

الفصل الثالث (III): تحليل النتائج التجريبية

- III-1- مقدمة 37
- III-2- تحليل بيان التخلف المغناطيسي 37
- III-3- ارتباط التخزين المغناطيسي بالخصائص المغناطيسية المستخرجة من دورات الهسترة 39
- III-3-1- مغنطة التشبع 39
- III-3-2- المغنطة المتبقية 40
- III-3-3- حقل القهري (القسري) 41
- III-3-4- حقل التشبع 42
- III-3-5- التربيع المغناطيسي 42
- III-3-6- القابلية المغناطيسية 43
- III-3-7- الاستنتاج 44

الخاتمة العامة

- الخاتمة العامة 45

المراجع

- المراجع 47

قائمة الرموز

قائمة الرموز

| الرمز | معناه |
|-----------------------|---|
| MgO | أكسيد المغنيزيوم |
| SiO ₂ | أكسيد السليسيوم |
| IBM | اختصار: آلات الأعمال الدولية |
| GMR | اختصار: مقاومة مغناطيسية عملاقة |
| EJM- MBE | تقنية التنضيد بالقذف الجزيئي |
| MOKE | المغطة الضوئية لفعل كير |
| RHEED | تقنية انعكاس حيود الإلكترون عالي الطاقة |
| VSM | مخبر فيزياء الجسم الصلب والمغناطيسية |
| Mr | المغطة المتبقية |
| Ms | مغطة التشبع |
| M _{th} | مغطة التشبع النظرية |
| H _c | الحقل القاهر (الحقل الحرج) |
| H _{ext} | الحقل المغناطيسي الخارجي |
| (M-H _{ext}) | بيان التخلف المغناطيسي (دورة الهستيرة) |
| M | المغطة |
| χ | الحساسية المغناطيسية |
| S | التربيع المغناطيسي |
| T _N | درجة حرارة نيل |
| T _c | درجة حرارة كوري |
| C | ثابت كوري |

| | |
|-------------------------------|---------------------|
| تور وحدة قياس الفراغ | Torr |
| درجة مئوية | °م ، C° |
| الأوس ترد | Oe |
| الانغستروم | Å |
| الانغستروم على الثانية | Å/s |
| وحدة قياس المغنطة في نظام CGS | emu/cm ³ |
| ميلي طبقة في كل ثانية | mc/s |

قائمة الاشكال

قائمة الأشكال

| الصفحة | عنوان الشكل | الشكل |
|---------------------|---|-------|
| الفصل الأول | | |
| 04 | التيلغرافون (télégraphone) | 1-I |
| 05 | أول قرص صلب | 2-I |
| 06 | مكونات جهاز التسجيل المغناطيسي | 3-I |
| 07 | رسم توضيحي للفجوة (entrefer) والية التسجيل | 4-I |
| 08 | آلية التسجيل الطولي | 5-I |
| 10 | الفرق بين التسجيلين الطولي والمتعامد في القرص الصلب | 6-I |
| 10 | آلية التسجيل المتعامد | 7-I |
| 11 | تطور حجم حبيبات الذاكرة وكثافة التسجيل | 8-I |
| 13 | آلية الكتابة الطولية | 9-I |
| 14 | رسم توضيحي لآلية القراءة الطولية | 10-I |
| 15 | القطاعات والمسارات في القرص الصلب | 11-I |
| 16 | رسم توضيحي لآلية القراءة على القرص الصلب | 12-I |
| الفصل الثاني | | |
| 24 | تمثيل المناطق المغناطيسية | 1-II |
| 24 | كيفية تغير المغنطة في المنطقة الفاصلة (أ) جدار بلوخ، (ب) جدار نيل | 2-II |
| 27 | تغير المغنطة بدلالة الحقل المغناطيسي الخارجي المطبق (بيان الهسترة) | 3-II |

| | | |
|---------------------|--|-------|
| 30 | شكليين مختلفين لدورة الهسترة | 4-II |
| 32 | رسم تخطيطي لهيكل تقنية التنضيد الجزيئي الموجة | 5-II |
| 33 | رسم تخطيطي لتقنية المغنطو ضوئية لفعل Kerr | 6-II |
| 34 | رسم تخطيطي لأنواع تأثير Keer | 7-II |
| 36 | رسم تخطيطي للعينات | 8-II |
| الفصل الثالث | | |
| 38 | بيان التباطؤ المغناطيسي او ما يعرف بمنحنى الاستجابة المغناطيسية لكل من E_1 و E_2 للحقل المغناطيسي المطبق | 1-III |

قائمة الجداول

قائمة الجداول

| الصفحة | عنوان الجدول | الجدول |
|---------------------|---|--------|
| الفصل الأول | | |
| 16 | مقارنة بين الشريط المغناطيسي والقرص الصلب | 1-I |
| الفصل الثاني | | |
| 22 | المقارنة بين المواد المغناطيسية من حيث الحساسية والعزوم المغناطيسية | 1-II |
| 23 | جدول دوري يبين الخصائص المغناطيسية للمواد | 2-II |
| الفصل الثالث | | |
| 39 | مغنطة التشبع للعينتين E_1 و E_2 | 1-III |
| 40 | قيمة المغنطة المتبقية للعينتين E_1 و E_2 | 2-III |
| 41 | قيم الحقل القسري للعينتين E_1 و E_2 | 3-III |
| 42 | قيم التربيع المغناطيسي للعينتين E_1 و E_2 | 4-III |
| 43 | قيم القابلية المغناطيسية للعينتين E_1 و E_2 | 5-III |

المقدمة العامة

المقدمة العامة

بات الشغل الشاغل للإنسان منذ القدم، سعيه لإيجاد وسيلة مناسبة يحفظ بها آثاره ويخزن فيها معلوماته، واهتدى الإنسان على مر العصور إلى وسائل متعددة تفي بغرضه، وتلبي قسطاً من طموحه واحتياجاته، ربما كان أهمها على الإطلاق اختراع الكتابة سنة 3200 ق.م، وشهد عام 1898م نقلة نوعية، إذ دخل الإنسان التاريخ من بابه الواسع باختراعه لأول آلة تسجيل مغناطيسي، مكنته من اختصار الوقت والجهد والمال، وحفظ حاضره لمستقبله، ولم يقف طموح الإنسانية عند هذا الحد، بل امتد جموح العلماء واحتد التنافس بينهم إلى تحسين آلات التسجيل المغناطيسي، بحيث تغدو أكثر سعة للتخزين وأقل حجماً، وافتك البعض منهم جائزة نوبل في هذا الميدان. ويعتمد ما سبق على الأغشية الرقيقة حيث استعملت الأغشية الرقيقة كثيرة ومتنوعة فمنها الأقراص الصلبة وأنصاف النواقل والسيراميك والطلاء البصري وتصنيع الخلايا الشمسية والضوئية، صناعة الكواشف والوقاية من التآكل والتأكسد، وغيرها من التطبيقات المهمة، فلا يخلو جهاز أو منظومة إلكترونية منها، وإن استعملت الأغشية الرقيقة لها فوائد كثيرة منها تقليل التكلفة وتقليل الحجم والوزن وتحسين المواصفات، ونخص بالذكر في مجال التخزين المغناطيسي (الذاكرة المغناطيسية الصلبة) حيث تعتبر عملية تخزين البيانات من أهم العمليات في وقتنا الحالي، وكذلك محركات الأقراص الصلبة وهو أكبر تطبيق لهذا القطاع التكنولوجي حيث أن هوس التسابق الحالي يكمن في آلية الحصول على مواد فائقة القدرة (ذات سعة كبيرة) على تخزين البيانات وبأحجام مادية صغيرة قدر الإمكان، فيظل التسجيل المغناطيسي على محركات الأقراص الصلبة الطريقة الأكثر موثوقية واقتصادية لتخزين المعلومات على نطاق واسع لمدة عقد على الأقل، ولذلك ركزت الأبحاث العملية على مدار الخمسين عاماً الماضية على زيادة كثافة التخزين وتحسين أداء الكتابة والقراءة (السرعة والكفاءة، ومعدل النقل ووقت الوصول) [01]، فاستخدموا العديد من المواد ذات الطبيعة المختلفة في الكثير من التجارب لتحقيق هذا الهدف، ومن بين هاته المواد المستخدمة نذكر المواد المغناطيسية التي تلعب دوراً هاماً في هذا المجال، وكما نعلم ان لهذه المواد العديد من الخصائص الفيزيائية مثل الخصائص البنيوية والخصائص المغناطيسية التي تتحكم في طبيعتها وبالتالي في نوع المجال المطبقة فيه، وفي هذا السياق تطرح العديد من التساؤلات حول مدى ارتباط الخصائص المغناطيسية لهاته المواد بتطبيقها في مجال التخزين المغناطيسي؟

إن موضوع هذه المذكرة جاء كمحاولة الإجابة على مثل هذه التساؤلات، حيث سندرس مدى ارتباط التخزين المغناطيسي بالخصائص المغناطيسية لمادة تعد من أشهر المواد المغناطيسية، ألا وهو الحديد، وسندرس له الخصائص المغناطيسية وهو في حالة غشاء رقيق سمكه 300Å ، وللتوضيح أكثر في هذا الموضوع ارتأينا استخدام نوعين من المواد المختلفة كمساند يرتكز عليها الحديد وهما: أكسيد

المغنزيوم MgO، أحادي التبلور المصقول على الوجه (001)، والأخر عبارة على مسند ثلاثي التبلور ويتمثل في SiO₂/Si المصقول على الوجه (100)، وللحفاظ على غشاء الحديد من التأكسد رسبنا فوقه سمك صغير جدا (20Å)، وبذلك ستتكون لدينا نوعين من العينات اخترنا لهما الرمزين:

العيونة 1: نرزم لها بالرمز E₁ ذات الصيغة MgO(001)//Fe(300Å)/Ag(20Å)

العيونة 2: نرزم لها بالرمز E₂ ذات الصيغة SiO₂/Si(100)//Fe(300Å)/Ag(20Å)

لقد تم استخدام أحد الطرق الفيزيائية التي تعرف باسم التنضيد الفوقي الموجه (MBE) والتي سنتطرق إلى معناها وكيفية عملها في الفصل الثاني من هذه المذكرة، ولقد رسبنا الطبقات في درجة حرارة الغرفة وعند ضغط منخفض جدا.

ولقد استعملت تقنية المغنطو-ضوئية لفعل Kerr(MOKE) لدراسة الخصائص المغناطيسية لمادة الحديد ونخصه هو بالتحديد، لأنه المادة المغناطيسية الوحيدة في العينتين.

وحتى لا نكون بعيدين عن الاحتواء والفهم الجيد لمذكرتنا سواء من الناحية النظرية أو التطبيقية قمنا بوضع الخطوط العريضة لعملنا، حيث قسمنا هذا العمل العلمي إلى ثلاثة فصول بالإضافة إلى مقدمة عامة وخاتمة عامة.

■ **خصصنا الفصل الأول** لإلقاء نظرة حول المفاهيم العامة للتسجيل المغناطيسي، حيث تطرقنا إلى لمحة تاريخية حول التخزين المغناطيسي مروراً (بألية ومفهوم ومكونات) التسجيل المغناطيسي وختاماً تطرقنا إلى أنواع التسجيل المغناطيسي والكتابة والقراءة المغناطيسية، والفرق بين الشريط المغناطيسي والقرص الصلب.

■ **سنتطرق في الفصل الثاني** إلى بعض المفاهيم الأساسية في المغناطيسية وكذلك إلى المناطق المغناطيسية وتصنيف المواد حسب خصائصها المغناطيسية ولا بد من التطرق إلى العوامل المؤثرة على الخصائص المغناطيسية للمواد، وسنواصل في هذا الفصل ذكر دورة التخلف المغناطيسي بالتفصيل بالإضافة إلى أهم عناصرها(الحقل القاهر، مغنطة التشبع، المغنطة المتبقية، حقل التشبع والحساسية المغناطيسية) مع شرح مفصل لكل عنصر وعلاقته بالتخزين المغناطيسي، كذلك سنتعرف على التقنية التي حضرت بها العينتين و المتمثلة في الترسيب بالتنضيد الجزئي الموجه و الذي يرمز لها بالرمز (MBE)، حيث شرحنا معناها ومبدأ عملها و ذكر بعض المميزات و الخصائص التي تمتاز بها، ثم تطرقنا إلى ما يعرف بتقنية المغنطو-ضوئية لتأثير Kerr و التي يرمز لها بالرمز (MOKE)، و هذا من أجل استخراج الخصائص المغناطيسية المطلوبة في عملنا هذا مثل الحقل القسري، و لقد قمنا بشرح

هذه التقنية شرحة مفصلا من حيث تعريفها و مبدأ عملها و فوائدها و ميزاتها، و في الختام شرحنا كيفية تحضير العينات المدروسة.

■ أما **الفصل الثالث** والأخير فقد خصصناه لدراسة ومناقشة النتائج المحصل عليها من هذه المذكرة وهي دراسة مدى تطبيق عينتين في مجال التخزين المغناطيسي من خلال دراسة خصائصهما المغناطيسية.

الفصل الأول (I)

مفاهيم عامة حول التسجيل المغناطيسي

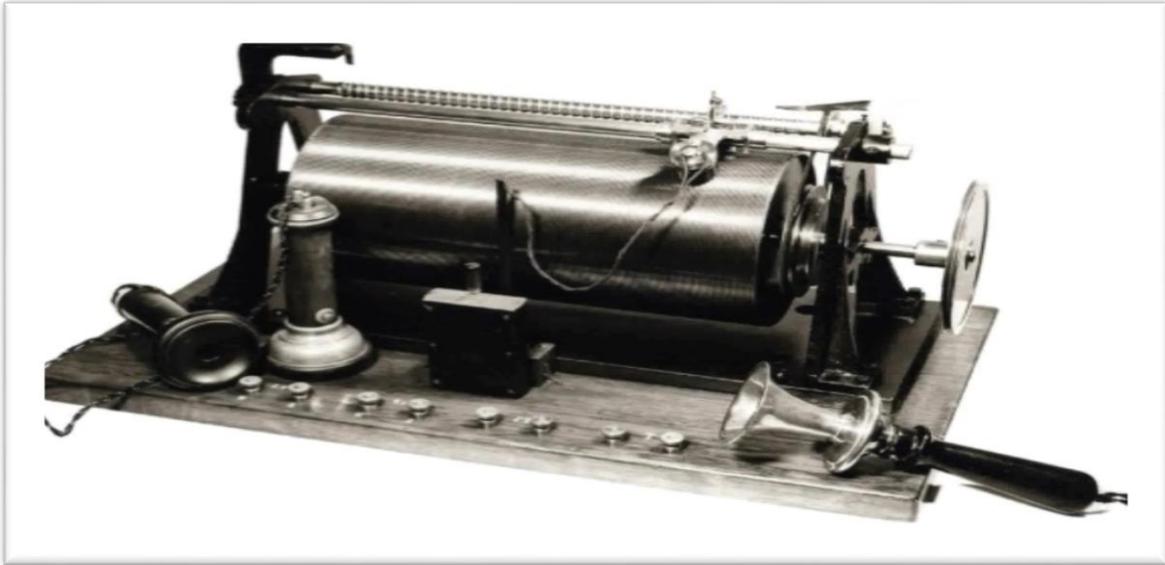
1-I- مقدمة

سنخصص الفصل الأول لإلقاء نظرة حول مبادئ التسجيل المغناطيسي، حيث سنتطرق إلى لمحة تاريخية حول التخزين المغناطيسي، ثم سنتعرف إلى مفهوم ومكونات وآلية التسجيل المغناطيسي وختاماً سنتطرق إلى أنواع التسجيل المغناطيسي والكتابة والقراءة المغناطيسية والفرق بين الشريط المغناطيسي والقرص الصلب.

2-I- لمحة تاريخية

■ في سنة 1888 تطور مبدأ التسجيل المغناطيسي على المستوى النظري من قبل العالم الإنجليزي (Oberlin Smith) [02].

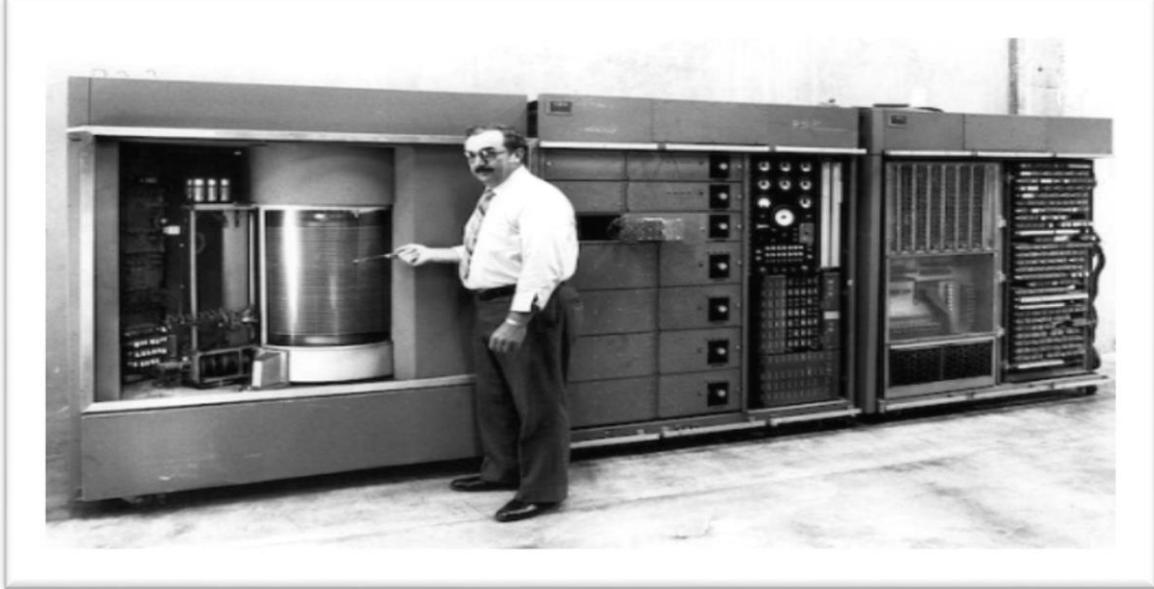
■ في 1898 و 1899م دفع العالم (Valdemar Poulsen) طلب براءة اختراع حيث صنع جهاز يدعى التيليجرافون كما هو موضح في (الشكل 1-I)، والحقيقة أنه يختلف كثيراً من الناحية المغنطوية- صوتية عما هو عليه جهاز التسجيل حالياً حيث كان يحتوي على أسطوانة مرتبطة بإحكام مع محرك كهربائي صغير و ملفوف حولها سلسلة ولفات من سلك لولبي من الفولاذ ذو سمك 0.5-1 مم بالمحاذاة مع هذه الحلقات نجد مغناطيس كهربائي به فجوة (enterfer) بشكل عرضي، إن مبدأ التسجيل المغناطيسي لم يكن إذا معلوماً فقط لكن كان مستعملاً أيضاً بواسطة التيليجرافون منذ 1899م [03]، ولم يلقى صداً واسعاً بسبب عدة عوائق أهمها غياب المضخمات في ذلك الوقت.



الشكل 1-I- التيليجرافون (télégraphone) [02].

■ في 1928 تم اختراع الشريط المغناطيسي لتسجيل الصوت في ألمانيا من قبل العالم
(Fritz Pfleumer).

■ في 1956 اخترع القرص الصلب (الشكل I-2) من قبل شركة IBM وكان كبير الحجم [03].
■ وشهد في الأعوام الماضية تطورا كبيرا إلى غاية وقتنا فأصبح له العديد من الأنواع وبأحجام أصغر.



الشكل I-2-أول قرص صلب [04].

I-3- مفهوم التسجيل المغناطيسي

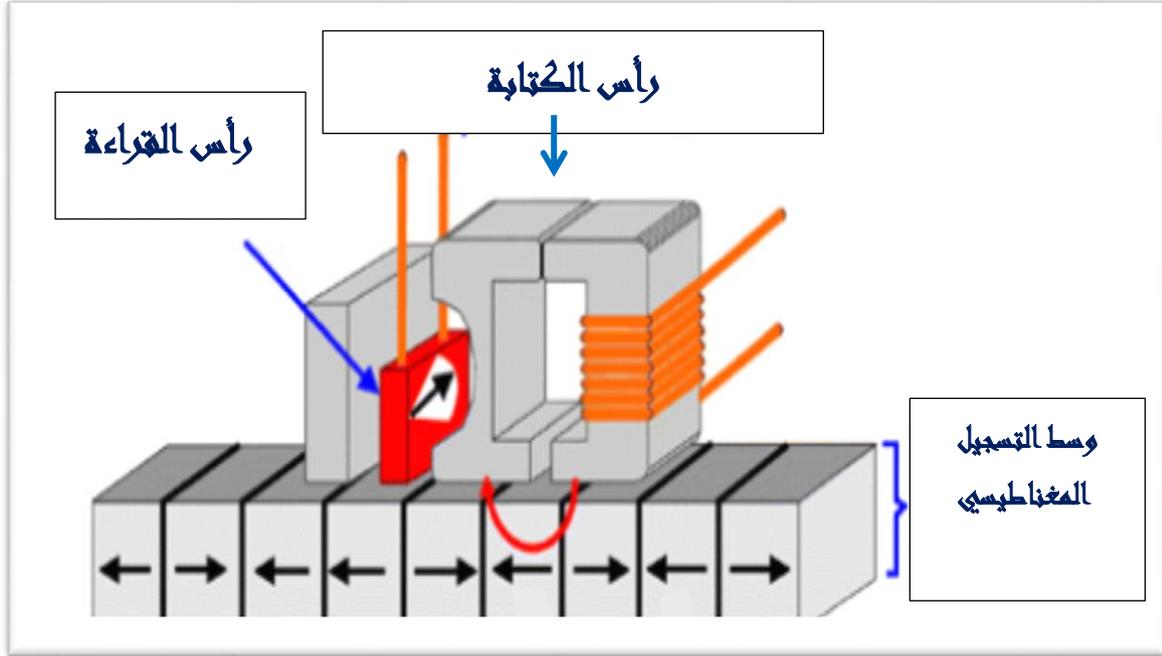
يعتمد التسجيل المغناطيسي على تخزين المعلومات على مادة مغناطيسية على شكل مناطق ممغنطة
ولفهم كيف يتم تخزين المعلومة على المواد المغناطيسية يستحسن فهم طبيعة هذه المعلومة [01].

I-4- طبيعة المعلومة المخزنة

إن البيانات المخزنة على المواد المغناطيسية كثيرة ومتنوعة: صوت، صورة، بيانات الكمبيوتر...
الخ ومهما يكن نوع هذه المعلومة فإنه يمكن تحويلها إلى إشارة كهربائية متغيرة الشدة، وهذه هي الإشارة
التي يمكن تحويلها إلى معلومة مغناطيسية وبالتالي تخزينها على حامل مغناطيسي وهو الذي ندعوه
بالتسجيل، بالمثل فإن المعلومة المغناطيسية المخزنة يمكن إعادة تحويلها إلى إشارة كهربائية مما يسمح
بقراءة المعلومة المخزنة وهو الذي ندعوه القراءة [01].

5-I- مكونات جهاز التسجيل المغناطيسي

(الشكل 3-I) يوضح مكونات جهاز التسجيل المغناطيسي.



الشكل 3-I-مكونات جهاز التسجيل المغناطيسي [05].

6-I- مواد التسجيل المغناطيسي

لقد تطور استعمال المواد المغناطيسية مع مرور السنين، واستعمل أول حامل مغناطيسي سنة 1898م من قبل الدنماركي (Valdemar poulsen) حيث كان عبارة عن سلك بسيط من الفولاذ لكنه عرف عدة تغييرات وتحسينات مع مرور الزمن [03]، وأصبح في وقتنا الحالي يتألف من طبقات رقيقة من المواد الفيرومغناطيسية والموضوعة على حامل غير مغناطيسي. [06،07]

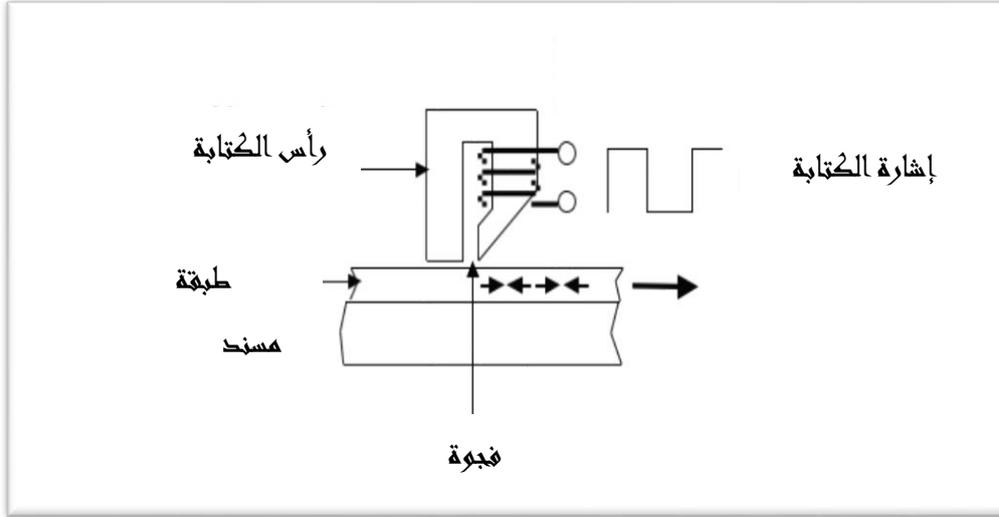
- تعتبر الأشرطة أكثر الحوامل المتداولة في التسجيل المغناطيسي التماثلي خاصة السمع.
- بينما تعتبر الأقراص الصلبة أكثر الأنواع المستعملة في التسجيل الرقمي.

7-I- آلية التسجيل المغناطيسي

يعتمد التسجيل المغناطيسي على إنشاء مناطق متناوبة المغنطة على الحامل (الشريط المغناطيسي)، والتي ينبغي أن تبقى ثابتة (المناطق المتناوبة المغنطة) حتى عملية القراءة المقبلة.

وتجرى هذه العملية بمساعدة رأس الكتابة المشكل من دارة مغناطيسية ملفوفة بوشيعية والتي عند مرور التيار بها تنشئ حقلا تحريضيا منظما من قبل الدارة المغناطيسية، إن وجود شق صغير في هذه الدارة يدعى الفجوة (entrefer) كما في (الشكل 4-I)، ينشئ حقلا محرضا يسبب توجه المغنطة على الشريط،

ويسمح لنا قلب جهة التيار بالحصول على مناطق ممغنطة متناوبة وتسمح هذه السيرورة بإنشاء منطقة كتابة حاملة للمعلومة صورة أو صوتاً أو فيديو.



الشكل I-4-رسم توضيحي للفجوة (entrefer) والية التسجيل [08].

I-8- خصائص وسائط التسجيل المغناطيسي

يحتل التسجيل المغناطيسي ميدانا واسعا، في الأشرطة المغناطيسية، الأقراص الصلبة، وينبغي الإشارة إلى المنافسة التي يلقاها من قبل طرائق أخرى للتسجيل مثل: التسجيل الضوئي والمغنون-ضوئي، ويجب توفر بعض الخصائص في المواد المستعملة في التسجيل المغناطيسي نذكر منها:

- مغنطة متبقية عالية لبلوغ فعالية تسمح بقراءة الحقول الصادرة عن الحجرات (bits) المغناطيسية المستعملة في التخزين والمتناهية الصغر.
- حقل قهري (champ coercitif) مرتفع، وذلك لضمان الغاء استقرار الحقل المغناطيسي الساكن لحجرتين مغناطيسيتين متجاورتين مغنطتهما مرتفعة [09].
- حلقة التباطؤ المغناطيسي تؤول إلى مستطيل بحيث يكون $S = \frac{M_r}{M_s} \cong 1$ من أجل معامل الضجيج

أو الضوضاء (bruit) منخفض [11·10·01].

I-9- أنواع التسجيل المغناطيسي

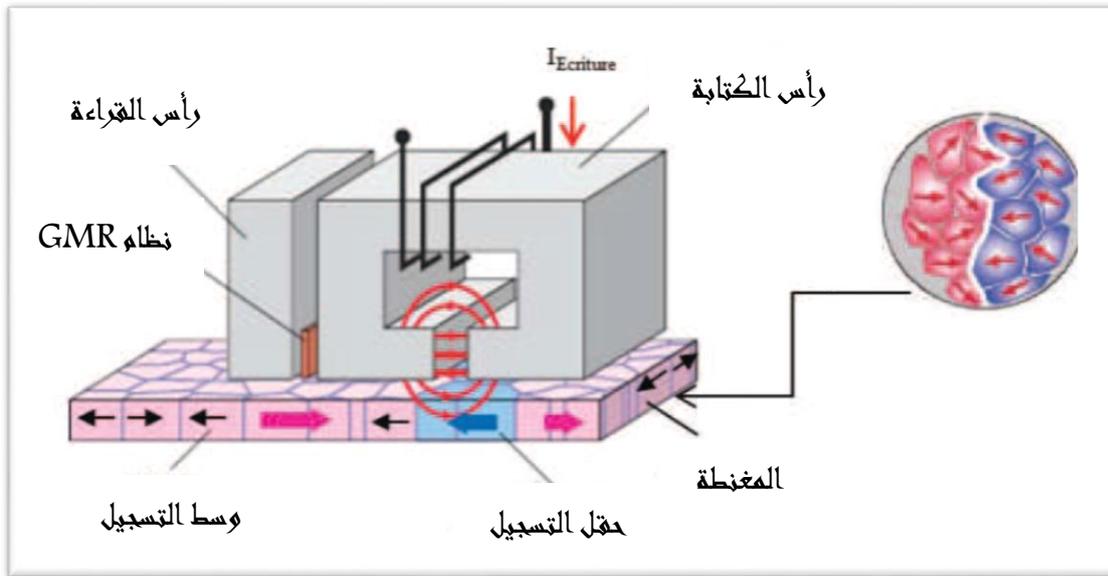
يعتمد التسجيل المغناطيسي على ترجمة المعلومات (الإشارة الكهربائية) إلى حالة فيزيائية ثابتة (حالة مغناطيسية) والتي تحفظ على عوامل تدعى وسائط حيث يمكن استعادة المعلومات في الوقت الذي تريده، ويمكن تقسيم التسجيل المغناطيسي بالنظر لآلية التسجيل إلى: تسجيل طولي وآخر متعامد [12] حيث إن مبدأ التسجيلين الطولي والمتعامد يرتكز على مغنطة الحبيبات أثناء عبور حقل مغناطيسي

بالنسبة للتقنيتين فإن القرص الصلب يقوم بتخزين البيانات على كفات، والتي تدور بسرعة ثابتة عكس اتجاه عقارب الساعة، وتخزن البيانات أو تقرأ بواسطة رأس القراءة أو الكتابة الذي يسمح سطح الكفة ولأجل تمثيل إشارة على شكل مقدار فيزيائي توجد طريقتين أساسيتين: [13]

I-9-1- التسجيل الطولي

خلال عملية التسجيل بالتقنية التقليدية، والتي تسمى بالطولية، تنتج في الفجوة حقل مغناطيسي (شمال-جنوب أو جنوب-شمال) حيث ينتقل هذا الاستقطاب إلى الحبيبات المغناطيسية الموجودة على مستوى الكفة كما في (الشكل I-5)، وهكذا نكتب المعلومات على الكفة عن طريق تناوب المغنطة، حيث توجه الأقطاب بشكل موازي للكفة [13،05]، ولهذا التسجيل العديد من المساوئ نذكر منها:

يبدو ان التسجيل الطولي "مزعجا" بسبب عدم استقرار الحجرات المستوية، مع صعوبة التعرف على اشارات القراءة الجذ منخفضة الصادرة عن الأوساط التي يقل سمكها عن 100\AA ، كما أنها تستدعي حقلًا مرتفعًا من أجل الكتابة، بالإضافة إلى اللااستقرار الحراري العائد إلى البارامغناطيسية الفائقة، إن جميع هذه الصعوبات يمكن تقليلها أو تجنبها باستخدام التسجيل المتعامد [14،01].



الشكل I-5-آلية التسجيل الطولي [13].

I-9-2- التسجيل المتعامد

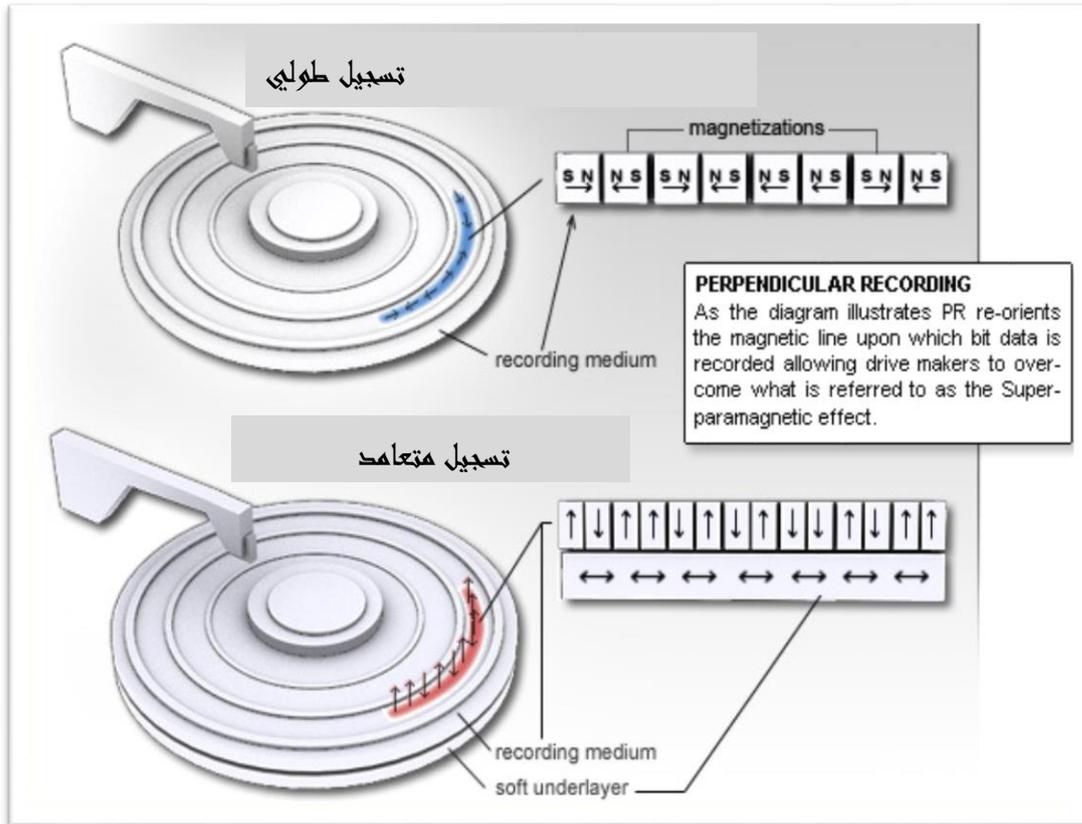
بينما يكون التمثيل في التسجيل الطولي موازيا لمساحة وسيط التسجيل، تكون المغنطة في التسجيل المتعامد موجهة بالتعامد مع وسيط التسجيل كما هو موضح في (الشكل I-6)، كما أن مجموعة الحبيبات المستعملة في تقنية التسجيل المتعامد تكون أصغر من تلك المستعملة في تقنية التسجيل الطولي أي تكون متراسة في مساحات متماثلة، يمكننا تجميع أكبر قدر من الحبيبات من أجل رفع كثافة التخزين،

وعلى الرغم من إضافة طبقات إضافية، فإن سمك الكفة لا يزيد إلا بشكل يسير جدا عن سمكها في تقنية التسجيل المتعامد [01].

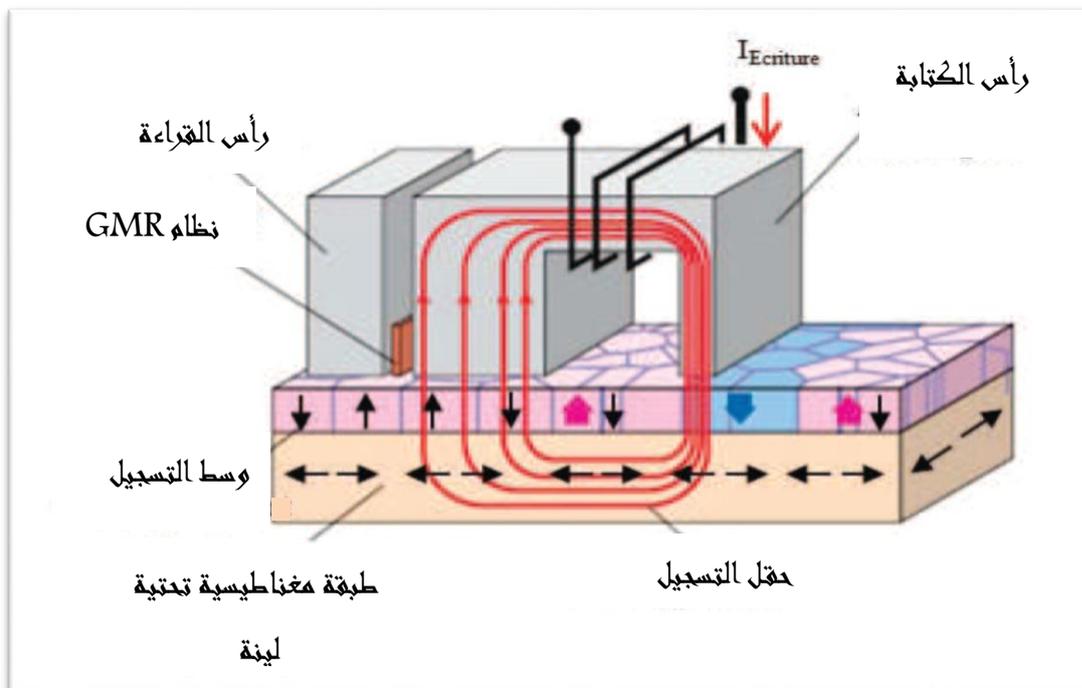
بالإضافة إلى ذلك فإن وسائط التسجيل المتعامد تستعمل المواد اللينة كطبقات تحتية وهذا لتسهيل عودة (رجوع) التدفق المغناطيسي الذي يقوم بالكتابة (الكاتب)، ويحوي رأس القراءة المستعمل لهذه الحالة قطبين أحدهما ضيق وذلك لمركزة (التجميع) التدفق في الفجوة أثناء عملية الكتابة والأخر واسع لاستقبال التدفق المعاد بغرض إتمام الدورة المغناطيسية أثناء عملية الكتابة [15].

قبل أن نتكلم عن فائدة هذا التسجيل، سنفحص باختصار الطريقة التي تعمل بها تكنولوجيا التسجيل المتعامد، إن الأقراص الصلبة التقليدية تقوم بتخزين الحبيبات (المعلومات) بشكل خطي (طولي)، على سطح القرص، أما التسجيل المتعامد فإنه يختلف اختلافا جذريا في طريقة كتابة المعلومة على القرص، إذ تكون الحبيبات ممغنطة بالتعامد على طول الطريق عوض تمغنط خطي كما هو موضح في (الشكل I-7)، حيث نقوم بتسجيل البيانات شاقوليا (بالتعامد مع سطح كفة القرص)، ويمكن لمصنعي الأقراص الصلبة إدخال معلومات أكثر في الفراغات المتوفرة على مستوى القرص، وهو ما يسمح بإنشاء كثافة بيانات جد مرتفعة تدعى بالكثافة الموضوعية [13]، من بين المساوئ لهذا النوع من التسجيل هو انه لأجل مغنطة الحبيبات بشكل عمودي على الكفة، ينبغي للحقل الصادر عن الرأس أن يكون أكبر بمرتين من قيمته في التسجيل الطولي [01]، كذلك تلف البيانات نتيجة ضيق الحجلات المتواجدة في فضاء جد مختزل (ضيق)، مما يؤدي الى انقلاب أقطابها المغناطيسية رأسا على عقب، إن ظاهرة قلب الأقطاب المغناطيسية بالنسبة للحبيبات الضعيفة الشحنة تعرف تحت اسم تأثير البارامغناطيسية الفائقة [14].

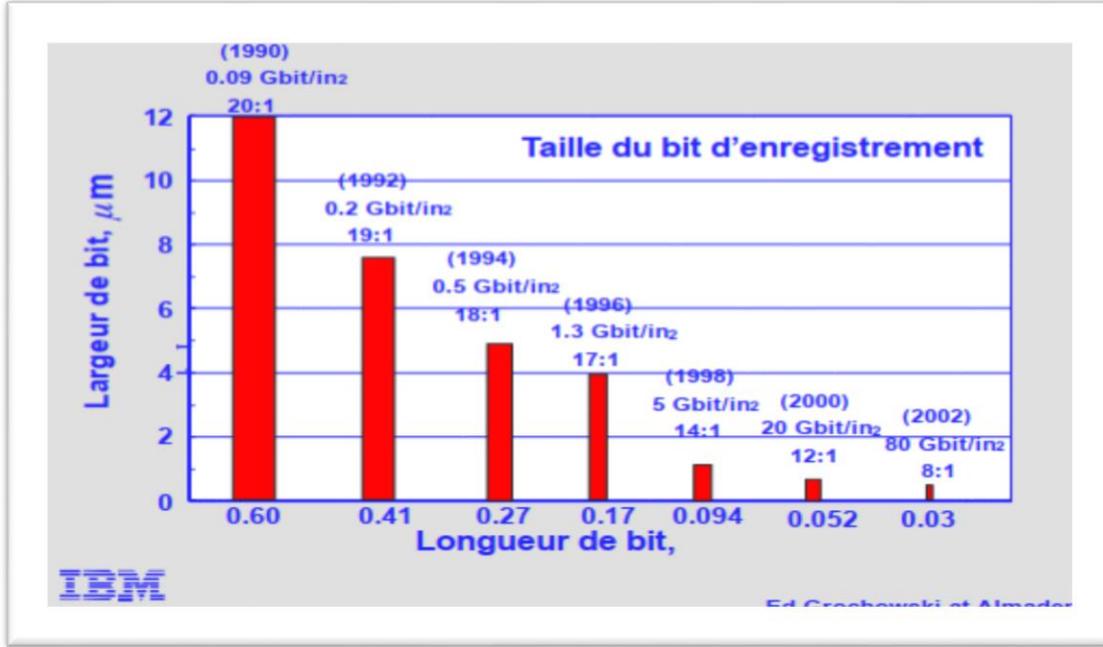
بالرغم من مساوئ التسجيل المتعامد فله أيضا عدة ايجابيات ومنها: أنه يسمح بكثافة تخزين مرتفعة للمعلومة، لأن مغنطة البيانات لا يتم بسهولة إلا عبر المناطق الصغيرة الموجودة على طول خط التسجيل المتعامد، كما يشير هذا التسجيل إلى حدوث بعض التحسينات التقنية من أجل الزيادة في تدفق المعلومة، وكثافة تخزينها، وسرعة الحصول عليها كما موضح في (الشكل I-8).



الشكل I-6- الفرق بين التسجيلين الطولي والمتعامد في القرص الصلب [16].



الشكل I-7- آلية التسجيل المتعامد [13].



الشكل I-8-تطور حجم حبيبات الذاكرة وكثافة التسجيل [17].

I-10- نقل المعلومات

يمكن تقسيم التسجيل من حيث علاقة المعلومة المخزنة بالمعلومة الأصلية، وبشكل عام في عالم الإلكترونيات إذا أردنا نقل بيانات من مكان إلى آخر بغض النظر عن بعد هذين المكانين عن بعضهما، فلا بد من أن:

أولاً: يجب أن يتم تحويل هذه البيانات إلى إشارات قابلة للنقل.

ثانياً: تنقل هذه البيانات إلى الطرف الآخر على شكل إشارات إلكترونية.

ثالثاً: يقوم الطرف الآخر بتحويل هذه الإشارة إلى بيانات مرة أخرى.

إن عملية نقل البيانات (الخطوة الثانية) يمكن أن تتم بإحدى الطريقتين:

I-10-1- التسجيل التماثلي

حيث تتناسب سعة المقادير الفيزيائية مع الإشارة، يسمح أن تكون الإشارة كاملة القيمة أو تساوي صفر أو أي قيمة بين هذه وتلك، يحفظ التسجيل التماثلي الإشارة على هيئتها الأصلية، فالتسجيل التماثلي للصوت من يحول الأمواج الصوتية إلى إشارات يخضع تغييرها إلى نفس القانون، وترتكز طريقة التسجيل التماثلي المغناطيسي للصوت على سبيل المثال على ترجمة الأمواج الصوتية إلى نبضات إلكترونية بواسطة المكروفون، حيث يتم تضخيمها ثم تخزينها على شريط من البلاستيك مطلي بحبيبات مغناطيسية [18].

I-10-2- التسجيل الرقمي

وفيه ترسل المعلومات من طرف إلى آخر على شكل سلسلة من الإشارات كل إشارة قيمتها 1 أو 0، حيث تترجم الإشارة أولاً إلى نظام ثنائي، والذي يسمح بتشفير المعلومة ولقد ازداد استعمال هذه الطريقة نظراً لمحاسنها العديدة في عملية التخزين، يتطلب التسجيل الرقمي مقداراً فيزيائياً ذو مستويين أعلى وأدنى مختلفين والذي يمكن حفظه على وسائط التسجيل وبالمقابل تبدي المواد المغناطيسية في حالة الراحة حالتين للمغطة المتبقية مختلفتين ($\pm M_r$) وبتطبيق حقل مغناطيسي كافي على وسائط التسجيل أثناء عملية الكتابة فإننا نخزن هكذا المعلومة الرقمية وأثناء عملية القراءة يكفي كشف أو فصل هذين المستويين من المغطة [18].

I-11- الكتابة (التسجيل) و القراءة المغناطيسية

I-11-1- التسجيل المغناطيسي في الشريط المغناطيسي

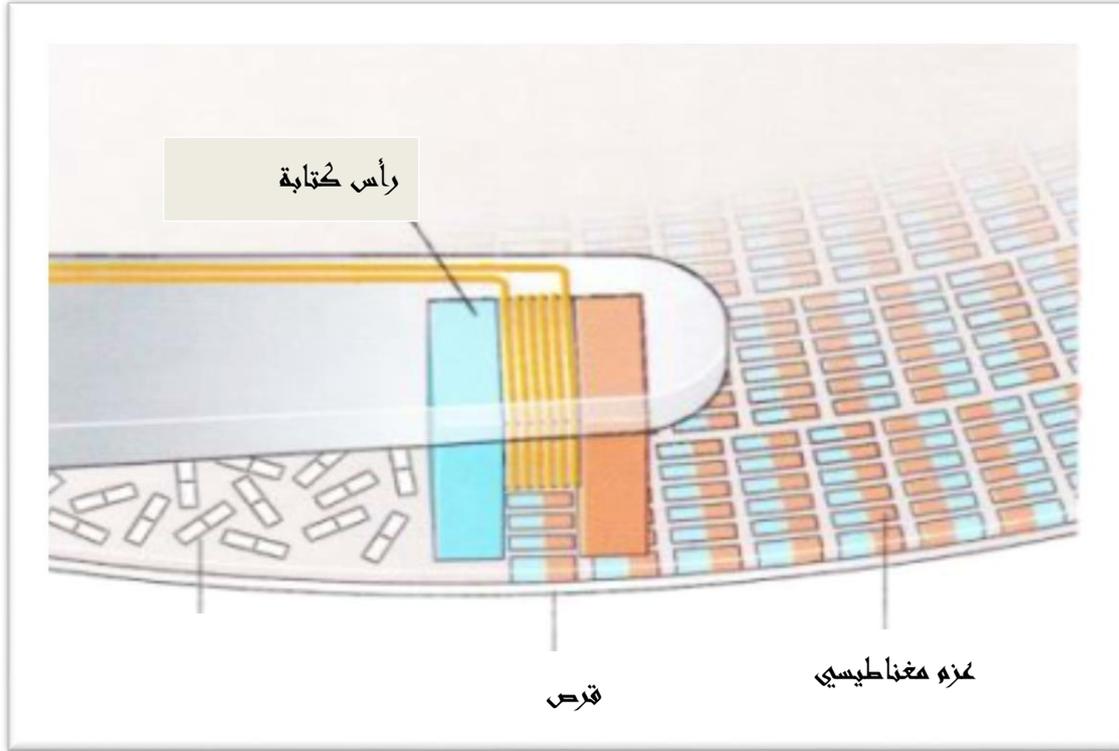
تعد الأشرطة المغناطيسية من أرخص وحدات التخزين الثانوية ويتألف الشريط المغناطيسي من دقائق مغناطيسية صغيرة جداً وملصقة على حامل من البلاستيك حيث يمكن اعتبار هذه الدقائق كمغناط صغيرة.

إذا كان التيار الذي يعبر الوشيعية معتبراً فإن الحقل المؤثر على الشريط المغناطيسي يكون كبيراً هو الآخر ومنه تأخذ هذه المغناط الصغيرة إتجاهه، ويأخذ هذا الجزء من الشريط إذا مغطة معتبرة، أما إذا كانت شدة التيار المار في الوشيعية ضعيفة فإن المغناط الصغيرة للشريط المغناطيسي تتجه جزئياً فقط باتجاه الحقل الناشئ، وتكون المعلومة المحصل عليها محمولة على الشريط، ونكون هكذا قد قمنا بتخزين المعلومة التي تعطي شدة الإشارة، حيث يتحرك الشريط بدون توقف وبسرعة ثابتة.

I-11-1-1- آلية الكتابة

إن رؤوس الكتابة في أي جهاز تخزين مغناطيسي هي عبارة عن قطعة معدنية ناقلة على شكل حرف U بحيث النهايات الحرة متوضعة بشكل مباشر فوق السطح المراد تخزين البيانات عليه، يلف على القطعة المعدنية سلك ناقل يمر عبره التيار الكهربائي (الشكل I-9) [2] ، عندما يمر التيار الكهربائي في هذه الوشيعية يتولد حقل مغناطيسي في الثغرة الهوائية بين ذراعي الحرف U وهذا الحقل ذو اتجاه يؤثر في الجسيمات المعدنية الموجودة بشكل عشوائي على سطح القرص والتي تسلك سلوك مغناطيس، يؤدي الحقل المغناطيسي إلى التأثير على قطبيها بشكل يتناسب مع اتجاه الحقل المغناطيسي (أقطابها الموجبة تتوجه إلى القطب السالب لرأس القراءة/كتابة وأقطابها السالبة باتجاه القطب الموجب لرأس القراءة/الكتابة). إن تغيير اتجاه التيار الذي يمر في الوشيعية يؤدي إلى تغيير اتجاه الحقل المتولد وبالتالي

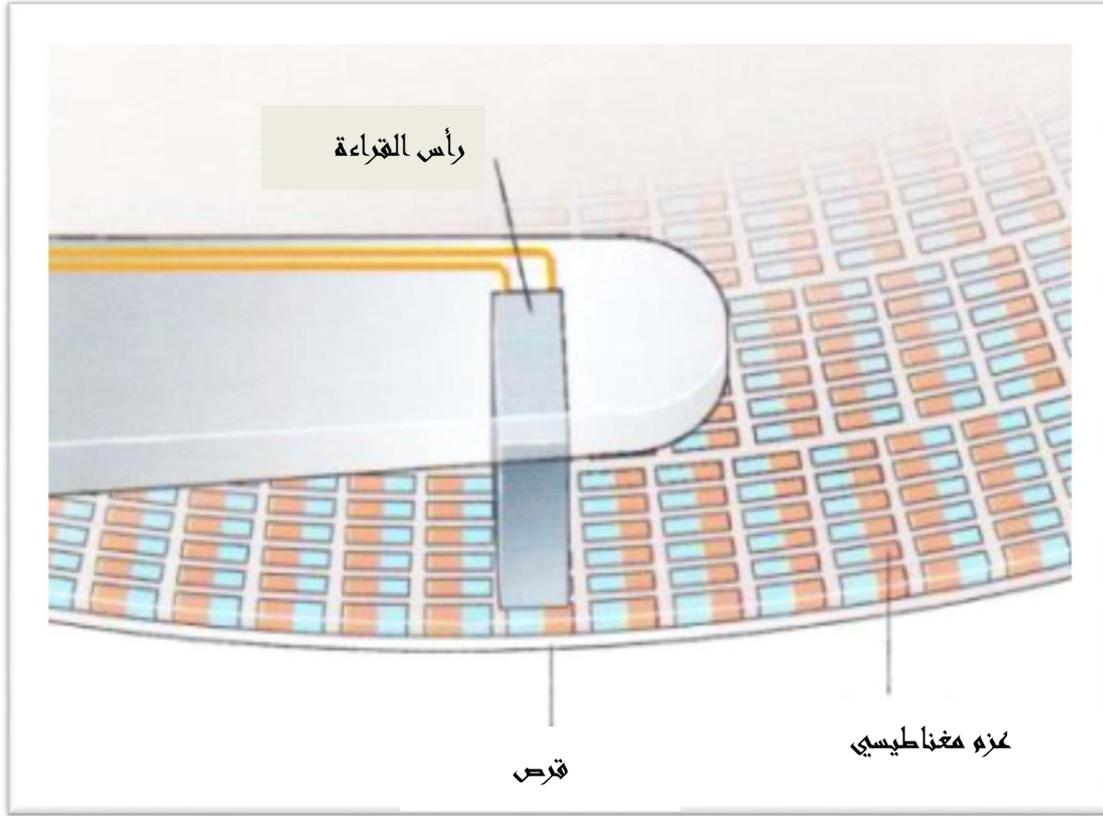
تغيير استقطاب الشحنات الموجودة على سطح القرص، أي أن تغيير اتجاه التيار يؤدي إلى تسجيل 0 أو 1 على القرص [20.19].



الشكل I-9- آلية الكتابة الطولية [12].

I-11-1-2- آلية القراءة

من أجل قراءة البيانات لا يتم إرسال أي تيار إلى رأس القراءة أثناء مروره فوق القرص وبدلاً من ذلك يحدث عكس ما حصل في عملية الكتابة، فمجموعة الجزيئات المستقطبة في سطح القرص هي نفسها تنشئ حقلاً مغناطيسياً يمر من خلاله رأس القراءة، إن حركة الرأس من خلال الحقل المغناطيسي تولد تياراً كهربائياً يمر في أحد الاتجاهين من خلال الأسلاك الموصلة إلى الرأس، يعتمد الاتجاه الذي يسلكه التيار على قطبية النطاقات، بتحسس اتجاه التيار يمكن للحاسوب أن يعرف فيما إذا كان رأس القراءة يمر فوق 1 أو 0 (الشكل I-10) يوضح رسم توضيحي لآلية القراءة الطولية [21.20].



الشكل I-10-رسم توضيحي لآلية القراءة الطولية [12]

I-11-1-3- ايجابيات الشريط المغناطيسي

يعتبر الشريط المغناطيسي من وحدات التخزين المغناطيسي شائعة الاستخدام وذلك لأسباب الآتية: [22]

1. رخص ثمنه.
2. إمكانية تخزين كميات كبيرة من البيانات.
3. يستخدم الشريط لحفظ النسخ الاحتياطية من البيانات والتي يمكن الرجوع إليها عند حدوث خلل ما في البيانات الأصلية التي تكون عادة مخزنة على القرص المغناطيسي.

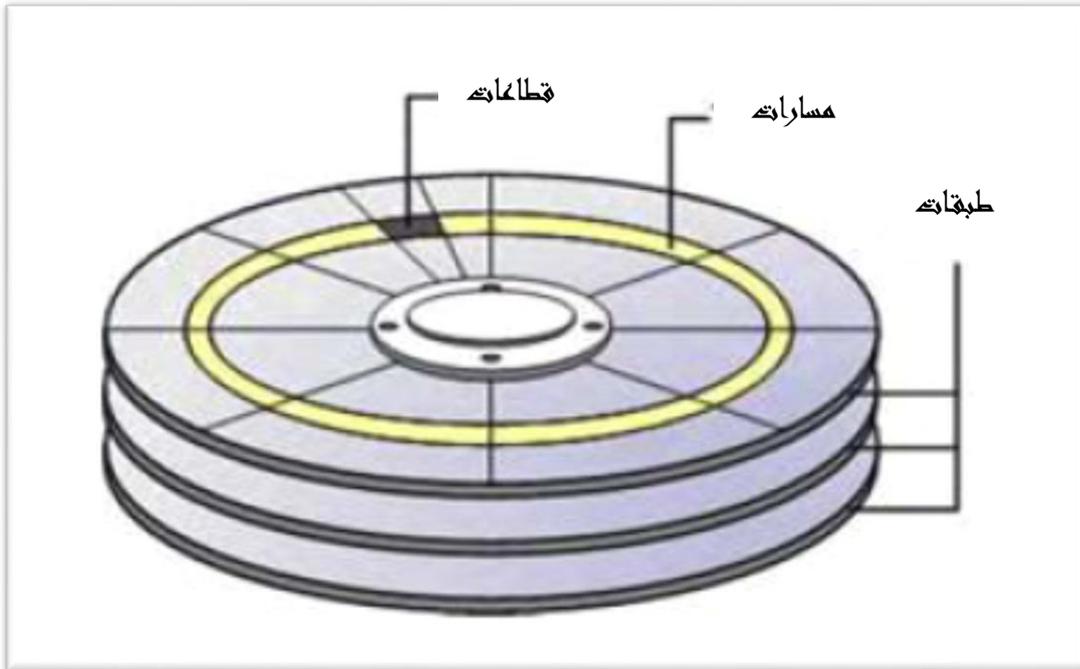
I-11-1-4- مساوئ الشريط المغناطيسي

أما مساوئ الشريط المغناطيسي فتكمن في تدني سرعة الكتابة والقراءة وذلك لأن الشريط وحدة تتابعية أي تتم القراءة فيه بشكل تتابعي لذا يستخدم الشريط فقط لتخزين الملفات التتابعية، ومن مساوئ الشريط أيضا أنه يستخدم كوحدة إدخال للقراءة أو وحدة إخراج الكتابة في اللحظة الزمنية، أي لا يمكن استخدامه كوحدة إدخال وإخراج في نفس الوقت، ولتسجيل البيانات المخزنة على الشريط في مكان آخر لا بد من استخدام مشغل أشرطة ثاني، ولهذه الأسباب يقتصر استخدام الشريط على الاحتفاظ بالنسخ الاحتياطية والبيانات التاريخية التي لا تحتاج إلى عمليات معالجة مستمرة [22].

I-11-2- التسجيل المغناطيسي في الأقراص الصلبة

القرص الصلب عبارة عن وحدة متكاملة تتكون من مجموعة شرائح مغناطيسية دائرية تصنع من مادة معدنية (صلبة) و كما في الأقراص المغناطيسية المرنة تطلّى الشرائح بمادة قابلة للمغنطة كي يمكن الكتابة والقراءة على ومن الشرائح بواسطة رؤوس الكتابة والقراءة التي تتخلل هذه الشرائح لتصل إلى أي نقطة عليها، أثناء دوران الشرائح مع بعضها بواسطة محرك خاص بوحدة القرص المغناطيسي الصلب ويغلف كل ذلك بغلاف معدني متين لحماية محتويات القرص الداخلية التي يراعى أن تكون في وسط ملائم عادة ما يكون هذا الوسط غاز خامل لمنع حدوث أي عارض غير متوقع [23].

في البداية نقول بأن عملية التخزين تتم في قطاعات (Sectors) ومسارات (Tracks) كما هو موضح في (الشكل 11-I)، والمسارات عبارة عن دوائر متحدة المركز، والقطاعات هي أجزاء من المسارات وكلما تمكنا من زيادة عدد القطاعات في المسار الواحد زادت السعة التخزينية الكلية للقرص الصلب، يحتوي القطاع على عدد محدد من الحجيرات (bytes) [23].

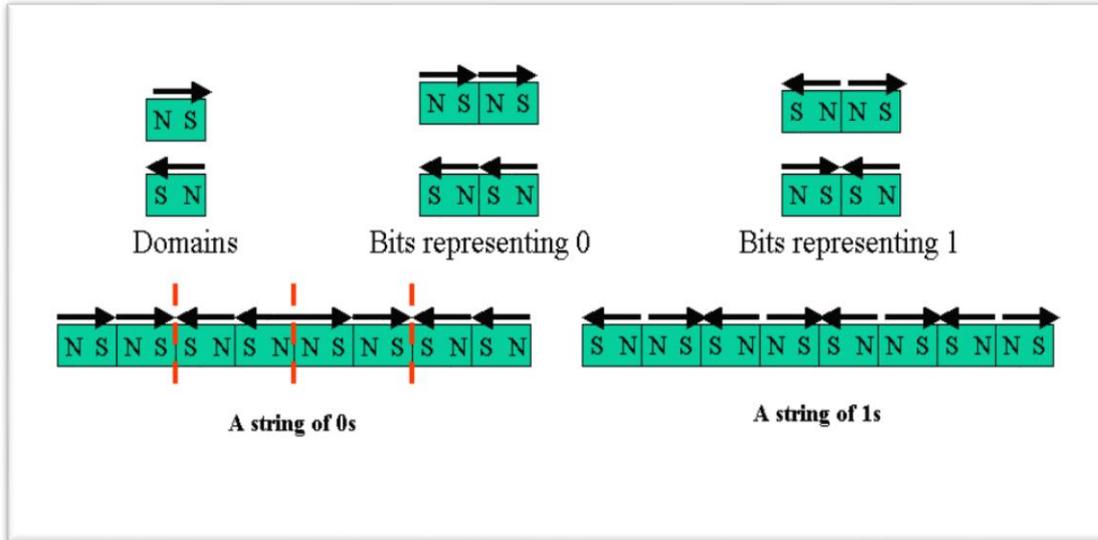


الشكل 11-I-القطاعات والمسارات في القرص الصلب [23].

I-11-2-1- آلية القراءة على القرص الصلب

ينبغي على البيانات المسجلة على القرص الصلب في شكل مغناطيسي شمال-جنوب أو جنوب-شمال أن تعاد قراءتها، وترجمتها على شكل بيانات ثنائية 0 أو 1، إن هذا التحويل لا يتم بالتكافؤ البسيط (شمال-شمال أو جنوب-جنوب) = 1 و(جنوب-شمال أو شمال-جنوب) = 0، ولكن أيضا بفحص وتحليل الاختلاف في الاستقطاب، وهو إجراء يسمح بتفسير أكثر أمانة وسرعة، إذ تكون سرعة الدوران كبيرة.

خلال عملية قراءة البيانات المخزنة بتقنية التسجيل الطولي فإن لاقط (رأس) القراءة، يؤشر على الاختلافات في الاستقطاب الموجودة بين مجموعتين من الحبيبات موضوعتين جنباً لجنب، إن هذه الفروق هي التي تفسر على أنها حجيرات (bits)، حيث إذا تتابعت مجموعتين تحملان نفس الاستقطاب فإن طرفاهما المشتركان يتجاذبان (لأن القطب الشمالي يجذب القطب الجنوبي)، وهو ما يترجم بـ0، (إن طريقة الترجمة تختلف على حسب مصنعي الأقراص الصلبة)، أما إذا تتابع مجموعتين ذات استقطابين متعاكسين فإن حافظتهما المشتركة تتنافر، وهو ما يترجم على أنه 1، إذا كان وسط التسجيل ممغنط عن طريق تقنية التسجيل المتعامد، فلا وجود لظاهرة تنافر و تجاذب الأقطاب، ولكن مبدأ الترجمة يبقى نفسه: تتالي قطبين متماثلين يترجم بـ1، أما تتالي قطبين متضادين فيترجم بـ0 أنظر (الشكل I-12) الذي يوضح آلية القراءة على القرص الصلب [23]، عمل إبرة القراءة على تحويل البيانات إلى رموز ثنائية (1,0) حيث تخزن كنبضات كهربائية فتخزن الرمز (1) على شكل منطقة مغناطيسية والرمز (0) على شكل منطقة غير مغناطيسية على سطح القرص الصلب و تتم قراءة البيانات في الأقراص الصلبة الحديثة باستعمال رؤوس مكونة من مواد من نوع GMR، والتي تتغير مقاومتها الكهربائية تبعاً لمغنطتها وتمتاز بحساسيتها للحقول الضعيفة.



الشكل I-12- رسم توضيحي لآلية القراءة على القرص الصلب [24،25].

إن آلية الكتابة على الأقراص الصلبة تشبه إلى حد بعيد ما رأيناه بالنسبة للأشرطة المغناطيسية نظراً للتشابه الكبير بينهما (حبيبات مغناطيسية محمولة على حامل من البلاستيك).

I-11-2-2- خصائص القرص الصلب

- 1- إمكانية تخزين هائلة إذ تمتاز بسعة تخزين من رتبة الجيجابايت.
- 2- سرعة عالية في نقل البيانات والوصول المباشر إليها.
- 3- إمكانية تخزين كافة أنواع البيانات.
- 4- إمكانية القراءة والكتابة في نفس الموقع (أي إمكانية تعديل البيانات في مواقعها إذا لزم الأمر) [26].

I-12- الفرق بين الشريط المغناطيسي و القرص الصلب

يمثل (الجدول I-1) مقارنة بين الشريط المغناطيسي والقرص الصلب [26].

| القرص الصلب | الشريط المغناطيسي |
|---|--|
| وحدة تخزين مباشرة | وحدة تخزين تتابعية |
| يستخدم كوحدة إدخال أو وحدة إخراج أو وحدة إدخال وإخراج معا | يستخدم كوحدة إدخال أو إخراج |
| سرعة معالجة عالية | سرعة معالجة متدنية |
| يمكن تعديل البيانات في مواقعها | لا يمكن تعديل البيانات في مواقعها |
| أكثر تكلفة | أرخص ثمنا |
| يستخدم لحفظ البيانات التي تحتاج لعمليات معالجة مستمرة | يستخدم لحفظ البيانات التي لا تحتاج إلى معالجة مستمرة |
| تعتمد سعة التخزين على عدد المسارات والقطاعات | تعتمد سعة التخزين على طول الشريط وكثافة التخزين |

الجدول I-1- مقارنة بين الشريط المغناطيسي والقرص الصلب

الفصل الثاني (II)

دراسة الخصائص المغناطيسية للمواد

وكيفية تحضير العينات

II-1- مقدمة

منذ النصف الثاني من القرن السابع عشر ركزت الأبحاث العملية على إيجاد مواد مغناطيسية تساعد على زيادة كثافة التخزين وتحسين أداء الكتابة والقراءة، وذلك من خلال دراسة الخواص الفيزيائية والكيميائية لمعظم المواد التي يصعب الحصول عليها في حالتها الطبيعية [27].

قسمنا هذا الفصل الى ثلاث أجزاء:

أولا نتطرق الى المفاهيم الأساسية للمغناطيسية، وكذلك سنعرض المعلومات حول تصنيف المواد ونذكر اهم العوامل المؤثرة على الخصائص المغناطيسية.

ثانيا نتعرف على كيفية استخراج بعض الخصائص المغناطيسية لمادة الحديد من دورة الهسترة مثل المغنطة المتبقية، الحقل القاهر، التربيع المغناطيسي وحقل التشبع... ومدى ارتباط التخزين المغناطيسي بتغير تلك الخصائص المغناطيسية.

ثالثا استخدمنا لتحضير العينات المدروسة في هذا العمل تقنية التنضيد الفوقي بالقذف الجزيئي وسنتعرف في هذا الجزء من الفصل على مكونات هيكلها مبدأ عملها وبعض مزاياها التي تجعلها تختلف عن التقنيات الأخرى واستخدمنا تقنية المغناطو-ضوئية لتأثير Keer لدراسة الخصائص المغناطيسية للعينات وذلك عن طريق تحليل بيان الهسترة (les cycles d'hystérésis).

II-2- بعض المفاهيم الأساسية على المغناطيسية

II-2-1- أصل الخصائص المغناطيسية

تتمثل في ظاهرة الجذب لبعض المواد ذات مغناطيسية حديدية. تقوم دراسة الخصائص المغناطيسية على إيجاد العزوم المغناطيسية للجسيمات التي تشكل أساس المادة في هذا المجال، تنتج المغناطيسية في الأصل من حركة الإلكترونات حول نواة الذرات بحيث يولد الإلكترون مجال مغناطيسي بطريقتين: [28،29]

■ حركة الإلكترونات حول نواة الذرة وندعوها بالحركة المدارية ويكون تأثيرها بشكل ضئيل في الخصائص المغناطيسية.

■ حركة الإلكترونات حول نفسها وندعوها بالحركة اللفية (المغزلية) وينسب إليها معظم الخصائص المغناطيسية للمادة.

II-2-2- المغنطة

يتم وصف الحالة المغناطيسية للمادة في وجود الحقل المغناطيسي H عن طريق مغنطتها، حيث أن المادة في طبيعتها العادية يكون لها عزوم مغناطيسية m في اتجاهات عشوائية، لكن إذا وضعت في حقل مغناطيسي نلاحظ أن هذه العزوم تترتب في اتجاه واحد وهذا ما نسميه بالتمغنط M ، إذا التمغنط M هو استقطاب العزوم المغناطيسية الداخلية m تحت تأثير حقل مغناطيسي خارجي H والعلاقة التي تربط بين المغنطة والحقل الخارجي:

$$(1) \dots\dots\dots M = \chi \cdot H$$

حيث χ هي قابلية التمغنط.

II-3-2- القابلية المغناطيسية

هي خاصية مدى تمغنط المادة في حال طبق عليها مجال مغناطيسي خارجي ليست لها وحدة قياس وتمثل رياضيا النسبة بين التمغنط والمجال المغناطيسي يزداد مقدار المغنطة كلما زادت درجة قابليتها المغناطيسية χ_m . فالمغناطيس القوي يجب ان يكون له قابلية مغناطيسية كبيرة حسب العلاقة التالية: [30]

$$(2) \dots\dots\dots \chi = \frac{M}{H}$$

حيث M هي كمية مغنطة المادة و H هو الحقل المغناطيسي المطبق.

II-3- تصنيف المواد المغناطيسية (وفق سلوكها المغناطيسي)

إن أحسن طريقة لتصنيف النماذج المختلفة للتمغنط هي معرفة كيفية تصرف مختلف المواد ازاء حقل مغناطيسي خارجي، ويمكننا أن نقسمها إلى صنفين هما: المواد المرتبة مغناطيسيا والمواد غير المترتبة مغناطيسيا.

II-3-1- المواد غير المترتبة مغناطيسيا

وهي التي لا تملك انتظاما مغناطيسيا ذاتيا (عفويا) وتنقسم بدورها الى:

II-1-1-3-1- المواد ذات المغناطيسية المعاكسة (Diamagnétique)

تكون عزومها المغناطيسية معاكسة لاتجاه المجال المغناطيسي المطبق، تكون قابليتها للتمغنط سالبة [31]. إن أصل الخاصية الديامغناطيسية هو الحركة المدارية للإلكترونات التي تستحث نتيجة تسليط المجال المغناطيسي الخارجي على المادة وهي مؤقتة تدوم باستمرار وجود المجال المغناطيسي الخارجي وتزول بإزالة هذا الأخير [32،33].

- من أهم المواد الديامغناطيسية هي الغازات الخاملة، الألماس، الزئبق، النتروجين، الهيدروجين، الفضة، السيلينيوم والنحاس [34].

II-2-1-3-2- المواد ذات المغناطيسية المسايرة (Paramagnétique)

المواد ذات المغناطيسية المسايرة تكون ذراتها تمتلك عزوما مغناطيسية دائمة تأخذ اتجاه موازي للمجال المغناطيسي، أي ان محصلة هذه العزوم تساوي الصفر، معامل القابلية المغناطيسية موجبة و صغيرة جدا. ان الخاصية البارامغناطيسية توجد في الذرات او الجزيئات التي تمتلك الكثرونات عازبة (فردية)، اذن البارامغناطيسية تنشأ عموما عن الالكترونات الحرة (العازبة). في حالة وجود مجال مغناطيسي ذو قيمة معقولة (ولكنها ضعيفة) فان علاقة الحساسية المغناطيسية ودرجة الحرارة تكون خطية وتعطى بالعلاقة المعروفة بقانون كوري [32،33].

$$\chi = C/T \dots\dots\dots (3)$$

C ويمثل ثابت التناسب (ثابت كوري).

- من بين المواد البارامغناطيسية الألمنيوم، الكالسيوم والمغنيزيوم [34].

II-2-3-2- المواد المرتبة مغناطيسيا**II-1-2-3-1- المواد ذات المغناطيسية الحديدية (ferromagnétique)**

المواد ذات المغناطيسية الحديدية تتأثر بالمجال المغناطيسي الأرضي وتمتلك عزوما مغناطيسية دائمة. تنشأ الخاصية الفيرو مغناطيسية من الالكترونات المنفردة ذات العزم المغناطيسي الدائم، وتمتاز بمغنطتها العالية جدا إذا وضعت في مجال مغناطيسي، تحتفظ بمغنطتها حتى بعد زوال المجال المغناطيسي المطبق، وقابليتها للتمغنط كبيرة جدا. تتحول المواد الفيرو مغناطيسية الى مواد بارامغناطيسية إذا أصبحت درجة حرارتها أكبر من درجة حرارة كوري [32،33،35].

■ المواد الفيرو مغناطيسية تسمى أيضا بالمواد الحديدية نسبة للحديد الذي يعتبر من أشهر المواد المغناطيسية بالإضافة الى الكوبالت والنيكل [34].

II-2-2-3- المواد ذات المغناطيسية الحديدية المعاكسة (Anti-ferromagnétique)

حاليا يعمل الباحثون في إمكانية استخدام المواد ضد فيرو مغناطيسية كوسط تخزين مغناطيسي بما أنها مواد تمتلك ترتيب معاكس للسبينات في ذراتها و اللف الذري هو خاصية تمتلكها كل ذرة يمكن تمثيله بمغناطيس مجهري يملك قطبين شمالي وجنوبي تعتمد طرق التخزين الحالية على التيار الكهربائي بحيث يقوم التيار بعكس توجه السبين لكن بما أن طريقة الترتيب في المواد المغناطيسية المضادة لا تسمح بذلك فإن طريقة تخزين البيانات تقوم على تدوير أزواج السبينات بدلا من عكس توجهها أي أن الطريقة الجديدة في التخزين تستخدم خاصية اللف الذاتي للإلكترون بدلا من شحنته من هذا نستنتج أن لطريقة تخزين البيانات الجديدة فائدتين أولا أنه لا يوجد تغير في كثافة التيار بالمقارنة مع أجهزة تخزين البيانات المستخدمة حاليا لذا سيكون من السهل ترقية وتطوير أجهزة التخزين أما ثانيا فإن المواد المضادة للمغناطيسية لا ينبعث منها أي حقل مغناطيسي مما يعني تقليل احتمال التداخل مع التجهيزات الأخرى أو التجسس على المعلومات المخزنة وأيضا يمكننا تكديس المناطق المنفصلة ضمن أجهزة التخزين بحيث تكون قريبة جدا من بعضها دون حدوث تداخل أو تأثير متبادل مما يتيح لنا تخزين عدة بيانات ضمن مساحة أقل وأيضا تبقى المعلومات سليمة بعد انقطاع الطاقة [14، 31].

■ من بين المواد الضد فيرو مغناطيسية الاكسجين، Samarium و Néodyme [34].

II-2-3-3- المواد الفيرو مغناطيسية (ferrimagnétique)

وهي حالة خاصة من مواد الفيرو مغناطيسية المضادة، قابليتها المغناطيسية كبيرة و تنقص بزيادة درجة الحرارة، في المواد الفيرو مغناطيسية تكون عزوم كل صفيين متعاكسين و غير متساويين في امقدار وتعتبر مجموعة الفيريت اهم المواد الفيرو مغناطيسية تستخدم المواد الفيرو مغناطيسية في صناعة مخازن المعلومات (الذاكرة) [35].

■ من بين المواد الفيرو مغناطيسية Terbium و gadolinium [34].

II-4- اهم خصائص المواد المغناطيسية

يمكن تلخيص اهم هذه الخصائص في (الجدول II-1)

| المواد المغناطيسية | القابلية المغناطيسية (χ) | العزوم المغناطيسية للذرات |
|-----------------------|---|--|
| الديا مغناطيسية | سالبة وقليلة في حدود 10^{-5} ومستقلة عن درجة الحرارة | ذراتها لا تملك عزوم مغناطيسية دائمة |
| البارا مغناطيسية | منخفضة جدا تتراوح بين 10^{-3} و 10^{-5} وتتغير بتغير درجة الحرارة | تمتلك عزوم مغناطيسية دائمة تأخذ اتجاه موازي للمجال المغناطيسي |
| الفيرو مغناطيسية | كبيرة تبدأ من 50 ويمكن ان تصل 10^5 | عند $T < T_c$ تقريبا عزوم متوازية وباتجاه واحد عند $T > T_c$ عزوم عشوائية |
| الضد الفيرو مغناطيسية | كبيرة جدا | عند $T < T_N$ تقريبا عزوم متوازية ومتضادة عند $T > T_N$ عزوم عشوائية |
| الفيرو مغناطيسية | كبيرة تصل 3000 وتنقص بزيادة درجة الحرارة | كل صفيين من العزوم متعاكسين وغير متساويين في المقدار |

الجدول II-1-المقارنة بين المواد المغناطيسية من حيث الحساسية والعزوم المغناطيسية [31،34].

حيث T_N درجة حرارة نيل و T_c درجة حرارة كوري.

■ يمثل الجدول الدوري الممثل اسفله اهم انواع العناصر المغناطيسية

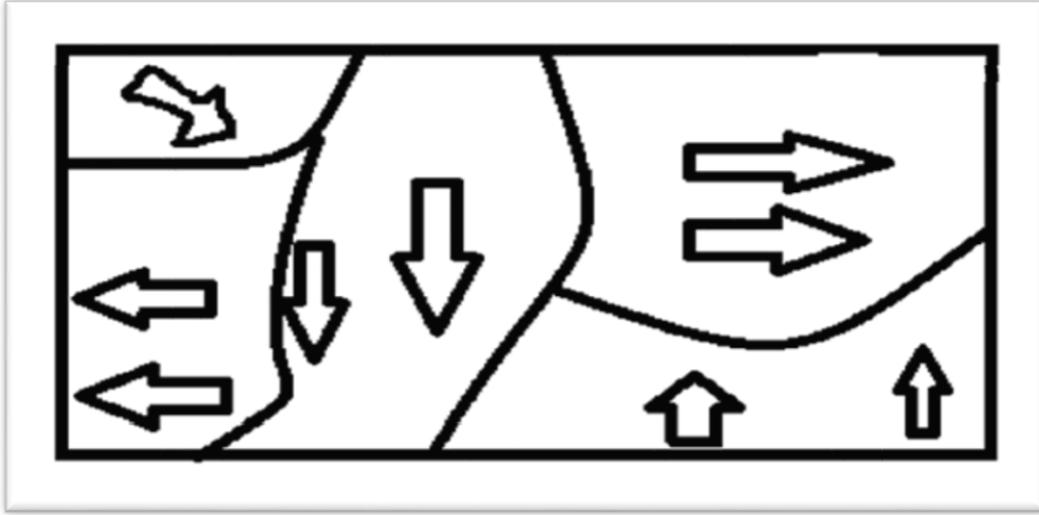
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|--|--|----|-----|
| H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | He | |
| Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Ne |
| para | dia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | dia |
| Na | Mg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Ar |
| para | para | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | dia |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | | | | dia |
| para | para | para | para | para | AF | AF | Ferro | Ferro | Ferro | dia | dia | dia | dia | dia | dia | dia | dia | | | | dia |
| Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | | | | dia |
| para | para | para | dia | dia | dia | * | dia | dia | dia | dia | | | | dia |
| Cs | Ba | La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn | | | | dia |
| para | para | para | dia | dia | dia | dia | dia | dia | dia | dia | | | | dia |
| Fr | Ra | Ac | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | | | | | |
| | | | * | para | AF | | AF | Ferri | Ferro | Ferro | Ferro | Ferri | Ferri | Ferri | para | para | | | | | |
| | | | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lw | | | | | |
| | | | para | para | para | | | | | | | | | | | | | | | | |

الجدول II-2-جدول دوري يبين الخصائص المغناطيسية للمواد [34].

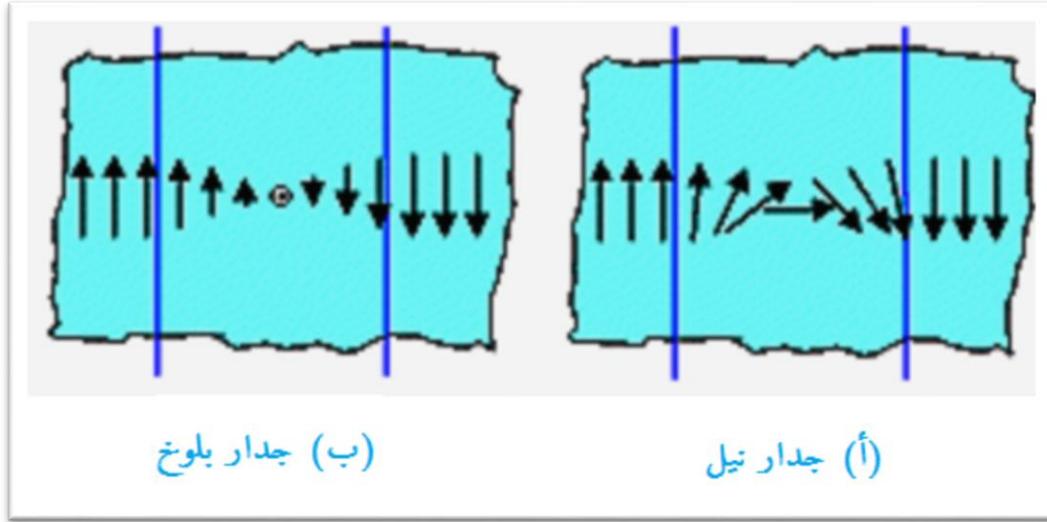
II-5- المناطق المغناطيسية

استخدم العالمين (نيل وبلوخ Néel et Bloch) مصطلح المنطقة المغناطيسية، حيث تعرف بأنها مناطق تتكون في داخل بلورات المواد المغناطيسية ذات مغنطة ذاتية وتحتوي كل منطقة على مجموعة من العزوم لها نفس الاتجاه أي تكون في حالة تشبع، وتتوزع عزوم ومتجهات كل المناطق بطريقة عشوائية أي محصلة العزوم تساوي الصفر [36،37]. اتجاهات كل منطقة تختلف عن الأخرى كما هو موضح في (الشكل II-1) حيث تكون هناك حواجز تفصل بين كل منطقة واخرى تعرف بجدار بلوخ وجدار نيل ويتمثل الفرق الأساسي بينهما في طريقة تغير المغنطة في المنطقة الفاصلة:

- جدران بلوخ (الشكل II-2-ب)) يكون تغير المغنطة عموديا على سطح الغشاء الرقيق [38].
- جدران نيل (الشكل II-2-أ)) يكون التغير في مستوى الغشاء الرقيق [39].



الشكل II-1- تمثيل المناطق المغناطيسية [39].



الشكل II-2- كيفية تغير المغنطة في المنطقة الفاصلة (أ) جدار بلوخ، (ب) جدار نيل [39].

II-6- العوامل المؤثرة على الخصائص المغناطيسية للمواد

إن الخصائص المغناطيسية للمواد تتأثر بعدة عوامل من أهمها:

II-6-1- الحقل المغناطيسي المطبق

حيث أن شدة التمغنط تتوقف على نوع المادة المغناطيسية وكذلك على شدة المجال المغناطيسي المطبق عليها، لقد وجد في المواد الفيرو مغناطيسية أن العلاقة بين قيمة التمغنط والحقل المطبق غير طردية مما أدى بتسمية بيان تغير قيمة المغنطة بدلالة الحقل المغناطيسي المطبق بدورة الهسترة [40].

II-6-2- درجة الحرارة

تمتلك كل مادة درجة حرارة معينة تظهر فيها خواص مغناطيسية معينة ونميز نوعين من درجة الحرارة:

- **درجة حرارة كوري:** وهي درجة الحرارة التي تختفي عندها خواص المادة المغناطيسية، لتصبح بعدها ذات مغناطيسية مسايرة بعد أن كانت حديدية ويرمز لها T_C [32].
- **درجة حرارة نيل:** وهي درجة الحرارة التي فوقها تتحول مادة مغناطيسية حديدية مضادة إلى حالة مغناطيسية مسايرة، أي أن عند درجة الحرارة العالية تصبح الطاقة الحرارية في العينة شديدة بحيث يتفكك الترتيب المغناطيسي للحبيبات فيها ويرمز لها بالرمز T_N [32].

II-6-3- نوع المسند

بما ان المواد المدروسة عبارة على اغشية رقيقة، والتي تحتاج دوما لنموها الى مسند ترتكز عليه، فإن نوع مادة المسند لها تأثير كبير على الخصائص المغناطيسية للأغشية المدروسة، فانه ليس من الممكن ان تكون لنفس الغشاء المدروس نفس الخصائص الفيزيائية إذا ما اختلف نوع المسند المرتكز عليه [41،42].

II-6-4- نوع الطبقة البينية

تحتاج بعض الاغشية الرقيقة الى مادة وسيطة تساعدها على التصاقها ونموها فوق المسند، وعليه فان تنوع طبيعة المادة البينية سنأثر على الخصائص الفيزيائية للغشاء المدروس.

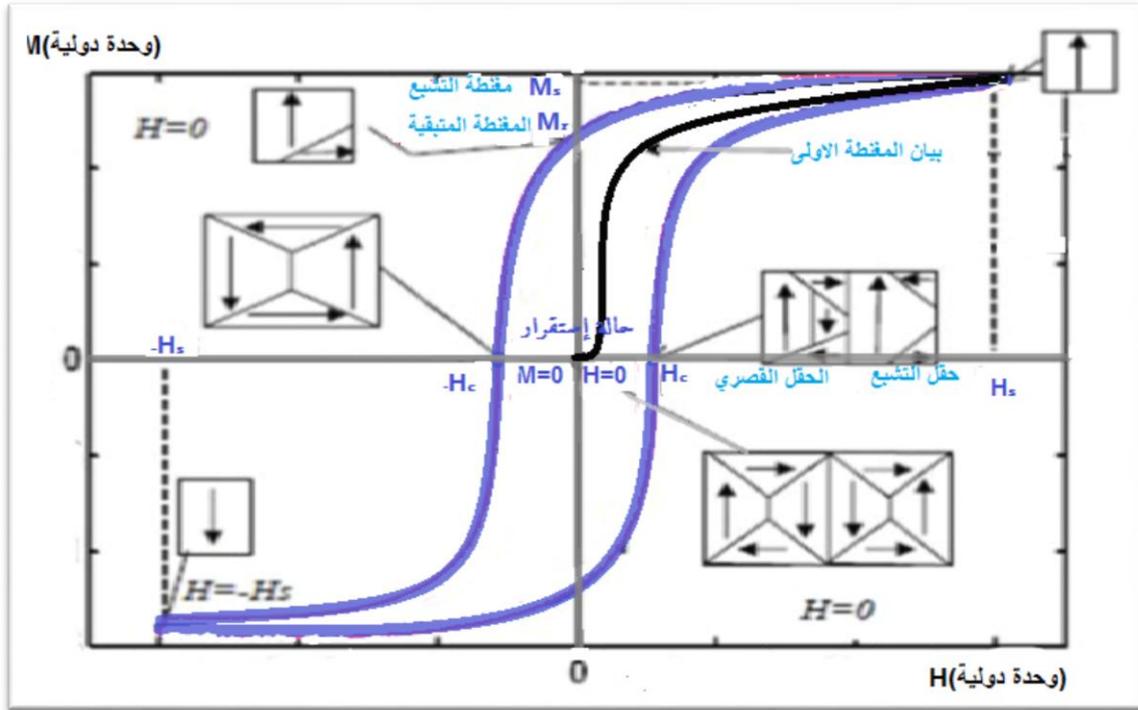
II-7- حلقة التخلف المغناطيسي (دورة هسترة ، بيان التباطؤ المغناطيسي)

II-7-1- تعريف دورة الهسترة

إن العلاقة بين المجال المغناطيسي الخارجي المسلط H_{ext} على مادة مغناطيسية مثل الحديد وتغير قيمة المغنطة الكلية M لا تكون دوما خطية، بل ترسم منحني $(M-H_{ext})$ يسمى بدورة الهسترة أو بيان التباطؤ المغناطيسي، انظر (الشكل II-3)، واصل كلمة hysteresis مشتق من hystery أي التاريخ أو زمن التخلف وهي التصرف المعاكس لتأثير معين، ويعرف هذا البيان أيضا بحلقة التخلف المغناطيسي للمادة الفيرو مغناطيسية، وسميت كذلك لان المادة تتخلف في الاستجابة للحقل المغناطيسي الخارجي وتحتفظ بمقدار معين للمغنطة في غياب هذا الحقل [43].

II-7-2- شرح بيان التباطؤ المغناطيسي

يمثل منحنى الهسترة تغير المغنطة بدلالة الحقل المغناطيسي الخارجي انظر (الشكل II-3) قبل تطبيق الحقل المغناطيسي على مادة فيرو مغناطيسية كالحديد ($H=0$) المغنطة تساوي الصفر ($M=0$)، عند تطبيق الحقل المغناطيسي فإن جميع العزوم المغناطيسية تحاول موازات اتجاه الحقل المغناطيسي فتتغير مساحة المناطق المغناطيسية في كل مرة فيبدأ انزياح حدود Blokh ، وبالتالي فإن المغنطة تزداد قيمتها بزيادة الحقل المطبق H الى ان تصل الى مغنطة التشبع $M=M_s$ و يسمى الحقل المغناطيسي المطبق حينئذ بحقل التشبع H_s ، وبالتالي ينتج بيان المغنطة الابتدائي و عند عكس اتجاه الحقل المغناطيسي و بنفس القيم الموجبة السابقة فإن المغنطة تتناقص لكن ليس بنفس القيم السابقة، حيث أن البيان يأخذ منحى جديد، وعندما ينعدم الحقل المغناطيسي الخارجي من جديد فإننا نلاحظ محافظة مادة الحديد على قيمة للمغنطة تسمى بالمغنطة المتبقية، يرمز لها بالرمز M_r ، وهي ناتجة عن وجود عزوم مغناطيسية محافظة على اصطافها في نفس اتجاه حقل التشبع، وللتخلص من قيمة هذه المغنطة نستمر في تطبيق حقل خارجي لكن في الاتجاه السالب و يسمى الحقل الذي يعدم المغنطة المتبقية في المادة بالحقل القهري أو القصري و يرمز له بالرمز H_c -(انظر لنفس (الشكل II-3)) و بزيادة تخفيض قيمة الحقل المطبق في الاتجاه السالب تزداد قيمة المغنطة لكن بالقيمة السالبة إلى أن تصل إلى قيمة معينة تسمى مغنطة التشبع $-M_s$ ومن هنا تكون جميع العزوم المغناطيسية في نفس اتجاه الحقل العكسي و يسمى الحقل المغناطيسي المطبق عند هذه القيمة بحقل التشبع السالب ($-H_s$)، وفي هذه اللحظة نبدأ بزيادة قيمة الحقل الخارجي في الاتجاه السالب للعودة إلى انعدامه مرة أخرى حتى تكتمل دورة التخلف فنلاحظ إعادة انخفاض قيمة المغنطة و لكنها لا تنعدم بل تبقى محافظة على قيمة معينة من المغنطة وهي $-M_r$ ، أي أننا نلاحظ أن هناك تخلف في استجابة مادة الحديد للحقل الخارجي، فعندما انعدمت قيمة الحقل بقي الحديد محافظ على عدد معين من العزوم المغناطيسية في الاتجاه الذي كان فيه الحقل مطبق ، وللتخلص من هذه القيمة و جب علينا تطبيق حقل خارجي موجب قيمته H_c ونستمر في زيادة الحقل الخارجي إلى أن تصل المغنطة مرة أخرى إلى قيمة التشبع M_s عند القيمة H_s ، لنحصل أخيرا على بيان الهسترة [44].



الشكل II-3-3- تغير المغنطة بدلالة الحقل المغناطيسي الخارجي المطبق (بيان الهسترة) [34].

II-3-7-3- الخصائص المغناطيسية المستخرجة من حلقة التخلف المغناطيسي وارتباطها بالتخزين المغناطيسي

II-3-7-1- مغنطة التشبع

هي المغنطة التي توافق اصطفا جميع العزوم في كل المناطق في اتجاه واحد وتكون موازية لاتجاه الحقل المطبق سواء في الاتجاه الموجب أو السالب، وتكون مادة الحديد هنا تحوي فقط منطقة مغناطيسية واحدة، مجموع العزوم المغناطيسية فيها يعطي مغنطة التشبع التي يرمز لها بالرمز (M_s)، [45] وهي خاصية مغناطيسية تميز كل مادة مغناطيسية عن الأخرى.

■ كلما كانت قيمة مغنطة التشبع المستخرجة من بيان الهسترة قريبة من قيمة مغنطة التشبع النظرية M_{th} كلما كانت المادة أفضل لاستخدامها في مجال التخزين المغناطيسي.

II-3-7-2- حقل التشبع

يمثل الحقل الذي يجب أن نطبقه لكي تتجه جميع العزوم المغناطيسية داخل مادة الحديد باتجاه واحد ويصل بذلك الحديد إلى حد التشبع بقيمة M_s ، نرمز لحقل التشبع بالرمز H_s ونستطيع من خلال بيان الهسترة إيجاد قيمته التي تمثل فاصلة نقطة التشبع أي النقطة (H_s, M_s)، والتي نستخرجها بتطبيق نظام **Origin** حيث تتغير قيمته بتغير طبيعة المادة نفسها حسب الاتجاه المطبق فيه الحقل المغناطيسي،

فتكون قيمته صغيرة إذا كان الاتجاه هو اتجاه سهل المغنطة، وكذلك إذا كانت المادة المغناطيسية مادة لينة وبالتالي فهو خاصية مغناطيسية تميز كل مادة مغناطيسية عن الأخرى [46].

■ كل ما كانت قيمة حقل التشبع قيمة معتبرة كل ما كانت المادة تحافظ على المعلومات بصفة أفضل وبالتالي تطبيقها في مجال التخزين المغناطيسي جيد.

II-3-3-7-3- المغانطة المتبقية

تعبّر على مجموعة العزوم المغناطيسية التي بقيت في نفس اتجاه الحقل الخارجي الذي طبق على مادة الحديد بعد انعدامه، أي هي قيمة المغنطة عند تخفيض قيمة الحقل الخارجي إلى الصفر وهي ناتجة عن احتفاظ المادة على بعض المناطق المغناطيسية التي تحوي عزوما مغناطيسية لها نفس اتجاه الحقل الخارجي وتعتبر قيمة المغنطة المتبقية (M_r) عامل مهم في مجال تطبيق المادة المغناطيسية [38].

■ المغنطة المتبقية عبارة على ذاكرة الوسائط المغناطيسية فكلما كانت قيمتها كبيرة كلما حافظت على المعلومة المخزنة لوقت أطول.

II-4-3-7-4- الحقل القهري (القسري)

يعرف الحقل القهري لمادة فيرو مغناطيسية بأنه شدة الحقل المغناطيسي الواجب تطبيقه عليها لإزالة المغنطة المحتفظة بها أو ما تسمى بالمغنطة المتبقية. ويرمز له بالرمز H_c .

إن قيمة الحقل القهري ممكن تحديدها من بيان الهسترة فبالنسبة لعينة لا تحتوي على أي أثر للفيرو مغناطيسية، يعين الحقل القاهر بنقطة تقاطع منحنى الهسترة مع محور الحقول، أما في حالة وجود مادة فيرومغناطيسية مثل الحديد فإننا نأخذ نصف عرض الحلقة [47].

يكون الحقل القهري كبيرا في المواد القاسية، وضعيفا في المواد اللينة، حيث تتعلق قيمته بقيمة المغنطة المتبقية فكلما كانت قيمتها كبيرة وجب تطبيق حقل قسري كبير، وتتحكم قيمته أيضا في مجال تطبيق المادة المغناطيسية:

- كلما كان أصغر كلما كانت المادة مناسبة لاستخدامها في المحولات [48].
- وبالتالي كلما كان الحقل القاهر أكبر كان استخدامه يناسب التخزين المغناطيسي الذي يحتاج مواد تحافظ على مغناطيسيتها لمدة أكبر ليساعد على حفظ المعلومة لوقت أكبر، وبالتالي نعتبره خاصية مغناطيسية مهمة للتخزين المغناطيسي.

II-7-3-5- التربيع المغناطيسي

التربيع المغناطيسي يمثل النسبة بين المغنطة المتبقية ومغنطة التشبع أي Mr/Ms يرمز له بالرمز S نستطيع من خلال تحديد قيمته معرفة مجال استخدام المادة المغناطيسية، فإن كانت كبيرة فهي تستخدم في مجال التخزين المغناطيسي لان المادة تحافظ على اتجاه المغنطة لمدة أطول، وأكبر قيمة لها هي $S=1$ ، أما ان كانت قيمتها صغيرة فيستحسن استخدامها في المحولات الكهربائية لأنه في هذه الحالة يسهل تغيير اتجاه المغنطة [49].

■ ومنه نستنتج انه كلما كانت قيمة التربيع المغناطيسي قريبة من الواحد كلما كانت المغنطة المتبقية للمادة قريبة من مغنطة التشبع مما يؤهلها الى حفظ المعلومات بصورة أفضل وهذا يتحقق فقط في مجال التخزين المغناطيسي.

II-7-3-6- القابلية على التمغنط (الحساسية المغناطيسية)

تمثل النسبة بين مغنطة التشبع وحقل التشبع أي Ms/Hs (كما هو موضح في العلاقة (2))، وهي مقياس للخصائص المغناطيسية رمزها χ وليس لها وحدة، تعبر عن قابلية المادة للاستجابة للحقل الخارجي أي قابليتها للتمغنط: [33]

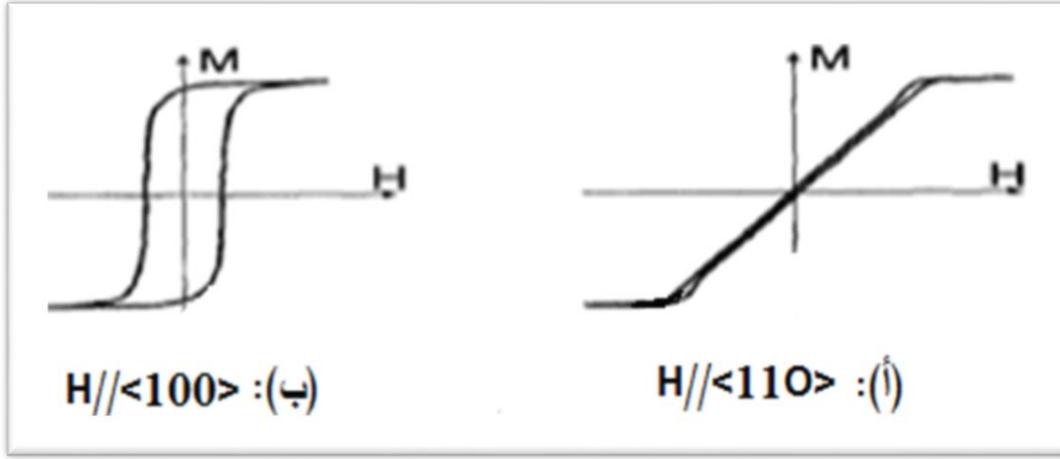
- إذا كانت سالبة نقول ان المادة ديا مغناطيسية.
- إذا كانت موجبة وصغيرة جدا نقول ان المادة بارا مغناطيسية.
- إذا كانت موجبة وكبيرة نقول ان المادة فيرو مغناطيسية.

II-7-3-7- الشكل

يمكن أن تأخذ دورات التخلف أشكالاً مختلفة حسب كيفية استجابة المادة لتأثير الحقل المغناطيسي الخارجي، فمن خلال شكلها نعرف ان كانت المادة فيرومغناطيسية ام لا، وكما نتعرف على اتجاه التمغنط إن كان سهل أم صعب، حيث يمتاز الاتجاه صعب التمغنط بصعوبة وصول المادة إلى حالة التشبع، وبالتالي فان شكل المنحنى سيكون شديد الانحدار انظر (الشكل II-4-أ)، لكن في حالة ما إذا كان الاتجاه المطبق فيه الحقل المغناطيسي سهل التمغنط سوف نتحصل على دورة مربعة الشكل انظر (الشكل II-4-ب).

فعلى سبيل المثال إن طبقنا الحقل في اتجاهين مختلفين بالنسبة لبلورة الحديد فمن شكل دورة الهستيرة المبينة في (الشكل II-4) نستنتج أن الاتجاه $<100>$ هو اتجاه سهل التمغنط لان دورة التخلف

المغناطيسي مربعة الشكل انظر (الشكل II-4-ب) في حين أن الاتجاه $\langle 110 \rangle$ هو الاتجاه صعب التمغنط ما يبرزه الانحدار الشديد في دورة التخلف انظر (الشكل II-4-أ) [38].



الشكل II-4-شكليين مختلفين لدورة الهستيرة [38].

II-7-3-8- المساحة

لقد دلت الدراسات على أن الطاقة المبددة في كل دورة تتناسب مع مساحة دورة التخلف المغناطيسي: عندما تكون هذه الأخيرة ضيقة ومساحتها صغيرة، فإن الضياع في الطاقة والذي يكون على شكل حرارة، يكون صغيراً، لذلك يصبح إلزاماً استعمال تلك المواد التي تكون فيها المغنطة المتبقية صغيرة، وبالتالي حقلها الحرج (H_c) صغير في صنع الآلات الكهربائية التي تحتاج إلى تطبيق والغاء الحقل المغناطيسي بصفة مستمرة (لزيادة الفيض المغناطيسي في هذه الدارات)، أما عندما تكون هذه الأخيرة واسعة ومساحتها كبيرة، فتكون فيها المغناطيسية المتبقية M_r عالية وبالتالي H_c عالية، أي لا تفقد المادة مغناطيسيتها بسهولة [47].

■ كلما كانت مساحة حلقة الهستيرة كبيرة كلما كانت المادة مناسبة لاستعمالها في مجال التخزين

المغناطيسي أكثر [50].

II-8- التقنية المستخدمة في تحضير العينات

حضرت العينتين باستخدام تقنية التنضيد الفوقي بالقذف الجزيئي والمعروفة بالانجليزية Epitaxie par Jet Moléculaire (MBE) Molecular Beam Epitaxy وبالفرنسية واختصارها (EJM) وسنتعرف فيما يلي على مكونات هيكليها، مبدأ عملها وبعض مزاياها التي تجعلها تختلف عن التقنيات الأخرى.

II-8-1- تعريف التنضيد بالقذف الجزئي

إن تقنية التنضيد الفوقي هي تقنية تكنولوجية تستخدم لتنمية غشاء رقيق أو طبقة فوق طبقة أخرى أو فوق الركيزة وكلمة التنضيد الفوقي أصلها يوناني وتعني "épi" فوق و"taxie" النظام، اقترحت في أعوام الثلاثينيات من قبل العالم الفرنسي "L.Royer" [38]، وتشير لتجاور منتظم لنوعين من البلورات للتنضيد الفوقي نوعان: [17]

- التنضيد المتماثل (homo-épitaxie): في حالة كون المادة المترسبة والركيزة متماثلة مثل (MgO//MgO).
- التنضيد المغاير (hétéro-épitaxie): في هذه الحالة تكون المادة المترسبة والركيزة مختلفتان مثل (Fe//MgO).

II-8-2- مبدأ عمل تقنية التنضيد الفوقي بالقذف الجزئي

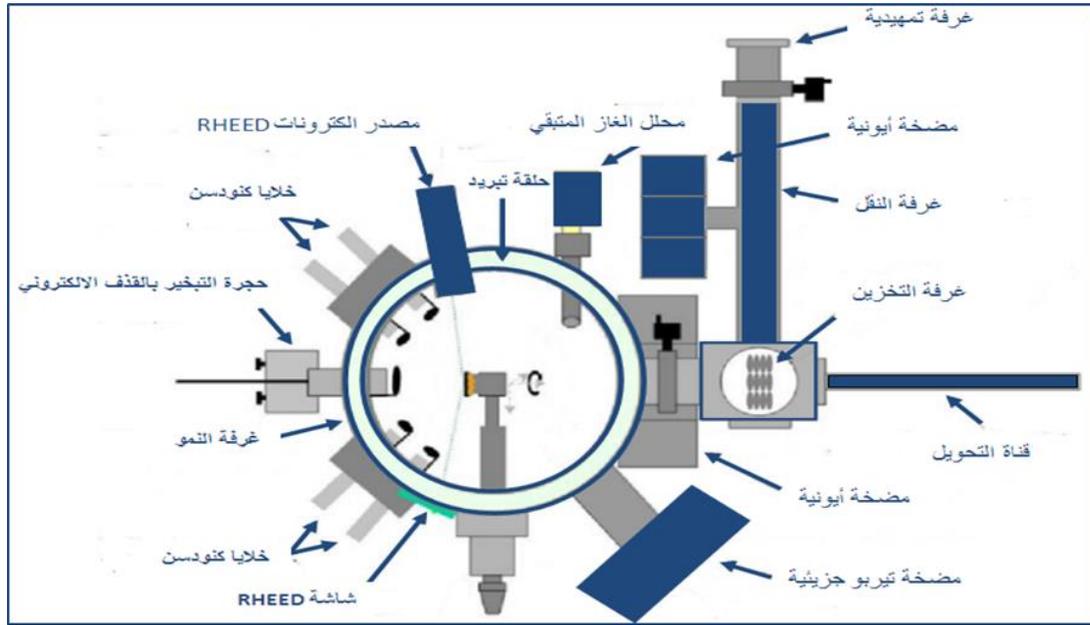
مبدأ عمل هذه التقنية من أبسط ما يكون حيث يتم تبخير المادة المراد ترسيبها تحت فراغ كبير جدا من رتبة 10^{-10} Torr وذلك عن طريق:

- تسخينها بواسطة فعل جول وتخص هذه الطريقة المواد التي درجة انتشارها اقل من 1200 °م مثل الفضة.
- قذفها الكترونيا وتخص المعادن التي درجة انتشارها أعلى من 1200 °م مثل الحديد، فتنتقل ذرات الحديد من الضغط المرتفع نحو الضغط المنخفض أين يتواجد المسند، ونتيجة الفراغ العالي داخل الحجرة فإن ذرات الحديد تتحرك وفق خط مستقيم دون أن تصطدم بأي حاجز إلى أن توضع على المسند، وهذا هو السبب الذي جعلنا نتحدث عن القذف الموجه.
- تقنية التنضيد بالقذف الجزئي تحت الفراغ تمكن من ترسيب أغشية رقيقة من النواقل كالمعادن أشباه النواقل أو العوازل، وذلك عن طريق التفاعل بين سطح المسند والحزمة الجزئية بسرعات منخفضة من رتبة طبقة واحدة لكل ثانية (IMC/S)، هذا ما يساعد على الانتشار الجيد لذرات المادة المترسبة وتكوين سطح ذو نوعية جيدة أملس وخالي من التضاريس الخشنة [41،51].

II-8-3- وصف هيكل جهاز التنضيد الجزئي

يتكون جهاز التنضيد بالقذف الجزئي من عدة غرف كما هي موضحة في (الشكل II-5)، ولكل غرفة دورها وخاصيتها المهمة، وهذه الغرف هي:

- **الغرفة التمهيدية:** تستخدم لإدخال الركائز للغرفة الرئيسية التي يكون الضغط فيها في حدود 10^{-8} torr وهي موصولة بمضخة ترَبو_جزيئية (turbo moléculaire) لتحقيق هذا الضغط.
- **غرفة التخزين:** تستخدم لتخزين العينات المحضرة.
- **غرفة النقل:** تستخدم كغرفة عزل بين غرفة النمو (الترسيب) وباقي الغرف.
- **غرفة النمو:** عبارة على غرفة فائقة الفراغ حيث ينخفض الضغط فيها كثيرا الى غاية 10^{-2} torr ولتحقيق هذا الضغط المنخفض والمحافظة عليه نستخدم عدة مضخات.



الشكل II-5-رسم تخطيطي لهيكل تقنية التنضيد الجزيئي الموجه [52].

II-8-4- مزايا تقنية التنضيد الجزيئي الموجه

- المزايا الرئيسية لهذه التقنية هي كالتالي: سرعة النمو بطيئة عموما تتراوح بين $0.1 \text{ \AA} / \text{s}$ إلى $10 \text{ \AA} / \text{s}$ والذي يسمح بالسيطرة الممتازة والمراقبة الجيدة لسمك الطبقات المترسبة [53].
- مراقبة بنية سطح الأغشية المتكونة في نفس وقت التحضير باستخدام تقنية RHEED.
- تتم عملية التنضيد تحت الفراغ العالي مما يقلل من تواجد الشوائب في طبقات الاغشية الرقيقة.
- ترسيب الاغشية في درجات حرارة منخفضة (درجة حرارة الغرفة) [42].

9-II- تقنية دراسة الخصائص المغناطيسية للعينات

لدراسة الخصائص المغناطيسية للعينات استخدمنا تقنية المغناطو-ضوئية لتأثير Keer وذلك لإيجاد بيان الهسترة (les cycles d hystérésis).

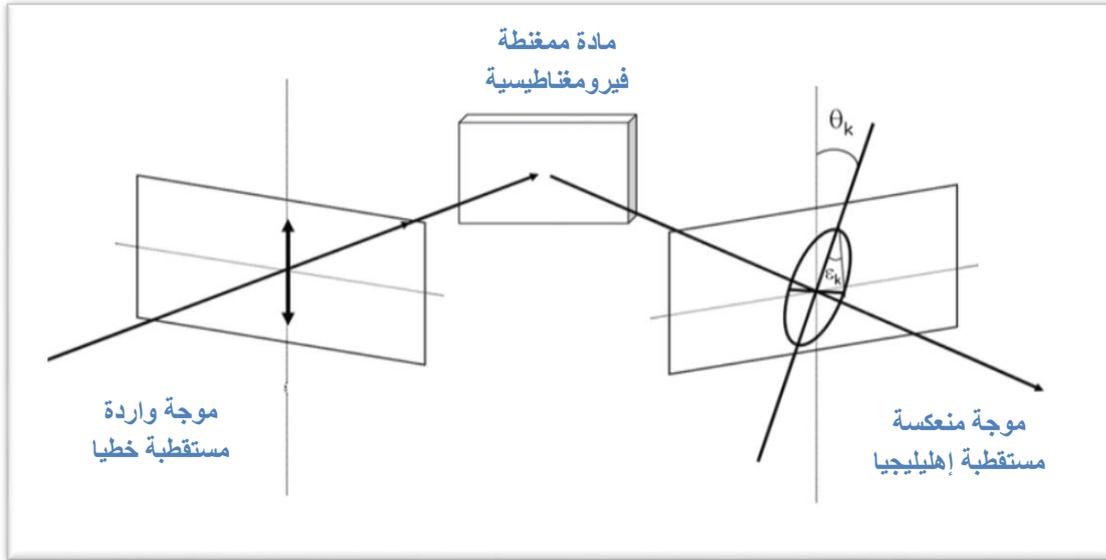
1-9-II- تعريف تقنية المغناطو ضوئية لتأثير كير (MOKE)

هي تقنية تستعمل لدراسة الخصائص المغناطيسية للأغشية الرقيقة تسمى بالإنجليزية Magnto-optic kerr effect واختصارها MOKE وهي ناتجة عن تفاعل موجة كهرومغناطيسية مستقطبة خطيا مع مادة مغناطيسية اكتشفت من طرف العالم Keer في سنة 1876م.

2-9-II- مبدأ عملها

يعتمد مبدأ تقنية المغنطة الضوئية لفعل kerr على تسليط موجة كهرومغناطيسية (ضوء أو ليزر) على مادة فيرو مغناطيسية تملك مغنطة ذاتية فينتج موجة منعكسة مستقطبة كما هو موضح في (الشكل II-6).

ويوجد ثلاث أنواع لهذا الإستقطاب قطبي، طولي، عرضي.



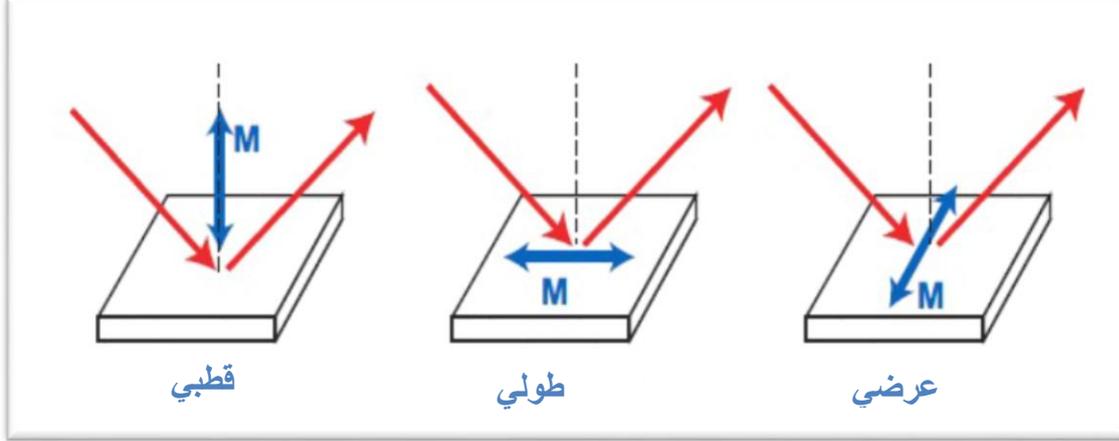
الشكل II-6- رسم تخطيطي لتقنية المغناطو ضوئية لفعل Kerr [42].

3-9-II- انواع تأثير Kerr

يمثل (الشكل II-7) مختلف انواع تأثير Keer المغناطو-ضوئي، وهي ملخصة كما يلي: [54]

- تأثير Kerr القطبي: يكون فيه شعاع المغنطة على سطح العينة وموازي لمستوي ورود الموجة الكهرومغناطيسية.

- تأثير **Kerr الطولي**: تكون المغنطة في نفس مستوي ورود وانعكاس الموجة الكهرومغناطيسية وتكون موازية لسطح العينة.
- تأثير **Kerr العرضي**: يكون فيه شعاع المغنطة الناتجة عمودي على مستوي ورود الموجة الكهرومغناطيسية وموازي لسطح العينة.



الشكل II-7-رسم تخطيطي لأنواع تأثير Keer [17].

II-9-4- مزايا تقنية MOKE

تستعمل هذه التقنية كثيرا في دراسة الخصائص المغناطيسية للمواد وتمتلك العديد من المزايا والايجابيات نذكر منها ما يلي: [42]

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

II-10- كيفية تحضير العينات

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

II-10-1- تحضير المساند

ان اختيار المسند المستخدم أثناء الدراسة مهم جدا، حيث يتم اختيار المسند حسب خصائصه وتبعاً

لشروط معينة، في هذه الدراسة استعملنا المساند التالية $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ و $\text{MgO}(001)$.

II-1-1-10-1- تحضير المسند $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$

يوجد السليسيوم (Si) في العمود الرابع (IV) من الجدول الدوري للعناصر ومبلور طبقا لبنية الماس [54] ثابت شبكته يساوي $a_{\text{Si}} = 5.431 \text{ \AA}$ يستخرج السليسيوم بسهولة من الطبيعة لتواجده فيها، حيث تقدر نسبة تواجده في القشرة الأرضية ب 20% (يستخرج من الرمل مثلا)، كما أن لديه العديد من المزايا والخصائص الهامة كأشباه الموصلات، يستعمل أكسيد السليسيوم في العديد من المجالات الفيزيائية كالركائز مثلا. تم تحضير ركيزة السليسيوم متعدد البلورات بتقنية القذف الإلكتروني، حيث تم تغطية سمك 1000 \AA من السليسيوم مصقول على الوجه (100) بأوكسيد السليسيوم للحصول على ركيزة Si متعدد التبلور وفق نفس الاتجاه.

II-2-1-10-2- تحضير المسند $\text{MgO}(001)$

أكسيد المغنيزيوم أحادي التبلور ($\text{MgO}(001)$ ، استخدم كركيزة تجارية) أبعادها $15 \times 15 \text{ mm}^2$ مصقولة على الوجه (001) وهو عبارة على بلورة مكعبة من شكل بلورة كلوريد الصوديوم NaCl وتتمثل في تداخل شبكتين ممركزي الأوجه وهما المغنيزيوم (Mg) والأكسجين (O)، نظفت بالبروبانول-2 ثم جففت بغاز النيتروجين ومن ثم خضعت لمعالجة حرارية لمدة 20 دقيقة تحت درجة حرارة 600°C وتحت فراغ 10^{-7} Torr من أجل إزالة الشوائب من على سطحها، يقدر ثابت شبكته ب $a_{\text{MgO}} = 4.21 \text{ \AA}$. تم اختيار هذا المسند لان عدم الانتظام الشبكي بين هذه البلورة والطبقة الرقيقة للحديد يكون صغير جدا مما يساعد على نمو أحادي الاتجاه وكذلك طاقتها السطحية تساعد على النمو الثنائي البعد للحديد [17].

II-2-10-2- كيفية ترسيب الطبقات

لقد تم تحضير جميع طبقات العينات تحت فراغ 10^{-11} تور، وفي درجة حرارة الغرفة كما يلي:

II-1-2-10-1- ترسيب طبقة الفضة

تم استخدام طبقة الفضة ذات السمك الصغير 20 \AA للمحافظة على طبقة الحديد من التأكسد، ولذلك

تم تبخير طبقة الفضة باستعمال تأثير جول في خلايا كنودسن لكون درجة انتشارها صغيرة، بسرعة

ترسيب 1 \AA/s [17].

II-10-2-2- ترسيب طبقة الحديد

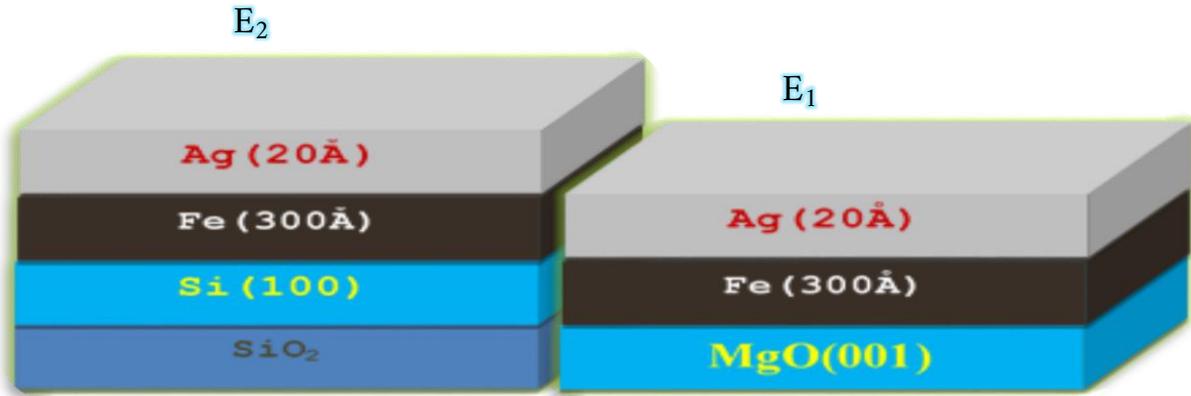
تعتبر مادة الحديد مادة فيرومغناطيسية لها بنية مكعبة ممركرة الجسم ثابت شبكته $a=2.866\text{\AA}$ [55]، ولذلك ندرس في هذا العمل خصائصها المغناطيسية، ولترسيبها استخدم التبخير بالقذف الالكتروني تحت توتر 10.6 كيلو فولط وتيار 1.3 امبير، سرعة الترسيب كانت $0.3\text{\AA}/\text{s}$ و سمكها ثابت عند 300\AA .

II-10-3- الشكل النهائي للعينات

في النهاية حصلنا على عينتين مستخدم فيهما نفس المادة المغناطيسية الا وهي الحديد بسمك 300\AA والفرق الموجود بينهما هو فقط نوع المسند المستخدم، وبيننا كيفية ترتيب الطبقات في الشكل الهندسي (الشكل II-08)، وصيغتهما الرياضية هي:

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

العينة E_2 : $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)//\text{Fe}(300\text{\AA})/\text{Ag}(20\text{\AA})$



الشكل II-08- رسم تخطيطي للعينات.

الفصل الثالث (III)

تحليل النتائج التجريبية

III-1- مقدمة

معرفة مدى ارتباط مجال التخزين المغناطيسي بالخصائص المغناطيسية للمواد، قررنا دراسة الخصائص المغناطيسية للعينتين التاليتين:

E_1 ونرمز بها للعينه $MgO(001)//Fe(300\text{\AA})/Ag(20\text{\AA})$

E_2 وترمز للعينه $SiO_2/Si(100)//Fe(300\text{\AA})/Ag(20\text{\AA})$

دراسة الخصائص المغناطيسية تكون من خلال تحليل منحنيات التخلف المغناطيسي للعينتين وبذلك نستطيع استنتاج ومعرفة مدى تطبيقهما في مجال التخزين المغناطيسي.

III-2- تحليل بيان التخلف المغناطيسي (دورة الهسترة)

يمثل (الشكل III-1) بياني التخلف المغناطيسي للعينتين E_1 و E_2 ، ومن خلالهما نستطيع ملاحظة

ما يلي:

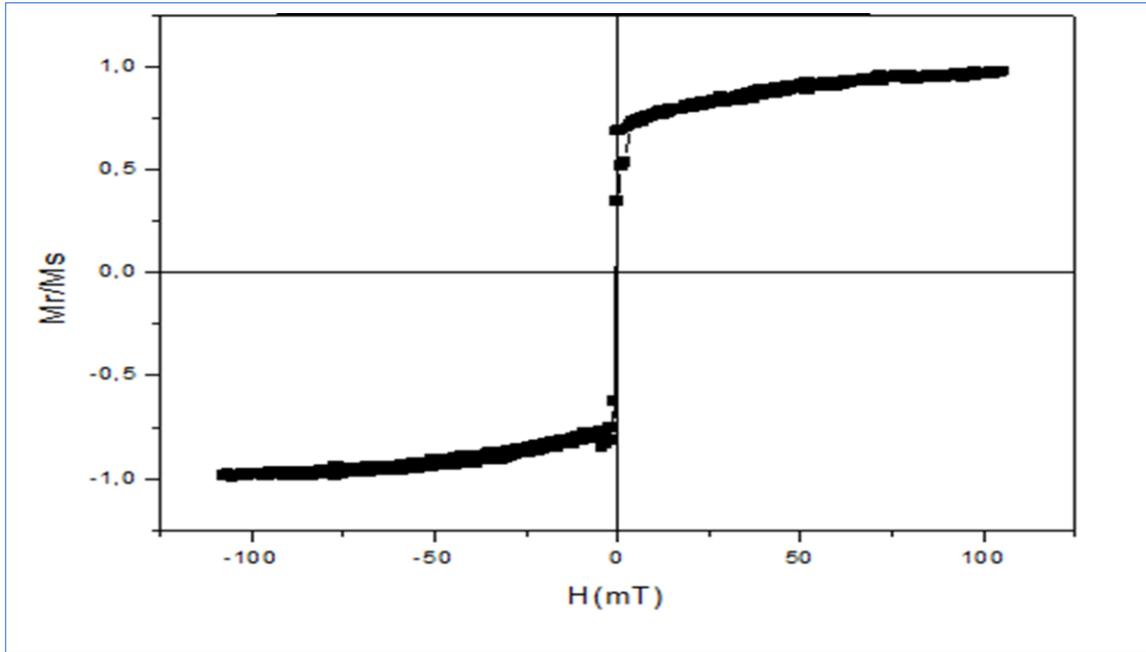
■ إن استجابة العينتين E_1 و E_2 الى الحقل المغناطيسي المطبق عليهما لم تكن خطية، بل شكلت ما يسمى بدورة التباطؤ او التخلف المغناطيسي، مما يدل على أن مادة الحديد تمتلك الخاصية الفيرومغناطيسية او ما تعرف بالمغناطيسية الحديدية.

■ إن الاختلاف الموجود في المنحنيين يتمركز في كل من الشكل والمساحة: حيث أن بيان التخلف المغناطيسي الموافق للعينه E_1 ، منحدر وضيق، اما المنحنى الناتج عن استجابة العينه E_2 للحقل المغناطيسي المطبق عليها فكان مربع وواسع، وكما علمنا سابقا أن الفرق الوحيد الموجود في العينتين E_1 و E_2 هو فقط نوع المسند المستخدم، فإننا نستنتج أن لهذا الاخير تأثير كبير على طبيعة استجابة العينه للحقل المغناطيسي المطبق عليها، وبالتالي على طبيعة الحديد الفيرومغناطيسية.

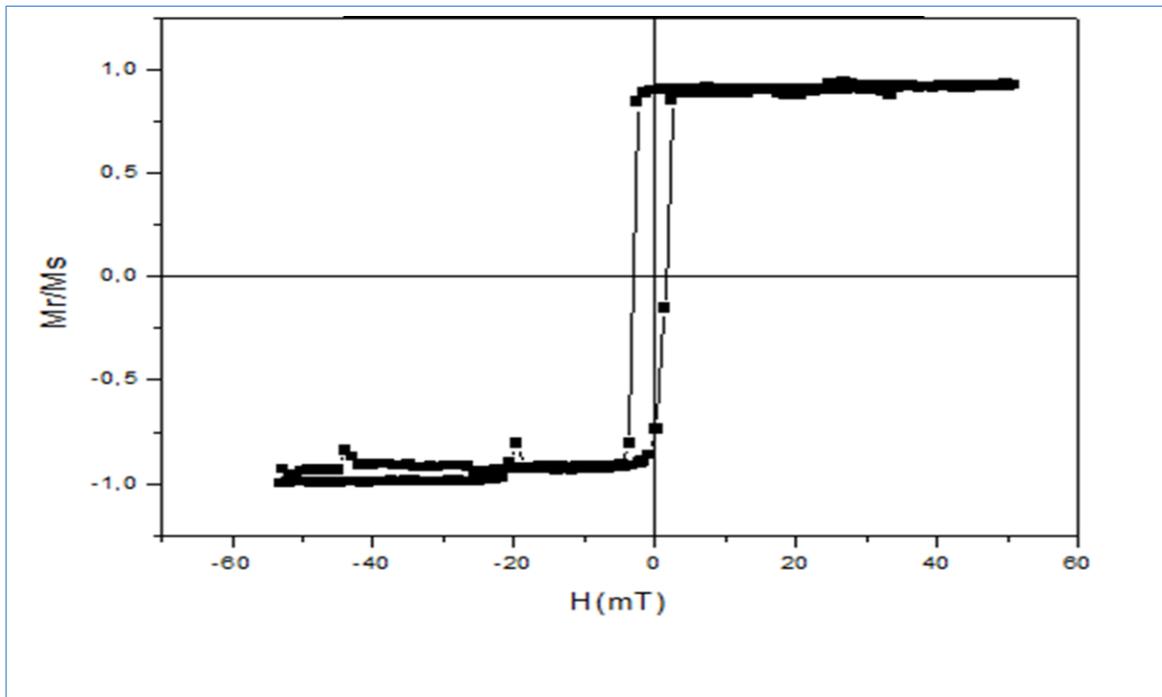
■ إن الانحدار الشديد لبيان التخلف المغناطيسي الموافق للعينه E_1 وضيق مساحته يدل على أن الحديد في هذه الاخيرة ذو طبيعة مغناطيسية لينة وان ضياع الطاقة طفيف اثناء عملية الاستجابة المغناطيسية للحقل المغناطيسي الخارجي المطبق وهذا ما يجعل مدى تطبيق هذه العينه ينحصر في الاجهزة الالكترونية التي تحتاج الى مغناطيس كهربائي يمكن التحكم فيه، او في الاجهزة التي يتم فيها تغيير التدفق المغناطيسي او عكسه او تشغيله وإيقافه باستمرار.

■ أما الشكل المربع ومساحته الكبيرة والواضحة في بيان التخلف المغناطيسي الناتج من العينه E_2 فانه يدل على الطبيعة المغناطيسية الصلبة للحديد ذات التبديد الكبير في الطاقة، وهذا ما يدل على ان هذه العينه تصلح للاستعمال في المغناط الدائمة، او الأشرطة المغناطيسية واجهزة التسجيل الصوتي وبطاقات الائتمان والقرص الصلب الذي يستعمل للتخزين المغناطيسي حيث لا يمكن محو ذاكرته بسهولة.

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



العينة E_2 : $SiO_2/Si/Fe(300\text{\AA})/Ag(20\text{\AA})$



الشكل III-1-بيان التباطؤ المغناطيسي او ما يعرف بمنحنى الاستجابة المغناطيسية لكل من E_1 و E_2 للحقل المغناطيسي المطبق.

III-3-3- ارتباط التخزين المغناطيسي بالخصائص المغناطيسية المستخرجة من دورات الهسترة
من خلال دورتي التباطؤ (التخلف) المغناطيسي نستطيع كذلك استنتاج العديد من الخصائص المغناطيسية لكل من العينتين E_1 و E_2 سندرس من بينها الخصائص التالية: مغنطة التشبع، المغنطة المتبقية، التربيع المغناطيسي، الحقل القهري، حقل التشبع والقابلية المغناطيسية، كما سنحاول دراسة علاقة كل هذه الاخيرة بالتخزين المغناطيسي لنحاول التوصل أي العينتين هي الأفضل لتطبيقها في مجال التخزين المغناطيسي؟

III-3-1- مغنطة التشبع

قيمة مغنطة التشبع للعينتين E_1 ، E_2 استخرجناها باستخدام Origin06 من منحنى التخلف المبين في (الشكل III-1) الخاص بكل واحدة ووضعنا هاتين القيمتين في (الجدول III-1).

| العينه | E_1 | E_2 |
|---|---------|---------|
| مغنطة التشبع (Ms emu/cm ³) | 1585.45 | 1721.15 |

الجدول III-1- مغنطة التشبع للعينتين E_1 و E_2 .

من خلال (الجدول III-1)، نستطيع تدوين الملاحظات التالية:

- قيمة مغنطة التشبع لمادة الحديد تتغير من عينة الى اخرى، ما يؤكد ان نوع المسند المستخدم له تأثير على سلوك الحديد وعلى طبيعة استجابته للحقل المغناطيسي المطبق عليه.
- أكبر قيمة لمغنطة التشبع هي $Ms=1721.15$ emu/cm³، ولقد استخرجناها من منحنى التباطؤ المغناطيسي للعينه E_2 ، وهي قريبة نوعا ما من مغنطة التشبع النظرية لمادة الحديد والمقدرة بالقيمة 1749.7 emu/cm³ [56] مما يدل على أن العينه الناتجة ذات جودة عالية وتمتلك كثافة كبيرة من العزوم المغناطيسية، وبالتالي مساحة التخزين بها كبيرة [42] مما يجعلها مؤهلة لان تستخدم في مجال التخزين المغناطيسي [57].

- مغنطة التشبع للعينه E_1 تقدر بالقيمة $1585, 45$ emu/cm³ وهي قيمة صغيرة مقارنة بمثلتها للعينه E_2 ، ومن الممكن ان يكون سبب هذه القيمة، راجع إلى نقص في كثافة العزوم المغناطيسية وعليه صغر مساحة التخزين [57]، أو إلى عدم تجانس في ترتيب ذرات مادة الحديد في هذه الاخيرة [46]، وهو ما يجعلها غير صالحة للتطبيق في مجال التخزين المغناطيسي الذي يحتاج قيمة كبيرة لمغنطة التشبع، في حين انه يمكن لهذه العينه أن تكون صالحة للتطبيق في مجال الأجهزة الكهربائية كالمحولات و المحركات الكهربائية التي تحتوي على مادة الحديد والتي تحتاج الى سرعة لمغنطتها وسرعة كذلك لإزالة تمغنطها [46،59].

III-2-3- المغطاة المتبقية

تعتبر من الخصائص المغناطيسية المهمة في التطبيقات العملية، ولذلك قمنا باستخراج قيمتها لكلتي العينتين المدروستين، ووضعناها في (الجدول III-2).

| العينات | E_1 | E_2 |
|--|--------|---------|
| المغطاة المتبقية ($\text{Mr (emu/cm}^3\text{)}$) | 924.68 | 1716.25 |

الجدول III-2- قيمة المغطاة المتبقية للعينتين E_1 و E_2 .

يتضح من خلال (الجدول III-2)، أن:

■ قيمة المغطاة المتبقية تتغير من عينة الى اخرى، وهذا ما يؤكد ما استنتجناه سابقا بخصوص تأثير نوع المسند المستخدم على الخصائص المغناطيسية.

■ قيمة المغطاة المتبقية Mr للعيينة E_2 ، تقدر ب 1716.25emu/cm^3 ، وهي قريبة جدا من قيمة مغطاة تشبعتها، مما جعل دورة التخلف المغناطيسي مربعة الشكل كما لاحظناه سابقا، وهذا إن دل على شيء فإنما يدل على ان مادة الحديد في هذه العينة حافظت على اتجاه اغلب عزومها المغناطيسية في اتجاه الحقل الذي ادى بها الى حالة التشبع، او ما يسمى بحقل التشبع، مما يجعلنا نصنفها من ضمن العينات التي تمتلك استبقائية ومقاومة كبيرة لإزالة مغنطتها، اي انها تحافظ على مغنطتها بعد ازالة الحقل المطبق بصورة شديدة، مما يجعلها ذات ذاكرة مغناطيسية حديدية وهو العامل الذي يحتاجه مجال التخزين المغناطيسي للمحافظة على المعلومات بعد كتابتها، والمساعدة على جودة قراءة المعلومات المخزنة [33،44].

■ القيمة الدنيا للمغطاة المتبقية في العينة E_1 والتي قدرت ب 924.68emu/cm^3 ، يبين لنا أن معظم العزوم المغناطيسية عادت الى حالتها التي كانت عليها قبل ان يطبق الحقل المغناطيسي الخارجي، و لم تستطع المحافظة الا على القليل منهم في اتجاه الحقل المطبق وهذا يدل على انها لا تحتاج الى تطبيق حقل مغناطيسي كبير في الاتجاه المعاكس لإزالة مغنطتها وارجاعها الى القيمة المعدومة، و بالتالي يسهل علينا مغنطتها من جديد في الاتجاه المعاكس دون اي مقاومة، وهذا ما يتطلبه مجال الدوائر الالكترونية التي تحتاج الى تغيير مستمر في اتجاه الحقل المطبق او الاجهزة التي تتطلب مجالات مغناطيسية متناوبة.

III-3-3- حقل القهري (القسري)

ان لقيمة الحقل القهري او القسري أهمية كبيرة من ناحية التطبيقات العلمية والتكنولوجية، ولذلك وجب علينا دراسة مدى تغير هذا الاخير في العينتين E_1 و E_2 من خلال دراسة القيم المستخرجة من بيانات التخلف المغناطيسي لهاتين الاخيرتين والمدونة في (الجدول III-3).

| العينات | E_1 | E_2 |
|-------------------------|-------|-------|
| الحقل القهري (Oe) H_c | 7.12 | 23.55 |

الجدول III-3- قيم الحقل القسري للعينتين E_1 و E_2 .

من خلال (الجدول III-3) نستطيع ملاحظة ما يلي:

- قيمة الحقل القهري H_c تتغير بتغير نوع العينة.
- نلاحظ ارتباط قيمة الحقل القهري بقيمة المغنطة المتبقية فكما كانت قيمتها كبيرة وجب تطبيق حقل قسري كبير.
- نلاحظ أن قيمة الحقل القهري H_c للعينة E_1 لا تفوق $9,670e$ ، مما يؤكد خاصية الليونة الفير ومغناطيسية لمادة الحديد المدروسة [60]، وقيمتها الصغيرة تدل كذلك على انه لا يوجد تبدد في الطاقة اثناء عملية اصطاف العزوم المغناطيسية باتجاه الحقل المغناطيسي المطبق اي اثناء مغنطة هذه العينة، وتعتبر هذه الخاصية ذات اهمية عظيمة في مجال الاجهزة الالكترونية والمحولات التي تحتاج الى تطبيق حقل متناوب لكي لا تتبدد الطاقة على شكل حرارة تعيق عمل الاجهزة او تعطلها كلياً.
- القيمة الكبيرة للحقل القسري للعينة E_2 يؤكد انها عينة ذات طبيعة مغناطيسية صلبة وانه عندما ابعدا تأثير الحقل الخارجي نشأت حالة شبه مستقرة للحديد تمثلت في ظهور مغنطة متبقية ذات قيمة كبيرة واصبحت استبقائيتها ضخمة ولذلك تطلبت هذه العينة عند تشبعها مغناطيسياً الى قيمة كبيرة للحقل في الاتجاه المعاكس لإزالة مغنطتها وسمي الحقل القسري سالف الذكر، وهذه الخاصية تساعد في المحافظة على المعلومة المكتوبة في وسيلة التخزين المغناطيسي ان استخدمت فيها هذه العينة ولذلك يكون مجال تطبيق هذه الاخيرة يكون دوماً كمغناطيس دائم او في مجال التخزين المغناطيسي، الذي يحتاج مواد تحافظ على مغناطيسيتها لمدة اكبر وهو ما يساعد على حفظ المعلومة لوقت اطول [58].

III-4-3- حقل التشبع

من اجل فهم آلية دوران المغنطة في المواد الفيرومغناطيسية وجب علينا دراسة كيفية تغير الحقول المغناطيسية في دورات التخلف المغناطيسي والتي يعد من اهمها حقل التشبع H_s ، و عليه قمنا باستخراج قيمة هذا الأخير في جميع دورات الهسترة المبينة في (الجدول III-4).

| العينات | E_1 | E_2 |
|------------------------|-------|-------|
| حقل التشبع (H_s Oe) | 1100 | 61.6 |

الجدول III-4- قيم حقل التشبع للعينتين E_1 و E_2 .

■ يتبين لنا أن قيم حقل التشبع تتغير ايضا عندما نغير العينة أو بالأحرى المسند المستخدم لمادة الحديد المدروسة، مما يكون تأكيد جازم للاستنتاجات السابقة ان الخصائص المغناطيسية تتغير من عينة الى اخرى ما يغير مجال تطبيق هاتين العينتين.

■ القيمة الصغيرة لحقل التشبع 61.6 Oe للعينة E_2 يدل على قابلية هذه العينة على التمغنط بكل سهولة، وان عملية تغير اتجاه العزوم المغناطيسية تتم عن الانزياح السلس لجدار بلوخ بين المناطق المغناطيسية، وهذا يكافئ سهولة عملية الكتابة والقراءة على الاوساط المغناطيسية ان استخدمت هذه العينة في مجال التخزين المغناطيسي.

■ القيمة الكبيرة لحقل التشبع 1100 Oe للعينة E_1 يؤكد صعوبة تمغنطها كما بينه الانحدار الشديد في شكل دورة التخلف المغناطيسي الخاصة بهذه العينة (انظر الشكل III-1)، وهذا إن دل على شيء إنما يدل على أن عملية تغير اتجاه المغنطة تتم عن طريق دوران العزوم المغناطيسية [46]، مما يصعب امر اصطفاف العزوم المغناطيسية في اتجاه الحقل.

III-5-3- التربيع المغناطيسي

من الخصائص المغناطيسية المهمة كذلك في التطبيقات العملية للمواد المغناطيسية هي قيمة التربيع المغناطيسي $S=Mr/Ms$ ، ولذلك قمنا باستخراج قيمة هذه الأخيرة للعينتين من كل دورة تخلف المبينة في (الشكل III-1)، ووضعناها في (الجدول III-5).

| العينات | E ₁ | E ₂ |
|-------------------------|----------------|----------------|
| قيمة التربيع المغناطيسي | 0.58 | 0.99 |

الجدول III-5- قيم التربيع المغناطيسي للعينتين E₁ و E₂.

■ نلاحظ من هذا الجدول أن قيمة التربيع المغناطيسي تختلف من العينة E₁ الى العينة E₂، وهذا ان دل على شيء فانه يدل على ان الخصائص المغناطيسية للحديد تتغير بتغير نوع المسند الذي يرتكز عليه، مما ينوع مجال تطبيق العينتين.

■ في حالة العينة E₂ وجدنا أن قيمة التربيع المغناطيسي S=0.99 مما يؤكد النتائج السابقة وبأن $Mr \cong Ms$ ، وأن شكل استجابة هذه العينة للحقل المغناطيسي المطبق عليها ليست خطية وانما عبارة على دورة تخلف او تباطؤ مغناطيسي مربعة الشكل، عمليا تستخدم في مجال التخزين المغناطيسي، المواد التي تكون قيمة تربيعها المغناطيسي قريبة من 1 لسهولة الكتابة عليها دون ضوضاء كثيرة [46]، وهذا ما يتحقق في هذه العينة.

■ في حالة العينة E₁ وجدنا أن قيمة التربيع المغناطيسي S=0.58 مما يدل على أن $Mr \cong 0.58Ms$ وهو يفسر الانحدار الشديد لدورة التخلف وهو ما يجعلها تحتاج الى حقل تشبع كبير لمغنطتها وهذا يوافق النتيجة المتحصل عليها عندما حللنا دورات الهستيرة.

III-3-6- القابلية المغناطيسية

تعتبر الحساسية المغناطيسية من المقادير الفيزيائية المهمة خاصة في مجال المغناطيسية حيث تعطينا قابلية المادة على التمغنط، وللتأكد من الاستنتاجات السابقة وجب علينا دراسة هذه الخاصية المهمة في كل عينة ولقد وضعنا النتائج في (الجدول III-6).

| العينات | E ₁ | E ₂ |
|----------------------|----------------|----------------|
| القابلية المغناطيسية | 18.01 | 349.26 |

الجدول III-6- قيم القابلية المغناطيسية للعينتين E₁ و E₂.

من خلال (الجدول III-6) نلاحظ أن:

■ القابلية المغناطيسية في جميع الحالات لها قيم اكبر من 1 مما يؤكد الخاصية الفيرومغناطيسية لمادة الحديد المدروسة.

- قيمة القابلية المغناطيسية تتغير كلما غيرنا العينة (المسند).
- أكبر قيمة للقابلية المغناطيسية توافق العينة E_2 ، وهذا ما يفسر القيمة الصغيرة لحقل التشبع حيث انه يكفي تطبيق $61.60e$ لجعل العزوم المغناطيسية الموجودة في مادة الحديد أكثر قابلية للتمغنت، وتتبع اتجاه الحقل بسهولة، لان العزوم المغناطيسية لمادة الحديد في هذه العينة أكثر حساسية لاتجاه الحقل، وهو ما يجعلها تصلح لتطبيقها في مجال التخزين المغناطيسي.
- القيمة الصغيرة لقابلية التمغنت في حالة العينة E_1 يفسر أنها صعبة التمغنت واحتياجها لقيمة كبيرة للحقل المغناطيسي للوصول الى حالة التشبع، وهو يؤكد النتائج التي تحصلنا عليها سابقا.
- من أجل الحصول على تخزين مغناطيسي فعال وجيد يجب أن تكون قيمة الحساسية المغناطيسية كبيرة جدا، وهذا ينطبق على العينة E_2 مقارنة بالعينة E_1 وبالتالي فهي ذات تخزين مغناطيسي أفضل.

III-4- الاستنتاج

قمنا في هذا الفصل بتحليل النتائج التي تحصلنا عليها تجريبيا ومن خلال هذا التحليل تمكنا من معرفة الخصائص المغناطيسية للعينات:

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

العينة E_2 : $SiO_2/Si(100)//Fe(300\text{\AA})/Ag(20\text{\AA})$

وتأكدنا من ارتباط التخزين المغناطيسي بالخصائص المغناطيسية حيث استنتجنا ما يلي:

- ✓ الخصائص المغناطيسية لنفس المادة تتغير عندما نغير نوع المسند المركزة عليه، مما يؤدي الى تنوع مجال استعمالها في التكنولوجيا.
- ✓ تميزت مادة الحديد في العينة E_1 بخاصية الفيرو مغناطيسية اللينة.
- ✓ تميزت مادة الحديد في العينة E_2 بخاصية الفيرو مغناطيسية الصلبة.
- ✓ قيمة كل من مغنطة التشبع، المغنطة المتبقية، التربيع المغناطيسي، حقل التشبع، الحقل القاهر، وكذلك الحساسية المغناطيسية تتغير جميعها عندما نغير العينة (المسند) وبالتالي تتغير فعالية التخزين المغناطيسي.
- ✓ العينة E_2 تصلح لاستعمالها في مجال التخزين المغناطيسي عكس العينة E_1 التي يمكن استخدامها في الاجهزة الإلكترونية.

الخاتمة عامة

الخاتمة العامة

قد تجلى عملنا هذا في دراسة ارتباط التخزين المغناطيسي بالخصائص المغناطيسية لأحد أنواع الأغشية الرقيقة المصنوعة من أشهر مادة مغناطيسية الا وهي الحديد، المتميز بمغناطيسية حديدية قوية وتعرف باسم الفيرو مغناطيسية، وكما نعلم على المواد المغناطيسية انه عندما تكون في حالة استقرار فإنها تمتلك مناطق داخلية تنوزع فيها عزوم مغناطيسية باتجاهات مختلفة، حيث محصلة عزومها بالنسبة لوحدة حجم العينة معدوم، أما في الحالة الغير المستقرة، أي في حالة تسليط عليها حقل خارجي، فإن هذا المجموع يتأثر بمقدار الحقل المطبق واتجاه زاوية تطبيقه لان العزوم المغناطيسية تحاول الاصطفاف باتجاه الحقل المطبق وهو ما يعرف بالاستجابة المغناطيسية للحقل الخارجي، تكون استجابة الأغشية الفيرو مغناطيسية لهذا الحقل ليست خطية، بل لها خاصية التخلف أو التباطؤ المغناطيسي يجعل منها استجابة هستيرية، وتترجم بمنحنى التخلف المغناطيسي، والسبب الرئيسي في هذه التسمية، أن الأغشية الرقيقة الفيرو مغناطيسية لا تنعدم مغنطتها عند رفع تأثير الحقل المطبق، بل تبقى محافظة على كمية منها تسمى بالمغطة المتبقية، ولكي تنعدم قيمة هذه الأخيرة يجب تطبيق مقدار معين من الحقل المغناطيسي، يسمى بالحقل القهري (H_c).

كما اخترنا دراسة نوعين من العينات الفرق الوحيد بينهما هو مادة المسند المستخدم كمسند ارتكز عليه غشاء رقيق من الحديد سمكه 300\AA ، مادتي المسند المستخدمة هما: الأولى عبارة عن أكسيد المغنزيوم MgO، أحادي التبلور المصقول على الوجه (001)، والآخر عبارة على مسند ثلاثي التبلور ويتمثل في Si المصقول على الوجه (100)، للحفاظ على غشاء الحديد من التأكسد، رسب فوقه سمك صغير جدا (20\AA) من الفضة، وبذلك تكونت نوعين من العينات اخترنا لهما الرمز:

العينة 1: نرمز لها بالرمز E_1 ذات الصيغة $\text{MgO}(001)//\text{Fe}(300\text{\AA})/\text{Ag}(20\text{\AA})$

العينة 2: نرمز لها بالرمز E_2 ذات الصيغة $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)//\text{Fe}(300\text{\AA})/\text{Ag}(20\text{\AA})$

استخدمت تقنية التنضيد الفوقي الموجه (MBE) لتحضير العينتين عند درجة حرارة الغرفة، وضغط منخفض جدا (تحت الفراغ الفائق)، كما أن الخصائص المغناطيسية لغشاء الحديد الرقيق في العينتين، درسناها بتحليل منحنيات التخلف المغناطيسي المستخرجة من تقنية المغنطو-ضوئية لفعل (MOKE)kerr.

أهم النتائج التي توصلنا إليها سنعرضها باختصار في النقاط التالية:

- ✓ مادة الحديد تتبع تصرف فيرو مغناطيسي في كلتا العينتين لأن استجابته للحقل المغناطيسي المطبق لم تكن خطية بل شكلت بيان تخلف مغناطيسي.
- ✓ العينة E_1 صعبة المغنطة في حين كانت العينة E_2 سهلة التمغنط وهذا ما استنبطناه من شكل منحني التخلف المغناطيسي حيث كان منحدر بالنسبة للعينة E_1 ومربع بالنسبة للعينة E_2 .
- ✓ الطبيعة المغناطيسية لنفس السمك من الحديد تتغير عندما نغير نوع المسند المرتكز عليه، مما نوع مجال استعمالها في التكنولوجيا، حيث تميزت مادة الحديد في العينة E_1 بخاصية الفيرو مغناطيسية اللينة، بينما تميزت بخاصية الفيرو مغناطيسية الصلبة في العينة E_2 .
- ✓ قيمة كل من مغنطة التشبع، المغنطة المتبقية، التربيع المغناطيسي، حقل التشبع، الحقل القهري وكذلك القابلية المغناطيسية تتغير جميعها من عينة الى عينة أخرى و هذا ما أكد تأثير المسند على الخصائص المغناطيسية للحديد، و جعل مجال استخدام العينتين يختلف حيث كانت قيم كل من S ، H_c ، H_s ، M_r ، M_s كبيرة في العينة E_2 مما جعلها تصلح للاستخدام في مجال التخزين المغناطيسي، أما قيمها المستخرجة من بيان التخلف المغناطيسي الموافق للعينة E_1 كانت صغيرة مقارنة بالقيم الموافقة للعينة E_2 و هذا ما جعلها تصلح للاستخدام في مجال الاجهزة الكهربائية مثل المحولات.
- ✓ قدرة الحديد على التمغنط تغيرت كذلك بتغير العينة (المسند)، ولكن الأمر الذي أكدته في كلتا العينتين هو أن مادة الحديد المدروسة هي مادة فيرومغناطيسية لأن قيمة القابلية المغناطيسية χ كانت موجبة وأكبر من 1.
- ✓ في الأخير ومن خلال كل ما سبق نستطيع الجزم بأن التخزين المغناطيسي مرتبط ارتباطا وثيقا ببعض الخصائص المغناطيسية.

قائمة المراجع

قائمة المراجع

- [01]- Mohamed Asbahi. Enregistrement magnetique ultra-haute densite sur medias discrets a aimantation perpendiculaire. Matière Condensée [cond-mat]. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2007. Français. tel-00410755.
- [02]- J-C. PIVOTA, propos de l'enregistrement magnétique Vol. 89 - Octobre 1995.
- [03]- Manuel MELON, Supports d'enregistrements Historique des supports analogiques Université du Maine Jeudi 22 octobre 2015.
- [04]- <https://www.tech-wd.com/wd/2012/09/05/old-hard-drive-pic/>
- [05]- Jérémy Alvarez-Hérault. Mémoire magnétique à écriture par courant polarisé en spin assistée thermiquement. Matière Condensée [cond-mat]. Université de Grenoble, 2010. Français.
- [06]- S. Sikorav. Matériaux pour l'enregistrement magnétique haute densité. Revue de Physique Appliquée, 1986, 21 (11), pp.623-633. 10.1051/rphysap:019860021011062300. jpa-00245482 .
- [07]- M.S.Dresselhaus- solide state physics – part3.
- [08]- Unité 8: Mémoires auxiliaires ©Pierre Marchand, 2001.
- [09]- Alok Rastogi. Bijoy Kishore Das Magnetic Recording Materials January 1995.
- [10]- Louis Néel ,Magnétisme II : matériaux et applications, Etienne Trémolet de Lacheisserie laboratoire Louis Néel , Grenoble , 1 janvier 2000.
- [11]- K. L. Mittal (ed.), Polymers in Information Storage Technology© Plenum Press, New York 1989.
- [12]- Chapitre: principe du disque dur écrire et lire Transmission et stockage de l'information-Terminale S.
- [13]- Houmed M. Garad, thèse Pour obtenir le grade de docteur de l'université de grenoble l'anisotropie magnétique perpendiculaire induite par oxydation et recuit thermique: de la structure au magnétisme 03 avril 2012.

- [14]- سيود عبلة، دراسة الخصائص المغناطيسية للمركب $\text{Bi}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_3$ من اجل $x=0.25$ - 0.5، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، (2018).
- [15]- A. Moser et al; Magnetic Recording: advancing into the future, J. Phys. D: Appl. Phys. 35(2002) R157–R167.
- [16]- <https://www.64bitz.com/tech/hard-drive-work/>
- [17]- O.Fruchart L'enregistrement sur des nanostructures magnétiques Des nanostructures pour l'enregistrement magnétique Laboratoire Louis Néel Grenoble France.
- [18]- section 6: Supports d'enregistrement et stratégies de stockage 20 novembre 2011.
- [19]- Jean-Pierre Nozières ,tes de lecture et mémoires magnétiques Article disponible sur le site <http://www.refletsdelaphysique.fr> ou <http://dx.doi.org/10.1051/refdp/2010007>.
- [20]- ع.نوال، ن. عفاف، عدم تماثل المناحي لعينة، مذكرة ماستر، جامعة الشيخ العربي التبسي، 2018.
- [21]- Albert Fert , La spintronique :des spins dans votre ordinateur Université Paris-Sud ,28 septembre 2005.
- [22]- صفية ناجح، وسائط التخزين في الحاسوب، 15 جويلية 2010.
- [23]- محاضرة الثامنة أوساط التخزين جامعة أندلس الخاصة بالعلوم الطبية.
- [24]- Shan X.Wang. Alexander M.TARATORIN, Magnetic Information Storage Technology, 12Mai1999.
- [25]-https://www.rpi.edu/dept/phys/ScIT/InformationStorage/magres/magnetism_b.html
- [26]-<https://techdifferences.com/difference-between-magnetic-tape-and-magnetic-disk.html>.
- [27]- S.R.Barnum. Biotevhnology, An Introduction., 2nd Edition Thomson Brooks, 10, Davs Drive, Belmont CA 94002, USA, (2005).
- [28]- HP، Meyers;Introductory solid state physics، (1997).
- [29]- Platonis Opera، Meyer and Zeller، (1839).
- [30]- ch8-solid-state.pdf

[31]- intégration de l'hystérésis magnétique dans un calcul éléments finis en vue de l'estimation des pertes dans les tôles des machines électriques, thèse de doctorat l'université de mouloud Mammeri, (2010).

[32]- فوزي غالب عوض –الفيزياء الصلب الجزء الثاني (2011-2012).

[33]- بن ذيب شيماء، بن خديم كريمة، الخصائص المغناطيسية وارتباطها بالتجاه الحقل المغناطيسي المطبق لعينة Ag/Fe/MgO، جامعة العربي التبسي-تبسة(2020).

[34]- Michel Cyrot et al. -Magnétisme, numéro 1 _ Fondements. I-EDP Sciences (2000).

[35]- Fatma ISSAOUI ،Etude des propriétés magnétiques des matériaux à bases des métaux de transition sous forme de poudre (A_2BO_4) et monocristaux (RMX_5) Pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE. (2006).

[36] LusThomas,Masamitsu,Hayashi,XinJiang,RaiMoriya,CharlesRettner, StuartPar kin,"ResonantAmplification of Magnetic Domain-Wall Motion By a Train Of Current Pulses", (2007)

[37]- ستار كاصد حسن، دراسة ديناميكية حدود الحجيرات المغناطيسية باستخدام نظام الماتلاب- أطروحة الماجستير، (2006).

[38]- قواسمية وناسة، جباري سعاد، تغير الحقل الحرج في الاغشية الرقيقة بالاختلاف نوع المسند المستخدم، جامعة العربي التبسي – تبسة، (2018).

[39]- ف. غالب، كتاب الجسم الصلب، منشورات دمشق (2011-2012). ص66.

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

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

[42]- Boukhalfa Radhia, Influence du substrat sur les propriétés structurales et magnétiques des bicouches Fe/Ag, Thèse du doctorat. Université de Constantine, (2014).

[43]- خير سليمان شواهين، الكهرومغناطيسية تجارب وانشطة وهوايات دار الخطيب للنشر والتوزيع، عمان، الأردن.

[44]- 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).

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

[46]- Intissar DJOUADA, Etude de propriétés structurales et Magnétiques des couches minces ferromagnétiques à base de Métaux de transition, Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif1 (UFAS), (2012).

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

[48]- محمد شوشاوي، محمد عروي ، دراسة الخصائص المغناطيسية للمادة الصلبة، المدرسة العليا للأساتذة، القبة القديمة(الجزائر)،2007.

[49]- Thèse présentée à l'université bordeaux 1 par Clémence Rouge pour obtenir le grade de docteur, modélisation du rayonnement ultrasonore par un traducteur emat dans une pièce ferromagnétique (2013) .

[50]- T. Zhao, A. Scholl, F. Zavaliche, K. Lee, M. Barry, A. Doran, M.P.

Cruz, Y.H. Chu, C. Ederer, N.A. Spaldin, R.R. Das, D.M. Kim, S.H. Baek, C.B. Eom, R. Ramesh, Nature materials 5, 823 (2006)

[51]- ج. هدى، س. فلة، تأثير طبقة ذات سمك: 75Å من الكروم Cr على الخصائص البنيوية لعينة MgO/Fe(300Å)Ag(20Å) جامعة الشيخ العربي التبسي، تبسة، 2017.

[52]- Landre O.Etude de la nucleation et de la croissance de structures filaires GaN et AlN. PhD thesis, Université Joseph fourier, 2010.

[53]- M. A. Herman, H. Sitter ; Molecular Beam Epitaxy, Springer Series in Materials Science, (1996).

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

[55]- Khachab Hamid, Modélisation de la croissance épitaxiale par jet moléculaires (MBE) avec la méthode de Monte Carlo Cinétique (KMC), Thèse de doctorat Université Abou. Berk Belkad de Tlemcen, (2010).

[56]- Chp 24 , physical origins and theoretical models of magnetic anisotropy,P. Bruno institut d'Electronique Fondamentale, CNRS UA 022 B3t. 220, Université Paris-Sud, F-91405 Orsay, France.

[57] - A. Teyri, propriétés magnétiques et électroniques «spinotrinique»des matériaux magnétiques, Mémoire de magister, ,université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou ,2012.

[58] - ن.ح.علوش، تأثير زمن التلييد على الخواص المغناطيسية للمركب $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O$ ، Special Issue (C) ،The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering 512-499.

[59] - S.Sidhu,M.R.Anantharaman, B. P.Thampi, K.Malini and P. Kurian, Evaluation of a.c Conductivity of Rubber Ferrite Composites from Dielectric Measurements ; I ndian Academy of Sciences. Bull. Mater .sci vol .25 No.7 (2002) . PP 599-607.

[60]- M. BUI Anh Tuan, Caractérisation et modélisation du comportement des matériaux magnétiques doux sous contrainte thermique, diplôme de doctorat, école doctoral de Lion ,(2011).