

دراسة تركيب الحجيرات المغناطيسية وعلاقتها بمنحني الهسترة المغناطيسية

زياد نبيل

جامعة كربلاء / كلية العلوم

صباح جميل مزهر

الجامعة المستنصرية / كلية العلوم

نزهت عزيز عبود

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي / جهاز الأشرف

الخلاصة :

تمت دراسة الحجيرات المغناطيسية باستخدام التحليل البسيط و معرفة الشروط الحدودية لتكوين هذه الحجيرات من خلال دراسة الطاقة التي تفقد خلال عملية التمغنط و شرحها وكذلك دراسة علاقة هذه الحقول بمنحني الهسترة المغناطيسية وشرح منحني الهسترة عند تطبيق المجال المغناطيسي الخارجي على العينة .

المقدمة:

تعرف الحجيرة المغناطيسية بأنها مناطق تتكون في داخل بلورات المواد المغناطيسية وتحتوي على مجموعة من العزوم تتخذ اتجاه واحد وتكون محاطة بغشاء عازل يتكون من مجموعة من العزوم التي تتحرك باتجاه عكس اتجاه العزوم الداخلية للحجيرة المغناطيسية⁽¹⁾ . إن السبب في تكون هذه الحجيرات هو الموازنة بين التغير في مقدار طاقة مجموعة العزوم التي تكون في داخل الغشاء و مع الايزوتروبي في داخل الحجيرة و الذي يؤدي في اغلب الاحيان إلى تكون غشاء رقيق في حين تكون في حالات أخرى ذات غشاء سميك وحسب تأثير الايزوتروبي في التفاعل. تعتمد حركة هذه الحجيرات وطريقة تكونها على الغشاء الذي يحيط بهذه الحجيرات ولهذا ستركز البحث على دراسة حركة العزوم في داخل الغشاء و العوامل المؤثرة على هذه الحركة⁽²⁾.

الجانب النظري :

إن مصطلح الحجيرة المغناطيسية قد استخدم من قبل العالمين (نيل و بلوخ Néel and Bloch) لوصف الحالة التي تحدث في داخل المادة عند تفاعل العزوم المغناطيسية و الموازنة التي تحدث عند التغير في الطاقات الداخلية و طاقة الايزوتروبي و طاقة المرونة المغناطيسية و طاقة التبادل بين الذرات المتقاربة والتي ستكون ذات تأثير كبير في العملية لكون الذرات غير معزولة عن بعضها ، ويمكن أن تشاهد هذه الحجيرات من خلال المجهر الالكتروني أو من خلال وضع سائل يحتوي على اكاسيد الحديد ذات التأثيرية العالية و التي سوف تترتب بطريقة معينة تظهر فيها الحجيرات المغناطيسية. ولأن ديناميكية الحجيرات المغناطيسية تعتمد بالأساس على مقدار طاقة التبادل وعلى مقدار طاقة الايزوتروبي بينما أهملت الحدود الأخرى لقلتها مساهمتها ، فان كثافة الطاقة الكلية اللازمة لتكوين الحجيرة المغناطيسية (ω) سوف تعطى بالمعادلة⁽³⁾:

$$\omega = \int_{-\infty}^{+\infty} A \left(\frac{\partial M}{\partial t} \right)^2 + K \sin^2 \varphi \dots\dots\dots (1)$$

حيث إن:

($A \left(\frac{\partial M}{\partial t} \right)^2$) يمثل مقدار طاقة التبادل ، A هو ثابت التبادل ، M هو العزم المغناطيسي لوحدة الحجم.

($K \sin^2 \varphi$) يمثل مقدار طاقة الايزوتروبي ، K هو ثابت الايزوتروبي ، φ هي الزاوية بين متجه التمثيل واتجاه المحور السهل.

ومن حل المعادلة السابقة يمكن الحصول على علاقة لوصف توزيع العزوم المغناطيسية في حدود الحجيرات (حجيرات بلوخ و حجيرات نيل) بالشكل الآتي⁽⁴⁾ :

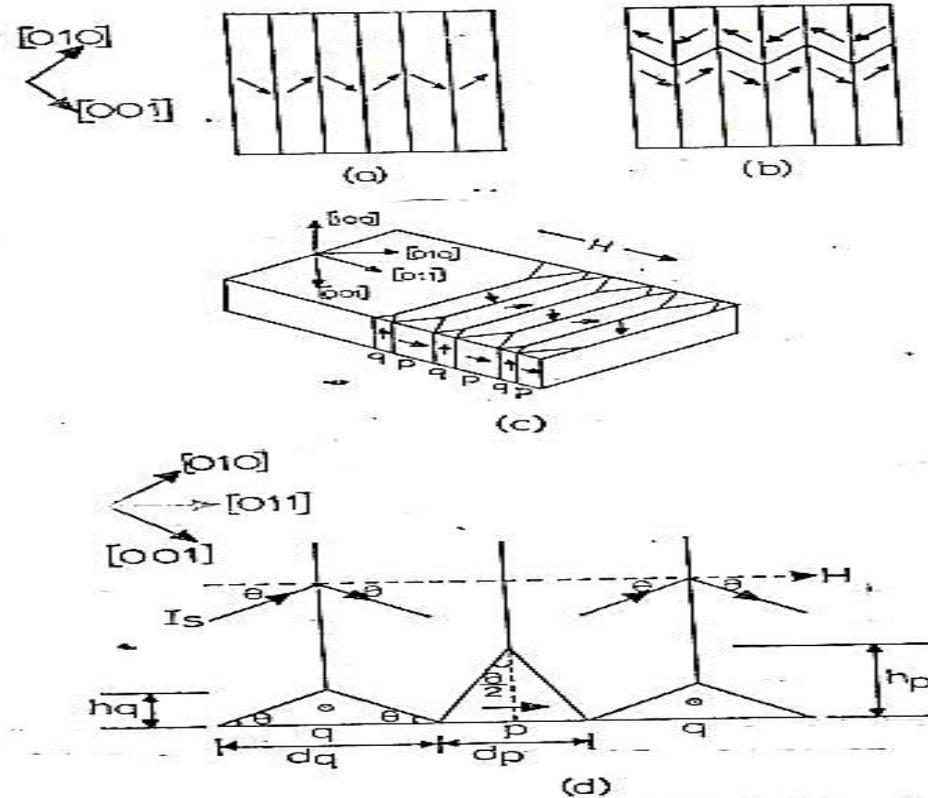
$$\ln \tan \frac{\varphi}{2} = \frac{x}{d_s} \dots\dots\dots (2)$$

حيث (d_s) يمثل عرض الحجيرة و (χ) يمثل الازاحة التي تتحركها الحدود عن موضع الاستقرار. إن اغلب البحوث السابقة التي تم فيها شرح تركيب الحجيرات كانت تختص بدراسة تصرف المواد تحت المجالات المغناطيسية الواطئة وهذا يعني دراسة المنحني في المنطقة التي تكون فيها القاهرية في منحني الهسترة الذي يحدث بصورة عامة للمغناطيسية في منطقة الانحدار الشديد في منحني المغناطيسية حيث إن قمة المغنطة تدور بزواوية (180^0) وتجعل الجدران تتحرك في داخل العينة . في المجالات العالية ستخفي الحجيرات وكذلك جدرانها ويحدث تغير في المغناطيسية و إن الذي يحدث بصورة عامة سيكون نتيجة دوران العزوم باتجاه المجال المطبق⁽⁵⁾. لقد درست هذه العملية من قبل العالم نيل (Nèel) و الذي درس حدود الحجيرات في بلورة الحديد (Fe) الأحادية والذي أشار إلى أن تركيب الحجيرة يحتوي على سلسلة من الشرائح (Slaps) و التي تكون فيها المغناطيسية متجه بشكل موازي

زياد نبيل ، صباح جميل مزهر ، نزهت عزيز عبود

أحدها للآخر و كذلك موازية للمحور السهل $< 100 >$ للبلورة وتكون الزاوية الفاصلة بين الحبيبات بمقدار (90^0) وعند حدود العينة يكون التركيب مغلق الحبيبات كما في الشكل (1-d) وان التركيب في هذه الحالة لا يعني انه مغلق بالمعنى الحرفي وذلك لوجود بعض الحبيبات التي تخالف هذه الحالة في نهاية بعض العينات. في المجالات الواطئة تتغير المغناطيسية من خلال التغير العكسي لمتجه المغناطيسية المرتبط بحركة الحبيبات ذات الدوران بزواوية (180^0) خلال العينة وكما موضح في الشكل (1 - a,b) حيث إن العينة تحتوي على حبيبات يمكن إن تدور بزواوية (90^0) وبصورة عكسية عند المجالات العالية . وعليه فان العزم المغناطيسي سوف يتغير خارجا عن المحور السهل للبلورة وبمساعدة دوران هذه الحبيبات كما في الشكل (1- c) وان التغير في المساحات في المجالات العالية يمكن حسابه كما يلي ⁽⁶⁾ :-

لنفترض عينة ذات أشرطة بعرض (L) وسمك (T) ويكون السطح عمودي على المتجه $< 100 >$ ، أما المتجه الموازي لسطح العينة فسيكون $< 011 >$ ولهذا فأن هناك محورين سهلين ، أحدهما هو $> 100 <$ و الآخر هو المتجه العمودي على الأشرطة (الحبيبات) ، وعليه فان تركيب الحبيبات في حالة كون المجال الخارجي يساوي صفرًا سيكون على شكل طبقات ويفارق $(d/2)$ حيث d يمثل المسافة بين طبقة و أخرى) وتكون موجودة بصورة موازية للمستوي $< 011 >$ وستكون متجهات المغناطيسية باتجاه $< 010 >$ و $< 001 >$ لتكوين حبيرة بزواوية (90^0) حتى لا تتكون أقطاب حرة فيما بين الحبيبات.



الشكل رقم (1) التركيب الداخلي للحبيبات المغناطيسية من نوع (حبيرات نيل Neel's Domain)

زياد نبيل ، صباح جميل مزهر ، نزهت عزيز عبود

وعند تطبيق مجال مغناطيسي خارجي وبأتجاه المتجه <011> فإن متجه التمغنط سيدور عن المحور السهل ويعكس متجه التمغنط للايزوتروبي للشبيكة ولكنه لا يزال موازيا للمركبة العمودية لمتجه التمغنط ومستمراً باتجاه حدود الحجيرة و ستكون الطاقة الكلية للحجيرة (E) :-

$$E = E_k - H.I_s = K_1 \cos^2 \left(\frac{\pi}{4} + \theta \right) \cos^2 \left(\frac{\pi}{4} - \theta \right) - H.I_s \cos \theta \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$= \frac{1}{4} K_1 \cos^2 2\theta - H.I_s \cos \theta$$

حيث إن θ هي الزاوية بين (I_s) و متجه المستوي <011>. و أن (I_s) هي المتجه المغناطيسي الذاتي للعينة و (H) هو شدة المجال المغناطيسي وهذه الطاقة هي أصغر ما يمكن عندما ($K_1 = K$) أي أنه:

$$H_s = K \cos \theta \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$E = \frac{1}{4} K \cos \theta 2 \cos \theta (6 \cos^2 \theta + 1) \quad \dots\dots\dots(5)$$

وهنا ستكون قيمة الزاوية θ هي التي تحدد قيمة (H) الخارجي. أن مبدأ القطب الحر و الذي يعمل في الإطراف البلورية سوف يقل بسبب تكون الحجيرات المعينة الثانوية و التي سنرمز لها بالرمزين (p و q) وقد أوضح العالم نيل (Nèel) أن هذه الحجيرات ستكون ذات طاقة منخفضة عندما يكون متجه التمغنط موازيا تقريبا إلى الحجيرة نوع (p) وبزاوية قائمة على الحجيرة (q) وكما موضح بالشكل (1-d). وعليه سيكون جدار الحجيرة المغناطيسية (q) موازيا للمجال المغناطيسي ويكون عموديا على الحجيرة (p) وسيكون مقدار الطاقة للحجيرات من النوع الأخير حسب العلاقة التالية:

$$K \sin^4 \frac{\pi}{4} - H.I_s = \frac{1}{4} K - 2K \cos \theta \cos 2\theta$$

$$E_p = \frac{1}{4} K - 2K \cos \theta \cos 2\theta + (1/2 K \cos 2\theta)(6 \cos^2 \theta + 1) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$= (K \cos \theta)(1 - \cos \theta)^2 (2 + 3 \cos \theta)$$

and...

$$E_q = \left(\frac{1}{4} K \cos 2\theta \right) (6 \cos^2 \theta + 1) \quad \dots\dots\dots(7)$$

وعليه ستكون الأقطار النهائية للحجيرات كما يلي :

$$h_p = \frac{1}{2} d_p \cot \frac{\theta}{2} = \left(\frac{1}{2} d_p \sin \theta \right) (1 - \cos \theta)^{-1} \quad \dots\dots\dots(8)$$

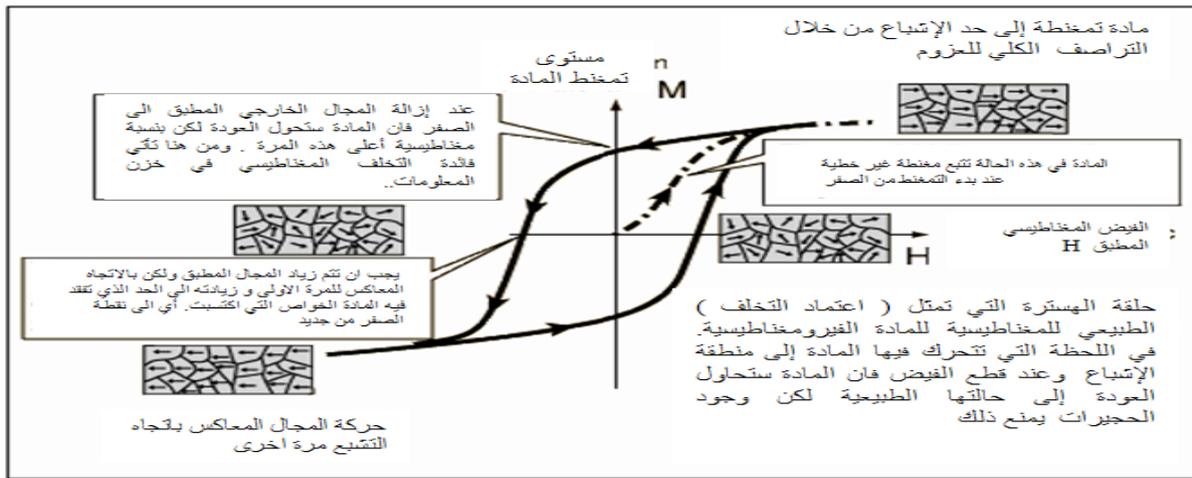
and...

$$h_q = \frac{1}{2} d_q \tan \theta \quad \dots\dots\dots(9)$$

النتائج والمناقشة :

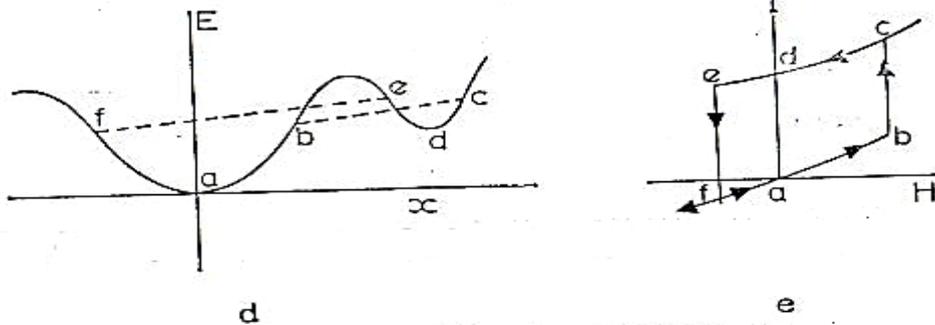
زياد نبيل ، صباح جميل مزهر ، نزهت عزيز عبود

من خلال ما تقدم يمكننا إن نلاحظ الفرق في نوعية الحجيرات المدروسة في البحث و التي تحمل نفس المعنى ومدى العلاقة بين هذه الحجيرات و منحني الهسترة المغناطيسي .حيث تختلف حجيرات بلوخ عن حجيرات نيل بكون الأولى تتخذ اتجاهها موازيا للمجال المغناطيسي المطبق و بصورة كاملة وقد أعطيت العلاقة التي توضح توزيع هذه الحجيرات في العينة ومدى تعلق هذه الحركة بالمجال الخارجي المطبق. أما في حجيرات نيل (Nèel) فإنه وكما تقدم يمكننا إن نلاحظ إن حركة جدران الحجيرات خلال العينة معرقل بسبب الاشابة و العيوب البلورية في البلورة ، وهذا سيكون موضح في الشكل رقم (2) الذي يوضح العلاقة بين الحجيرات و منحني الهسترة المغناطيسية وكذلك الرسم البياني (E,X) الموضح في الشكل رقم (3) الذي يوضح حلقة الهسترة المغناطيسية وعلاقتها بعملية المغنطة و حركة الحجيرات المغناطيسية. (7) .



الشكل رقم (2) يوضح العلاقة بين

الحجيرات و منحني الهسترة المغناطيسية



شكل رقم (3) يمثل حلقة الهسترة مبسطة و علاقتها بعملية المغنطة و حركة الحجيرات.

وعند تسليط مجال مغناطيسي صغير فإن حدود الحجيرات سوف تتحرك من النقطة (a)

إلى منطقة الاتزان و التي تعطى بالعلاقة:

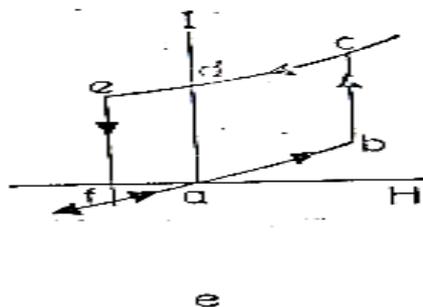
$$E = E - H.I = E - 2H.I_s .(x/d_s).....(10)$$

زياد نبيل ، صباح جميل مزهر ، نزهت عزيز عبود

حيث إن (d_s) عرض الحبيرة و إن (χ) مقدار الإزاحة التي تحركتها الحدود عن موضع الاستقرار ، ولكن عند نقطة معينة مثل (b) سيتناقص المقدار ($\frac{dE}{dx}$) على الرغم من أن (H) عالي وأكبر من المقدار ($\frac{dE}{dx}$)($2I_s / d_s$). ولتوازن العينة ستتحرك الحدود إلى نقطة أخرى ذات قيمة عالية للمقدار ($\frac{dE}{dx}$) ولتكن النقطة (C) و التي ستحقق المعادلة :

$$\frac{dE}{dx} = \frac{2HI_s}{d_s} \dots\dots\dots (11)$$

وان النقاط المتقابلة (a,b,c) ستمثل على المنحني المغناطيسي و المتمثل بالرسم البياني رقم (4) الذي يمثل نقاط تقطع براكهاوس .



الشكل رقم (4) يمثل نقاط تقطع براكهاوس .

حيث إن النقاط (a,b) هي نقاط مستمرة وغير قابلة للانعكاس في حركة الحدود ، أما النقاط (b,c) فهي النقاط الغير مستمرة و التي تعرف بنقاط (تقطع براكهاوس). ومع الزيادة المستقبلية في المجال فإن منطقة التوازن سوف تتحرك في المنحني (E, x) خلف النقطة (C) وكما موضح في الشكل رقم (4) لكن إذا انخفض مقدار المجال المغناطيسي الخارجي (H) فان المسار ($C \leftarrow d$) و التي سيكون فيها المجال المغناطيسي يساوي صفرا أي انه ($\frac{dE}{dx} = 0$) ولغرض العودة إلى النقطة (a) سيتم عكس المغناطيسية في النقطة (d) و النقطة (e) وان نقاط التغير في انعكاس المغناطيسية سوف يحدث وهنا سوف تتحرك الحدود إلى نقطة أخرى للتعاقد وهي النقطة (f) في الطرف الآخر من نقطة فقدان المغناطيسية وبعد ذلك وعند تكرار الزيادة في المجال في الاتجاه المعاكس إلى نقطة الصفر (نقطة الأصل) سيتم وصول العينة إلى النقطة (a) وفي هذه الحالة ستتكون حلقة هسترة صغيرة وفي هذه الحلقة ستتكون قوة القاهرية (Coercivity) وعليه فان القاهرية التي تتكون هي المحصلة الناتجة من جمع القاهرية في مجمل العملية⁽⁸⁾.

الإستنتاجات :

زياد نبيل ، صباح جميل مزهر، نزهت عزيز عبود

إن السبب الرئيسي لدراسة المواد الفيرومغناطيسية هو احتوائها على ما يعرف بالحبيرات المغناطيسية والتي تم التعرف إلى احد أنواعها في هذا البحث على أنها حبيرات نيل (Neel's Domains) . هذه الحبيرات تحتوي على العزوم المغناطيسية و التي تسيطر على عملية المغنطة من خلال احتواءها على العزوم التي تكون في اتجاه واحد . تتفصل هذه الحبيرات عن بعضها البعض من خلال الجدران الخارجية و التي تتحكم بحركة الحبيرات في المادة⁽⁹⁾ و يبلغ حجم هذه الحبيرات في اغلب الأحيان من (0.1 μm) إلى حجم يبلغ كل البلورة (وهذا الحجم الأخير غير متوقع إلا في بعض المواد مثل (Fe-B و Fe-P) وبعض السبائك من ذات النوع) ومن خلال ما تقدم يمكننا أن نرى إن الحبيرات المغناطيسية هي التي تتحكم بعملية المغناطيسية في المواد الفيرومغناطيسية من خلال الاتجاه التي تتخذه هذه الحبيرات حيث أنها تتخذ الاتجاه الذي يتخذه المجال الخارجي من خلال حركة هذه الحبيرات باتجاه تكوين مجال مغناطيسي صغير في داخل المادة و من خلال ذلك تتغير الخطوط المغناطيسية الداخلية من خط إلى خط آخر و بهذا فإنها تتبع اقصر زاوية إحاء في المادة . كما هو الحال في بلورة الحديد و التي كما ذكرنا سابقا فان المحور السهل في هذه الحالة هو المحور <100> وفي حالة كون الحبيرة تمتد بين الاتجاه السالب للمحور السيني (-x) و المحور الموجب (+x) و كذلك (+y) و (-y) فان تواجد الحبيرات سيقفل من الطاقة التي تصرف لمغنطة هذه العينة من خلال تقليل الجهد اللازم لتغير الخطوط الداخلية للمادة . ولكن في المنطقة القريبة من الحافات فإن الحركة ستكون مقيدة بسبب عدم وجود إمكانية الحركة التي توجد في داخل المادة ، وذلك بسبب عدم وجود إمكانية لدفع الحبيرات الصغيرة إلى نهاية أو حدود العينة المدروسة وحجم الحبيرة يقل بسبب توليد الجدار المحيط بها لان تكوين الجدار سيؤدي إلى تكوين حبيرة أخرى وعليه سيؤدي بالتتابع إلى تكوين حبيرات أكثر وبالتالي سيؤدي إلى صرف طاقة أكثر وتتصرف المادة في هذه الحالة على أساس المواصفات المغناطيسية والتركييب البلوري للمادة. إن الصفة المميزة في دراسة المواد الفيرومغناطيسية هو استخدام هذه الإمكانية لتكوين حبيرة واحدة ذات طاقة تستطيع من خلالها أن تسجل المعلومات عليها ، إي استخدامها في أوساط التسجيل و غيرها من المواد الحافظة للصفة المغناطيسية^(10,9).

المصادر:

١. دراسة ديناميكية حدود الحجيرات المغناطيسية باستخدام نظام الماتلاب- أطروحة ماجستير. سنار كاصد حسن. تموز 2006.

٢. أساسيات النظرية الكهرومغناطيسية -ديمترلفورد -ترجمة- د.يحيى عبد الحميد الحاج علي - جامعة الموصل دار الكتب للطباعة والنشر (١٩٨٨).

3. roBwn, W.F. "*Magnetic Properties in Ferromagnetic*", North Holland, Amsterdam, Wiley – interscience, New York (1962).
4. Craik, D. J. and TEBBLE, R.S. "*Magnetic Domain and Techniques For Observation*", English University Press (1961).
5. Dillon, J.F., "*Domain and domain walls*", In G.T. Rado and H.suhl (eds), Magnetism, Academic Press, New York (1963) .
6. Kitel, C. and Galt, J. K., "*Ferromagnetic Domain theory*" Solid State Physics 3, 437-546 Academic Press, New York (1965).
7. Standley, G.K.J., "*Oxide Magnetic Materials*" Clarendon Press Oxford(1962).
8. TEBBEL, R.S. and CRAIK, D.J., "*Magnetic Materials*". Wiley – interscience, New York (1969).
9. D.A.Allwood, G.Xiong C.C.Faulkner, D.Atkinson, D.Petit, R.P.Cowburn, "Magnetic Domain- Logic", Science AAAS Magazine, Vol.309, no.5741, pp.1688-1692, 9 September 2005.
10. LusThomas, Masamitsu, Hayashi, XinJiang, RaiMoriya, CharlesRettner, StuartParkin, "Resonant Amplification Of Magnetic Domain-Wall Motion By a Train Of Current Pulses", Science AAAS Magazine, Vol.315, no.5818, pp.1553-1556, 2007.

Theoretical Study of Magnetic Domain Structure and its Relation with hysteric curve

Abstract :

The study of magnetic domain is cognition by using the simplify analyzing and knowing the boundary conditions for genesis this magnetic domain by specification the value of energy which losses through the magnetization process and explanation it ,also to study of the relation between this magnetic domain and magnetic hysteric curve in existence of external magnetic field on the sample.