BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC .....
KHOA ....

Giáo trình

Từ học và vật liệu từ

Từ học và vật liệu từ

lebien_bn@yahoo.com

PDF được tạo bằng bộ công cụ mã nguồn mở mwlib. Xem http://code.pediapress.com/ để biết thêm thông tin.
PDF generated at: Wed, 06 Oct 2010 18:02:36 UTC

Nội dung

Bài

Chương 1:Các khái niệm **1**

Từ học 1

Độ từ hóa 6

Độ cảm từ 7

Độ từ thẩm 8

Từ hóa 11

Từ giảo 13

Từ trễ 16

Lực kháng từ 19

Nhiệt độ Curie 22

Đường cong từ hóa 24

Đường cong từ nhiệt 26

Mômen lưỡng cực từ 27

Nhiệt độ Néel 29

Năng lượng vi từ 30

Độ phân cực spin 33

Chương 2: Các vật liệu từ **35**

Thuận từ 35

Siêu thuận từ 37

Nghịch từ 38

Sóng spin 39

Sắt từ 40

Đômen từ 43

Vách đômen 45

Phản sắt từ 49

Phương trình Landau-Lifshitz-Gilbert 51

Vật liệu từ cứng 52

Vật liệu từ mềm 56

Công nghệ nguội nhanh 60

FINEMET 63

Hiệu ứng Hopkinson 66

Hiệu ứng Meissner 68

Hiệu ứng từ nhiệt 69
Hiệu ứng từ quang Kerr 75
Hiệu ứng từ điện trở 76
Hợp kim Heusler 79
Magnetit 81
Nam châm 84
Nam châm Neodymi 85
Nam châm samarium coban 88
Nam châm vĩnh cửu 90
Nam châm điện 93
Nam châm đất hiếm 94
Nước từ 97
Permalloy 99
Perovskit (cấu trúc) 101
Spin valve 104
Terfenol-D 106
Tương phản pha vi sai 107
Từ điện trở chui hầm 109
Từ điện trở dị hướng 110
Từ điện trở khổng lồ 112
Từ điện trở siêu khổng lồ 115

Chương 3: Ứng dụng **117**
Thấu kính từ 117
Điện tử học spin 119
Toàn ảnh điện tử 123
Kính hiển vi lực từ 125

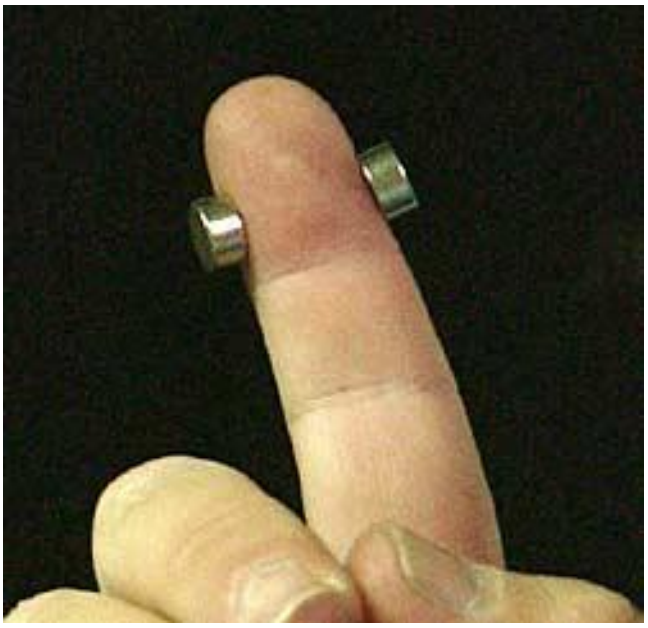
Chú thích
Nguồn và người đóng góp vào bài 127
Nguồn, giấy phép, và người đóng góp vào hình 129

Giấy phép Bài viết
Giấy phép 131

Chương 1:Các khái niệm

Từ học

Từ học (tiếng Anh: *magnetism*) là một ngành khoa học thuộc Vật lý học nghiên cứu về hiện tượng hút và đẩy của các chất và hợp chất gây ra bởi từ tính của chúng. Mặc dù tất cả các chất và hợp chất đều bị ảnh hưởng của từ trường tạo ra bởi một nam châm với một mức độ nào đó nhưng một số trong chúng có phản ứng rất dễ nhận thấy là sắt, thép, ô-xít sắt. Những chất và hợp chất có từ tính đặc biệt là đối tượng của từ học dùng để chế tạo những sản phẩm phục vụ con người được gọi là vật liệu từ.



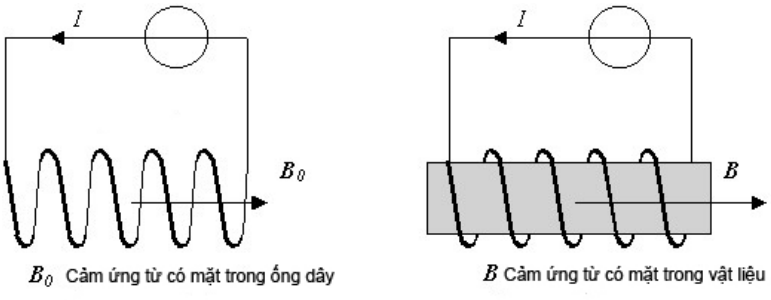
Nam châm vĩnh cửu, một trong những sản phẩm lâu đời nhất của từ học.

Từ tính gây ra bởi *lực từ*, lực từ là một dạng lực điện từ, một trong những lực cơ bản của tự nhiên, nó được sinh ra do chuyển động của các hạt có điện tích. Phương trình Maxwell cho biết nguồn gốc và mối liên hệ của các từ trường và điện trường gây ra lực từ. Mối quan hệ giữa lực từ và lực điện rất mật thiết, môn khoa học nghiên cứu về vấn đề này được gọi là điện từ học.

Từ tính của vật chất

Mô tả vĩ mô

Cảm ứng từ và từ trường



Từ trường sinh ra khi có dòng điện chạy qua.

Vì từ trường được tạo ra khi có chuyển động của các điện tích nên nếu ta có một dây điện có dòng điện I chạy qua thì nó sẽ tạo ra một cảm ứng từ $\vec{B}_0$xung quanh. Cảm ứng từ là một đại lượng véc tơ, chiều của nó phụ thuộc vào chiều chuyển động của dòng điện và được xác định bằng quy tắc bàn tay phải. Bây giờ nếu ta thay dây điện trên bằng một ống dây điện thì cảm ứng từ tạo ra trong lòng ống dây đó cũng được xác định bằng quy tắc trên. Nếu xung

quanh cuộn dây là chân không thì chúng ta định nghĩa từ trường $\vec{H}$ như sau: $\vec{H} = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0}$, với μ_0 là từ thẩm chân không. Như vậy thì véc tơ từ trường $\vec{H}$ chỉ phụ thuộc vào dòng điện I và hình dạng của dây chứ không phụ thuộc vào môi trường bên trong ống dây.

Từ thẩm và từ cảm

Bây giờ trong lòng ống dây không phải là chân không mà là một vật nào đó thì sự có mặt của vật đó sẽ làm thay đổi cảm ứng từ trong ống dây. Cảm ứng từ này tỷ lệ với từ trường với hệ số tỷ lệ được gọi là từ thẩm μ thì cảm ứng từ trong lòng vật đó là:

- $\vec{B} = \mu.\vec{H}$

Ta định nghĩa $\vec{M}$ là véc tơ từ độ xuất hiện bên trong vật

- $\vec{M} = \chi.\vec{H}$ với χ là từ cảm của vật liệu
  - với: $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) = (1 + \chi)\vec{B}_0$

Người ta còn định nghĩa:

- $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = (1 + \chi)$ với μ_r : từ thẩm tương đối của vật so với chân không.

Phân loại vật liệu

Từ cảm của vật liệu là một đại lượng đặc trưng cho sự cảm ứng của vật liệu dưới tác động của từ trường ngoài. Người ta dựa vào đại lượng này để phân chia các vật liệu thành 5 loại như sau:

- **Nghịch từ**: là vật liệu có χ nhỏ hơn không (âm) và có giá trị tuyệt đối rất nhỏ, chỉ cỡ khoảng 10^{-5}.
- **Thuận từ**: là vật liệu có χ lớn hơn không (dương) và có giá trị tuyệt đối nhỏ cỡ 10^{-3}.
- **Sắt từ**: là vật liệu có χ dương và rất lớn, có thể đạt đến 10^{5}.
- **Feri từ**: là vật liệu có χ dương và lớn (tuy nhỏ hơn *sắt từ*).
- **Phản sắt từ**: là vật liệu có χ dương nhưng rất nhỏ.

Đĩa cứng, một trong những thành tựu tiêu biểu của từ học ứng dụng trong việc lưu trữ thông tin.

Mô tả vi mô

Chuyển động của các điện tử

Chuyển động của các điện tử trong nguyên tử tạo nên các đám mây điện tích. Chính chuyển động quỹ đạo đó là một trong những nguyên nhân gây ra từ tính của nguyên tử làm cho nguyên tử có một mô men từ. Một nguyên nhân khác là spin, có thể được hình dung thô thiển như sự tự quay của điện tử, mặc dù về bản chất, spin là một khái niệm chỉ có trong cơ học lượng tử. Như vậy từ tính của nguyên tử có hai nguồn gốc: spin và quỹ đạo, mô men từ tương ứng với hai nguồn gốc này được gọi là *mô men từ spin* và *mô men từ quỹ đạo*.

Tính nghịch từ của vật chất

Nghịch từ là một hiện tượng cố hữu của vật chất, tồn tại ở mọi loại vật liệu theo quy tắc chung về cảm ứng điện từ. Khi có mặt của từ trường ngoài, các điện tử sẽ hưởng ứng với từ trường bằng cách tạo ra *một mô men từ cảm ứng*. Mô men từ này có xu hướng chống lại từ trường ngoài, nó tỷ lệ nhưng ngược hướng với từ trường áp dụng. Đó chính là nguyên nhân gây ra hiện tượng nghịch từ trong một số chất.

Vi từ học

Một cách tổng quát, tính chất của các vật liệu từ tuân theo các quy luật về vi từ học mà ở đó tính chất từ bị quy định bởi cấu trúc từ học vi mô và cấu trúc này được quy định bởi sự cực tiểu hóa năng lượng vi từ, có thể quy thành 5 dạng năng lượng:

- **Năng lượng trao đổi**
- **Năng lượng dị hướng**
- **Năng lượng tĩnh từ**
- **Năng lượng Zeeman**
- **Năng lượng từ giảo**

(*xem chi tiết bài **Năng lượng vi từ***)

Lịch sử từ học

Từ học là một ngành được ứng dụng trong cuộc sống con người từ rất sớm mà đầu tiên là ở Trung Hoa và Hy Lạp cổ đại. Ở Hy Lạp, lịch sử ghi nhận những đối thoại về từ học giữa Aristotle và Thales từ những năm 625 đến 545 trước công nguyên song song với việc sử dụng nam châm vĩnh cửu (là những đá thiên nhiên) cho một số mục đích khác nhau[1] Ở phương Đông, Trung Hoa là nơi sớm nhất sử dụng các đá nam châm làm kim chỉ nam để chỉ phương Nam-Bắc từ thời đại của Chu Công (thời đại nhà Chu, 1122 - 256 trước Công nguyên), và cuốn sách chính thức ghi lại việc sử dụng các đá nam châm là cuốn *Quỷ Cốc tử* (鬼谷子 , thầy dạy của Tôn Tẫn) vào thế kỷ thứ 4 trước công nguyên[2] , [3] .

Alexander Neckham là người Châu Âu đầu tiên mô tả về la bàn và việc sử dụng la bàn cho việc định hướng vào năm 1187. Vào năm 1269, Peter Peregrinus de Maricourt viết cuốn *Epistola de magnete*, được coi là một trong những luận thuyết đầu tiên về nam châm và la bàn. Năm 1282, các tính chất của các nam châm và la bàn khô được thảo luận bởi Al-Ashraf, một nhà vật lý, thiên văn, địa lý người Yemeni [4] .

Cuốn sách khảo cứu chi tiết đầu tiên về các hiện tượng là cuốn *De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure* (*On the Magnet and Magnetic Bodies, and on the Great Magnet the Earth*) của William Gilbert xuất bản năm 1600 ở Anh Quốc. Cuốn sách thảo luận về nhiều thí nghiệm điện từ do ông xây dựng, đồng thời giả thiết về từ trường của Trái Đất, nguyên nhân gây ra sự định hướng Nam-Bắc của các la bàn.

Tương tác giữa dòng điện và từ trường lần đầu tiên được phát hiện và mô tả bởi Hans Christian Oersted, một giáo sư Đại học Copenhagen (Đan Mạch). Ông đã phát hiện ra việc kim la bàn bị lệch hướng khi đặt gần một dây dẫn mang dòng điện. Thí nghiệm này được coi là bước ngoặt trong lịch sử ngành từ học, và được đặt tên là *Thí nghiệm Oersted*. Sau Oersted, hàng loạt các nhà khoa học đã tiến hành các thí nghiệm và các công trình nghiên cứu về mối quan hệ giữa điện và từ trường như André-Marie Ampère, Carl Friedrich Gauss, Michael Faraday dẫn đến việc hình thành những kiến thức cơ bản về từ học cũng như từ trường.

James Clerk Maxwell đã tổng hợp các lý thuyết về từ trường, điện trường, và quang học để phát triển thành lý thuyết tổng quát về trường điện từ. Vào năm 1905, Albert Einstein đã sử dụng những định luật này để xây dựng lý thuyết tương đối hẹp[5] .

Thế kỷ 20 cũng là thế kỷ mà từ học được phát triển mạnh mẽ từ việc tạo ra các vật liệu từ đa chức năng, xây dựng các lý thuyết vi mô về hiện tượng từ dựa trên các lý thuyết của cơ học lượng tử và vật lý chất rắn như lý thuyết vi từ học, lý thuyết về đômen từ, vách đômen, vật liệu sắt từ, tương tác trao đổi, phản sắt từ,... Đi kèm với nó là sự phát

triển của nhiều kỹ thuật chụp ảnh cấu trúc từ và đo đạc các tính chất từ của vật liệu. Cuối thế kỷ 20, đầu thế kỷ 21, ngành mới spintronics ra đời dựa trên những thành tựu của từ học và điện tử học.

Đơn vị điện từ

Các đơn vị chuẩn SI

SI electromagnetism units				
Ký hiệu đại lượng[6]	**Tên đại lượng**	**Đơn vị dẫn xuất**	**Ký hiệu đơn vị**	**Đơn vị cơ bản**
I	Dòng điện	ampere (SI base unit)	A	A (= W/V = C/s)
Q	Điện tích	coulomb	C	A·s
U, ΔV, $\Delta\varphi$; E	Hiệu điện thế; Suất điện động	volt	V	$J/C = kg·m^2·s^{-3}·A^{-1}$
R; Z; X	Điện trở; Trở kháng; Điện kháng	ohm	Ω	$V/A = kg·m^2·s^{-3}·A^{-2}$
ϱ	Điện trở suất	ohm metre	Ω·m	$kg·m^3·s^{-3}·A^{-2}$
P	Công suất	watt	W	$V·A = kg·m^2·s^{-3}$
C	Điện dung	farad	F	$C/V = kg^{-1}·m^{-2}·A^2·s^4$
$\boldsymbol{E}$	Cường độ điện trường	volt per metre	V/m	$N/C = kg·m·A^{-1}·s^{-3}$
$\boldsymbol{D}$	Độ phân cực điện	coulomb per square metre	C/m^2	$A·s·m^{-2}$
ε	Hằng số điện môi	farad per metre	F/m	$kg^{-1}·m^{-3}·A^2·s^4$
χ_e	Độ cảm điện	(không đơn vị)	-	-
G; Y; B	Độ dẫn; Admittance; Susceptance	Đơn vị Siemens	S	$\Omega^{-1} = kg^{-1}·m^{-2}·s^3·A^2$
κ, γ, σ	Độ dẫn điện	siemens per metre	S/m	$kg^{-1}·m^{-3}·s^3·A^2$
$\boldsymbol{B}$	Từ trường, Cảm ứng từ	tesla	T	$Wb/m^2 = kg·s^{-2}·A^{-1} = N·A^{-1}·m^{-1}$
Φ	Từ thông	weber	Wb	$V·s = kg·m^2·s^{-2}·A^{-1}$
$\boldsymbol{H}$	Cường độ từ trường	ampere per metre	A/m	$A·m^{-1}$
L, M	Độ tự cảm	henry	H	$Wb/A = V·s/A = kg·m^2·s^{-2}·A^{-2}$
μ	Độ từ thẩm	henry per metre	H/m	$kg·m·s^{-2}·A^{-2}$
χ	Độ cảm từ	(không đơn vị)	-	-

Các đơn vị khác

- gauss — Viết tắt là *G* là đơn vị của cảm ứng từ ***B*** trong hệ CGS
- Oersted — viết tắt là *Oe* là đơn vị của cường độ từ trường ***H*** trong hệ CGS.
- Maxwell — là đơn vị của từ thông trong hệ CGS.
- gamma là đơn vị của mật độ từ thông (trong hệ SI là Tesla - T), 1 gamma = 1 nT.
- μ_0 — là ký hiệu viết tắt quen thuộc của độ từ thẩm tuyệt đối của chân không, có giá trị $4\pi x10^{-7}$ N/(ampere-vòng)².

Từ học và spintronics

Những thành tựu về từ học cuối thế kỷ 20[7] , [8] đã dẫn đến việc hình thành một lĩnh vực mới gọi là spintronics[9] , ngành nghiên cứu tạo ra các linh kiện điện tử mới khai thác cả thuộc tính spin cũng như điện tích của điện tử, thay thế các linh kiện điện tử truyền thống đã lỗi thời. Sự hấp dẫn của spintronics cũng dấn đến việc thúc đẩy việc nghiên cứu về từ học để tìm hiểu về bản chất từ tính, đồng thời nghiên cứu tạo ra nhiều vật liệu từ đặc biệt ứng dụng trong các linh kiện từ tính.

Mục tiêu quan trọng của spintronics là hiểu về cơ chế tương tác giữa spin của các hạt và môi trường chất rắn, từ đó có thể điều khiển cả về mật độ cũng như sự chuyển vận (*transportation*) của dòng spin trong vật liệu. Những câu hỏi lớn được đặt ra cho ngành spintronics là:

- Cách nào hiệu quả nhất để phân cực một hệ spin?
- Một hệ spin có thể nhớ trạng thái định hướng trong bao lâu?
- Làm thế nào để ghi nhận spin?

Spintronics hứa hẹn là một thế hệ linh kiện mới trong thế kỷ 21 với mục tiêu tăng tốc độ xử lý, giảm năng lượng hao tốn và giá thành mà từ học là một nền tảng của spintronics.

Xem bài chi tiết ***Spintronics***

Tài liệu tham khảo

[1] Fowler, Michael (1997). "Historical Beginnings of Theories of Electricity and Magnetism" (http://galileoandeinstein.physics.virginia.edu/more_stuff/E&M_Hist.html). Truy cập 2 April năm 2008.

[2] Li Shu-hua, "Origine de la Boussole 11. Aimant et Boussole," *Isis*, Vol. 45, No. 2. (Jul., 1954), p.175

[3] Li Shu-hua, "Origine de la Boussole 11. Aimant et Boussole," *Isis*, Vol. 45, No. 2. (Jul., 1954), p.176

[4] Schmidl, Petra G. (1996-1997), "Two Early Arabic Sources On The Magnetic Compass", *Journal of Arabic and Islamic Studies* **1**: 81–132

[5] A. Einstein: *On the Electrodynamics of Moving Bodies*, June 30, 1905. (http://www.fourmilab.ch/etexts/einstein/specrel/www/)

[6] International Union of Pure and Applied Chemistry (1993). *Đại Lượng, Đơn Vị và Ký Hiệu trong Hóa Lý*, ấn bản thứ hai, Oxford: Blackwell Science. ISBN 0-632-03583-8. pp. 14–15. Bản toàn văn. (http://www.iupac.org/publications/books/gbook/green_book_2ed.pdf)

[7] M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Eitenne, g. Creuzet, A. Friederich, and J. Chazelas, *Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices*, Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 2472. (http://prola.aps.org/abstract/PRL/v61/i21/p2472_1)

[8] G. Binasch, P. Grünberg, F. Saurenbach, W. Zinn, *Enhanced magnetoresistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange*, Phys. Rev. B 39 (1989) 4828. (http://prola.aps.org/abstract/PRB/v39/i7/p4828_1)

[9] I. Zutic, J. Fabrian, S.D. Sarma, *Spintronics: Fundamentals and applications*, Rev. Mod. Phys. 76 (2004) 323 (http://link.aps.org/abstract/RMP/v76/p323)

Xem thêm

- Vi từ học
- Sắt từ
- Năng lượng vi từ
- Nam châm vĩnh cửu

Liên kết ngoài

- Lịch sử của từ học (http://www.rare-earth-magnets.com/magnet_university/history_of_magnetism.htm)
- Sơ lược về từ học và vật liệu từ (http://ndthe.multiply.com/journal/item/5)
- Magnetism flash (http://www.albinoblacksheep.com/flash/magnetism)
- Electricity and Magnetism: Video lectures (http://web.mit.edu/smcs/8.02/)
- P10D Electricity and Magnetism P10D Electricity and Magnetism, online lectures (http://scitec.uwichill.edu.bb/cmp/online/P10D/p10D.htm)
- Exploring magnetism lesson series (http://cse.ssl.berkeley.edu/SEGwayed/lessons/exploring_magnetism/)

Độ từ hóa

Độ từ hóa hay **từ độ** (tiếng Anh: ***Magnetization***) là một đại lượng sử dụng trong từ học được xác định bằng tổng mômen từ nguyên tử trên một đơn vị thể tích của vật từ. Đôi khi, từ độ còn được định nghĩa là tổng mômen từ trên một đơn vị khối lượng. Từ độ là một đại lượng véctơ.

Định nghĩa

Từ độ , **M**, được định nghĩa là tổng mômen từ trên một đơn vị thể tích. Về mặt toán học, nó được cho bởi công thức:

$$\mathbf{M} = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\sum \mathbf{m}}{\Delta V}$$

với **m** là mômen từ nguyên tử, ΔV là thể tích.

Từ độ có cùng thứ nguyên với cường độ từ trường, được liên hệ với từ trường qua hệ số từ hóa (hay còn gọi là độ cảm từ của vật liệu, ký hiệu là χ):

$$\mathbf{M} = \chi \mathbf{H}$$

Đơn vị

Do có cùng thứ nguyên với cường độ từ trường nên từ độ mang đơn vị của từ trường, đơn vị trong SI là A/m. Trong từ học, người ta còn sử dụng đơn vị khác cho từ độ được ký hiệu là emu/cm^3 = 1000 A/m. emu là chữ viết tắt của *electromagnetic unit* - đơn vị điện từ. Đơn vị này được dùng phổ biến trong từ học, xuất phát từ hệ đơn vị CGS.

Từ độ tự phát

Là khái niệm mô tả từ độ của các chất sắt từ ở không độ tuyệt đối (0 K). Đại lượng từ độ tự phát mang đặc trưng của mỗi chất sắt từ, ở 0 K, tất cả các mômen từ của chất sắt từ song song với nhau, tạo nên từ độ tự phát của chất sắt từ (tạo nên từ tính mà không cần có từ trường ngoài). Ở không độ tuyệt đối, do không có các thăng giáng nhiệt, tương tác trao đổi giữa các mômen từ sẽ khiến cho tất cả các mômen từ song song với nhau (giống như trạng thái bão hòa từ) tạo nên từ độ tự phát của vật liệu sắt từ.

Xem thêm

- Từ học
- Sắt từ
- Mômen từ
- Sơ lược về từ học và vật liệu từ [1]

Tài liệu tham khảo

1. ^ Buschow K.H.J, de Boer F.R. (2004). *Physics of Magnetism and Magnetic Materials*. Kluwer Academic / Plenum Publishers. ISBN 0-306-48408-0.

Chú thích

[1] http://ndthe.multiply.com/journal/item/5

Độ cảm từ

Độ cảm từ là đại lượng vật lý đặc trưng cho khả năng từ hóa của vật liệu, hay nói lên khả năng phản ứng của chất dưới tác dụng của từ trường ngoài. Độ cảm từ còn có tên gọi khác là **hệ số từ hóa** (không nhầm với độ từ hóa). Độ cảm từ thể hiện mối quan hệ giữa từ độ (là đại lượng nội tại) và từ trường ngoài, nên thường mang nhiều ý nghĩa vật lý gắn với các tính chất nội tại của vật liệu.

Độ cảm từ, thường được ký hiệu là χ, hay χ_m (để phân biệt với χ_e - độ cảm điện) được định nghĩa là tỉ số giữa độ từ hóa và độ lớn của từ trường:

$$\chi = \frac{M}{H}$$

với **M** là độ từ hóa, **H** là cường độ từ trường. Từ độ **M** và từ trường **H** có cùng thứ nguyên do đó χ là đại lượng không có thứ nguyên.

Độ cảm từ và từ thẩm

Cảm ứng từ, **B** quan hệ với từ độ và cường độ từ trường theo biểu thức:

$$B = \mu_0(H + M)$$

với μ_0 là hằng số từ, hay độ từ thẩm của chân không, có độ lớn $\mu_0 = 4.\pi 10^{-7} T.m/A$. Như vậy:

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

Đại lượng $\mu = \mu_0(1 + \chi)$ được gọi là độ từ thẩm. Độ từ thẩm có cùng ý nghĩa với độ cảm từ, đều nói lên khả năng phản ứng của các vật liệu dưới tác dụng của từ trường ngoài.

Trong kỹ thuật, người ta thường quan tâm đến giá trị độ từ thẩm hiệu dụng được định nghĩa bởi: $\mu_r = \mu/\mu_0 = (1 + \chi)$.

Độ cảm từ vi phân

Trong các vật liệu sắt từ, độ cảm từ không phải là một hằng số, mà có giá trị biến thiên phụ thuộc vào từ trường ngoài và phụ thuộc cả vào tiền sử từ (tức là phụ thuộc cả vào các quá trình từ diễn ra trước đó), nên người ta sử dụng khái niệm độ cảm từ vi phân:

$$\chi_{ij} = \frac{\partial M_j}{\partial H_i}$$

Độ cảm từ xoay chiều

Hay là hệ số từ hóa xoay chiều, là độ cảm từ tạo ra khi vật liệu được đặt trong từ trường xoay chiều. Các phép đo độ cảm từ xoay chiều phụ thuộc vào nhiệt độ rất quan trọng trong các nghiên cứu chuyển pha từ trong các vật liệu sắt từ. Độ cảm từ xoay chiều thường được ký hiệu là χ_{AC} (chữ AC là ký hiệu của dòng điện xoay chiều).

Xem thêm

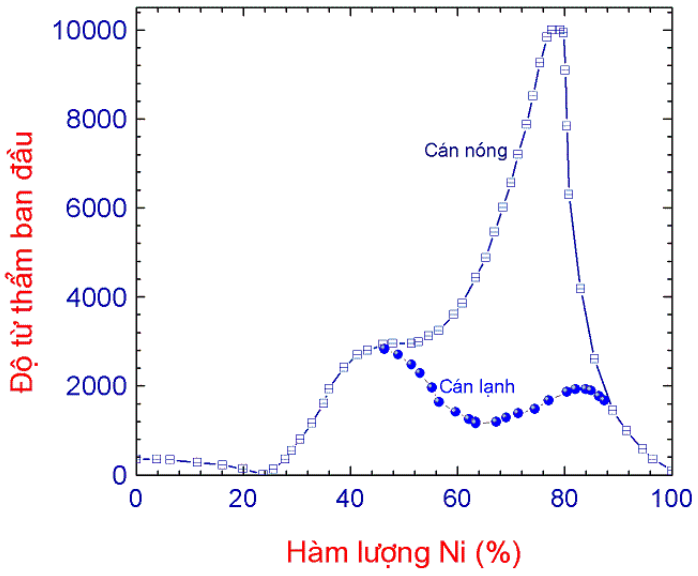
- Sắt từ
- Vật liệu từ mềm
- Độ từ hóa

Tài liệu tham khảo

1. ^ Buschow K.H.J, de Boer F.R. (2004). *Physics of Magnetism and Magnetic Materials*. Kluwer Academic / Plenum Publishers. ISBN 0-306-48408-0.
2. ^ Derek Craik (1995). *Magnetism: Principles and Applications*. John Wiley & Sons. ISBN 0 471 92959 X.

Độ từ thẩm

Độ từ thẩm (tiếng Anh: *Magnetic permeability*, thường được ký hiệu là μ là một đại lượng vật lý đặc trưng cho tính thấm của từ trường vào một vật liệu, hay nói lên khả năng phản ứng của vật liệu dưới tác dụng của từ trường ngoài. Khái niệm từ thẩm thường mang tính chất kỹ thuật của vật liệu, nói lên quan hệ giữa cảm ứng từ (đại lượng sản sinh ngoại) và từ trường ngoài. Độ từ thẩm thực chất chỉ đáng kể ở các vật liệu có trật tự từ (sắt từ và feri từ).



Sự thay đổi của độ từ thẩm ban đầu của permalloy theo hàm lượng Ni 1) Chế tạo bằng phương pháp cán lạnh, 2) Chế tạo bằng cán nóng

Mối quan hệ giữa từ thẩm và độ cảm từ

Cảm ứng từ, **B** quan hệ với từ độ và cường độ từ trường theo biểu thức:

$$B = \mu_0(H + M)$$

với μ_0 là hằng số từ, hay được gọi là độ từ thẩm của chân không, có độ lớn

$$\mu_0 = 4.\pi 10^{-7} T.m/A$$

Như vậy:

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

Như vậy, đại lượng độ từ thẩm và độ cảm từ quan hệ với nhau qua biểu thức[1] :

$$\mu = \mu_0(1+\chi)$$

Độ từ thẩm có cùng ý nghĩa với độ cảm từ, đều nói lên khả năng phản ứng của các vật liệu dưới tác dụng của từ trường ngoài.

Trong kỹ thuật, người ta thường quan tâm đến giá trị độ từ thẩm tương đối được định nghĩa bởi:

$$\mu_r = \mu/\mu_0 = (1+\chi)$$

Khi nói *độ từ thẩm* thì người ta thường ngầm hiểu là là *độ từ thẩm tương đối*, và đại lượng này là đại lượng không có thứ nguyên.

Các khái niệm về độ từ thẩm ở các vật liệu có trật tự từ

Trên thực tế, giá trị độ từ thẩm chỉ đáng kể ở các vật liệu có trật tự từ. Từ trên đường cong từ hóa của vật liệu, người ta có quan tâm đến một số độ từ thẩm khác nhau:

Độ từ thẩm ban đầu

Được định nghĩa là độ từ thẩm của vật liệu dưới từ trường ngoài bằng không, hay thông qua biểu thức:

$$\mu_i = \lim_{H \to 0} \frac{dB}{dH}$$

Trên thực tế, không thể xác định giá trị độ từ thẩm ban đầu khi từ trường ngoài chính xác bằng 0 nên người ta xác định bằng cách đặt từ trường từ hóa rất nhỏ trong lõi dẫn từ được chế tạo thành dạng mạch từ kín (để khử hiệu ứng trường khử từ dẫn đến việc dễ từ hóa) và nếu phải đo trong từ trường xoay chiều thì đo trong tần số rất nhỏ (gọi là phép đo chuẩn tĩnh). Giá trị độ từ thẩm ban đầu rất có ý nghĩa trong việc sử dụng các vật liệu sắt từ mềm vì vật liệu từ mềm rất dễ bão hòa và cần sử dụng trong từ trường nhỏ.

Trong các vật liệu từ mềm có kích thước hạt lớn (vượt kích thước vách đômen), độ từ thẩm ban đầu tỉ lệ thuận với kích thước hạt theo công thức[2] :

$$\mu_i = p_\mu . \frac{M_s^2 D}{\mu_0 \sqrt{A K_1}}$$

Còn ở các vật liệu có kích thước hạt mịn, độ từ thẩm ban đầu tỉ lệ nghịch với lũy thừa bậc 6 của kích thước hạt[3] :

$$\mu_i = p_\mu . \frac{M_s^2 . A^3}{\mu_0 K_1^4 . D^6}$$

Với: p_μ là hệ số tỉ lệ, M_s là từ độ bão hòa, $A,\ K_1$ lần lượt là hằng số trao đổi và dị hướng từ tinh thể bậc 1.

Độ từ thẩm cực đại

Là giá trị cực đại của độ từ thẩm trong toàn dải từ trường từ hóa. Trên thực tế, nếu từ trường ngoài vượt ngưỡng (đủ để quá trình từ hóa vượt qua quá trình từ hóa ban đầu (xảy ra bước nhảy Barkhausen) thì giá trị độ từ thẩm sẽ đạt cực đại, sau đó sẽ giảm dần khi vật liệu tiến tới trạng thái bão hòa từ.

Tài liệu tham khảo

[1] Derek Craik (1995). *Magnetism: Principles and Applications*. John Wiley & Sons. ISBN 0 471 92959 X.

[2] Y. Yoshizawa, *Nanocrystalline soft magnetic materials* in *Handbook of Advanced Magnetic Materials* ed. by Y. Liu et al., Vol. 4, Springer, 2006, ISBN-10 1-4020-7983-4.

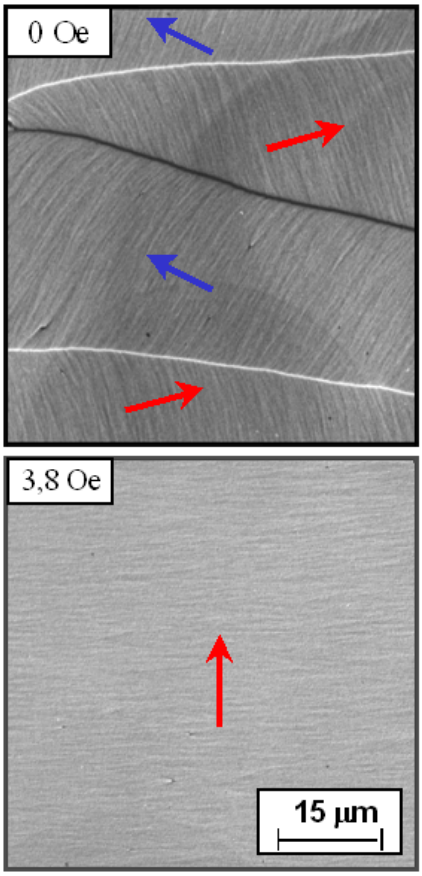
[3] Herzer, *Grain size dependence of coercivity and permeability innanocrystalline ferromagnets*, IEEE Trans. Magn. 26 (1990) 1397-1402. (http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=104389)

Xem thêm

- Sắt từ
- Độ cảm từ
- Permalloy
- Vật liệu từ mềm

Từ hóa

Từ hóa là quá trình thay đổi các tính chất từ (cấu trúc từ, mômen từ...) của vật chất dưới tác dụng của từ trường ngoài. Khi được sử dụng như một động từ, từ hóa có nghĩa là làm thay đổi tính chất từ của chất bằng từ trường ngoài.



Cấu trúc từ của màng mỏng hợp kim permalloy (dày 20 nm) thay đổi trong quá trình từ hóa (ảnh quan sát bằng kính hiển vi Lorentz Philips CM20.

Quá trình từ hóa

Xét về mặt hiện tượng, từ hóa là sự thay đổi tính chất từ của vật chất theo từ trường ngoài, xét về mặt bản chất, đây là sự thay đổi các mômen từ nguyên tử. Khi đặt vào từ trường ngoài, các mômen từ nguyên tử có xu hướng bị quay đi theo từ trường ngoài dẫn đến sự thay đổi về tính chất từ. Tùy theo sự hưởng ứng này mà có thể phân ra nhiều loại vật liệu từ khác nhau:

- **Nghịch từ**

  Nghịch từ là bản chất cố hữu của mọi loại vật chất, ở đó, chất không có mômen từ nguyên tử, và tạo ra một từ trường phụ ngược với chiều của từ trường ngoài theo xu hướng của cảm ứng điện từ (quy tắc Lenz). Vì thế, chất nghịch từ có mômen từ âm và ngược với chiều từ trường ngoài.

- **Thuận từ**

  Quá trình từ hóa ở chất thuận từ, chất có mômen từ nguyên tử nhỏ và không liên kết, xảy ra đơn giản, các mômen từ nguyên tử sẽ quay theo từ trường ngoài và tạo ra một từ trường phụ dương (thắng thế hiệu ứng nghịch từ cố hữu). Vì thế, quá trình từ hóa chỉ đơn giản là sự tăng tuyến tính của từ độ theo từ trường ngoài và đạt bão hòa khi từ trường rất lớn và nhiệt độ rất thấp.

- **Sắt từ** và các vật liệu có trật tự từ khác (phản sắt từ, feri từ)

  Trong các vật liệu này, mômen từ nguyên tử lớn và có liên kết với nhau thông qua tương tác trao đổi nên quá trình từ hóa trở nên rất phức tạp. Quá trình này phụ thuộc vào nhiều yếu tố như cấu trúc từ, cấu trúc tinh thể cũng như sự đồng nhất của vật liệu. Các quá trình từ hóa lúc này là sự thay đổi cấu trúc đômen của chất, và dẫn đến nhiều loại chất khác nhau, ví dụ như vật liệu sắt từ mềm, vật liệu sắt từ cứng...

Độ từ hóa

Độ từ hóa là một đại lượng vật lý nói lên khả năng bị từ hóa của một vật từ, được xác định bằng tổng mômen từ nguyên tử trên một đơn vị thể tích, hoặc một đơn vị khối lượng.

Quá trình khử từ

Ngược với quá trình từ hóa là quá trình khử từ. Khử từ là quá trình làm triệt tiêu từ tính của vật từ, bằng cách đặt vào một từ trường ngược đủ lớn, hoặc làm tăng nhiệt độ đến trên nhiệt độ định hướng của chất.

- **Khử từ bằng từ trường**:

  Khử từ bằng từ trường là cách thông dụng nhất, bằng cách đặt vào từ trường ngược (với chiều của từ độ dư trong chất) bằng với giá trị lực kháng từ của chất. Nếu từ trường ngược đặt vào tiếp tục tăng, từ độ của chất sẽ bị đảo ngược, và ta có quá trình đảo từ. Để khử từ hoàn toàn, người ta không dùng từ trường ngược một chiều mà dùng từ trường xoay chiều có biên độ giảm dần (tắt dần theo hàm số mũ và đổi chiều), như vậy, từ trường dư trong mẫu sẽ bị nhỏ dần và đảo liên tục quay giá trị 0 và ngày càng tiến tới giá trị 0.

- **Các cách khác**:

  Có nhiều các khác để khử từ, ví dụ đốt nóng vật từ đến trên nhiệt độ trật tự từ của chất (nhiệt độ Curie với các chất sắt từ, hay nhiệt độ Neél với các chất phản sắt từ...), lúc này các chất từ trạng thái có từ độ lớn sẽ bị mất từ tính và trở thành chất thuận từ. Ngoài ra, sự va đập cơ học và ăn mòn hóa học cũng là những cách khử đi từ tính của chất.

Xem thêm

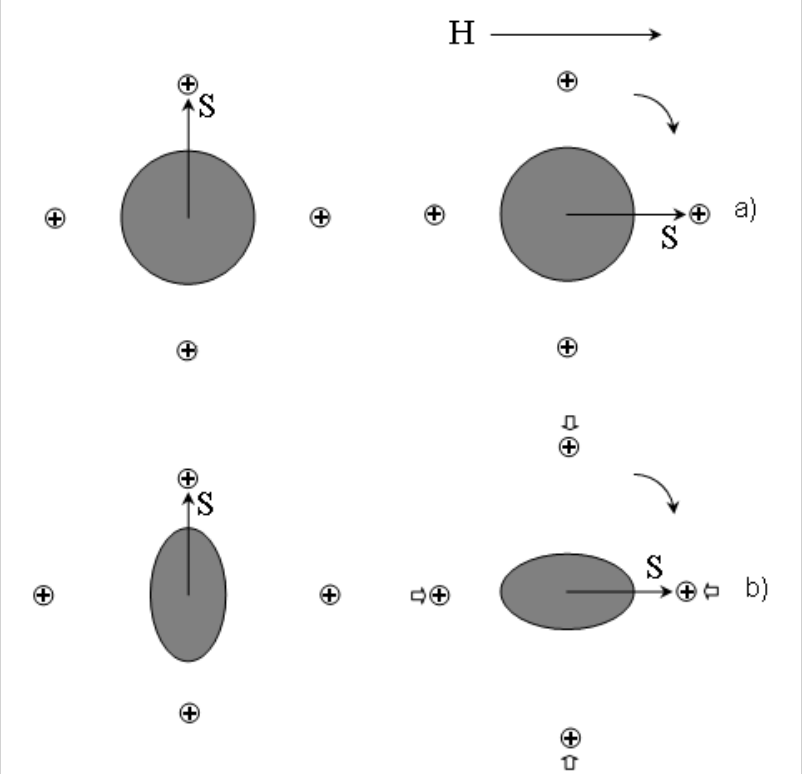
- Từ học
- Sắt từ
- Thuận từ
- Mômen từ

Liên kết ngoài

- Sơ lược về từ học và vật liệu từ [1]

Từ giảo

Từ giảo (tiếng Anh: *magnetostriction*) là hiện tượng hình dạng, kích thước của các vật từ (thường là sắt từ) bị thay đổi dưới tác dụng của từ trường ngoài (từ giảo thuận) hoặc ngược lại, tính chất từ của vật từ bị thay đổi khi có sự thay đổi về hình dạng và kích thước (từ giảo nghịch). Trong các sách giáo khoa vật lý cũ ở Việt Nam, người ta còn dùng thuật ngữ "**áp từ**" cho từ giảo (để tương ứng với hiện tượng áp điện là sự thay đổi kích thước do điện trường). Tuy nhiên, thuật ngữ này hiện nay hầu như không được sử dụng.



Cơ chế hiện tượng từ giảo do tương tác spin-quỹ đạo và sự phân bố đám mây điện tử: a) dạng đối xứng cầu: không có từ giảo; b) không có đối xứng cầu: có từ giảo

Người ta định nghĩa hệ số từ giảo (hay từ giảo Joule) là tỉ lệ phần trăm sự thay đổi về chiều dài hoặc thể tích:

$$\lambda(H) = \frac{l(H) - l_0}{l_0}$$

hoặc:

$$\lambda(H) = \frac{V(H) - V_0}{V_0}$$

với $l(H), l_0, V(H), V_0$lần lượt là chiều dài (hay thể tích) của vật thể trong từ trường (H) và khi không có từ trường. Hệ số từ giảo là đại lượng không có thứ nguyên.

Theo định nghĩa này, nếu $\lambda > 0$ta có từ giảo dương, $\lambda < 0$ta sẽ có từ giảo âm.

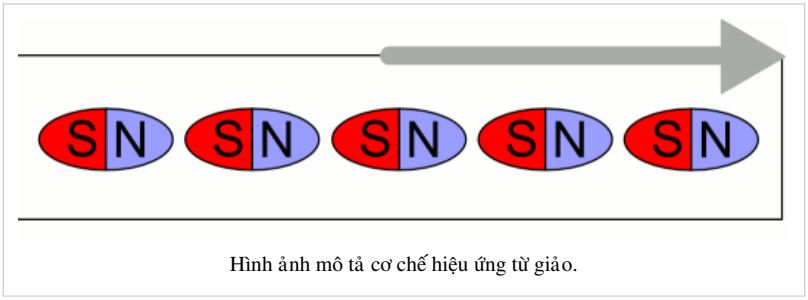
Hiện tượng từ giảo dẫn đến sự thay đổi về chiều dài gọi là từ giảo dài, còn hiện tượng dẫn đến sự thay đổi về toàn thể tích gọi là từ giảo khối.

Trong các nghiên cứu về từ học và kỹ thuật, người ta còn quan tâm đến đại lượng độ cảm từ giảo, được định nghĩa bởi sự biến thiên của hệ số từ giảo theo từ trường:

$$\chi = \frac{d\lambda}{dH}$$

Độ cảm từ giảo mang ý nghĩa tương tự như độ cảm từ, đều chỉ khả năng phản ứng của chất dưới từ trường ngoài, trong trường hợp từ giảo, độ cảm từ giảo có ý nghĩa chỉ khả năng thay đổi tính chất từ giảo do từ trường. Độ cảm từ giảo có thứ nguyên là nghịch đảo của từ trường, có đơn vị là m/A hay Oe^{-1}.

Cơ chế hiện tượng từ giảo



Hình ảnh mô tả cơ chế hiệu ứng từ giảo.

Bản chất của hiện tượng từ giảo là do tương tác spin-quỹ đạo trong các điện tử trong vật liệu sắt từ. Hiện tượng từ giảo chỉ có thể xảy ra khi đám mây điện tử không có dạng đối xứng cầu và có tương tác spin-quỹ đạo mạnh. Dưới tác dụng của từ trường ngoài, sự phân bố của các điện tử (ở đây là mômen quỹ đạo) sẽ quay theo sự quay của mômen từ (mômen spin) từ hướng này sang hướng khác và từ giảo được tạo ra do sự thay đổi tương ứng của tương tác tĩnh điện giữa điện tử từ và điện tích của môi trường.

Khi đám mây điện tử có dạng đối xứng cầu (có nghĩa là mômen quỹ đạo bằng 0), tất cả các vị trí của các iôn lân cận đều tương đương đối với sự phân bố điện tử. Khi có sự tác động của từ trường ngoài, mômen spin tuy có quay đi, nhưng sự phân bố không gian của điện tử hoàn toàn không thay đổi nên khoảng cách giữa các điện tử vẫn giữ nguyên (không dẫn đến sự thay đổi về kích thước cũng như hình dạng mẫu. Nếu đám mây điện tử không có dạng đối xứng cầu (có nghĩa là mômen quỹ đạo khác 0), lúc này các vị trí phân bố xung quanh không còn tính chất đối xứng, sự quay của mômen spin khi có từ trường ngoài dẫn đến sự thay đổi đám mây điện tử, do đó dẫn đến sự thay đổi về kích thước cũng như hình dạng mẫu. Hay nói một cách đơn giản, từ giảo phản ánh tính chất đối xứng của mạng tinh thể.

Từ giảo mang tính chất của đối xứng tinh thể nên nó phụ thuộc vào phương của từ trường, véctơ từ độ và hướng của tinh thể. Người ta thường sử dụng đại lượng **từ giảo bão hòa** (ký hiệu là λ_s là hệ số từ giảo đạt được trong trạng thái bão hòa từ. Từ giảo bão hòa là một hàm (liên hợp tuyến tính) của các hệ số từ giảo đo theo các phương khác nhau của tinh thể.

Vật liệu từ giảo

Hầu hết các nguyên tố sắt từ đều có từ giảo. Trong các nguyên tố sắt từ, côban (Co) là nguyên tố có hệ số từ giảo lớn nhất ở nhiệt độ phòng(do côban có cấu trúc bất đối xứng khá cao - lục giác xếp chặt), đạt tới 60.10^{-6} trong từ trường bão hòa. Các vật liệu có hệ số từ giảo lớn được gọi là vật liệu từ giảo khổng lồ.

Có nhiều loại vật liệu từ giảo khác nhau, tại thời điểm hiện tại, vật liệu từ giảo thương phẩm tốt nhất là Terfenol-D (có tên là các từ viết tắt ghép bởi: Ter - Terbium - Tb, Fe - sắt, Nol - Naval Ordnance Laboratory, D - Dysproxium - Dy) là hợp kim $Tb_xDy_{1-x}Fe_2$ có hệ số từ giảo đạt tới 2000.10^{-6} trong từ trường 2 kOe[1] , và chỉ đạt 400.10^{-6} ở dạng màng mỏng [2] . Đây là vật liệu từ giảo được dùng phổ biến nhất hiện nay.

Gần đây, nhóm nghiên cứu tại Việt Nam ở Phòng Thí nghiệm Vật lý Nhiệt độ thấp, Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội lãnh đạo bởi Giáo sư Nguyễn Hữu Đức công bố vật liệu từ giảo khổng lồ ở dạng các màng mỏng (hệ số từ giảo đạt tới 720.10^{-6})[3] , là các màng mỏng hợp kim TbFeCo) mang tên TerfecoHan (Ter - Terbium - Tb, Fe - sắt, Co - Côban, Han - Hà Nội, đồng thời cũng cải tiến tạo ra các màng mỏng đa lớp trên cơ sở TerfecoHan để tạo ra các màng mỏng từ giảo với hệ số từ giảo lớn và độ cảm từ giảo cao trong từ trường thấp[4] .

Ứng dụng của hiện tượng từ giảo

Vật liệu từ giảo được ứng dụng trong các linh kiện, thiết bị chuyển đổi điện - từ - cơ cả ở dạng các vật liệu dạng khối và vật liệu dạng màng mỏng, ví dụ như các cảm biến từ trường (dựa trên tổ hợp từ giảo-áp điện), các cảm biến đo gia tốc, cảm biến cơ đo dịch chuyển cơ học, các máy phát siêu âm - từ giảo, các linh kiện vi cơ trong các bộ vi cơ điện tử (MEMS)...

Xem thêm

- Dị hướng từ tinh thể
- Sắt từ
- Áp điện

Tài liệu tham khảo

[1] http://aml.seas.ucla.edu/research/areas/magnetostrictive/mag-composites/Magnetostriction%20and%20Magnetostrictive%20Materials.htm

[2] N.H. Duc, Jornal of Magnetism and Magnetic Materials 242-245 (2002) 1411-1417 (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TJJ-44N027N-14&_user=5613324&_coverDate=04/30/2002&_fmt=full&_orig=search&_cdi=5312&view=c&_acct=C000067901&_version=1&_urlVersion=0&_userid=5613324&md5=10c452ca6b484972a24c29577dfab6a9&ref=full)

[3] N.H. Duc, Jornal of Magnetism and Magnetic Materials 242-245 (2002) 1411-1417 (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TJJ-44N027N-14&_user=5613324&_coverDate=04/30/2002&_fmt=full&_orig=search&_cdi=5312&view=c&_acct=C000067901&_version=1&_urlVersion=0&_userid=5613324&md5=10c452ca6b484972a24c29577dfab6a9&ref=full)

[4] D.T.H. Giang et al., Applied Physics Letters 85 (2004) 1565-1567 (http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=APPLAB000085000009001565000001&idtype=cvips&gifs=yes)

1. ^ Buschow K.H.J, de Boer F.R. (2004). *Physics of Magnetism and Magnetic Materials*. Kluwer Academic / Plenum Publishers. ISBN 0-306-48408-0.
2. ^ Nguyễn Hữu Đức (2003). *Vật liệu từ liên kim loại*. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội. ISBN 1K-02044-01403.

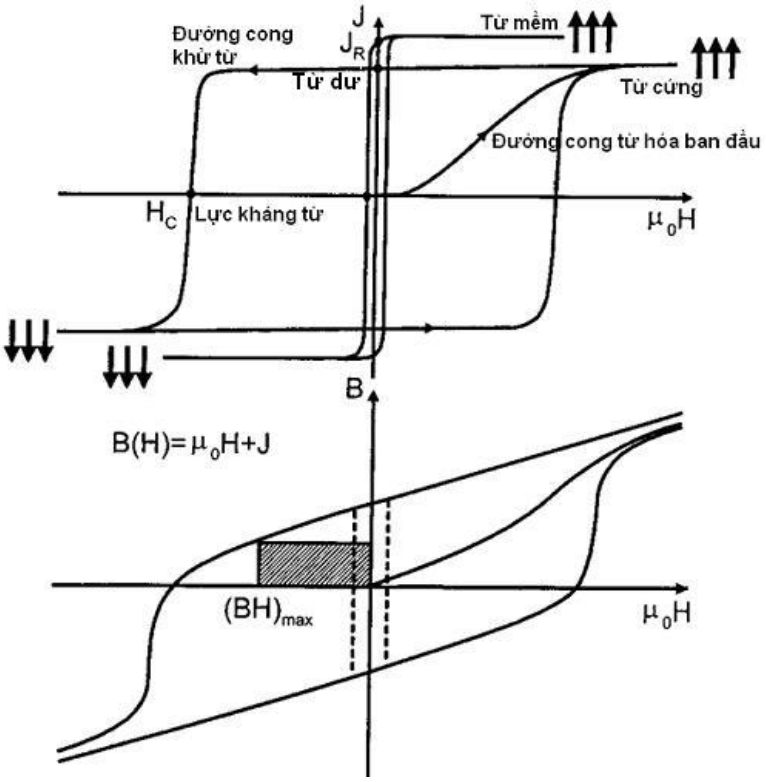
Liên kết ngoài

- Từ giảo khổng lồ – thêm một bước tiến vào tương lai (http://datrach.blogspot.com/2004/12/t-gio-khng-l-thm-mt-bc-tin-vo-tng-lai.html)

Từ trễ

Từ trễ (tiếng Anh: ***magnetic hysteresis***) là hiện tượng bất thuận nghịch giữa quá trình từ hóa và đảo từ ở các vật liệu sắt từ do khả năng giữ lại từ tính của các vật liệu sắt từ. Hiện tượng từ trễ là một đặc trưng quan trọng và dễ thấy nhất ở các chất sắt từ.

Hiện tượng từ trễ được biểu hiện thông qua đường cong từ trễ (Từ độ - từ trường, M(H) hay Cảm ứng từ - Từ trường, B(H)), được mô tả như sau: sau khi từ hóa một vật sắt từ đến một từ trường bất kỳ, nếu ta giảm dần từ trường và quay lại theo chiều ngược, thì nó không quay trở về đường cong từ hóa ban đầu nữa, mà đi theo đường khác. Và nếu ta đảo từ theo một chu trình kín (từ chiều này sang chiều kia), thì ta sẽ có một đường cong kín gọi là đường cong từ trễ hay chu trình từ trễ. Tính chất từ trễ là một tính chất nội tại đặc trưng của các vật liệu sắt từ, và hiện tượng trễ biểu hiện khả năng từ tính của của các chất sắt từ.



Đường cong từ trễ của 2 loại vật liệu sắt từ, vật liệu từ cứng và vật liệu từ mềm, và các thông số của vật liệu được xác định trên đường cong từ trễ

Các tham số

- **Từ độ bão hòa**

  Là giá trị từ độ đạt được khi được từ hóa đến từ trường đủ lớn (vượt qua giá trị trường dị hướng) sao cho vật ở trạng thái bão hòa từ, có nghĩa là các mômen từ hoàn toàn song song với nhau. Khi đó đường cong từ trễ Từ độ-Từ trường, M(H) có dạng nằm ngang. Từ độ bão hòa là tham số đặc trưng của vật liệu sắt từ. Nếu ở không độ tuyệt đối (0 K) thì nó là giá trị từ độ tự phát của chất sắt từ. Từ độ bão hòa thường được ký hiệu là M_s hoặc I_s (chữ "s" có nghĩa là saturation - bão hòa).

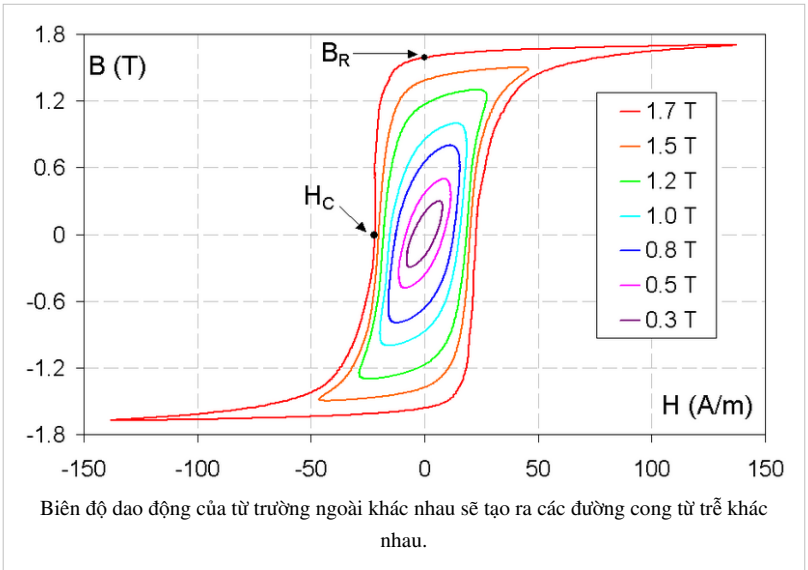
- **Từ dư**

  Là giá trị từ độ còn giữ được khi ngắt từ trường (H = 0), thường được ký hiệu là M_r hoặc I_r (chữ "r" có nghĩa là remanent - dư). Từ dư không phải là thông số mang tính chất nội tại của vật liệu mà chỉ là thông số dẫn xuất, phụ thuộc vào các cơ chế từ trễ, các phương từ hoá, hình dạng vật từ...

  Tỉ số giữa từ dư và từ độ bão hòa M_r/M_s được gọi là từ độ rút gọn hoặc hệ số chữ nhật của đường cong từ trễ (giá trị M_r/M_s càng gần 1 thì đường cong từ trễ càng tiến tới dạng hình chữ nhật).

- **Lực kháng từ**

  Là giá trị từ trường ngược cần đặt vào để triệt tiêu độ từ hóa (M = 0). Lực kháng từ thường được ký hiệu là H_c (Coercivity), đôi khi được gọi là trường đảo từ (nhưng không hoàn toàn chính xác). Lực kháng từ cũng không phải là tham số nội tại của vật liệu mà là tham số ngoại giống như từ dư.



Biên độ dao động của từ trường ngoài khác nhau sẽ tạo ra các đường cong từ trễ khác nhau.

- **Tổn hao năng lượng trễ**

  Là diện tích đường cong từ trễ, là năng lượng tiêu tốn cần thiết cho một chu trình từ trễ, có đơn vị của mật độ năng lượng.

- **Tích năng lượng từ cực đại**

  Là năng lượng từ lớn nhất có thể tồn trữ trong một đơn vị thể tích vật từ, liên quan đến khả năng sản sinh từ trường của vật từ, thường là tham số kỹ thuật của các nam châm vĩnh cửu và vật liệu từ cứng. Tích năng lượng từ cực đại được xác định trên đường cong khử từ B(H) trong góc 1/4 thứ 2, là điểm có giá trị tích B.H lớn nhất. Tích năng lượng từ là tham số dẫn suất, phụ thuộc vào các tính chất từ nội tại của vật liệu và hình dạng của vật liệu, thường mang ý nghĩa ứng dụng trong các nam châm vĩnh cửu và vật liệu từ cứng.

  Tỉ số tích năng lượng từ cực đại chia cho tích lực kháng từ và từ dư được gọi là hệ số lồi của đường cong từ trễ, hay hệ số lồi của vật từ.

Các cơ chế

Nguyên nhân cơ bản của hiện tượng từ trễ là sự tương tác giữa các mômen từ có tác dụng ngăn cản các mômen từ bị quay theo từ trường. Có nhiều cơ chế khác nhau tạo nên hiện tượng từ trễ, tạo nên các hình dạng đường cong từ trễ khác nhau:

- **Cơ chế quay các mômen từ**

  Đôi khi còn có tên dài là "cơ chế quay kết hợp của các mômen từ", là cơ chế đảo từ khi các mômen từ ghim ở trạng thái định hướng, sau đó đột ngột quay theo chiều của từ trường đảo từ khi từ trường vượt giá trị trường đảo từ. Cơ chế này thường xuất hiện trong các vật liệu sắt từ có cấu trúc gồm các hạt đơn đômen hoặc khi bị đảo từ theo phương của trục dễ từ hóa. Cơ chế này thường tạo ra đường cong từ trễ có dạng hình chữ nhật.

- **Cơ chế hãm dịch chuyển vách đômen**

  Trong quá trình đảo từ, các mômen từ có xu hướng bị quay theo chiều của từ trường đảo từ, dẫn đến việc các vách đômen bị dịch chuyển. Tuy nhiên, nếu có các tâm tạp, hoặc các sai hỏng, chướng ngại... trên chiều dịch chuyển của vách đômen, chúng có tác dụng hãm sự dịch chuyển của vách đômen và tạo nên hiện tượng trễ.

- **Cơ chế hãm sự phát triển của mầm đảo từ**

  Mầm đảo từ là một vùng rất nhỏ hình thành trong quá trình từ hóa, có chiều ngược với toàn khối (cùng chiều với trường đảo từ) và có tác dụng như một mầm để kéo các mômen từ quay theo chiều từ trường đảo từ. Tuy nhiên, có nhiều nguyên nhân khác nhau dẫn đến việc ngăn cản sự phát triển của các mầm đảo từ này cũng là một cơ chế tạo nên hiện tượng trễ.

Phương pháp đo

Nguyên tắc chung của phép đo từ trễ là đo sự biến đổi của mômen từ hoặc cảm ứng từ theo sự thay đổi của từ trường. Từ trường đặt vào được biến đổi theo một chu trình (từ giá trị 0 đến giá trị cực đại, sau đó giảm dần và đổi chiều đến từ trường ngược hướng, và lại đảo trở lại giá trị cực đại ban đầu). Có thể đo đường cong từ trễ bằng các phương pháp:

- Đo bằng điện kế xung kích
- Đo bằng từ kế và các thiết bị đo từ trễ
- Đo bằng phép đo quang từ (hiệu ứng Kerr)
- *(các phương pháp khác)...*

Ứng dụng

Các vật liệu từ có tính chất từ trễ cao có thể được sử dụng để chế tạo nam châm vĩnh cửu. Khi đặt vật liệu này trong từ trường mạnh, sẽ xuất hiện từ độ mạnh trong vật liệu, và sau khi bỏ từ trường ngoài đi, vật liệu vẫn giữ từ độ mạnh này, và thể hiện như nam châm vĩnh cửu.

Hiện tượng từ trễ có thể làm một số rơ le từ không kịp nhả kết nối ngay sau khi từ trường bị ngắt. Đây cũng là hiện tượng quan trọng cần xét tới khi thiết kế thiết bị lưu trữ dữ liệu bằng vật liệu từ (như băng từ, ổ đĩa cứng của máy tính). Trong các vật liệu này, dữ liệu bao gồm các bit 0 và 1 được ứng với chiều mômen từ hướng lên hoặc xuống của các vùng trên vật liệu. Để thay đổi giá trị một ô nhớ, cần áp dụng một từ trường ngoài vào nó. Hiện tượng từ trễ khiến cho chúng ta cần biết chính xác giá trị hiện có của ô nhớ này để tìm ra từ trường phù hợp. Để tránh phức tạp hóa vấn đề, nhiều hệ thống sẽ ghi đè lên ô nhớ một giá trị biết trước, trong một quá trình gọi là làm lệch băng từ.

Vật liệu từ trễ khi đặt trong từ trường biến thiên sẽ tiêu thụ năng lượng của từ trường ngoài (với mật độ tiêu thụ chính bằng diện tích đường cong từ trễ), biến nó thành nhiệt năng và bị nóng lên. Đây có thể là hiệu ứng không mong muốn trong nhiều ứng dụng, và ở những ứng dụng này, cần chọn vật liệu có **tổn hao năng lượng trễ** nhỏ.

Xem thêm

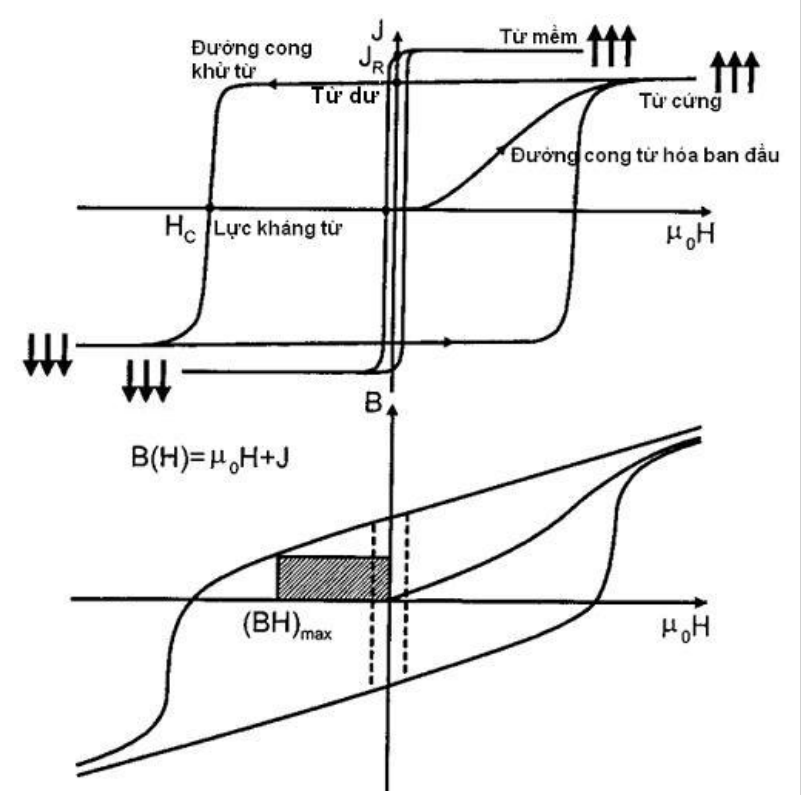
- Sắt từ
- Vật liệu từ cứng
- Vật liệu từ mềm
- Từ kế mẫu rung

Tài liệu tham khảo

1. ^ D.C. Jiles (1990). 1st. ed. *Introduction to Magnetism and Magnetic Materials*. Springer; 1 edition (December 31, 1990). ISBN 10 0412386402.
2. ^ Derek Craik (1995). *Magnetism: Principles and Applications*. John Wiley & Sons. ISBN 0 471 92959 X.

Lực kháng từ

Lực kháng từ, đôi khi còn được gọi là *trường kháng từ*, hoặc *trường đảo từ*, là một đại lượng ngoại sử dụng trong ngành từ học, được định nghĩa bằng giá trị của từ trường cần đặt vào để triệt tiêu từ độ hoặc cảm ứng từ của vật từ. Khi gọi là *trường đảo từ*, đại lượng này được định nghĩa là từ trường cần đặt để đảo chiều từ độ của vật từ.



Đường cong từ trễ của các vật liệu sắt từ cho phép xác định lực kháng từ.

Các khái niệm về lực kháng từ

Lực kháng từ thực tế là một đại lượng ngoại của mỗi vật từ và vật liệu từ. Thực tế, lực kháng từ chỉ tồn tại ở các vật liệu có trật tự từ (sắt từ, feri từ,...). Thông thường, lực kháng từ thường được xác định từ đường cong từ trễ của vật từ. Nhờ khái niệm lực kháng từ, người ta phân loại được 2 loại vật liệu sắt từ là vật liệu sắt từ cứng (có lực kháng từ lớn) và vật liệu sắt từ mềm (có lực kháng từ nhỏ). Do sự liên quan giữa từ trường (H), cảm ứng từ (B), và từ độ M bởi công thức:

$$B = \mu_0 \times (M + H)$$

Do đó, sẽ xuất hiện 2 loại giá trị lực kháng từ:

- **Lực kháng từ liên quan đến từ độ** (H_c^M)

  Là giá trị của lực kháng từ, cho phép triệt tiêu độ từ hóa của mẫu. Giá trị này mang tính chất chung, không phụ thuộc vào hình dạng vật từ, và trong kỹ thuật thường được ký hiệu là H_c^M. Thông thường, nếu chỉ nói đến khái niệm *lực kháng từ* thường để chỉ khái niệm này.

- **Lực kháng từ liên quan đến cảm ứng từ** (H_c^B)

  Là giá trị của lực kháng từ cho phép triệt tiêu cảm ứng từ của vật từ. Giá trị này mang tính chất kỹ thuật, phụ thuộc vào hình dạng vật từ (do được bổ sung yếu tố dị hướng hình dạng của vật từ khi đo), và thường được ký hiệu là H_c^B.

Đối với các vật liệu có lực kháng từ nhỏ, sự sai khác giữa hai đại lượng này rất nhỏ, và đôi khi thường bị nhầm lẫn với nhau. Sự sai khác này chỉ trở nên đáng kể đối với các vật liệu từ cứng.

Cơ chế tạo lực kháng từ

Cơ chế tạo lực kháng từ liên quan đến cơ chế từ hóa và đảo từ của vật liệu, hay nói cách khác là liên quan đến sự thay đổi của cấu trúc từ và bị ảnh hưởng mạnh bởi cấu trúc hạt của vật liệu. Yếu tố lớn nhất chi phối lực kháng từ là dị hướng từ tinh thể và tùy từng loại vật liệu mà lực kháng từ có thể phụ thuộc khác nhau vào yếu tố này.

Trong các vật liệu có dị hướng từ yếu

Thông thường, đối với các vật liệu từ mềm (có dị hướng từ yếu), lực kháng từ tỉ lệ thuận với dị hướng từ tinh thể theo công thức[1] :

$$H_c = p_c \times \frac{K}{M_s}$$

với p_c, K, M_s lần lượt là hệ số tỉ lệ, hằng số dị hướng từ tinh thể và từ độ bão hòa của vật liệu.

- **Với các vật liệu từ mềm có kích thước hạt lớn**

Đối với các vật liệu loại này (vật liệu truyền thống cổ điển có kích thước hạt lớn hơn kích thước vách đômen), lúc này, quá trình từ hóa và đảo từ thường bị ảnh hưởng bởi quá trình hãm dịch chuyển vách đômen do biên hạt nên lực kháng từ sẽ tỉ lệ nghịch với kích thước hạt theo công thức[2] :

$$H_c = p_c \times \frac{\sqrt{A \times K_1}}{M_s \times D}$$

với A là hằng số trao đổi, D là kích thước hạt trung bình.

- **Với các vật liệu từ mềm có kích thước hạt mịn**

Là các vật liệu từ mềm có cấu trúc nano, với kích thước hạt nhỏ hơn chiều dài tương tác trao đổi sắt từ, dị hướng từ tinh thể bị trung bình hóa, và lực kháng từ lại thay đổi[3] :

$$H_c = p_c \times \frac{K_1^4 \times D^6}{M_s \times A^3}$$

Trong các vật liệu từ có dị hướng từ mạnh

Trong các vật liệu có dị hướng từ lớn, lực kháng từ thay đổi rất phức tạp, và phụ thuộc tổng quát theo hàm số[4] :

$$H_c = \alpha \times \frac{\gamma}{\mu_0 M_s \upsilon_a^{1/3}} - N_{eff} \times M_s - 25 S_v$$

Ở đây, α là hệ số phức, γ là năng lượng vách đômen, υ_a là thể tích kích hoạt nhiệt và S_v là hệ số nhớt từ của vật liệu; còn N_{eff} là thừa số khử từ hiệu dụng.

Đối với các vật liệu từ có cấu trúc đơn đômen, cấu trúc đơn đômen là cấu trúc không có vách đômen nên không có các quá trình dịch chuyển vách hay hãm các vách đômen trong quá trình từ hóa. Vì thế, quá trình từ hóa và khử từ trong vật từ có cấu trúc đơn đômen là quá trình quay kết hợp các môment từ. Vì thế, lực kháng từ tạo ra là do đóng góp bởi 3 yếu tố dị hướng: dị hướng từ tinh thể, dị hướng từ hình dạng và dị hướng từ do sự bất đồng nhất cấu trúc: [5] :

$$H_c = a.\frac{K_1}{I_s} + b(N_1 - N_2)I_s + c.\frac{\lambda_s \tau}{I_s}$$

với K_1 là hằng số dị hướng từ tinh thể bậc một; N_1, N_2 là thừa số khử từ đo theo 2 phương khác nhau; λ_s, τ lần lượt là từ giảo bão hòa và ứng suất nội; a, b, c là các hệ số phần trăm đóng góp của từng số hạng.

Lực kháng từ và trường dị hướng

Trường dị hướng (thường được ký hiệu là H_A) là trường liên quan đến năng lượng dị hướng từ tinh thể, là một giá trị nội của vật liệu. Vật liệu sẽ đạt trạng thái bão hòa nếu đặt từ trường vượt quá giá trị trường dị hướng. Trường dị hướng có giá trị cho bởi:

$$H_A = \frac{K_1}{M_s}$$

Lực kháng từ quan hệ với trường dị hướng theo công thức[6] :

$$H_c = \alpha\mu_0 H_A - N_{eff} \times M_s$$

Dưới đây là một số giá trị lực kháng từ ở một số vật liệu từ tiêu biểu:

Vật liệu	Lực kháng từ (Oe)
Supermalloy $Fe_{15,7}Ni_{79}Mo_5Mn_{0,3}$	0,002 [7]
Sắt	0,05 [7]
Permalloy, $Ni_{81}Fe_{19}$	0,05-1 [8]
Cô ban	20 [9]
Niken	150 [10]
$Ni_{1-x}Zn_xFeO_3$, ferrite từ mềm siêu cao tần	15-200 [11]
Alnico (nam châm phổ biến)	1500-2000 [12]
Co-Pt-Cr màng mỏng từ cứng sử dụng trong ổ đĩa cứng	1700 [13]
NdFeB (nam châm đất hiếm mạnh nhất	10.000 [14]
$Fe_{48}Pt_{52}$	12.300
$SmCo_5$	40.000 [15] |+

Tài liệu tham khảo

[1] Herzer, *Grain size dependence of coercivity and permeability innanocrystalline ferromagnets*, IEEE Trans. Magn. 26 (1990) 1397-1402. (http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=104389)

[2] Y. Yoshizawa, *Nanocrystalline soft magnetic materials* in *Handbook of Advanced Magnetic Materials* ed. by Y. Liu et al., Vol. 4, Springer, 2006, ISBN-10 1-4020-7983-4.

[3] Herzer, *Grain size dependence of coercivity and permeability innanocrystalline ferromagnets*, IEEE Trans. Magn. 26 (1990) 1397-1402. (http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=104389)

[4] X. C. Kou, H. Kronmüller, D. Givord and M. F. Rossignol, *Coercivity mechanism of sintered $Pr_{17}Fe_{75}B_8$ and $Pr_{17}Fe_{53}B_{30}$ permanent magnets,Phys. Rev. B 50 (1994) 3849 - 3860* (http://prola.aps.org/abstract/PRB/v50/i6/p3849_1)

[5] N.D. The et al. *High hard magnetic properties and cellular structure of nanocomposite magnet $Nd_{4.5}Fe_{73.8}B_{18.5}Cr_{0.5}Co_{1.5}Nb_1Cu_{0.2}$*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 303, e419 - e422 (2006) (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TJJ-4J91N66-4&_user=121723&_coverDate=08/31/2006&_alid=619302256&_rdoc=21&_fmt=full&_orig=search&_cdi=5312&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=68&_acct=C000009999&_version=1&_urlVersion=0&_userid=121723&md5=6755d58bd7f3d7bb5d968f95618884bb)

[6] L. Jinfang, L. Helie and W. Jiang, *Discussion of the coercivity mechanism of RE-TM-B permanent magnets*, J. Phys. D: Appl. Phys. 25 (1992) 1238 - 1242. (http://www.iop.org/EJ/abstract/0022-3727/25/8/014)

[7] http://mysite.du.edu/~jcalvert/phys/iron.htm#Magn

[8] http://dx.doi.org/10.1063/1.365100

[9] http://dx.doi.org/10.1063/1.348151

[10] http://dx.doi.org/10.1063/1.355560

[11] http://dx.doi.org/10.1109/20.619559

[12] http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abs_free.jsp?arNumber=1066731

[13] http://dx.doi.org/10.1109/20.278737
[14] http://dx.doi.org/10.1063/1.353563
[15] http://dx.doi.org/10.1063/1.368075

Xem thêm

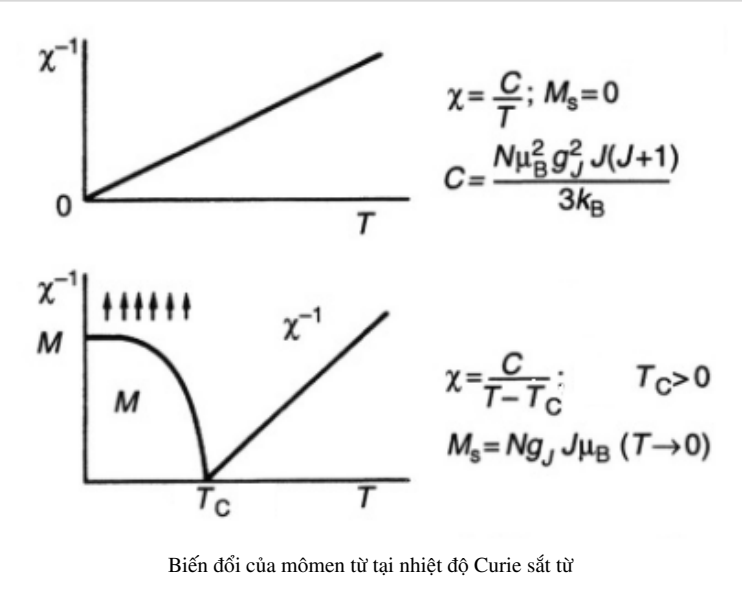
- Từ trễ
- Từ độ
- Mômen từ
- Sắt từ

Nhiệt độ Curie

Nhiệt độ Curie, hay **điểm Curie** (thường được ký hiệu là T_C, là khái niệm trong vật lý chất rắn, khoa học vật liệu là nhiệt độ chuyển pha trong các vật liệu sắt từ hoặc sắt điện, được đặt theo tên của nhà vật lý học người Pháp Pierre Curie (1859 - 1906). Đôi khi, ký hiệu $T_C$còn được sử dụng là ký hiệu cho các nhiệt độ tới hạn (ví dụ nhiệt độ chuyển pha siêu dẫn...).

Nhiệt độ Curie trong các chất sắt từ

Nhiệt độ Curie trong các chất sắt từ là nhiệt độ chuyển pha sắt từ - thuận từ. Ở dưới nhiệt độ Curie, vật liệu mang tính chất sắt từ, ở trên T_C, chất sẽ bị mất tính sắt từ và trở thành thuận từ. Nhiệt độ Curie sắt từ tỉ lệ với số phối vị (số lân cận gần nhất), tích phân trao đổi của chất theo công thức:



Biến đổi của mômen từ tại nhiệt độ Curie sắt từ

$$T_C = \frac{Z.E}{2k_B}$$

với Z là số lân cận gần nhất, E là năng lượng tích phân trao đổi, k_B là hằng số Boltzmann. Ở trên nhiệt độ Curie, độ cảm từ của chất biến thiên theo nhiệt độ tuân theo định luật Curie:

$$\chi = \frac{C}{T - T_C}$$

Chuyển pha tại nhiệt độ Curie là chuyển pha loại 2, tức là chuyển pha không có sự thay đổi về cấu trúc.

*** Chất feri từ**

Chất	T_C (K)
Co	1388
Fe	1043
$FeOFe_2O_3$*	858
$NiOFe_2O_3$*	858
$CuOFe_2O_3$*	728
$MgOFe_2O_3$*	713
MnBi	630
Ni	627
MnSb	587
$MnOFe_2O_3$*	573
$Y_3Fe_5O_{12}$*	560
CrO_2	386
MnAs	318
Gd	292
Dy	88
EuO	69

Nhiệt độ Curie trong các chất sắt điện

Cũng có ý nghĩa giống với nhiệt độ Curie trong các chất sắt từ, là nhiệt độ mà tại đó các chất sắt điện bị mất độ phân cực (mất tính sắt điện) để trở thành các chất thuận điện (paraelectric).

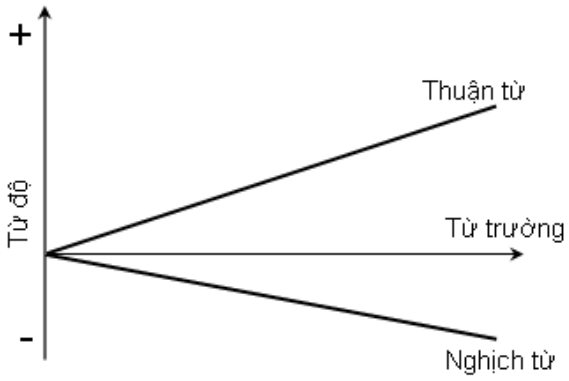
Xem thêm

- Sắt từ
- Độ từ hóa
- Sắt điện

Đường cong từ hóa

Đường cong từ hóa (hay đầy đủ là ***đường cong từ hóa ban đầu***) là đồ thị mô tả quá trình từ hóa vật từ từ trạng thái ban đầu chưa nhiễm từ (trạng thái khử từ), mà thể hiện trên đồ thị là sự thay đổi của tính chất từ (thông qua giá trị của từ độ, cảm ứng từ...) theo giá trị của từ trường ngoài. Ở phạm vi cấu trúc vi mô, quá trình từ hóa chính là sự thay đổi về cấu trúc từ (cấu trúc đômen) thông qua các cơ chế khác nhau.

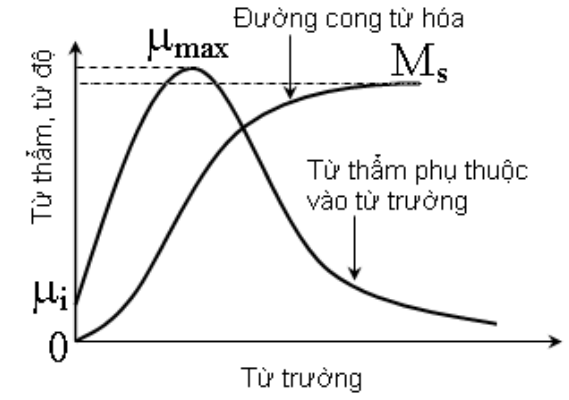
Thuật ngữ tiếng Anh chỉ "*đường cong từ hóa*" được sử dụng phổ biến là "*Magnetization curve*", tuy nhiên, trong nhiều thiết bị đo đạc tính chất từ, người ta còn dùng nhiều thuật ngữ khác nhau ví dụ như "*Virgin curve*", "*Initial curve*"...



Đường cong từ hóa có dạng tuyến tính trong các chất thuận từ và nghịch từ

Hình dạng đường cong từ hóa ở các vật liệu từ khác nhau

- Đối với các chất nghịch từ và thuận từ, đường cong từ hóa có dạng là đường thẳng (từ độ phụ thuộc tuyến tính vào từ trường), từ độ của chất thuận từ mang giá trị dương trong khi các chất nghịch từ có từ độ nhận giá trị âm.
- Đối với các chất có trật tự từ (sắt từ, phản sắt từ, feri từ), đường cong từ hóa là các đường phi tuyến. Đối với sắt từ và feri từ, khi từ hóa với từ trường đủ lớn sẽ có hiện tượng bão hòa từ (đường cong từ hóa nằm ngang, đạt từ độ bão hòa). Hiện tượng bão hòa từ cũng xảy ra với các chất thuận từ và phản sắt từ, nhưng phải trong từ trường rất lớn và ở nhiệt độ thấp thậm chí rất thấp.



Đường cong từ hóa của chất sắt từ M(H), đường cong độ từ thẩm phụ thuộc vào từ trường và các giá trị thu được: Từ độ bão hòa M_s, từ thẩm ban đầu μ_i, từ thẩm cực đại μ_{max}..

Các thông số thu được từ đường cong từ hóa

- **Độ từ thẩm ban đầu**

  Độ từ thẩm được định nghĩa là đạo hàm của cảm ứng từ B theo từ trường:

$$\mu = \frac{dB}{dH}$$

  Độ từ thẩm ban đầu được xác định từ sự phụ thuộc của cảm ứng từ B vào từ trường, được định nghĩa là độ từ thẩm tại giá trị H = 0, cho bởi công thức:

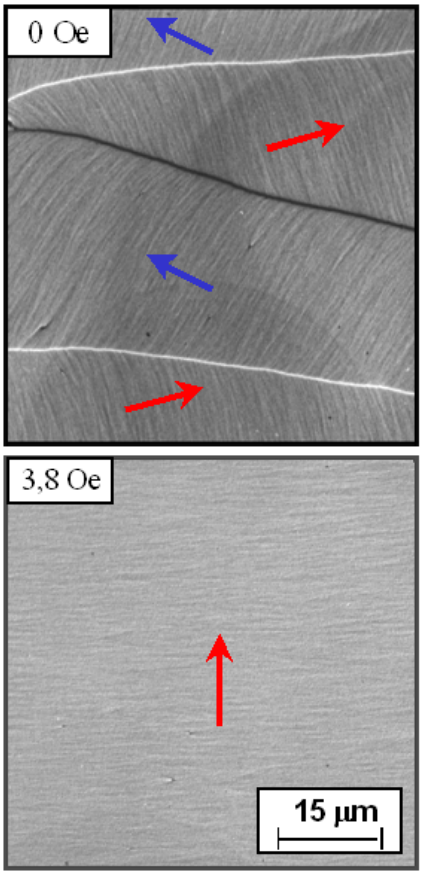
$$\mu_i = \lim_{H \to 0} \frac{dB}{dH}$$

- **Độ từ thẩm cực đại** là giá trị cực đại của độ từ thẩm trên đường cong μ(H), thường ký hiệu là μ_{max}
- **Từ độ bão hòa**: Nếu từ trường từ hóa đủ lớn sao cho tất cả các mômen từ song song với nhau, ta sẽ thu được giá trị từ độ bão hòa (ký hiệu là M_s)

Các cơ chế từ hóa

Đối với các chất sắt từ và feri từ, đường cong từ hóa phản ánh các cơ chế từ hóa trong vật liệu (thể hiện qua sự biến đổi cấu trúc đômen).

- Quá trình dịch chuyển vách đômen: Khi có từ trường từ hóa, các vách đômen sẽ bị dịch chuyển theo xu thế các đômen có chiều của véctơ từ độ hướng theo từ trường sẽ lớn dần, còn các đômen khác sẽ bị thu hẹp dần. Quá trình này thường thể hiện thông qua đoạn đường cong từ hóa có dạng tuyến tính với hệ số góc thấp.
- Quá trình quay mômen từ: Ở từng vật liệu và tùy trạng thái cấu trúc mà có thể diễn ra quá trình từ hóa bằng cách các mômen từ bị quay theo chiều từ trường, thể hiện qua đường cong từ hóa dạng phi tuyến và tăng rất nhanh, hoặc chỉ xảy ra trong từ trường đủ lớn.
- Bước nhảy Barkhausen: Là quá trình xảy ra khi có sự dịch chuyển một cách đột ngột của các vách đômen, bản chất là sự thay đổi tổng năng lượng toàn phần để rơi vào một vị trí cực tiểu năng lượng. Bước nhảy Barkhausen là nguyên nhân dẫn đến hiện tượng có tiếng lạo xạo (nhiễu Barkhausen) trong các loa điện động sử dụng các lõi sắt từ khi vừa bật nguồn điện.



Sự phân chia thành các đômen từ trong màng mỏng hợp kim NiFe quan sát trên kính hiển vi điện tử truyền qua Lorentz ở chế độ Fresnel. Các đường đen, trắng là các vách đômen, mũi tên chỉ chiều của mômen từ trong các đômen. Trong quá trình từ hóa, cấu trúc đômen bị thay đổi

Xem thêm

- Sắt từ
- Đường cong từ trễ
- Đômen từ

Đường cong từ nhiệt

Đường cong từ nhiệt (tiếng Anh: *thermomagnetic curve*) là thuật ngữ trong ngành từ học, chỉ đường cong mô tả sự phụ thuộc nhiệt độ của độ từ hóa của các vật liệu từ. Đường cong này còn có tên là đường cong dạng Weiss.

Đối với các chất ở trạng thái sắt từ, từ độ phụ thuộc vào nhiệt độ theo hàm Brillouin cho bởi [1]:

$$M(H,T) - M(0,0) = -\frac{g\mu_B}{\rho}(\frac{kT}{4\pi D(T)})^x.F(x,\frac{kT}{g\mu_B H})$$

với: μ_B là magneton Bohr, đơn vị của mômen từ $F(x,t) = \sum_{m=1}^{\infty} m^{-x}e^{-m/t}$, ρ là mật độ, T là nhiệt độ, H là từ trường. $D(T) = D(0) - D_1T^2$ là hàm phụ thuộc nhiệt độ của độ cứng sóng spin, x chỉ số tới hạn (x = 3/2 với sắt với cơ chế sóng spin, hoặc x = 5/2 cho các cơ chế khác). Một cách gần đúng, ở gần lân cận nhiệt độ Curie, đường cong từ nhiệt có thể khai triển thành hàm đơn giản hơn, ví dụ như theo mô hình sóng spin:

$M(T) = M(0)[1 - A.(T/T_C)^{3/2}]$

với A là hằng số.

Đối với các chất ở trạng thái thuận từ, độ từ hóa phụ thuộc vào nhiệt độ theo định luật Curie-Weiss:

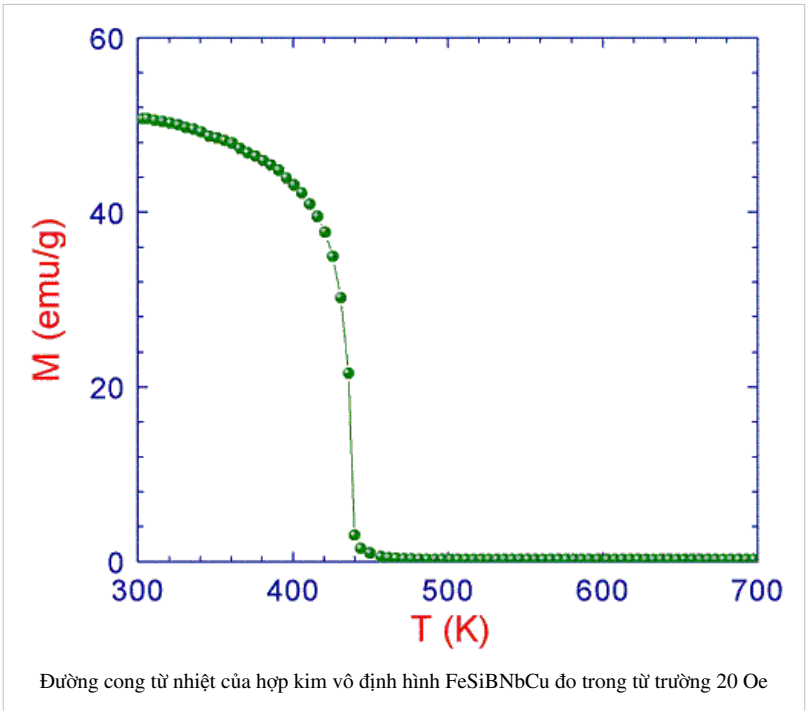
$$M(T) = \frac{N.\mu^2 B}{k.T}$$

với N là mật độ nguyên tử, μ là mômen từ nguyên tử, B, k là cảm ứng từ và hằng số Boltzmann.

Phép đo đường cong từ nhiệt

Phép đo đường cong từ nhiệt thông thường

Là kỹ thuật đo đường cong từ nhiệt trong từ trường ở nhiệt độ bắt đầu từ nhiệt độ thấp (thấp hơn nhiều so với các nhiệt độ trật tự từ: nhiệt độ Curie, nhiệt độ Néel...). Đây là một kỹ thuật hiệu quả nhất cho phép xác định chính xác các nhiệt độ chuyển pha và các loại chuyển pha trong vật liệu.



Đường cong từ nhiệt của hợp kim vô định hình FeSiBNbCu đo trong từ trường 20 Oe

Đường cong từ nhiệt FC và ZFC

ZFC và FC là chữ ký hiệu của "Zero-Field Cooled" và "Field Cooled" là chỉ kỹ thuật đo đường cong từ nhiệt đặc biệt hơn so với kỹ thuật đo đường cong từ nhiệt thông thường. Trong kỹ thuật này, ban đầu chất được làm nóng lên trên nhiệt độ Curie, sau đó làm lạnh về nhiệt độ thấp dưới nhiệt độ Curie và sau đó mới tiến hành đo đường cong từ nhiệt. Nếu trong quá trình làm lạnh, ta có đặt từ trường ngoài, ta có đường cong từ nhiệt FC, nếu không đặt từ trường ngoài, ta có đường cong ZFC. Hai đường cong này thường được đo liên tục và rất hữu hiệu trong việc xác định các hiệu ứng từ đặc biệt, ví dụ như hiệu ứng thủy tinh-spin (spin-glass). Điểm khác biệt quan trọng nhất của nó so với kỹ thuật đo từ nhiệt

thông thường là sự làm lạnh có từ trường hoặc không có từ trường vì quá trình này có thể dẫn tới việc đóng băng các mômen từ hoặc phá vỡ sự đóng băng...

Ứng dụng của đường cong từ nhiệt

- Xác định các nhiệt độ chuyển pha (nhiệt độ Curie, nhiệt độ Néel...), loại chuyển pha (loại I, loại II...), xác định các cơ chế tạo từ tính: ví dụ cơ chế sóng spin..
- Quan sát các hiệu ứng đặc biệt ví dụ như hiệu ứng Hopkinson, hiệu ứng thủy tinh-spin...

Xem thêm

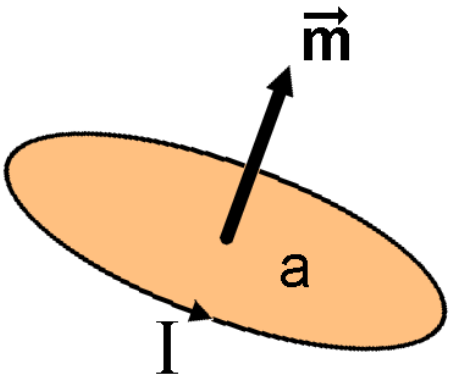
- Nhiệt độ Curie
- Hiệu ứng Hopkinson

Tài liệu tham khảo

[1] E.P. Wohlfarth, Ferromagnetic materials - A handbook on the properties of magnetically ordered substances, Vol. 1, Elsevier North-Holland Inc. (1980) ISBN 0-444-85311-1

Mômen lưỡng cực từ

Mômen từ, hay **mômen lưỡng cực từ** (magnetic dipole moment) là đại lượng vật lý, đặc trưng cho độ mạnh yếu của nguồn từ. Trong trường hợp đơn giản là một dòng điện kín, mômen lưỡng cực từ được định nghĩa bởi:



Moment từ

$$\vec{m} = I \int d\vec{a}$$

với $\vec{a}$ là véctơ diện tích (có độ lớn là diện tích, chiều là véctơ pháp tuyến của mặt đó, xác định từ quy tắc bàn tay phải, I là cường độ dòng điện. Trong trường hợp một điện tích chuyển động quay, mômen từ sẽ được cho bởi biểu thức:

$$\vec{m} = \frac{1}{2} \int \vec{r} \times \vec{J} d\tau$$

với $\vec{J}$ là mật độ dòng điện. $d\tau = r^2 \sin\theta \, dr \, d\theta \, d\phi$

Trong vật lý nguyên tử, vật lý hạt nhân, người ta dùng khái niệm mômen từ của các hạt, có đơn vị là magneton Bohr (hay Bohr magneton, ký hiệu là $\mu_B =$). Mômen từ của các hạt liên quan đến chuyển động nội tại của các hạt (chuyển động spin) hoặc mômen từ của nguyên tử được tạo ra từ mômen từ tổng cộng của các hạt (chuyển động spin) và chuyển động trên quỹ đạo của các hạt. Trong một hệ hạt, mômen từ được xác định bởi tổng mômen từ của các hạt

thành phần.

Nguồn gốc

Mômen từ có thể giải thích bằng mô hình một thanh nam châm thẳng có các từ cực nằm ở 2 đầu và ngược dấu nhau. Mỗi từ cực là một nguồn tạo ra lực từ có độ lớn giảm dần theo khoảng cách. Khi 2 cặp đơn cực từ này kết hợp với nhau thành một cặp, các lực tương tác sẽ ngược chiều nhau và tạo nên mômen lưỡng cực, tỉ lệ với độ lớn của đơn cực từ và khoảng cách giữa chúng:

$\mu = p.d$

và ở đây, μ chính là mômen lưỡng cực từ Bất cứ một vật thể mang điện nào khi chuyển động quay đều tạo ra mômen từ, mômen từ cũng là đặc trưng của các hạt cơ bản. Mômen từ của một hệ xác định trên một đơn vị thể tích hay một đơn vị khối lượng tạo ra độ từ hóa. Đơn vị của mômen từ là $A.m^2$

Tương tác với từ trường

Khi một vật thể có mômen từ **m** đặt trong từ trường có cảm ứng từ **B**, sẽ có một mômen lực tác dụng lên mômen lưỡng cực từ cho bởi:

$$\mathbf{T} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$$

Mômen lực này khiến cho các mômen lưỡng cực từ có xu hướng định hướng theo chiều từ trường. Đây là nguyên lý hoạt động của la bàn hay nhiều loại động cơ điện.

Do lực từ tác động lên mômen từ là lực thế, các mômen từ nằm trong từ trường cũng có thế năng:

$$U = -\mathbf{m}.\mathbf{B}$$

Nếu mômen từ nằm trong từ trường không đều, nó vừa chịu mômen lực vừa chịu lực đẩy hoặc kéo **F**:

$$\mathbf{F} = -\nabla \cdot U = \nabla \cdot (\mathbf{m}.\mathbf{B})$$

Lực hút đẩy này lý giải lực hút đẩy giữa các nam châm.

Mômen từ của điện tử

Điện tử trong nguyên tử có mômen từ tạo nên do đóng góp của 2 thành phần:

- Mômen từ quỹ đạo: được tạo ra khi điện tử chuyển động quanh hạt nhân. Theo cơ học lượng tử, giá trị này bị gián đoạn và có độ lớn:

  $\mu_l = \sqrt{l(l+1)}\mu_B$

  hình chiếu của nó lên trục của từ trường sẽ nhận giá trị:

  $\mu_l = m_l \mu_B$

  với l, m_l là số lượng tử quỹ đạo và số lượng tử từ.
- Mômen từ spin: do điện tử có moment riêng spin (xem bài Spin).

Và mômen từ tổng cộng của điện tử trong nguyên tử sẽ là:

$m = -g_J.J.\mu_B$

với J là mômen tổng cộng tạo nên từ 2 mômen spin và quỹ đạo

$g_J = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}$ là thừa số Landé, L, S là các số lượng tử quỹ đạo và spin.

Mômen từ hạt nhân

Mômen từ hạt nhân được tạo nên từ mômen từ riêng của các hạt thành phần cấu tạo nên hạt nhân (proton, neutron..)

Xem thêm

- Độ từ hóa
- Từ tính

Nhiệt độ Néel

Nhiệt độ Néel hay *nhiệt độ trật tự phản sắt từ* (thường được ký hiệu là $\mathbf{T_N}$) là nhiệt độ chuyển pha phản sắt từ - thuận từ, ở đó, một chất phản sắt từ sẽ bị mất trật tự từ, và trở thành thuận từ. Tính chất phản sắt từ sẽ xuất hiện ở dưới nhiệt độ Néel, và ở trên nhiệt độ Néel, năng lượng nhiệt đủ lớn để phá vỡ trật tự từ trong vật, biến vật trở thành thuận từ.

Về mặt ý nghĩa, nhiệt độ Néel cũng tương tự như nhiệt độ Curie trong các chất sắt từ. Tên gọi của đại lượng này được đặt theo tên của nhà vật lý học người Pháp Louis Néel (1904-2000), người giành giải Nobel Vật lý năm 1970 cho các nghiên cứu về từ học và vật liệu từ.

Bảng dưới đây thống kê nhiệt độ Néel ở một số vật liệu [1] :

Chất	Nhiệt độ Néel temperature (K)
MnO	116
MnS	160
MnTe	307
MnF_2	67
FeF_2	79
$FeCl_2$	24
FeO	298
$CoCl_2$	25
CoO	291
$NiCl_2$	50
NiO	525
Cr	308

Tài liệu tham khảo

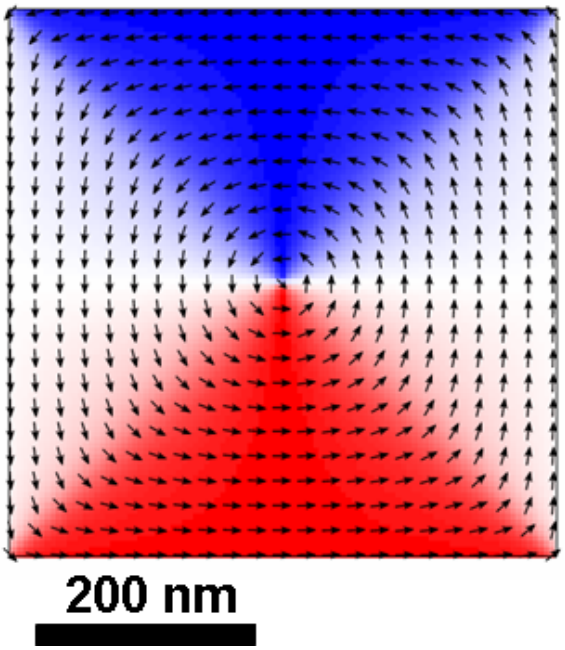
[1] Charles Kittel, *Introduction to Solid State Physics, 8th ed.*, John Wiley & Sons, 2005

Xem thêm

- Phản sắt từ
- Sắt từ
- Nhiệt độ Curie

Năng lượng vi từ

Năng lượng vi từ (tiếng Anh: *Micromagnetic energy*) là tổng hợp các dạng năng lượng thể hiện các tương tác vi mô giữa các mômen từ với nhau và với trường tương tác bên ngoài trong một vật sắt từ. Năng lương vi từ có thể quy gọn thành năm số hạng[1] : năng lượng trao đổi, năng lượng dị hướng, năng lượng tĩnh từ, năng lượng Zeeman, và năng lượng từ giảo. Sự cực tiểu hóa năng lượng tổng hợp sẽ quy định cấu trúc đômen của vật từ[2] .



Một ví dụ tính toán sử dụng năng lượng vi từ học, một hình vuông permalloy cạnh 600 nm, dày 20 nm. Các dạng năng lượng chủ yếu chi phối trường hợp này là năng lượng dị hướng, năng lượng Zeeman và năng lượng từ giảo. Bài toán này được tối ưu hóa tính toán nhờ kết hợp với phương trình Landau-Liftshitz-Gilbert

Năng lượng trao đổi

Năng lượng trao đổi (*Exchange energy*) là dạng năng lượng có được do tương tác trao đổi giữa các spin cạnh nhau khi hàm sóng của điện tử phủ nhau, làm cho các spin song song với nhau[3] , [4] . Năng lượng này được cho bởi:

$$E_{ex} = -2JS^2 \sum_{ij} \cos \psi_{ij}$$

với ***J***, ***S*** lần lượt là tích phân trao đổi và độ lớn của spin, ψ_{ij} là góc giữa hai spin ***i*** và ***j***.

Năng lượng dị hướng

Năng lượng dị hướng (*Anisotropy energy*) là dạng năng lượng liên quan đến các tính chất dị hướng của vật từ trong đó, quá trình từ hóa bị phụ thuộc vào phương từ hóa do sự định hướng ưu tiên của các mômen từ và do cấu trúc tinh thể của vật từ quy định. Có thể chia dạng năng lượng này thành hai số hạng: năng lượng dị hướng từ tinh thể và năng lượng dị hướng hình dạng.

Năng lượng dị hướng từ tinh thể (Magnetocrystalline anistropy energy)

Năng lượng này liên quan đến sự dị hướng tạo ra do tính chất bất đẳng hướng của cấu trúc tinh thể. Mômen từ sẽ ưu tiên định hướng theo một trục (gọi là trục dễ từ hóa), và một trục khác (vuông góc với trục dễ) được gọi là trục khó sẽ hầu như không có mômen từ định hướng. Năng lượng dị hướng từ tinh thể là năng lượng cần thiết để quay mômen từ từ trục dễ sang trục khó. Năng lượng này phụ thuộc vào sự định hướng tương đối của mômen từ với các trục tinh thể và đối xứng tinh thể. Ví dụ như trong cấu trúc lập phương thì năng lượng dị hướng từ tinh thể cho bởi:

$$E_k = \int_V \left[K_1(\alpha^2\beta^2 + \beta^2\gamma^2 + \gamma^2\alpha^2) + K_2\alpha^2\beta^2\gamma^2 \right] dV$$

với K_1, K_2 lần lượt là hằng số dị hướng từ tinh thể bậc 1, bậc 2; α, β, γ là các côsin chỉ phương giữa mômen từ với các trục tinh thể, ***V*** là thể tích vật từ.

Xem bài chi tiết ***Dị hướng từ tinh thể***

Năng lượng dị hướng hình dạng (Shape anistropy energy)

Là năng lượng có được do sự bất đối xứng trong quá trình từ hóa do hình dạng hình học của vật từ quy định. Do tương tác giữa các từ cực, sẽ xuất hiện một trường khử từ ngược với chiều từ hóa, chống lại sự từ hóa. Do đó, mômen từ sẽ có xu hướng định hướng theo trục dài của vật. Và số hạng năng lượng này được xác định bởi:

$$E_k = \int_V K_{eff} sin^2\theta dV$$

với

$$K_{eff} = \frac{N_b - N_a}{2} M^2$$

Ở đây, K_{eff}, M là dị hướng từ hiệu dụng và từ độ của vật từ; θ là góc giữa trục dài và phương từ hóa; N_a, N_b là thừa số khử từ theo 2 trục vuông góc.

Năng lượng tĩnh từ

Năng lượng tĩnh từ (*Magnetostatic energy*) là dạng năng lượng có được do sự phân bố các mômen từ trong vật từ. Sự phân bố bất đồng nhất các mômen từ sẽ dẫn đến việc xuất hiện các từ tích bề mặt và tạo ra hai dạng trường: nội trường (trường khử từ) và ngoại trường (trường phân tán bên ngoài vật). Năng lượng này được xác định bởi:

$$E_d = -\frac{\mu_0}{2} \int_V \vec{M}.\vec{H}_d dV$$

với μ_0 là độ từ thẩm của chân không, H_d là trường tĩnh từ, được xác định bởi:

$$\vec{H}_d = \frac{-1}{4\pi} \int_V \frac{\nabla.\vec{M}}{r^2} dV + \frac{1}{4\pi} \int_S \frac{\vec{M}.\vec{n}}{r^2} dS$$

Năng lượng Zeeman

Năng lượng Zeeman là năng lượng có được do tương tác giữa mômen từ và từ trường ngoài và được cho bởi công thức:

$$E_z = -\mu_0 \int_V \vec{M}.\vec{H} dV$$

Năng lượng từ giảo

Năng lượng từ giảo (*Magnetostrictive energy*) là dạng năng lượng liên quan do hiệu ứng từ giảo, có được do sự biến đổi về hình dạng hình học của vật từ do từ trường ngoài (từ giảo thuận) hoặc sự thay đổi tính chất từ khi có sự thay đổi về thể tích hay hình dạng. Bản chất của hiện tượng từ giảo là do tương tác spin-quỹ đạo trong các điện tử trong vật liệu sắt từ. Hiện tượng từ giảo chỉ có thể xảy ra khi đám mây điện tử không có dạng đối xứng cầu và có tương tác spin-quỹ đạo mạnh. Dưới tác dụng của từ trường ngoài, sự phân bố của các điện tử (ở đây là mômen quỹ đạo) sẽ quay theo sự quay của mômen từ (mômen spin) từ hướng này sang hướng khác và từ giảo được tạo ra do sự thay đổi tương ứng của tương tác tĩnh điện giữa điện tử từ và điện tích của môi trường. Năng lượng này được cho bởi:

$$E_\lambda = \int_V \frac{3}{2} \lambda_s \sigma \sin^2 \alpha dV$$

với λ_s là từ giảo bão hòa của vật từ, σ là ứng suất cơ học trong vật, α là góc giữa véctơ từ độ và ứng suất cơ học.

Năng lượng tổng cộng

Là tổng cộng của 5 số hạng năng lượng nói trên, cho bởi:

$$E_{total} = E_{ex} + E_k + E_d + E_z + E_\lambda$$

Cực tiểu hóa năng lượng tổng cộng sẽ quy định cấu trúc đômen của vật từ. Tùy vào hình dạng vật từ và cấu hình mômen từ mà có thể xuất hiện từng dạng năng lượng tuy nhiên sự cực tiểu hóa năng lượng tổng cộng luôn là điều kiện cần cho việc xác định trạng thái cân bằng của hệ spin. Ngoài ra, áp dụng phương trình Landau-Liftshitz-Gilbert có thể bổ sung đầy đủ hơn cho việc xác định các trạng thái của hệ từ. Xác định năng lượng tổng cộng là một trong những nội dung cơ bản của phương pháp vi từ học. Đôi khi, các số hạng có thể được viết dưới các dạng toán học khác trong các giáo trình khác nhau, nhưng cũng có cùng bản chất và đều có thể quy về một cách biểu diễn toán học.

Tài liệu tham khảo

[1] Robert C. O'Handley (1999). *Modern Magnetic Materials: Principles and Applications*. Wiley-Interscience. ISBN-13 978-0471155669.

[2] C.H. Marrow, "**Spin-polarised currents and magnetic domain walls**", Adv. Phys. 54 (2005) 585. (http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a741576309~db=all~order=page)

[3] W. Heisenberg, *Mehrkörperproblem und Resonanz in der Quantenmechanik*, Zeitschrift für Physik 38, 6–7 (June 1926), pp. 411–426 (http://dx.doi.org/10.1007/BF01397160)

[4] P. A. M. Dirac, Proceedings of the Royal Society of London, Series A 112, 762 (http://links.jstor.org/sici?sici=0950-1207(19261001)112:762<661:OTTOQM>2.0.CO;2-X)

Xem thêm

- Sắt từ
- Đômen từ
- Phương trình Landau-Liftshitz-Gilbert
- Dị hướng từ tinh thể
- Từ giảo

Độ phân cực spin

Độ phân cực spin (tiếng Anh: *Spin polarization*) là đại lượng được xác định bằng mức độ định hướng theo một chiều nhất định của spin trong các hạt cơ bản. Trên thực tế, khái niệm này được sử dụng nhiều cho dòng hạt điện tử, hay cho các hệ chất rắn mà ở đó độ phân cực spin liên quan đến các tính chất sắt từ và tính chất từ-vận chuyển của hệ. Khái niệm độ phân cực spin cũng là một khái niệm cơ bản quan trọng của spintronics [1] .

Xác định độ phân cực spin

Do thuộc tính của spin, spin trong các hạt cơ bản chỉ có thể định hướng theo 2 chiều lên (up) hoặc xuống (down). Độ phân cực spin được xác định là phần trăm sai khác giữa nồng độ các spin định hướng theo hai phương lên hoặc xuống [2] :

$$P = \frac{n_\uparrow - n_\downarrow}{n_\uparrow + n_\downarrow}$$

với $n_\uparrow, n_\downarrow$ lần lượt là mật độ spin up và spin down.

Trong kỹ thuật, người ta có thể có nhiều cách khác nhau để xác định độ lớn của độ phân cực spin như sử dụng kính hiển vi điện tử, sử dụng kỹ thuật phổ phát xạ quang phân giải thời gian, kỹ thuật cộng hưởng thuận từ hay cộng hưởng sắt từ điện tử...

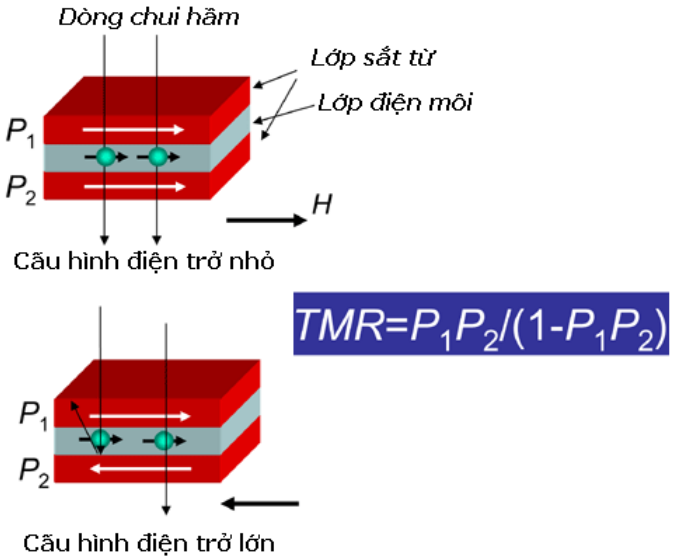
Ứng dụng trong từ học và spintronics

Độ phân cực spin là một khái niệm tổng quát trong vật lý nhưng thực chất nó được sử dụng nhiều nhất trong lĩnh vực từ học và spintronics mà ở đó độ phân cực spin liên quan nhiều đến tính chất sắt từ hoặc tính chất từ điện trở.

Độ phân cực spin có thể được dùng làm đại lượng của từng loại vật liệu sắt từ, mà vật liệu có độ phân cực spin tốt nhất hiện nay là các vật liệu bán kim (hợp kim Heusler) với độ phân cực spin tới gần 100%.

Trong các cấu trúc chui hầm từ, độ phân cực spin là một khái niệm quan trọng để xác định tỉ số từ điện trở của hệ. Đối với các tiếp xúc từ chui hầm có 2 lớp sắt từ kẹp giữa bởi một lớp điện môi, tỉ số từ điện trở (trong trường hợp này sử dụng là TMR) phụ thuộc vào độ phân cực spin của 2 lớp (P_1, P_2), và được cho bởi công thức:

$$TMR = \frac{P_1.P_2}{1 - P_1.P_2}$$



Hiệu ứng từ điện trở chui hầm: tỉ số TMR được xác định liên quan trực tiếp đến độ phân cực spin của các lớp sắt từ cấu thành hệ đa lớp.

Tài liệu tham khảo

[1] I. Zutic, J. Fabrian, S.D. Sarma, *Spintronics: Fundamentals and applications*, Rev. Mod. Phys. 76 (2004) 323 (http://link.aps.org/doi/10.1103/RevModPhys.76.323)

[2] C.H. Marrow, *Spin-polarised currents and magnetic domain walls*, Adv. Phys. 54 (2005) 585. (http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a741576309~db=all~order=page)

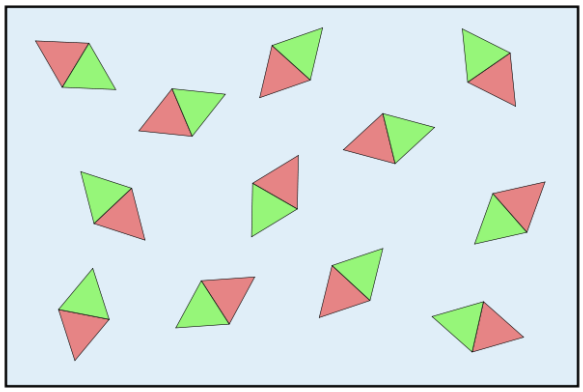
Xem thêm

- Spin
- Spintronics
- Vật liệu bán kim

Chương 2: Các vật liệu từ

Thuận từ

Thuận từ là những chất có từ tính yếu (trong ngành từ học xếp vào nhóm phi từ, có nghĩa là chất không có từ tính). Tính chất thuận từ thể hiện ở khả năng hưởng ứng thuận theo từ trường ngoài, có nghĩa là các chất này có mômen từ nguyên tử (nhưng giá trị nhỏ), khi có tác dụng của từ trường ngoài, các mômen từ này sẽ bị quay theo từ trường ngoài, làm cho cảm ứng từ tổng cộng trong chất tăng lên.



Mô hình về cấu trúc mômen từ của chất thuận từ: hệ mômen từ của chất thuận từ được xem như các nam châm nhỏ, độc lập, không tương tác.

Thuận từ và nghịch từ được xếp vào nhóm các chất phi từ, hoặc nhóm không có trật tự từ. Độ từ thẩm của các chất thuận từ là lớn hơn 1 nhưng xấp xỉ 1 (chỉ trênh lệch cỡ 10^{-6}). Từ tính yếu của thuận từ do hai yếu tố đem lại:

- Mômen từ nguyên tử

- Các mômen từ nguyên tử này nhỏ và hoàn toàn không tương tác với nhau.

Các chất thuận từ điển hình là: ôxi, nhôm...

Chất thuận từ theo lý thuyết cổ điển Langevin

Từ tính của chất thuận từ được tính theo mômen từ nguyên tử mà trong đó, coi rằng các mômen từ này không tương tác (không tồn tại tương tác trao đổi trong các chất thuận từ). Tổng thống kê của hệ sẽ được cho bởi[1] :

$$\Theta(T,H) = \int_0^{\pi} exp(-\frac{\mu_0 \times H \times \cos\theta}{k_B T}) \times 2\pi \times \sin\theta d\theta$$

$$\Theta(T,H) = 4\pi \times \frac{k_B T}{\mu_0 H} \times sh(\frac{\mu_0 H}{kT})$$

và độ từ hóa của chất thuận từ được xác định bởi:

$$M = \frac{N}{V}\overline{\mu_H} = -\frac{N}{V} \times \frac{\partial\Theta(T,H)}{\partial H}$$

$$M = \frac{N}{V} \times \mu_0 \times [cth(\frac{\mu_0 H}{k_B T}) - \frac{k_B T}{\mu_0 H}]$$

với:

- k_B, H, T là hằng số Boltzmann, từ trường ngoài và nhiệt độ.

- N, V, μ_0 là số nguyên tử, thể tích của vật và mômen từ của một nguyên tử.

Theo lý thuyết lượng tử

Trong cơ học lượng tử, từ độ được xác định bằng phương pháp thống kê lượng tử và cho kết quả tương tự:

với μ_B, S là Bohr magneton và mômen spin.

Chất thuận từ trong các giới hạn

- **Trong giới hạn từ trường nhỏ**

  Từ hàm từ độ của chất thuận từ, có thể khai triển gần đúng trong giới hạn từ trường nhỏ (hoặc nhiệt độ cao):

  Khi $\frac{\mu_0 H}{k_B T} \ll 1$, thì $cth(\frac{\mu_0 H}{k_B T}) \approx \frac{\mu_0 H}{3k_B T} + \frac{k_B T}{\mu_0 H}$

  Do đó, từ độ của chất thuận từ tỉ lệ thuận với từ trường ngoài và tỉ lệ nghịch với nhiệt độ theo hàm:

  $$M = \frac{N}{V} \times \frac{\mu_0^2 H}{3k_B T}$$

- **Trong giới hạn từ trường lớn và nhiệt độ thấp**

  Ở nhiệt độ thấp và từ trường đủ lớn ($\frac{\mu_B H}{k_B T} \gg 1$) thì chất thuận từ đạt trạng thái bão hòa từ, từ độ sẽ nhận giá trị:

  $$M = 2S \times \frac{N}{V} \times \mu_B$$

Siêu thuận từ

Là một trạng thái của chất các chất sắt từ đạt được khi kích thước các hạt nhỏ hơn giới hạn siêu thuận từ, khi đó chất sẽ mang hành vi như một chất thuận từ với từ độ lớn và biến thiên theo hàm Langevin.

Xem thêm

- Siêu thuận từ
- Nghịch từ
- Sắt từ
- Từ độ
- Bohr magneton

Tài liệu tham khảo

[1] Buschow K.H.J, de Boer F.R. (2004). *Physics of Magnetism and Magnetic Materials*. Kluwer Academic / Plenum Publishers. ISBN 0-306-48408-0.

Siêu thuận từ

Siêu thuận từ (tiếng Anh: ***Superparamagnetism***) là một hiện tượng, một trạng thái từ tính xảy ra ở các vật liệu từ, mà ở đó chất biểu hiện các tính chất giống như các chất thuận từ, ngay ở dưới nhiệt độ Curie hay nhiệt độ Neél. Đây là một hiệu ứng kích thước, về mặt bản chất là sự thắng thế của năng lượng nhiệt so với năng lượng định hướng khi kích thước của hạt quá nhỏ.

Hiện tượng siêu thuận từ

Hiện tượng (hay trạng thái) siêu thuận từ xảy ra đối với các chất sắt từ có cấu tạo bởi các hạt tinh thể nhỏ. Khi kích thước hạt lớn, hệ sẽ ở trạng thái đa đômen (tức là mỗi hạt sẽ cấu tạo bởi nhiều đômen từ). Khi kích thước hạt giảm dần, chất sẽ chuyển sang trạng thái đơn đômen, có nghĩa là mỗi hạt sẽ là một đômen. Khi kích thước hạt giảm quá nhỏ, năng lượng định hướng (mà chi phối chủ yếu ở đây là năng lượng dị hướng từ tinh thể) nhỏ hơn nhiều so với năng lượng nhiệt, khi đó năng lượng nhiệt sẽ phá vỡ sự định hướng song song của các môment từ, và khi đó môment từ của hệ hạt sẽ định hướng hỗn loạn như trong chất thuận từ.

Giới hạn siêu thuận từ xảy ra khi năng lượng định hướng nhỏ hơn năng lượng nhiệt, có nghĩa là [1] :

$$K_1.V_0 << k_B.T$$

với K_1, V_0lần lượt là hằng số dị hướng từ tinh thể bậc 1 của vật liệu, thể tích của hạt; k_B, Tlà hằng số Boltzmann, nhiệt độ của môi trường xung quanh.

Khi xảy hiện tượng siêu thuận từ, chất vẫn có môment từ lớn của chất sắt từ, nhưng lại thể hiện các hành vi của chất thuận từ, có nghĩa là môment từ biến đổi theo hàm Langevin [2] :

$$I = \frac{N}{V}\mu_0[cth(\frac{\mu_0 H}{k_B T}) - \frac{k_B T}{\mu_0 H}]$$

với N/Vlà mật độ hạt, H là từ trường.

Ứng dụng

Các vật liệu siêu thuận từ đang được ứng dụng nhiều trong vật lý và y-sinh học nhờ khả năng hồi đáp nhanh với sự tác dụng của từ trường bên ngoài[3] . Siêu thuận từ được sử dụng trong các hạt nano từ tính, đặt trong các chất lỏng từ.

Ứng dụng vật lý

Đây là các ứng dụng cổ điển, được sử dụng từ rất lâu [4] :

- Sử dụng các chất lỏng từ làm tăng tính truyền dẫn trong các hệ dẫn lực, dẫn nhiệt, dẫn từ, làm giảm nhiễu ồn ở loa điện động...
- Làm nhân cho các hệ hạt tự lắp ghép

Ứng dụng y - sinh học

Các ứng dụng này mới được phát triển trong thời gian gần đây [5] :

- Dẫn thuốc
- Làm tăng độ tương phản của ảnh chụp cộng hưởng từ hạt nhân
- Điều trị ung thư bằng đốt nóng thân nhiệt cục bộ...

Tài liệu tham khảo

[1] ^ Buschow K.H.J, de Boer F.R. (2004). *Physics of Magnetism and Magnetic Materials*. Kluwer Academic / Plenum Publishers. ISBN 0-306-48408-0.

[2] ^ Derek Craik (1995). *Magnetism: Principles and Applications*. John Wiley & Sons. ISBN 0 471 92959 X.

[3] Q.A. Pankhurst, J. Connolly, S.K. Jones, J. Dobson, *Applications of magnetic nanoparticles in biomedicine*, J. Phys. D: Appl. Phys. 36 (2003) R167-R181 (http://www.iop.org/EJ/abstract/0022-3727/36/13/201)

[4] Rosensweig, R.E., Ferrohydrodynamics. 1985, Cambridge: Cambridge University Press

[5] Leslie-Pelecky, D.L., V. Labhasetwar, and J. Kraus, R.H., Nanobiomagnetics, in Advanced Magnetic Nanostructures, D.J. Sellmyer and R.S. Skomski, Editors. 2005, Kluwer: New York

Xem thêm

- Thuận từ
- Sắt từ
- Nước từ

Nghịch từ

Các chất nghịch từ được cấu tạo từ một loại phân tử không có từ tính. Khi đặt vào từ trường ngoài trong các phân tử sẽ xuất hiện dòng điện phụ và tạo ra từ trường phụ ngược chiều từ trường ngoài (vì vậy có tên là chất nghịch từ)

Do đó cảm ứng từ tổng cộng nhỏ hơn cảm ứng từ của từ trường ngoài ($\mu<1$)

Xem thêm

- Thuận từ

Sóng spin

Sóng spin (tiếng Anh: *Spin wave*) là một mô hình trong từ học, được dùng để miêu tả những nhiễu loạn lan truyên trong trật tự spin của các vật liệu từ. Những kích thích tập thể này xảy ra trong các phân mạng từ với đối xứng liên tục. Chuẩn hạt của sóng spin được gọi là magnon, là hạt boson của các phân mạng spin gần như tương ứng với sự kích thích phonon trong mạng tinh thể. Khi nhiệt độ tăng, các kích thích nhiệt của sóng spin dẫn đến sự suy giảm từ độ tự phát của vật liệu sắt từ và năng lượng sóng spin chỉ vào cỡ μeV.

Lý thuyết sóng spin

Cơ chế của sóng spin có thể hiểu thông qua việc xem xét Hamiltonian, $\mathcal{H}$, trong vật liệu sắt từ:

$$\mathcal{H} = -\frac{1}{2}J\sum_{i,j}\mathbf{S}_i.\mathbf{S}_j - g\mu_B\sum_i \mathbf{H}.\mathbf{S}_i$$

với *J* là năng lượng trao đổi, *S* là toán tử spin, *g* là tỉ số từ - cơ, μ_B là Bohr magneton, **H** là từ trường ngoài.

Xem thêm

- Spin
- Sắt từ
- Đường cong từ nhiệt
- Spintronics

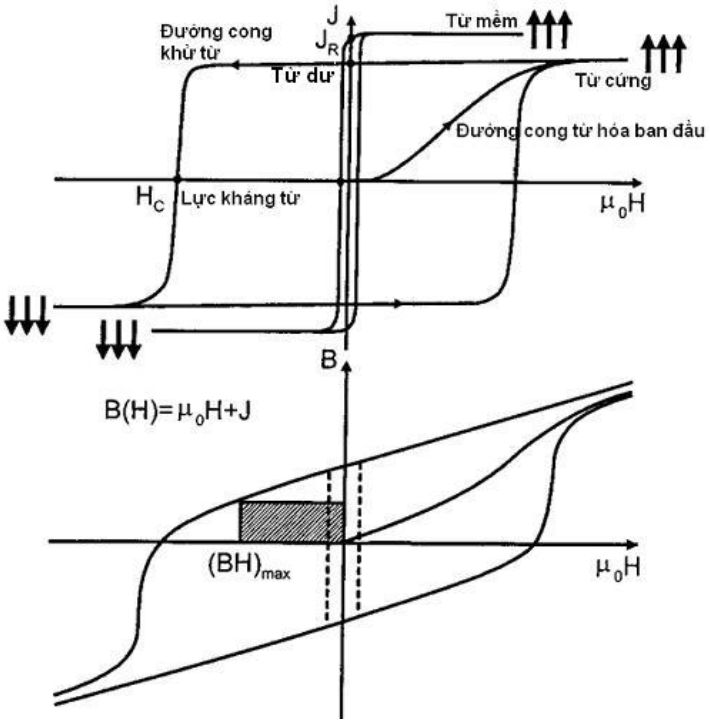
Tài liệu tham khảo

Sắt từ

Sắt từ là các chất có từ tính mạnh, hay khả năng hưởng ứng mạnh dưới tác dụng của từ trường ngoài, mà tiêu biểu là sắt (Fe), và tên gọi "sắt từ" được đặt cho nhóm các chất có tính chất từ giống với sắt. Các chất sắt từ có hành vi gần giống với các chất thuận từ ở đặc điểm hưởng ứng thuận theo từ trường ngoài.

Tính sắt từ dùng để chỉ thuộc tính (từ tính mạnh) của các chất sắt từ.

Chất sắt từ là một trong những vật liệu được sử dụng sớm nhất trong lịch sử loài người, với việc sử dụng các đá nam châm làm la bàn hoặc làm các vật dụng hút sắt thép (thực chất đó là các quặng Fe_3O_4) từ hơn 2000 năm trước (mà xuất phát là từ Trung Hoa và Hy Lạp cổ đại).

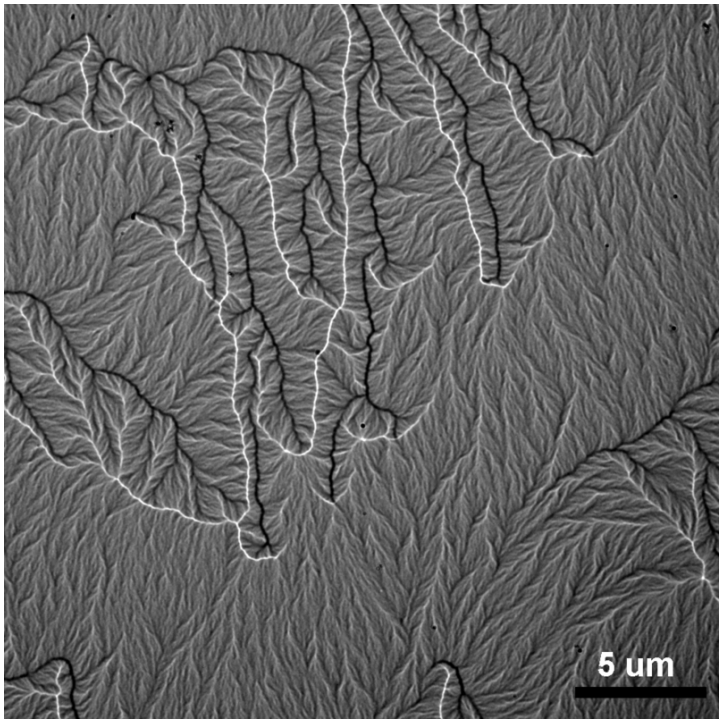


Đường cong từ trễ - Đặc trưng quan trọng nhất của chất sắt từ

Các tính chất đặc trưng của chất sắt từ

Các chất sắt từ (ví dụ như sắt (Fe), côban (Co), niken (Ni), gađôli (Gd)... là các chất sắt từ điển hình. Các chất này là các chất vốn có mômen từ nguyên tử lớn (ví dụ như sắt là 2,2 μ_B, Gd là 7 μ_B...) và nhờ tương tác trao đổi giữa các mômen từ này, mà chúng định hướng song song với nhau theo từng vùng (gọi là các đômen từ tính. Mômen từ trong mỗi vùng đó gọi là từ độ tự phát - có nghĩa là các chất sắt từ có từ tính nội tại ngay khi không có từ trường ngoài. Đây là các nguồn gốc cơ bản tạo nên các tính chất của chất sắt từ.

- Hiện tượng từ trễ: Là một đặc trưng dễ thấy nhất ở chất sắt từ. Khi từ hóa một khối chất sắt từ các mômen từ sẽ có xu hướng sắp xếp trật tự theo hướng từ trường ngoài do đó từ độ của mẫu tăng dần đến độ bão hòa khi từ trường đủ lớn (khi đó các mômen từ hoàn toàn song song với nhau). Khi ngắt từ trường hoặc khử từ theo chiều ngược, do sự liên kết giữa các mômen từ và các đômen từ, các mômen từ không lập tức bị quay trở lại trạng thái hỗn độn như các chất thuận từ mà còn giữ được từ độ ở giá trị khác không. Có nghĩa là đường cong đảo từ sẽ không khớp với đường cong từ hóa ban đầu, và nếu ta từ hóa và khử từ theo một chu trình kín của từ trường ngoài, ta sẽ có một đường cong kín gọi là đường cong từ trễ. Có nhiều cơ chế khác nhau để tạo ra hiện tượng trễ như cơ chế dịch chuyển vách, cơ chế quay mômen từ, cơ chế hãm sự phát triển của các mầm đảo từ... Và trên đường cong từ trễ, ta sẽ có các đại lượng đặc trưng của chất sắt từ như sau:



Hình ảnh các đômen từ của màng CoIr chụp ở chế độ Fresnel trên kính hiển vi điện tử truyền qua

  - Từ độ bão hòa: Là từ độ đạt được trong trạng thái bão hòa từ, có nghĩa là tất cả các mômen từ của chất sắt từ song song với nhau.
  - Từ dư: Là giá trị từ độ khi từ trường được khử về 0.
  - Lực kháng từ: Là từ trường ngoài cần thiết để khử mômen từ của mẫu về 0, hay là giá trị để từ độ đổi chiều. Đôi khi lực kháng từ còn được gọi là trường đảo từ.
  - Từ thẩm: Là một tham số đặc trưng cho khả năng phản ứng của các chất từ tính dưới tác dụng của từ trường ngoài. Từ thẩm của các chất sắt từ có giá trị lớn hơn 1 rất nhiều, và phụ thuộc vào từ trường ngoài (xem thêm trong bài Vật liệu từ mềm).
- Nhiệt độ Curie: Là nhiệt độ mà tại đó, chất bị mất từ tính. Ở dưới nhiệt độ Curie, chất ở trạng thái sắt từ, ở trên nhiệt độ Curie, chất sẽ mang tính chất của chất thuận từ. Nhiệt độ Curie là một tham số đặc trưng cho chất sắt từ, ví dụ như:
  - Sắt: 1043 K
  - Côban: 1388 K
  - Niken: 627 K
  - Gađôli: 292,5 K
  - Dysproxium (Dy): 88 K
  - MnBi: 630 K
  - MnSb: 587 K
- Dị hướng từ tinh thể: Là năng lượng liên quan đến sự định hướng của các mômen từ và đối xứng tinh thể của vật liệu. Do tính dị hướng của cấu trúc tinh thể, sẽ có sự khác nhau về khả năng từ hóa khi ta từ hóa theo các phương khác nhau, dẫn đến việc vật liệu có phương dễ từ hóa, gọi là trục dễ (từ hóa) và phương khó từ hóa (gọi là trục khó). Năng lượng dị hướng từ tinh thể là năng lượng cần thiết để quay mômen từ trục khó sang trục dễ. Hằng số dị hướng từ tinh thể là các đại lượng đặc trưng cho các chất sắt từ.

Tương tác trao đổi và đômen từ

- Tương tác trao đổi là tương tác được giả thiết theo lý thuyết sắt từ Heisenberg nhằm giải thích sự định hướng song song của các mômen từ trong vật liệu. Tương tác trao đổi có bản chất là tương tác tĩnh điện đặc biệt giữa các điện tử tạo ra sự định hướng song song (hoặc đối song song) của các spin khi các điện tử ở một khoảng cách đủ gần sao cho các hàm sóng của chúng phủ nhau để cực tiểu hóa năng lượng của hệ. Năng lượng tương tác trao đổi được cho bởi công thức:

  $$E_{ex} = -J\vec{S_1} \cdot \vec{S_2}$$

  với S_1, S_2 là các spin, J là tích phân trao đổi, cho bởi:

  $$J = 2\int \Psi_1^*(r_1)\Psi_2^*(r_2)V_I(r_1,r_2)\Psi_2(r_1)\Psi_1(r_2)\,dr_1\,dr_2.$$

  J mang giá trị dương khi các spin song song nhau (tương tác trao đổi sắt từ) và âm khi các spin phản song song (tương tác phản sắt từ). Ψ là hàm sóng của các điện tử.
- Đômen từ: Nhờ có tương tác trao đổi, các mômen từ của chất sắt từ sắp xếp hoàn toàn song song với nhau, nhưng không phải trong toàn bộ vật thể mà trong từng vùng, gọi là các miền từ hóa, hay các đômen từ. Trong mỗi đômen, các mômen từ song song với nhau tạo nên từ độ tự phát của chất sắt từ, nhưng trong toàn vật thể ở trạng thái khử từ thì mômen từ của các đômen sẽ sắp xếp hỗn loạn nên tổng từ độ trong toàn khối vẫn bằng 0. Khi có từ trường ngoài, do các mômen từ có xu hướng bị quay theo từ trường nên sẽ dẫn đến sự thay đổi về cấu trúc đômen như sự dịch chuyển vách đômen, sự thay đổi kích thước đômen, sự định hướng mômen từ... tạo nên quá trình từ hóa phức tạp của chất sắt từ. Các đômen từ có thể quan sát bằng nhiều cách khác nhau ví dụ như bằng kính hiển vi điện tử truyền qua Lorentz ở các chế độ khác nhau (như Fresnel, Foucault..) hay phương pháp nhũ tương (nay ít dùng vì quá phức tạp và độ chính xác không cao), hay phương pháp đo quang - từ...

Các loại vật liệu sắt từ

Có nhiều cách khác nhau để phân chia các vật liệu sắt từ, nhưng cách thông dụng nhất vẫn là phân chia theo khả năng từ hóa và khử từ của vật liệu. Theo cách phân chia này sẽ có 2 nhóm vật liệu sắt từ chính:

- Vật liệu từ cứng: Là các vật liệu sắt từ khó từ hóa và khó khử từ thường dùng cho các ứng dụng lưu trữ từ trường như nam châm vĩnh cửu, vật liệu ghi từ... Các vật liệu từ cứng điển hình là $Nd_2Fe_{14}B$, Sm_2Co_5, FePt.. (xem bài Vật liệu từ cứng)
- Vật liệu từ mềm: Là các vật liệu sắt từ dễ từ hóa và dễ bị khử từ, thường dùng cho các ứng dụng hoạt động trong từ trường ngoài như lõi biến thế, nam châm điện, lõi dẫn từ, cảm biến từ trường... Các vật liệu từ mềm điển hình là sắt silic (FeSi), hợp kim permalloy NiFe... (xem bài Vật liệu từ mềm)

Ứng dụng của vật liệu sắt từ

Có thể nói vật liệu sắt từ đang được nghiên cứu và ứng dụng hết sức rộng rãi trong khoa học, công nghiệp cũng như trong đời sống, từ các nam châm vĩnh cửu, đến các lõi biến thế, hay cao hơn là các ổ cứng máy tính, các đầu đọc ổ cứng... Một hiệu ứng khác của chất sắt từ là hiệu ứng từ nhiệt khổng lồ đang được nghiên cứu phát triển các thế hệ máy lạnh hoạt động bằng từ trường thay thế cho các máy lạnh truyền thống với ưu điểm không ô nhiễm, tiết kiệm năng lượng và nhỏ gọn. Các hiệu ứng từ điện trở của các chất sắt từ cũng đang được khai thác để ra đời các linh kiện điện tử thế hệ mới gọi là spintronic, tức là các linh kiện hoạt động bằng cách điều khiển spin của điện tử...

Xem thêm

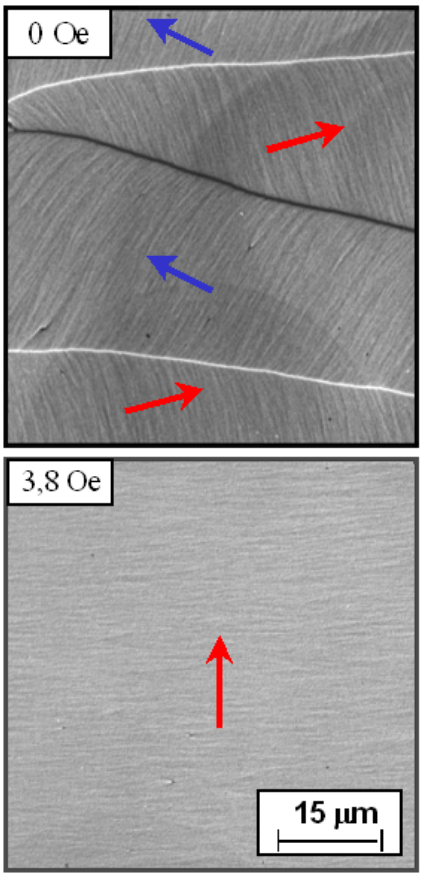
- Vật liệu từ cứng
- Vật liệu từ mềm
- Phản sắt từ
- Thuận từ
- Từ học

Tài liệu tham khảo

1. ^ Buschow K.H.J, de Boer F.R. (2004). *Physics of Magnetism and Magnetic Materials*. Kluwer Academic / Plenum Publishers. ISBN 0-306-48408-0.
2. ^ Derek Craik (1995). *Magnetism: Principles and Applications*. John Wiley & Sons. ISBN 0 471 92959 X.

Đômen từ

Đômen từ (xuất phát từ thuật ngữ tiếng Anh: ***magnetic domain***) là những vùng trong chất sắt từ mà trong đó các mômen từ hoàn toàn song song với nhau tạo nên từ độ tự phát của vật liệu sắt từ. Thuật ngữ "đômen từ" được những người dạy vật lý ở bậc phổ thông và những người không làm công tác nghiên cứu vật lý ở Việt Nam dịch là "miền từ hóa", tuy nhiên những người làm nghiên cứu vật lý (đặc biệt là những người trong lĩnh vực từ học) không chấp nhận tên gọi này mà chỉ gọi là "đômen từ".



Sự phân chia thành các đômen từ trong màng mỏng hợp kim NiFe quan sát trên kính hiển vi điện tử truyền qua Lorentz ở chế độ Fresnel. Các đường đen, trắng là các vách đômen, mũi tên chỉ chiều của mômen từ trong các đômen. Trong quá trình từ hóa, cấu trúc đômen bị thay đổi

Nguồn gốc của đômen từ

Khái niệm về đômen từ lần đầu tiên được đưa ra vào năm 1907 bởi Weiss để giải thích các tính chất đặc biệt của các vật liệu sắt từ, và mô hình được sử dụng để lý giải là mô hình trường phân tử (Lý thuyết trường phân tử). Sau đó, hình ảnh về các đômen từ được quan sát và các lý thuyết sau đó đã lý giải chính xác sự tạo thành của đômen từ. Sự hình thành của các đômen từ là do tương tác trao đổi dẫn đến việc các mômen từ sắp xếp song song với nhau. Có nghĩa là trong mỗi đômen, các mômen từ sắp xếp theo 1 chiều nhất định tạo nên từ độ tự phát của sắt từ. Lý thuyết về đômen từ tiếp tục được hoàn thiện bởi Van Vleck (năm 1945) và Stoner (năm 1948), Néel (năm 1948)...

Tuy nhiên, không phải sự sắp xếp song song này tồn tại trên toàn vật sắt từ mà mỗi vật tùy theo kích thước, hình dạng mà có thể bị chia thành nhiều đômen khác nhau tạo nên cấu trúc đômen của vật (trong các đômen khác nhau chiều của các mômen từ sẽ khác nhau). Cấu trúc đômen hình thành chi phối tính chất từ vi mô của vật liệu. Ở trạng thái khử từ, chiều của mômen từ trong các đômen sắp xếp sao cho thỏa mãn các điều kiện: triệt tiêu từ độ và cực tiểu hóa năng lượng tổng cộng trong vật sắt từ. Khi có từ trường ngoài, cấu trúc đômen bị thay đổi (sự lớn lên của các đômen từ có chiều cùng chiều

với từ trường, sự quay mômen từ trong các đômen có chiều khác...) dẫn đến sự thay đổi về tính chất từ. Sự biến đổi khác nhau về đômen từ trong quá trình từ hóa tạo nên các cơ chế từ hóa và các tính chất từ khác nhau của mỗi loại vật liệu sắt từ.

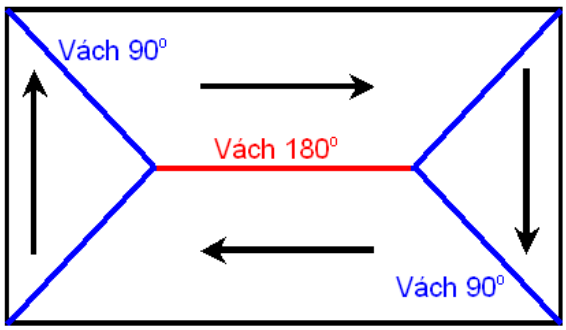
Trong các tính toán về từ học, cấu trúc đômen được xác định bằng việc cực tiểu hóa năng lượng vi từ, với năm số hạng của năng lượng vi từ:

- **Năng lượng trao đổi**
- **Năng lượng dị hướng**
- **Năng lượng tĩnh từ**
- **Năng lượng Zeeman**
- **Năng lượng từ giảo**

Để chính xác hóa việc xác định cấu trúc đômen, các tính toán về năng vi từ còn được kết hợp với việc giải phương trình Landau-Lifshitz-Gilbert.

Vách đômen

Vách đômen (domain wall) là vùng chuyển tiếp ngăn cách giữa 2 đômen từ liền kề nhau. Giữa hai đômen từ, mômen từ không thể đột ngột biến đổi về chiều vì sẽ dẫn đến trạng thái kém bền do đó hình thành nên vùng chuyển tiếp là các vách đômen. Trong các vách đômen, mômen từ biến đổi về chiều dần dần từ chiều của đômen này tới đômen kia. Tùy theo sự định hướng mà sẽ có thể có 2 kiểu vách đômen từ chính:



Ví dụ về vách đômen: vách 180° và vách 90°

- **Vách Bloch**: Là cấu hình vách tồn tại trong các vật liệu khối hoặc màng dày, có các mômen từ trong vách phân bố trong không gian 3 chiều.
- **Vách Néel**: Là loại vách đômen hình thành trong các màng mỏng từ (khi kích thước một chiều bị hạn chế), các mômen từ sắp xếp trong một mặt phẳng.

Các nghiên cứu về vách đômen đang là một chủ đề thu hút nhiều nghiên cứu bởi triển vọng ứng dụng trong các linh kiện spintronic điều khiển bằng vách đômen. Trong các linh kiện này, thông tin được mã hóa nhờ sự vận chuyển của các vách đômen trong các cấu trúc nano từ tính (các dây nano, các chấm nano...), có khả năng tạo ra các cổng logic, các bộ nhớ, máy phát chất lượng cao.

Kỹ thuật quan sát đômen và vách đômen

- Kỹ thuật sử dụng ánh sáng khả kiến: có thể là phương pháp cổ điển nhũ tương ảnh (phương pháp Bitter) hoặc phương pháp sử dụng hiệu ứng quanh từ Kerr. Hạn chế của nhóm kỹ thuật này là độ phân giải không cao, bị giới hạn bởi hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng nên cho độ phân giải cỡ vài trăm nanomet.
- Kỹ thuật sử dụng kính hiển vi quét đầu dò: là các kỹ thuật sử dụng kính hiển vi lực từ, kính hiển vi quét chui hầm có phân tích phân cực (SP-STM)... Các kỹ thuật này cho độ phân giải tốt (tốt nhất là SP-STM), nhưng hạn chế bởi tốc độ ghi ảnh rất thấp.
- Kỹ thuật sử dụng chùm điện tử: là các kỹ thuật trong các kính hiển vi điện tử có thể là kính hiển vi Lorentz, kính hiển vi điện tử quét có phân tích phân cực, toàn ảnh điện tử. Các kỹ thuật này có ưu điểm ở độ phân giải cao, tốc độ tốt, nhưng chỉ sử dụng cho mẫu mỏng.
- Kỹ thuật sử dụng chùm bức xạ kết hợp: sử dụng một bức xạ kết hợp (thường là tia X) có phân cực từ kích thích mẫu phát xạ ra các photon, điện tử thứ cấp từ đó tạo ra ảnh cấu trúc từ. Ưu điểm là nhanh, độ phân giải khá tốt, nhưng hay bị nhiễu và đòi hỏi nguồn bức xạ kết hợp.

- Các kỹ thuật khác...

Xem thêm

- Sắt từ
- Kính hiển vi điện tử truyền qua
- Từ độ
- Đơn đômen

Tài liệu tham khảo

1. ^ Buschow K.H.J, de Boer F.R. (2004). *Physics of Magnetism and Magnetic Materials*. Kluwer Academic / Plenum Publishers. ISBN 0-306-48408-0.
2. ^ De Graef M. (2003). *Introduction to Conventional Transmission Electron Microscopy*. Cambridge University Press. ISBN 0-521-62995.
3. ^ J N Chapman, "The investigation of magnetic domain structures in thin foils by electron microscopy", J. Phys. D: Appl. Phys. 17 (1984) 623-647. [1]
4. ^ K.H. Stewart (1954). *Ferromagnetic domains*. Cambridge University Press. ISBN.

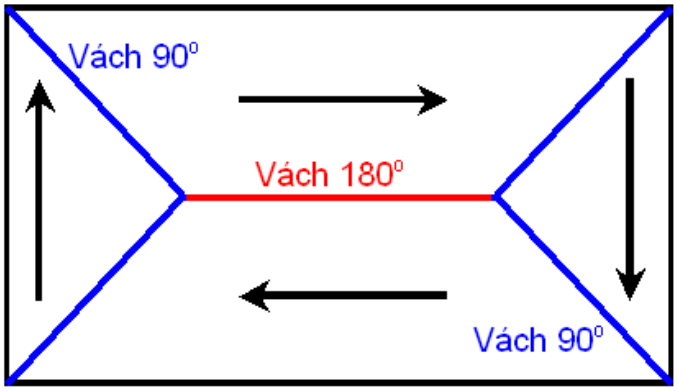
Chú thích

[1] http://www.iop.org/EJ/abstract/0022-3727/17/4/003

Vách đômen

Vách đômen là khái niệm sử dụng trong vật lý học, có thể là hai khái niệm độc lập:

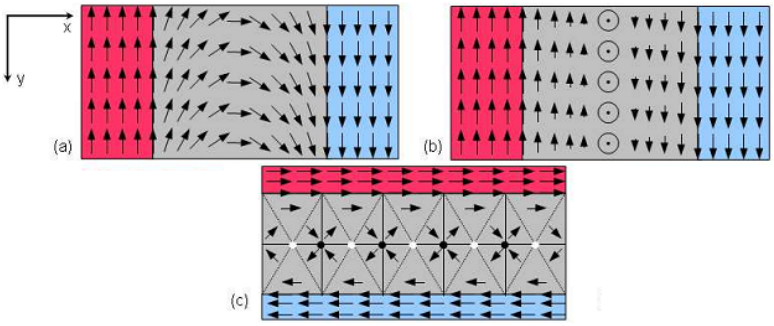
- Vách đômen trong ngành từ học là một sai hỏng về cấu trúc từ, ngăn cách giữa hai đômen từ trong các vật liệu sắt từ;
- Vách đômen trong Lý thuyết dây là một điểm kì dị hai chiều.



Ví dụ về vách đômen phân chia theo góc: vách 180° và vách 90°.

Vách đômen trong từ học

Vách đômen là một vách ngăn giữa 2 đômen từ mà ở trong vách các mômen từ quay một cách đều đặn từ chiều từ độ ở đômen từ này, sang chiều của từ độ ở đômen liền kề. Sự hình thành của các vách đômen là sự cực tiểu hóa các năng lượng vi từ của hệ các mômen từ. Năng lượng của vách đômen chi phối chủ yếu bởi năng lượng trao đổi, và năng lượng dị hướng từ tinh thể.



Cấu hình mômen từ trong một số loại vách đômen trong mặt phẳng màng mỏng từ: (a) vách Néel, (b) vách Bloch và (c) vách cross-tie.

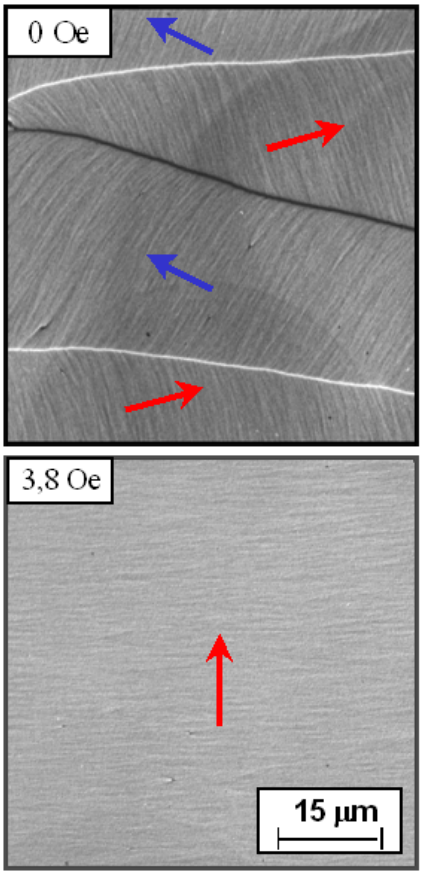
Tùy theo cách phân bố các mômen từ này mà có thể có các cách phân loại vách khác nhau. Cách phân loại vách đômen đơn giản là theo góc giữa 2 đômen liền kề, ví dụ vách 180^o là vách ngăn cách giữa 2 đômen có từ độ hướng ngược chiều nhau, vách 90^o là vách giữa 2 đômen có từ độ hướng vuông góc với nhau. Nhưng cách phân biệt phổ biến nhất là theo kiểu vách Bloch, vách Néel và vách cross-tie phụ thuộc vào chiều dày của vật liệu.

Các kiểu vách đômen

Vách Bloch

:Là kiểu vách đômen thường hình thành trong các vật liệu khối hoặc trong các màng dày mà ở trong vách đômen mômen từ quay trong không gian 3 chiều từ hướng của đômen này sang hướng của đômen từ khác, chiều của từ độ trong vách vuông góc với mặt phẳng chứa từ độ trong hai đômen thành phần. Tên của loại vách này được đặt theo nhà vật lý người Thụy Sĩ Felix Bloch, người lần đầu tiên giả thuyết về vách đômen và xây dựng lý thuyết về loại vách này vào năm 1932 [1] .

Độ dày của vách đômen loại vách Bloch được xác định bởi[2] :



Ảnh chụp hiển vi Fresnel tương phản các vách đômen từ (trắng - đen) trong màng mỏng NiFe. Vách đômen sẽ bị dịch chuyển trong quá trình từ hóa tạo nên sự bão hòa từ.

$$\delta = \pi \times \sqrt{\frac{A\sigma^2}{\beta K_1 a}}$$

với:

A là hằng số trao đổi, σ là mật độ năng lượng vách,

a là hằng số mạng, β là hệ số tỉ lệ ($0 < \beta < 1$).

Vách Néel

Là kiểu vách chỉ xuất hiện trong các màng mỏng từ (có chiều dày nhỏ dưới một giới hạn), mà ở đó, các mômen từ trong vách quay trong mặt phẳng màng một cách đều đặn từ chiều của đômen này sang chiều của đômen khác. Cấu trúc của vách Néel chi phối chủ yếu bởi năng lượng trao đổi và năng lượng tĩnh từ. Trong cách màng mỏng, vì độ dày của màng rất nhỏ, trường khử từ theo phương vuông góc với màng rất lớn, khiến cho các mômen từ không thể hướng ra ngoài mà buộc phải nằm trong mặt phẳng màng. Chiều dày của vách Néel phụ thuộc vào hằng số của vật liệu, và chiều dày của màng.

Giả thuyết về vách Néel sinh ra sau giả thuyết về vách Bloch, và được đặt tên theo nhà vật lý học người Pháp Louis Eugène Félix Néel [3] .

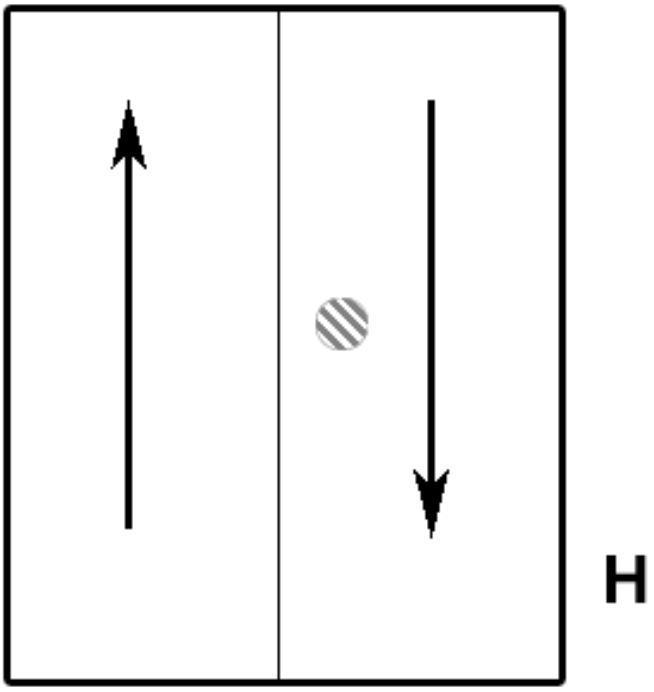
Vách cross-tie

Là loại vách đômen "trung gian" giữa 2 loại Néel và Bloch. Nếu như vách Bloch chỉ xuất hiện trong các màng dày (vật liệu 3 chiều), vách Néel xuất hiện trong các màng rất mỏng (2 chiều) thì vách cross-tie xuất hiện trong các màng mỏng có chiều dày trung bình (nằm giữa 2 giới hạn. Vách cross-tie có cấu hình mômen từ pha trộn cả 2 loại: ở bên rìa ngoài thì biến đổi theo vách Néel, trung tâm thì có từ độ hướng vuông góc như vách Bloch [4].

Sự dịch chuyển của vách đômen

:Vách đômen có thể dịch chuyển trong quá trình từ hóa (dưới sự tác dụng của từ trường ngoài). Sự dịch chuyển của các vách đômen dẫn đến sự thay đổi các tính chất từ của vật liệu mà cụ thể ở đây là ảnh hưởng lên quá trình từ hóa. Cơ chế dịch chuyển của các vách đômen trong quá trình từ hóa giải thích các tính chất từ vi mô của vật liệu.

Vách đômen có thể dịch chuyển dưới sự tác dụng của dòng điện và dòng điện tử phân cực spin do khi truyền qua vách đômen, spin của điện tử sẽ tương tác với mômen từ trong vách, tạo nên các mômen quay đẩy các vách dịch chuyển [5], [6].



Sự dịch chuyển của vách đômen khi gặp các tâm hãm tạo nên hiệu ứng bước nhảy Barkhausen trong các vật liệu từ.

Quan sát các vách đômen và ứng dụng của vách đômen

Vách đômen có thể quan sát bằng nhiều phương pháp khác nhau, có thể phân chia các phương pháp này dựa trên công cụ sử dụng cho việc quan sát:

- Quan sát bằng ánh sáng khả kiến: hiệu ứng quang từ Kerr(MOKE), phương pháp nhũ tương ảnh Bitter;
- Quan sát bằng các kính hiển vi quét đầu dò: sử dụng kính hiển vi lực từ, kính hiển vi quét chui hầm có công cụ phân tích spin (SP-STM);
- Quan sát bằng chùm nguồn synchrotron: sử dụng kỹ thuật hiển vi phát xạ điện tử với nguồn kích thích là các tia X phân cực tròn;
- Quan sát bằng chùm điện tử: Kính hiển vi điện tử quét có phân tích phân cực, Kính hiển vi điện tử truyền qua, toàn ảnh điện tử;

Tài liệu tham khảo

[1] Z. Phys. F. Bloch, 74 (1932) 295 (http://www.oac.cdlib.org/findaid/ark:/13030/tf2n39n5nt)
[2] ^ K.H. Stewart (1954). *Ferromagnetic domains*. Cambridge University Press. ISBN.
[3] A. Hubert, R. Schäfer, *Magnetic domains: The Analysis of Magnetic Microstructures*, Springer; Corrected edition (November 1, 2008), ISBN-10: 3540641084.
[4] N. Wiese, S. McVitie, J. N. Chapman, A. Capella-Kort, F. Otto, *On the scaling behaviour of cross-tie domain wall structures in patterned NiFe elements*, Eu. Phys. Lett. 80 (2007) 57003. (http://dx.doi.org/10.1209/0295-5075/80/57003)
[5] C.H. Marrow, *Spin-polarised currents and magnetic domain walls*, Adv. Phys. 54 (2005) 585. (http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a741576309~db=all~order=page)
[6] D.A. Allwood, G. Xiong, C.C. Faulker, D. Atkinson, D. Petit, R.P. Cowburn, *Magnetic Domain-Wall Logic*, Science 309 (2005) 1688-1692 (http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/309/5741/1688?maxtoshow=&HITS=10&hits=10&RESULTFORMAT=&andorexacttitleabs=and&andorexactfulltext=and&searchid=1&FIRSTINDEX=0&volume=309&firstpage=1688&resourcetype=HWCIT)

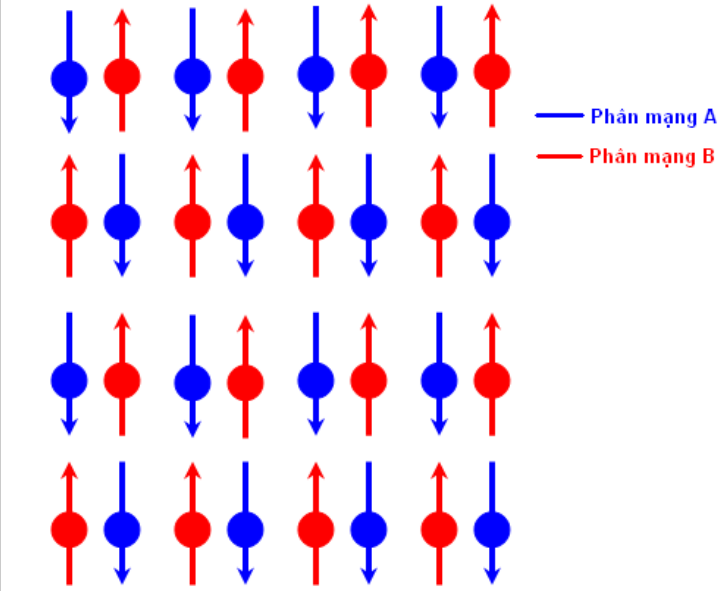
Xem thêm

- Đômen từ
- Kính hiển vi Lorentz
- Sắt từ

Phản sắt từ

Phản sắt từ là nhóm các vật liệu từ có trật tự từ mà trong cấu trúc gồm có 2 phân mạng từ đối song song và cân bằng nhau về mặt giá trị.

Thuật ngữ "*phản sắt từ*" còn được dùng để mô tả tính chất của các vật liệu phản sắt từ, hoặc dùng để chỉ các liên kết spin trong từ học có spin đối song song với nhau. Người ta còn dùng tên "*phản sắt từ bù trừ không hoàn toàn*" cho một nhóm vật liệu có trật tự từ khác là feri từ.



Cấu trúc từ của vật liệu phản sắt từ, gồm 2 phân mạng spin đối song và bằng nhau

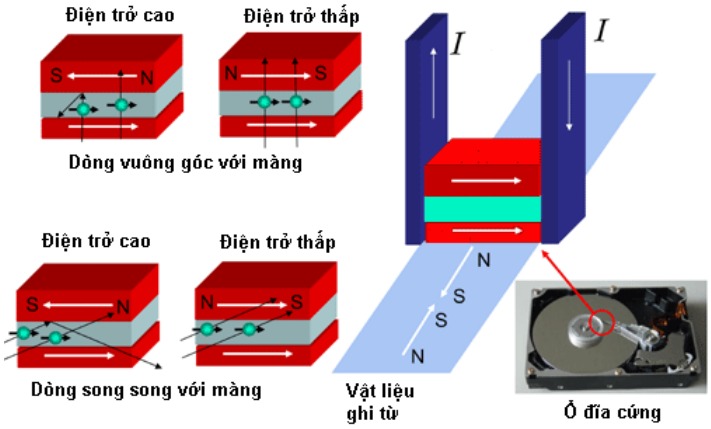
Cơ chế của tính phản sắt từ

Vật liệu phản sắt từ được liệt vào nhóm vật liệu có trật tự từ. Đôi khi, cũng có người gọi vật liệu phản sắt từ là vật liệu phi từ bởi từ tính của chúng cũng yếu. Tính chất phản sắt từ bắt nguồn từ tương tác trao đổi giữa các spin. Nếu như tương tác trao đổi trong các vật liệu sắt từ là tương tác trao đổi dương, làm cho các spin song song nhau thì tương tác trao đổi trong phản sắt từ là tương tác trao đổi âm, làm cho các spin phản song song với nhau. Để nghiên cứu rõ ràng các tính chất của các phân mạng này, phương pháp nhiễu xạ neutron thường được dùng để khảo sát do neutron không có điện tích, nhưng có mômen từ nên gây ra các tán xạ trên các phân mạng từ.

Các tính chất cơ bản

Ở không độ tuyệt đối (0 Kelvin), các spin của vật liệu phản sắt từ sắp xếp đối song song nhau nên từ độ. Nhiệt độ tăng dần dẫn đến việc phá vỡ trật tự từ kiểu phản song song làm tăng độ từ hóa (và độ cảm từ, χ) của vật liệu phản sắt từ. Từ trường ngoài cũng là nguyên nhân phá vỡ trật tự phản song song của vật liệu.

- Nhiệt độ Néel (T_N, đặt theo tên nhà vật lý người Pháp Louis Néel): Là đại lượng đặc trưng của vật liệu phản sắt từ (cũng giống như nhiệt độ Curie trong chất sắt từ) là nhiệt độ mà tại đó trật tự phản sắt từ bị phá vỡ và vật liệu sẽ chuyển sang tính chất thuận từ. Ở dưới nhiệt độ Néel, vật liệu sẽ mang tính chất phản sắt từ. Nếu ta đo sự phụ thuộc của hệ số từ hóa (độ cảm từ χ) vào nhiệt độ của chất phản sắt từ thì tại nhiệt độ Néel sẽ xuất hiện một cực đại, hay nói cách khác có chuyển pha tại nhiệt độ Néel. Một số chất phản sắt từ điển hình:
  - Crôm - Cr, T_N = 310 K
  - FeO - T_N = 198 K
  - MnO - T_N = 122 K
  - NiO - T_N = 523 K
  - CoO - T_N = 291 K



Liên kết phản sắt từ trong các màng mỏng đa lớp valse spin trong ổ đĩa cứng

Ứng dụng của vật liệu phản sắt từ

- Vật liệu phản sắt từ trong các ứng dụng từ tính thường không được sử dụng độc lập mà thường dùng làm các chất bổ trợ, ví dụ lớp ngăn cách Cr trong các màng đa lớp Fe/Cr có hiệu ứng từ điện trở khổng lồ. Ứng dụng lớn nhất của phản sắt từ là trong các màng van spin (valse-spin) từ điện trở khổng lồ trong các đầu đọc ổ đĩa cứng.
- Liên kết phản sắt từ: Sử dụng trong các cấu trúc màng mỏng đa lớp có các lớp sắt từ xen kẽ bởi các lớp không từ tính hoặc các lớp phản sắt từ làm cho mômen từ giữa các lớp sắt từ sắp xếp phản song song với nhau, thường sử dụng trong các màng từ điện trở.

Xem thêm

- Từ học
- Sắt từ
- Thuận từ
- Từ điện trở khổng lồ
- Nhiệt độ Curie

Tài liệu tham khảo

1. ^ D.C. Jiles (1990). 1st. ed. *Introduction to Magnetism and Magnetic Materials*. Springer; 1 edition (December 31, 1990). ISBN 10 0412386402.
2. ^ Derek Craik (1995). *Magnetism: Principles and Applications*. John Wiley & Sons. ISBN 0 471 92959 X.

Phương trình Landau-Lifshitz-Gilbert

Phương trình Landau-Lifshitz-Gilbert (*Landau-Lifshitz-Gilbert equation*, viết tắt là *phương trình LLG*) là một phương trình vi phân đạo hàm riêng được đặt tên theo các nhà vật lý Lev Landau, Evgeny Lifshitz và T. L. Gilbert mô tả chuyển động hồi chuyển của mômen từ hay độ từ hóa trong chất rắn. Phương trình này được bổ sung bởi Gilbert từ phương trình Landau-Lifshitz nguyên bản.

Phương trình Landau-Lifshitz nguyên bản

Phương trình Landau-Lifshitz được xây dựng bởi hai nhà vật lý Xô Viết là Lev Landau và Evgeny Lifshitz và được công bố vào năm 1935. Phương trình này mô tả chuyển động của độ từ hóa qua đó lý giải về lý thuyết sự tồn tại của các đômen từ[1] :

$$\frac{d\mathbf{M}}{dt} = \gamma\left[\mathbf{M}, \mathbf{H}\right] - \alpha\frac{\gamma}{M}\left[\mathbf{M}, \left[\mathbf{M}, \mathbf{H}\right]\right].$$

Với: α là hệ số tắt dần hiện tượng luận Landau-Lifshitz phụ thuộc vào vật liệu rắn, γ là tỉ số từ cơ của điện tử. ***M, H*** lần lượt là độ từ hóa và từ trường ngoài, ***t*** là thời gian.

Phương trình Landau-Lifshitz-Gilbert đầy đủ

Phương trình Landau-Lifshitz có thể ứng dụng tốt cho việc tính toán các hệ với hệ số tắt dần nhỏ, nhưng lại trở nên sai lệch nhiều khi hệ số tắt dần lớn. Để bổ sung điều này, Gilbert đã sửa đổi lại phương trình này vào năm 1955 và thay đổi hệ số tắt dần bằng hệ số tắt dần khác, và phương trình trở thành[2] , [3] :

$$\frac{d\mathbf{M}}{dt} = \gamma[\mathbf{M}, \mathbf{H}] - \frac{\alpha}{M}\left[\mathbf{M}, \frac{d\mathbf{M}}{dt}\right].$$

Ở đây, α được gọi là hằng số tắt dần Gilbert, và mọi nghiệm của phương trình này đều thỏa mãn phương trình Landau-Lifshitz nguyên bản khi thay γ bởi $\gamma/(1+\alpha^2)$. Phương trình có thể khai triển dưới dạng véctơ như sau:

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = -|\gamma|\vec{M} \times \vec{H}_{\text{eff}} - \frac{|\gamma|\alpha}{M_s}\vec{M} \times (\vec{M} \times \vec{H}_{\text{eff}})$$

Ứng dụng của phương trình LLG

Phương trình LLG là một trong những phương trình cơ bản sử dụng trong các tính toán về vi từ học để xác định trạng thái và cấu hình từ hóa trong các hệ spin. LLG đặc biệt hiệu quả trong các hệ các cấu trúc từ nhỏ. Để xác định trạng thái, người ta còn kết hợp với bài toán xác định năng lượng vi từ của hệ. Hai hệ phần mềm rất thông dụng sử dụng phương trình LLG để mô phỏng trạng thái các cấu trúc từ nhỏ là OOMMF[4] (phát triển bởi Viện Tiêu chuẩn và Công nghệ Quốc gia Hoa Kỳ) và NMAG[5] (phát triển bởi Trường Đại học Southampton, Anh Quốc), và một số nhóm chương trình mô phỏng khác kết hợp với bài toán năng lượng vi từ[6] , [7] .

Tài liệu tham khảo

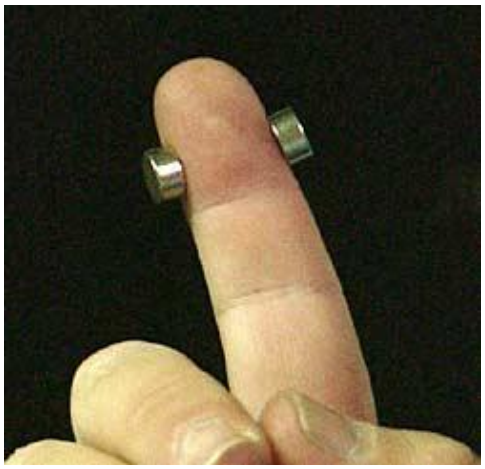
[1] L. D. Landau, E. M., Lifshitz, *Theory of the dispersion of magnetic permeability in ferromagnetic bodies*, Phys. Z. Sowietunion 8 (1935) 153. (http://www.iop.org/EJ/abstract/1063-7869/41/6/A11)
[2] T. L. Gilbert, *A Lagrangian formulation of the gyromagnetic equation of the magnetic field*, Phys. Rev. 100 (1955) 1243.
[3] T. L. Gilbert, *A phenomenological theory of damping in ferromagnetic materials*, IEEE Trans. Mag. 40 (2004) 3443-3449. (http://dx.doi.org/10.1109/TMAG.2004.836740)
[4] OOMMF Project at NIST (http://math.nist.gov/oommf/)
[5] NMAG - Computational micromagnetism (http://nmag.soton.ac.uk/nmag/)
[6] T. Schrefl, J. Fidler, H Kronmüller, *Remanence and coercivity in isotropic nanocrystalline permanent magnets*, Phys. Rev. B 49 (1994) 6100. (http://link.aps.org/abstract/PRB/v49/p6100)
[7] magpar - Parallel Finite Element Micromagnetics Package (http://magnet.atp.tuwien.ac.at/scholz/magpar/)

Xem thêm

- Từ học
- Mômen từ
- Độ từ hóa

Vật liệu từ cứng

Vật liệu từ cứng là vật liệu sắt từ, khó khử từ và khó từ hóa. Ý nghĩa của tính từ "cứng" ở đây chính là thuộc tính khó khử từ và khó bị từ hóa, chứ không xuất phát từ cơ tính của vật liệu từ.



Hình ảnh các nam châm đất hiếm NdFeB - vật liệu từ cứng điển hình

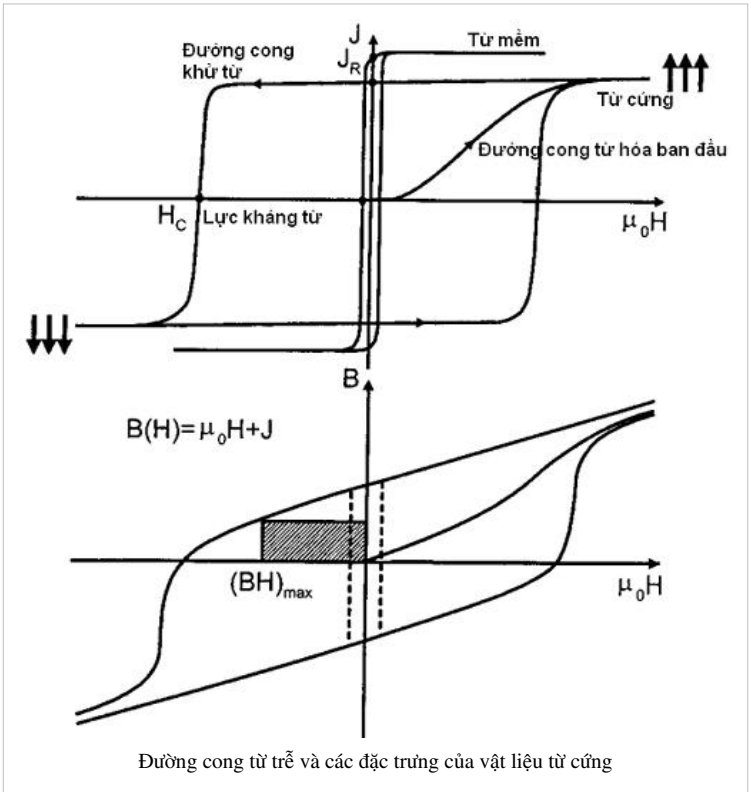
Lịch sử

Vật liệu từ cứng là loại vật liệu từ được phát hiện và sử dụng sớm nhất trong lịch sử loài người. Người Trung Quốc cho rằng từ đời Hoàng Đế (trị vì Trung Hoa từ những năm 2698 TCN đến 2599 TCN), đã chế tạo ra các kim chỉ nam dùng để xác định phương hướng. Đó là các đá nam châm có khả năng hút sắt và định hướng Bắc-Nam. Chính sử đầu tiên ghi chép việc chế tạo các la bàn này là đầu đời Nhà Chu (1046-771 TCN) và la bàn thực sự xuất hiện nhiều là thế kỷ thứ 7 trước công nguyên (đồng thời ở Trung Quốc và Hy Lạp). Các kim chỉ nam trong la bàn là một dạng của vật liệu từ cứng, là các ôxit sắt Fe_3O_4.

Các vật liệu từ cứng thương phẩm dùng để chế tạo nam châm vĩnh cửu xuất hiện lần đầu tiên vào những năm từ 1740 đến 1750 ở châu Âu và thực sự phát triển mạnh từ cuối thế kỷ 19, đầu thế kỷ 20 đến nay.

Các đặc trưng

Vật liệu từ cứng có nhiều đặc trưng từ học, sự phụ thuộc của tính chất từ vào nhiệt độ, độ bền, độ chống mài mòn... Dưới đây liệt kê một số đặc trưng quan trọng.



Đường cong từ trễ và các đặc trưng của vật liệu từ cứng

Lực kháng từ

Lực kháng từ, ký hiệu là H_c là đại lượng quan trọng đặc trưng cho tính từ cứng của vật liệu từ cứng. Vì vật liệu từ cứng là khó từ hóa và khó khử từ, nên ngược lại với vật liệu từ mềm, nó có lực kháng từ cao. Điều kiện tối thiểu là trên 100 Oe, nhưng vật liệu từ cứng phổ biến thường có lực kháng từ cỡ hàng ngàn Oe trở lên. Nguồn gốc của lực kháng từ lớn trong các vật liệu từ cứng chủ yếu liên quan đến đến dị hướng từ tinh thể lớn trong vật liệu. Các vật liệu từ cứng thường có cấu trúc tinh thể có tính đối xứng kém hơn so với các vật liệu từ mềm và chúng có dị hướng từ tinh thể rất lớn.

Lực kháng từ của vật liệu từ cứng thông thường được biết đến qua công thức:

$$H_c = a.\frac{K_1}{I_s} + b(N_1 - N_2)I_s + c.\frac{\lambda_s \tau}{I_s}$$

trong đó:

- Thành phần thứ nhất có đóng góp lớn nhất với K_1 là hằng số dị hướng từ tinh thể bậc 1, I_s là từ độ bão hòa.
- Thành phần thứ 2, đóng góp nhỏ hơn một bậc với N_1, N_2 là thừa số khử từ đo theo hai phương khác nhau.
- Thành phần thứ 3 có đóng góp nhỏ nhất với λ_s là từ giảo bão hòa, τ là ứng suất nội.

Và a, b, c lần lượt là các hệ số đóng góp.

Tích năng lượng từ cực đại

Tích năng lượng cực đại là đại lượng đặc trưng cho độ mạnh yếu của vật từ, được đặc trưng bởi năng lượng từ cực đại có thể tồn trữ trong một đơn vị thể tích vật từ. Đại lượng này có đơn vị là đơn vị mật độ năng lượng $\frac{J}{m^3}$.

Tích năng lượng từ cực đại được xác định trên đường cong khử từ (xem hình vẽ) thuộc về góc phần tư thứ 2 trên đường cong từ trễ, là một điểm sao cho giá trị của tích cảm ứng từ B và từ trường H là cực đại. Vì thế, tích năng lượng từ cực đại thường được ký hiệu là $(B.H)_{max}$.

Vì là tích của B (đơn vị trong CGS là Gauss - G), và H (đơn vị trong CGS là Oersted - Oe), nên tích năng lượng từ còn có một đơn vị khác là GOe (đơn vị này thường dùng hơn đơn vị chuẩn SI trong khoa học và công nghệ vật liệu từ) $1GOe = \frac{8}{1000}\frac{J}{m^3}$.

Để có tích năng lượng từ cao, vật liệu cần có lực kháng từ lớn và cảm ứng từ dư cao.

Cảm ứng từ dư

Cảm ứng từ dư, thường ký hiệu là B_r hay J_r, là cảm ứng từ còn dư sau khi ngắt từ trường (xem hình).

Nhiệt độ Curie

Đây là nhiệt độ mà tại đó vật liệu bị mất từ tính, trở thành chất thuận từ. Một số vật liệu từ cứng được ứng dụng trong các nam châm hoạt động ở nhiệt độ cao nên nó đòi hỏi nhiệt độ Curie rất cao. Loại vật liệu từ cứng có nhiệt độ Curie cao nhất hiện nay là nhóm các vật liệu trên nền SmCo có nhiệt độ Curie từ 500°C đến trên 1000°C.

Mật độ từ tích hiệu dụng

Các phương trình Maxwell (trong hệ đo lường SI) áp dụng cho vật liệu từ cứng, khi không có dòng điện tự do chạy bên trong vật liệu này:

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{0}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = \nabla \cdot \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M}) = 0$$

Ở đây, **B** là cảm ứng từ, **H** là cường độ từ trường, **M** là độ từ hóa. Vậy tồn tại trường vô hướng V_m, gọi là thế vô hướng từ (đóng vai trò tương tự điện thế trong tĩnh điện học), thỏa mãn:

$$\mathbf{H} = -\nabla V_m$$

$$\nabla^2 V_m = -\rho_m$$

với ϱ_m là mật độ từ tích hiệu dụng (đóng vai trò tương tự mật độ điện tích trong tĩnh điện học):

$$\rho_m = -\nabla \cdot \mathbf{M}$$

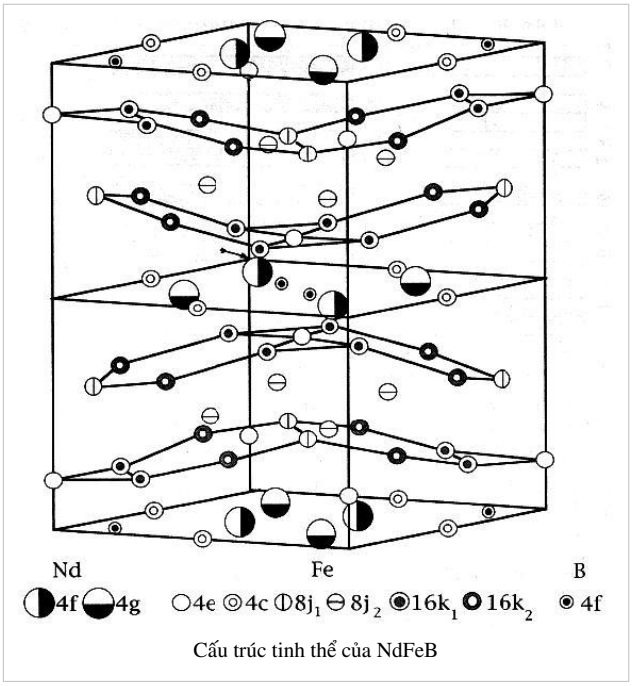
Ứng dụng

Vật liệu từ cứng có thể dùng để chế tạo các nam châm vĩnh cửu hoặc được sử dụng làm vật liệu ghi từ trong các ổ đĩa cứng, các băng từ.

Một số loại

- Hợp kim AlNiCo: Là hợp kim được sử dụng trong nam châm vĩnh cửu, có thành phần chủ yếu là nhôm (Al), niken và côban (Co), có thể có thêm các thành phần phụ gia như đồng (Cu), titan (Ti),... Hợp kim này có từ dư cao, nhưng có lực kháng từ khá nhỏ (thường không vượt quá 2 kOe) và có giá thành cao.

- Vật liệu từ cứng ferrite: Là các gốm ferrite, mà điển hình là ferrite bari (BaFexO), stronsti (SrFexO) và có thể bổ sung các nguyên tố đất hiếm (ví dụ lanthannium (La)) để cải thiện tính từ cứng. Ferrite là vật liệu có 2 phân mạng từ bù trừ nhau, và chứa hàm lượng ôxi lớn nên khó tạo ra từ độ lớn, nhưng lại có lực kháng từ lớn hơn rất nhiều so với AlNiCo. Lực kháng từ của ferrite có thể đạt tới 5 kOe. Ferrite có điểm mạnh là rẻ tiền, chế tạo dễ dàng và có độ bền cao. Vì thế nó chiếm phần lớn thị phần nam châm thế giới (tới hơn 50%) dù có phẩm chất không phải là cao.



Cấu trúc tinh thể của NdFeB

- Các vật liệu từ cứng liên kim loại chuyển tiếp - đất hiếm: Điển hình là hai hợp chất $Nd_2Fe_{14}B$ và họ SmCo (Samarium-Cobalt), là các vật liệu từ cứng tốt nhất hiện nay. Hợp chất Nd2Fe14B có cấu trúc tứ giác, có lực kháng từ có thể đạt tới trên 10 kOe và có từ độ bão hòa cao nhất trong các vật liệu từ cứng, do đó tạo ra tích năng lượng từ khổng lồ. SmCo là loại vật liệu từ cứng có lực kháng từ lớn nhất (có thể đạt tới 40 kOe), và có nhiệt độ Curie rất cao nên thường sử dụng trong các máy móc có nhiệt độ hoạt động cao (nam châm nhiệt độ cao). Tuy nhiên, nhược điểm của các nam châm đất hiếm là có độ bền không cao (do các nguyên tố đất hiếm dễ bị ôxi hóa), có giá thành cao do các nguyên tố đất hiếm có giá thành rất cao, vật liệu NdFeB còn có nhiệt độ Curie không cao lắm (312oC) nên không sử dụng ở điều kiện khắc nghiệt được. Nam châm đất hiếm có tích năng lượng từ kỷ lục là $Nd_2Fe_{14}B$ đạt tới 57 MGOe.
- Hợp kim FePt và CoPt: Bắt đầu được nghiên cứu từ những năm 1950s. Hệ hợp kim này có cấu trúc tinh thể tứ giác tâm diện (fct), thuộc loại có trật tự hóa học L10, có ưu điểm là có lực kháng từ lớn, có khả năng chống mài mòn, chống ôxi hóa rất cao. Loại hợp kim này hiện nay đang được sử dụng làm vật liệu ghi từ trong các ổ cứng.
- Nam châm tổ hợp trao đổi đàn hồi: Loại vật liệu được bắt đầu phát triển từ những thập kỷ 90 của thế kỷ 20, với cấu trúc tổ hợp của 2 loại vật liệu: vật liệu từ mềm cung cấp từ độ bão hòa lớn, vật liệu từ cứng cho lực kháng từ cao, và các hạt tổ hợp ở kích thước nanomet, có liên kết trao đổi với nhau, tạo ra tính chất tổ hợp và sẽ cho loại nam châm mới với tính từ cứng tuyệt vời, lớn hơn tất cả các vật liệu từ cứng đã biết. Tuy nhiên, vào thời điểm hiện tại, các tính chất đạt được trong thực tế còn thua xa dự đoán lý thuyết do chưa tạo được cấu trúc hoàn hảo như dự đoán. Loại vật liệu này vẫn trong giai đoạn nghiên cứu phát triển.

Xem thêm

- Từ học
- Sắt từ
- Vật liệu từ mềm
- Magnet [1]

Liên kết ngoài

- Hard magnets in University of Birmingham [2]
- Bài viết về vật liệu từ cứng và từ mềm trên Diễn đàn Vật lý Việt Nam [3]

Tài liệu tham khảo

1. ^ Buschow K.H.J, de Boer F.R. (2004). *Physics of Magnetism and Magnetic Materials*. Kluwer Academic / Plenum Publishers. ISBN 0-306-48408-0.
2. ^ Robert C. O'Handley (1999). *Modern Magnetic Materials: Principles and Applications*. Wiley-Interscience. ISBN-13 978-0471155669.
3. ^
4. ^

Chú thích

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Magnet
[2] http://www.aacg.bham.ac.uk/magnetic_materials/hard_magnets.htm
[3] http://www.vatlyvietnam.org/forum/showthread.php?t=1190

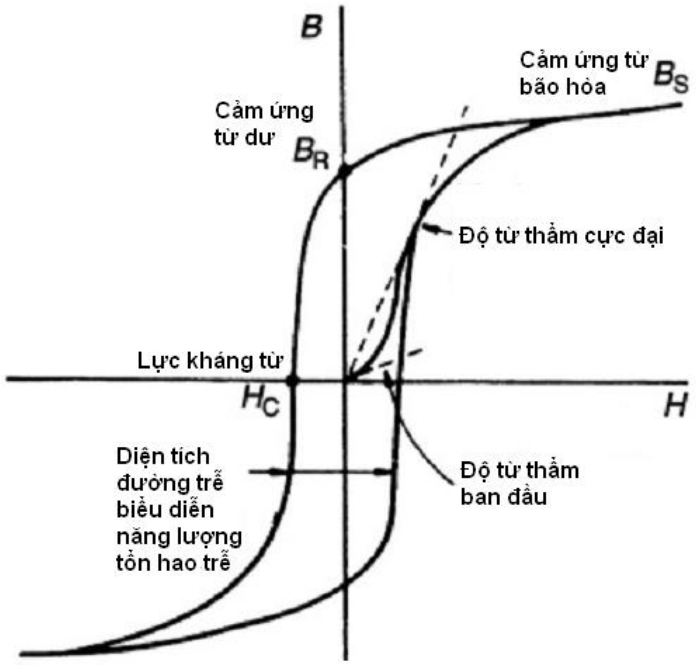
Vật liệu từ mềm

Vật liệu từ mềm, hay *vật liệu sắt từ mềm* (tiếng Anh: *Soft magnetic material*) là vật liệu sắt từ, "mềm" về phương diện từ hóa và khử từ, có nghĩa là dễ từ hóa và dễ khử từ. Vật liệu sắt từ mềm thường được dùng làm vật liệu hoạt động trong trường ngoài, ví dụ như lõi biến thế, lõi nam châm điện, các lõi dẫn từ...

Các thông số của vật liệu từ mềm

* Thông số quan trọng đầu tiên để nói lên tính chất từ mềm của vật liệu từ mềm là lực kháng từ (coercivity, thường ký hiệu là H_c). Lực kháng từ là từ trường ngoài ngược cần thiết để triệt tiêu từ độ của mẫu. Lực kháng từ của các vật liệu từ mềm phải nhỏ hơn cỡ 100 Oe. Những vật liệu có tính từ mềm tốt, thậm chí có lực kháng từ rất nhỏ (tới cỡ 0,01 Oe).

- Độ từ thẩm ban đầu (intial permeability): Là thông số rất quan trọng nói lên tính từ mềm của vật liệu từ mềm. Độ từ thẩm ban đầu được định nghĩa bởi công thức:



Đường cong từ trễ của vật liệu từ mềm và một số thông số trên đường trễ

$$\mu_i = \lim_{H \to 0} \frac{dB}{dH}$$

Vật liệu từ mềm có độ từ thẩm ban đầu từ vài trăm, đến vài ngàn, các vật liệu có tính từ mềm tốt có thể đạt tới vài chục ngàn, thậm chí hàng trăm ngàn. Chú ý: Độ từ thẩm (permeability) là đại lượng đặc trưng cho khả năng phản

ứng của vật liệu từ dưới tác dụng của từ trường ngoài. Như ta biết quan hệ giữa cảm ứng từ B, từ trường ngoài H và độ từ hóa M theo công thức:

$B = \mu_0(M + H)$

với $\mu_0 = 4.\pi 10^{-7} T.m/A$ là hằng số từ, hay độ từ thẩm của chân không. H và M quan hệ theo biểu thức:

$M = \chi.H$

χ được gọi là độ cảm từ (magnetic sucseptibility). Như vậy, B có quan hệ với H theo công thức:

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

và giá trị $\mu = (1 + \chi)$ được gọi là độ từ thẩm (hiệu dụng) của vật liệu)

- Độ từ thẩm cực đại (Maximum permeability): Ta biết rằng vật liệu sắt từ không những có độ từ thẩm lớn mà còn có độ từ thẩm là một hàm của từ trường ngoài. Và độ từ thẩm cực đại cũng là một thông số quan trọng. Có những vật liệu sắt từ mềm có độ từ thẩm cực đại rất cao, tới hàng vài trăm ngàn ví dụ như permalloy, hay hợp kim nano tinh thể Finemet...
- Cảm ứng từ bão hòa, B_s hay từ độ bão hòa M_s: Vật liệu từ mềm thường có từ độ bão hòa rất cao. Loại có từ độ cao nhất là hợp kim $Fe_{65}Co_{35}$ có từ độ bão hòa đạt tới 2,34 T.

Các thông số đáng chú ý khác

- Tổn hao dòng xoáy: Như đã biết, vật liệu từ mềm được sử dụng trong từ trường ngoài, và nếu sử dụng trong trường xoay chiều, sẽ sinh ra các dòng điện Foucault gây mất mát năng lượng và tỏa nhiệt. Công suất tổn hao Foucault được tính theo công thức:

$$P_{Foucault} = \frac{4.B_s^2.d^2.k_f^2.f^2}{3.\gamma.\rho}$$

với:

B_s là cảm ứng từ bão hoà của lõi

d : độ dày của lõi

k_f là một hệ số đặc trưng

f : Tần số từ trường xoay chiều

γ : Khối lượng riêng vật liệu

ρ : điện trở suất

Từ công thức này ta lý giải được việc các lõi biến thế tôn Si (FeSi) được chế tạo thành các lá mỏng nhằm làm giảm độ dày, giảm tổn hao dòng xoáy. Đồng thời, lõi FeSi chỉ có thể sử dụng cho biến thế tần số thấp vì ở tần số cao, tổn hao sẽ rất lớn (do FeSi có điện trở suất thấp), trong khi các vật liệu gốm ferrite có thể sử dụng ở các tần số rất cao do chúng có bản chất gốm, có điện trở suất rất lớn, làm giảm tổn hao dòng xoáy.

- Tổn hao trễ (Hysteresis Loss): Khi vật liệu từ mềm được sử dụng trong trường ngoài, nó sẽ bị từ hóa và tạo ra chu trình trễ, và sẽ có năng lượng bị tổn hao cho việc từ hóa vật liệu
- Đặc trưng tần số: Khi sử dụng ở tần số càng cao, phẩm chất của vật liệu càng bị suy giảm, do đó sự thay đổi của phẩm chất theo tần số là một thông số rất đáng quan tâm.
- Từ giảo: Về mặt bản chất, từ giảo là sự thay đổi hình dạng vật liệu từ dưới tác dụng của từ trường ngoài. Việc khử từ giảo giúp cho việc tạo ra tính từ mềm tốt. Có những vật liệu có từ giảo bằng 0 như vật liệu vô định hình nền Co.

Một số loại vật liệu từ mềm

Ứng dụng của vật liệu từ mềm trong kỹ thuật (Quảng cáo của công ty Hitachi)

* Tôn Silic: Là hợp kim của sắt (khoảng 85%), với Silic (Si), hoặc chứa thêm khoảng 5,4% nhôm (Al), còn được gọi là hợp kim Sendust, là một trong những vật liệu sắt từ mềm được dùng phổ biến nhất có độ cứng cao, có độ từ thẩm cao và tổn hao trễ thấp. Tuy nhiên, vật liệu này trên nền kim loại, nên có điện trở suất thấp, do đó không thể sử dụng ở tần số cao do sẽ làm xuất hiện tổn hao xoáy lớn.

- Hợp kim Permalloy

Là hợp kim của niken (Ni) và sắt (Fe), có lực kháng từ rất nhỏ, độ từ thẩm rất cao (vật liệu $Ni_{75}Fe_{25}$có độ từ thẩm ban đầu lớn tới 10000), có độ bền cơ học và khả năng chống ăn mòn cao. Tuy nhiên, permalloy có từ độ bão hòa không cao.

- Hợp kim FeCo: là các hợp kim từ mềm có từ độ bão hòa cao, nhiệt độ Curie cao
- Các vật liệu gốm ferrite: Là hợp chất của ôxit Fe (Fe_2O_3) với một ôxit kim loại hóa trị 2 khác, có công thức chung là $MO.Fe_2O_3$. Các ferrite mang bản chất gốm, nên có điện trở suất rất cao nên tổn hao dòng xoáy của ferrite rất thấp, được dùng cho các ứng dụng cao tần và siêu cao tần.
- Hợp kim vô định hình và nanô tinh thể:

Là các hợp kim nền sắt hay cô ban (Co), ở trạng thái vô định hình, do đó có điện trở suất cao hơn nhiều so với các hợp kim tinh thể, đồng thời có khả năng chống ăn mòn, độ bền cơ học cao, và có thể sử dụng ở tần số cao hơn so với các vật liệu tinh thể nền kim loại. Vật liệu vô định hình không có cấu trúc tinh thể, nên triệt tiêu dị hướng từ tinh thể, vì thế nó có tính từ mềm rất tốt. Vật liệu vô định hình nền Co còn có từ giảo bằng 0 nên còn có lực kháng từ cực nhỏ. Khi kết tinh từ trạng thái vô định hình, ta có vật liệu nano tinh thể, là các hạt nanô kết tinh trên nền vô định hình dư, triệt tiêu từ giảo từ tổ hợp hai pha vô định hình và tinh thể nên có tính từ mềm cực tốt và có thể sử dụng ở tần số cao. Vật liệu từ mềm nano tinh thể thương phẩm tốt nhất là [FINEMET] ($Fe_{73,5}Si_{13,5}B_9Nb_3Cu_1$) được phát minh bởi Yoshizawa (Hitachi Metal Ltd, Nhật Bản) năm 1988 và nhiều thế hệ khác được phát triển sau đó.

- Và nhiều loại khác...

Ứng dụng của vật liệu từ mềm

- Lõi biến thế, lõi dẫn từ, cuộn cảm
- Nam châm điện
- Cuộn chặn, cảm biến đo từ trường
- ...

Xem thêm

- Từ học
- Vật liệu từ cứng
- Sắt từ
- Bài viết về vật liệu từ mềm trên Diễn đàn Vật lý Việt Nam [3]

Liên kết ngoài

- http://www.aacg.bham.ac.uk/magnetic_materials/soft_magnets.htm
- http://www.hitachi-metals.co.jp/e/prod/prod02/p02_22.html

Tài liệu tham khảo

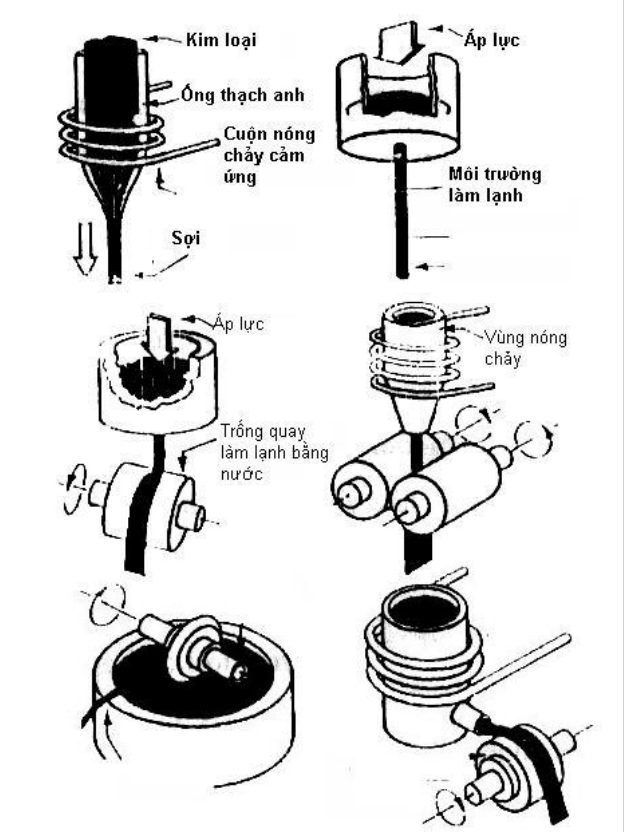
1. ^ Buschow K.H.J, de Boer F.R. (2004). *Physics of Magnetism and Magnetic Materials*. Kluwer Academic / Plenum Publishers. ISBN 0-306-48408-0.
2. ^
3. ^

Công nghệ nguội nhanh

Công nghệ nguội nhanh (tiếng Anh: ***rapid cooling, melt-spinning***) hay còn được gọi là phương pháp làm lạnh nhanh hoặc tôi nhanh (***rapid quenching***) là một công nghệ luyện kim dùng để chế tạo các băng hợp kim hoặc kim loại vô định hình bằng cách làm lạnh nhanh hợp kim nóng chảy với tốc độ thu nhiệt rất lớn (từ 10^4 K/s đến 10^7 K/s).

Nguyên tắc chung

Tốc độ làm lạnh được xác định bằng công thức:



Nguyên lý phương pháp nguội nhanh trên trống quay

$$R_C = \frac{T_m - T_c}{\Delta t}$$

với T_m, T_c lần lượt là nhiệt độ của hợp kim nóng chảy, và nhiệt độ của môi trường làm lạnh, Δt là thời gian thu nhiệt. Nguyên tắc chung của phương pháp nguội nhanh là dùng một môi trường làm lạnh thu nhiệt nhanh của hợp kim nóng chảy, giữ cấu trúc của hợp kim hóa rắn giống như trạng thái của chất lỏng (trạng thái vô định hình).

- Môi trường làm lạnh có thể là các khối kim loại quay nhanh, hoặc các khí hóa lỏng (nitơ lỏng, hêli lỏng...).
- Để tạo cho tốc độ thu nhiệt rất nhanh, môi trường thu nhiệt phải vừa có khả năng hấp thụ nhiệt lớn đồng thời phải tạo sao cho hợp kim lỏng chỉ tiếp xúc trong thời gian rất ngắn (tốc độ thu nhiệt ngắn) nhằm tạo ra tốc độ lớn.

Công nghệ nguội nhanh trên trống quay

Nguyên lý của phương pháp này là dùng một trống quay có bề mặt nhẵn bóng với tốc độ cao làm môi trường thu nhiệt của hợp kim nóng chảy. Hợp kim được làm nóng chảy trong nồi nấu bằng phương pháp nóng chảy cảm ứng bằng dòng điện cao tần. Nồi nấu được thiết kế đặc biệt sao cho ở khe nó có một khe hẹp và đặt gần sát bề mặt trống. Dùng một dòng khí nén (thường là các khí trơ để tránh ôxi hóa) thổi hợp kim nóng chảy lên bề mặt trống quay. Vì miệng vòi phun đặt rất gần mặt trống nên hợp kim bị dàn mỏng và rất dễ bị lấy nhiệt, đồng thời nhờ trống quay với tốc độ cao nên hợp kim vừa bị làm lạnh nhanh, vừa bị dàn mỏng kéo thành băng dài.

Phương pháp nguội nhanh trên trống quay đơn trục

Thời gian thu nhiệt trong phương pháp này rất ngắn (tỉ lệ nghịch với tốc độ quay của trống) chỉ cỡ 10^{-3} đến 10^{-2} giây nên tốc độ làm nguội có thể đạt tới từ 10^4 K/s đến 10^7 K/s, dễ dàng tạo ra các hợp kim vô định hình dạng băng mỏng.

Thiết bị nguội nhanh đơn trục tại Trung tâm Khoa học Vật liệu, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (Hà Nội)

- **Phương pháp nguội nhanh đơn trục**: Là phương pháp nguội nhanh trên trống quay, nhưng sử dụng một trống quay với tốc độ cao, hợp kim được phun trên bề mặt trống nhờ vòi phun đặt sát bề mặt. Độ dày của băng hợp kim phụ thuộc vào 2 yếu tố là khoảng cách từ vòi phun đến mặt trống và tốc độ trống. Phương pháp này dễ tiến hành và giá thành thấp nhưng có một nhược điểm là dễ xảy ra sự sai khác về cấu trúc cũng như tính chất bề mặt ở 2 phía của băng hợp kim đồng thời tính lặp lại về chiều dày của hợp kim thường không cao.
- **Phương pháp hai trục**: Là phương pháp nguội nhanh sử dụng 2 trống quay đặt tiếp xúc với nhau và quay ngược chiều nhau. Hợp kim được làm lạnh giữa 2 khe của bề mặt trống, vừa bị làm lạnh vừa bị cán ép nên có độ dày rất chuẩn xác (chỉ phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai trống và tốc độ trống) đồng thời tính chất ở hai bề mặt sai khác rất thấp. Nhưng điểm khó của phương pháp này là tính đồng bộ giữa hai trống quay.

Điểm quan trọng của phương pháp nguội nhanh là chế tạo các trống quay trên một trục cực kỳ chính xác (độ rung của bề mặt trống rất thấp, chỉ cỡ một vài micromet), đồng thời bề mặt của các trống phải được xử lý rất sạch và nhẵn. Các trống thường được chế tạo bằng các kim loại có khả năng thu nhiệt nhanh và ít bị ôxi hóa. Hai loại vật liệu phổ biến được dùng là đồng và môlipđen. Để chế tạo các băng hợp kim đặc biệt chứa các kim loại dễ bị ôxi hóa, người ta có thể đặt cả hệ trong môi trường bảo vệ (được hút chân không cao, và được nạp các khí bảo vệ).

Lịch sử

Phương pháp nguội nhanh lần đầu tiên được xây dựng vào năm 1960 bởi nhóm của Pol Duwez (P. Duwez, W. Klement Jun, R,H. Willens) ở Viện Công nghệ California (Caltech), chế tạo thành công một loạt hợp kim Eutectic vô định hình như AuSi, AgCu, AgGe...

Ứng dụng công nghệ

Công nghệ nguội nhanh hiện đang được ứng dụng rất rộng rãi để chế tạo các hợp kim dạng băng mỏng có cấu trúc vô định hình. Ưu điểm của nó là đơn giản, giá thành rẻ và kết hợp một cách liên tục các công đoạn của kỹ thuật luyện kim nên dễ dàng được triển khai ở quy mô công nghiệp. Ngày nay, phương pháp nguội nhanh vẫn là một phương pháp phổ biến sử dụng trong cả nghiên cứu khoa học và công nghệ vật liệu, cũng như trong công nghiệp sản xuất vật liệu vô định hình. Tính hữu ích của công nghệ này dẫn đến việc thuật ngữ "nóng chảy-quay" (tiếng Anh là melt-spinning) được dùng là "phương pháp nguội nhanh". Ngoài việc chế tạo hợp kim vô định hình, nó còn là một phương pháp tương tự như phương pháp cán lạnh nên còn được dùng để chế tạo các băng kim loại, hợp kim mỏng. Trong công nghiệp, phương pháp này có thể chế tạo các băng hợp kim (cả vô định hình và không vô định hình) có chiều rộng hàng met và chiều dài hàng vài chục mét với độ dày từ một vài micromet đến vài chục hoặc vài trăm micromet. Nhược điểm của nó là chỉ cho phép chế tạo các hợp kim vô định hình ở dạng băng mỏng, mà không thể tạo ra các hợp kim vô định hình dạng khối.

Tài liệu tham khảo

- H. Jones, "A perspective on the development of rapid solidification and nonequilibrium processing and its future", Mater. Sci. Eng. A 31 (2001) 11-19. [1]
- P. Duwez et al. "Non-crystalline Structure in Solidified Gold–Silicon Alloys", Nature 187 (1960) 869-870 [2]
- P. Duwez et al. "Continuous Series of Metastable Solid Solutions in Silver-Copper Alloys", J. Appl. Phys. 31 (1960) 1136–1137 [3]
- P. Duwez et al. "Metastable Electron Compound in Ag-Ge Alloys", J. Appl. Phys. 31 (1960), p. 1137 [4]

Chú thích

[1] http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TXD-42TC6T2-3&_user=10&_coverDate=05%2F31%2F2001&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=20251527f278402052d0191c9351d042

[2] http://www.nature.com/nature/journal/v187/n4740/abs/187869b0.html;jsessionid=459829654AA7C6F1C9E90EC74CB422F8

[3] http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=JAPIAU000031000006001136000002&idtype=cvips&gifs=yes

[4] http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=JAPIAU000031000006001137000001&idtype=cvips&gifs=yes

FINEMET

FINEMET® là tên một loại vật liệu từ mềm thương phẩm có cấu trúc nanô dựa trên nền hợp kim của sắt có công thức là $Fe_{73,5}Si_{13,5}B_9Nb_3Cu_1$ (tỉ lệ phần trăm nguyên tử). Finemet là một trong những vật liệu từ mềm tốt nhất. Hiện nay, Finemet là thương phẩm từ mềm được giữ bản quyền bởi Hitachi Metals (Nhật Bản) [1] và Metglas (Mỹ) [2] . Tên FINEMET là từ ghép của **Fine met**al, do trong cấu trúc của FINEMET có chứa các hạt kim loại siêu mịn ở kích thước nano.

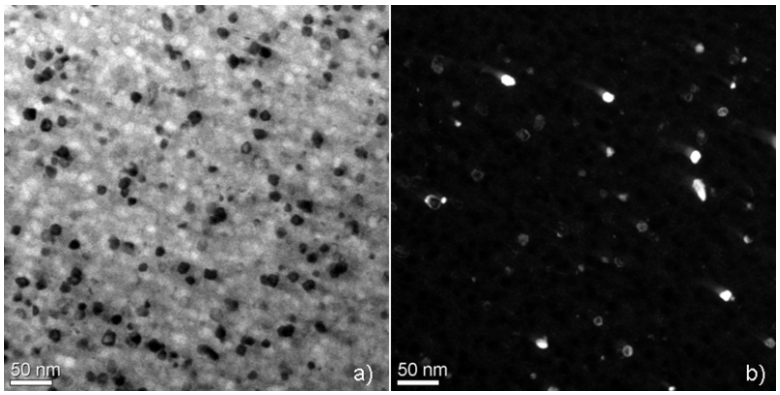
Ứng dụng của vật liệu từ mềm FINEMET trong kỹ thuật (Quảng cáo của công ty Hitachi)

Cấu trúc và tính chất của FINEMET

FINEMET lần đầu tiên được chế tạo và công bố bởi nhóm nghiên cứu của Y. Yoshizawa, S. Oguma, K. Yamauchi (Phòng thí nghiệm Nghiên cứu các vật liệu từ và điện tử, Hitachi Metals, Nhật Bản) vào năm 1988 [3] . Theo bài báo này, Finemet được rút ra từ hệ vật liệu nền sắt có công thức chung là $Fe_{74,5-x}Si_{13,5}B_9Nb_3Cu_x$ với *x* thay đổi từ 0 đến 1,5% tỉ phần nguyên tử, và thành phần cho tính chất tốt nhất với x = 1,0 được phát triển mạnh trở thành thương phẩm và gọi tên là **FINEMET®**. Và FINEMET đã trở thành một vật liệu với tính từ mềm tuyệt vời với nhiều đặc tính lý thú cả về mặt công nghệ cũng như ứng dụng [4] .

Tính chất của FINEMET®

Khi mới chế tạo, FINEMET ở dạng các băng kim loại mỏng, độ dày từ 10 micromet đến vài chục micromet. FINEMET® là vật liệu từ mềm có tính chất từ mềm hoàn hảo, và được xếp vào nhóm các vật liệu từ siêu mềm và khắc phục được những nhược điểm của các vật liệu từ mềm truyền thống:



Ảnh TEM chụp cấu trúc hạt của FINEMET a) ảnh trường sáng, b) ảnh trường tối.

- **Độ từ thẩm cực cao**

  Độ từ thẩm (tương đối) của FINEMET có thể đạt tới vài trăm ngàn lần (tốt nhất) trong số các vật liệu từ mềm có độ từ thẩm cao.

- **Lực kháng từ rất nhỏ**

  Lực kháng từ của FINEMET rất nhỏ, có thể tới mức dưới 1 A/m (tức là xấp xỉ 0,01 Oe)[5] , ngang với mức vật liệu có lực kháng từ nhỏ nhất là Permalloy.

- **Cảm ứng từ** bão hòa cao và khả năng hoạt động ở tần số cao

  Khác với vật liệu siêu mềm permalloy bên cạnh các giá trị độ từ thẩm cao, lực kháng từ cực nhỏ nhưng cảm ứng từ lại rất thấp (dưới 1 T) thì FINEMET lại có cảm ứng từ bão hòa rất lớn từ 1,2 T đến 1,5 T. Không như các loại vật liệu từ mềm nền kim loại khác là không thể làm việc trong từ trường xoay chiều có tần số cao do điện trở suất rất bé (kim loại) thì FINEMET lại có điện trở suất lớn (do được phát triển từ cấu trúc vô định hình) nên có khả năng làm việc trong từ trường xoay chiều có tần số cao (từ cỡ kHz đến MHz) và tổn hao trễ cũng như tổn hao xoáy cực nhỏ. Đặc trưng tần số có FINEMET có thể coi tương đương với vật liệu gốm ferrite chuyên dùng cho cao tần (nhưng phẩm chất của ferrite không tốt).

- Hình dạng đường trễ rất dễ thay đổi và đặc tính cơ học tốt

  Đường cong từ trễ của FINEMET có thể dễ dàng thay đổi nhờ việc ủ trong từ trường. Ngoài ra, FINEMET có khả năng chống ăn mòn (mài mòn cơ học và hóa học) cao, đồng thời rất dẻo dai. Trong công nghiệp, FINMET được chế tạo ở dạng các băng kim mỏng rất dẻo, được cuộn thành từng cuộn có thể dài tới vài chục m và rộng từ vài chục cm đến 1 m.

- Hiệu ứng từ tổng trở khổng lồ

  Gần đây, người ta còn thu được hiệu ứng từ tổng trở khổng lồ (sự thay đổi của tổng trở hoặc độ từ thẩm ngang) trên các băng từ Finemet đạt tới vài trăm % [6] . Tính chất này rất hữu hiệu trong việc tạo ra các sensor đo từ trường siêu nhạy [7] .

Cấu trúc và cơ chế tạo tính từ mềm

FINMET là hợp kim có cấu trúc nanomet với các hạt sắt từ mềm bbc-Fe(Si) (hạt Fe(Si) có cấu trúc lập phương tâm khối) với tỉ phần khoảng 80% thể tích, và 20% còn lại là nền các ma trận vô định hình bao quanh. Tính chất của hợp kim được tạo ra từ do sự tổ hợp tính chất của hai pha tinh thể và vô định hình. Herzer là người đã lý giải thành công cơ chế về tính chất từ mềm trong các hợp kim này [8] :

- **Dị hướng từ hiệu dụng**

Trong hệ các hạt sắt từ siêu mịn, dị hướng từ tinh thể không còn mang giá trị như trong vật liệu khối mà bị hiệu dụng hóa, tỉ lệ với lũy thừa bậc 6 của kích thước hạt:

$$< K >= K_1 \left(\frac{D}{L_{ex}} \right)^6$$

và khi đó, lực kháng từ sẽ tỉ lệ thuận với bậc 6 của kích thước hạt:

$$H_c = p_c \times \frac{K_1^4 \times D^6}{M_s \times A^3}$$

Với:

K_1 là hệ số từ tinh thể bậc 1 của vật liệu khối, **D** là kích thước hạt, **L_{ex}** là độ dài tương tác trao đổi. Tương tự, hệ số từ thẩm thì tỉ lệ nghịch với bậc 6 kích thước hạt. Vì thế, với các hạt mịn 10-20 nm, lực kháng từ trở nên rất nhỏ còn từ thẩm thì trở thành rất lớn.

$$\mu_i = p_\mu . \frac{M_s^2 . A^3}{\mu_0 K_1^4 . D^6}$$

- **Từ giảo bằng 0**

  Từ giảo của FINEMET được tạo ra nhờ tổ hợp từ giảo của hai pha: các hạt nano tinh thể bbc-Fe(Si) với từ giảo bão hòa âm và pha vô định hình với từ giảo bão hòa dương. Ở tỉ phần hợp lý của pha nano tinh thể (theo tính toán thì từ 78-82%) sẽ bù trừ từ giảo, tạo ra từ giảo hoàn toàn bằng 0.

Kỹ thuật chế tạo và các cải tiến từ FINEMET

Kỹ thuật chế tạo

Phương pháp thông dụng nhất để chế tạo FINEMET là kỹ thuật nguội nhanh. Công nghệ nguội nhanh được sử dụng để tạo ra các băng hợp kim vô định hình mỏng. Cấu trúc nano được tạo ra nhờ việc ủ nhiệt thích hợp trong môi trường chân không hoặc môi trường có sử dụng các khí trơ để bảo vệ hợp kim khỏi bị ôxy hóa. Quá trình ủ (thường sử dụng nhiệt độ từ 500^{o}C đến 600^{o}C với thời gian có thể kéo dài từ 30 phút đến 1 giờ) giúp cho việc tái kết tinh hợp kim vô định hình để tạo ra các hạt nano có cấu trúc tinh thể. Quá trình ủ có thể dẫn đến việc hợp kim bị già hóa và độ dẻo dai bị suy giảm. Ngoài ra, người ta có thể tạo trực tiếp cấu trúc nano ngay từ quá trình nguội nhanh bằng cách giảm tốc độ làm nguội và tạo ra quá trình kết tinh khi làm nguội. Tuy nhiên, kỹ thuật này thường khó điều khiển và giảm đi độ đồng nhất của cấu trúc.

Cải tiến từ FINEMET

FINEMET là hợp kim từ mềm đầu tiên sử dụng cấu trúc nano trên nền vô định hình và nhanh chóng được thương mại hóa nhờ những phẩm chất tuyệt vời. Từ sự xuất hiện của FINEMET, người ta đã cải tiến thành phần để tạo ra nhiều loại hợp kim từ mềm có cấu trúc nano với nhiều tính chất đặc biệt hơn:

- **NANOPERM**

  Là hợp kim với các thành phần Fe-M-B với thành phần Fe có thể lên tới 64% nguyên tử, M có thể là Zr-Cu, Hf-Cu..., lần đầu tiên xuất hiện vào năm 1998 theo công bố của nhóm A. Makino (Nhật Bản) [9] . NANOPERM có cảm ứng từ đặc biệt cao (vượt trên 1,5 T), có độ từ thẩm rất lớn (từ *PERM* trong cái tên *NANOPERM* liên quan đến độ từ thẩm cao - PERMEABILITY) và có độ bền cơ học cao hơn FINEMET.

- **HITPERM**

  Là hợp kim tương tự như NANOPERM, nhưng sử dụng một nửa là Co thay thế cho Fe nhờ đó nâng cao được nhiệt độ Curie lên rất lớn. Cái tên *HITPERM* có nghĩa là hợp kim có nhiệt độ Curie cao (trên 1000^{o}C). Thành phần thương mại ban đầu của HITPERM là $(Fe,Co)_{88}Zr_7B_4Cu_1$, lần đầu tiên được tạo ra bởi nhóm nghiên cứu của M. A. Willard (Carnegie Mellon University, Hoa Kỳ)[10] . HITPERM có cấu tạo bởi các hạt nano của pha α-FeCo, nên có nhiệt độ Curie rất cao và cảm ứng từ bão hòa đặc biệt lớn (vượt trên 2 T) nên được sử dụng trong lõi dẫn từ của các động cơ phản lực - nơi đòi hỏi nhiệt độ làm việc rất cao.

Tài liệu tham khảo

[1] Nanocrystalline soft magnetic material FINEMET® (http://www.hitachi-metals.co.jp/e/prod/prod02/p02_21.html)

[2] Finemet Products (http://www.metglas.com/products/page5_2_2.htm)

[3] Y. Yoshizawa, S. Oguma, and K. Yamauchi, *New Fe-based soft magnetic alloys composed of ultrafine grain structure*, J. Appl. Phys. 64, 6044 (1988). (http://link.aip.org/link/?JAPIAU/64/6044/1)

[4] M. E. McHenry, D. E. Laughlin, *Nano-scale materials development for future magnetic applications*, Acta Materialia 48 (2000) 223-238. (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TW8-3YDG01N-F&_user=121723&_coverDate=01/01/2000&_alid=820500214&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_cdi=5556&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=1&_acct=C000009999&_version=1&_urlVersion=0&_userid=121723&md5=e9d13e87446db3218b739aa035bb6f5c)

[5] D.T.H. Gam, N.D. The, N.H. Hai, N. Chau, N.Q. Hoa, Md.S. Mahmud, *Investigation of the nanocrystallization process and the magnetic properties pf Finemet-like Fe73.5Si17.5B5Nb3Cu1*, J. Kor. Phys. Soc. 52 (2008) 1423-1426. (http://direct.bl.uk/bld/PlaceOrder.do?UIN=229722500&ETOC=RN&from=searchengine)

[6] F. Shahri, A. Beitollahi, S.G. Shabestari, M. Ghanaatshoar, M.M. Tehranchi, S.M. Mohseni, S.E. Roozmeh, N. Wanderka, F. Fiorillo, *Structural characterization and magnetoimpedance effect in amorphous and nanocrystalline AlGe-substituted FeSiBNbCu ribbons*, J. Magn. Magn. Mater. 312 (2007) 35-42. (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=820508247&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=40e0a8f83790b941e12a81e454af0e2d)

[7] M. Hauser, L. Kraus, P. Ripka, *Giant magnetoimpedance sensors*, IEEE Inst. Meas. Mag. 4 (2001) 28-32. (http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&arnumber=930983&isnumber=20136)

[8] Herzer, *Grain size dependence of coercivity and permeability innanocrystalline ferromagnets*, IEEE Trans. Magn. 26 (1990) 1397-1402. (http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=104389)

[9] A. Makino, T. Bitoh, J.-I. Murakami, T. Hatanai, A. Inoue and T. Masumoto, *Nanocrystalline soft magnetic Fe-M-B (M = Zr, Hf, Nb) alloys "NANOPERM" with high magnetic induction*, J. Phys. IV France 08 (1998) Pr2-103-Pr2-106. (http://jp4.journaldephysique.org/articles/jp4/abs/1998/02/jp4199808PR224/jp4199808PR224.html)

[10] M. A. Willard, M.-Q. Huang, D. E. Laughlin, M. E. McHenry, J. O. Cross, V. G. Harris, C. Franchetti, *Magnetic properties of HITPERM (Fe, Co)88Zr7B4Cu1 magnets*, J. Appl. Phys. 85, 4421 (1999). (http://link.aip.org/link/?JAPIAU/85/4421/1)

Xem thêm

- Vật liệu từ mềm
- Permalloy
- Công nghệ nguội nhanh

Liên kết ngoài

- Metglas (http://www.metglas.com/index.asp)
- Hitachi Metals, Ltd (http://www.hitachi-metals.co.jp/e/index.html)

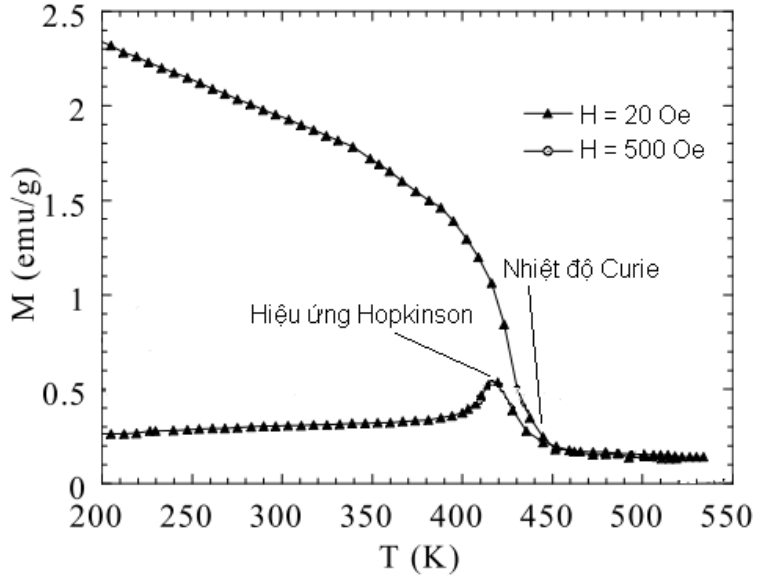
Hiệu ứng Hopkinson

Hiệu ứng Hopkinson là là hiện tượng bão hòa từ trong từ trường thấp trong các vật liệu sắt từ ở gần nhiệt độ Curie do quá trình quay thuận nghịch. Hiệu ứng Hopkinson chỉ xảy ra trong các vật liệu sắt từ có tồn tại dị hướng từ tinh thể.

Hiệu ứng Hopkinson còn được định nghĩa khác là hiệu ứng mà độ từ thẩm của chất sắt từ đạt cực đại ở gần nhiệt độ Curie [1] .

Mô tả hiệu ứng

Hiệu ứng Hopkinson chỉ xảy ra trong các vật liệu sắt từ có tồn tại dị hướng từ tinh thể và xảy ra ở gần nhiệt độ Curie. Khi đó, quá trình từ hóa vật liệu là quá trình quay thuận nghịch, và từ trường quan hệ với từ độ **M**, dị hướng từ tinh thể bậc một $\mathbf{K_1}$ theo biểu thức:



Hiệu ứng Hopkinson quan sát trên đường cong từ độ phụ thuộc nhiệt độ của chất sắt từ: Hiệu ứng Hopkinson tương ứng với cực đại của từ độ gần nhiệt độ Curie, và biến mất khi đo trong từ trường lớn

$$H = \frac{2K_1}{M_s}[2(\frac{M}{M_s})^2 - 1]$$

với $\mathbf{M_s}$ là từ độ bão hòa. Khi nhiệt độ tăng đến gần nhiệt độ Curie, dị hướng từ tinh thể bậc một $\mathbf{K_1}$ giảm nhanh hơn từ độ bão hòa rất nhiều nên chỉ cần một từ trường **H** rất nhỏ cũng đủ để bão hòa từ. Nếu ta đo đường cong từ độ phụ thuộc vào nhiệt độ (gọi là đường cong từ nhiệt) trong từ trường nhỏ thì khi xảy ra hiệu ứng Hopkinson, ta sẽ quan sát thấy từ độ đạt giá trị cực đại trước khi giảm nhanh xuống giá trị nhỏ tại nhiệt độ Curie. Tuy nhiên, hiệu ứng Hopkinson biến mất khi đo trong từ trường lớn.

Ứng dụng của hiệu ứng Hopkinson

Hiệu ứng Hopkinson được đặt tên theo người phát hiện ra nó là nhà vật lý học người Pháp John Hopkinson, phát hiện lần đầu tiên vào năm 1885.Hiệu ứng Hopkinson là hiệu ứng thuần túy vật lý, mang tính chất cơ bản, chưa từng được ứng dụng trong công nghệ, thường được dùng để xác định các đặc tính của vật liệu sắt từ. Hiệu ứng Hopkinson là bằng chứng khẳng định sự tồn tại của dị hướng từ tinh thể, xác định các tính chất chuyển pha , các tính chất định hướng trong vật liệu, hệ đơn đômen, đa đômen và xác định nhiệt độ Curie, [2] , [3]

Xem thêm

- Sắt từ
- Dị hướng từ tinh thể
- Nhiệt độ Curie
- Hiệu ứng từ nhiệt

Tài liệu tham khảo

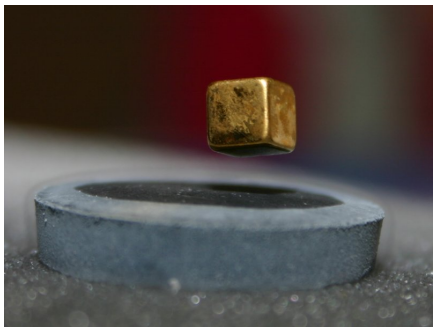
[1] http://www.answers.com/topic/hopkinson-effect?cat=technology

[2] N.S. Gajbhiye et al. IEEE Transaction on Magnetics 35 (1999) 2155-2161 (http://ieeexplore.ieee.org/iel5/20/16804/00774187.pdf?tp=&isnumber=&arnumber=774187)

[3] Hae-Woong Kwon, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 239 (2002) 447-449 (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TJJ-45NGBFX-4K&_user=121723&_coverDate=02/28/2002&_alid=598817946&_rdoc=1&_fmt=full&_orig=search&_cdi=5312&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=1&_acct=C000009999&_version=1&_urlVersion=0&_userid=121723&md5=e915f5ea27f7fa019bcb5d2301550ecf#bib1)

Hiệu ứng Meissner

Hiệu ứng Meissner hay **hiệu ứng Meissner-Ochsenfeld** là hiệu ứng từ thông bị đẩy ra hoàn toàn khỏi bên trong của vật siêu dẫn. Hiện tượng này là hiện tượng nghịch từ hoàn hảo (en:Superdiamagnetism). Từ thông sinh ra bởi vật siêu dẫn bù trừ hoàn toàn từ thông ở môi trường ngoài. Do đó, từ thông bên trong vật siêu dẫn bằng 0. Hiện tượng này được khám phá bởi hai nhà vật lý người Áo Walther Meissner và người Đức Robert Ochsenfeld vào năm 1933.



Một nam châm được nâng trên mặt một vật liệu siêu dẫn nhúng trong nitơ lỏng lạnh tới −200°C, thể hiện hiệu ứng Meissner

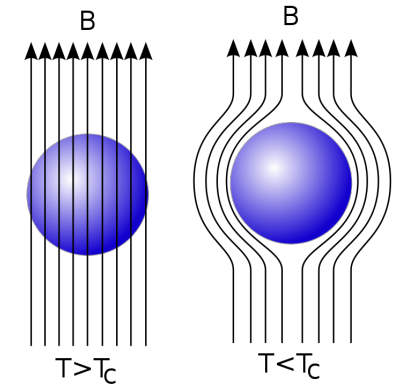
Lý giải

Xem thêm

- Dòng điện Phucô

Liên kết ngoài

- Hiệu ứng Maixnơ trên BKTT VN [1]



Hiệu ứng Meissner.
Đường từ thông đi thẳng khi T>Tc: nhiệt độ trên nhiệt độ critical
Đường từ thông đi vòng khi T<Tc: nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ critical

Chú thích

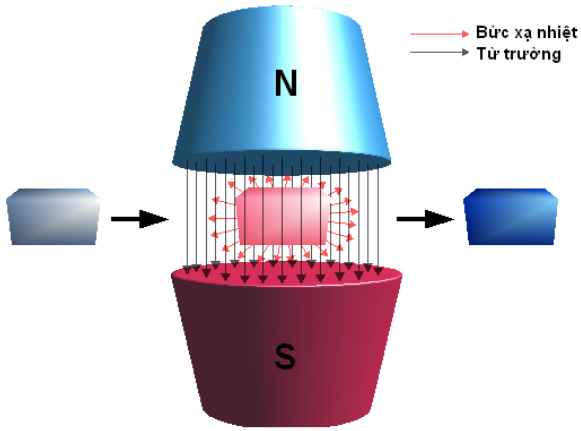
[1] http://dictionary.bachkhoatoanthu.gov.vn/default.aspx?param=24D9aWQ9OTc4MCZncm91cGlkPSZraW5kPWV4YWN0JmtleXdvcmQ9SEklZTElYmIlODZVKyVlMSViYiVhOE5HK01BSVhOJWM2JWEw&page=1

Hiệu ứng từ nhiệt

Hiệu ứng từ nhiệt là một hiện tượng nhiệt động học từ tính, là sự thay đổi nhiệt độ (bị đốt nóng hay làm lạnh) của vật liệu từ trong quá trình từ hóa hoặc khử từ. Hiệu ứng từ nhiệt thực chất là sự chuyển hóa năng lượng từ - nhiệt trong các vật liệu từ.

Sơ lược về hiệu ứng từ nhiệt

Khi ta đặt một từ trường vào một vật liệu từ, các mômen từ sẽ có xu hướng sắp xếp định hướng theo từ trường. Sự định hướng này làm giảm entropy của hệ mômen từ. Nếu ta thực hiện quá trình này một cách đoạn nhiệt (tổng entropy của hệ vật không đổi) thì entropy của mạng tinh thể sẽ phải tăng để bù lại sự giảm của entropy mômen từ. Quá trình này làm cho vật từ bị nóng lên. Ngược lại, nếu ta khử từ (đoạn nhiệt), các mômen từ sẽ bị quay trở lại trạng thái bất trật tự, dẫn đến việc tăng entropy của hệ mômen từ. Do đó, entropy của mạng tinh thể bị giảm, và vật từ bị lạnh đi.



Nguyên lý hiệu ứng từ nhiệt - Từ trường làm định hướng các mômen từ, làm thay đổi entropy của hệ các mômen từ

Hiệu ứng từ nhiệt lần đầu tiên được phát hiện năm 1881 bởi E. Warburg khi tiến hành từ hóa sắt tạo ra sự thay đổi nhiệt độ từ 0,5 đến 2 K cho một T biến thiên từ trường.

Hiệu ứng này được phát triển và giải thích nguyên lý bởi Debye (năm 1926) và Giauque năm 1927. Theo đó, từ có hệ thức Maxwell, ta có biến thiên entropy của hệ:

$$TdS = T(\frac{\partial S}{\partial T})_H dT + T(\frac{\partial S}{\partial H})_T dH$$

$$\frac{\partial S}{\partial H} = (\frac{\partial M}{\partial T}$$

và ta có: $dS = (\frac{\partial S}{\partial T})_H dT + (\frac{\partial M}{\partial T})_T dH$

Số hạng thứ nhất tương ứng có $C = \frac{\partial S}{\partial T}$ là nhiệt dung. Số hạng thứ hai chính là biến thiên entropy từ: $dS_m(\frac{\partial M}{\partial T})_T dH$ Như vậy, nếu ta thực hiện một quá trình từ từ trường H = 0 đến H, thì biến thiên entropy từ sẽ được cho bởi:

$$\Delta S_m = \int_0^H (\frac{\partial M}{\partial T})_T dH$$

Biến thiên nhiệt độ trong các quá trình đoạn nhiệt này sẽ được cho bởi công thức:

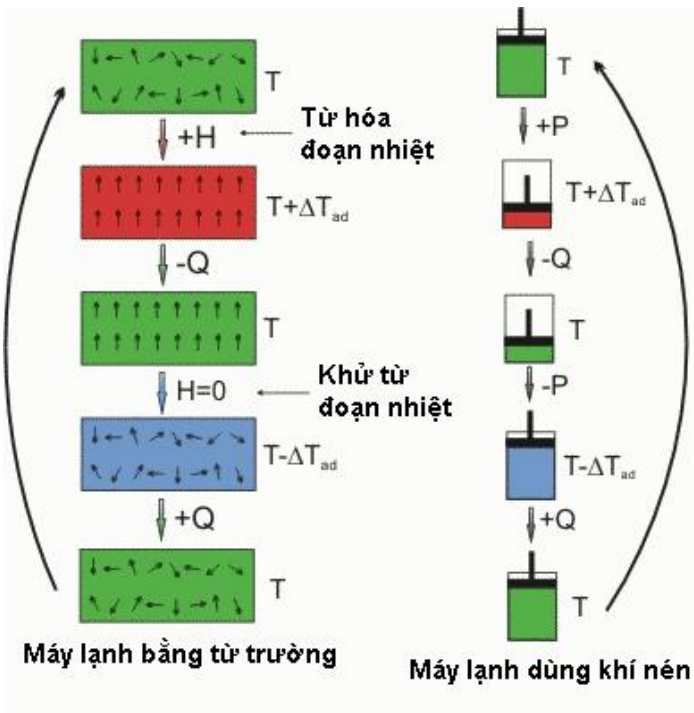
$$\Delta T_{ad} = \int_0^H \frac{T}{C(T,H)} . \frac{\partial M}{\partial T} dH$$

Ở đây C(T,H) là nhiệt dung của vật liệu. Tham số ΔS_m được coi là tham số đặc trưng cho hiệu ứng từ nhiệt của vật liệu. Còn tham số biến thiên nhiệt độ đoạn nhiệt ΔT_{ad} cực kỳ quan trọng cho ứng dụng. Một cách gần đúng, có thể xem rằng biến thiên nhiệt độ đoạn nhiệt tỉ lệ thuận với biến thiên entropy từ, tỉ lệ nghịch với nhiệt dung và tỉ lệ thuận với nhiệt độ hoạt động. Hiệu ứng từ nhiệt lần đầu tiên được ứng dụng vào các máy lạnh hoạt động bằng từ trường vào năm 1933 để tạo ra nhiệt độ rất thấp là 0,3 Kelvin bằng cách khử từ đoạn nhiệt các muối thuận từ.

Ứng dụng của hiệu ứng từ nhiệt

Có hai xu hướng nghiên cứu ứng dụng hiệu ứng từ nhiệt:

- Nghiên cứu các vật liệu có hiệu ứng từ nhiệt lớn ở nhiệt độ thấp cho kỹ thuật tạo nhiệt độ rất thấp. Với phương pháp này, người ta đã tạo ra nhiệt độ cực thấp, tới cỡ miliKelvin hay microKelvin.
- Nghiên cứu các vật liệu có hiệu ứng từ nhiệt lớn ở xung quanh nhiệt độ phòng (hoặc cao hơn) để sử dụng trong các máy lạnh thay thế cho các máy lạnh truyền thống sử dụng chu trình nén khí với ưu thế:
  - Không gây ô nhiễm (máy lạnh dùng khí nén thải ra khí phá hủy tầng ôzôn) do không thải ra các chất thải ô nhiễm.
  - Hiệu suất cao: Các mạnh lạnh dùng từ có thể cho hiệu suất cao trên 60% trong khi các máy lạnh nén khí chỉ cho hiệu suất không quá 40%.
  - Kích thước nhỏ gọn.

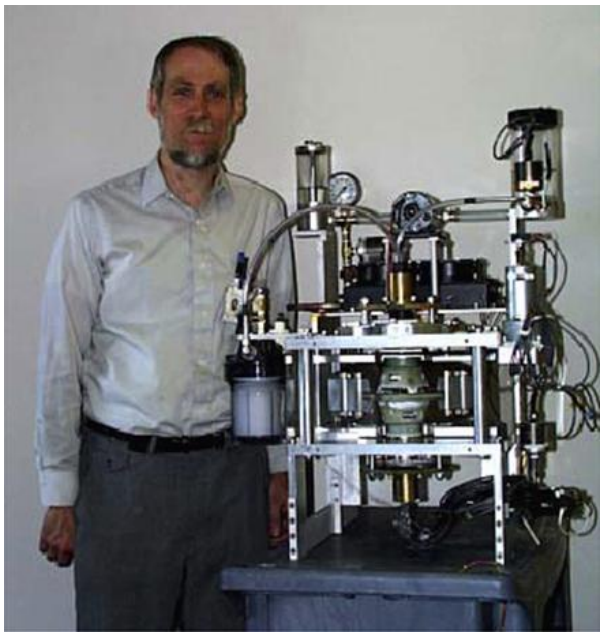


Quá trình nhiệt động trong các thiết bị làm lạnh bằng từ trường so sánh với làm lạnh bằng khí nén truyền thống

Các quá trình nhiệt động trong các thiết bị sử dụng hiệu ứng từ nhiệt

- Từ hóa đoạn nhiệt: Tức là đặt một từ trường (+H) để định hướng các mômen từ, dẫn đến việc tăng nhiệt độ của khối vật liệu từ.
- Hấp thu nhiệt: Người ta sử dụng các chất lỏng (nước, dầu, nitơ lỏng...) để thu nhiệt, đưa nhiệt độ của mẫu trở lại ban đầu mà vẫn giữ nguyên từ tính của khối vật liệu.
- Khử từ đoạn nhiệt: Quá trình này, từ tính của mẫu bị phá hủy bằng cách đặt các từ trường ngược, tạo nên sự hỗn loạn trong định hướng của các mômen từ, và khối vật liệu bị lạnh đi.
- Lấy nhiệt của môi trường làm lạnh: Sử dụng các chất dẫn nhiệt để truyền nhiệt từ môi trường cần làm lạnh vào vật. Vật trở lại trạng thái ban đầu, quay trở lại điểm bắt đầu của chu trình.

Vật liệu từ nhiệt



Máy lạnh dùng từ trường của Astronautics Co. (2001)

Hiệu ứng từ nhiệt là một hiệu ứng cố hữu của các vật liệu từ, có nghĩa là tính chất này có mặt ở tất cả các vật liệu từ. Hiệu ứng này đạt giá trị cực đại tại nhiệt độ chuyển pha từ tính của vật liệu (theo công thức về biến thiên entropy từ ở trên, giá trị này cực đại khi biến thiên của mômen từ cực đại - xảy ra ở nhiệt độ chuyển pha từ tính). Thông thường, biến thiên entropy từ và biến thiên nhiệt độ đoạn nhiệt sẽ lớn khi vật liệu là sắt từ, và xảy ra lớn nhất ở nhiệt độ chuyển pha loại 2 (lý thuyết tính toán mới đây cho rằng hiệu ứng này lớn nhất tại nhiệt độ chuyển pha loại 1). Các vật liệu đang được nghiên cứu và sử dụng gần đây:

- Gadolinium (Gd) và các hợp kim của chúng: Gd là một nguyên tố sắt từ có mômen từ lớn nên có khả năng cho hiệu ứng từ nhiệt lớn. Các hợp kim của nó đang được sử dụng là $Gd_5(Si_xGe_{1-x})4$, hay $Gd_{1-x}Co_x$. Các vật liệu này đều cho hiệu ứng từ nhiệt lớn và được gọi là hiệu ứng từ nhiệt khổng lồ (Giant magnetocaloric effect - GMCE). Cho đến hiện nay, Gd và các hợp kim của nó vẫn là loại được sử dụng phổ biến nhất trong các máy lạnh thử nghiệm.
- Các hợp chất liên kim loại khác: $La(Fe_xSi_{1-x})_{13}Co(H), MnFeP_{1-x}As_x\ldots$, các hợp kim nhớ hình ($NiMnGa$ ...) là các vật liệu đang được nghiên cứu gần đây có hiệu ứng từ nhiệt khổng lồ xung quanh nhiệt độ phòng.
- Tuy nhiên, các vật liệu liên kim loại - đất hiếm có nhược điểm là quy trình chế tạo phức tạp, giá thành cao và thường có độ bền kém nên người ta đang nghiên cứu phát triển các vật liệu khác có giá thành rẻ hơn và dễ chế tạo hơn. Các vật liệu gốm perovskite cũng là nhóm các vật liệu có hiệu ứng từ nhiệt ở xung quanh nhiệt độ phòng nhưng chúng mắc nhược điểm là có nhiệt dung cao, mômen từ nhỏ nên ít khả quan cho ứng dụng. Gần đây, các vật liệu vô định hình nền sắt được coi là rất khả quan cho ứng dụng với hiệu ứng từ nhiệt khổng lồ trong dải rộng nhiệt độ, dễ chế tạo và giá rẻ...
- Các muối thuận từ cho kỹ thuật nhiệt độ rất thấp

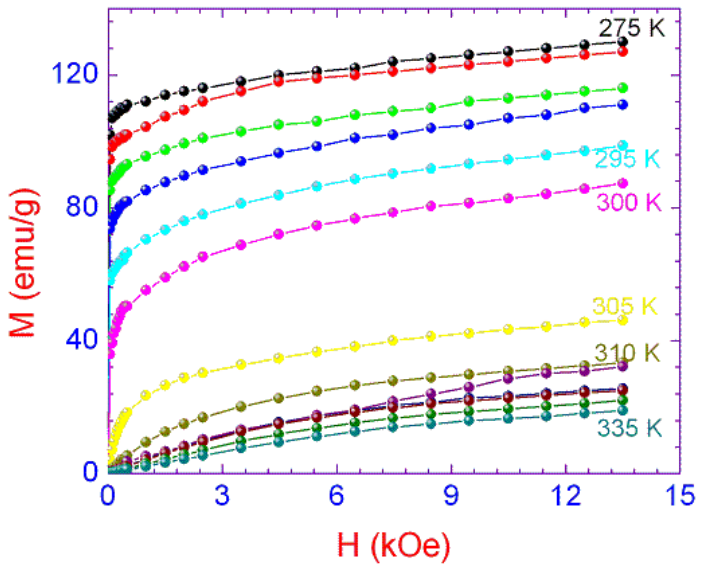
Các vật liệu này về mặt thực chất là các vật liệu từ có nhiệt độ trật tự rất thấp, người ta sử dụng chúng để tạo ra các nhiệt độ rất thấp (tới cỡ 1 vài miliKelvin). Nhiệt độ thấp ban đầu được tạo ra nhờ Hêli lỏng và sau đó tạo quá trình khử từ đoạn nhiệt để tạo nhiệt độ rất thấp.

Phương pháp đo đạc hiệu ứng từ nhiệt trong vật lý chất rắn

Hiệu ứng từ nhiệt đang là một chủ đề hấp dẫn của vật lý chất rắn, khoa học vật liệu nói chung và ngành từ học nói riêng. Trong nghiên cứu về các vật liệu có hiệu ứng từ nhiệt lớn, có thể có nhiều cách khác nhau để xác định tính chất của hiệu ứng này, và có 2 cách được dùng phổ biến nhất:

- Đo trực tiếp

  Mẫu cần đo được đặt vào buồng cách nhiệt và có thể điều khiển nhiệt độ, tiếp xúc với cảm biến nhiệt độ. Đặt từ trường vào để từ hóa và khử từ mẫu đo, cảm biến nhiệt độ sẽ ghi lại trực tiếp sự biến đổi nhiệt độ của vật liệu. Các này cho trực tiếp biến thiên nhiệt độ đoạn nhiệt ΔT_{ad} nhưng khó thực hiện hơn do phải tạo cho vật không có sự trao đổi nhiệt trong quá trình đo.



Hệ các đường cong từ hóa đẳng nhiệt của một vật liệu có hiệu ứng từ nhiệt lớn được đo tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (Hà Nội)

- Đo gián tiếp

  Là các đo được dùng phổ biến nhất, tức là người ta xác định biến thiên entropy từ ΔS_m từ đó xác định biến thiên nhiệt độ đoạn nhiệt. Các này có độ chính xác không cao, nhưng lại dễ tiến hành nên được dùng phổ biến nhất. Cách thức của phép đo dựa trên biểu thức:

$$\Delta S_m = \int_0^H (\frac{\partial M}{\partial T})_T dH$$

  Ta có thể biến đổi biểu thức như sau:

$$\Delta S_m = \frac{\partial}{\partial T}(\int_0^H MdH)$$

  $\int_0^H MdH$ chính là diện tích đường cong chắn dưới đường cong từ hóa M(H). Như vậy, để đo biến thiên entropy từ, ta chỉ việc đo một loạt các đường cong từ hóa đẳng nhiệt ở các nhiệt độ khác nhau, xác định diện tích chắn bởi đường cong và biến thiên entropy từ là hiệu các diện tích liên tiếp chia cho biến thiên nhiệt độ (xem hình vẽ).

Các máy lạnh làm lạnh bằng từ trường thương phẩm

Chưa có các máy lạnh hoạt động cho vùng nhiệt độ phòng bằng từ trường thương phẩm tại thời điểm hiện tại. Các thiết bị vẫn còn trong giai đoạn thử nghiệm và mục tiêu hiện nay vẫn là tìm ra các loại vật liệu từ nhiệt có các đặc tính:

- Có hiệu ứng từ nhiệt khổng lồ xảy ra xung quanh nhiệt độ phòng
- Hiệu ứng từ nhiệt phải xảy ra trong biến thiên từ trường nhỏ vì các máy móc dân dụng không thể tạo ra từ trường lớn. Hầu hết các vật liệu có hiệu ứng từ nhiệt khổng lồ hiện tại đều đạt được ở từ trường lớn gây nhiều khó khăn cho ứng dụng.
- Vật liệu phải có nhiệt dung nhỏ (để tạo ra biến thiên nhiệt độ lớn, dễ truyền nhiệt...), chế tạo không quá phức tạp và có độ bền trong quá trình hoạt động.

Máy lạnh hoạt động ở vùng nhiệt độ phòng đầu tiên được sản xuất vào năm 1997 bởi nhóm Karl A. Gschneidner, Jr. ở Phòng Thí nghiệm Ames, Trường Đại học Tổng hợp bang Iowa (Mỹ). Cho đến nay, đã có nhiều công ty đang nghiên cứu phát triển thiết bị này và thông báo rằng trong một vài năm tới sẽ chính thức đưa ra thị trường các sản phẩm này.

Các máy lạnh dùng từ trường ở nhiệt độ phòng

Công ty/Viện nghiên cứu	Quốc gia	Ngày công bố	Chủng loại	Công suất làm lạnh cực đại (W)[1]	ΔT (K) cực đại[2]	Từ trường biến thiên (T)	Vật liệu	Khối lượng (kg)
Ames Laboratory/Astronautics Zimm C, Jastrab A, Sternberg A, Pecharsky V K, Gschneidner K Jr, Osborne M and Anderson I, Adv. Cryog. Eng. 43, 1759 (1998).	Madison, Wisconsin, USA	20/02/1997	Chuyển động qua lại	600	10	5 (S)	Khối cầu Gd	
Mater. Science Institute Barcelona Bohigas X, Molins E, Roig A, Tejada J and Zhang X X, IEEE Trans. Magn. 36 538 (2000).	Barcelona, Tây Ban Nha	05/2000	Quay	?	5	0.95 (P)	Gd foil	
Chubu Electric/Toshiba Hirano N, Nagaya S, Takahashi M, Kuriyama T, Ito K and Nomura S 2002 Adv. Cryog. Eng. 47 1027	Yokohama, Japan	2000	Chuyển động qua lại	100	21	4 (S)	Khối cầu Gds	
University of Victoria Rowe A M and Barclay J A, Adv. Cryog. Eng. 47 995 (2002). Rowe A M and Barclay J A, Adv. Cryog. Eng. 47 1003 (2002). Richard M A, Rowe A M and Chahine R, J. Appl. Phys. 95 2146 (2004).	Victoria, British Columbia Canada	7/2001	Chuyển động qua lại	2	14	2 (S)	Gd & $Gd_{1-x}Tb_x$ L.B.	
Astronautics Zimm C, Paper No K7.003 Am. Phys. Soc. Meeting, March 4, Austin, TX (2003) [1]	Madison, Wisconsin, USA	18/09/2001	Quay	95	25	1.5 (P)	Khối cầu Gds	
Sichuan Inst. Tech./Nanjing University Wu W, Paper No K7.004 Am. Phys. Soc. Meeting, March 4, Austin, TX (2003) [1]	Nanjing, China	23/04/2002	Chuyển động qua lại	?	23	1.4 (P)	Khối cầu Gds và $Gd_5Si_{1.985}Ge_{1.985}Ga_{0.03}$ bột	
Chubu Electric/Toshiba Hirano N, Paper No K7.002 Am. Phys. Soc. Meeting March 4, Austin, TX, [1]	Yokohama, Japan	5/09/2002	Chuyển động qua lại	40	27	0.6 (P)	$Gd_{1-x}Dy_x$ L.B.	
Chubu Electric/Toshiba Hirano N, Paper No K7.002 Am. Phys. Soc. Meeting March 4, Austin, TX, [1]	Yokohama, Japan	4/03/2003	Quay	60	10	0.76 (P)	$Gd_{1-x}Dy_x$ L.B.	1

Lab. d'Electrotechnique Grenoble Clot P, Viallet D, Allab F, Kedous-LeBouc A, Fournier J M and Yonnet J P, IEEE Trans. Magn. 30 3349 (2003).	Grenoble, France	4/2003	Chuyển động qua lại	8.8	4	0.8 (P)	Gd phoi	
George Washington University	USA	7/2004	Chuyển động qua lại	?	?	? (P)	Gd phoi	
Astronautics Zimm C, Paper No K7.003 Am. Phys. Soc. Meeting, March 4, Austin, TX (2003) [1]	Madison, Wisconsin, USA	2004	Quay	95	25	1.5 (P)	Gd và GdEr spheres / $La(Fe_{0.88}Si_{0.12})_{13}H_{1.0}$	
University of Victoria Rowe A M and Tura A, International Journal of efrigeration 29 1286-1293 (2006).	Victoria, British Columbia Canada	2006	Chuyển động qua lại	15	50	2 (S)	Gd, $Gd_{0.74}Tb_{0.26}$ and $Gd_{0.85}Er_{0.15}$	0.12
[1]Công suất làm lạnh cực đại khi (ΔT=0); [2]Biến thiên nhiệt độ đoạn nhiệt cực đại khi (W=0); L.B. = layered bed; P = Dùng từ trường nam châm vĩnh cửu; S = Dùng từ trường siêu dẫn								

Đọc thêm

- Từ học
- Vật liệu từ
- Máy lạnh
- Magnetocaloric Effect [2]

Liên kết ngoài

- NASA - How does an Adiabatic Demagnetization Refrigerator Work ? [3]
- Magnetocaloric effect [4]
- What is magnetocaloric effect and what materials exhibit this effect the most? [5]
- Magnetocaloric materials keep fridges cool by C. Wu [6]
- Ames Laboratory news release, 25 tháng 5 năm 1999, Work begins on prototype magnetic-refrigeration unit [7].
- Magnetic refrigerator successfully tested [8]
- Refrigeration Systems [9] Terry Heppenstall's notes, University of Newcastle Upon Tyne (tháng 11 năm 2000)
- XRS Adiabatic Demagnetization Refrigerator [10]

Tài liệu tham khảo

1. ^ Buschow K.H.J, de Boer F.R. (2004). *Physics of Magnetism and Magnetic Materials*. Kluwer Academic / Plenum Publishers. ISBN 0-306-48408-0.
2. ^ Robert C. O'Handley (1999). *Modern Magnetic Materials: Principles and Applications*. Wiley-Interscience. ISBN-13 978-0471155669.

Chú thích

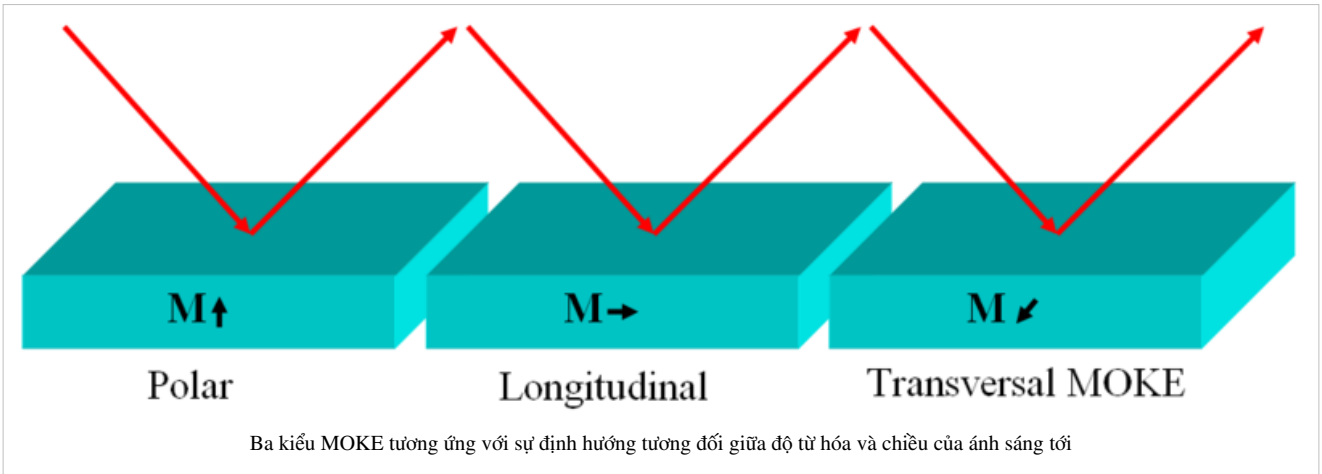
[1] http://www.aps.org/meet/MAR03/baps/tocK.html
[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetocaloric
[3] http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/teachers/lessons/xray_spectra/background-adr.html
[4] http://www.accessscience.com/Encyclopedia/3/39/Est_399200_frameset.html?doi
[5] http://www.physlink.com/Education/AskExperts/ae488.cfm
[6] http://www.sciencenews.org/pages/sn_arc98/3_28_98/fob3.htm
[7] http://www.ameslab.gov/News/release/crada.html
[8] http://www.eurekalert.org/features/doe/2001-11/dl-mrs062802.php
[9] http://lorien.ncl.ac.uk/ming/cleantech/refrigeration.htm
[10] http://www.universe.nasa.gov/xrays/programs/astroe/eng/adr.html

Hiệu ứng từ quang Kerr

Hiệu ứng từ quang Kerr (tiếng Anh: *Magneto-optic Kerr effect*, viết tắt là *MOKE*) là một hiệu ứng quang từ mà ở đó ánh sáng phản xạ trên các bề mặt của bị từ hóa thì bị thay đổi cả về tính chất phân cực cũng như độ phản xạ. Tên hiệu ứng này được đặt theo tên của nhà vật lý người Scotland Rev. John Kerr, người đã phát hiện ra hiệu ứng này vào năm 1877[1] . MOKE là một hiệu ứng thuộc nhóm hiệu ứng Kerr.

Mô tả hiệu ứng

Khi ánh sáng phản xạ trên một bề mặt vật liệu bị từ hóa, tương tác giữa mômen từ và ánh sáng có thể dẫn đến việc ánh sáng phản xạ bị thay đổi tính chất phân cực cũng như độ phản xạ tùy theo chiều của từ độ. Hiệu ứng này khác với hiệu ứng Faraday ở chỗ hiệu ứng Faraday ghi nhận ánh sáng truyền qua và tùy theo sự định hướng của chiều từ độ mà có thể có nhiều kiểu MOKE.



Ba kiểu MOKE tương ứng với sự định hướng tương đối giữa độ từ hóa và chiều của ánh sáng tới

Hiệu ứng từ quang Kerr đứng (Polar MOKE)

Hiệu ứng MOKE đứng xảy ra khi véctơ từ độ vuông góc với mặt phẳng phản xạ (bề mặt của mẫu từ hóa) và song song với mặt phẳng của ánh sáng tới. Trong các thực nghiệm của hiệu ứng này, người ta thường sử dụng chùm tia tới gần như vuông góc với bề mặt của mẫu.

Hiệu ứng từ quang Kerr dọc (Longitudinal MOKE)

MOKE dọc là hiệu ứng xảy ra khi véctơ từ độ song song với cả mặt thẳng tới và mặt phẳng phản xạ. Trong cơ cấu thí nghiệm của MOKE dọc, chùm tia sử dụng thường không vuông góc với bề mặt mẫu, và nếu chùm sáng tới là một chùm sáng phân cực thẳng thì chùm phản xạ sẽ trở thành phân cực ellipse với độ thay đổi tỉ lệ thuận với thành phần từ độ song song với mặt phẳng phản xạ và song song với mặt phẳng tới.

Xem thêm

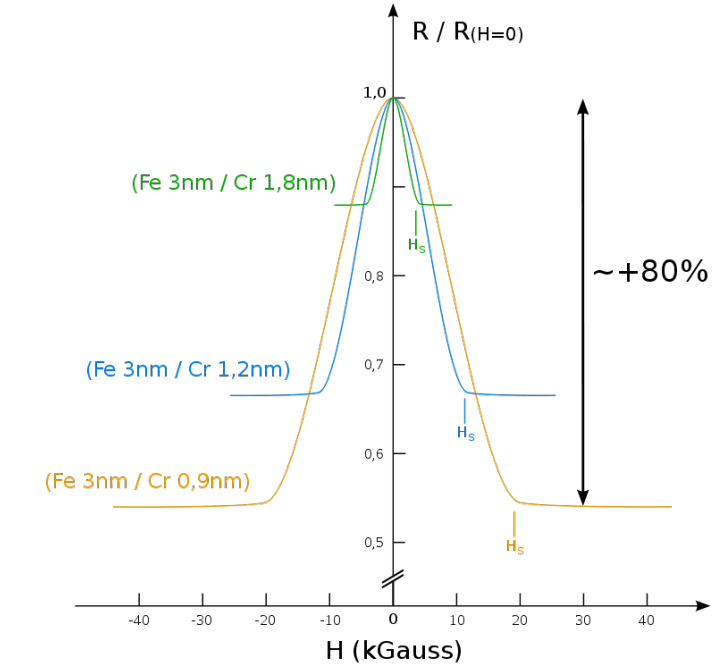
- Hiệu ứng Kerr

Tài liệu tham khảo

[1] J. Kerr, *On rotation of the plane of polarization by reflection from the pole of a magnet*, Phil. Mag. 3 (1877) 321-343

Hiệu ứng từ điện trở

Từ điện trở, hay còn gọi tắt là **từ trở**, là tính chất của một số vật liệu, có thể thay đổi điện trở suất dưới tác dụng của từ trường ngoài. Hiệu ứng này lần đầu tiên được phát hiện bởi William Thomson (Lord Kelvin) vào năm 1856 với sự thay đổi điện trở không quá 5%. Hiệu ứng này được gọi là hiệu ứng từ điện trở thường. Gần đây, các nhà khoa học đã phát hiện ra nhiều loại hiệu ứng từ điện trở trong nhiều loại vật liệu khác nhau đem lại khả năng ứng dụng hết sức to lớn. Người ta thường dùng khái niệm tỉ số từ trở để nói lên độ lớn của hiệu ứng từ điện trở, cho bởi công thức:



Hiệu ứng từ điện trở lớn trong các màng đa lớp Fe/Cr (Fert et al.)

$$MR(\%) = \frac{\rho(H) - \rho(0)}{\rho(0)} = \frac{R(H) - R(0)}{R(0)}$$

Đôi khi, trong một số thiết bị, tỉ số này cũng được định nghĩa bởi:

$$MR(\%) = \frac{\rho(H) - \rho(H_{max})}{\rho(H_{max})} = \frac{R(H) - R(H_{max})}{R(H_{max})}$$

Với: $\rho(H), \rho(0), R(H), R(0)$ lần lượt là điện trở suất và điện trở tại từ trường H và từ trường H = 0. Và hoàn toàn tương tự ở công thức thứ hai H_{max} là từ trường cực đại. Hai cách định nghĩa này hoàn toàn tương đương nhau.

Từ điện trở dị hướng

*xem bài chi tiết **Từ điện trở dị hướng***

- (Tiếng Anh: *Anisotropic Magnetoresistance Effect* - AMR). Hiệu ứng này cũng được William Thomson phát hiện vào năm 1857 khi quan sát thấy điện trở của các vật liệu sắt và niken phụ thuộc vào góc giữa dòng điện chiều của véctơ từ độ. Hiệu ứng này phát hiện trong nhiều chất bán dẫn và nhiều màng mỏng từ.
- Hiệu ứng AMR trong các chất bán dẫn chủ yếu là do sự lệch quỹ đạo của dòng hạt tài (điện tử hay lỗ trống) dưới tác dụng của từ trường, thường được ứng dụng trong một số cảm biến đo từ trường như đo từ trường Trái đất, hay cảm biến đo dòng điện...

Từ điện trở khổng lồ

- (Tiếng Anh: *Giant Magnetoresistance Effect* - GMR), một số nhà nghiên cứu ở Việt Nam còn dịch hiệu ứng GMR là "từ điện trở lớn" do không thống nhất việc dịch "Giant" là "khổng lồ" hay "lớn" nhưng tên gọi quen thuộc thường dùng là GMR. Hiệu ứng GMR là một hiệu ứng lượng tử quan sát thấy trong một số màng mỏng từ tính đa lớp hoặc đơn lớp, với sự thay đổi lớn giá trị điện trở suất dưới tác dụng của từ trường ngoài.
- Tên gọi *Giant* (lớn, khổng lồ) của hiệu ứng này không phải là do giá trị lớn của tỉ số MR mà do cơ chế tạo nên hiệu ứng, đó là cơ chế tán xạ phụ thuộc spin của điện tử khi truyền qua các lớp sắt từ được kẹp giữa bởi các lớp phi từ. Hiệu ứng GMR lần đầu tiên được phát hiện vào năm 1988 đồng thời bởi 2 nhóm nghiên cứu, là nhóm của Peter Grünberg ở Trung tâm Nghiên cứu Jülich (Đức) trên màng mỏng kiểu bánh kẹp Fe/Cr/Fe; và bởi nhóm của Albert Fert ở Đại học Paris-Sud trên các màng đa lớp Fe/Cr. Phát hiện này đã mở ra một ngành mới gọi là điện tử học spin (*spintronics*) nghiên cứu các linh kiện điện tử mới hoạt động dựa trên điều khiển tính chất spin của điện tử.
- Ngoài ra hiệu ứng GMR còn phát hiện thấy trên một số màng mỏng dạng hạt (ví dụ màng hợp kim dị thể CoCu, CoAg...).
- Vào ngày 9-10-2007, Uỷ Ban Trao Giải Nobel đã công bố giải thưởng Nobel Vật Lý 2007 được trao cho hai nhà vật lý Albert Fert (Pháp) và Peter Grünberg (Đức) về sự khám phá ra Từ điện trở khổng lồ (Giant Magnetoresistance).

Từ điện trở chui hầm

xem chi tiết tại bài viết Hiệu ứng từ điện trở chui hầm

- (Tiếng Anh: *Tunneling Magnetoresistance' - TMR). Là hiệu ứng từ trở xảy ra khi các lớp sắt từ bị ngăn cách bởi các lớp mỏng cách điện cho phép điện tử xuyên hầm qua các lớp cách điện này, và tán xạ trên các lớp sắt từ, gây ra hiệu ứng từ trở lớn.*
- Hiệu ứng TMR lần đầu tiên được phát hiện trên các màng đa lớp sắt kẹp giữa là lớp germanium (Ge) đóng vai trò lớp cách điện. Hiệu ứng TMR ở nhiệt độ phòng lần đầu tiên được phát hiện vào năm 1995 trên các màng mỏng CoFe/Al_2O_3/Co với Al_2O_3 đóng vai trò lớp cách điện, cho hiệu ứng MR tới 11,8% ở nhiệt độ phòng. Cùng với phát minh về hiệu ứng GMR, hiệu ứng TMR được cũng đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong các nghiên cứu về linh kiện spintronic.

Từ điện trở siêu khổng lồ

Xem chi tiết bài viết Từ điện trở siêu khổng lồ

- (Tiếng Anh: *Colossal Magnetoresistance* - CMR), đôi khi cũng được các nhà nghiên cứu ở Việt Nam gọi là "Hiệu ứng từ điện trở khổng lồ" (khi gọi hiệu ứng GMR là "Từ điện trở lớn") nhưng thường gọi tắt là hiệu ứng CMR. Hiệu ứng này xảy ra với các vật liệu từ có cấu trúc perovskite (ví dụ manganese, cobaltite,...) có điện trở thay đổi cực lớn có thể tới hàng ngàn %.
- Hiệu ứng CMR lần đầu tiên được phát hiện vào năm 1993, nhưng đến giờ vẫn chưa được lý giải một cách chính xác, và vẫn đang là một vấn đề lý thú cho nghiên cứu cơ bản. Một lý thuyết đang được sử dụng rộng rãi để giải thích là mô hình tương tác kép (*double-exchange interaction*).
- Hiệu ứng CMR cũng được ứng dụng trong các đầu đọc/ghi của ổ cứng, phát triển các linh kiện spintronic...

Từ điện trở dị hướng xung kích

- (Tiếng Anh: *Ballistic Anisotropy Magnetoresistance* - BAMR). Là hiệu ứng từ điện trở xảy ra khi các điện tử chuyển động trong một dây rất mỏng cũng giống như một viên đạn đi trong nòng súng - chúng đều bị cưỡng ép chuyển động trên một chiều nhất định và hầu như ít bị va chạm hay nói cách khác là không có sự cản trở dọc theo đường truyền. Nếu dây có chiều dày chỉ vài lớp nguyên tử, khả năng dẫn điện tử - độ dẫn điện - sẽ bị lượng tử hóa, là một số nguyên lần (N) của độ dẫn của một điện tử bởi vì năng lượng của điện tử bị cầm tù trong dây trong dây là các dải hẹp và N sẽ tương ứng với số dải năng lượng trên mức Fermi, mà ở đó xảy ra tính dẫn điện.
- Năm 2005, Evgeny Tsymbal và các đồng nghiệp ở Đại học Nebraska giả thiết rằng số N có thể thay đổi bằng cách đặt một từ trường vào một dây rất mảnh làm bằng các kim loại từ tính. Trong các vật liệu đó, các điện tử dẫn dưới tác dụng của từ trường sẽ phải dịch chuyển mức năng lượng so với mức Fermi và do đó dẫn đến việc thay đổi N. Do độ dẫn của dây tỉ lệ với N, nên các nhà nghiên cứu giả định rằng có thể quan sát thấy sự thay đổi kiểu nhảy bậc của độ dẫn (hay nói cách khác là điện trở). Họ gọi hiệu ứng này là "hiệu ứng từ điện trở dị hướng xung kích" (*ballistic anisotropy magnetoresistance*) - từ "dị hướng" ở đây là do hiệu ứng này phụ thuộc vào góc tương đối giữa từ trường và chiều của dòng điện dẫn. Mới đây, Bernard Doudin ở Viện Vật lý và Hóa học Vật liệu (Strasbourg) và các đồng nghiệp ở Đại học Nebraska đã quan sát thấy hiệu ứng BAMR trong một loạt các dây khác nhau ở kích cỡ nguyên tử chế tạo bằng Co. Trong một mẫu, các nhà nghiên cứu đã đo được sự thay đổi của độ dẫn tương ứng với N = 6, 7 khi mà chiều của từ trường thay đổi. Các nhà nghiên cứu cho hay sự phản ứng này có liên quan đến sự chênh lệch ở thang nguyên tử trong cấu trúc của các dây nano và có thể giải thích bằng lý thuyết của Tsymbal về BAMR.

Ứng dụng của hiệu ứng từ trở

- Chế tạo cảm biến đo từ trường, đo dòng điện
- Đầu đọc, ghi trong các ổ cứng máy tính
- Các linh kiện spintronics
- ...

Xem thêm

- Từ điện trở dị hướng
- Từ điện trở khổng lồ
- Từ điện trở chui hầm
- Từ điện trở siêu khổng lồ
- Từ điện trở dị hướng xung kích
- Spintronics

Tài liệu tham khảo

- Baibich et al., Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices, M. N. Phys. Rev. Lett. vol. 61, no. 21, pp. 2472, November 1988 [1]
- J. S. Moodera et. al. "Large Magnetoresistance at Room Temperature in Ferromagnetic Thin Film Tunnel Junctions". Phys. Rev. Lett. 74: 3273–3276, 1995 [2]
- M. Salamon, M. Jaime, Rev. Mod. Phys. 73, 583 - 628, 2001 [3]
- J. Velev et al., "Ballistic Anisotropic Magnetoresistance", Phys. Rev. Lett. 94 127203 - 127205, 2005 [4]

Chú thích

[1] http://prola.aps.org/abstract/PRL/v61/i21/p2472_1

[2] http://link.aps.org/abstract/PRL/v74/p3273

[3] http://prola.aps.org/abstract/RMP/v73/i3/p583_1

[4] http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=PRLTAO000094000012127203000001&idtype=cvips&gifs=yes

Hợp kim Heusler

Hợp kim Heusler là một hợp kim sắt từ dựa trên pha Heusler, là dạng hợp kim liên kim loại của các đơn chất (kim loại, phi kim) có thể không mang tính sắt từ, và có cấu trúc tinh thể lập phương tâm mặt. Tên loại hợp kim này được đặt theo nhà hóa học, khoáng học người Đức Friedrich Heusler (1866-1947), người lần đầu tiên tìm ra loại hợp kim này vào năm 1903 [1] . Hợp kim Heusler là một trong những loại hợp kim sắt từ có độ phân cực spin lớn nhất (gần như 100%).

Lịch sử nghiên cứu

Hợp kim Heusler đầu tiên được phát hiện và nghiên cứu năm 1903 bởi Friedrich Heusler là hợp kim Cu_2MnAl với từ độ bão hòa là 8000 G (lớn hơn của Ni, nhưng nhỏ hơn của Fe)[2] . Hợp kim có thể nóng chảy ở trên 910^{o}C. Ở dưới nhiệt độ này, hợp kim đóng rắn với trạng thái bất trật tự của pha beta lập phương tâm khối. Dưới 750^{o}C, pha B2 trật tự được hình thành với mang nguyên tố lập phương của đồng, và có tâm khối là phân mạng bất trật tự MnAl. Khi được làm lạnh xuống dưới 610^{o}C, phân mạng MnAl trở thành trật tự và tạo thành pha L21. Tính chất từ của hợp kim có thể thay đổi mạnh nhờ quá trình xử lý nhiệt hoặc thay đổi thành phần[3] ,[4] .

Danh sách một số hợp kim

- Cu_2MnAl, Cu_2MnIn, Cu_2MnSn,
- Ni_2MnAl, Ni_2MnIn, Ni_2MnSn, Ni_2MnSb
- Co_2MnAl, Co_2MnSi, Co_2MnGa, Co_2MnGe
- Pd_2MnAl, Pd_2MnIn, Pd_2MnSn, Pd_2MnSb

Tài liệu tham khảo

[1] Glenn Elert, *Ferromagnetism: The Physics Hypertextbook*, © 1998-2008. (http://hypertextbook.com/physics/electricity/ferromagnetism/)

[2] *Bouchard M. (1970). *Ph.D. Thesis, Imperial College London*.

[3] Heusler F. (1903). *Verh. Deut. phys. Ges.* **5**: 219.

[4] Johnston G.B. and Hall E.O. (1968). "*Studies on the Heusler alloys—I. Cu2MnAl and associated structures*". *J. Phys. Chem. Solids* **29**: 193, 201. doi: 10.1016/0022-3697(68)90062-0 (http://dx.doi.org/10.1016/0022-3697(68)90062-0).

Xem thêm

- Độ phân cực spin
- Điện tử học spin
- Hợp kim

Magnetit

Magnetit	
Magnetit ở bán đảo Kola, Nga	
Thông tin chung	
Thể loại	Khoáng vật ô xít
Công thức hóa học	sắt (II,III) ôxít, Fe_3O_4
Màu	Đen, xám
Dạng thường tinh thể	Tám mặt, hạt mịn dạng khối
Hệ tinh thể	Lập phương
Song tinh	Hiếm gặp song tinh bát diện quy luật spinel[1]
Cát khai	không rõ
Vết vỡ	Không phẳng
Độ cứng Mohs	5,5–6,5[1]
Ánh	Kim loại
Màu vết vạch	Đen
Tỷ trọng riêng	5,17–5,18[1]
Chiết suất	Chắn sáng
Các biến thể chính	
Lodestone	Nam châm để xác định cực bắc và cực nam

Magnetit là một khoáng vật sắt từ có công thức hóa học $\mathbf{Fe_3O_4}$, một trong các ôxít sắt và thuộc nhóm spinel. Tên theo IUPAC là **sắt (II,III) ôxít** và thường được viết là $FeO{\cdot}Fe_2O_3$, được xem là tập hợp của wüstit (FeO) và hematit (Fe_2O_3). Công thức trên đề cập đến các trạng thái ôxi hóa khác nhau của sắt trong cùng một cấu trúc chứ không phải trong dung dịch rắn. Nhiệt độ Curie của magnetit là 858 K.

Tính chất

Magnetit là khoáng vật có từ tính mạnh nhất trong các khoáng vật xuất hiện trong thiên nhiên.[2] Các mảnh magnetit bị từ hóa tự nhiên được gọi là lodestone sẽ hút các mẫu sắt nhỏ, và đây cũng là cách mà người cổ đại khám phá ra tính chất từ đầu tiên. Lodestone được sử dụng trong các la bàn. Magnetit thường mang các dấu hiệu từ trong các đá và vì thế nó được xem như là một công cụ để nghiên cứu cổ từ, một khám phá khoa học quan trọng để hiểu được quá trình kiến tạo mảng và dữ liệu lịch sử cho từ thủy động lực học và các chuyên ngành khoa học khác. Các mối quan hệ giữa magnetit và các khoáng vật ôxít giàu sắt khác như ilmenit, hematit, và ulvospinel cũng đã được nghiên cứu nhiều, cũng như các phản ứng phức tạp giữa các khoáng vật này và oxy ảnh hưởng như thế nào đến sự bảo tồn trường từ của Trái Đất.

Magnetit có vai trò quan trọng trong việc tìm hiểu các điều kiện môi trường hình thành đá. Magnetit phản ứng với oxy để tạo ra hematit, và cặp khoáng vật hình thành một vùng đệm có thể khống chế sự phá hủy của ôxy. Các đá mácma thông thường chứa các hạt của 2 dung dịch rắn, một bên là giữa magnetit và ulvospinel còn một bên là giữa ilmenit và hematit. Các thành phần của các cặp đôi khoáng vật được sử dụng để tính sự ôxy hóa diễn ra như thế nào trong macma (như sự phá hủy của oxy trong magma): một dãi các điều kiện oxi hóa được tìm thấy trong mácma và trạng thái oxy hóa giúp xác định làm thế nào máma có thể liên quan đến sự kết tinh phân đoạn.

Các hạt magnetit nhỏ có mặt trong hầu đết các đá mácma và các đá biến chất. Magnetit cũng được tìm thấy trong một số loại đá trầm tích như trong các thành hệ sắt phân dải. Trong một số đá mácma, các hạt giàu magnetit và ilmenit xuất hiện ở dạng kết tủa cùng nhau trong mácma. Magnetit cũng được sản xuất từ peridotit và dunit bằng phương pháp serpentin hóa.

Magnetit là nguồn quặng sắt có giá trị, nó hòa tan chậm trong axít clohiđric.

Phân bố

Mẫu có kiến trúc mịn, ~5cm

Magnetit và các khoáng vật nặng khác (màu tối) trong cát thạch anh ở bãi biển (Chennai, Ấn Độ).

Magnetit đôi khi được tìm thấy với số lượng lớn trong cát biển. Các loại cát đen (cát khoáng vật hoặc cát sắt) được tìm thấy ở nhiều nơi như California và bờ biển tây của New Zealand. Magnetit được mang đến các bãi biển thông qua các con sông mang các vật liệu xói mòn và chúng được tập trung nhờ tác động của sóng và các dòng chảy.

Các mỏ lớn được tìm thấy trong các thành hệ sắt dải. Các đá trầm tích này được dùng để suy ra hàm lượng oxy trong khí quyển Trái Đất lúc nó được lắng đọng.

Các mỏ magnetit lớn cũng được tìm thấy ở vùng Atacama của Chile, Kiruna, Thụy Điển, Pilbara, các khu vực trung tây và bắc Goldfields ở tây Úc, và trong khu vực Adirondack của New York ở Hoa Kỳ. Các mỏ cũng được tìm thấy ở Na Uy, Đức, Ý, Switzerland, Nam Phi, Ấn Độ, Mexico, và Oregon, New Jersey, Pennsylvania, Bắc Carolina, Virginia, New Mexico, Utah, và Colorado ở Hoa Kỳ. Gần đây, vào tháng 6 năm 2005, công ty khai thác khoáng sản, Cardero Resources, đã phát hiện một mỏ cát chứa magnetit lớn ở dạng cồn cát ở Peru. Mỏ phủ trên diện tích 250 km2(100 sq mi), với cồn cán cao nhất nằm ở độ cao trên 2.000 m (6,560 ft) so với nền sa mạc. Cát chứa 10% magnetit.[3]

Xuất hiện trong sinh vật

Các tinh thể magnetit được tìm thấy trong một vài vi khuẩn (như Magnetospirillum magnetotacticum) và trong não của ong, của mối, cá, một vài loài chim (như bồ câu) và con người.[4] Các tinh thể này được cho là liên quan đến sự cảm nhận từ,[5] một khả năng để cảm nhận cực hoặc độ nghiêng của từ trường Trái Đất, và liên quan đến sự định hướng.[6] Ốc song kinh có bộ răng làm bằng magnetit trên lưỡi gai của chúng làm cho chúng dễ phân biệt với các động vật khác.[7] Điều này có nghĩa rằng bộ lưỡi của chúng có khả năng mài mòn để kiếm thức ăn trên đá.

Việc nghiên cứu từ sinh học bắt đầu với những khám phá của của nhà cổ sinh vật học Caltech Heinz Lowenstam thập niên 1960.[8]

Tổng hợp

Magnetit có thể được chế trong phòng thí nghiêm ở dạng nước từ theo phương pháp Massart bằng cách trộn sắt(II) clorua và sắt(III) clorua trong hydroxit natri.

Magnetit cũng có thể được chế bởi sự đồng kết tủa, gồm một hỗn hợp dung dịch $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ và $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ 0,1 M với quay bằng động cơ với tốc độ khoảng 2000 vòng/phút. Tỷ lệ mol $FeCl_3$:$FeCl_2$ có thể là 2:1; nung dung dịch này ở 70 °C, và ngay sau đó nâng tốc độ quay lên 7500 vòng/phút và thêm nhanh dung dịch NH_4OH (10% về thể tích), ngay lập tức sẽ hình thành kết tủa màu đen chứa các hạt magnetit kích thước nano.

Ứng dụng làm chất hấp thụ

Bột magnetit loại bỏ As(III) và As(V) ra khỏi nước rất hiệu quả, và hiệu quả loại bỏ tăng lên ~200 lần khi chúng có kích thước từ 300 đến 12 nm.[9] Nước uống nhiễm arsen (As) là một vấn nạn trên toàn thế giới, do đó ứng dụng magnetit với vai trò chất hấp thụ là một trong những giải pháp loại bỏ arsen trong nước.

Trang sức

Magnetit được dùng phổ biến ở dạng nguyên liệu thô trong các đồ trang sức của những chống lại giả khoa học[10] về nam châm liệu pháp. Khi được đánh bóng và làm thành đồ trang sức, magnetit có màu tối, sáng bóng với bề mặt láng.

Nhẫn magnetit

Tham khảo

[1] Mineral galleries (http://www.galleries.com/minerals/oxides/magnetit/magnetit.htm)

[2] Harrison, R. J. (2002). " Direct imaging of nanoscale magnetic interactions in minerals (http://www.pnas.org/content/99/26/16556.full.pdf)" (free-download pdf). *Proceedings of the National Academy of Sciences* **99**: 16556. doi: 10.1073/pnas.262514499 (http://dx.doi.org/10.1073/pnas.262514499). .

[3] Ferrous Nonsnotus (http://www.321gold.com/editorials/moriarty/moriarty070505.html)

[4] Baker, R R; J G Mather, J H Kennaugh (6 January năm 1983). "Magnetic bones in human sinuses". *Nature* **301** (5895): 79–80. PMID 6823284.

[5] "Magnetic bones in human sinuses" (http://www.nature.com/nature/journal/v301/n5895/abs/301078a0.html). Truy cập 14 December năm 2009.

[6] Joseph L. Kirschvink; James L. Gould (1981). " Biogenic magnetite as a basis for magnetic field detection in animals (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6T2K-49N97M9-Y&_user=131115&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_acct=C000009658&_version=1&_urlVersion=0&_userid=131115&md5=45627d578a55f772b006a38ed4a6c12d)". *Biosystems* (Elsevier Ireland Ltd) **13** (3): 181-201. . Truy cập 14 December năm 2009.

[7] Chang, Shih-Bin Robin; Kirschvink, Joseph Lynn (1989). " Magnetofossils, the Magnetization of Sediments, and the Evolution of Magnetite Biomineralization (http://www.gps.caltech.edu/~jkirschvink/pdfs/AnnualReviews89.pdf)". *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **17**: 169–195. doi: 10.1146/annurev.ea.17.050189.001125 (http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ea.17.050189.001125). .

[8] Biographical memoirs:Heinz Adolf Lowenstam (http://books.nap.edu/readingroom/books/biomems/hlowenstam.html) By Joseph L. Kirschvink, truy cập 24 May 2008

[9] J.T. Mayo *et al.* (2007). "The effect of nanocrystalline magnetite size on arsenic removal" (free download). *Sci. Technol. Adv. Mater.* **8**: 71. doi: 10.1016/j.stam.2006.10.005 (http://dx.doi.org/10.1016/j.stam.2006.10.005).

[10] Wanjek, Christopher (2003). *Bad Medicine: misconceptions and misuses revealed from distance healing to vitamin O*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons. 1–253. ISBN 0-471-43499-X.

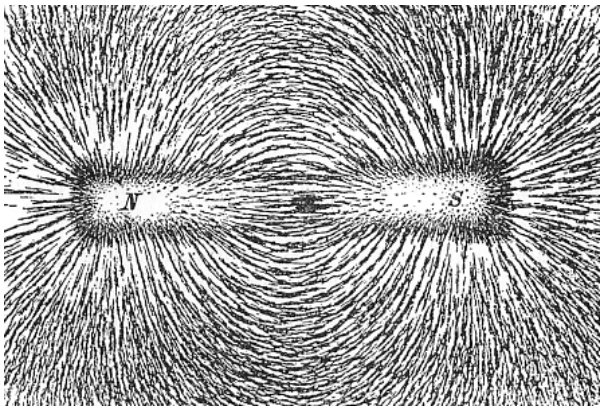
Liên Kết ngoài

- Hurlbut, Cornelius S.; Klein, Cornelis (1985). *Manual of Mineralogy* (ấn bản 20th). Wiley. ISBN 0471805807.
- Webmineral data (http://webmineral.com/data/Magnetite.shtml)
- Powder X-Ray Diffraction (XRD) Pattern (http://www.piroxllc.com/tech_info.html)
- Lowenstam, Heinz A.; Weiner, Stephen (1989). *On Biomineralization*. USA: Oxford University Press. ISBN 0195049772.
- History of Magnetite Mining in the NJ Highlands (http://abandonedmines.net)
- Magnetite mining in New Zealand (http://www.crownminerals.govt.nz/cms/minerals/overview/overview?searchterm=ironsand) Truy cập 25-Mar-09
- Magnetite mining in Santa Cruz (http://www.santacruzpl.org/history/work/miner3.shtml)

Nam châm

Trong cuộc sống hằng ngày, có thể nhận ra **nam châm** là các vật có khả năng hút và đẩy vật bằng sắt hay thép non. Trong từ học, nam châm là một vật có khả năng sinh một lực dùng để hút hay đẩy một từ vật hay một vật có độ cảm từ cao khi nằm gần nam châm. Lực phát sinh từ nam châm gọi là từ lực.

Nam châm là một nguồn từ có hai cực: Bắc và Nam, và một từ trường tạo từ các đường từ (đường sức) đi từ cực Bắc đến cực Nam.



Đường sức từ trường quanh hai cực của một nam châm được thể hiện qua các mạt sắt trên tấm giấy đặt ngay trên nam châm

Các loại nam châm

Có 2 loại nam châm:

- Nam châm điện
- Nam châm vĩnh cửu

Tham khảo

Liên kết ngoài

- Nam châm (http://dictionary.bachkhoatoanthu.gov.vn/default.aspx?param=1605aWQ9MTk0MjQmZ3JvdXBpZD0ma2luZD1zdGFydCZrZXl3b3JkPW4=&page=1)
- Nam châm vĩnh cửu (http://dictionary.bachkhoatoanthu.gov.vn/default.aspx?param=160AaWQ9MTk1MTkmZ3JvdXBpZD0ma2luZD1zdGFydCZrZXl3b3JkPW4=&page=1)

Các chủ đề chính trong điện từ học
Cảm biến dynamo | Chất cách điện | Điện học | Điện ly | Điện trường | Gauge | Nam châm | Ống dẫn sóng | Sóng điện từ | Từ trường | Vật lý radio

Nam châm Neodymi

Nam châm Neodymi hay *nam châm Neodymi-Sắt-Bo*, hoặc đôi khi còn được viết tắt là NdFeB là một loại nam châm đất hiếm được tạo ra từ hợp chất của Neodymi (Nd) - Sắt (Fe) - Bo (B), với công thức phân tử là $Nd_2Fe_{14}B$. Nam châm Neodymi được cả General Motors Corporation (Mỹ) [1] và Sumitomo Special Metals (Nhật Bản) [2] đồng thời phát minh ra năm 1982 và hiện vẫn đang là loại nam châm vĩnh cửu mạnh nhất từng được biết[3] .

Nam châm đất hiếm NdFeB được sử dụng trong ổ cứng máy tính

Cấu trúc và tính chất

$Nd_2Fe_{14}B$ là một hợp chất thuộc nhóm 2:14:1, có cấu trúc tinh thể tứ giác với hằng số mạng a = 0,882 nm và c = 1,224 nm; thuộc nhóm không gian P42/mm, khối lượng riêng 7,55 g/cm. Ô đơn vị của tinh thể $Nd_2Fe_{14}B$ chứa 68 nguyên tử nằm trong 4 ô đơn vị: với các nguyên tử Fe nằm ở 6 vị trí khác nhau về mặt tinh thể, hai vị trí chứa các nguyên tử Nd và một vị trí cho B [3] [4] . Cấu trúc tinh thể với độ bất đối xứng rất cao tạo ra tính từ cứng mạnh của vật liệu này.

Nam châm Neodymi được chế tạo dạng hình xuyến.

$Nd_2Fe_{14}B$ có dị hướng từ tinh thể $K_1 = 4{,}9.10^6$ J/m^3, từ độ bão hòa $\mu_0 M_s$ = 1,61 T (tương ứng với mômen từ là 37,6 μ_B, trường dị hướng H_A = 15 T) và nhiệt độ Curie là T_C = 585 K (312^{o}C) [4] , [5] . Các thông số cấu trúc và tính chất nội tại này cho phép tạo ra tích năng lượng từ cực đại $(B.H)_{max}$ lớn nhất tới 64 MGOe [5] , [6] . Hiện nay, người ta đã tạo ra nam châm $Nd_2Fe_{14}B$ có tích năng lượng từ cực đại lên tới 57 MGOe [7] . Nam châm NdFeB là loại nam châm vĩnh cửu cực mạnh, có khả năng cho từ dư tại bề mặt lên tới 1,3 T, nhưng có có nhược điểm là có tính ôxy hóa cao (do hoạt tính của Nd), nhiệt độ hoạt động thấp và giá thành đắt (do chứa nhiều đất hiếm). Bảng dưới đây so sánh từ tính của nam châm NdFeB với các loại khác:

Nam châm	M_r (T)	H_{ci} (kA/m)	BH_{max} (kJ/m^3)	T_C (°C)
$Nd_2Fe_{14}B$ (thiêu kết)	1,0–1,4	750–2000	200–440	310–400
$Nd_2Fe_{14}B$ (kết dính)	0,6–0,7	600–1200	60–100	310–400
$SmCo_5$ (thiêu kết)	0,8–1,1	600–2000	120–200	720
$Sm(Co, Fe, Cu, Zr)_7$ (thiêu kết)	0,9–1,15	450–1300	150–240	800
Alnico (thiêu kết)	0,6–1,4	275	10–88	700–860
Sr-ferrite (thiêu kết)	0,2–0,4	100–300	10–40	450

Kỹ thuật chế tạo

Nam châm Neodymi được sử dụng trong đĩa cứng máy tính.

Phương pháp phổ biến để chế tạo nam châm Neodymi là kỹ thuật luyện kim bột và thiêu kết. Ban đầu hợp kim NdFeB được tạo ra bằng cách nấu chảy các đơn chất thành phần trong lò cao (thông thường Nd và B thường được bù thêm vài % so với thành phần danh định do các chất này dễ bị ôxy hóa hoặc bay hơi). Trong quá trình nấu chảy, hợp kim được nấu trong môi trường bảo vệ để tránh ôxy hóa. Sau đó, hợp kim được nghiền thành bột mịn, sau đó được trộn với keo epoxy, ép thành hình sản phẩm, sau đó nung thiêu kết ở nhiệt độ cao trong môi trường bảo vệ. Quá trình ép có thể được hỗ trợ bởi từ trường để tạo dị hướng đơn trục. Quá trình nung thiêu kết được thực hiện ở nhiệt độ cao trong môi trường bảo vệ để tạo pha hợp chất, sau đó hạ về nhiệt độ thấp (1 vài trăm độ) để ổn định pha. Sau đó, nam châm được nạp từ trong từ trường cao và phủ keo bảo vệ.

Có thể thay thế công đoạn thiêu kết bằng kỹ thuật ép nóng. Người ta ép các bột trong từ trường ở nhiệt độ cao nhằm tạo ra pha và định hướng nam châm (tạo ra nam châm dị hướng).

Gần đây, người ta còn tiến hành tạo ra các nam châm đất hiếm giá thành rẻ với kiểu nam châm kết dính. Các bột hợp kim mịn được tạo ra sau khi nghiền các mảnh vụn hợp kim được chế tạo bằng công nghệ nguội nhanh, sau đó chộn keo epoxy và ép định hướng trong từ trường. Kỹ thuật này có ưu điểm là đơn giản và kinh tế hơn, nhưng sản phẩm cho phẩm chất thấp hơn nhiều so với nam châm thiêu kết.

Lịch sử và bản quyền

Nam châm NdFeB lần đầu tiên được chế tạo thành công vào năm 1982, được công bố đồng thời bởi hai công ty lớn là General Motors corporation (Hoa Kỳ)[1] và Sumitomo Special Metals (Nhật Bản) [2] , và sau đó là Viện Hàn lâm Khoa học Trung Quốc cũng công bố chế tạo thành công loại nam châm này [5] . Hiện nay, NdFeB là thương phẩm được bán rộng rãi trên thế giới và còn được gọi một tên khác là Magnequench (do hãng giữ bản quyền lớn nhất là Magnequench - nay là Neo Materials Technology Inc.)[8] . Hiện nay, nam châm Neodymi chiếm khoảng 40% thị phần các loại nam châm trên toàn thế giới. Nước giữ thị phần phân phối lớn nhất là Trung Quốc, nhưng nước thu lợi nhuận lớn nhất từ sản phẩm này là Hoa Kỳ [5] .

Ứng dụng, các thông số vật lý khác

Nam châm Neodymi được sử dụng là một nguồn tạo từ trường mạnh, đóng vai trò là các nam châm vĩnh cửu:

- Sử dụng nhiều trong các ổ cứng máy tính. - Trong các động cơ công suất lớn. - Chụp ảnh cộng hưởng từ - Máy phát điện - ...

Bảng dưới đây liệt kê một số thông số vật lý khác của nam châm Neodymi:

Độ dẫn nhiệt	7.7 kcal/(hm°C)
Ứng suất Young	1.7×10^4 Gg/m^2
Giới hạn bẻ gãy	24 Gg/m^2
Giới hạn ép nén	80 Gg/m^2
Điện trở suất	16 mΩm
Khối lượng riêng	7.4–7.5 Mg/m^3
Độ cứng Vickers	500–600

Xem thêm

- Nam châm đất hiếm
- Neodymium
- Vật liệu từ cứng

Tài liệu tham khảo

[1] J. F. Herbst, J. J. Croat, W. B. Yelon, *Structural and magnetic properties of Nd2Fe14B (invited)*, J. Appl. Phys. 57 (1985) 4086. (http://link.aip.org/link/?JAPIAU/57/4086/1)

[2] M. Sagawa, S. Fujimura, N. Togawa, H. Yamamoto, and Y. Matsuura, *New material for permanent magnets on a base of Nd and Fe (invited)*, J. Appl. Phys. 55 (1984) 2083. (http://link.aip.org/link/?JAPIAU/55/2083/1,)

[3] S.D. Bader, *Colloquium: Opportunities in nanomagnetism*, Rev. Mod. Phys. 78 (2006) 1. (http://link.aps.org/doi/10.1103/RevModPhys.78.1,)

[4] M. Sagawa et al., *Permanent magnet materials based on the Rare-earth-Iron-Boron tetragonal componds (Invited)*, IEEE Trans. Magn. 20 (1984) 1584-1589 (http://ieeexplore.ieee.org/iel5/20/22871/01063214.pdf?tp=&isnumber=22871&arnumber=1063214)

[5] R. Skomski and J.M.D. Coey, *Permanent magnetism* (1999) Chapter 1, pp. 13, Institute of Physics Publishing, ISBN 07503 0478 2.

[6] E. F. Kneller, R. Hawig, *The exchange-spring magnet: a new material principle for permanent magnets*, IEEE Trans. Magn. 27 (1991) 3588 - 3560. (http://ieeexplore.ieee.org/search/srchabstract.jsp?arnumber=102931&isnumber=3181&punumber=20&k2dockey=102931@ieeejrns&query=102931<in>arnumber&pos=0)

[7] W. Rodewald, B. Wall, M. Katter, and K. Uestuener, *Topology of Nd–Fe–B Magnets With a High Energy Density*, Trans. Magn. 39 (2003) 2932-2934. (http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01233263)

[8] History of Magnequench. (http://www.magnequench.com/)

Liên kết ngoài

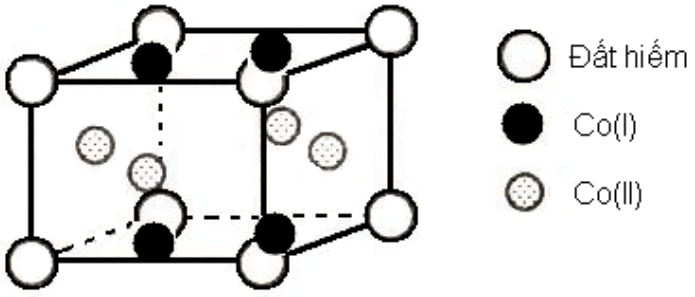
- International Magnetics Association (http://www.intl-magnetics.org/)
- Geeky Rare-Earth Magnets Repel Sharks, Genevieve Rajewski, 05.15.07 , wired.com (http://www.wired.com/gadgets/miscellaneous/news/2007/05/sharkmagnets)
- MAGNEQUENCH INC (http://www.magnequench.com)

Nam châm samarium coban

Nam châm samarium-côban (đôi khi được viết gọn là *nam châm SmCo*, hoặc còn được gọi là *nam châm nhiệt độ cao*) là một loại nam châm đất hiếm mạnh, dựa trên hợp chất của hai kim loại chính là samarium (Sm) và côban (Co), cộng với một số nguyên tố phụ gia khác. Đây là loại nam châm đất hiếm mạnh, đứng thứ hai sau thế hệ nam châm Neodym về độ mạnh, nhưng lại có khả năng hoạt động ở nhiệt độ siêu cao (trên 500^{o}C)[1] nhờ có nhiệt độ Curie rất cao. Nam châm Samarium bắt đầu xuất hiện trên thị trường vào năm 1966, và cho đến nay nó là loại nam châm tốt nhất cho các ứng dụng nhiệt độ cao [2] ví dụ như động cơ phản lực, động cơ điện công suất lớn... Nam châm Samarium Côban được chia làm hai họ: họ 1:5 và 2:17.

Họ 1:5

Là loại nam châm dựa trên hợp chất $SmCo_5$, với khoảng 36% khối lượng là nguyên tố đất hiếm samarium (Sm). Nam châm này lần đầu tiên được phát minh bởi Karl J. Strnat (phòng thí nghiệm Vật liệu Không quân Hoa Kỳ) vào năm 1966, cho tích năng lượng từ cực đại $(B.H)_{max}$ = 18 MGOe [3] , sau đó, hàng loạt các hợp chất từ cứng dựa trên cấu trúc này được phát triển thành họ vật liệu từ cứng RCo_5 được nghiên cứu mạnh mẽ trong ngành từ học [4] .



Ô nguyên tố trong cấu trúc tinh thể của hệ hợp chất $SmCo_5$

$SmCo_5$ thuộc nhóm hợp chất RCo_5 (R thường được dùng để ký hiệu các nguyên tố đất hiếm), có cấu trúc tinh thể lục giác. $SmCo_5$ có hằng số dị hướng từ tinh thể bậc 1 $K_1 = 11{,}9.10^6$ J/m^3, từ độ bão hòa M_s = 840 kA/m và nhiệt độ Curie T_C = 1003 K, trường dị hướng H_A = 28,6 T. Loại nam châm này có khả năng cho tích năng lượng từ cực đại $(BH)_{max}$ lớn nhất tới 28,5 MGOe (220 kJ/m^3) [5] .

Điểm khác biệt cơ bản của nam châm Samarium-Côban so với các nam châm đất hiếm khác (ví dụ như nam châm Neodym) là nó có nhiệt độ Curie rất cao, đồng thời sự suy giảm tính chất theo nhiệt độ rất thấp, do đó được sử dụng trong các ứng dụng nhiệt độ cao (có thể tới hơn 500^{o}C) mà không loại nam châm nào khác có thể hoạt động. Một tham số được quan tâm của loại nam châm này là hệ số suy giảm của từ dư theo nhiệt độ (*reversible temperature coefficient, RTC*), được định nghĩa bởi sự suy giảm của từ dư, B_r theo nhiệt độ:

$$RTC = \frac{\Delta B_r}{B_r} \times \frac{1}{\Delta T}$$

Đối với nam châm $SmCo_5$ nguyên thủy, hệ số RTC là âm, có nghĩa là từ dư sẽ bị suy giảm theo nhiệt độ. Tuy nhiên, gần đây, người ta có nhiều cải tiến như bổ sung các phụ gia, tạo ra các pha phụ trong nam châm có hệ số RTC dương để bù trừ, tạo ra độ suy giảm hầu như bằng 0.

Họ 2:17

Là họ vật liệu dựa trên hợp chất Sm_2Co_{17}, được Karl J. Strnat và Dr. Alden Ray phát minh năm 1972 với tích năng lượng từ cực đại tới 30 MGOe. Hệ vật liệu này có cấu trúc tương tự như $SmCo_5$, nhưng có sự khác biệt về thông số từ nội tại. Hằng số dị hướng từ tinh thể bậc 1 $\mathbf{K_1} = 10.10^6$ J/m^3, từ độ bão hòa $\mathbf{M_s}$ = 990 kA/m và nhiệt độ Curie $\mathbf{T_C}$ = 958 K. Loại nam châm này có khả năng cho tích năng lượng từ cực đại $(BH)_{max}$ lớn nhất tới 41,3 MGOe (331 kJ/m^3). [6] . Trong các nghiên cứu hiện nay về *nam châm nhiệt độ cao*, người ta pha tạp thêm các nguyên tố khác (Fe, Cu, Zr...) để cải tiến cấu trúc và tính chất nhằm nâng cao nhiệt độ Curie cũng như phẩm chất từ của hệ vật liệu này[7]

,[8]

Cơ chế tính chất từ

Cơ chế tạo ra dị hướng từ tinh thể khổng lồ và nhiệt độ Curie cao của nam châm samarium côban là vi cấu trúc đặc biệt cấu trúc bởi các lá (lamelar structure) hoặc các sợi (cellular structure) được định hướng cao trong quá trình chế tạo. Các lá (sợi) này có thể có chiều dày từ vài chục đến 100 nm tạo ra dị hướng từ hình dạng lớn, đồng thời là các tâm hãm sự dịch chuyển vách đômen trong quá trình từ hóa. Cơ chế từ hóa chủ yếu của $SmCo_5$ là cơ chế quay mômen từ, trong khi cơ chế từ hóa chủ yếu chi phối nam châm Sm_2Co_{17} lại là cơ chế hãm sự dịch chuyển các vách đômen.

Các thông tin khác

Nam châm SmCo có khối lượng riêng khoảng 8.4 g/cm³, điện trở suất 0.8×10^{-4} Ω·cm và hệ số giãn nở nhiệt khoảng 12.5 μm/(m·K).

Nam châm samarium côban được sản xuất chủ yếu bằng kỹ thuật luyện kim bột và thiêu kết ở nhiệt độ cao trong môi trường bảo vệ. samarium là kim loại có tính ôxi hóa mạnh nên đòi hỏi môi trường được hút chân không cao để loại trừ ôxi. Do chứa quá nhiều samarium nên hợp kim SmCo thường bị giòn, dễ vỡ hoặc mủm đi khi để ngoài không khí. Do đó, thông thường loại nam châm này thường đi kèm với cảnh báo bảo vệ mắt, mũi khi tiếp xúc, đặt xa tầm tay trẻ em.

Tài liệu tham khảo

[1] W. Tang, Y. Zhang, G. C. Hadjipanayis, *A high performance magnetic alloy with an operating temperature of 500 °C*, IEEE Trans. Magn. 36 (2000) 3294-3296. (http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=908775)

[2] L. Peng, Q. Yang, Y. Liu, Y. Song, H. Zhang, *Application of high-temperature permanent magnets Sm(Co, Fe, Cu, Zr)Z in PPM focusing system*, Journal of Rare Earth 26 (2008) 731-734. (http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0721(08)60172-6)

[3] History of Magnetism (http://www.rare-earth-magnets.com/magnet_university/history_of_magnetism.htm)

[4] ^ Robert C. O'Handley (1999). *Modern Magnetic Materials: Principles and Applications*. Wiley-Interscience. ISBN-13 978-0471155669.

[5] E. F. Kneller, R. Hawig, *The exchange-spring magnet: a new material principle for permanent magnets*, IEEE Trans. Magn. 27 (1991) 3588-3560. (http://dx.doi.org/10.1109/20.102931)

[6] History of magnetism (http://www.rare-earth-magnets.com/magnet_university/history_of_magnetism.htm)

[7] Sofoklis S. Makridis et al., *Sm(Co, Fe, Cu, Zr, C)8.2 ribbons for high-temperature magnets*, J. Magn. Magn. Mater. 272-276 (2004) E1921-E1923 (http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2003.12.457)

[8] Fernando M. F. Rhen et al., *Effect of ZrB2 addition on SmCo-1:7 high temperature magnets*, J. Appl. Phys. 93 (2003) 8683-8685 (http://link.aip.org/link/?JAPIAU/93/8683/1)

Xem thêm

- Nam châm đất hiếm
- Nam châm Neodym
- Vật liệu từ cứng
- Lực kháng từ

Liên kết ngoài

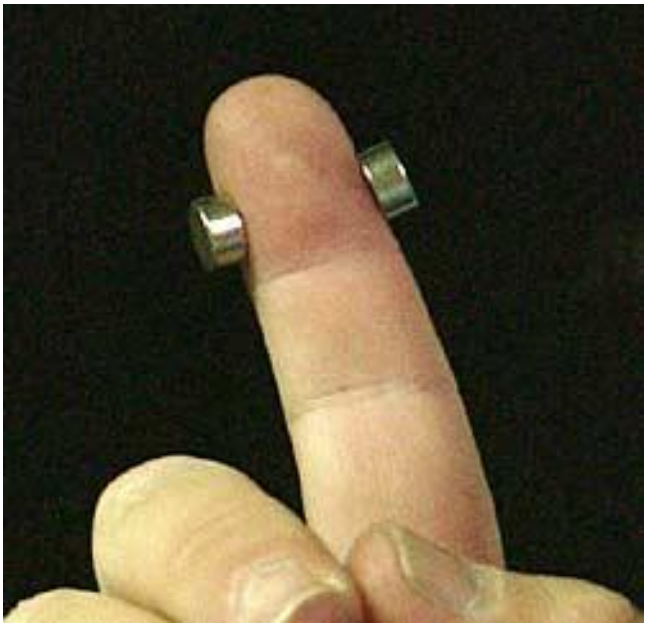
- Samarium Cobalt (http://www.magnetsales.com/SMCO/Smco1.htm)
- Samarium cobalt magnets (http://www.mademagnet.com/samarium-cobalt-magnets.htm)

Nam châm vĩnh cửu

Nam châm vĩnh cửu là các vật được cấu tạo từ các vật liệu từ cứng có khả năng giữ từ tính không bị mất từ trường, được sử dụng như những nguồn tạo từ trường.

Các đặc trưng

Các đại lượng của nam châm vĩnh cửu xuất phát từ đường cong từ trễ, là các thông số đặc trưng của các chất sắt từ nói chung và vật liệu từ cứng nói riêng và các thông số được quan tâm chủ yếu gồm:



Hình ảnh các nam châm vĩnh cửu

- **Lực kháng từ**

Lực kháng từ của nam châm vĩnh cửu phải đủ lớn để không bị khử từ bởi các từ trường ngoài, khả năng lưu trữ từ trường của nam châm càng lớn khi lực kháng từ càng lớn. Các nam châm vĩnh cửu phổ biến hiện nay có lực kháng từ từ 1000 Oe đến vài chục ngàn Oe.

- **Từ dư** (xem bài Đường cong từ trễ).
- **Hệ số chữ nhật hay Độ vuông**
- **Tích năng lượng từ cực đại**

Nói lên khả năng lưu trữ năng lượng từ của nam châm vĩnh cửu, là năng lượng lớn nhất có thể tồn trữ trong một đơn vị thể tích nam châm, được xác định từ đường cong từ trễ. Muốn có tích năng lượng từ cực đại lớn, nam châm cần có lực kháng từ lớn, từ dư cao và hệ số chữ nhật của đường cong từ trễ lớn.

- **Nhiệt độ Curie**

Là nhiệt độ mà tại đó các vật sắt từ bị mất từ tính và trở thành thuận từ. Nhiệt độ Curie cho ta biết khả năng hoạt động của nam châm trong điều kiện nhiệt độ cao hay thấp. Có những nam châm có nhiệt độ Curie khá thấp (ví dụ như nam châm Nd2Fe14B có nhiệt độ Curie chỉ 312^{o}C), nhưng cũng có những loại nam châm có nhiệt độ Curie rất cao (ví dụ hệ hợp chất SmCo có nhiệt độ Curie hàng ngàn độ, được sử dụng trong động cơ phản lực có nhiệt độ cao).

- Ngoài các tham số mang tính chất từ tính, các tham số khác cũng rất được quan tâm đó là độ cứng, khả năng chống mài mòn, chống ôxi hóa, mật độ ... Bên cạnh đó, hình dạng nam châm cũng là một tham số rất quan trọng quyết dịnh điểm làm việc của nam châm do hình dạng nam châm quy định thừa số khử từ của vật từ, có tác động lớn đến năng lượng từ của nam châm.

Phân loại theo vật liệu

Nam châm đất hiếm NdFeB (neodymium) được sử dụng trong ổ cứng máy tính

- Ôxit sắt: Là loại nam châm vĩnh cửu đầu tiên của loài người được sử dụng dưới dạng các "đá nam châm", được sử dụng từ thời cổ đại, có ngay trong tự nhiên nhưng khi khoa học kỹ thuật phát triển loại này không còn được sử dụng do từ tính rất kém.
- Thép cácbon

  Là loại nam vĩnh cửu được sử dụng từ thế kỷ 18 đến giữa thế kỷ 20 với khả năng cho từ dư tới hơn 1 T, nhưng lực kháng từ rất thấp nên từ tính cũng dễ bị mất. Lại nam châm này hầu như không còn được sử dụng hiện nay.
- Nam châm AlNiCo

  Là loại nam châm được chế tạo từ vật liệu từ cứng là hợp kim của nhôm, niken, côban và một số các phụ gia khác như đồng, titan..., là loại nam châm cho từ dư cao (tới 1,2-1,5 T) nhưng có lực kháng từ chỉ xung quanh 1 kOe, đồng thời giá thành cũng khá cao nên hiện nay tỉ lệ sử dụng ngày càng giảm dần (chỉ còn không đầy 10% thị phần sử dụng).
- Ferrite từ cứng

  Là loại nam châm vĩnh cửu được chế tạo từ các ferit từ cứng (ví dụ ferit Ba, Sr..) là các vật liệu dạng gốm. Nam châm ferit có ưu điểm là rất dễ chế tạo, gia công, giá thành rẻ và độ bền cao. Tuy nhiên, vì đây là nhóm các vật liệu feri từ đồng thời có hàm lượng ôxy cao nên có từ độ khá thấp, có lực kháng từ từ 3 đến 6 kOe, có khả năng cho tích năng lượng từ cực đại lớn nhất không quá 6 MGOe. Loại nam châm này hiện nay chiếm tới hơn 50% thị phần sử dụng nam châm vĩnh cửu do những ưu điểm về giá thành cực rẻ, khả năng chế tạo, gia công và độ bền.
- Nam châm đất hiếm

Là loại nam châm vĩnh cửu được tạo ra từ các vật liệu từ cứng là các hợp kim hoặc hợp chất của các kim loại đất hiếm và kim loại chuyển tiếp.

- Nam châm nhiệt độ cao SmCo

  Là hệ các nam châm vĩnh cửu được chế tạo từ hợp chất ban đầu là $SmCo_5$ được phát minh năm 1966 bởi tiến sĩ Karl J. Strnat của U.S. Air Force Materials Laboratory (Mỹ) có tích năng lượng từ cực đại 18 MGOe, sau đó Karl J. Strnat lại phát minh ra hợp chất Sm_2Co_{17} có tích năng lượng từ tới 30 MGOe vào năm 1972. Hệ nam châm SmCo có nhiệt độ Curie rất cao (có thể đạt tới 1100^oC) và có lực kháng từ cực lớn (tới vài chục kOe) nhờ cấu trúc dạng lá đặc biệt. Nhờ có nhiệt độ Curie cao và lực kháng từ lớn nên được sử dụng trong các ứng dụng nhiệt độ cao (ví dụ trong động cơ phản lực...).
- Nam châm NdFeB (neodymium)

  Là hệ các nam châm dựa trên hợp chất $R_2Fe_{14}B$ (R là ký hiệu chỉ các nguyên tố đất hiếm ví dụ như Nd, Pr...) có cấu trúc tinh thể kiểu tứ giác với lực kháng từ lớn (hơn 10 kOe) và từ độ bão hòa rất cao (tới 1,56 T) nên là loại nam châm vĩnh cửu mạnh nhất hiện nay với khả năng cho tích năng lượng từ tới 64 MGOe (tính toán theo lý thuyết) và hiện nay đã xuất hiện loại nam châm $Nd_2Fe_{14}B$ có tích năng lượng từ 57 MGOe. Tuy nhiên, loại nam châm này lại không thể sử dụng ở nhiệt độ cao do có nhiệt độ Curie chỉ 312^oC. Nam châm $Nd_2Fe_{14}B$ lần đầu tiên được phát minh năm 1983 bởi R. Sagawa (Nhật Bản).

Điểm yếu chung của các nam châm đất hiếm là có giá thành cao (do chứa nhiều các nguyên tố đất hiếm đắt tiền), có độ bền kém (do các nguyên tố đất hiếm có tính ôxy hóa rất cao). Vì những điểm yếu này mà nam châm đất hiếm tuy là loại mạnh nhất nhưng vẫn không phải là loại được sử dụng nhiều nhất (đứng sau nam châm ferit).

- Nam châm tổ hợp nano

  Là loại nam châm mới ra đời từ đầu thập kỷ 90 của thế kỷ 20, là loại nam châm có cấu trúc tổ hợp của 2 pha từ cứng và từ mềm ở kích thước nanomet. Các pha từ cứng (chiếm tỉ phần thấp) cung cấp lực kháng từ lớn, pha từ mềm cung cấp từ độ lớn. Tính chất tổ hợp này có được là nhờ liên kết trao đổi đàn hồi giữa các hạt pha từ cứng và từ mềm ở kích thước nanomet. Loại nam châm này được tính toán có khả năng cho tích năng lượng từ khổng lồ hơn 3 lần so với nam châm mạnh nhất hiện nay là NdFeB nhưng thực nghiệm mới chỉ đạt được rất nhỏ so với lý thuyết và các sản phẩm thực nghiệm mới trong giai đoạn sản xuất thử nghiệm.

Phân loại theo phương pháp chế tạo

- Nam châm đẳng hướng (Isotropic magnets)

  Là nam châm vĩnh cửu được chế tạo bằng cách ép đẳng tĩnh mà không sử dụng các phương pháp định hướng ban đầu (từ trường...).

- Nam châm dị hướng (Anisotropic magnets)

  Là nam châm được định hướng trong quá trình ép đẳng tĩnh bằng từ trường. Khi đó, các hạt đơn đômen trong vật liệu sẽ bị định hướng theo chiều từ trường, tạo nên khả năng dễ dàng từ hóa theo phương định hướng.

- Nam châm kết dính

  Là các nam châm được chế tạo bằng cách nghiền thành bột mịn, sau đó trộn với keo kết dính (ví dụ epoxy) và ép trong từ trường định hướng. Các keo vừa có tác dụng kết dính, lại vừa có tác dụng đông cứng sự định hướng của các hạt.

- Nam châm thiêu kết

  Là nam châm được chế tạo bằng cách thiêu kết các bột kim loại được nghiền mịn và ép khuôn. Việc thiêu kết nhằm tạo ra hợp chất có thành phần hợp phức xác định với tính chất từ của hợp chất đó.

Xem thêm

- Nam châm
- Vật liệu từ cứng
- Sắt từ
- Đường cong từ trễ

Tài liệu tham khảo

1. ^ Robert C. O'Handley (1999). *Modern Magnetic Materials: Principles and Applications*. Wiley-Interscience. ISBN-13 978-0471155669.
2. ^ K.H.J. Buschow (1998). *Permanent-magnet Materials and Their applications*. Trans Tech Publications. ISBN 0 8784978-796-x.

Liên kết ngoài

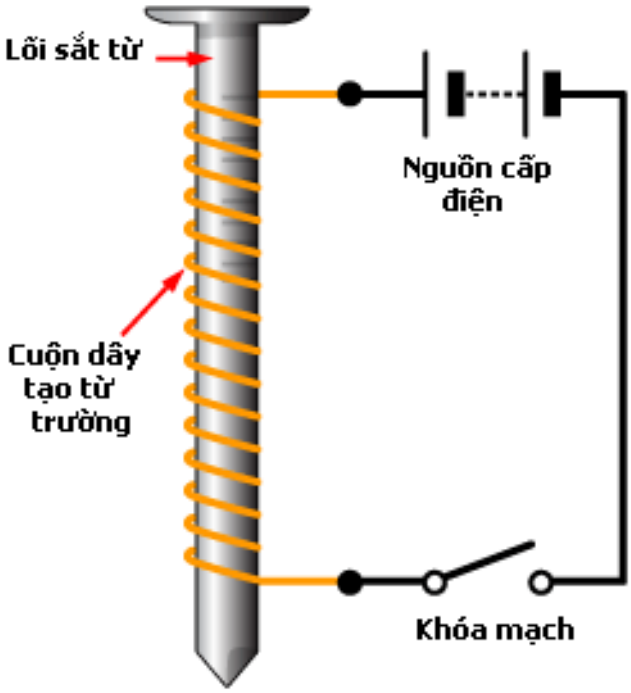
- History of magnetism [1]

Chú thích

[1] http://www.rare-earth-magnets.com/magnet_university/history_of_magnetism.htm

Nam châm điện

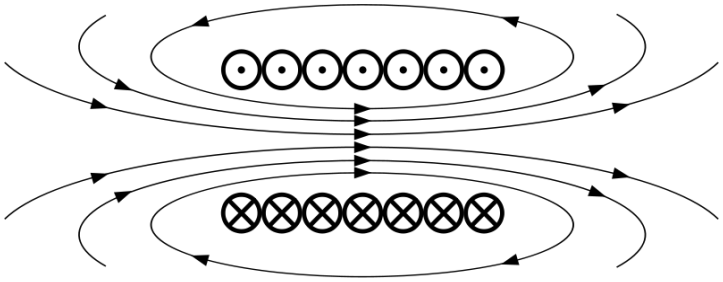
Nam châm điện là một dụng cụ tạo từ trường hay một nguồn sản sinh từ trường hoạt động nhờ từ trường sinh ra bởi cuộn dây có dòng điện lớn chạy qua. Cảm ứng từ của nam châm điện được dẫn và tạo thành lớn nhờ việc sử dụng một lõi dẫn từ làm bằng vật liệu từ mềm có độ từ thẩm lớn và cảm ứng từ bão hòa cao. Khác với nam châm vĩnh cửu có cảm ứng từ cố định, nam châm điện có cảm ứng từ có thể thay đổi được nhờ việc điều khiển dòng điện chạy qua cuộn dây.



Sơ đồ nguyên lý của nam châm điện đầu tiên. Dòng điện cung cấp bởi nguồn pin tạo ra từ trường trong cuộn dây và được khuếch đại bởi lõi dẫn từ làm bằng sắt non.

Nam châm điện lần đầu tiên được phát minh bởi nhà điện học người Anh William Sturgeon (1783-1850) vào năm 1825. Nam châm điện của Sturgeon là một lõi sắt non hình móng ngựa có một số vòng dây điện cuốn quanh. Khi cho dòng điện sinh ra bởi một pin nhỏ chạy qua, lõi sắt bị từ hóa và cảm ứng từ sinh ra đủ mạnh để hút lên được một hộp sắt nặng 7 ounce. Khi ngắt dòng điện, từ trường của lõi cũng biến mất

Nguyên lý của nam châm điện



Phân bố đường sức từ trong một cuộn dây solenoid.

Có thể tưởng tượng cuộn dây của nam châm điện là do nhiều vòng dây với cùng một dòng điện chạy qua gộp lại . Vì vậy , từ trường mà nam châm điện sinh ra cũng ra là tổng từ trường của từng vòng dây riêng lẻ . Để xác định từ trường của một vòng dây riêng lẻ , ta lại dùng Quy tắc bàn tay phải .Với quy tắc này và tưởng tượng rằng , đoạn dây thẳng bây giờ được uốn thành một vòng dây ,ta xác định được từ trường của vòng dây . Khi từ trường của nhiều vòng dây kết hợp lại với nhau sẽ tạo thành từ trường của cuộn dây . Từ trường đều và mạnh nhất trong lòng cuộn dây .Chiều từ trường của

cuộn dây cũng tương ứng với chiều từ trường của các vòng dây.Ở vòng dây ngoài cùng , nơi các đường sức từ có hướng đi ra khỏi cuộn dây là cực bắc của nam châm .Vòng dây ngoài cùng còn lại , nơi các đường sức từ đi vào cuộn dây là cực nam của nam châm (tương tự nam châm vĩnh cửu)

```
Từ Trường của cuộn dây dẫn điện có tính chất giống như từ trường của một Nam Châm cũng hút hay
đẩy một từ vật nằm trong từ trường của cuộn dây .
```

Khi tách Điện khỏi cuộn dây, Từ Trường không tồn tại . Cuộn dây không còn hút hay đẩy từ vật

Vậy chỉ khi nào cuộn dây dẫn điện, cuộn dây trở thành Nam Châm Điện

Từ Trường của cuộn dây tùy thuộc vào số Từ Cảm cuộn dây và dòng điện trong cuộn dây

B = L I

Từ Cảm cuộn dây tỉ lệ thuận với chiều dài, số vòng quấn và tỉ lệ nghịch với diện tích của cuộn dây

Các Loại Nam Châm Điện

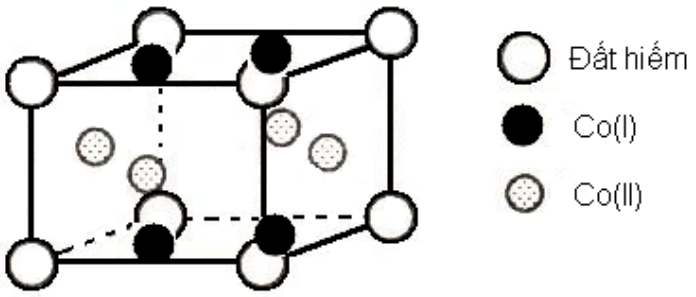
Cuộn Dây

Một dây dẫn điện với

Các kiểu nam châm điện và ứng dụng

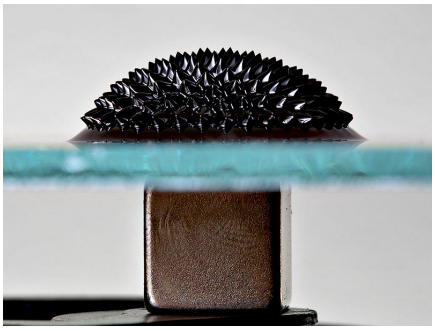
Nam châm đất hiếm

Nam châm đất hiếm là tên gọi của các loại nam châm vĩnh cửu được làm từ các hợp chất hoặc hợp kim của các nguyên tố đất hiếm và kim loại chuyển tiếp mà điển hình là 2 họ nam châm đất hiếm 2:14:1 và Nam châm SmCo.



Ô nguyên tố trong cấu trúc tinh thể của hệ hợp chất $SmCo_5$

Nam châm đất hiếm bắt đầu xuất hiện từ nửa sau thế kỷ 20 được biết đến là mạnh hơn rất nhiều so với các loại nam châm truyền thống như nam châm ferrite, nam châm AlNiCo, hay vượt trên cả nam châm hợp kim FePt, CoPt.



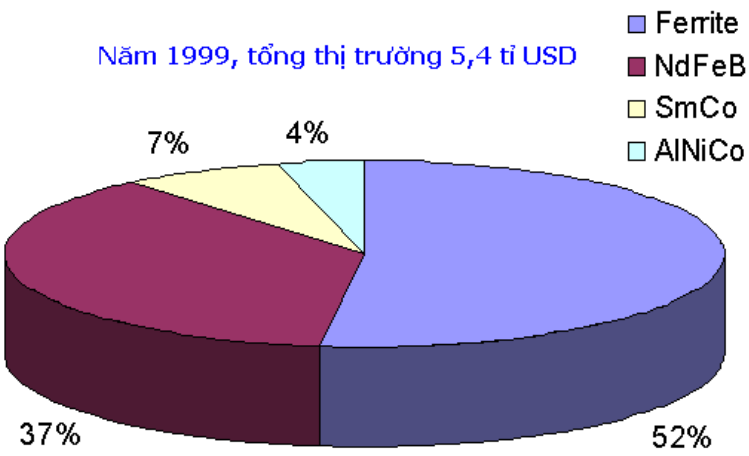
Hệ nam châm đất hiếm dựa trên hợp chất SmCo

Là các nam châm vĩnh cửu cấu tạo từ các hợp chất của Samarium (Sm) và Côban (Co) (có thể có thêm một số nguyên tố khác), là hệ các vật liệu từ cứng có dị hướng từ tinh thể lớn nhất hiện nay với lực kháng từ rất lớn và nhiệt độ Curie rất cao, mà phổ biến nhất là hai hệ hợp chất $SmCo_5$ và $Sm_2(Co,Fe)_{17}$. Đặc điểm chung của hệ hợp chất này là có dị hướng từ tinh thể rất lớn (nên có thể cho lực kháng từ từ vài kOe đến vài chục kOe[1]), nhưng

có từ độ bão hòa không cao, và có nhiệt độ Curie rất cao và độ suy giảm phẩm chất theo nhiệt độ thấp nên thường được sử dụng trong các ứng dụng ở nhiệt độ cao và do đó thường được gọi với tên chung là *nam châm nhiệt độ cao*[2] ,[3] ..

- **Hợp chất $SmCo_5$**

Được phát minh bởi Karl J. Strnat (U.S. Air Force Materials Laboratory) lần đầu tiên vào năm 1966 với tích năng lượng từ cực đại (BH)max đạt 18 MGOe.



Phân bố thị trường nam châm vĩnh cửu trên thế giới năm 1999, nam châm NdFeB chiếm 37% thị phần

$SmCo_5$ thuộc nhóm hợp chất RCo_5 (R thường được dùng để ký hiệu các nguyên tố đất hiếm, có cấu trúc tinh thể lục giác. $SmCo_5$ có hằng số dị hướng từ tinh thể bậc 1 $\mathbf{K_1}$ = 11,9.106 J/m^3, từ độ bão hòa $\mathbf{M_s}$ = 840 kA/m và nhiệt độ Curie $\mathbf{T_C}$ = 1003 K, trường dị hướng $\mathbf{H_A}$ = 28,6 T. Loại nam châm này có khả năng cho tích năng lượng từ cực đại (BH)max lớn nhất tới 28,5 MGOe (220 kJ/m^3).

- **Hợp chất Sm_2Co_{17}**

Được Karl J. Strnat và Dr. Alden Ray phát minh năm 1972 với tích năng lượng từ cực đại tới 30 MGOe. Hệ vật liệu này có cấu trúc tương tự như SmCo5, nhưng có sự khác biệt về thông số từ nội tại. Hằng số dị hướng từ tinh thể bậc 1 $\mathbf{K_1}$ = 10.106 J/m^3, từ độ bão hòa $\mathbf{M_s}$ = 990 kA/m và nhiệt độ Curie $\mathbf{T_C}$ = 958 K. Loại nam châm này có khả năng cho tích năng lượng từ cực đại (BH)max lớn nhất tới 41,3 MGOe (331 kJ/m3). [4] . Trong các nghiên cứu hiện nay về *nam châm nhiệt độ cao*, người ta pha tạp thêm các nguyên tố khác (Fe, Cu, Zr...) để cải tiến cấu trúc và tính chất nhằm nâng cao nhiệt độ Curie cũng như phẩm chất từ của hệ vật liệu này[5] ,[6]

Nam châm đất hiếm dựa trên nhóm hợp chất 2:14:1

Hệ hợp chất 2:14:1 là tên gọi tắt của hệ hợp chất có công thức chung $R_2Fe_{14}B$ hoặc $R_2Co_{14}B$ (nhưng hệ hợp chất $R_2Co_{14}B$ hầu như ít được sử dụng), với R là các nguyên tố đất hiếm (ví dụ như Nd, Pr, Dy...), và loại được sử dụng nhiều nhất là $Nd_2Fe_{14}B$ (thường được gọi tắt là nam châm NdFeB) và $Pr_2Fe_{14}B$. Đặc điểm chung là có dị hướng từ tinh thể rất lớn, có từ độ bão hòa rất lớn nên có khả năng cho tích năng lượng từ khổng lồ. Loại tốt nhất là NdFeB có khả năng cho giá trị (BH)max tới 64 MGOe. Nhóm hợp chất này đều có cấu trúc tinh thể kiểu tứ giác. Các tham số từ của nhóm hợp chất này được trình bày theo bảng dưới đây [7]

Hợp chất	Hằng số mạng a (nm)	Hằng số mạng c (nm)	Mật độ	Từ độ bão hòa M_s (kG)	Trường dị hướng H_A (kG)	Nhiệt độ Curie T_C (K)
$Ce_2Fe_{14}B$	0,877	1,211	7,81	11,6	44,25	424
$Pr_2Fe_{14}B$	0,882	1,225	7,47	14,3	125	564
$Nd_2Fe_{14}B$	0,882	1,224	7,55	15,6	150	585
$Sm_2Fe_{14}B$	0,880	1,215	7,73	13,3	--	612
$Gd_2Fe_{14}B$	0,879	1,209	7,85	8,6	76,25	661
$Tb_2Fe_{14}B$	0,877	1,205	7,93	0,64	350	639
$Dy_2Fe_{14}B$	0,875	1,200	8,02	6,5	312,5	602
$Ho_2Fe_{14}B$	0,875	1,199	8,05	8,6	250	576
$Er_2Fe_{14}B$	0,874	1,196	8,24	9.3	--	554
$Tm_2Fe_{14}B$	0.874	1,195	8,13	10,9	--	541
$Y_2Fe_{14}B$	0,877	1,204	6,98	12,8	25,3	565

Đây là hệ vật liệu được phát minh vào năm 1983 bởi đồng thời 2 nước là Mỹ (J. J. Croat[8]) và Nhật Bản (M. Sagawa[9]]) là hợp chất $Nd_2Fe_{14}B$ và cho đến hiện nay $Nd_2Fe_{14}B$ vẫn là loại nam châm vĩnh cửu tốt nhất với dị hướng từ tinh thể $K_1 = 9{,}4.10^6$ J/m^3, tích năng lượng từ cực đại có thể đạt tới 64 MGOe (đã sản xuất thương phẩm đạt 57 MGOe).

Kỹ thuật chế tạo nam châm đất hiếm

Nam chất đất hiếm được sử dụng nhiều nhất là dạng các nam châm thiêu kết. Ban đầu, người ta chế tạo các hợp kim theo thành phần danh định của hợp chất (có bù lại một phần các nguyên tố đất hiếm do chúng dễ bị ôxi hóa. Sau đó chúng được nghiền thành bột mịn, trộn keo epoxy và ép định hướng trong từ trường, sau đó nung thiêu kết ở nhiệt độ cao (trong môi trường đã được hút chân không cao và nạp khí bảo vệ) để tạo thành hợp chất, sau đó ủ nhiệt ở nhiệt độ thấp để ổn định pha, từ hóa và phủ keo bảo vệ. Các công đoạn trên đều được tiến hành trong môi trường bảo vệ để giảm thiểu ôxi hóa.

Có thể thay thế công đoạn thiêu kết bằng kỹ thuật ép nóng. Người ta ép các bột trong từ trường ở nhiệt độ cao nhằm tạo ra pha và định hướng nam châm (tạo ra nam châm dị hướng.

Gần đây, người ta còn tiến hành tạo ra các nam châm đất hiếm giá thành rẻ với kiểu nam châm kết dính. Các bột hợp kim mịn được tạo ra sau khi nghiền các mảnh vụn hợp kim được chế tạo bằng công nghệ nguội nhanh, sau đó trộn keo epoxy và ép định hướng trong từ trường. Kỹ thuật này có ưu điểm là đơn giản và kinh tế hơn, nhưng sản phẩm cho phẩm chất thấp hơn nhiều so với nam châm thiêu kết.

Nhược điểm của nam châm đất hiếm

Nam châm đất hiếm có những nhược điểm chung thuộc về đặc tính vật lý:

- Độ bền kém do các nguyên tố đất hiếm có hoạt tính hóa học cao, dễ bị ôxi hóa. Các nam châm thường phải được phủ keo bảo vệ để chống ôxi hóa.
- Giá thành cao (do các chứa hàm lượng lớn các nguyên tố đất hiếm đắt tiền và các kỹ thuật chế tạo phức tạp.
- Nam châm mạnh nhất là $Nd_2Fe_{14}B$ là loại mạnh nhất thì lại có nhiệt độ Curie tương đối thấp và có độ suy giảm phẩm chất do nhiệt độ khá lớn.

Xem thêm

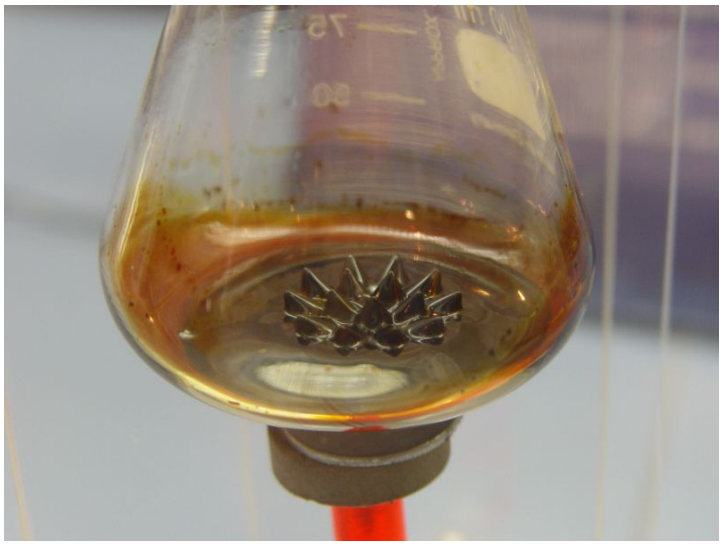
- Nam châm vĩnh cửu
- Vật liệu từ cứng
- Dị hướng từ tinh thể

Tài liệu tham khảo

[1] George Rare Earth Magnet (SM-CO) (http://www.allproducts.com/metal/micromeg/12-earth_magnet.html)
[2] George Hadjipanayis et al. Magnets for High Temperature Applications (http://www.stormingmedia.us/38/3830/A383004.html)
[3] George Rare Earth Magnet (SM-CO) (http://www.allproducts.com/metal/micromeg/12-earth_magnet.html)
[4] History of magnetism (http://www.rare-earth-magnets.com/magnet_university/history_of_magnetism.htm)
[5] Sofoklis S. Makridis et al. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 272-276 (2004) E1921-E1923 (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TJJ-4BMJB5S-B&_user=121723&_coverDate=05/31/2004&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000009999&_version=1&_urlVersion=0&_userid=121723&md5=34c135ab6ee458d6b65510f78b006a38)
[6] Fernando M. F. Rhen et al. Journal of Applied Physics 93 (2003) 8683-8685 (http://link.aip.org/link/?JAPIAU/93/8683/1)
[7] M. Sagawa et al. IEEE Transaction Magnetics 20 (1984) 1584-1589 (http://ieeexplore.ieee.org/iel5/20/22871/01063214.pdf?tp=&isnumber=22871&arnumber=1063214)
[8] J.J. Croat et al. Journal of Applied Physics 55 (1984) 2078-2082 (http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=JAPIAU000055000006002078000001&idtype=cvips&gifs=yes)
[9] M. Sagawa et al. Journal of Applied Physics 55 (1984) 2083-2087 (http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=JAPIAU000055000006002083000001&idtype=cvips&gifs=yes)

Nước từ

Nước từ (tiếng Anh: *ferrofluid*), viết đầy đủ là **nước sắt từ** (*ferromagnetic fluid*) hoặc **chất lỏng từ** (*magnetic fluid*), là một loại chất lỏng có từ tính.



Một lọ nước từ nằm bên trên ảnh hưởng của một nam châm cho thấy các múi nổi lên

Hầu hết các vật liệu có tính sắt từ đều là các vật liệu ở trạng thái rắn như là các nam châm vĩnh cửu, nam châm điện bởi vì, nói chung, các vật liệu từ có nhiệt độ Curie (nhiệt độ mà tại đó vật liệu mất đi tính chất sắt từ để chuyển sang tính thuận từ) nhỏ hơn nhiều nhiệt độ nóng chảy của chúng. Ở nhiệt độ rất thấp, Helium^3 có từ tính khi nhiệt độ dưới 2,7 mK. Ở nhiệt độ rất cao, hợp kim dạng lỏng có thành phần $Co_{80}Pd_{20}$ cũng có từ tính tốt. Tuy nhiên, các chất đó không thể có những ứng dụng thực tế. Nước từ là chất từ duy nhất ở trạng thái lỏng trong điều kiện bình thường. Không giống như He^3 và $Co_{80}Pd_{20}$, nước từ là một chất lỏng có cấu trúc, đó là một sản phẩm hoàn toàn nhân tạo mà từ trước đến nay, người ta chưa thấy có trong tự nhiên.

Thành phần của nước từ

Chất lỏng bình thường được tạo thành từ các phân tử hoặc các ion. Các phần tử tạo nên nước từ lại hoàn toàn khác, bên cạnh các phân tử và ion, nước từ còn có một thành phần, đó là các hạt chất rắn có kích thước vài chục cho đến vài trăm nm. Nước từ gồm ba thành phần chính là hạt từ tính (chất rắn), chất bao phủ về mặt (còn gọi là chất hoạt hóa bề mặt, là chất rắn hoặc chất lỏng) và dung môi (chất lỏng). Các hạt từ cần được phân tán trong chất lỏng tạo nên một thể được gọi là huyền phù để có thể có được các tính chất đặc biệt.

Hạt từ tính

Hạt từ tính là thành phần quan trọng nhất trong nước từ, tính chất đặc biệt của nước từ phụ thuộc chủ yếu vào tính chất của hạt từ. Hạt từ có kích thước từ vài nm (nanômét) đến vài chục nm.

Bất kỳ một vật liệu nào đều hưởng ứng dưới tác động của một từ trường (thường được ký hiệu là *H*) bên ngoài thể hiện bằng một đại lượng vật lý được gọi là từ độ (còn gọi là *độ từ hóa*, thường được ký hiệu là *M*). Đại lượng vật lý $\chi = M/H$ được gọi là độ cảm từ của vật liệu. Tùy theo cách mà vật liệu hưởng ứng từ trường ngoài mà người ta chia thành vật liệu thuận từ, nghịch từ, sắt từ, ferri từ và phản sắt từ. Vật liệu thuận từ là vật liệu có χ nhỏ và dương, cỡ 10^{-6}; vật liệu thuận từ có χ nhỏ và âm, cỡ -10^{-6}; vật liệu sắt từ, ferri từ, phản sắt từ là các vật liệu có χ rất lớn và dương, giá trị của χ có thể lớn hơn vật liệu thuận từ hàng vạn lần. Ta qui định, vật liệu từ tính là vật liệu sắt từ, ferri từ và phản sắt từ. Đối với vật liệu sắt từ và ferri từ, kích thước hạt của vật liệu còn ảnh hưởng mạnh đến từ tính của chúng. Khi kích thước giảm đến một giá trị tới hạn phụ thuộc vào từng vật liệu, tính sắt từ bị mất đi mà thay vào đó, vật liệu tồn tại ở một trạng thái từ tính khác được gọi là siêu thuận từ.

Đối với nước từ, các hạt từ tính là sắt từ hoặc siêu thuận từ. Chúng được tạo thành từ các hợp chất của các kim loại chuyển tiếp hoặc kim loại đất hiếm. Nước từ thường được dùng nhất là hạt ôxít sắt α-Fe_2O_3 (maghemite), Fe_3O_4 (magnetite) vì từ độ bão hòa (từ độ khi từ trường ngoài lớn) lớn, rẻ tiền, ổn định khi làm việc.

Chất bao phủ bề mặt

Khi phân tán trong chất lỏng, các hạt từ tính nói trên sẽ chịu tác dụng của các lực sau:

- Lực hấp dẫn của Trái Đất có xu hướng làm cho các hạt lắng đọng.
- Nếu có một gradient từ trường thì các hạt sẽ có xu hướng co cụm lại vùng có từ trường lớn.
- Lực Van der Walls và lực lưỡng cực từ làm cho các hạt kết tụ lại với nhau.

Để hệ ở trạng thái huyền phù thì các hạt phải có một năng lượng chuyển động nhiệt (chuyển động Brown) thắng được năng lượng hấp dẫn và năng lượng tương tác từ.

- Năng lượng chuyển động nhiệt: k_BT
- Năng lượng hấp dẫn của trái đất: $\Delta\rho Vgl$
- Năng lượng tương tác từ: $\mu_0 mH$

Trong đó, k_B là hằng số Boltzmann; T là nhiệt độ tuyệt đối; $\Delta\rho$ là sự khác biệt về khối lượng riêng của hạt từ tính và chất lỏng; g là gia tốc trọng trường; l là độ cao của chất lỏng trong trường hấp dẫn; μ_0 là độ từ thẩm của chân không; m là mô men từ của hạt từ tính ($m = M_SV$, với M_S là từ độ bão hòa của vật liệu tạo nên hạt từ tính, V là thể tích của hạt).

Nếu năng lượng nhiệt không đủ để thắng năng lượng hấp dẫn và năng lượng từ thì người ta phải bổ sung cho các hạt những loại năng lượng mới như năng lượng tĩnh điện hoặc năng lượng đẩy không gian (*steric force*). Năng lượng tĩnh điện có thể xuất hiện do bề mặt các hạt bị tích điện cùng dấu sẽ đẩy nhau. Năng lượng đẩy không gian thường xuyên được sử dụng để phân tán các hạt. Nó xuất hiện do hạt được bao phủ bởi một lớp bề mặt như là các chất hoạt hóa bề mặt, cao phân tử,... Chất hoạt hóa bề mặt được dùng phổ biến nhất vì phân tử chất hoạt hóa bề mặt là một phân tử dài gồm một đầu bị phân cực như các nhóm chức -COOH, $-NH_2$,... và một đầu không bị phân cực gồm các chuỗi hyđrôcácbon. Khi có mặt trong nước từ, tùy vào bản chất dung môi mà các đầu các hạt này sẽ bám lên bề mặt hạt từ tính hoặc quay ra dung môi để tạo nên một lực đẩy không gian giữa các hạt.

Dung môi

Dung môi là môi trường chứa hạt từ và chất bao phủ bề mặt. Nếu từ tính của nước từ do hạt từ quyết định thì tính lỏng của nó do dung môi quyết định. Dung môi có thể là các chất phân cực như nước, cồn,.. hoặc các chất không phân cực như dầu, dung môi hữu cơ. Dung môi có thể có độ nhớt rất khác nhau hoặc có thể có khả năng bay hơi dưới điều kiện bình thường cũng khác nhau. Tùy thuộc vào các ứng dụng cụ thể mà người ta dùng dung môi thích hợp. Các ứng dụng sinh hóa thường dùng dung môi là nước vì nước có tính tương hợp sinh học. Với các ứng dụng vật lý, dung môi thường dùng là dầu vì dầu rất ổn định trong môi trường làm việc.

Chế tạo nước từ

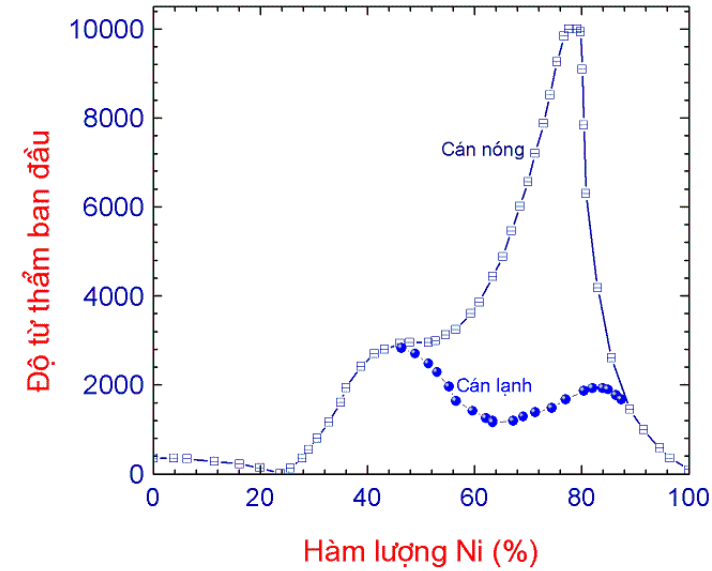
Tính chất của nước từ

Ứng dụng của nước từ

Permalloy

Permalloy là tên gọi chung của các hợp kim của Niken và Sắt, có thành phần hợp thức là Ni_xFe_{1-x} với giá trị x thay đổi từ 20% đến 85%. Trong các sách về từ học và trong kỹ thuật, người ta gọi tên của hợp kim này tương ứng với tỉ lệ niken, ví dụ Permalloy75 là hợp kim permalloy có chứa 75% nguyên tử là niken (hay $Ni_{75}Fe_{25}$). Hợp kim permally là hợp kim có từ tính, thường được sử dụng trong các ứng dụng về từ học. Tên gọi ***permalloy*** xuất phát từ chữ ghép ***per*** (trong chữ ***permeability***, có nghĩa là *từ thẩm*), với từ ***alloy*** có nghĩa là *hợp kim*, do permalloy là hợp kim có độ từ thẩm rất cao.

Permalloy với tỉ lệ 75% nguyên tử niken được gọi là *permalloy chuẩn* (*Standard permalloy*). Permalloy được pha tạp một số nguyên tố khác (ví dụ như Môlipđen - Mo) được gọi là *Supermalloy*. Trong kỹ thuật, Permalloy thường được viết tắt là ***Py***.



Sự thay đổi của độ từ thẩm ban đầu của permalloy theo hàm lượng Ni 1) Chế tạo bằng phương pháp cán lạnh, 2) Chế tạo bằng cán nóng

Cấu trúc và tính chất của permalloy

Ở dạng khối và đơn tinh thể, permalloy có cấu trúc lập phương tâm mặt điển hình [1] [2] , cấu trúc tinh thể có thể bị thay đổi tùy theo phương pháp chế tạo (ví dụ cấu trúc lục giác xếp chặt khi ở dạng màng mỏng chế tạo bằng phương pháp epitaxy chùm phân tử[3]). Hằng số mạng phụ thuộc vào thành phần hợp kim (chưa xác định quy luật rõ ràng), ví dụ hợp kim permalloy75 có cấu trúc lập phương tâm mặt với hằng số mạng a = 0.3555 nm, khối lượng riêng $8,57.10^3$ kg/m^3, thuộc nhóm không gian Pm-3m [4] , trong khi hợp kim permalloy50 có hằng số mạng a = 0.3587 nm, thuộc nhóm không gian Fm-3m, khối lượng riêng $8,24.10^3$ kg/m^3[5] . Sự thay đổi của cấu trúc tinh thể theo hàm lượng các nguyên tố phụ thuộc nhiều vào công nghệ chế tạo.

Permalloy là một vật liệu từ mềm điển hình với tính từ mềm rất tốt: có độ từ thẩm rất cao (cả độ từ thẩm ban đầu - có thể đạt tới 10.000 với Permalloy75 và độ từ thẩm cực đại - có thể đạt tới 300.000 lần), lực kháng từ rất nhỏ (có thể tới 1 A/m), nhưng lại có từ độ bão hòa thấp, nhìn chung từ độ bão hòa giảm theo hàm lượng Ni[6] .

Permalloy là vật liệu có độ bền và độ dẻo dai cao, khả năng chống ăn mòn, chống ôxi hóa, chống mài mòn rất tốt. Do mang bản chất kim loại, permalloy có điện trở suất rất thấp. Hợp kim permalloy có có thể cho hiệu ứng từ điện trở khoảng 5% ở nhiệt độ phòng.

Kỹ thuật chế tạo và xử lý permalloy

Permalloy là một hợp kim có nhiệt độ nóng chảy trung bình (xung quanh 1100^{o}C) do đó nó có thể dễ dàng được tạo ra bằng các kỹ thuật luyện kim:

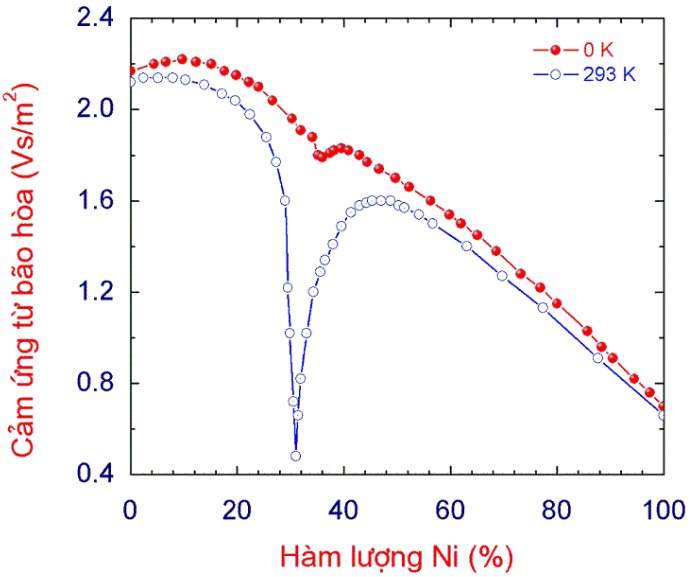
- Nóng chảy cảm ứng
- Nóng chảy hồ quang
- Lò điện
- Luyện kim bột

Để tạo ra các tính chất từ như mong muốn, người ta còn áp dụng các kỹ thuật chế tạo và xử lý sau khi tạo ra hợp kim:

- Cán nóng, cán lạnh
- Xử lý nhiệt trong từ trường, trong khí hydro

Màng mỏng permalloy có thể dễ dàng tạo ra bằng các kỹ thuật màng mỏng:

- Mạ điện
- Bốc bay nhiệt trong chân không
- Phún xạ catốt
- Lắng đọng chùm laser
- Epitaxy chùm phân tử



Sự phụ thuộc của từ độ bão hòa vào hàm lượng Ni trong các hợp kim permalloy

Ứng dụng của permalloy

- Các vật liệu dạng khối được sử dụng trong các lõi biến thế, các cuộn chặn, lõi dẫn từ chất lượng cao sử dụng trong từ trường tần số thấp do hợp kim permalloy là hợp kim có tính chất từ mềm tuyệt vời. Tuy nhiên nó không thể sử dụng trong ứng dụng cao tần do có điện trở suất thấp.
- Các màng mỏng permalloy được sử dụng trong các cảm biến từ trường, các đầu đọc của đĩa cứng, các cấu trúc nano nhân tạo... Màng mỏng permalloy hiện nay đang là một trong những vật liệu được nghiên cứu mạnh mẽ nhất cho các ứng dụng spintronic sử dụng các vật liệu sắt từ kim loại.

Xem thêm

- Hợp kim
- Từ học
- Vật liệu từ mềm

Tài liệu tham khảo

[1] G.E. Ice et al. Scripta Materialia 55 (2006) 57-62 (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TY2-4JPHS85-1&_user=121723&_coverDate=07/31/2006&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000009999&_version=1&_urlVersion=0&_userid=121723&md5=1dc41c32697576b2acb9d18ba9138db9)

[2] Shinji Narishige et al. IEEE Transaction on Magnetics 28 (1992) 990-993 (http://ieeexplore.ieee.org/iel1/20/3500/00123849.pdf?arnumber=123849)

[3] J. C. A. Huang et al. Journal of Applied Physics 83 (1998) 7046-7048 (http://link.aip.org/link/?JAPIAU/83/7046/1)

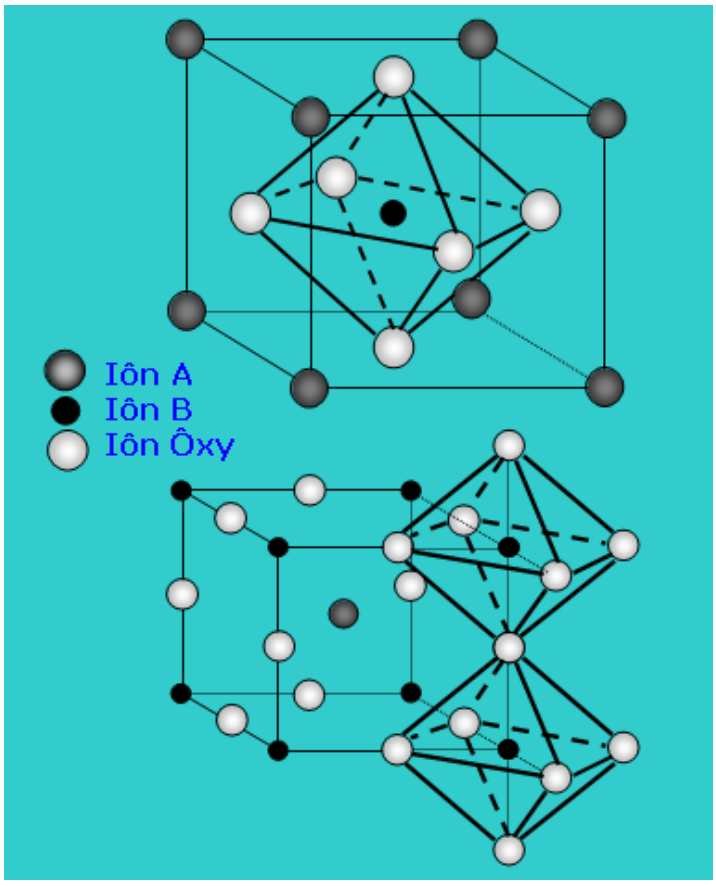
[4] Lutts A., Glelen P.M. Physica Status Solidi (b) 41 (1970) K81-K84 (http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/abstract/112578307/ABSTRACT)

[5] G. Dumpich et al. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 67 (1987) 55-64 (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TJJ-46X4JHV-HW&_user=121723&_coverDate=05/31/1987&_alid=597455855&_rdoc=1&_fmt=summary&_orig=search&_cdi=5312&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=1&_acct=C000009999&_version=1&_urlVersion=0&_userid=121723&md5=bbdc15b566404bba5c3b4d4dc2767a57)

[6] Soft Magnetic Materials Ed. by Richard Boll, Siemens Aktiengesellschaft Heyden & Son LTD (1979) ISBN 0-85501-263-3

Perovskit (cấu trúc)

Perovskite là tên gọi chung của các vật liệu gốm có cấu trúc tinh thể giống với cấu trúc của vật liệu gốm canxi titanat ($CaTiO_3$). Tên gọi của perovskite được đặt theo tên của nhà khoáng vật học người Nga L. A. Perovski (1792-1856), người có công nghiên cứu và phát hiện ra vật liệu này ở vùng núi Uran của Nga vào năm 1839.



Cấu trúc tinh thể của họ perovskite ABO_3.

Cấu trúc và chế tạo perovskite

Cấu trúc perovskit

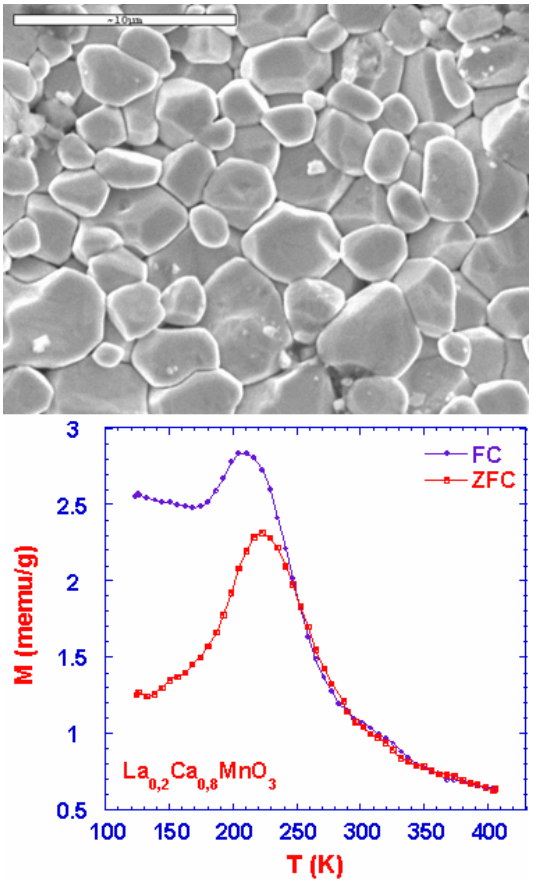
Công thức phân tử chung của các hợp chất perovskite là $\boldsymbol{ABO_3}$ với $\boldsymbol{A}$ và $\boldsymbol{B}$ là các iôn (cation) có bán kính khác nhau. Ở vị trí của iôn Ôxy, có thể là một số nguyên tố khác, nhưng phổ biến nhất vẫn là ôxy. Tùy theo nguyên tố ở vị trí $\boldsymbol{B}$ mà có thể phân thành nhiều họ khác nhau, ví dụ như *họ manganite* khi $B = Mn$, *họ titanat* khi $B = Ti$ hay *họ cobaltit* khi $B = Co$...

Thông thường, bán kính iôn ***A*** lớn hơn so với ***B***. Cấu trúc của perovskite thường là biến thể từ cấu trúc lập phương với các cation ***A*** nằm ở đỉnh của hình lập phương, có tâm là cation ***B***. Cation này cũng là tâm của một bát diện tạo ra bởi các anion ***O***. Cấu trúc tinh thể có thể thay đổi từ lập phương sang các dạng khác như trực giao hay trực thoi khi các iôn ***A*** hay ***B*** bị thay thế bởi các nguyên tố khác mà hình thức giống như việc mạng tinh thể bị bóp méo đi, gọi là *méo mạng Jahn-Teller*.

Kỹ thuật chế tạo

Do perovskite là một vật liệu gốm nên các chế tạo perovskite phổ biến nhất là kỹ thuật gốm, hay còn gọi là kỹ thuật phản ứng pha rắn. Các nguyên liệu ban đầu là các ôxit của các kim loại được nghiền trộn trong thời gian dài để tạo sự đồng nhất, sau đó được ép thành viên và nung thiêu kết ở nhiệt độ cao để tạo ra phản ứng perovskite hóa (phản ứng pha rắn). Phương pháp này có ưu điểm là rẻ tiền, đơn giản, dễ dàng tạo ra vật liệu với khối lượng lớn.

Ngoài ra, perovskite có thể được chế tạo bằng các phương pháp phản ứng hóa học khác nhau ví dụ như phương pháp sol-gel, phương pháp đồng kết tủa, với ưu điểm là cho vật liệu có chất lượng cao nhưng lại hạn chế khả năng tạo vật liệu với khối lượng lớn.



Ảnh SEM của mẫu gốm perovskite La0,2Ca0,8MnO3 (chế tạo tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội) và các đường cong từ nhiệt thể hiện các vùng tính chất khác nhau của vật liệu: sắt từ trong dải nhiệt độ từ 200 K đến 300 K, phản sắt từ ở dưới 200 K.

Tính chất và ứng dụng

Ở cấu trúc sơ khai ban đầu (ở vị trí ***A*** và ***B*** chỉ có 2 nguyên tố) thì perovskite mang tính chất điện môi phản sắt từ. Sự lý thú trong tính chất của perovskite là nó có thể tạo ra rất nhiều tính chất trong một vật liệu ở các nhiệt độ khác nhau [1] .

Tính chất điện

Có nhiều perovskite là các chất sắt điện thể hiện tính chất nhiệt điện trở lớn [2] . Nhờ sự pha tạp, tính chất dẫn điện của perovskite có thể thay đổi từ tính chất điện môi sang tính dẫn kiểu bán dẫn, hoặc thậm chí mang tính dẫn kiểu kim loại, hoặc tính chất điện đặc biệt là *trật tự điện tích*, trạng thái mà ở đó các hạt tải dẫn bị cô lập bởi các iôn từ tính [3] , [4] . Ngoài ra, nhiều perovskite có thể mang tính chất siêu dẫn ở nhiệt độ cao [5] .

Tính chất từ

Thông thường, perovskite mang tính chất phản sắt từ nhưng tính chất này có thể bị biến đổi thành sắt từ nhờ sự pha tạp các nguyên tố khác nhau. Sự pha tạp các nguyên tố dẫn đến việc tạo ra các iôn mang hóa trị khác nhau ở vị trí ***B***, tạo ra cơ chế tương tác trao đổi gián tiếp sinh ra tính sắt từ. Điều đặc biệt là tính chất từ có thể thay đổi trong nhiều trạng thái khác nhau ở cùng một vật liệu [1] [4] . Khi ở trạng thái sắt từ, perovskite có thể tồn tại hiệu ứng từ điện trở siêu khổng lồ [1] , hoặc hiệu ứng từ nhiệt khổng lồ [6] hoặc trạng thái thủy tinh - spin ở nhiệt độ thấp, trạng thái mà các spin bị tồn tại trong trạng thái hỗn độn và bị đóng băng bởi quá trình làm lạnh [7] .

Các tính chất khác

Bên cạnh các tính chất điện từ, perovskite còn mang nhiều đặc tính hóa học như có tính hấp phụ một số loại khí hoặc tính chất xúc tác hóa học.

Ứng dụng

Do có nhiều đặc tính điện - từ - hóa khác nhau nên perovskite có mặt trong rất nhiều ứng dụng [8] và được coi là một trong những vật liệu rất lý thú. Nhà vật lý người Ấn Độ C. N. R. Rao từng phát biểu rằng *perovskite là trái tim của vật lý chất rắn* [9] . Với tính chất từ điện trở siêu khổng lồ, perovskite rất hứa hẹn cho các linh kiện spintronics và các cảm biến từ siêu nhạy. Với nhiều tính chất đặc biệt như siêu dẫn nhiệt độ cao, sắt điện... perovskite rất hữu ích cho nhiều linh kiện điện tử. Ngoài ra, perovskite với các tính chất hấp phụ và xúc tác còn được sử dụng trong các pin nhiên liệu.

Tài liệu tham khảo

[1] S. B. Salamon, M. Jaime, *The physics of manganites: Structure and transport*, Rev. Mod. Phys. 73, 583 - 628 (2001). (http://prola.aps.org/abstract/RMP/v73/i3/p583_1)

[2] P.Q. Thanh, B.T. Cong, C.T.A. Xuan, N.H. Luong, *Melting of the charge-ordering state by ruthenium doping in Ca0.6Pr0.4Mn1−yRuyO3 (y=0, 0.03, 0.05, 0.07) perovskites*, J. Magn. Magn. Mater. 310 (2007) e720-e722. (http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2006.10.786)

[3] C. N. R. Rao, A. K. Cheetham, *Charge Ordering in Manganates*, Science 276 (1997) 911-912. (http://www.sciencemag.org/cgi/content/summary/276/5314/911)

[4] N. Chau, D. H. Cuong, N. D. Tho, H. N. Nhat, N. H. Luong, B. T. Cong, *Large positive entropy change in several charge-ordering perovskites*, J. Magn. Magn. Mater. 272-276 (2003) 1292-1294. (http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2003.12.074)

[5] D. J. Singh, I. I. Mazin, *Magnetism, Spin Fluctuations and Superconductivity in Perovskite Ruthenates*, Lecture Notes in Physics 603 (2002) 256-270. (http://www.springerlink.com/content/814116qx40712u42/)

[6] M. H. Phan, S. C. Yu, *Review of the magnetocaloric effect in manganite materials*, J. Magn. Magn. Mater. 308 (2007) 325-340. (http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2006.07.025)

[7] X. L. Wang, J. Horvat, H. K. Liu, A. H. Li and S. X. Dou, *Spin glass state in Gd2CoMnO6 perovskite manganite*, J. Magn. Magn. Mater. 118 (2001) 27-30. (http://dx.doi.org/10.1016/S0038-1098(01)00033-3)

[8] Tejuca, Luis G (1993), *Properties and applications of perovskite-type oxides*, New York: Dekker, 382, ISBN 0-8247-8786-2.

[9] Nguyễn Châu, Gắn chặt công tác nghiên cứu khoa học và đào tạo cán bộ trẻ. (http://www.bulletin.vnu.edu.vn/btdhqghn/Vietnamese/C1177/2005/03/N6842/?1)

Xem thêm

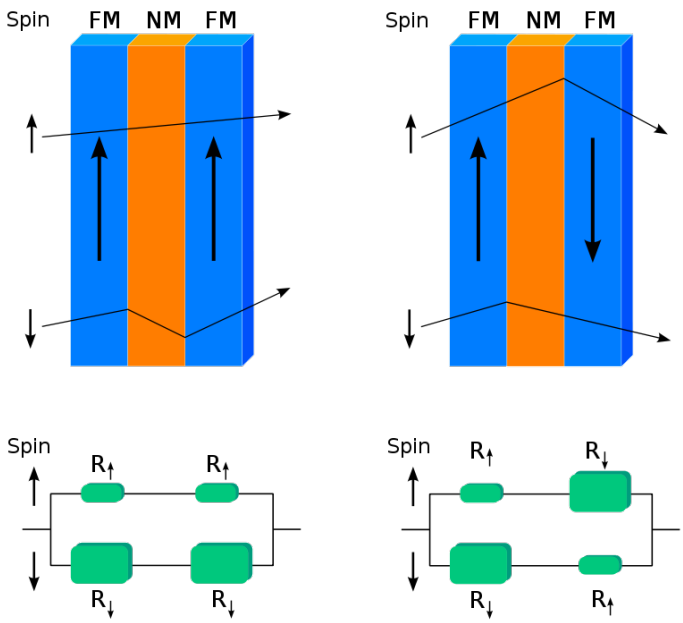
- Gốm
- Từ điện trở siêu khổng lồ
- Hiệu ứng từ nhiệt
- Tương tác trao đổi

Liên kết ngoài

- "Cubic Perovskite Structure" (http://cst-www.nrl.navy.mil/lattice/struk/e2_1.html)
- perovskites at NCSU (http://wikis.lib.ncsu.edu/index.php/Perovskite)

Spin valve

Spin valve (chưa có tên gọi riêng trong tiếng Việt) là một linh kiện từ tính cấu tạo từ một màng mỏng đa lớp gồm các lớp sắt từ ngăn cách bởi các lớp phi từ mà ở đó điện trở của hệ thay đổi phụ thuộc vào sự định hướng của từ độ trong các lớp sắt từ. Tính chất của spin valve dựa trên hiệu ứng từ điện trở khổng lồ và được ứng dụng trong các đầu đọc ổ cứng máy tính. Spin valve được coi là thế hệ linh kiện spintronic thứ nhất.



Mô hình hiệu ứng từ điện trở khổng lồ trong các spin valve

Hiệu ứng từ điện trở và spin valve ban đầu

Khái niệm về linh kiện spin valse được xuất hiện liền với phát kiến về hiệu ứng từ điện trở khổng lồ mà ở đó điện trở của hệ màng mỏng từ đa lớp gồm các lớp sắt từ ngăn cách bởi lớp phi từ có thể thay đổi rất lớn dưới tác dụng của từ trường ngoài[1] [2] . Cơ chế của hiệu ứng được lý giải qua cơ chế "tán xạ phụ thuộc spin" của điện tử. Và có thể thấy rằng trạng thái của hệ (điện trở cao, điện trở thấp) phụ thuộc vào sự định hướng tương đối của từ độ của các lớp sắt từ. Có nghĩa là việc từ độ các lớp này định hướng tương đối với nhau ra sao (song song, phản song song) có thể cho phép dòng dòng điện tử (dòng spin) được truyền qua hoặc không thể truyền qua, hay nói cách khác, từ độ của các lớp sắt từ hoạt động như một chiếc van đóng mở spin. Đây chính là ý tưởng về cấu trúc spin valve.

Spin valve với liên kết phản sắt từ

Mô hình màng mỏng đa lớp với các lớp sắt từ xen kẽ bởi các lớp mỏng phi từ tạo ra hiệu ứng từ điện trở khổng lồ là mô hình sơ khai đầu tiên. Tuy nhiên, đây là cấu trúc đơn giản với sự quay của các lớp sắt từ theo từ trường khá tự do và việc điều khiển tín hiệu trở nên khó khăn. Và chính nhóm của Peter Grunberg đã cải tiến mô hình này thành cấu trúc spin valve như hiện nay với việc sử dụng một lớp phản sắt từ. Cấu trúc cắt ngang của mô hình này gồm 4 lớp chính: bên dưới là lớp màng mỏng vật liệu phản sắt từ (hiện nay sử dụng phổ biến là IrMn...), bên trên lớp này là lớp sắt từ đầu tiên có từ độ bị ghim bởi lớp phản sắt từ nên có từ độ bị giữ theo một hướng (gọi là lớp ghim), phía trên là lớp phi từ (hoặc lớp điện môi), và trên cùng là lớp sắt từ với từ độ quay tự do.

Cấu trúc cắt ngang của màng đa lớp spin valve với liên kết phản sắt từ.

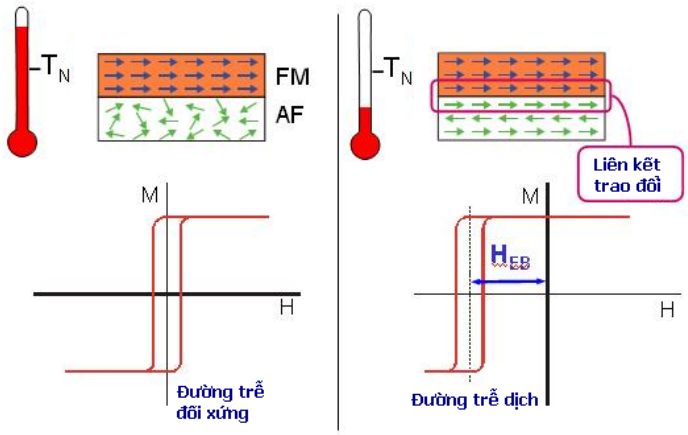
Với mô hình này, khi đặt từ trường ngoài chỉ có từ độ của lớp tự do bị quay theo từ trường ngoài do đó hiệu ứng từ điện trở hầu như chỉ phụ thuộc vào từ độ lớp bên trên. Từ độ của lớp ghim bên dưới chỉ bị quay đi khi có từ trường

ngoài đủ lớp để phá vỡ liên kết với lớp phản sắt từ.

Với cấu trúc này, đường cong từ điện trở của hệ trở nên thay đổi nhảy bậc sắc nét và đường cong từ trễ của hệ cũng trở nên khác với thông thường với dạng *đường trễ dịch* do sự liên kết giữa hai lớp sắt từ-phản sắt từ với hình ảnh đường cong từ trễ bị dịch đi một quãng về phía từ trường âm gọi là *trường trao đổi dịch* (*exchange-bias field*)[3] .

Spin valve CPP và CIP

CPP (*Current Perpendicular to Plane*) và CIP (Current In Plane) là hai cấu hình từ điện trở trong cấu trúc spin-valve, được quy định bởi chiều dòng điện chạy trong linh kiện. Cấu trúc CPP có dòng điện chạy vuông góc với mặt phẳng màng, trong khi cấu trúc CIP có dòng điện chạy song song với bề mặt màng. Thông thường, cấu trúc CPP sẽ cho giá trị hiệu ứng GMR (hoặc TMR) lớn hơn so với cấu hình CIP vì khi đó điện tử chủ yếu bị tán xạ trên chiều dày màng, có quãng đường tự do trung bình nhỏ hơn so với cấu hình CIP.



Đường trễ dịch do liên kết trao đổi giữa hai lớp sắt từ và phản sắt từ. Ở trên nhiệt độ Neel, không có sự dịch đường trễ do không có tính sắt từ. Ở dưới nhiệt độ Neel, liên kết sắt từ-phản sắt từ tạo nên đường cong từ trễ bị dịch đi một khoảng.

Cấu hình CPP đang là mối quan tâm lớn của các nhà nghiên cứu trong ứng dụng spintronics vì khả năng tạo ra các linh kiện mật độ và chất lượng cao hơn, tuy nhiên cấu hình CIP lại chiếm ưu thế do việc chế tạo cũng như hoạt động rất đơn giản.

Chú thích

[1] M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Eitenne, g. Creuzet, A. Friederich, and J. Chazelas, *Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices*, Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 2472. (http://prola.aps.org/abstract/PRL/v61/i21/p2472_1)

[2] G. Binasch, P. Grünberg, F. Saurenbach, W. Zinn, *Enhanced magnetoresistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange*, Phys. Rev. B 39 (1989) 4828. (http://prola.aps.org/abstract/PRB/v39/i7/p4828_1)

[3] Theory of exchange bias (http://cnst.nist.gov/epg/Projects/Theory/theory_exbias.html)

Xem thêm

- Sắt từ
- Phản sắt từ
- Từ điện trở khổng lồ
- Spintronics

Terfenol-D

Terfenol-D là một loại hợp kim chứa các kim loại terbi, sắt và dysprosi với công thức phân tử $(Tb_{0,3}Dy_{0,7})_1Fe_{1,9}$, được phát triển từ những năm 1950, là loại hợp kim có hệ số từ giảo lớn nhất ở nhiệt độ phòng từng được biết và được ứng dụng rộng rãi cho đến nay. Tên của Terfenol-D được đặt tên theo các kim loại **Ter**bi, **Fe**, NOL là tên viết tắt nơi đã phát triển vật liệu (**N**aval **O**rdnance **L**aboratory, Hoa Kỳ) và *D* là từ kim loại **D**ysprosi[1] .

Cấu trúc và tính chất của Terfenol-D

Terfenol-D có cấu trúc lập phương với đối xứng kiểu $MgCu_2$ [2] với hằng số mạng khoảng 0,735 nm, có thể liệt kê một số thông số tính chất của Terfenol-D như sau [3] :

Thông số	Độ lớn
Khối lượng riêng g/cm^3	9,25
Độ kéo dãn (MPa)	28,0
Môđun đàn hồi (GPa)	18-55
Môđun khối (GPa)	90
Nhiệt độ nóng chảy (°C)	1.240
Điện trở suất (Ohm.cm)	0,0000600
Độ từ thẩm	4,5-10,0
Nhiệt độ Curie (^{o}C)	357-380
Hệ số từ giảo (10^{-6})	1500-2000

Ứng dụng và các cải tiến

Terfel-D là một vật liệu từ giảo điển hình (có hệ số từ giảo ở nhiệt độ phòng cao nhất từng được tạo ra cho đến nay)[4] , được ứng dụng rộng rãi trong các ứng dụng chuyển đổi năng lượng cơ-từ như: trong các hệ thống định vị thủy âm và cảm biến của hải quân, trong thiết bị SoundBug (ứng dụng thương mại đầu tiên của nó) cũng như trong các thiết bị cơ-từ khác; hay các cảm biến đo gia tốc, cảm biến cơ đo dịch chuyển cơ học, các máy phát siêu âm - từ giảo, các linh kiện vi cơ trong các bộ vi cơ điện tử (MEMS). Hiện nay, Terfenol-D được sản xuất thành thương phẩm rộng rãi [5] . Nếu được tạo ở dạng màng mỏng, Terfenol-D có thể đạt hệ số từ giảo tới 400.10^{-6}.

Xem thêm

- Sắt từ
- Từ giảo
- Terbi

Tài liệu tham khảo

[1] Rodríguez et al., New elastomer–Terfenol-D magnetostrictive composites, Sensors and Actuator A 149 (2009) 251-254. (http://dx.doi.org/10.1016/j.sna.2008.11.026)

[2] Göran Engdahl, *Handbook of Giant Magnetostrictive Materials*, Elsevier Inc. (2000) trang 1-125, ISBN: 978-0-12-238640-4. (http://www.sciencedirect.com/science/book/9780122386404)

[3] ETREMA Products Terfenol-D Magnetostrictive Iron Alloy (Tb0.3Dy0.7Fe1. 92). (http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=aa68cad05c7c4d39932834d68e669a5d)

[4] "What is Terfenol-D?" (http://etrema-usa.com/core/terfenold/). ETREMA Products, Inc. (2003). Truy cập 6-11-2008.

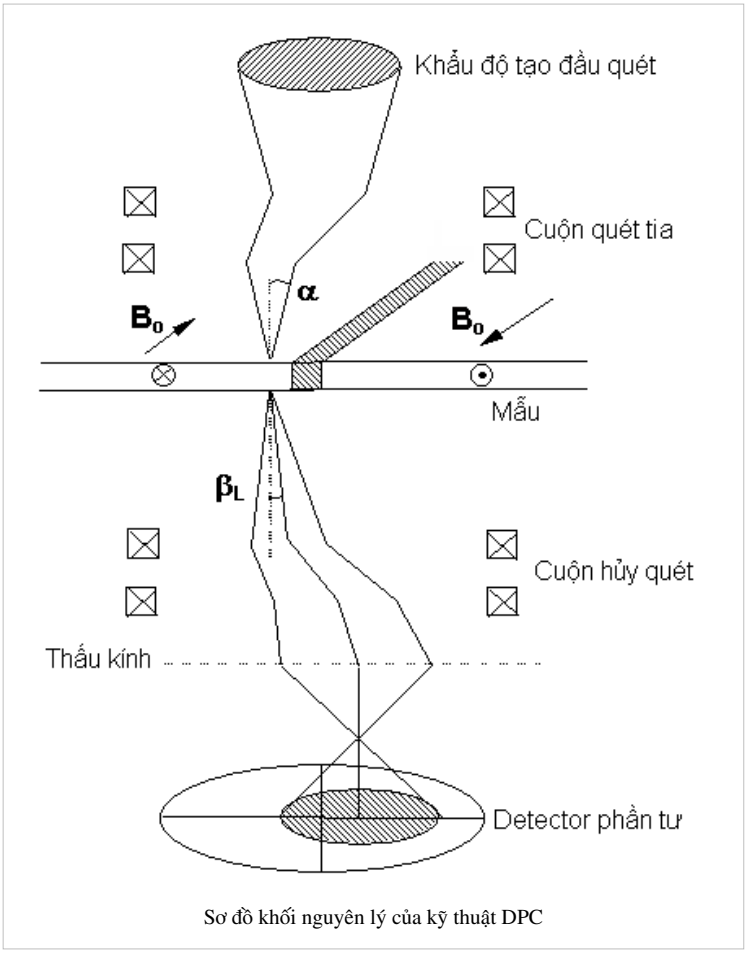
[5] J. D. Snodgrass and O.D. McMasters, *Optimized TERFENOL-D manufacturing processes*, J. All. Comp. 258 (1997) 24-29. (http://dx.doi.org/10.1016/S0925-8388(97)00067-4)

Liên kết ngoài

- Terfenol-D data (http://etrema-usa.com/core/terfenold/)

Tương phản pha vi sai

DPC là chữ viết tắt của *Differential Phase Contrast*, dịch sang tiếng Việt có nghĩa là *Tương phản pha vi sai*) là kỹ thuật chụp ảnh từ trong kính hiển vi điện tử truyền qua Lorentz, được thực hiện trên các kính hiển vi điện tử truyền qua quét (STEM), tạo ra hình ảnh tương phản về cảm ứng từ trong vật rắn bằng cách sử dụng một chùm điện tử quét trên mẫu. Thực chất, thuật ngữ *DPC* không chỉ mang ý nghĩa trong lĩnh vực chụp ảnh từ, mà là một khái niệm rộng trong ngành chụp ảnh hiển vi hoạt động dựa trên việc ghi lại độ tương phản về pha của sóng.



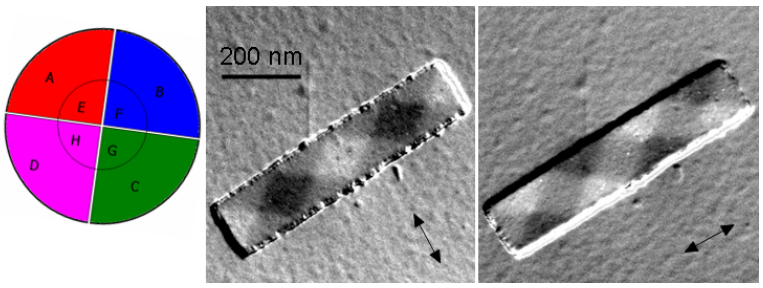
Sơ đồ khối nguyên lý của kỹ thuật DPC

Nguyên lý của DPC

DPC hoạt động giống như một STEM, người ta hội tụ chùm điện tử thành một chùm hội tụ rất hẹp và điều khiển để quét qua mẫu. Thông thường, góc lệch của chùm điện tử truyền qua mẫu là rất nhỏ, do đó khi sử dụng chùm điện tử hội tụ quét trên mẫu, chùm điện tử truyền qua sẽ bị lệch góc lớn hơn, do đó nâng cao khả năng khảo sát tương phản về từ tính. Bên dưới mẫu, người ta sử dụng cuộn dây hủy quét và dùng một detector có 4 góc (gọi là *quadrant detector*) để ghi lại chùm điện tử bên dưới.

Khi đó, tín hiệu thu được sẽ là 4 tín hiệu từ 4 detector con, và tương phản về cảm ứng từ thu được nhờ việc lấy hiệu (*vi sai*) giữa các detector đối diện. Một DPC thường có 2 lớp detector 4 góc. Lớp trong (E,F,G,H) là các detector ghi ảnh khi thực hiện chế độ hoạt động với độ phóng dại nhỏ, sử dụng chùm tia có kích thước lớn. Lớp ngoài (A,B,C,D) là 4 detector ghi ảnh ở độ phóng đại lớn, sử dụng chùm tia được hội tụ rất hẹp.

Ảnh tương phản từ là 2 ảnh vi sai từ các cặp detector đối diện (E-G, F-H ở độ phóng đại nhỏ, hay A-C, B-D ở độ phóng đại lớn) sẽ tương ứng với tương phản về cảm ứng từ theo 2 trục tọa độ vuông góc (B_x, B_y).



Detector của DPC và cặp ảnh vi sai cho độ tương phản về cảm ứng từ của mẫu vật NiFe ghi lại trên kính hiển vi Phillips CM20

Khái niệm về hiển vi *tương phản pha vi sai* lần đầu tiên được nêu vào năm 1974 bởi N. H. Dekker và H. de Lang [1] và sau đó được nhóm nghiên cứu của John Chapman (Đại học Glasgow, Vương quốc Anh) phát triển thành kỹ thuật DPC trong kính hiển vi Lorentz vào năm 1983 [2] , [3] , và đến nay DPC đã trở thành một trong những kỹ thuật chụp ảnh từ mạnh nhất có khả năng cho ảnh với độ phân giải rất cao và chất lượng cao đồng thời dễ dàng phân tích thông tin. Ảnh DPC cho trực tiếp tương phản về cảm ứng từ trong các đômen từ (các tương phản trắng-đen tương ứng với chiều của cảm ứng từ) đồng thời rất mạnh trong việc khảo sát tính chất vách đômen. DPC là chế độ ghi ảnh *in-focus*.

Đặc điểm của ảnh DPC

DPC cho 2 ảnh vi sai (từ tín hiệu vi sai ở 2 cặp detector đối diện) tương ứng với sự tương phản về cảm ứng từ theo hai trục tọa độ vuông góc (hai thành phần cảm ứng từ B_x, B_y). Các màu sắc trên ảnh tương ứng với độ lớn của cảm ứng từ (màu trắng cho giá trị dương cực đại và màu đen cho giá trị âm cực tiểu, màu xám nhạt cho giá trị 0). Vách đômen được xác định từ biên giới ngăn cách giữa hai vùng có sự tương phản về cảm ứng từ. Như vậy, ảnh DPC cho hình ảnh về các đômen từ (trái với [[ảnh Fresnel cho hình ảnh về các vách đômen) và do đó rất dễ dàng vẽ ra sự phân bố của cảm ứng từ trong mẫu màng.

Ảnh DPC là ảnh ở vị trí lấy nét (*in focus*), do đó hoàn toàn không bị nhiễu bởi các vân giao thoa Fresnel. Đối với các mẫu màng mỏng sắt từ đa tinh thể, ảnh DPC cũng có thể cho hình ảnh các gợn sóng giống như ảnh Fresnel và tính chất của phổ gợn sóng cũng hoàn toàn tương tự như trong ảnh Fresnel.

DPC có hai chế độ hoạt động. Chế độ phóng đại thấp, hoạt động khi nửa bên trên của thấu kính Lorentz được tắt và chùm tia hội tụ ở góc hội tụ lớn, kích thước chùm tia lớn (thường xung quanh 20-45 nm) và sử dụng hệ detector nhỏ bên trong ghi ảnh, do đó cho độ phân giải từ 20-45 nm, nhưng lại cho độ tương phản rất tốt, chất lượng ảnh cao. Ở chế độ phóng đại lớn, nửa thấu kính Lorentz bên trên được hoạt động và chùm tia được hội tụ thành điểm rất nhỏ (cỡ 1 nm) nên ảnh thu được có độ phân giải rất cao (từ 1-5 nm) nhưng ngược lại, độ tương phản lại kém so với chế độ phóng đại thấp. Chế độ này thường dùng để đo vách đômen hoặc các tính chất của linh kiện rất nhỏ.

Ưu điểm và hạn chế của DPC

Ưu điểm của DPC

- DPC rất dễ dàng cho ảnh cấu trúc từ với chất lượng cao và độ phân giải rất cao.
- DPC có thể đơn giản thông dịch để vẽ ra bản đồ phân bố cảm ứng từ trong mẫu và tính toán định lượng về cảm ứng từ, đo kích thước vách đômen với độ chính xác cao một cách dễ dàng.
- So với các kỹ thuật sử dụng ở chế độ quét khác, DPC là kỹ thuật ghi ảnh nhanh nhất.

Hạn chế của DPC

- DPC hoạt động ở chế độ quét nên nó ghi ảnh chậm hơn so với chế độ ảnh Fresnel hay các kỹ thuật quang khác.
- DPC đòi hỏi quá trình cài đặt sắp xếp phức tạp và hệ detector rất đắt tiền.
- DPC đòi hỏi mẫu mỏng, sạch nên hạn chế quá trình chế tạo.

Tài liệu tham khảo

[1] N. H. Dekker, H. de Lang, Optik 30 (1974) 452.
[2] J.N. Chapman, G.R. Morrison, J. Magn. Magn. Mater. 35 (1983) 254-260. (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TJJ-46GCYWW-C1&_user=121723&_coverDate=03/31/1983&_alid=799840409&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_cdi=5312&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=1&_acct=C000009999&_version=1&_urlVersion=0&_userid=121723&md5=621641bb4f10f527553be8a805f07bd9)
[3] J.N. Chapman, *The investigation of magnetic domain structures in thin foils by electron microscopy*, J. Phys. D: Appl. Phys. 17 (1984) 623-647 (http://www.iop.org/EJ/abstract/0022-3727/17/4/003)

Xem thêm

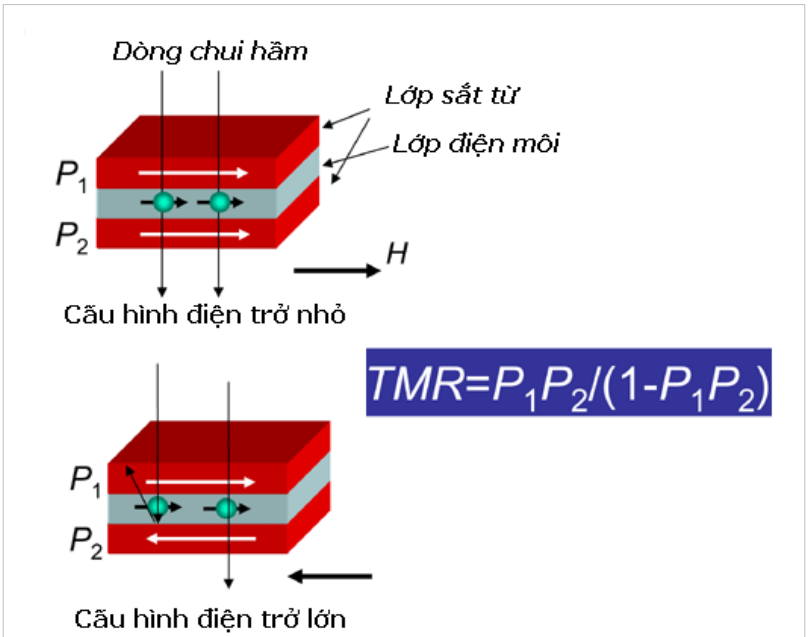
- Kính hiển vi Lorentz
- Kính hiển vi điện tử truyền qua quét
- Ảnh Fresnel

Từ điện trở chui hầm

Từ điện trở chui hầm hay **Từ điện trở xuyên hầm**, (tiếng Anh: ***Tunnelling magnetoresistance***, thường viết tắt là ***TMR***) là một hiệu ứng từ điện trở xảy ra trong các màng mỏng đa lớp có các lớp sắt từ được ngăn cách bởi các lớp điện môi.

Mô tả hiệu ứng

Từ điện trở chui hầm hiểu đơn giản là sự thay đổi lớn của điện trở suất xảy ra ở các tiếp xúc từ chui hầm, là các màng mỏng với các lớp màng mỏng sắt từ được ngăn cách bởi lớp điện môi, đóng vai trò lớp rào ngăn cách chuyển động của điện tử. Khi chiều dày lớp điện môi đủ mỏng, hiệu ứng chui hầm lượng tử sẽ xảy ra, cho phép điện tử xuyên qua rào thế của lớp điện môi, tạo thành sự dẫn điện, và do sự tán xạ trên các lớp sắt từ, điện trở của màng sẽ bị thay đổi tùy theo sự định hướng của mômen từ của các lớp sắt từ.



Cơ chế tạo hiệu ứng từ điện trở chui hầm trong các tiếp xúc từ chui hầm

Hiệu ứng từ điện trở chui hầm thực chất được phát hiện từ năm 1975 bởi nhóm nghiên cứu của Michel Julliere khi phát hiện ra hiệu ứng này xảy ra trong hệ màng đa lớp Fe/Ge/Co, xảy ra ở nhiệt độ thấp tới 4,2 Kelvin với lớp germanium (Ge) đóng vai trò là một lớp điện môi[1] .

Hiệu ứng TMR ở nhiệt độ phòng được phát hiện lần đầu tiên vào năm 1995 bởi nhóm nghiên cứu của Jagadeesh Moodera trên các màng mỏng CoFe/Al_2O_3/Co với Al_2O_3 đóng vai trò lớp cách điện, cho hiệu ứng MR tới 11,8% ở nhiệt độ phòng[2] và nhóm nghiên cứu độc lập ở Nhật Bản lãnh đạo bởi Terunobu Miyazaki[3] , tìm thấy hiệu ứng TMR đạt tới 18% ở nhiệt độ phòng và 30% ở 4,2 Kelvin trong màng đa lớp Fe/Al_2O_3/Fe.

Đối với các tiếp xúc từ chui hầm có 2 lớp sắt từ kẹp giữa bởi một lớp điện môi, tỉ số từ điện trở (trong trường hợp này sử dụng là TMR) phụ thuộc vào độ phân cực spin của 2 lớp (P_1, P_2), và được cho bởi công thức[4] :

$$TMR = \frac{P_1.P_2}{1 - P_1.P_2}$$

Ứng dụng của từ điện trở chui hầm

Cùng với các thành tựu về hiệu ứng GMR, hiệu ứng TMR là trụ cột phát triển của công nghệ spintronic. Các tiếp xúc từ chui hầm đang được sử dụng trong các linh kiện thế hệ spintronic thứ nhất, điển hình là các bộ nhớ RAM từ điện trở (MRAM) không tự xóa, các transistor sử dụng tiếp xúc spin chui hầm và trong các cảm biến chất lượng cao...

Xem thêm

- Hiệu ứng từ điện trở
- Từ điện trở khổng lồ
- Spintronics

Tài liệu tham khảo

[1] M. Julliere, *Tunnelling between ferromagnetic films*, Phys. Lett. A 54 (1975) 225-226 (http://www.sciencedirect.com/science/article/B6TVM-46R3N46-10D/2/90703cfc684b0679356dce9a76b2e942)

[2] > J. S. Moodera, Lisa R. Kinder, Terrilyn M. Wong, R. Meservey *Large Magnetoresistance at Room Temperature in Ferromagnetic Thin Film Tunnel Junctions* Phys. Rev. Lett. 74: 3273–3276, 1995 (http://link.aps.org/abstract/PRL/v74/p3273)

[3] T. Miyazaki, N. Tezuka, *Giant magnetic tunneling effect in Fe/Al_2O_3/Fe junction*, J. Magn. Magn. Mater. 139 (1995) L231-L234 (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TJJ-460MFGV-1&_user=121723&_coverDate=01/02/1995&_alid=647142944&_rdoc=1&_fmt=summary&_orig=search&_cdi=5312&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=1&_acct=C000009999&_version=1&_urlVersion=0&_userid=121723&md5=f19cacba6dc33fe8e3912c3cf7067161)

[4] C.H. Marrow, *Spin-polarised currents and magnetic domain walls*, Adv. Phys. 54 (2005) 585. (http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a741576309~db=all~order=page)

Từ điện trở dị hướng

Từ điện trở dị hướng (tiếng Anh: *Anisotropic magnetoresistance*, viết tắt là **AMR**) là một hiệu ứng từ điện trở mà ở đó tỉ số từ điện trở (sự thay đổi của điện trở suất dưới tác dụng của từ trường ngoài) phụ thuộc vào hướng của dòng điện (không đẳng hướng trong mẫu), mà bản chất là sự phụ thuộc của điện trở vào góc tương đối giữa từ độ và dòng điện. Đây chính là hiệu ứng được William Thomson phát hiện vào năm 1856[1] .

Lịch sử và mô tả hiệu ứng

Hiệu ứng AMR lần đầu tiên được William Thomson, một giáo sư Đại học Glasgow (Scotland, Vương quốc Anh) vào năm 1856. Trong bài báo công bố trên tập san của Hiệp hội Hoàng gia Anh (Proceedings of Royal Society), William Thomson đã chỉ ra sự thay đổi của điện trở của các mẫu vật dẫn kim loại sắt từ là Niken và Sắt dưới tác dụng của từ trường ngoài của một nam châm điện có thể đạt tới 3-5% ở nhiệt độ phòng. Ngoài ra, sự thay đổi này còn phụ thuộc vào phương đo, góc tương đối giữa cường độ dòng điện (của bộ đo điện trở) và từ trường ngoài, hay chiều của độ từ hóa của mẫu. Đây là phát hiện đầu tiên về hiệu ứng từ điện trở và tên gọi *hiệu ứng từ điện trở dị hướng (**AMR**)* sau này được đặt vào năm 1951 bởi J. Smit[2] .

Hiệu ứng AMR chỉ xảy ra trong các mẫu kim loại sắt từ (có thể đạt tới 5% ở nhiệt độ phòng trong vật liệu permalloy-90 ($Ni_{90}Fe_{10}$)) hoặc trong một số chất bán dẫn hoặc bán kim (có xảy ra hiệu ứng Hall lớn dị thường (ví dụ như trên Bismut..) nhưng khá nhỏ. Trong từ học, người ta đặc trưng cho tính chất từ điện trở dị hướng bởi độ biến thiên điện trở suất theo hai phương song song và vuông góc với từ trường[3] , [4] :

$$\Delta\rho = \rho_{\parallel} - \rho_{\perp}$$

và hiệu ứng AMR được đánh giá thông qua tỉ số:

$$AMR = \frac{\Delta\rho}{\rho_{av}}$$

với:

$$\rho_{av} = \frac{1}{3}.\rho_{\parallel} + \frac{2}{3}.\rho_{\perp}$$

Lý thuyết về hiệu ứng AMR lần đầu tiên được giải thích vào năm 1971 bởi mô hình tán xạ điện tử trên các điện tử dẫn của G. T. Meaden (Dalhousie University, Nova Scotia, Canada)[5] : hiện tượng từ điện trở ở đây chủ yếu bị tri phối bởi sự thay đổi khối lượng hiệu dụng của điện tử khi tán xạ trên các vùng năng lượng, và giá trị tỉ số AMR có thể phụ thuộc vào bậc hai của từ trường:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_0} \propto B^2\tau^2e^2\left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_2}\right)^2$$

với ***τ, e*** là thời gian hồi phục và điện tích của điện tử, m_1, m_2 là khối lượng hiệu dụng trên các vùng năng lượng.

Từ điện trở dị hướng và từ điện trở vách đômen

Trong thời gian gần đây, với sự phát triển của spintronics, hiệu ứng từ điện trở dị hướng lại được quan tâm mạnh mẽ trở lại với các ứng dụng sử dụng các cấu trúc nano từ tính hoạt động dựa trên vách đômen. Trong các cấu trúc nhỏ, sự xuất hiện của các vách đômen dẫn đến việc thay đổi lớn các tính chất điện do sự tán xạ của điện tử trên các vách đômen là rất lớn và được gọi là từ điện trở vách đômen. Từ điện trở vách đômen tỉ lệ thuận với từ điện trở dị hướng theo công thức[6] :

$$\Delta R_{DW} = R_{DW} - R_{sat} = -\frac{\delta\rho.2\Delta}{wt}$$

với R_{DW}, R_{sat} là điện trở của mẫu khi có vách đômen và khi ở trạng thái bão hòa từ; ***δρ*** là điện trở dị hướng, Δ là là độ dày vách đômen, ***w, t*** lần lượt là chiều rộng và độ dày của mẫu.

Ứng dụng

- AMR được sử dụng trong các sensor đo từ trường, sensor AMR rất hữu ích trong việc đo từ trường Trái Đất.
- AMR trước đây sử dụng trong đầu đọc của ổ cứng máy tính, sau đó bị thay thế bởi các đầu đọc sử dụng hiệu ứng GMR.
- Gần đây AMR lại hồi sinh trở lại với việc xây dựng các linh kiện vách đômen và sử dụng từ điện trở vách đômen. Hiệu ứng AMR đặc biệt hữu ích cho việc đo đạc vận chuyển các vách đômen trong các dây nano (xác định sự xuất hiện, đo hiệu ứng từ điện trở vách đômen, đo tốc độ chuyển động của vách đômen...).

Tài liệu tham khảo

[1] W. Thomson, *On the Electro-Dynamic Qualities of Metals:--Effects of Magnetization on the Electric Conductivity of Nickel and of Iron*, Proc. Roy. Soc. 8 (1857) 546-550. (http://journals.royalsociety.org/content/mn212547v04qw388/)

[2] J. Smit, *Magnetoresistance of ferromagnetic metals and alloys at low temperatures*, Physica 17 (1951) 612-627. (http://dx.doi.org/10.1016/0031-8914(51)90117-6)

[3] T. R. McGuire, R. D. Hempstead, and S. Krongelb, *Anisotropic magnetoresistance in ferromagnetic 3d ternary alloys*, AIP Conf. Proc. -- May 1976 -- Volume 29, p. 526. (http://link.aip.org/link/?APCPCS/29/526/1)

[4] T. R. McGuire, R. I. Potter, *Anisotropic magnetoresistance in ferromagnetic 3d alloys*, IEEE Trans. Magn. 11 (1975) 1018-1038. (http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1058782)

[5] G. T. Meaden, *Conduction electron scattering and the resistance of the magnetic elements*, Cont. Phys. 12 (1971) 313 - 337. (http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a752575867~db=all)

[6] L. Thomas and S.S.P. Parkin, *Current induced domain wall motion in magnetic nanowire*, in Handbook of Magnetism and Advanced Magnetic Materials, Ed. by H. Kronmueller and S. Parkin, Vol. 2: Micromagnetism (2007) John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-02217-7.

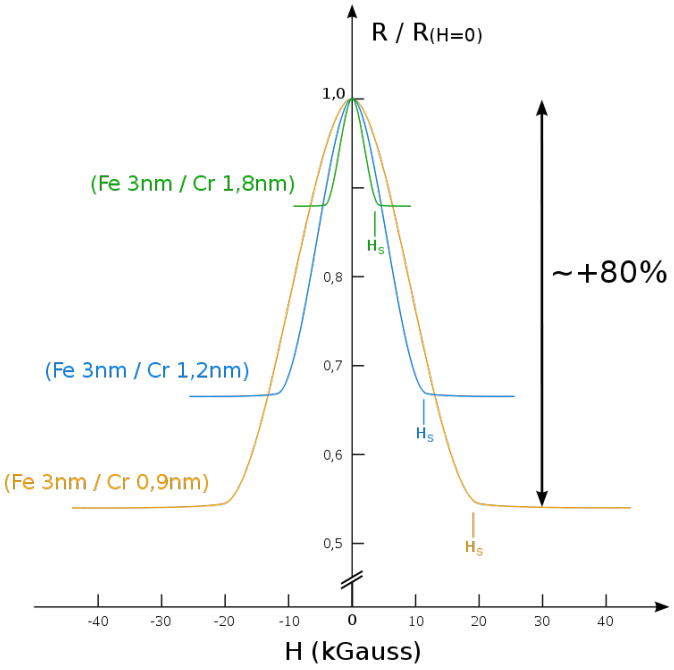
Xem thêm

- Từ điện trở
- Từ điện trở khổng lồ
- Từ độ
- Điện trở suất
- Vách đômen

Từ điện trở khổng lồ

Hiệu ứng từ điện trở khổng lồ (tiếng Anh: ***Giant magnetoresistance***, viết tắt là ***GMR***) là sự thay đổi lớn của điện trở ở các vật liệu từ dưới tác dụng của từ trường ngoài. Tên gọi gốc tiếng Anh của GMR là "Giant magnetoresistance", dịch sang tiếng Việt còn chưa thống nhất (giữa từ "lớn" hay "khổng lồ") do việc so sánh với tên gọi một hiệu ứng từ điện trở khác có tên tiếng Anh là "*Colossal magnetoresistance*" (Từ "*Colossal*" có nghĩa còn lớn hơn với "*Giant*"). Vì thế, những nhà nghiên cứu khoa học vật liệu, vật lý chất rắn ở Việt Nam gọi tắt chung hiệu ứng này là GMR.

Độ lớn của GMR được thể hiện qua tỉ số từ điện trở:



Kết quả về hiệu ứng từ điện trở khổng lồ trong các siêu mạng Fe/Cr phát hiện bởi nhóm của Albert Fert

$$MR(\%) = \frac{\rho(H) - \rho(0)}{\rho(0)} = \frac{R(H) - R(0)}{R(0)}$$

Lịch sử của GMR

GMR là một hiệu ứng từ điện trở nhưng là một hiệu ứng lượng tử khác với hiệu ứng từ điện trở thông thường được nghiên cứu từ cuối thế kỷ 19. Hiệu ứng này lần đầu tiên được phát hiện vào năm 1988. Nhóm nghiên cứu của Albert Fert ở Đại học Paris-11 trên các siêu mạng Fe(001)/Cr(001) cho tỉ số từ trở tới vài chục %. Nhóm nghiên cứu của Peter Grünberg ở Trung tâm Nghiên cứu Jülich (Đức) phát hiện ứng này trên màng mỏng kiểu "bánh kẹp" (sandwich) 3 lớp Fe(12nm/Cr(1 nm)/Fe(12 nm) chế tạo bằng phương pháp epitaxy chùm phân tử trên đế GaAs. Hai tác giả này đã nhận giải thưởng Nobel Vật lý năm 2007 cho phát minh này.

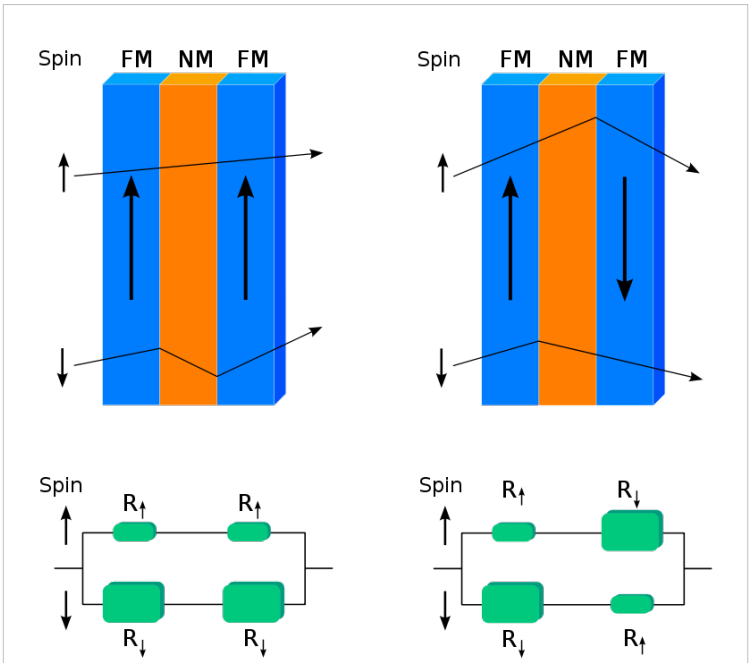
Đây là hai nhóm độc lập nghiên cứu và phát hiện ra hiệu ứng GMR trên các màng đa lớp có các lớp sắt từ bị phân cách bởi lớp phản sắt từ hoặc phi từ, đồng thời đưa ra các giả thiết để giải thích hiệu ứng này.

Năm 1992, nhóm của A. E. Berkowitz (Đại học California, San Diego, Mỹ) phát hiện ra hiệu ứng GMR trên các màng hợp kim dị thể Co-Cu với cấu trúc là các hạt Co siêu thuận từ trên nền Cu có tỉ số từ trở đạt tới hơn 20%. Các nghiên cứu về sau tiếp tục phát triển và lý giải hiệu ứng này, và tính từ "khổng lồ" không còn được hiểu theo nghĩa độ lớn của hiệu ứng từ điện trở nữa, mà hiểu theo cơ chế tạo nên hiệu ứng: đó là cơ chế tán xạ phụ thuộc spin của điện tử.

Cơ chế của hiệu ứng GMR

Điện trở của các chất rắn được tạo ra do sự tán xạ của điện tử, và có các đóng góp cho sự tán xạ này gồm:

- Tán xạ trên mạng tinh thể do dao động mạng tinh thể gọi là tán xạ trên phonon.
- Tán xạ trên spin của các phần tử mang từ tính, gọi là tán xạ trên magnon.
- Tán xạ trên sai hỏng mạng tinh thể (defect).
- Gần đây còn có các nghiên cứu chỉ ra sự tán xạ của điện tử trên các polaron từ để giải thích hiệu ứng CMR.



Mô hình hai dòng của Mott để giải thích hiệu ứng GMR

Như vậy, hiệu ứng GMR có được là do sự tán xạ của điện tử trên magnon. Khi có các phần tử mang từ tính (ví dụ các lớp sắt từ trong các màng đa lớp hay các hạt siêu thuận từ trong các màng hợp kim dị thể) có sự định hướng khác nhau về mômen từ (do tác động của từ trường ngoài), sẽ dẫn đến sự thay đổi về tính chất tán xạ của điện tử và do đó sẽ làm thay đổi điện trở của chất rắn. Một cách chính xác hơn, hiệu ứng GMR trong các màng đa lớp được giải thích bằng mô hình hai dòng điện của Mott (đề ra từ năm 1936).

- **Mô hình hai dòng**

  Là khái niệm được đề xuất năm 1935 bởi Mott để giải thích các tính chất bất thường của điện trở trong các kim loại sắt từ. Mott cho rằng ở nhiệt độ đủ thấp sao cho tán xạ trên magnon đủ nhỏ thì các dòng chuyển dời điện tử chiếm đa số (có spin song song với từ độ) và thiểu số (có spin đối song song với từ độ) sẽ không bị pha trộn trong quá trình tán xạ. Sự dẫn điện có thể coi là tổng hợp của hai dòng độc lập và không cân bằng của hai loại spin có chiều khác nhau.

Các lớp phản sắt từ (ví dụ Cr) hay phi từ (ví dụ Cu) đóng vai trò ngăn cách giữa các lớp sắt từ, khiến cho mômen từ của các lớp sắt từ phải có sự định hướng khác nhau sao cho có sự cân bằng về từ độ. Sự tác động của từ trường ngoài dẫn đến việc thay đổi sự định hướng của mômen từ ở mỗi lớp, dẫn đến sự thay đổi về dòng dẫn của các spin phân cực, và dẫn đến sự thay đổi về điện trở suất.

Ứng dụng của hiệu ứng GMR

- Kể từ năm 1992, hiệu ứng GMR bắt đầu được ứng dụng trong các đầu đọc dữ liệu của ổ đĩa cứng máy tính thay cho các đầu đọc sử dụng hiệu ứng từ điện trở dị hướng cũ, làm tăng tốc độ đọc ghi thông tin. Người ta sử dụng các màng mỏng spin valve để cho các ứng dụng này. Một ưu điểm khiến chúng dễ dàng thay thế là khả năng chống nhiễu và chống ồn rất cao.
- Ứng dụng trong việc chế tạo các cảm biến từ trường nhạy, các cảm biến đo gia tốc...
- Một ứng dụng lớn nhất mở ra từ hiệu ứng này là việc phát triển các linh kiện spintronics, các linh kiện điện tử thế hệ mới hoạt động dựa trên việc điều khiển dòng spin của điện tử. Hiệu ứng từ điện trở khổng lồ, từ điện trở chui hầm là hai trụ cột của spintronics.

Đọc thêm

- Hiệu ứng từ điện trở
- Spintronics

Tài liệu tham khảo

- M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Eitenne, g. Creuzet, A. Friederich, and J. Chazelas, Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 2472. [1]
- G. Binasch, P. Grünberg, F. Saurenbach, W. Zinn, Phys. Rev. B 39 (1989) 4828. [1]
- A. E. Berkowitz, J. R. Mitchell, M. J. Carey, A. P. Young, S. Zhang, F. E. Spada, F. T. Parker, A. Hutten, G. Thomas, Phys. Rev. Lett. 68 (1992) 3745. [2]

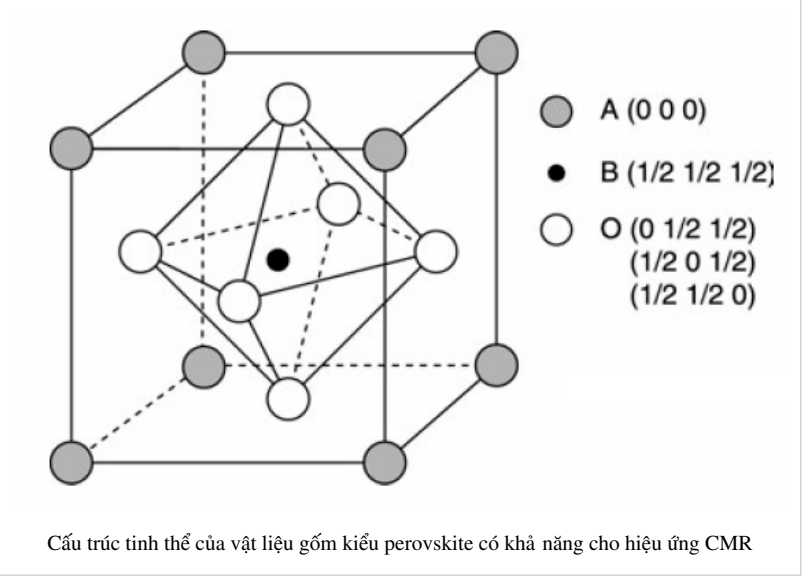
Chú thích

[1] http://prola.aps.org/abstract/PRB/v39/i7/p4828_1

[2] http://prola.aps.org/abstract/PRL/v68/i25/p3745_1

Từ điện trở siêu khổng lồ

Từ điện trở siêu khổng lồ (tiếng Anh: ***Colossal magnetoresistance***, viết tắt là ***CMR***) là một hiệu ứng từ điện trở xảy ra trong các vật liệu gốm, ôxit có cấu trúc kiểu perovskite mà trong đó sự thay đổi của điện trở suất của vật liệu dưới tác dụng của từ trường ngoài đạt tới vài cấp so với giá trị ban đầu của nó. Trong thuật ngữ tiếng Việt, tên gọi của CMR chưa được thống nhất do sự so sánh với hiệu ứng từ điện trở khổng lồ (GMR). Nếu hiệu ứng GMR được dịch sang tiếng Việt là ***Từ điện trở lớn*** thì CMR được gọi là ***'Từ điện trở khổng lồ***. Đây là vấn đề mang tính chất ngữ nghĩa, không làm thay đổi bản chất vật lí của hiệu ứng. Vì thế, để thuận tiện, những người làm công tác nghiên cứu vật lí ở Việt Nam thường chỉ gọi tắt là *Hiệu ứng CMR*.



Cấu trúc tinh thể của vật liệu gốm kiểu perovskite có khả năng cho hiệu ứng CMR

Cấu trúc perovskite và hiệu ứng CMR

Hiệu ứng CMR lần đầu tiên được phát hiện vào năm 1993 bởi nhóm nghiên cứu của S. Jin (AT&T Bell Laboratories, Murray Hill, Hoa Kỳ)[1] , cùng với một số đồng nghiệp khác ở Đài Loan trên các màng mỏng vật liệu perovskite La-Ca-Mn-O. Nhóm nghiên cứu đã phát hiện ra sự thay đổi điện trở tới hàng ngàn phần trăm và đặt tên là hiệu ứng *Colossal magnetoresistance*. Tiếp theo đó, hàng loạt nghiên cứu đã phát hiện ra hiệu ứng CMR trong cả vật liệu khối perovskite.

Vật liệu perovskite là nhóm các vật liệu có cấu trúc gần giống nhau, được đặt tên từ vật liệu gốc $CaTiO_3$. Công thức chung của nhóm vật liệu này là ABO3, trong đó A là các nguyên tố kim loại hóa trị 2 (vị trí A), B là một trong số các nguyên tố thuộc nhóm Mn, Ti, Co... (ví dụ như trong vật liệu $LaCaMnO_3$). Nếu A là gốc ban đầu (kim loại kiềm thổ) thì perovskite mang tính chất phản sắt từ. Sự pha tạp thêm các nguyên tố vào vị trí A (thường là các nguyên tố đất hiếm) hay một số nguyên tố vào vị trí B có thể dẫn tới sự thay đổi mạnh trong cấu trúc tinh thể, sự méo mạng và dẫn đến việc thay đổi cấu trúc từ, do đó tính chất từ có thể thay đổi từ phản sắt từ sang sắt từ, hay thuận từ... Xét trên phương diện vật lý, perovskite mang nhiều tính chất lý thú từ sự thay đổi tính chất này, và hiệu ứng CMR cũng bị chi phối bởi sự thay đổi cấu trúc này.

Cơ chế và ứng dụng của hiệu ứng CMR

Tên gọi của CMR không chỉ khác với GMR trên phương diện con số, mà khác về mặt bản chất cũng như cơ chế. Cơ chế hình thành nên CMR khác với cơ chế của GMR và đến nay vẫn chưa có những lý giải thật sự thỏa đáng. Sự phức tạp này bắt nguồn từ cơ chế tạo tính chất từ của các vật liệu perovskite. Khác với các vật liệu sắt từ khác, cơ chế tạo ra từ tính của các perovskite không đến trực tiếp từ các mômen từ nguyên tử mà bắt nguồn từ các tương tác trao đổi gián tiếp giữa các iôn đứng ở vị trí B (trong công thức phân tử ABO_3), ví dụ như Mn là một điển hình, với các iôn ôxi (O). Tương tác trao đổi xảy ra khi hàm sóng của các iôn phủ nhau. Các iôn tại vị trí B thường có 2 hóa trị (ví dụ như có Mn^{3+}, Mn^{4+}) và nếu tương tác giữa các iôn cùng hóa trị gọi là tương tác siêu trao đổi (*super exchange - SE*), tương tác giữa các iôn khác dấu là tương tác trao đổi kép (*double exchange - DE*). Tương tác trao đổi kép cho tính chất sắt từ, tương tác siêu trao đổi cho tính chất phản sắt từ.

Nếu ở vị trí A chỉ có một nguyên tố kim loại kiềm thổ thì không có sự pha trộn hóa trị của các iôn vị trí B, do đó nó mang tính phản sắt từ. Nhưng khi pha tạp thêm các nguyên tố đất hiếm (có hóa trị 3) thì sẽ tạo ra sự mất cân bằng về hóa trị trong các iôn B. Hơn nữa, sự pha tạp này tạo ra sự biến dạng của mạng tinh thể (méo mạng Jall-Teller). Đây là cơ chế thay đổi tính chất từ của perovskite. Và nhiều tác giả cho rằng hiệu ứng CMR bắt nguồn từ cơ chế này[2] .

Tuy nhiên, cơ chế DE - SE thực ra chưa lý giải một cách thỏa đáng hiệu ứng CMR. Gần đây, có tác giả lại đề xuất cơ chế dựa trên polaron từ[3] , [4] , cho rằng: khi đặt từ trường vào vật liệu, kích thước của các polaron từ phát triển dẫn đến sự thay đổi khả năng tập trung các điện tử trong quá trình vận chuyển, hay nói đơn giản là sự tương tác giữa điện tử với các polaron từ do đó thay đổi tính chất điện của vật liệu. Nhìn chung, cơ chế của CMR còn gây nhiều tranh cãi trong cộng đồng vật lý và do đó nó trở thành một hiệu ứng hấp dẫn cả về mặt nghiên cứu cơ bản lẫn khả năng ứng dụng.

Cùng với các hiệu ứng GMR và TMR, hiệu ứng CMR cũng là một nền tảng cho sự phát triển của công nghệ spintronic trong tương lai. Hiện tại, CMR được sử dụng hiệu quả trong các cảm biến đòi hỏi độ nhạy cao và dải làm việc rộng do sự thay đổi điện trở suất lớn trong quá trình đặt từ trường.

Xem thêm

- Hiệu ứng từ điện trở
- Từ điện trở khổng lồ
- Từ điện trở chui hầm
- Perovskite

Tài liệu tham khảo

[1] S. Jin, T. H. Tiefel, M. McCormack, R. A. Fastnacht, R. Ramesh, L. H. Chen *Thousandfold Change in Resistivity in Magnetoresistive La-Ca-Mn-O Films*, Science 264 (1994) 413 - 415 (http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/264/5157/413?maxtoshow=&HITS=10&hits=10&RESULTFORMAT=&andorexacttitleabs=and&andorexactfulltext=and&searchid=1&FIRSTINDEX=0&volume=264&firstpage=413&resourcetype=HWCIT)

[2] M.B. Salamon, *The physics of manganites: Structure and transport*, Rev. Mod. Phys. 73 (2001) 583-628 (http://prola.aps.org/abstract/RMP/v73/i3/p583_1)

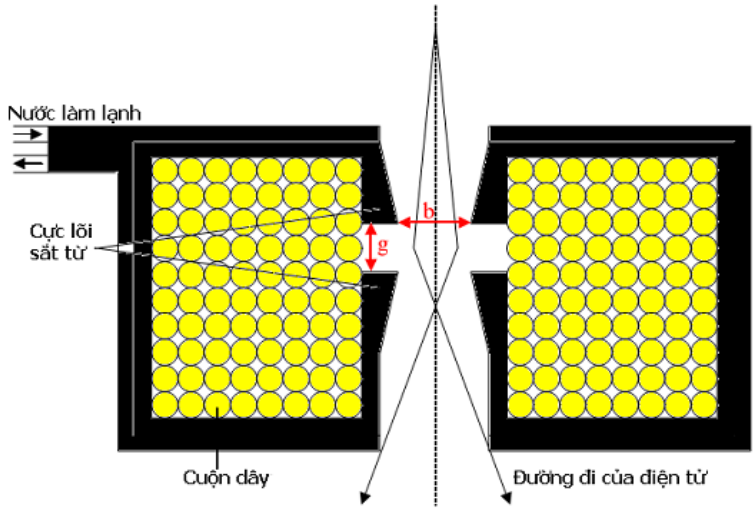
[3] J. Burgy, E. Dagotto, M. Mayr, *Percolative transitions with first-order characteristics in the context of colossal magnetoresistance manganites* Phys. Rev. B 67 (2001) 014410-014415 (http://prola.aps.org/abstract/PRB/v67/i1/e014410)

[4] Z Yang, X. Bao,S. Tan, Y. Zhang, *Magnetic polaron conduction in the colossal magnetoresistance material* $Fe_{1-x}Cd_xCr_2S_4$, Phys. Rev. B 69 (2004) 144407-144412 (http://link.aps.org/abstract/PRB/v69/e144407)

Chương 3: Ứng dụng

Thấu kính từ

Thấu kính từ (tiếng Anh: *Magnetic lens*) là một loại thấu kính hay một loại thiết bị dùng để hội tụ hoặc làm lệch chùm hạt mang điện tích (ví dụ như điện tử, iôn...) dưới tác dụng của lực từ do từ trường trong thấu kính tác dụng lên chùm hạt. Khả năng hội tụ hoặc làm lệch chùm hạt có thể thay đổi nhờ việc thay đổi từ trường trong thấu kính. Thấu kính từ được sử dụng trong các thiết bị điều khiển chùm hạt, mà nhiều nhất là trong các kính hiển vi điện tử, ống tia catốt...



Cấu trúc cắt ngang của một thấu kính từ sử dụng trong kính hiển vi điện tử truyền qua.

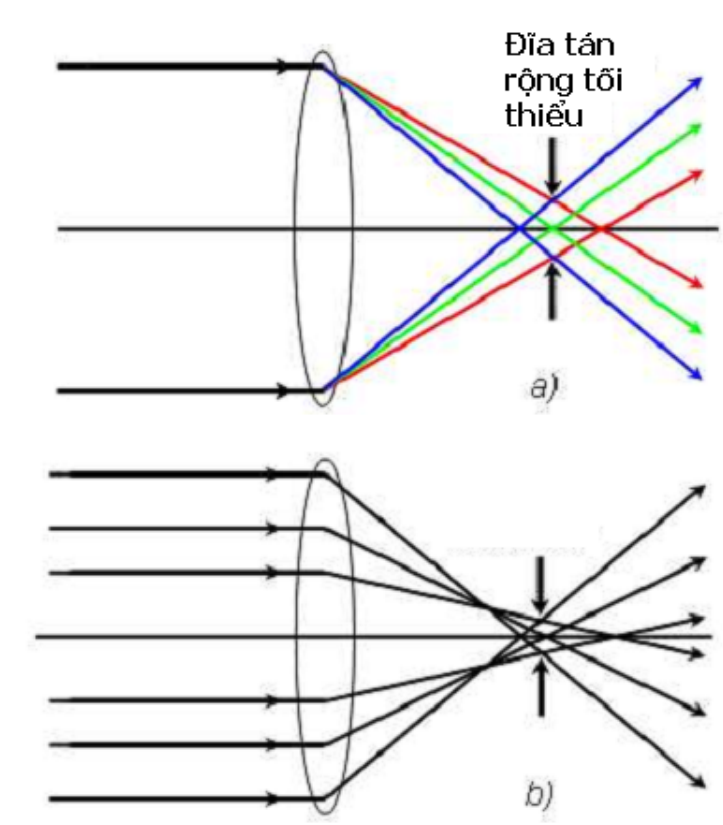
Cấu trúc của thấu kính từ

Về mặt bản chất, thấu kính từ là một nam châm điện. Từ trường được tạo ra trong khe hẹp nhờ một hệ các cuộn dây cuốn quanh lõi làm bằng vật liệu từ mềm). Có thể tưởng tượng thấu kính từ như một đường cống với từ trường sản sinh ra từ thành cống. Từ trường trong thấu kính được thay đổi bằng cách thay đổi cường độ dòng điện trong cuộn dây. Vì cuộn dây mang dòng điện nên nó tỏa rất nhiều nhiệt và đòi hỏi một hệ làm lạnh (thông thường bằng nước, dầu, nitơ lỏng...). Cấu trúc cực nam châm của thấu kính từ sẽ theo kiểu 2 cặp cực đặt chéo nhau thành một vòng liên tục N-S-N-S.

Nguyên lý sơ khai về thấu kính từ bắt đầu được phát triển từ năm 1858 khi Plücker ghi nhận sự lệch của chùm tia catốt trong từ trường .[1] , và sau đó được phát triển để xây dựng nên dao động ký vào năm 1897 bởi Ferdinand Braun .[2] . Vào năm 1891, hiệu ứng lệch chùm tia này được Riecke nhận ra và phát triển thành một thấu kính từ đơn giản cho phép hội tụ các chùm tia điện tử, và sau đó lý thuyết về thấu kính từ được phát triển bởi Hans Busch trong công trình xuất bản năm 1926 [3]

Quang sai của thấu kính từ

Quang sai về mặt bản chất là sự kém hoàn hảo của thấu kính. Nếu một thấu kính từ hoàn hảo về mặt quang học, nó phải chuyển hóa mọi điểm trên vật thành một điểm ảnh tương ứng, và cho hình ảnh hình chiếu hai chiều chính xác về mặt hình học của vật. Trên thực tế, việc hội tụ một chùm hạt mang điện có năng lượng cao thường không dễ dàng và lúc đó hiệu ứng quang sai bị xuất hiện.



Hai loại quang sai, sắc sai (a): chùm hạt có bước sóng khác nhau do đó chùm tia song song không hội tụ tại một điểm mà tạo thành một đĩa, cầu sai (b): chùm tia càng xa trục chính càng bị kém hội tụ.

Sắc sai

Sắc sai liên quan đến sự kém đơn sắc trong bước sóng của chùm hạt mang điện. Một chùm hạt mang điện chuyển động sẽ tương ứng với một bó sóng có nhiều bước sóng khác nhau, hay bản chất là do mỗi hạt mang điện sẽ có động năng khác nhau. Do đó, các sóng có bước sóng khác nhau sẽ hội tụ tại các tiêu điểm khác nhau, tạo ra một đĩa tán rộng tối thiểu trên mặt phẳng tiêu (hiệu dụng) của thấu kính, thay vì là chùm tia song song hội tụ tại một điểm như nguyên lý của quang hình học. Trên thực tế, sắc sai là quang sai tồn tại ở bất kỳ dạng thấu kính nào (kể cả thấu kính thủy tinh) do tính chất không đơn sắc của bức xạ.

Hiện nay, người ta đã có nhiều cách khác nhau để khắc phục điều này, ví dụ như sử dụng chùm điện tử phát ra từ súng phát xạ trường có độ đơn sắc rất cao, hoặc sử dụng bộ lọc năng lượng, làm tán xạ đi các điện tử có năng lượng không mong muốn, do đó làm tăng độ đơn sắc của sóng.

Cầu sai

Cầu sai là dạng quang sai chỉ có trong các thấu kính từ do sự phân bố từ trường không hoàn hảo. Sự kém hoàn hảo này dẫn đến việc các chùm tia ở xa trục chính sẽ hội tụ kém hơn so với các chùm tia đi gần trục chính và do đó cũng tạo ra một đĩa tán rộng thay vì hội tụ tại một điểm.

Hiện nay, việc loại trừ cầu sai đang là một vấn đề lớn của kỹ thuật hiển vi điện tử nhằm tạo ra các kính hiển vi điện tử truyền qua có độ phân giải siêu cao, dưới mức nguyên tử.

Tài liệu tham khảo

[1] Plücker, J. (1858). ""Über die Einwirkung des Magneten auf die elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen"". *Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie* **103**: 88--106. doi: 10.1002/andp.18581790106 (http://dx.doi.org/10.1002/andp.18581790106).

[2] "Ferdinand Braun, The Nobel Prize in Physics 1909, Biography" (http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1909/braun-bio.html).

[3] ""The Nobel Prize in Physics 1986, Perspectives - Life through a Lens"" (http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1986/perspectives.html).

Xem thêm

- Kính hiển vi điện tử
- Nam châm điện

Điện tử học spin

Điện tử học spin (tiếng Anh: *spintronics*) là một ngành đa lĩnh vực mà mục tiêu chính là thao tác và điều khiển các bậc tự do của spin trong các hệ chất rắn[1] . Nói một cách đơn giản, spintronics là một ngành nghiên cứu mới nhằm tạo ra các linh kiện mới dựa trên việc điều khiển và thao tác spin của điện tử.

Spin của điện tử

Điện tử có hai đặc tính rất quan trọng là điện tích và spin. Điện tích của điện tử được gọi là điện tích nguyên tố và có giá trị đặc trưng là e = 1,6.10^{-19} C (mang dấu âm), và đã được con người khai thác từ rất lâu mà đặc trưng đơn giản đó là dòng điện. Các linh kiện điện tử truyền thống sử dụng điện trường để điều khiển điện tích của điện tử trong các linh kiện.

Spin là một đặc trưng của điện tử, được hiểu một cách đơn giản là tạo ra từ việc điện tử (mang điện tích) chuyển động quay quanh trục của nó giống như Trái Đất và các hành tinh... tạo nên mômen động lượng spin và mômen từ spin. Spin của điện tử có độ lớn là $S = \frac{1}{2}\hbar$, và có thể định hướng theo 2 chiều là chiều lên (spin up) và chiều xuống (spin down).

Mômen từ spin của điện tử có giá trị:

$\mu_s = -g.\mu_B.S$

μ_B = 9.274 009 49(80) × 10^{-24} J·$Tesla^{-1}$ là Magneton Bohr, đơn vị của mômen từ, g = 2,0023 cho điện tử tự do goi là thừa số Landé.

Thực tế mô tả spin như chuyển động quay chỉ là cách mô tả đơn giản mang tính chất hình ảnh nhưng không hoàn toàn chính xác, spin thực tế là đặc trưng của các hạt cơ bản. Các hạt cơ bản có spin bán nguyên gọi là các fermion, chúng tuân theo phân bố Fermi-Dirac, còn các hạt cơ bản có spin nguyên gọi là các boson, chúng tuân theo phân bố Bose-Einstein.

Sự ra đời của spintronics

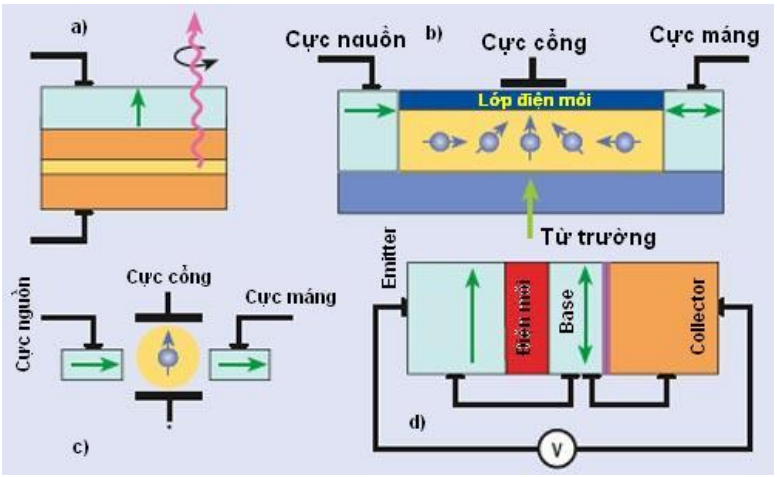
Sự hình thành của spintronics xuất phát từ những phát kiến về hiệu ứng từ điện trở. Spintronics bắt đầu ra đời với sự phát hiện của hiệu ứng từ điện trở khổng lồ (*giant magnetoresistance* - GMR) được phát hiện vào năm 1988, đồng thời bởi 2 nhóm nghiên cứu ở Pháp lãnh đạo bởi Albert Fert[2] và ở Đức do Peter Grünberg đứng đầu[3] và hiệu ứng từ điện trở chui hầm (*tunneling magnetoresistance* - TMR) vào năm 1995[4] . Hai tác giả đứng đầu hai nhóm này là Albert Fert và Peter Grünberg đã nhận được giải thưởng Nobel Vật lý năm 2007 cho những đóng góp quan trọng cho sự hình thành của spintronics trên cơ sở phát minh về hiệu ứng từ điện trở khổng lồ.

Mục tiêu quan trọng của spintronics là hiểu về cơ chế tương tác giữa spin của các hạt và môi trường chất rắn, từ đó có thể điều khiển cả về mật độ cũng như sự chuyển vận (*transportation*) của dòng spin trong vật liệu. Những câu hỏi lớn được đặt ra cho ngành spintronics là:

- Cách nào hiệu quả nhất để phân cực một hệ spin?
- Một hệ spin có thể nhớ trạng thái định hướng trong bao lâu?
- Làm thế nào để ghi nhận spin?

Các khái niệm và thao tác trên linh kiện spintronics

- **Độ phân cực**: Hiểu một cách đơn giản là tỉ lệ sai lệch giữa spin định hướng theo 2 chiều lên và xuống, được cho bởi công thức:



Mô hình một số linh kiện spin: a) spin diode, b,c,d) spin transistor

$$P = \frac{n_\uparrow - n_\downarrow}{n_\uparrow + n_\downarrow}$$

với $n_\uparrow, n_\downarrow$ lần lượt là mật độ spin up và spin down.

- **Dòng phân cực spin**: Là khái niệm được đề xuất năm 1935 bởi Mott để giải thích các tính chất bất thường của điện trở trong các kim loại sắt từ. Mott cho rằng ở nhiệt độ đủ thấp sao cho tán xạ trên magnon đủ nhỏ thì các dòng chuyển dời điện tử chiếm đa số (có spin song song với từ độ) và thiểu số (có spin đối song song với từ độ) sẽ không bị pha trộn trong quá trình tán xạ. Sự dẫn điện có thể coi là tổng hợp của hai dòng độc lập và không cân bằng của hai loại spin có chiều khác nhau. Đó chính là khái niệm về dòng phân cực spin. Và mô hình của Mott được gọi là mô hình hai dòng điện, và sau đó được nhóm của Campel mở rộng vào năm 19367, và sau đó tiếp tục được bổ sung hoàn thiện và là một khái niệm quan trọng để mô tả hiệu ứng từ điện trở cũng như các quá trình trong linh kiện spintronics.
- **Tiêm spin, bơm spin**: Trong một số chất ở trạng thái sắt từ, mật độ spin up và down là cân bằng nhau và không tạo ra dòng phân cực spin và không hữu ích cho các linh kiện spintronics. Người ta có thể tạo ra các dòng phân cực spin trong các chất này bằng cách dùng các nguồn để đưa dòng phân cực spin vào từ bên ngoài, gọi là quá trình tiêm spin (spin injection) hay bơm spin (spin pumping).
- Truyền dẫn spin
- Tích lũy spin

Vào thời điểm hiện tại, các nghiên cứu về spintronics có hai xu hướng:

Các linh kiện dựa trên các vật liệu từ kim loại

Hướng nghiên cứu này phát triển dựa trên các thành tựu về hiệu ứng từ điện trở, tạo ra từ các màng mỏng kim loại sắt từ. Sản phẩm ở mức độ thương phẩm của hướng nghiên cứu này là ổ cứng dung lượng cao, bộ nhớ RAM từ điện trở... Hướng nghiên cứu này đang trở nên mạnh mẽ và rất có triển vọng phát triển thành hiện thực với sự phát triển của dòng linh kiện điều khiển các vách đômen trong các cấu trúc nano từ tính. Việc điều khiển động học của các vách đômen cho phép tạo ra các cổng lôgic, các bộ nhớ... với chất lượng cao và cơ cấu rất đơn giản.

Hướng nghiên cứu dựa trên các linh kiện bán dẫn

Hướng nghiên cứu này tạo ra các linh kiện spintronic dựa trên việc điều khiển dòng điện tử phân cực spin trong các vật liệu bán dẫn. Để tạo ra được linh kiện loại này thì việc tiêm spin, điều khiển spin và ghi nhận spin phân cực trong chất bán dẫn đóng vai trò then chốt. Hiện hướng nghiên cứu này đang gặp những cản trở lớn:

- Tạo ra các chất bán dẫn mang tính chất từ (gọi là các chất bán dẫn pha loãng từ) có tính sắt từ ở trên nhiệt độ phòng, hoặc các chất bán kim sắt từ có độ phân cực spin cao.
- Đưa được dòng điện tử phân cực spin vào trong chất bán dẫn trên quãng đường đủ dài để ghi nhận spin.
- Các vấn đề gặp phải của các lớp chuyển tiếp giữa các lớp vật liệu gây sự tán xạ và làm mất độ phân cực spin.
- Vướng mắc giữa việc sử dụng lớp phân cực spin là các kim loại sắt từ hay các vật liệu bán dẫn từ, sử dụng các lớp tiếp xúc từ chui hầm....

Một số linh kiện spintronics

Một cách tương đối, có thể chia các linh kiện spintronics thành 3 thế hệ:

- **Thế hệ thứ nhất**: Gồm các linh kiện dựa trên các hiệu ứng GMR, TMR, trong các màng mỏng từ tiếp xúc dị thể kim loại-kim loại hoặc kim loại-điện môi[5] ..., ví dụ như các cảm biến, đầu đọc từ trở trong các đĩa cứng, các bộ nhớ RAM từ điện trở (MRAM), các transitor kim loại (hay transitor lưỡng cực), transitor valse spin, công tắc/khoá đóng mở spin, ...
- **Thế hệ thứ hai**: Bao gồm các linh kiện hoạt động dựa trên việc tiêm hoặc bơm dòng phân cực spin qua tiếp xúc dị thể bán dẫn-sắt từ hay bán dẫn từ-bán dẫn (điều này giúp cho việc tận dụng được các kỹ thuật vi điện tử hiện nay). Đó là các mạch khoá siêu nhanh, các bộ vi xử lý spin và mạch logic lập trình được,... Các linh kiện này sử dụng các vật liệu bán dẫn pha loãng từ, bán dẫn sắt từ hay các bán kim, các linh kiện vận chuyển đạn đạo (ballistic electron transport) sử dụng hiệu ứng từ điện trở xung kích, và các loại transistor spin như ở thế hệ thứ nhất. Một thế hệ linh kiện spin mới đang được phát triển mạnh và rất có triển vọng hiện nay là các bộ nhớ từ và các cổng lôgic dựa trên điều khiển vách đômen trong các cấu trúc nano từ tính[6] , [7] .
- **Thế hệ thứ ba**: Là các linh kiện sử dụng các cấu trúc nano (dạng chấm lượng tử, dây và sợi nano) và sử dụng các trạng thái spin điện tử đơn lẻ như cổng logic lượng tử (là cơ sở cho máy tính lượng tử), các transistor đơn spin (SSET), ...

Cảm biến van spin thuộc thế hệ linh kiện đầu tiên đã được chế tạo và đưa vào sử dụng ở mức độ thương phẩm từ cuối thế kỷ 20. Một số linh kiện điển hình của thế hệ này là kính hiển vi từ điện trở, đầu đọc ghi ổ cứng tốc độ cao, phím bấm không tiếp xúc, động cơ không chổi than, giải mã vạch, đếm tốc độ, máy trợ thính, ... Các bộ nhớ MRAM không tự xóa đang bắt đầu có sản phẩm thương phẩm, và được dự đoán là sẽ chiếm lĩnh thị trường thương mại và tiêu dùng trong những năm gần đây.

Ưu điểm của các linh kiện spintronics

- Tiêu thụ ít năng lượng hơn: Việc chuyển trạng thái 0 và 1 trong các linh kiện điện tử truyền thống được thực hiện bằng cách vận chuyển điện tích vào/ra khỏi các kênh củatransistor. Điều đó đòi hỏi phải tiêu tốn năng lượng vì việc vận chuyển điện tích đòi hỏi phải tạo ra được độ dốc của trường thế (hay điện trường), do đó bị tổn hao thành nhiệt và không thể bù đắp được, trong khi các linh kiện spintronics đảo trạng thái dựa trên việc đổi định hướng spin.
- Không gây ồn/nhiễu như điện tích: spin không liên kết dễ dàng với điện trường phát tán (trừ khi tương tác spin-quỹ đạo rất mạnh ở trong các vật liệu) nên tránh được nhiễu và ồn của điện tích.
- Thao tác nhanh hơn vì không phải mất thời gian cho việc vận chuyển điện tích, chỉ mất thời gian đảo phương spin. Tóm lại, đối với spin chỉ cần đảo chiều theo 2 chiều "lên" và "xuống" nên đòi hỏi tiêu tốn ít năng lượng và mất ít thời gian hơn nhiều.
- Người ta dự đoán rằng công nghệ spintronics sẽ góp phần quan trọng vào sự phát triển của công nghệ điện tử - tin học - viễn thông trong thế kỷ 21. Các đặc trưng của các thiết bị điện tử thế hệ mới này có tính tổ hợp cao (cả điện tử hoc, từ học và quang tử), đa chức năng, thông minh, nhỏ gọn, tiêu thụ ít năng lượng nhưng hiệu suất cao, xử lý và khả làm tươi (refresh) thông tin với tốc độ rất cao...

Xem thêm

- Sắt từ
- Từ điện trở
- Từ điện trở khổng lồ
- Spin

Liên kết ngoài

- Room temperature spintronics consortium [8]
- Bộ nhớ RAM từ trở [9]

Tài liệu tham khảo

[1] I. Zutic, J. Fabrian, S.D. Sarma, "**Spintronics: Fundamentals and applications**", Rev. Mod. Phys. 76 (2004) 323 (http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=RMPHAT000076000002000323000001&idtype=cvips&gifs=yes)

[2] M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Eitenne, g. Creuzet, A. Friederich, and J. Chazelas, "**Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices**", Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 2472. (http://prola.aps.org/abstract/PRL/v61/i21/p2472_1)

[3] G. Binasch, P. Grünberg, F. Saurenbach, W. Zinn, "**Enhanced magnetoresistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange**", Phys. Rev. B 39 (1989) 4828. (http://prola.aps.org/abstract/PRB/v39/i7/p4828_1)

[4] J. S. Moodera, Lisa R. Kinder, Terrilyn M. Wong, R. Meservey "**Large Magnetoresistance at Room Temperature in Ferromagnetic Thin Film Tunnel Junctions**". Phys. Rev. Lett. 74: 3273–3276, 1995 (http://link.aps.org/abstract/PRL/v74/p3273)

[5] C. Chappert, A. Fert, F. Nguyen Van Dau,"**The emergence of spin electronics in data storage**", Nat. Mat. 6 (2007) 813-823 (http://www.nature.com/nmat/journal/v6/n11/abs/nmat2024.html)

[6] C.H. Marrow, "**Spin-polarised currents and magnetic domain walls**", Adv. Phys. 54 (2005) 585. (http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a741576309~db=all~order=page)

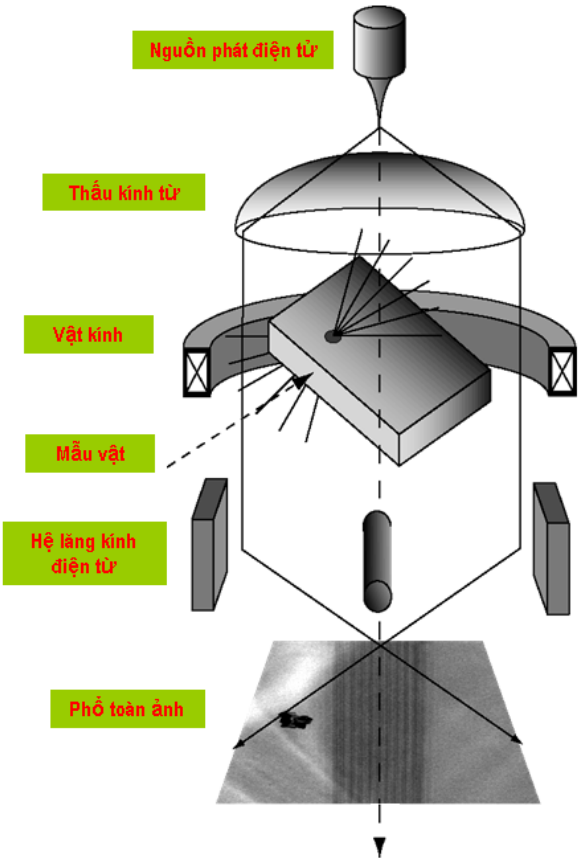
[7] D.A. Allwood, G. Xiong, C.C. Faulker, D. Atkinson, D. Petit, R.P. Cowburn, "**Magnetic Domain-Wall Logic**", Science 309 (2005) 1688-1692 (http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/309/5741/1688?maxtoshow=&HITS=10&hits=10&RESULTFORMAT=&andorexacttitleabs=and&andorexactfulltext=and&searchid=1&FIRSTINDEX=0&volume=309&firstpage=1688&resourcetype=HWCIT)

[8] http://www.spinart.org/

[9] http://vatlyvietnam.org/home/modules.php?name=News&file=article&sid=161

Toàn ảnh điện tử

Toàn ảnh điện tử hay **Toàn ký điện tử** là một kỹ thuật phân tích cấu trúc điện từ của vật rắn, được phát triển từ kính hiển vi điện tử truyền qua, dựa trên nguyên tắc ghi lại ảnh toàn ký của chùm điện từ tán xạ qua vật rắn, với chùm điện tử gốc ban đầu.



Sơ đồ nguyên lý cấu trúc của một hệ ghi toàn ảnh điện tử

Nguyên lý của toàn ảnh điện tử

Toàn ảnh điện tử hoàn toàn tương tự với phép toàn ảnh quang học (được phát minh bởi Dennis Gabor), chỉ có điều sóng được sử dụng ở đây là sóng điện tử và sự tán xạ của sóng điện tử được ghi lại là do sự tán xạ trên trường điện từ của mẫu vật. Để thực hiện phép toàn ảnh điện tử, người ta ghi lại sự giao thoa của 2 chùm điện tử kết hợp được phát ra từ cùng một nguồn (được chia thành hai nhờ bộ lăng kính tách chùm tia). Để tạo ảnh giao thoa chất lượng cao, điện tử được dùng phải là sóng điện tử được phát ra từ các súng phát xạ trường (có độ đơn sắc rất cao).

Khi một chùm điện tử chiếu qua mẫu vật, sóng điện tử bị lệch pha do sự tán xạ với từ trường và trường tĩnh điện của mẫu vật. Và sự dịch pha được cho bởi công thức:

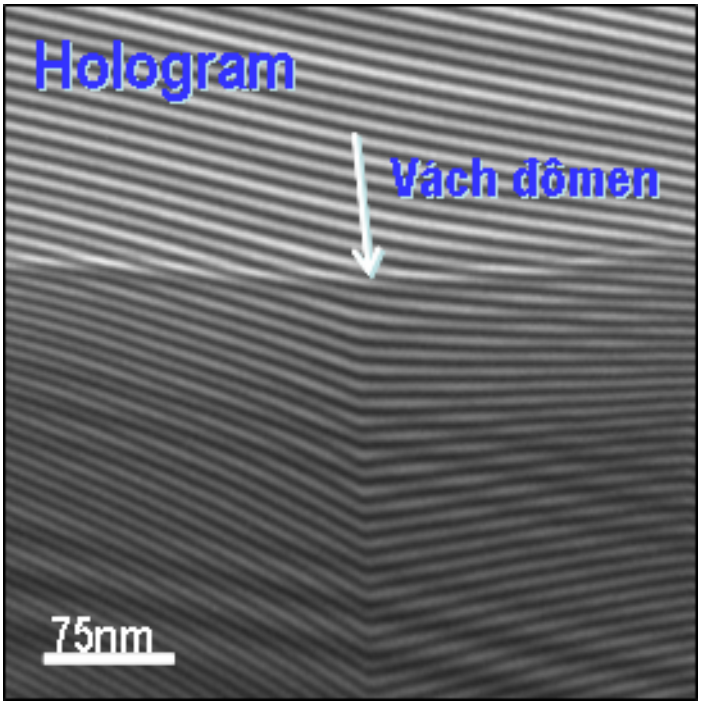
$$\Delta\phi = \frac{e}{\hbar\nu}\int V(x,y,z)dz - \frac{e}{\hbar}\int A_z(x,y,z)dz$$

số hạng đầu tiên là thành phần tán xạ trên trường tĩnh điện, số hạng thứ hai là tán xạ trên từ trường. Công thức có thể viết gọn lại thành[1]:

$$\Delta\phi = \frac{\pi V t}{\lambda E} - \frac{e}{\hbar}\int_{-\infty}^{\infty}\vec{A}\vec{dl}$$

với V, t lần lượt là trường tĩnh điện nội trung bình, độ dày của mẫu vật, λ, E là bước sóng và thế tăng tốc của điện tử; $\vec{A}$ là thế véctơ sinh ra do từ trường của mẫu vật.

Ảnh toàn ảnh ghi lại trên màn ảnh là hình ảnh giao thoa của chùm tia điện tử ban đầu và chùm tia điện tử (đã bị lệch pha) sau khi truyền qua vật. Cường độ của ảnh phân bố được cho bởi công thức[2] :



Ảnh toàn ảnh điện tử ghi lại xung quanh một vách đômen của mẫu màng mỏng từ

$$I(x,y) = 1 + A^2(x,y) + 2A(x,y).cos[2\pi x\beta/\lambda + \Delta\phi]$$

với $A(x,y), \beta$ là biên độ sóng điện tử và góc chồng chập 2 chùm tia.

Lịch sử phát triển, ưu điểm và hạn chế

Toàn ảnh điện tử được phát triển từ nguyên lý toàn ký của Dennis Garbor[3] bởi nhóm nghiên cứu của Gottfried Möllenstedt, Heiner Düker, và Herbert Wahl ở Trường Đại học Tübingen, Đức vào giữa những thập niên 1950[4] và tiếp tục được phát triển mạnh kể từ thập niên 1970 với sự ra đời của súng phát xạ điện tử phát xạ trường.

Ngày nay, toàn ảnh điện tử đã trở thành một kỹ thuật được phát triển mạnh, cho phép nghiên cứu cấu trúc từ của các màng mỏng (giống như các kỹ thuật khác của TEM như hiển vi Lorentz...). Điểm mạnh của toàn ảnh điện tử là có khả năng cho độ phân giải không gian rất cao (có thể đạt tới cấp độ dưới 1 nm) và rất nhạy với sự thay đổi của trường điện từ trong mẫu vật do vậy có khả năng tạo độ phân giải thời gian rất tốt.

Điểm kém là quá trình cài đặt phức tạp và đòi hỏi chùm điện tử có tính kết hợp cao, có nghĩa là nó đòi hỏi những nguồn phát điện tử phát xạ trường với chất lượng rất cao (điều này ảnh hưởng nhiều đến giá thành và tính chất hoạt động).

Tài liệu tham khảo

[1] J. N. Chapman, M. R. Scheinfein, *Transmission electron microscopies of magnetic microstructures*, J. Magn. Magn. Mater. 200 (1999) 729-740 (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TJJ-3Y2NV45-1X&_user=10&_coverDate=10/31/1999&_alid=663997334&_rdoc=1&_fmt=full&_orig=search&_cdi=5312&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=1&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=0d8fff815d08bd4190ce4cc1ca977bca)

[2] H. Lichte, *Electron holography approaching atomic resolution*, Ultramicroscopy 20 (1986) 293-304 (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TW1-46JGM9K-98&_user=6291618&_coverDate=12/31/1986&_alid=663999253&_rdoc=1&_fmt=summary&_orig=search&_cdi=5549&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=1&_acct=C000009999&_version=1&_urlVersion=0&_userid=6291618&md5=d59252e454ccdcb55ae8d244c36f3232)

[3] D. Gabor, Nature 161 (1948) 777

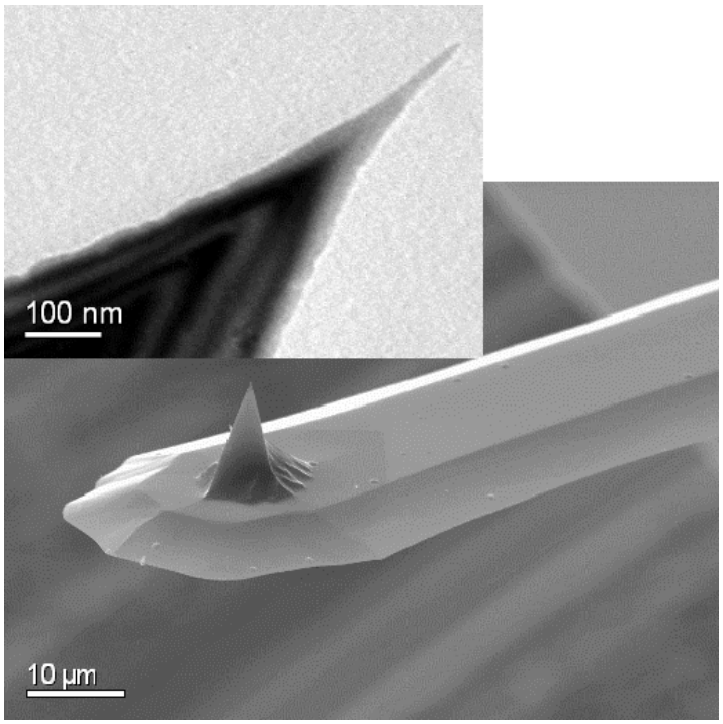
[4] L. Allard, T. Nolan, D. Joy, *Electron holography: A new view of materials structure*, ORNL Review (http://www.ornl.gov/info/ornlreview/rev28-4/text/electron.htm)

Xem thêm

- Toàn ký
- Kính hiển vi điện tử truyền qua
- Kính hiển vi Lorentz

Kính hiển vi lực từ

Kính hiển vi lực từ (tiếng Anh: ***Magnetic Force Microscope***, thường viết tắt là ***MFM***) là một loại kính hiển vi thuộc nhóm kính hiển vi quét đầu dò (SPM), được sử dụng để xây dựng hình ảnh sự phân bố của tính chất từ trên bề mặt vật rắn dựa trên việc ghi nhận lực tương tác (lực từ) giữa mũi dò từ tính với bề mặt của mẫu.



Ảnh chụp hiển vi điện tử mũi dò của MFM

Nguyên lý hoạt động

Về mặt nguyên lý, MFM hoạt động tương tự như AFM. Mũi dò quét trên bề mặt mẫu được sử dụng là vật liệu từ tính khi quét trên bề mặt mẫu sẽ có sự tương tác với các thành phần từ tính trên bề mặt, qua đó vẽ bản đồ phân bố các thành phần từ tính bề mặt, mà cụ thể ở đây là cấu trúc đômen của vật rắn[1] .

Lực tương tác từ giữa mũi dò và bề mặt vật rắn được xác định bởi[2] :

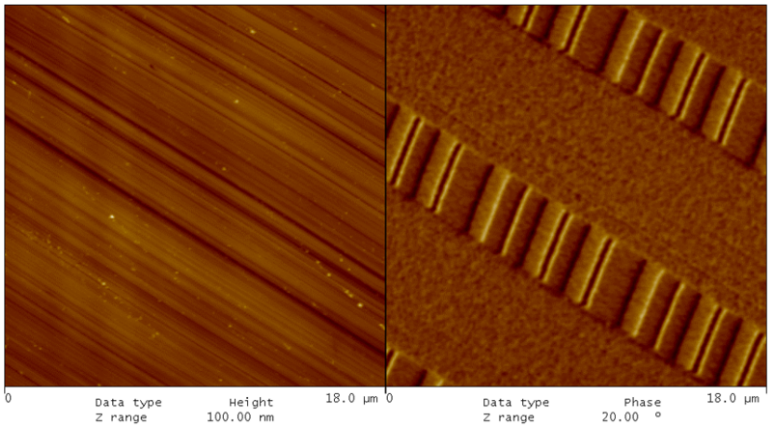
$$F_z = -\mu_0 \int M_{ztip} \frac{\partial H_{zsample}}{\partial z} dV$$

hoặc trong chế độ hoạt động tiếp xúc, người ta có thể ghi lại gradient lực từ được xác định bởi:

$$F'_z = -\mu_0 \int M_{ztip} \frac{\partial^2 H_{zsample}}{\partial z^2} dV$$

với $M_{ztip}, H_{zsample}$ lần lượt là thành phần theo trục z của độ từ hóa của mũi dò, và cường độ từ trường tại bề mặt mẫu vật.

Ưu điểm và hạn chế



Ảnh chụp phân bố đômen từ của bề mặt ổ cứng, sự tương phản ở đây là tương phản về tính chất từ

- **Ưu điểm của MFM**: MFM là thiết bị dùng để phân tích cấu trúc từ của vật rắn có nhiều ưu điểm. Ưu điểm đầu tiên là có khả năng phân tích cấu trúc từ mà không đòi hỏi sự phá hủy hay xử lý mẫu như kính hiển vi Lorentz, đồng thời độ phân giải không bị giới hạn bởi hiện tượng nhiễu xạ, mà chỉ phụ thuộc vào kích thước và bước quét của mũi dò trên bề mặt mẫu vật.
- **Điểm yếu của MFM**: MFM ghi ảnh dựa vào hiện tượng quét nên độ phân giải thời gian thấp, khả năng ghi ảnh chậm. Đồng thời, việc ghi ảnh tức thời trong quá trình từ hóa của MFM kém hơn rất nhiều so với kính hiển vi Lorentz. Việc ghi lại cấu trúc từ của các vật liệu từ mềm khó hơn do trường phân tán trên mũi ảnh hưởng đến đômen từ của mẫu vật.

Tài liệu tham khảo

[1] C. Schoenenberger and S. F. Alvarado, *Magnetic force microscopy and its application to longitudinal thin films*, J. Magn. Magn. Mater. 93 (1991) 123-127 (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TJJ-46G62NK-17R&_user=6291618&_origUdi=B6TJJ-3V7S9C9-H&_fmt=high&_coverDate=02/28/1991&_rdoc=1&_orig=article&_acct=C000009999&_version=1&_urlVersion=0&_userid=6291618&md5=469e032e995ebb369b80353a697f0a94)

[2] Leon Abelmann et al. *Comparing the resolution of magnetic force microscopes using the CAMST reference samples* J. Magn. Magn. Mater. 190 (1998) 135-147 (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TJJ-3V7S9C9-H&_user=10&_coverDate=12/01/1998&_alid=661030238&_rdoc=1&_fmt=full&_orig=search&_cdi=5312&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=1&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=818b5b41d1b002ef18f91dc7cefaed5f)

Xem thêm

- Kính hiển vi quét đầu dò
- Kính hiển vi lực nguyên tử
- Kính hiển vi Lorentz

Nguồn và người đóng góp vào bài

Từ học *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3189246 *Người đóng góp*: Deshi, Mekong Bluesman, Mxn, Tttrung, Zatrach, 1 sửa đổi vô danh

Độ từ hóa *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=2322523 *Người đóng góp*: Anhdung86, Deshi, Nguyễn Thanh Quang, Tttrung

Độ cảm từ *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=2480084 *Người đóng góp*: Apple, Deshi, LMBRPOVOA

Độ từ thẩm *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3356144 *Người đóng góp*: Cheers!, Deshi, Lưu Ly

Từ hóa *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3369203 *Người đóng góp*: Anhdung86, Deshi, Nguyễn Thanh Quang, Thaisk, Vinhtantran

Từ giảo *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3369202 *Người đóng góp*: Cheers!, Deshi, Mekong Bluesman

Từ trễ *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=2909060 *Người đóng góp*: Deshi, Dictator, Tttrung

Lực kháng từ *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3355945 *Người đóng góp*: Cheers!, Deshi

Nhiệt độ Curie *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3354268 *Người đóng góp*: Deshi, Truong Manh An, 2 sửa đổi vô danh

Đường cong từ hóa *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3373517 *Người đóng góp*: Cheers!, Deshi

Đường cong từ nhiệt *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3373518 *Người đóng góp*: Apple, DHN, Deshi, Mekong Bluesman, Thaisk

Mômen lưỡng cực từ *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3355973 *Người đóng góp*: Cheers!, Deshi, Newone, Pham Thuc Tuyen, Tttrung

Nhiệt độ Néel *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=2998750 *Người đóng góp*: Deshi

Năng lượng vi từ *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3354958 *Người đóng góp*: Deshi, Studryan

Độ phân cực spin *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3374181 *Người đóng góp*: Cheers!, Deshi, 1 sửa đổi vô danh

Thuận từ *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3283002 *Người đóng góp*: AnhAnh-Ams, Apple, Deshi, Lưu Ly, Truong Manh An, 1 sửa đổi vô danh

Siêu thuận từ *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3356018 *Người đóng góp*: Apple, Cheers!, Deshi, 1 sửa đổi vô danh

Nghịch từ *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=2574918 *Người đóng góp*: AnhAnh-Ams, Apple, Lưu Ly

Sóng spin *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=2154790 *Người đóng góp*: Deshi, 1 sửa đổi vô danh

Sắt từ *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3174055 *Người đóng góp*: Apple, Casablanca1911, Deshi, Mekong Bluesman, 1 sửa đổi vô danh

Đômen từ *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3373454 *Người đóng góp*: Deshi, Studryan, 1 sửa đổi vô danh

Vách đômen *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3371092 *Người đóng góp*: Cheers!, Deshi, Mekong Bluesman, Vinhtantran

Phản sắt từ *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3356841 *Người đóng góp*: Apple, Deshi

Phương trình Landau-Lifshitz-Gilbert *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3356757 *Người đóng góp*: Deshi, 1 sửa đổi vô danh

Vật liệu từ cứng *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3371715 *Người đóng góp*: Apple, Deshi, Nguyễn Thanh Quang, Tttrung, 4 sửa đổi vô danh

Vật liệu từ mềm *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3371717 *Người đóng góp*: Casablanca1911, Deshi, 2 sửa đổi vô danh

Công nghệ nguội nhanh *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3339924 *Người đóng góp*: DHN, Deshi, Mxn, Nguyễn Thanh Quang, Vanminhhanoi, 2 sửa đổi vô danh

FINEMET *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3291360 *Người đóng góp*: DHN, Deshi

Hiệu ứng Hopkinson *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3355842 *Người đóng góp*: Cheers!, Deshi

Hiệu ứng Meissner *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3310735 *Người đóng góp*: Daotamb2, Mekong Bluesman, Mxn, Newone, Tttrung, 1 sửa đổi vô danh

Hiệu ứng từ nhiệt *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3310744 *Người đóng góp*: Apple, Deshi

Hiệu ứng từ quang Kerr *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3082952 *Người đóng góp*: Deshi, Tranletuhan

Hiệu ứng từ điện trở *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3342743 *Người đóng góp*: Apple, Dang Nguyen Khang, Deshi, Mekong Bluesman, 2 sửa đổi vô danh

Hợp kim Heusler *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=2173891 *Người đóng góp*: Deshi

Magnetit *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3401525 *Người đóng góp*: DHN, Deshi, Tranletuhan, Volga

Nam châm *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3305230 *Người đóng góp*: Deshi, Hoàng Anh Quyết, Llevanloc, Mekong Bluesman, Mxn, Newone, Porcupine, Tttrung, 5 sửa đổi vô danh

Nam châm Neodymi *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=2894207 *Người đóng góp*: DHN, Deshi, Meotrangden

Nam châm samarium coban *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=2245856 *Người đóng góp*: Apple, Deshi, Paris

Nam châm vĩnh cửu *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3353495 *Người đóng góp*: Deshi, Hoàng Anh Quyết, Kd, Llevanloc, Nguyễn Thanh Quang, Tttrung, 4 sửa đổi vô danh

Nam châm điện *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3213958 *Người đóng góp*: Anh008, Ctmt, Deshi, Dinhtuydzao, Hoàng Anh Quyết, Vinhtantran, 20 sửa đổi vô danh

Nam châm đất hiếm *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3353496 *Người đóng góp*: DHN, Deshi, Newone, 1 sửa đổi vô danh

Nước từ *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3411772 *Người đóng góp*: Arisa, Deshi, Mekong Bluesman, Mxn, Tranletuhan, Tttrung, Zatrach, 11 sửa đổi vô danh

Permalloy *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3356186 *Người đóng góp*: Deshi, Vương Ngân Hà, 2 sửa đổi vô danh

Perovskit (cấu trúc) *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3356198 *Người đóng góp*: Deshi, Pq, Tranletuhan

Spin valve *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3363948 *Người đóng góp*: Cheers!, Deshi, Mekong Bluesman, 1 sửa đổi vô danh

Terfenol-D *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=2155603 *Người đóng góp*: DHN, Deshi, Meotrangden

Tương phản pha vi sai *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3368952 *Người đóng góp*: Cheers!, Deshi

Từ điện trở chui hầm *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3369214 *Người đóng góp*: Deshi, 1 sửa đổi vô danh

Từ điện trở dị hướng *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3356103 *Người đóng góp*: Cheers!, Deshi, 1 sửa đổi vô danh

Từ điện trở khổng lồ *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3369215 *Người đóng góp*: Deshi, Guillom, 1 sửa đổi vô danh

Từ điện trở siêu khổng lồ *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3369216 *Người đóng góp*: Cheers!, Deshi, 1 sửa đổi vô danh

Thấu kính từ *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3366562 *Người đóng góp*: Cheers!, Deshi

Điện tử học spin *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3373287 *Người đóng góp*: Deshi, Mekong Bluesman, 5 sửa đổi vô danh

Toàn ảnh điện tử *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3367373 *Người đóng góp*: Apple, Cheers!, Deshi

Kính hiển vi lực từ *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?oldid=3346786 *Người đóng góp*: Deshi

Nguồn, giấy phép, và người đóng góp vào hình

Tập tin:HM1.JPG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:HM1.JPG *Giấy phép*: không rõ *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Magnetisme 1.jpg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Magnetisme_1.jpg *Giấy phép*: không rõ *Người đóng góp*: Zatrach

Tập tin:Hard disk platters and head.jpg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Hard_disk_platters_and_head.jpg *Giấy phép*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Người đóng góp*: User:Mfield

Tập tin:NiFe1.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:NiFe1.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Apple, Deshi

Tập tin:Domain1.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Domain1.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Tugiao1.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Tugiao1.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Magnetostriction by Zureks.gif *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Magnetostriction_by_Zureks.gif *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: User:Zureks

Tập tin: HYSTERESIS.JPG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:HYSTERESIS.JPG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:B-H loop.png *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:B-H_loop.png *Giấy phép*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Người đóng góp*: Alno, Chaiken, Inductiveload, Omegatron, Pieter Kuiper, Sautoir, WikipediaMaster, Zureks, 3 sửa đổi vô danh

Tập tin:HYSTERESIS.JPG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:HYSTERESIS.JPG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Curie_temp1.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Curie_temp1.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:MAG2.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:MAG2.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:MAG1.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:MAG1.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:TMag.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:TMag.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Magnetic moment.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Magnetic_moment.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: User:Eman

Tập tin:Square Py.png *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Square_Py.png *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:TMR.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:TMR.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Paramagnetic_probe_without_magnetic_field.svg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Paramagnetic_probe_without_magnetic_field.svg *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: User:Jensel

Tập tin:Domain_CoIr.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Domain_CoIr.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Hình:Blochdomainwall.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Blochdomainwall.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Blochdomainwall.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Blochdomainwall.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:DWconfiguration.png *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:DWconfiguration.png *Giấy phép*: Creative Commons Attribution 3.0 *Người đóng góp*: User:Ndthe

Tập tin:Barkhausensprung.gif *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Barkhausensprung.gif *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Denkwürdig, Denniss, Kersti Nebelsiek, Mattes, Pieter Kuiper

Tập tin: Phansattu1.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Phansattu1.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Lienketphansattu.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Lienketphansattu.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:HM3.JPG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:HM3.JPG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin: NdFeB.jpg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:NdFeB.jpg *Giấy phép*: không rõ *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:HYS_SM.JPG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:HYS_SM.JPG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:SM_Finemet.JPG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:SM_Finemet.JPG *Giấy phép*: không rõ *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin: Meltspinning.JPG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Meltspinning.JPG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin: Meltspinning2.JPG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Meltspinning2.JPG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Meltspinning3.JPG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Meltspinning3.JPG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:BF-DF TEM.png *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:BF-DF_TEM.png *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Hopkinson_eff.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Hopkinson_eff.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Magnet 4.jpg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Magnet_4.jpg *Giấy phép*: GNU Free Documentation License *Người đóng góp*: Andrius.v, ElRaki, Materialscientist, Saperaud, The Evil IP address, Traitor, 4 sửa đổi vô danh

Tập tin:EfektMeisnera.svg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:EfektMeisnera.svg *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Piotr Jaworski, PioM EN DE PL; POLAND/Poznań

Tập tin:MCE3.png *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:MCE3.png *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Apple, Deshi

Tập tin: MCE2.JPG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:MCE2.JPG *Giấy phép*: không rõ *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin: MCE1.JPG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:MCE1.JPG *Giấy phép*: không rõ *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin: M-H.png *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:M-H.png *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:MOKE.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:MOKE.PNG *Giấy phép*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Người đóng góp*: User:Tone

Tập tin:GMR.svg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:GMR.svg *Giấy phép*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Người đóng góp*: Guillom, Igge, Nojhan, Pieter Kuiper, 2 sửa đổi vô danh

File:Magnetite Russia.jpg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Magnetite_Russia.jpg *Giấy phép*: GNU Free Documentation License *Người đóng góp*: Akinom, Kilom691, Sbisolo

Tập tin:Magnetite444.jpg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Magnetite444.jpg *Giấy phép*: không rõ *Người đóng góp*: User:Benjamint444

Tập tin:HeavyMineralsBeachSand.jpg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:HeavyMineralsBeachSand.jpg *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Photograph taken by Mark A. Wilson (Department of Geology, The College of Wooster).

Tập tin:MagnetiteRing.jpg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:MagnetiteRing.jpg *Giấy phép*: Creative Commons Attribution 3.0 *Người đóng góp*: Steelerdon (talk). Original uploader was Steelerdon at en.wikipedia

Tập tin:Magnet0873.png *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Magnet0873.png *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: LeYaYa, Pieter Kuiper, っ, 1 sửa đổi vô danh

Tập tin: Neodymag.jpg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Neodymag.jpg *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Apple, Deshi, Vương Ngân Hà

Tập tin:Ring.JPG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Ring.JPG *Giấy phép*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Người đóng góp*: Magnequench

Tập tin:Hdd od srodka.jpg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Hdd_od_srodka.jpg *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: EugeneZelenko, Qurren, TOR, Yann, 3 sửa đổi vô danh

Tập tin:RM1.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:RM1.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin: HM1.JPG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:HM1.JPG *Giấy phép*: không rõ *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Electromagnet1.png *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Electromagnet1.png *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Solenoid.svg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Solenoid.svg *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: User Nmnogueira on en.wikipedia

Tập tin:Ferrofluid Magnet under glass edit.jpg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Ferrofluid_Magnet_under_glass_edit.jpg *Giấy phép*: GNU Free Documentation License *Người đóng góp*: Gregory F. Maxwell < gmaxwell@gmail.com>

Tập tin:RM2.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:RM2.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Ferrofluid-1.JPG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Ferrofluid-1.JPG *Giấy phép*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Người đóng góp*: User:Mnolf

Tập tin:NiFe2.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:NiFe2.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Thành viên:Deshi

Tập tin:Perovskite.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Perovskite.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Kilom691, Ndthe

Tập tin:La02Ca08MnO3.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:La02Ca08MnO3.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: User:Ndthe

Tập tin:Spin-valve GMR.svg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Spin-valve_GMR.svg *Giấy phép*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Người đóng góp*: Biezl, Guillom, Mdd, Pieter Kuiper, 1 sửa đổi vô danh

Tập tin:Spin valve 1.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Spin_valve_1.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: User:Ndthe

Tập tin:Exchange-bias.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Exchange-bias.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Lorentz microscopy2.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Lorentz_microscopy2.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:DPC Py 20nm.png *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:DPC_Py_20nm.png *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin: GMR.svg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:GMR.svg *Giấy phép*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Người đóng góp*: Guillom, Igge, Nojhan, Pieter Kuiper, 2 sửa đổi vô danh

Tập tin: Spin-valve GMR.svg *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Spin-valve_GMR.svg *Giấy phép*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Người đóng góp*: Biezl, Guillom, Mdd, Pieter Kuiper, 1 sửa đổi vô danh

Tập tin:CMR1.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:CMR1.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:ElectromagneticLens.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:ElectromagneticLens.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Quangsai1.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Quangsai1.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin: Spintronicdevice.JPG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Spintronicdevice.JPG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Electronholography1.png *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Electronholography1.png *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:Electronholography2.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:Electronholography2.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:MFM1.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:MFM1.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Tập tin:MFM2.PNG *Nguồn*: http://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=Tập_tin:MFM2.PNG *Giấy phép*: Public Domain *Người đóng góp*: Deshi

Giấy phép

Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/