

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი



ზუსტი და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის ფიზიკის
მიმართულება

ალექსანდრე ტატიშვილი

მაგნიტოხისტი მასალების თვისებების გაზომვა ვიბრაციული
მაგნიტომეტრით

ხელმძღვანელი: ემერიტუს პროფესორი ა. ახალკაცი
ელეფთერ ანდრონიკაშვილის სახელობის ფიზიკის ინსტიტუტის მთავარი
მეცნიერ თანამშრომელი გ. მამნიაშვილი

თბილისი

2014

სარჩევი

შესავალი -----	3
თავი I. მუდმივი მაგნიტის დასამზადებელი მასალების ძირითადი მაგნიტური მახასიათებლები-----	4
თავი II. გადამაგნიტება დამაგნიტების ბრუნვის გზით -----	6
თავი III. გადამაგნიტება შებრუნებული მაგნიტური ფაზის წარმოქმნისა და ჩანასახის ზრდის გზით -----	9
თავი IV. გადამაგნიტება დომენური კედლის წანაცვლების გზით -----	12
თავი V. მუდმივი მაგნიტისათვის საჭირო მასალების კლასიფიკაცია-	14
თავი VI. ვიბრაციული მაგნიტომეტრის მოქმედების პრინციპი -----	17
თავი VII. ექსპერიმენტული დანადგარის აღწერა -----	19
თავი VIII. ექსპერიმენტული შედეგები -----	20

შესავალი

თემის აქტუალობა. დღეისათვის საკმაოდ აქტუალურია სხვადასხვა ნივთიერებების მაგნიტური თვისებების შესწავლა, რადგან ასეთ ნივთიერებებს დიდი პრაქტიკული გამოყენება აქვს სამეცნიერო კვლევებში, ახალი ტიპის მასალების შექმნაში, ნანოტექნოლოგიაში, მედიცინაში და სხვა მრავალ დარგში. ამიტომ მნიშვნელოვანია შემუშავებულ იქნას მეთოდი და ამ მეთოდზე დამყარებული გაზომვითი სისტემა, რომელიც მარტივი იქნება ხმარებაში, ექნება მაღალი სიზუსტე და არ იქნება გარემო ფაქტორებზე დამოკიდებული. ვიზრაციული მაგნიტომეტრი საშუალებას იძლევა ნიმუშიდან გამოიყოს სასარგებლო სიგნალი და მოხსნას გარეშე ველებიდან პარაზიტული ეფექტები.

მიზნები და ამოცანები. აღნიშნული ნაშრომის მიზანია აღწეროს ვიზრაციული მაგნიტომეტრიის გაზომვის მეთოდი, ამ მეთოდის დამახასიათებელი თვისებები და სირთულები, სხვადასხვა მაგნიტოხისტი მასალების ძირითადი მახასიათებლების გაცნობა და ზოგიერთი მაგნიტოხისტი მასალის თვისებების ვიზრაციული მაგნიტომეტრით შესწავლა. ძირითადი გეგმა ასეთია:

- მუდმივი მაგნიტის დასამზადებელი მასალების ძირითადი მაგნიტური მახასიათებლების ჩამოთვლა
- მუდმივი მაგნიტისათვის საჭირო მასალების კლასიფიკაცია
- ვიზრაციული მაგნიტომეტრის მოქმედების პრინციპი
- ექსპერიმენტული დანადგარის აღწერა
- ექსპერიმენტული შედეგების წარმოდგენა

კვლევის საგანი და ობიექტი. კვლევის საგანს წარმოადგენს სხვადასხვა მაგნიტური ნივთიერებების თვისებების დადგენა, ხოლო კვლევის საგანი თავად ეს (მაგნიტოხისტი) მასალებია.

კვლევის სტრუქტურა. საბაკალავრო ნაშრომი წარმოდგენილია შესავლის და რვა თავის სახით.

თავი I. მუდმივი მაგნიტის დასამზადებელი მასალების ძირითადი მაგნიტური მახასიათებლების ჩამოთვლა

მაგნიტოხისტად ითვლება ის მასალები რომელთა კოერციტიული ძალა აღემატება 5×10^3 A/m (60 Э)-ს. ასეთი ნივთიერებები გარეშე მაგნიტური ველის არარსებობისას, ერთხელ დამაგნიტების შემდეგ ინარჩუნებენ შეძენილ მაგნიტურ თვისებებს.

მაგნიტური ჰისტერიზისი კი არის ნიმუშში მიმდინარე მაგნიტური მდგომარეობის ცვლილების ჩამორჩენა მის თერმოდინამიკურ წონასწორობის მდგომარეობიდან, როდესაც ხდება გარე, ნიმუშზე მოქმედი, ველის ცვლილება. ჰისტერიზისის არსებობა დაკავშირებულია რამოდენიმე მაგნიტური გადამტანების გამოვლენილ ხასიათთან დამაგნიტება/განმაგნიტების შუა პროცესში:

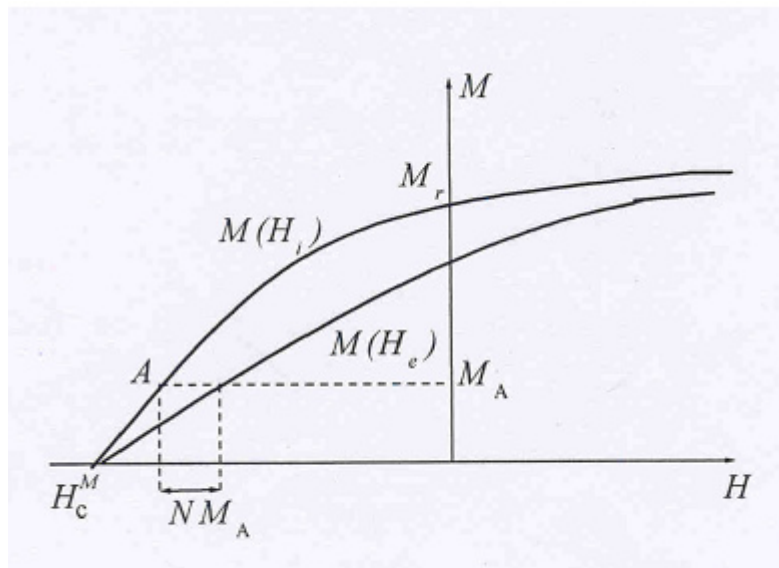
- დამაგნიტების ვექტორის ბრუნვის შეყოვნება
- დომენური კედლის წანაცვლების შეყოვნება
- გადამაგნიტებული ჩანასახის წარმოქმნისა და გაზრდის შეყოვნება
- დომენისა და დომენური კედლის ტოპოლოგიურ შეუქცევადი ცვლილება

მაგნიტოხისტი მასალები ძირითადად მუდმივი მაგნიტების დასამზადებლად გამოიყენება. ამიტომ მაგნიტოხისტ მასალებს მოეთხოვებათ შემდეგი თვისებები: მაღალი ნარჩენი ინდუქცია და დამაგნიტებული მდგომარეობის სტაბილურად შენარჩუნება გარეშე ფაქტორების მიუხედავად თუნდაც მათი მაგნიტურ ველში მოთავსებისას, ამ თვისების დასაკმაყოფილებლად მათ უნდა გააჩნდეთ მაღალი კოერციტიული ძალა და ჰისტერიზისის მარყიჟის მაღალი, სწორკუთხედული ფორმა. ამ მახასიათებლებზე სრული იმფორმაციის მიღება ჰისტერიზისის დაღმავალი შტოდან შეგვიძლია, რომელიც აღწერს მაგნეტიკის ქცევას ნაჯრობის ველიდან დაწყებული კოერციტიულ ძალამდე (ე.წ. კოერციტიული ძალის „საზურგე“).

ექსპერიმენტები, როგორც წესი, მიმდინარეობს სასრული ზომის ნიმუშებში, გათიშულ მაგნიტურ წრედებში. ამიტომ ნიმუშის დამაგნიტება განისაზღვრება ნიმუშის შიდა მაგნიტური ველით H_i , რომელიც არის H_c კოერციტიული ძალისა და H_m განმაგნიტებელი ველების ჯამი. ხოლო H_m დამოკიდებულია ნიმუშის ფორმაზე და ნიმუშის M დამაგნიტებაზე. იმისათვის, რომ გადავიდეთ მასალის მახასიათებელზე გარეშე $M(H_c)$ ველში და ნიმუშის ფორმის აბსტრაგირება მოვახდინოთ ექსპერიმენტულ მრუდს გადააწყობენ მინაგანი $M(H_i)$ ველის მრუდზე. ამისათვის გაზომვები ტარდება ცნობილი ფორმის ნიმუშზე განსაზღვრული N განმაგნიტებელი ფაქტორით. მაგ. სფერული ფორმის ნიმუშისათვის ველებს შორის თანაფარდობა ტოლია:

$$H_i = H_c - \frac{4\pi M}{3}$$

ნახ. 1-ზე სქემატურადაა ნაჩვენები მაგალითი საწყისი და გადაწყობილი ჰისტერიზისის მარყუჯის „საზურგისათვის“:



ნახ. 1. ჰისტერიზის მარყუჟის ნაწილის სქემატური გამოსახულება გარეშე $M(H_e)$ და შიდა $M(H_i)$ მაგნიტურ ველებში

მუდმივი მაგნიტით შექმნილი მაგნიტური ველის ძალური მოქმედება ხასიათდება B მაგნიტური ინდუქციის სიდიდით. ამიტომ მაგნიტობისტი მასალების ხარისხის შეფასებისათვის მოსახერხებელია გამოყენებულ იქნას არა დამაგნიტება, არამედ ინდუქცია. ამ მახასიათებლებს შორის არსებობს შემდეგი თანაფარდობები:

$$B = H + 4\pi M \quad (CGS \text{ სისტემა})$$

$$B = \mu_0 (H + M) \quad (SI \text{ სისტემა})$$

სადაც $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ ჰნ/მ ვაკუუმის მაგნიტური შეღწევადობაა.

თვისების შესაფასებლად მოცემული მაგნიტობისტი მასალის მაგნიტის პოტენციალური თვისების შესაფასებლად გამოიყენება სპეციფიური მახასიათებელი - ენერგეტიკული ნამრავლი (BXH). იგი მიიღება ჰისტერეზისული მარყუჟის საზურგის წერტილთა კოორდინატების გადამრავლებით და გააჩნია ენერგიის სიმკვრივის განზომილება და დამოკიდებულია ინდუქციაზე არამონოტონურად ნახ.5. ამ მახასიათებლის ფიზიკური აზრი მდგომარეობს შემდეგში. იგი მიიღება ჰისტერეზისული მარყუჟის საზურგის წერტილთა კოორდინატების გადამრავლებით და გააჩნია ენერგიის სიმკვრივის განზომილება და დამოკიდებულია ინდუქციაზე არამონოტონურად.

თავისთავად მუდმივი მაგნიტის მაგნიტური ნაკადი, ან მაგნიტური წრედი არ წარმოადგენს ჩაკეტილ წრედს. ეს იმას ნიშნავს, რომ მაგნიტზე მოქმედებს განმამაგნიტებელი ველი, რომელიც

დაკავშირებულია დამაგნიტებასთან განმამაგნიტებელი ფაქტორის საშუალებით (ეფექტური განმამაგნიტებელი ფაქტორი N_{eff} - მაგნიტის არაელიფსოიდალური ფორმის შემთხვევაში)

$$H_m = -N_{eff} M = -\frac{N_{eff}}{4\pi} \cdot B$$

ეს გამოსახულება ჩაწერილია CGS სისტემაში იმ მოსაზრებით, რომ გარეშე მაგნიტური ველი არ არსებობს.

ვიციტ რა მუდმივი მაგნიტის მასალისათვის განმამაგნიტებელი ფაქტორი გაზომილი ჰისტერეზისის მარყუჟის საზურგისათვის, შეიძლება შეფასებული იქნას ნიმუშის ნარჩენი დამაგნიტება და მის მიერ შექმნილი ველი. ამისათვის საწყისი კოორდინატებისათვის აიგება H_m -ისთვის დაწერილი ფორმულის შესაბამისი სწორი ხაზი. იგი გადაკვეთავს ჰისტერეზისის მარყუჟს A წერტილში, რომელსაც უწოდებენ მუდმივი მაგნიტის მუშა წერტილს ნახ.2. ამ წერტილის კოორდინატები B_A და H_A წარმოადგენენ მაგნიტის ნარჩენ B_1 ინდუქციას და განმამაგნიტებელ H_m ველს.

ამრიგად ენერგეტიკული ნამრავლი უჩვენებს (კოეფიციენტის სიზუსტით), ენერგიის სიმკვრივეს. დასაპროექტებელი მაგნიტის საკუთარ განმამაგნიტებელ ველში. ერთის მხრივ მაქსიმალური მნიშვნელობა განსაზღვრავს მოცემული მასალისაგან დამზადებული მაგნიტის ოპტიმალურ მუშა წერტილს, ხოლო მეორეს მხრივ ახასიათებს მოცემული მასალისაგან დამზადებული მაგნიტის თვისებების მდგრადობას გარეშე ველის ზემოქმედებისაგან. მაქსიმალური ენერგეტიკული ნამრავლით შეიძლება შეფასებული იქნას ვარგისიანობა და გამოყენების მიზანშეწონილობა ამა, თუ იმ მაგნიტური მასალისა კონკრეტული მაგნიტური სისტემისათვის.

თავი II. გადამაგნიტება დამაგნიტების ბრუნვის გზით

განვიხილოთ შეუზღუდავი მაგნიტურად ერთდერძიანი კრისტალი, გადამაგნიტებული მსუბუქი დამაგნიტების ღერძის (მდღ) გასწვრივ. ასეთი კრისტალის მაგნიტური ენერგია შედგება ანიზოტროპიის ენერგიისა და გარეშე H მაგნიტური ველის ენერგიების ჯამისაგან. ენერგიის სიმკვრივეს აქვს შემდეგი სახე

$$E = K \sin^2 \vartheta - M_s H \cos(\varphi - \vartheta) \quad (1)$$

სადაც K – არის კრისტალის მაგნიტური ანიზოტროპიის კონსტანტა; M_s – ნაჯერობის დამაგნიტება; ϑ – კუთხე მდღ და დამაგნიტებას შორის; $\varphi = 0, \pi$ – კუთხე მდღ და გარეშე მაგნიტურ ველს შორის იხ. ნახ. 3 ა). კრისტალის შეუზღუდულობის გამო ენერგიის მაგნიტოსტატიკური მდგენელი და ე.ი. დომენური სტრუქტურა არ არსებობს. გარდა ამისა (1)

ენერგიის ასეთი სახით ჩაწერა გულისხმობს, რომ გადამაგნიტება შეიძლება განხორციელდეს დამაგნიტების, მხოლოდ კოჰერენტული (ნიმუშის ყველა წერტილში ერთნაირად) ბრუნვის გზით.

გადამაგნიტების პროცესის თეორიული განხილვა დაიყვანება გარეშე მაგნიტურ ველში დამაგნიტების წონასწორული ორიენტაციის პოვნაზე ე.ი შემდეგი სისტემის ამოხსნაზე

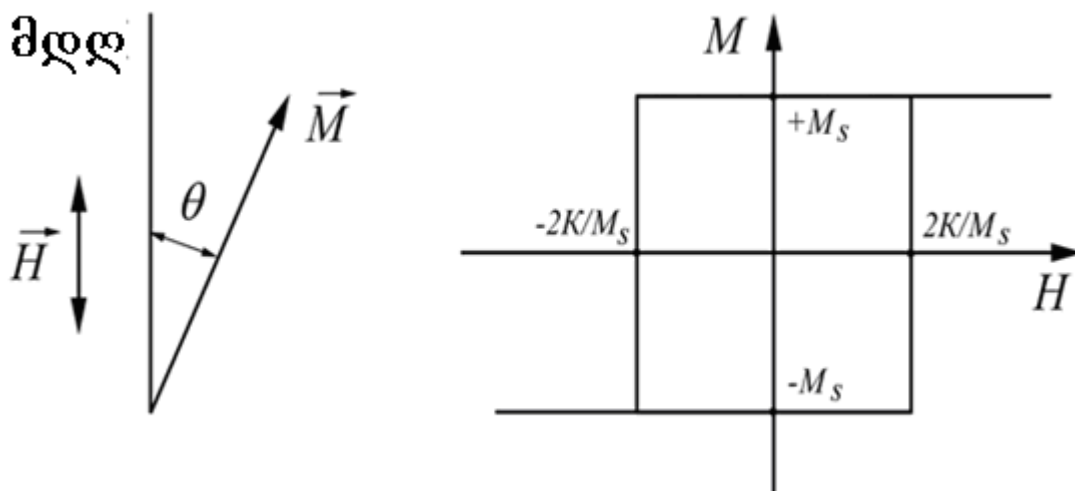
$$\frac{\partial E}{\partial \vartheta} = 0 \quad \frac{\partial^2 E}{\partial \vartheta^2} > 0 \quad (2)$$

პირველი განტოლება იძლევა ორ ფესვს $\vartheta = 0, \pi$. ჩავსვათ თანმიმდევრულად (2) უტოლობაში, საიდანაც ვღებულობთ:

$\vartheta = 0$ – მნიშვნელობას $H > -2K/M_s$ გარეშე ველის არეში შეესაბამება ენერგიის მინიმუმი, ხოლო

$\vartheta = \pi$ – მნიშვნელობას $H < 2K/M_s$ გარეშე ველის არეში შეესაბამება ენერგიის მინიმუმი

$H = \pm 2K/M_s$ – დროს მიმდინარეობს გადასვლა ერთი წონასწორული მდგომარეობიდან მეორეში. დამაგნიტება $M(H) = M_s \cos \vartheta$ მდგომარეობაში ღებულობს $\pm M_s$ მნიშვნელობას. შედეგად ამისა ჰისტერეზისის მარყუჟი ე.ი. დამოკიდებულებას $M(H)$ ველის ციკლიური ცვლილებისას ექნება სწორკუთხა სახე იხ. ნახ.1 ბ). გარეშე ველის იმ მნიშვნელობაზე, სადაც დამაგნიტება ნულის ტოლი გახდება უწოდებენ კოერციტიულ ძალას H_c . განხილულ შემთხვევაში $H_c = \pm 2K/M_s$, ე.ი. ემთხვევა გადართვის კრიტიკულ ველს ერთი მაგნიტური მდგომარეობიდან მეორეში.

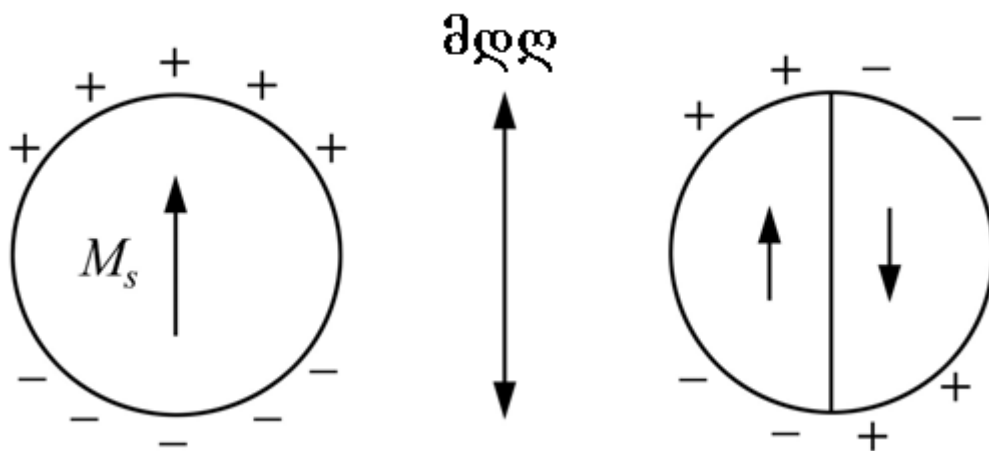


ნახ.3 ა) მდლ, დამაგნიტების, და გარეშე მაგნიტური ველის ურთიერთორიენტაცია

ბ) მაგნიტურად ერთღერძა მაგნეტიკის ჰისტერეზისული მარყუჟი

განხილული მარტივი მაგალითი თვალნათელს ხდის გადამაგნიტებისას დამაგნიტების კოჰერენტული ბრუნვის გზით მაგნიტური ჰისტერეზისის წარმოქმნას. ამ დროს დამაგნიტების ბრუნვის შეყოვნების ერთადერთ მიზეზს წარმოადგენს კრისტალოგრაფიული მაგნიტური ანიზოტროპია. გარეშე ველმა აუცილებლად უნდა “გადაისროლოს” დამაგნიტება მწელად დამაგნიტებული სიბრტყის გავლით, რის შედეგადაც კოერციტიული ძალა რიცხობრივად ტოლი იქნება ანიზოტროპიის ველისა (H_a).

რეალურ ნიმუშებს გააჩნიათ სასრულო ზომები, ამიტომ მაგნიტური ველის გარეშე მათი წონასწორული მდგომარეობა მრავალდომენიანია.



ნახ. 4. ერთდომენიან და ორდომენიან მდგომარეობაში სფერული მაგნიტური ნაწილაკი

თუმცა ნაჯერობამდე დამაგნიტებულ ასეთ ნიმუშებს შეუძლიათ შეინარჩუნონ თავიანთი დამაგნიტებები გარეშე მაგნიტური ველის არ არსებობის დროსაც. ამ შემთხვევაში მისი ენერგია მოიცავს მაგნიტოსტატიკურ მდგენელებს, ან და სხვა სიტყვებით ნიმუში იმყოფება გარეშე მაგნიტური ველისა და განმამაგნიტებელი (H_m) ველების ზემოქმედების ქვეშ, თანაც ანიზოტროპიის ველმა უნდა გადააჭარმოს განმამაგნიტებელ ველს. სფერული ფორმის ნიმუშებში და კოჰერენტული გადამაგნიტების პირობებში კოერციტიულ ძალა გამოისახება შემდეგი თანაფარდობით:

$$H_c = \pm(H_a - H_m) = \pm\left(\frac{2K}{M_s} - \frac{4\pi M_s}{3}\right) \quad (3)$$

ფირფიტა, რომელიც გადამაგნიტებულია ზედაპირის ნორმალის გასწვრივ და ემთხვევა მდლ, გააჩნია მაქსიმალური განმამაგნიტებელი ველი და შესაბამისი მცირე კოერციტიული ძალა.

$$H_c = \pm \left(\frac{2K}{M_s} - 4\pi M_s \right) \quad (4)$$

ძლიერ გაწეილი ცილინდრისათვის განმამაგნიტებელი ველი მცირეა, თუმცა ამ დროს გადამაგნიტების პროცესზე კრისტალოგრაფიულ ანიზოტროპიასთან ერთად გავლენას ახდენს ასევე ნიმუშის ფორმის ანიზოტროპიაც. თუ კრისტალოგრაფიული ანიზოტროპიის მდლ ემთხვევა ცილინდრის ღერძს და გადამაგნიტება მიმდინარეობს ამ ღერძის გასწვრივ, კოერციტიული ძალა ტოლი იქნება ანიზოტროპიის ჯამური ველისა.

$$H_c = \pm \left(\frac{2K}{M_s} + 2\pi M_s \right) \quad (5)$$

(3) - (5) გამოსახულებები გვიჩვენებს, რომ როგორც წესი მაგნიტური ნივთიერებები უნდა იყვეს მაღალ ანიზოტროპულები, ე.ი. ისეთი სადაც სრულდება პირობა $K > 2\pi M_s^2$. ამასთან ცდით გაზომილი კოერციტიული ძალის სიდიდე უმეტეს შემთხვევაში გაცილებით ნაკლებია H_c იმ მნიშვნელობაზე, რომელიც ნაწინასწარმეტყველია კოპერენტული ბრუნვის მოდელში. ეს კარგად ჩანს ცხრილ N1-ში სადაც ნაჩვენებია H_c თეორიული და ექსპერიმენტული მონაცემები ზოგიერთი მაგნიტოხისტი მასალებისათვის. ასეთმა შეუსაბამობამ მიიღო სახელწოდება “ბრაუნის კოერციტიული ძალის პარადოქსი.”

ზოგიერთი მაღალანიზოტროპული ნივთიერებების კოერციტიული ძალის თეორიული და ექსპერიმენტული მნიშვნელობები.

ცხრილი N1

ნივთიერება	BaFe ₁₂ O ₁₉	MnBi	CoPt	YCo ₅
(H _c) _{თეორ.} , kOe	13	32	110	104
(H _c) _{ექსპ.} , kOe	2.5	13	9	2.6

თავი III. გადამაგნიტება შებრუნებული მაგნიტური ფაზის წარმოქმნისა და ჩანასახის ზრდის გზით

მიღებულია, რომ ბრაუნის პარადოქსის განხორციელება შესაძლებელია რეალურ ნიმუშში დეფექტური სტრუქტურის გათვალისწინებით. ჩვენი განხილვის ჩარჩოში დეფექტებში იგულისხმება ისეთი განფენილი არე, რომლის მაგნიტური კონსტანტა განსხვავდება იმ საშუალო მნიშვნელობისაგან, რომელიც დამახასიათებელია მოცემული მაგნიტური მასალისათვის. კერძოდ მაგნიტოერთდებიან მასალებში ასეთ არეში კრისტალოგრაფიული ანიზოტროპიის კონსტანტა

შეიძლება იყოს გაცილებით მცირე, ან სულაც უარყოფითი სიდიდის, რაც გამოიწვევს კოერციტიული ძალის ლოკალურ შემცირებას. შედეგად კრისტალის გადამაგნიტება დაიწყება დეფექტებზე წარმოქმნილი შებრუნებული მაგნიტური ფაზის მქონე არის (გადანაგნიტების ჩანასახში) მცირე ველში.

თუ ეს ჩანასახი საკმარისად დიდია, მაშინ მათ შორის და ნიმუშის დანარჩენ ნაწილში ფორმირდება დომენური კედელი. დამაგნიტების შემდგომი ცვლილება მიმდინარეობს დომენური კედლების წანაცვლების გზით, ე.ი. ჩანასახის გაზრდით. ეს პროცესი როგორც წესი მიმდინარეობს გაცილებით ადვილად (მცირე ველებში), ვიდრე დამაგნიტების კოჰერენტული ბრუნვის დროს. თუმცა გადამაგნიტების საწყისი ჩანასახი შეიძლება არ წარმოადგენდეს მკვეთრად გამოსახულ მაგნიტურ ფაზას. მცირე ზომების შემთხვევაში ის შეიძლება წარმოადგენდეს რაიმე მაგნიტურ არაერთგვაროვნობას, ხოლო მაგნიტური ფაზა ტრანსფორმირდება გადამაგნიტების უფრო გვიან სტადიაში.

გადამაგნიტების მოცემულ მექანიზმთან დაკავშირებით, მიზანშეწონილია განხილული იქნას ნიმუშის ზომების გავლენა კოერციტიული ძალის სიდიდეზე. ცდა გვიჩვენებს, რომ გადამაგნიტებელი ობიექტის მიკრონის ზომამდე შემცირება იწვევს H_c გაზრდას. ამიტომ მრავალი სახის მუდმივ მაგნიტებს ამზადებენ წვრილდისპერსიული მაგნიტოხისტი ნივთიერებებისაგან. ამისათვის შეიძლება გამოყოფილი იქნას ნაჩვენები დამოკიდებულების ორი მიზეზი. პირველ რიგში კრისტალის ზომის შემცირებით შემცირდება მსხვილი დეფექტების არსებობის ალბათობა, რომელიც განაპირობებს გადამაგნიტების ველის ძლიერ დაცემას. ასეთი დეფექტების არსებობა ხდება ენერგეტიკულად არახელსაყრელი. მეორეს მხრივ საკმარისად მცირე კრისტალების შემთხვევაში ასევე არახელსაყრელი ხდება დომენური კედლების არსებობაც და სისტემა გადადის ე.წ. ერთდომენიან მდგომარეობაში.

ამ უკანასკნელის საილუსტრაციოდ შევადაროთ ერთმანეთს ერთდომენიანი სფერული ნაწილაკის ერთდომენიანი და ორდომენიანი მდგომარეობანი ნახ. 4, როდესაც გარეშე მაგნიტური ველი არ არსებობს. პირველ შემთხვევაში ენერგია სრულად აღიწერება მაგნიტოსტატიკური ურთიერთქმედებით.

$$E_1 = 2\pi M_s^2 \frac{V}{3} = 8\pi^2 M_s^2 \frac{R^3}{9} \quad (6)$$

V – არის ნიმუშის მოცულობა, R – ნაწილაკის რადიუსი. მეორე შემთხვევაში მაგნიტოსტატიკური ენერგიის დაახლოებით ორჯერ მცირეა, თუმცა ემატება S ფართობის მქონე დომენური კედლის ენერგია. γ – ენერგიის სიმკვრივის მქონე უსასრულოდ თხელი კედლისათვის

$$E_2 = \frac{E_1}{2} + \gamma \cdot S = \frac{4\pi^2 M_s^2 R^3}{9} + \gamma \pi R^2 \quad (7)$$

(6) და (7) გამოსახულებების შედარებით ჩანს, რომ (6)-ში გაცილებით ძლიერადაა გამოკვეთილი რადიუსზე ხარისხობრივი დამოკიდებულება, ვიდრე (7)-ში. ამიტომ ძალიან დიდი რადიუსების შემთხვევაში აუცილებლად შესრულდება თანაფარდობა $E_2 < E_1$, ე.ი. ენერგეტიკულად უფრო ხელსაყრელი იქნება ორდომენიანი (მრავალდომენიანი) მდგომარეობა. და შებრუნებულად R - ის შემცირება იწვევს $E_2 > E_1$ თანაფარდობის შესრულებას, ე.ი. ხელსაყრელი ხდება ერთდომენიანი მდგომარეობა. ამრიგად ერთდომენიანობის კრიტიკული რადიუსი R_0 - რომლის დროსაც ხდება ორ მდგომარეობებს შორის გადასვლა, შეიძლება შეფასებული იქნას $E_2 = E_1$ ტოლობიდან

$$R_0 = \frac{9\gamma}{4\pi M_s^2} \quad (8)$$

საორიენტაციოდ მაღალანიზოტროპული მაგნეტიკებისათვის $R_0 = 1$ მკმ. თუმცა ერთდომენიანობის მიღებული კრიტერიუმი სულაც არ ნიშნავს იმას, რომ $R < R_0$ მქონე ნიმუშში მოხდეს გადამაგნიტება დამაგნიტების მობრუნების კოჰერენტულობის გზით. გარეშე მაგნიტურ ველში ენერგეტიკული ბალანსი განსხვავებულია ზემოთ განხილულისაგან და ერთდომენიანობა დაირღვევა, როგორც შებრუნებული მაგნიტური ფაზის მქონე დომენების ლოკალური წარმონაქმნით, ისე ნიმუშის მთელ მოცულობაში დამაგნიტების არაერთგვაროვნად განაწილების ფორმირებით. ამ უკანასკნელზე ამბობენ, რომ გადამაგნიტება მიმდინარეობს დამაგნიტების არაკოჰერენტული (არაერთგვაროვანი) ბრუნვის გზით. გადამაგნიტების ეს მექანიზმი უფრო ალბათურია დაბალანიზოტროპული მაგნეტიკებისათვის, რომლებსაც გააჩნიათ საკმარისად მაღალი ნაჯერობის დამაგნიტება.

უფრო სრული თეორია რომელიც ითვალისწინებს გარეშე მაგნიტური ველის გავლენას, განსაზღვრას ერთდომენიანობის აბსოლუტურ რადიუს - R_a . ეს ზომა საორიენტაციოდ ერთი რიგით ნაკლებია ვიდრე R_0 და განსაზღვრავს ზედა ზღვარს, რომლის ქვევითაც ნიმუში (ნაწილაკი) გადამაგნიტდება დამაგნიტების კოჰერენტული ბრუნვით. ამრიგად შეიძლება მოველოდოთ, რომ საკმარისად მცირე ნაწილაკებში აუცილებლად რეალიზირდება ანიზოტროპიული ველის ტოლი მაქსიმალური კოერციტიული ძალა. თუმცა უნდა აღინიშნოს $H_c(R)$ არამონოტონური დამოკიდებულება. განსაზღვრულ ინტერვალში R შემცირებით მართლაც დაიმაზირება H_c ზრდა და იმ შემთხვევაში, როცა ვერ მიაღწევს თეორიულ ზღვარს კოერციტიული ძალა შემცირდება, ამისათვის კი არსებობს ორი მიზეზი.

პირველ რიგში წვრილდისპერსიული ფხვნილს როგორც წესი ღებულობენ მასიური ზოდის ხანგრძლივი მექანიკური მსხვრევით (დაფქვა). შედეგად ნაწილაკები ღებულობენ მაღალი ხარისხით პლასტიკურ დეფორმაციას. კრისტალური მესერი შეიძლება დამახინჯდეს იმდენად, რომ ნივთიერების მდგომარეობა უახლოვდება ამორფულს. ეს კი განაპირობებს ნივთიერების მაგნიტური მახასიათებლების ცვლილებას, მასთან მაგნიტური ანიზოტროპიის შემცირებას და შესაბამისად კოერციტიული ძალის დაცემას.

მეორეს მხრივ ძალიან მცირე ნაწილაკებში შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ე.წ. სუპერპარამაგნიტურ მოვლენას. იგი მდგომარეობს იმაში, რომ ატომის სითბური მოძრაობა განაპირობებს ნაწილაკის მაგნიტური მომენტის არამდგრადობას. თანაც ამ დროს ატომების მაგნიტური მომენტები რჩებიან ურთიერთპარალელურნი, ხოლო ჯამური მაგნიტური მომენტის მიმართულება განიცდის ფლუქტუაციას. სხვა სიტყვებით დამაგნიტების სითბური ფლუქტუაციების ენერგია ხდება ანიზოტროპიის ენერგიის თანაზომადი, რაც იწვევს H_c – შემცირებას. შეფასებისათვის შეიძლება ითქვას, რომ სუპერპარამაგნიტიზმის R_{sp} კრიტიკული რადიუსი ერთი რიგით ნაკლებია, ვიდრე ერთდომენიანობის აბსოლუტური ზომა – R_a .

თავი IV. გადამაგნიტება დომენური კედლის წანაცვლების გზით

მრავალდომენიანი ნიმუშის დამაგნიტება მოიცავს ისეთ სტადიას, რომელიც დაკავშირებულია დომენის მოცულობის ზრდასთან. ამ დროს დამაგნიტება ველთან ადგენს უმცირეს კუთხეს, დამაგნიტების სხვა ორიენტაციის მქონე დომენების ხარჯზე. ეს მიმდინარეობს დომენების გამყოფი საზღვრების ცვლილები გზით. ამიტომ დამაგნიტების, ან გადამაგნიტების მოცემული პროცესის შემადგენელ ნაწილს ხშირად უძახიან დომენური კედლების წანაცვლების პროცესს.

დომენური კედლები (დკ) თავის მხრივ წარმოადგენს დამაგნიტების არაერთგვაროვნად განაწილებულ არეებს, რომლებიც გარეშე მაგნიტურ ველში ნიმუშში დამაგნიტების გადანაწილების დროს შეუძლიათ იმოქმედონ შემხვედრ სტაციონალურ მაგნიტურ არაერთგვაროვნებებთან (დეფექტებთან) და შეჩერდნენ მასზე. არსებობს ასეთი ურთიერთქმედების რამოდენიმე სახე.

დამაბულობის მექანიზმი - განისაზღვრება კრისტალური მესრის დეფექტების გარშემო არსებული არაერთგვაროვანი დრეკადი დამაბულობებისა და დომენური კედლის გარშემო არსებული მაგნიტოსტრიქციული დამაბულობების არეებს შორის ურთიერთქმედებით.

ჩართვის მექანიზმი - განისაზღვრებიან დომენური კედლის ფართობით და მაგნიტოსტატიკური ენერგიით, როცა ხდება დომენური კედლის სიგანის გავლა მაკროსკოპული არეების ჩართვით (უფრო განიერი ვიდრე დკ სიგანე) და განსხვავდება თავისი თვისებებით ძირითადი ნიმუშისაგან (მაგალითად არამაგნიტური ჩართვა).

დომენური კედლის არაერთგვაროვანი პოტენციალური რელიეფის მექანიზმი - განისაზღვრება მიკროსკოპიულ დეფექტებზე (დკ სიგანეზე ნაკლები) დომენური კედლის ენერგიის სიმკვრივის ცვლილებით რასაც იწვევს ანიზოტროპიული კონსტანტის, მაგნიტოსტრიქციისა და გაცვლითი ურთიერთქმედების ვარიაციები. ზემოაღნიშნულ მასალებში, სადაც არსებობს რამოდენიმე ატომთაშორისო დაშორების მქონე დომენურ კედლები

(ვიწრო დომენური კედლები), დეფექტად შეიძლება ჩაითვალოს სრულყოფილი კრისტალური მესრის კვანძებიც კი.

რეალურად დკ-ის დეფექტებთან ურთიერთქმედების ჩამოთვლილი მექანიზმები ზედ ედებიან და წარმოადგენენ დომენური კედლების წანაცვლების შეყოვნების ერთობლივ მიზეზს. დომენური კედლის დეფექტებზე გადასანაცვლებად საჭიროა დამატებითი გარეშე მაგნიტური ველის არსებობა, რომელიც შეიძლება ჩაითვალოს, რომ იგი არის ლოკალური კოერციტიული ძალა H_{CW} . ამ ძალის შეფასება ყველაზე უკეთესია შესრულდეს, თუ გამოვიყენებთ არაერთგვაროვანი პოტენციალური რელიეფის დაშვებას, ე.ი. ნიმუშში დომენური კედლის ენერგიის სიმკვრივის დამოკიდებულებას მის მდებარეობაზე $\gamma(x)$.

ნახ.5-ზე სქემატიურად ნაჩვენებია მაგნიტურად ერთდერძიან ნიმუშში, ორი დომენის გამყოფი დომენური კედელი. მდლ მიმართ რაიმე ϑ კუთხით მოდებული H –ის ზემოქმედებით ფართობის მქონე დომენური კედელი წანაცვლებს რაიმე ΔX მანძილზე. შედეგად გარეშე მაგნიტურ ველში $S\Delta x$ მოცულობა გადამაგნიტდება და შემცირდება ნიმუშის ენერგია. დომენური კედელი მოხვდება რა ნიმუშის ახალ ადგილას გაზრდის თავის ენერგიას პოტენციალურ რელიეფთან $\gamma(x)$ შესაბამისად. ორ დომენიანი ნიმუშის ენერგიის ჯამურ ცვლილება იქნება

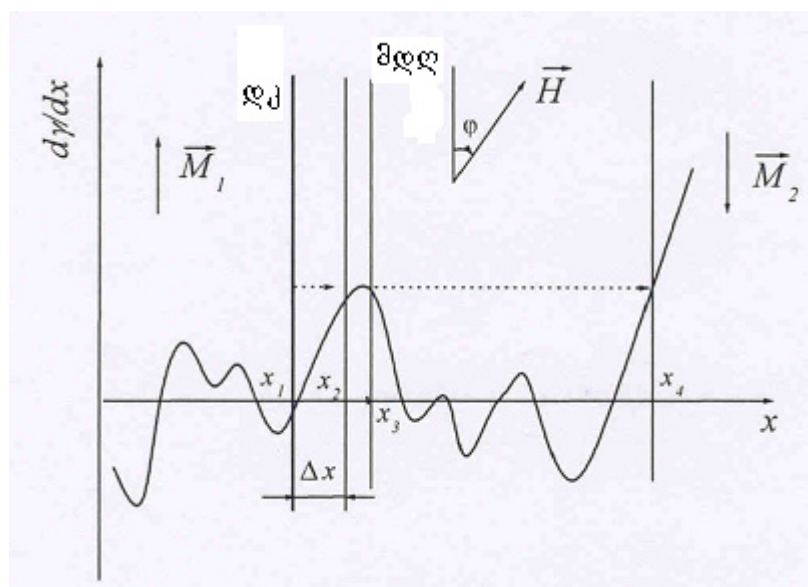
$$\Delta E = -\left[(\vec{M}_1 \cdot \vec{H}) + (\vec{M}_2 \cdot \vec{H})\right] \cdot S\Delta x + \Delta\gamma(x) \cdot S \quad (9)$$

თუ ენერგია მაგნიტურ ველში მთლიანად გადადის დომენური კედლის ენერგიაში ე.ი. $\Delta E = 0$, მაშინ დომენური კედლის წანაცვლება შექცევადია და სრულდება პირობა

$$-2HM_4 \cos \vartheta + \frac{\Delta\gamma}{\Delta x} = 0 \quad \text{როცა } \Delta x \rightarrow 0 \quad \text{და} \quad \frac{\Delta\gamma}{\Delta x} \rightarrow \frac{d\gamma}{dx} \quad (10)$$

ასე იქნება მანამდე, სანამ $\frac{d\gamma}{dx}$ არ მიაღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას. შემდეგში

პრაქტიკულად ველის ცვლილების გარეშეც მოხდება დომენური კედლის ნახტომისებური გადანაცვლება ახალ მდგომარეობაში, რომლის ენერგიაც ტოლია სასაზღვრო ენერგიის გრადიენტის მნიშვნელობისა. იგი იქნება შეუქცევადი, რამდენადაც გარეშე ველში ნიმუშის ენერგიის შემცირება მიმდინარეობს არა მარტო $\gamma(x)$ გაზრდით, არამედ გამოყოფილი სითბოს გამოც.



ნახ.5 არაერთგვაროვანი პოტენციალური რელიეფის მქონე ნიმუშში დომენური კედლის წანაცვლება.

დომენური კედლის ნახტომისებური გადანაცვლება ხდება ლოკალური H_{cw} კოერციტიული ძალის ტოლი ველის გავლენით. (10) ფორმულიდან გამომდინარე მისი მნიშვნელობა ტოლია

$$H_{cw} = \frac{1}{2M_s \cos \vartheta} \left(\frac{d\gamma}{dx} \right)_{\max} \quad (11)$$

რეალური ნიმუშში შეიცავს დიდ რაოდენობა დეფექტებს, რომელიც დომენური კედლისაგან განსხვავებულია ტიპითა და ორიენტაციით. ამიტომ მთელი ნიმუშის კოერციტიული ძალა H_c , რომელიც დომენური კედლების წანაცვლებითაა განპირობებული, შეიძლება შეფასებული იქნას, როგორც H_{cw} ლოკალური სიდიდის საშუალო კვადრატული მნიშვნელობით

$$H_c = \sqrt{(\overline{H_c})^2} \quad (12)$$

თავი V. მუდმივი მაგნიტისათვის საჭირო მასალების კლასიფიკაცია

მთავარი პრინციპი, რომელიც საფუძვლად უდევს კლასიფიკაციას, მუდმივი მაგნიტისათვის საჭირო მასალის მიღებაში მდგომარეობს. შესაბამისად ამისა შეიძლება მივუთითოთ შემდეგი ჯგუფები.

1. მაგნიტოხისტი მასალის სხმული $Fe-Ni-Al$ და $Fe-Ni-Al-Co$ შენადნობის საფუძველზე ლეგირებული სპილენძით, ტიტანით და სხვა ელემენტებით. ეს შენადნობები

ხასიათდებიან კარგი მაგნიტური თვისებებით, მაგრამ გააჩნიათ დაბალი პლასტიკურობა და მაღალი სიმტკიცე. ასეთი მასალისაგან მუდმივ მაგნიტებს ამზადებენ ჩამოსხმის წესით მისი შემდგომი თერმოდამუშავებით. მასალის თერმოდამუშავებით მიმდინარეობს დისპერსიული დაყოფა ორ ფაზად. ერთი ფაზა ახლოსაა სუფთა რკინასთან და გააჩნია მაღალი დამაგნიტება, მის გამონაყოფს აქვს ფირფიტის სახე და ჩანაცვლებულნი არიან სუსტადმაგნიტურ მეორე ფაზაში. მცირე სისქის გამო (ერთდომენიანი ზომის ფარგლებში) ფიროვანი ჩართვის გადამაგნიტება მიმდინარეობს დამაგნიტების ბრუნვის გზით, ხოლო ჰისტერეზისი კი განპირობებულია ფირის ანიზოტროპიული ფორმით.

2. ფხვნილოვანი მაგნიტოხისტი მასალები, მიიღება ფხვნილის დაპრესვით და მისი შემდგომი თერმოდამუშავებით. ამ ჯგუფის მასალები, წარმოების თავისებურებისა და მაღალკოერციტიული მდგომარეობაზე დამოკიდებულების მიხედვით იყოფიან მეტალოკერამიკულ, მეტალოპლასტიკურ, ოქსიდურ და მიკროფხვნილოვან მასალებად,

მეტალოკერამიკული მაგნიტები მიიღება მეტალური ფხვნილებისაგან მათი მაღალტემპერატურული შეცხობით. აქაც ამ მაგნიტებს საფუძვლად უდევს Fe-Ni-Al-Co შენადნობები, სადაც მაგნიტური ჰისტერეზისის წარმოქმნის მიზეზი ისეთივეა, როგორც ადრე იყო, კერძოდ დამაგნიტების ბრუნვის შეყოვნება ძლიერმაგნიტური ფაზის მქონე წვრილდისპერსიულ ანიზოტროპიულ ჩართვაში. მაგნიტური თვისებების დონის მიხედვით საუკეთესო მეტალოკერამიკული მაგნიტები უახლოვდებიან სხმულოვან მაგნიტებს, მაგრამ ისინი საკმარისად ძვირია. ფხვნილოვანი ტექნოლოგიის უპირატესობა გამოიხატება მიღებული მასალების მაღალ სიმტკიცეში და რთული კონფიგურაციის მქონე ნაკეთობის მიღებაში. მარკა შედგება შემოკლებული “მეტალოკერამიკული მაგნიტის” სიტყვისაგან და დამუშავების რიგითი ნომრისაგან.

მეტალოპლასტიკური მაგნიტები, ისე როგორც მეტალოკერამიკული მაგნიტები მზადდება Fe-Ni-Al-Co შენადნობის ფხვნილებისაგან, მაგრამ პრესავენ დიელექტრიკული შემაკავშირებლებით, მაგალითად ფენოლური ფისით მათი შემდგომი დაბალ ტემპერატურული თერმოდამუშავებით. ასეთი მაგნიტების მაგნიტური თვისებები აქაც მცირეა არაფერომაგნიტური კომპონენტების ჭარბი შემადგენლობის გამო: H_c კოერციტიული ძალა 10%, ნარჩენი B_r ინდუქცია 35-50%, $(BH)_{max}$ ნამრავლი 40-60% პროცენტით მცირეა. მაგრამ ასეთი მეტალოპლასტიკური მაგნიტები რამდენადმე იაფია, გააჩნიათ მაღალი ელექტროწინააღმდეგობა და უკეთესი მექანიკური თვისებები.

ოქსიდური მაგნიტები მიიღება ბარიუმ ფერიტის, კობალტის და სტრონციუმის ფხვნილების მეტალოკერამიკული ტექნოლოგიით. ეს მაგნიტები იაფია, გააჩნიათ მაღალი კოერციტიული ძალა, მაგრამ მცირე ნარჩენი ინდუქცია. უარყოფით მხარეს ასევე მიეკუთვნება ცუდი მექანიკური თვისებები და დაბალი თერმოსტაბილობა. მაღალკოერციტიული მდგომარეობა განპირობებულია ჩანასახის წარმოქმნის სიძნელეში ან მაღალი კრისტალოგრაფიული ანიზოტროპიის მქონე ფერიტის მცირე ნაწილაკებში დამაგნიტების ბრუნვაში. მთელი რიგი ტექნოლოგიური პროცესების შედეგად ნაწილაკები აღმოჩნდებიან ერთმანეთისაგან

იზოლირებულები და და გადამაგნიტდებიან გარკვეულ წილად ინდივიდუალურად.

მიკროფხვნილოვანი მაგნიტები Fe და Fe-Co. ასეთი მაგნიტებისათვის საწყის ფხვნილები მიიღება ქიმიური გზით და გააჩნიათ ნაწილაკების ძალიან მცირე ზომები (0,01-0,1 მკმ). შედარებისათვის შეიძლება მივუთითოთ, რომ დანაყვით მიღებული ფხვნილებს, რომლებიც გამოყენებულია ზემოთ განხილული მაგნიტებისათვის გააჩნიათ უფრო დიდი ზომის მარცვლები ($>1,0$ მკმ). შეიძლება ვიგულისხმოთ, რომ მიკროფხვნილებში მაგნიტური ჰისტერეზისი მნიშვნელოვანწილად დაკავშირებულია ანიზოტროპიული ფორმის ერთდომენიანი ნაწილაკის დამაგნიტების კოჰერენტულ და არაკოჰერენტულ დამაგნიტებასთან.

3. სპეციალური მაგნიტოხისტი მასალები. ამჟამად არსებობს დიდი რაოდენობა სხვადასხვა სახის მაგნიტური მასალები, რომლებმაც სხვადასხვა მიზეზთა გამო გამოყენება ვერ ჰპოვეს, მაგრამ გააჩნიათ მაღალი დონის ზოგიერთი მახასიათებლები.

მარტენსიტული ფოლადი (Fe-C-Cr). მას გააჩნია განსაკუთრებული ტიპის მიკროსტრუქტურა, რომელიც ფორმირების დროს განიცდის კრისტალოგრაფიული მესრის ძლიერ დრეკად დეფორმაციას. ეს და სპეციალურად შექმნილი მაღალდისპერსიული კარბიდის სტრუქტურა, იწვევს დომენური კედლების წანაცვლების შეყოვნებას და განაპირობებს კოერციტიული ძალის ზრდას. ამასთან ერთად მარტენსიტული ფოლადის მაგნიტებს გააჩნიათ მაღალი მაგნიტური თვისებები, იაფია და გაადვილებულია მათი მექანიკური დამუშავება.

პლასტიკურად დეფორმირებული შენადნობები კუნიკო (Cu-Ni-Co), კუნიფე (Cu-Ni-Fe), ვიკალი (V-Co-Fe) მექანიკურად ადვილი დასამუშავებელია, მაგრამ გააჩნიათ შედარებით მცირე H_c და $(BH)_{max}$. ამ მასალებისაგან შეიძლება დამზადდეს მაგნიტური ლენტები, ფირები, მავთულები და სხვა რთული კონფიგურაციის ნაწარმი, მაგრამ ძვირია.

ძვირფასი მეტალებისაგან დამზადებული შენადნობები Fe-Pt და Co-Pt გააჩნიათ მეტად მაღალი მაგნიტური თვისებები, მხოლოდ ძალიან ძვირია.

ელასტიურ მაგნიტებს ამზადებენ რეზინში შერეული მაგნიტოხისტი მასალების ფხვნილებისაგან. ისინი შეიძლება იყვნენ სხვადასხვა ფორმისა და დიდი დეფორმაციის მქონე, რომლებსაც გააჩნიათ დიდი ელ.წინააღმდეგობა. ამასთან მაგნიტური თვისებები დიდი არ არის მათში არამაგნიტური კომპონენტის არსებობის გამო.

უნიკალური მაღალი თვისებებით გამოირჩევა მუდმივი მაგნიტები, რომლებიც წარმოადგენენ იშვიათმიწათა და $3d$ გარდამავალი ელემენტების ინტერმეტალურ შენადნობებს. ყველა ისინი დამზადებულია მეტალოკერამიკული ტექნოლოგიით მიღებული ფხვნილებისაგან, მაგრამ შეუძლიათ ჰქონდეთ სხვადასხვა მაღალკოერციტიული მდგომარეობის ბუნება.

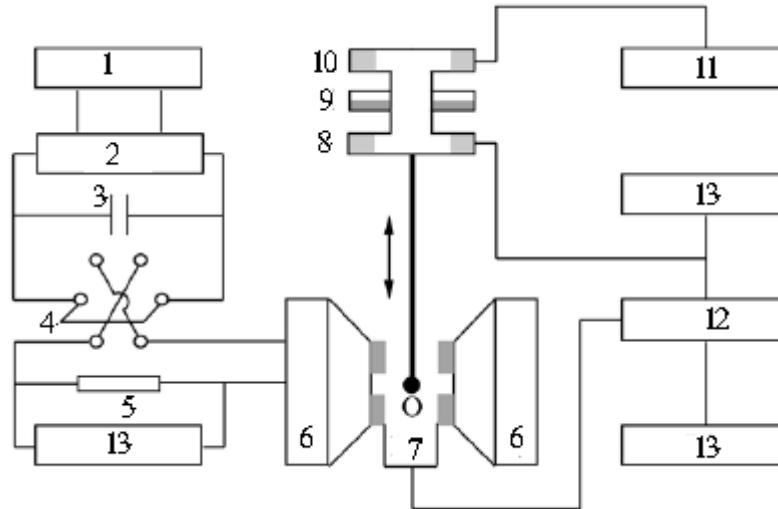
ასე მაგალითად $SmCo_5$ - ტიპის მაგნიტებში კოერციტიული ძალა განისაზღვრება შეყოვნებით წარმოქმნილი კრისტალით და ცალკეული გადამაგნიტებული ნაწილაკების ჩანასახის ზრდით. დომენური კედლების წანაცვლების სიძნელე დაკავშირებულია Sm_2Co_{17} ტიპის

მაგნიტების H_c კოერციტიულ ძალასთან. აქ კედლის შეყოვნება დაკავშირებულია მიკროსტრუქტურის არაერთგვაროვნობასთან, რომელიც ქმნის Sm_2Co_{17} –ის ძლიერ მაგნიტურ ფაზას, რასაც თან სდევს მცირე მაგნიტური ფაზის ბადისმაგვარის გამოყოფა. ეს უკანასკნელი ფორმირდება სპილენძისა და ცირკონიუმის მონაწილეობით, რომლებსაც სპეციალურად უმატებენ საყრდენ შენადნობებს. გარდა ამისა დამაგნიტების გასაზრდელად კობალტის ნაწილს ცვლიან რკინით და შესაბამისად ასეთი მასალა შეიცავს ხუთ ელემენტს (Sm-Co-Fe-Cu-Cr).

ჩამოთვლილი მაგნიტების უარყოფითი მხარეა მათი სიძვირე და სიმყიფე. ამ ჯგუფში შექმნილი შენადნობების $NdFe_{14}B$ მაგნიტები მაგნიტური ჰისტერეზისის ბუნების მიხედვით ძალიან ახლოს არიან შმჩო5 მაგნიტებთან, მაგრამ ხასიათდებიან უფრო მაღალი მაგნიტური მახასიათებლებით. უფრო იაფია და გააჩნია უკეთესი მექანიკური თვისებები. ყველა ჩამოთვლილი იშვიათმიწათა ელემენტებს გააჩნიათ ძალიან დიდი კრისტალოგრაფიული ანიზოტროპია, რომლებსაც საბოლოო ჯამში საფუძვლად უდევს მაღალკოერციტიული მდგომარეობა.

თავი VI. ვიბრაციული მაგნიტომეტრის მოქმედების პრინციპი

ვიბრაციული მაგნიტომეტრის მოქმედების პრინციპი ემყარება მაგნიტური თვისებების ინდუქციური მეთოდით გაზომვების საშუალებებს. ნიმუში, რომელიც დამაგრებულია ღეროზე მოდის რხევით მოძრაობაში ოთხ გამზომ კოჭათა სისტემაში (ნახ. 3).



ნახ.3 ვიბრაციული მაგნიტომეტრის ელექტრული ბლოკ-სქემა:

1. ავტოტრანსფორმატორი LATR; 2. გამმართველი BCA; 3. ელექტროლიტური კონდენსატორების ბლოკი C; 4. პოლარობის გადამრთველი Π ; 5. ეტალონური წინაღობა R; 6. ელექტრომაგნიტი;
7. გამზომი კოჭა ИК; 8. ამპლიტუდის გასაზომი კოჭა AK; 9. მუდმივი მაგნიტი ПМ; 10. აღმზნები კოჭა BK; 11. გენერატორი Г; 12. სინქროდეტექტორი; 13. ვოლტმეტრები B1, B2, B3;

ამავე დროს რხევის ღერძი პარალელურია კოჭათა სიბრტყისა. ნიმუშის მაგნიტური მომენტი, რომელიც ინდუცირებულია გარეშე მაგნიტური ველით, ორიენტირებულია კოჭების

სიბრტყეების მართობულად. კოჭები განლაგებულია ელ. მაგნიტის პოლუსებზე, რომლებიც წარმოადგენენ მაგნიტური ველის წყაროს. თვითეულ პოლუსებზე წყვილად კოჭები შეერთებულნი არიან “შემხვედრად”, ხოლო თვითეული წყვილი ერთმანეთთან “მართობულად”. ნიმუშის ზევით გადაადგილებისას ზედა კოჭებში იზრდება მაგნიტური ნაკადი, ხოლო ქვედა კოჭებში მცირდება. მათში ინდუცირებულ ემმ გააჩნიათ სხვადასხვა ნიშნები, მაგრამ რამდენადაც კოჭები შეერთებულია „შემხვედრად“ (მიმდევრობით) ხდება მათი ზედდება. ანალოგიურად განვითარდება სიტუაცია, როცა ნიმუში მოძრაობს საწინააღმდეგოდ ქვევით. ამავე დროს ელ.მაგნიტის ერთგვაროვანი ველის ცვლილება იწვევს კოჭაში ურთიერთკომპენსირებულ სიგნალებს. კოჭების შეერთების ასეთი სისტემა საშუალებას იძლევა გამოიყოს ნიმუშიდან სასარგებლო სიგნალი და მოიხსნას გარეშე ველებიდან პარაზიტული სიგნალები.

კოჭებში ემმ-ს განსაზღვრა ნიმუშის მიერ ნაკადის ჩაჭერით დამოკიდებულია არა მარტო ნიმუშის მაგნიტურ მომენტზე, არამედ ასევე ნიმუშის ზომაზე და ფორმაზე. ამიტომ მაგნიტური მომენტის (დამაგნიტების) აბსოლუტური სიდიდის პირდაპირი გაზომვისათვის, როგორ წესი გამოიყენება შედარების წესი ეტალონურ ნიმუშებთან, რომლის ზომები და ფორმა ახლოა საკვლევ ნიმუშებთან და ცნობილია მისი მაგნიტური მახასიათებლები.

გარდა ამისა ნაკადის ჩაჭერა შეიძლება შემცირდეს ელ.მაგნიტის მიერ შექმნილ ძლიერ მაგნიტურ ველში. ამ მოვლენას უწოდებენ მაგნიტურ გამომახილებს, რომლის მიზეზიც შემდეგში მდგომარეობს: ელ.მაგნიტის პოლუსებს მცირე ველებში გააჩნიათ მაღალი მაგნიტური შეღწევადობა და ამიტომ ნიმუშის მხრიდან გამზომი კოჭას მოცულობაში ხდება მაგნიტური ნაკადის კონცენტრაციის ზრდა; პოლუსების მაგნიტურად გაჯერებისას მათი განვლადობა მცირდება და ნიმუშის მაგნიტური ნაკადის ძალური ხაზები ნაწილობრივ გამოდის გამზომი კოჭის კონტურიდან. ამის შედეგად ნიმუშიდან გამოსული სიგნალი მცირდება. ეს ეფექტი გათვალისწინებულია შესაბამისი შესწორებების შემოყვანით, რომელიც მიღება ეტალონური ნიმუშის ველზე დამოკიდებულების გაზომვისას.

ინდუქციური მეთოდით გაზომვების ჩატარება შესაძლებელია, მხოლოდ ნიმუშის მაგნიტური მომენტების შედარებით. იმისათვის, რომ გადავიდეთ კუთრ მახასიათებლებზე (M - დამაგნიტება ან σ - კუთრი დამაგნიტება), საჭიროა ნიმუშის მოცულობის, ან მასის ცოდნა. დამაგნიტება ეს არის ერთეულოვანი მოცულობის მქონე მაგნიტური მომენტი, განზომილებით $[გს \cdot სმ^3/გ]$, ან $[ა \cdot მ^2/კგ]$. ეს მახასიათებლები დაკავშირებულნი არიან ერთმანეთთან ნივთიერების სიმკვრივით

$$M = \rho \sigma$$

რადგან ცდით უფრო მარტივია ნიმუშის მასის განსაზღვრა, ამიტომ შედარებითი გაზომვებისათვის უფრო ხშირად იყენებენ კუთრ დამაგნიტებას, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_{et} \cdot m_{et}}{U_{et}} \cdot \frac{U_x}{m_x}$$

სადაც $\sigma_{et}, m_{wt}, U_{et}$ ეტალონური ნიმუშის კუთრი დამაგნიტება, მასა და ემპ-ა, ხოლო σ_x, m_x, U_x გამოსაკვლევი ნიმუშის შესაბამისი მახასიათებლებია.

თავი VII. ექსპერიმენტული დანადგარის აღწერა

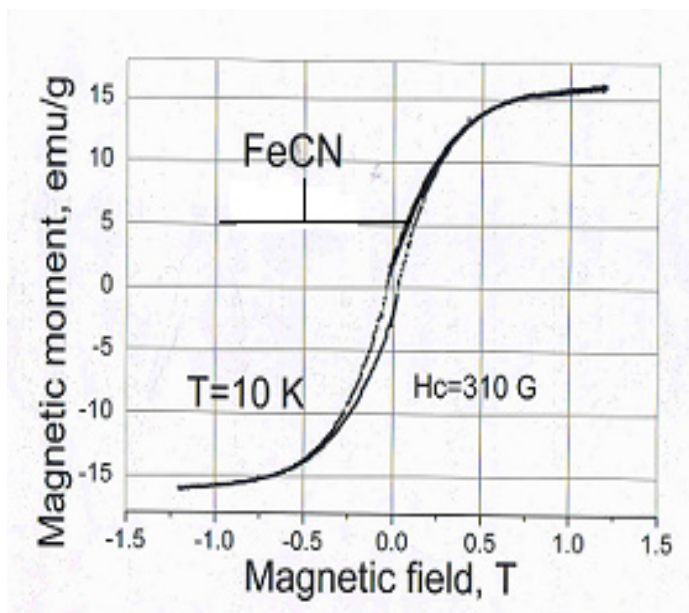
ვიბრაციული მაგნიტომეტრი (ნახ.3) შედგება სამი ძირითადი ნაწილისაგან. მაგნიტური ველის წყარო: წარმოადგენს ელ.მაგნიტს, რომელიც იკვებება ორტაქტიანი BCA გამართველით ელექტროქსელში შეერთებული ავტოტრანსფორმატორის (LATR) საშუალებით. იგი განაპირობებს დენის სიდიდის მდორე რეგულირებას. C - ტევადობა ამცირებს დენის პულსაციას, ხოლო Π - გადამრთველი ცვლის მის მიმართულებას. დენის სიდიდე იზომება R = 0,1 ომი ეტალონურ წინაღობაზე ძაბვის ვარდნით B1 - ვოლტმეტრის საშუალებით. საბოლოო ჯამში ველის დამაბულობა განისაზღვრება ცნობილი დენის მიხედვით დაგრაღულირებული გრაფიკის საშუალებით.

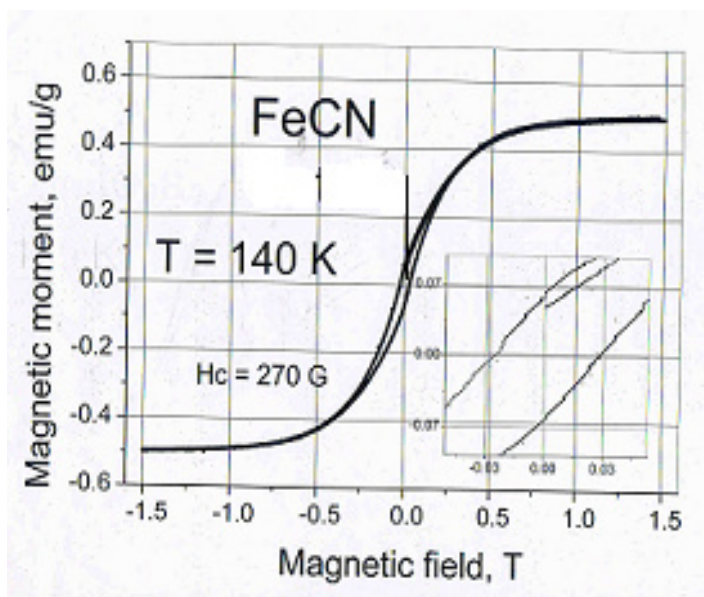


ვიბრატორის ბლოკი შედგება ელ. მექანიკური ამძრავისაგან, ცვლადი დენის Γ - გენერატორისაგან და B2 - ვოლტმეტრისაგან. ვიბრატორის რხევები წარმოიქმნება BK - აღმგზნები კონტურის ცვლადი მაგნიტური ველისა და ΠМ მუდმივი მაგნიტის მაგნიტური ველის ზემოქმედებით. BK კოჭა იკვებება Γ - გენერატორიდან, რომელიც განსაზღვრავს რხევის სიხშირეს და ამპლიტუდას. BK -სგან რხევები გადაეცემა O ღეროზე დამაგრებულ ნიმუშს, AK კოჭას რხევის ამპლიტუდის გასაზომად. მუდმივი მაგნიტის არაერთგვაროვან ველში AK კოჭა განიცდის ვიბრაციას, რის შედეგადაც მასში წარმოიქმნება ემპ. ემპ-ს სიდიდე იზომება B2 ვოლტმეტრით, რომელიც რხევის ამპლიტუდის პროპორციულია.

სასარგებლო სიგნალის გასაზომი ბლოკი შედგება IK გამზომი კოჭებისაგან, CD ერთ ბლოკში გაერთიანებული სელექციური გენერატორისა და სინქრონული დეტექტორისაგან, $B3$ ვოლტმეტრისაგან. გამზომ კოჭებში აღძრული ემმ გამოიყოფა სელექციური გამამდიერებლით, რომელიც სასარგებლო სიგნალის სიხშირეზეა აწყობილი (ნიმუშის რხევის სიხშირე). სინქროდეტექტორი გარდაქმნის ცვლად სიგნალს მუდმივად, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია ცვლადი სიგნალის ამპლიტუდაზე და ამ სიგნალებსა და რამდენადმე საყრდენ სიგნალებს შორის ფაზათა სხვაობაზე. ამ შემთხვევაში საყრდენი ძაბვა მიეწოდება AK კოჭიდან CD -ზე. ნიმუშის გადამაგნიტებისას ემმ-ის ფაზა IK -ში იცვლება მექანიკური რხევის ფაზასთან შედარებით (AK - საყრდენი სიგნალის ფაზასთან შედარებით) 1800 -ით. ეს იწვევს CD შესავალზე მუდმივი სიგნალის ნიშნის ცვლილებას. სინქროდეტექტორის არსებობა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია დიდი სწორკუთხა ჰისტერეზისული მარყუჟის გასაზომად, რამდენადაც ცვლადი დენის ვოლტმეტრით დამაგნიტების მკვეთრი გადართვა პრაქტიკულად არ აისახება ცვლად ემმ-ში და არ ფიქსირდება. მოცემული დანადგარით სასარგებლო სიგნალი საბოლოოდ იზომება $B3$ მუდმივი დენის ვოლტმეტრით.

თავი VIII. ექსპერიმენტული შედეგები





სურათზე წარმოდგენილია ჰისტერიზისის მატყუი გაზომილი ერთი და იგივე ნივთიერებისთვის (FeCN რკინის ციანიდი) $T=10\text{K}$ და $T=140\text{K}$ ტემპერატურებზე.

დასკვნა

ჩვენს ცდებში მაგნიტომეტრის დახმარებით, რომლითაც გავიგე შესაბამისი ნივთიერების მაგნიტური მახასიათებლები. ეს მეთოდი იმითაა მარტივი, რომ იგი არ მოითხოვს რთულ თეორიულ გათვლებსა და შესწორებებს. მისი ჩატარება ფრიად მარტივი და იაფია. იგი არ მოითხოვს უმაღლესი დონის კომპიუტერულ გამოთვლებს და ამიტომ იგი საკმაოდ ხელსაყრელი გამოთვლის მეთოდია. თავად დანადგარი საკმაოდ ზუსტ შედეგებს იძლევა ტემპერატურის დიდი დიაპაზონისათვის. ამ მეთოდის გამოყენება არ არის დაკავშირებული დიდ ენერგეტიკულ დანახარჯებთან რაც მის გამოყენებას ასევე აიაფებს.

გამოყენებული ლიტერატურა

Journal of Magnetism and Magnetic Materials 324 (2012) 2669-2675

http://www.elsevier.com/s/search.html?profile=_default&form=sitesearch&collection=elsevier-meta&query=mamniashvili

Magnetic and hyperthermia properties of magnetic fluid preparation “UNIMAG”

http://www.researchgate.net/publication/261445936_Magnetic_and_hyperthermia_properties_of_magnetic_fluid_preparation_UNIMAG_B.Surguladze_G.I.Mamniashvili*_A.Akhalkatsi*_G.Pichkhaia

TECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF CARBON NANOPARTICLES DOPED WITH

E.R Kutelia¹, L.G. Rukhadze², D.I. Gventsadze³,

Georgian Technical University

A.M. Akhalkatsi⁴, T.A. Gavasheli⁵, D.M. Daraselia⁶, D.L. Djaparidze⁷, A.D. Shengelaya⁸

I.Javakhishvili Tbilisi State University

G.I. Mamniashvili⁹, T.O. Gegechkori¹⁰

I.Javakhishvili Tbilisi State University, Andronikashvili Institute of Physics,