

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ДЖЕЖЕРЯ Юрій Іванович

УДК 538.221

СТАТИЧНІ І ДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ п 1 2п
МАГНІТНИХ ДОМЕННИХ МЕЖ В ФЕРОМАГНЕТИ-
КАХ З СИЛЬНОЮ АНІЗОТРОПІЄЮ

Спеціальність 01.04.02 -
теоретична фізика

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття вченого ступеню
кандидата фізико-математичних наук

Донецьк - 1994



Робота виконана в Донецькому державному
університеті.

Наукові керівники: доктор фізико-математичних
наук Ю. І. Горобець
кандидат фізико-математичних
наук В. І. Фінохін

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних
наук С. І. Денисов
доктор фізико-математичних
наук О. Л. Сукстантський

Провідна організація - СКТБ Дон ФТІ Академії
наук України

Захист відбудеться "22" 06 1994 р. о 14⁰⁰
годині на засіданні спеціалізованої ради К 068.06.01
по присудженню вчених ступенів Донецького державного
університету.
Адреса 340055, м. Донецьк, вул. Університетська, 24

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці
Донецького державного університету.

Автореферат розісланий "17" 05 1994 р.
Вчений секретар спеціалізованої ради
кандидат фізико-математичних наук О. Б. Зюбанов

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ДБ-30.268

Загальна характеристика роботи

Добре відомо, що найбільш суттєві властивості феромагнітних матеріалів пов'язані з існуванням в них доменної структури, яка впливає на різноманітні процеси, які мають місце в усіх феромагнітних системах.

Вивчення окремих елементів цієї структури, в свою чергу, сприяло розвитку теорії нелінійних явищ в фізиці та математичної теорії нелінійних рівнянь.

З практичної точки зору зацікавленість у дослідженні властивостей доменних структур полягає у тому, що вони використовуються в багатьох галузях сучасної мікромагнітної електроніки: під час створення мікромагнітних приладів, в магнітооптиці, і головне, вони залишаються перспективною основою для створення накопичувальних приладів пам'яті електронно-обчислювальних машин. Якісний розвиток концепції побудови блоку пам'яті і спроби переходу до використання ЦМД-технології потребує розвитку рівню теоретичних досліджень процесів функціонування накопичувальних приладів. Особливо зараз, коли мова іде про використання в якості каналу накопичення внутрішньої структури доменних меж (ДМ).

Під час проектування приладів гостро стоїть питання про існування, стійкість, динамічні властивості окремих доменних структур і меж, що використовуються в якості їх структурних елементів. Зараз відома велика кількість теоретичних і експериментальних робіт в яких розглянуті ці питання. З підсумком головних результатів у цьому напрямку можна ознайомитись наприклад у [1-3].

Ціль досліджень, розглянутих в дисертаційній роботі полягає у комплексному вивченні властивостей таких нелінійних утворень, як π і 2π доменні межі під впливом зовнішніх магнітних полів, руху у полі локалізованих дефектів магнітної структури феромагнетика та інше.

Наукова новизна. В дисертаційній роботі були отримані наступні нові результати:

I. В межах моделі двошкісного феромагнітного матеріалу

встановлені і розглянуті спектральні характеристики спінових збурень широбоківської структури 2π ДМ, як у вінтеровському наближенні, так і при повному розгляді впливу магнітостатичної взаємодії, що дозволило визначити:

а) присутність двох спектральних віт розділених між собою енергетичною щільною, яка пропорційна власній частоті коливань зв'язаного стану двох блоківських ДМ, що з'являється під час розщеплення трансляційних віт під впливом зовнішнього поля зміщення;

б) точну залежність величини цієї щільності від зовнішніх та внутрішніх параметрів феромагнітної речовини;

в) уточнене значення критичного поля зміщення, при досягненні якого внутрішня структура стає нестійкою до згибних збурень, та періодичний характер їх розвитку;

г) вплив планарних компонентів зовнішнього поля на структуру і стійкість 2π ДМ, та засіб ефективного впливу на межі стійкості означеної структури.

2. Тензор динамічної магнітної сприйнятливості феромагнетика з 2π ДМ в області частот значно нижчих ніж частота однорідного феромагнітного резонансу та можливість виникнення резонансних явищ, які супроводжуються значним підвищенням амплітуди пульсуючих коливань намагніченості 2π ДМ.

3. Залежність максимальної швидкості руху 180° уокеровської доменної межі при точному врахуванні магнітостатичної взаємодії, та силу гальмування ДМ на всьому інтервалі швидкостей.

4. Характеристика витрат енергії уокеровської ДМ, що ружається у полі випадково розподілених дефектів і вплив на них товщини зразку.

До захисту пропущуються наступні результати

1. Довгохвильове наближення до спектру збудженого стану широбоківської структури 2π ДМ у двоховісному феромагнетикі з сильною легковісною компонентою.

2. Визначення періодичного характеру перетворення мікромагнітної структури під впливом зовнішніх магнітних полів, та тензор динамічної сприйнятливості системи з 2π ДМ.

3. Діаграму стійкості 2π ДМ у зовнішньому магнітному полі, паралельному площині межі.

4. Уточнення до уокеровської швидкості 180° ДМ у двошвісному феромагнетика, що має магнітостатичне походження.

5. Силу гальмування ДМ в термостаті теплових магнінів та потужність випромінювання спінових хвиль 180° доменною межею, що рухається у полі локалізованих, випадково-розподілених дефектів магнітної структури.

Наукова та практична цінність дисертаційної роботи полягає в тому, що результати досліджень вносять додаток у математичну основу теорії фізики доменних меж і можуть сприяти розробці та створенню окремих вузлів запам'ятовуючих приладів де в якості функціональних елементів використані досліджені структури.

Апробація роботи. Матеріали відповідних розділів дисертаційної роботи докладались у Ташкенті на XIX Всесоюзній конференції з фізики магнітних явищ у 1991 році.

Публікації. Основні матеріали дисертаційної роботи надруковані у п'яти роботах.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох глав, заключення, трьох додатків, малюнків та списку літератури. Загальний об'єм роботи складається зі 110 сторінок включно з десятима малюнками. Список літератури містить поряд 107 назв.

Зміст роботи.

У вступі розкрита актуальність вибраної теми, сформульована ціль роботи, вказані нові найбільш суттєві результати запропоновані до розгляду, подані основні положення дисертації, розкриті структура і зміст роботи за розділами.

В першому розділі вказано на загальні особливості досліджень доменних меж різних типів, які розглянуті у роботі. Розподілення намагнічення були визначені кутами сферичної системи координат, пов'язаними з компонентами вектора намагнічення співвідношеннями:

$$\vec{h} = \vec{M}/M_0 = \hat{\chi} \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \sin \varphi \\ \sin \theta \cos \varphi \end{pmatrix} . \quad (1)$$

$$\text{де } \hat{\chi} = \begin{pmatrix} \cos \chi & \sin \chi & 0 \\ -\sin \chi & \cos \chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} ,$$

\vec{M} - вектор намагнічення, M_0 - намагнічення насичення, χ - кут розвороту намагнічення у площині YOZ, θ і φ - полярний та азимутальний кути у сферичній системі координат з полярною віссю в площині YOZ, повернутою відносно осі OX на χ .

В окремому випадку для моделі двошвісного феромагнетика густина енергії має вигляд:

$$w = \left\{ \frac{\alpha}{2} \left(\frac{\partial M}{\partial \vec{x}} \right)^2 - \frac{\beta}{2} M_z^2 + \frac{\rho}{2} M_x^2 + \frac{H_m^2}{8\pi} - \vec{M}H \right\} , \quad (2)$$

де α , β , ρ - постійні обмінної взаємодії, легковісної і ромбічної анізотропії відповідно, \vec{H}_m - власне магнітостатичне поле зразку, \vec{H} - зовнішнє магнітне поле.

Розглянуті динамічні і статичні властивості широбоківської структури 2π ДМ, яка у термінах θ , φ , χ має вигляд:

$$\chi=0, \quad \theta = \frac{\pi}{2}, \quad \varphi_0 = \pi - 2 \arctg \left\{ \left[\frac{c h_z}{1 + c h_z} \right]^{\frac{1}{2}} \operatorname{sh} \left[\left(1 + c h_z \right)^{\frac{1}{2}} \frac{x}{l} \right] \right\} , \quad (3)$$

де $l = \sqrt{\alpha/\beta}$ - характерна магнітна довжина, $c = (\rho + 4\pi)/\beta \ll 1$,

$\vec{h} = \vec{H}/\rho M_0$ - приведене магнітне поле.

Ця структура утворюється у двошвісних феромагнітних системах при наймі поля зміщення. Для неї в межах теорії збурень [9,10] отримані і проаналізовані спектральні

характеристики і спінхвильових збурень.

У першому підрозділі сформульована модель двошлісного феромагнетика, яка вивчалася у роботі, та був визначений засіб опису стану намагніченості.

У другому підрозділі розглянута структура намагнічення 2π ДМ у відсутності планарних компонентів зовнішнього магнітного поля H_x, H_y (3). При цьому звернена увага на тісний зв'язок математичного опису π ДМ блохівського типу і структури 2π ДМ, запропоновані різні засоби визначення товщини 2π ДМ і означені умови їх застосування.

В результаті лінійзації рівнянь Ландау-Ліфшиця (Л.-Л.) біля широківського рішення (3) отримана система інтегродиференціальних рівнянь для малих динамічних збурень, що може бути розв'язана методами теорії збурень у довгохвильовому наближенні.

Точність проведених розрахунків дозволила отримати довгохвильове наближення, що включає члени пропорційні ϵ^2 , до дисперсійних співвідношень згибних та пульсуючих коливань рівноважної структури 2π ДМ, які мають наступний вигляд:

$$\frac{\omega_1}{\omega_0} = -\left(\frac{\epsilon}{\rho^*}\right) 2\pi^2 x_z + x \left[E_{z1} + \epsilon^2 \left[x^2 - \frac{2\pi^2}{\rho^*} x - \left(\frac{4\pi}{\rho^*}\right)^2 (1-2h_x) \frac{x^2}{x_z} \right] \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (4.1)$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_0} = -\left(\frac{\epsilon}{\rho^*}\right) 2\pi^2 x_z + \left[\frac{E_{12}}{\epsilon} + \epsilon \left[(1+\epsilon h_x) x^2 + \frac{8\pi}{\rho^*} \frac{x^2}{x} \right] \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (4.2)$$

де $\omega_0 = 2\rho^* \mu_B M_0 / \hbar$, μ_B - магнетон Бора, $E_{z1} = \epsilon \left[1 - 2h_x \left(1 + \epsilon h_x \frac{\delta}{2} \right) \right]$,

$E_{12} = \epsilon 2h_x \left(1 + \epsilon h_x - \epsilon h_x \frac{\delta}{2} \right)$, $\delta = \ln(4/\epsilon h_x)$ - товщина 2π ДМ, $\epsilon \frac{1}{2} = \hbar l$,

\hbar - хвильовий вектор у площині YOZ.

Дисперсійне співвідношення для ω_1 не має щілини, що цілком відповідає трансляційній інваріантності системи і визначає спектральні властивості згибних коливань 2π ДМ.

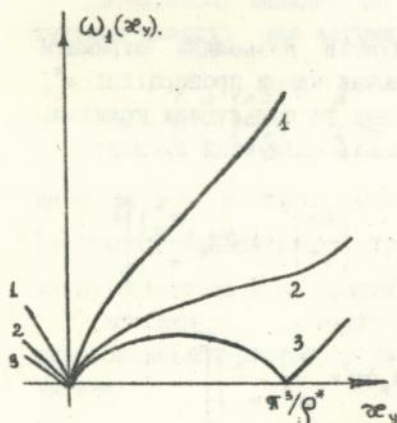
Співвідношення для ω_2 має щілину, яка утворюється при

зникненні виродження трансляційних рівней двох 180° блохівських ДМ під впливом зовнішнього поля зміщення і дорівнює

$$\Omega = \omega_0 \left[2h_z \left(1 + \epsilon h_z - \epsilon h_z \frac{\delta}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

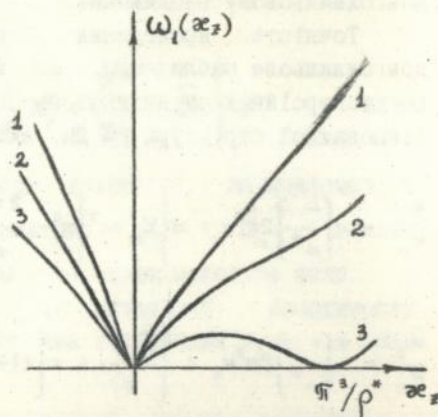
Засоби розрахунку фур'є - образів коефіцієнтів магнітостатичного походження, що пояснені у додатку 2 не дають можливості прослідкувати граничний перехід $h_z \rightarrow 0$.

Особливості дисперсійних співвідношень зображені на малюнках I-4.



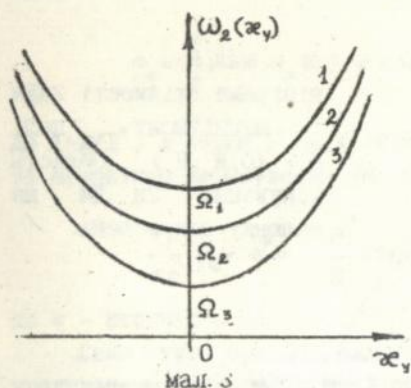
мал. I

спектральні віти згибних коливань 2π ДМ в напрямі ОУ при різних рівнях поля зміщення. Віти 3 відповідають $H_z = H_c^*$. Віти розташовані у порядку зростання зовнішнього поля.



мал. 2

спектральні віти згибних коливань 2π ДМ в напрямі ОZ при різних рівнях поля зміщення. Віти 3 відпо-відають $H_z = H_c < H_c^*$.



мал. 3

спектральні віти пульсуючих коливань 2π ДМ в напрямі ОУ при різних рівнях поля H_x .

Віти розташовані у порядку зменшення зовнішнього поля.

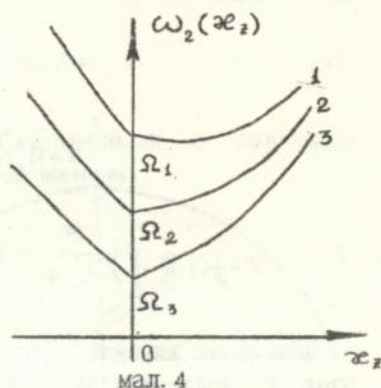
Звернемо увагу на те, що дисперсійні властивості спінохвильових збурень суттєво анізотропні у довгохвильовій частині спектру.

Ці ефекти мають магнітостатичне походження. Вони приводять до того, що спектр згібних коливань стає комплексним для хвиль з хвильовим вектором $|\kappa_x| = \kappa^2 / \beta_1$ при досягненні полем зміщення рівня:

$$\bar{H}_c^v = H_c^v - \frac{1}{\beta} M_0 \kappa^4 (\kappa^2 + 4) \quad (6)$$

де

$$H_c^v = \frac{\rho^*}{2} M_0 \left(1 - \frac{1}{4} \epsilon \ln \frac{8}{\epsilon} \right)$$



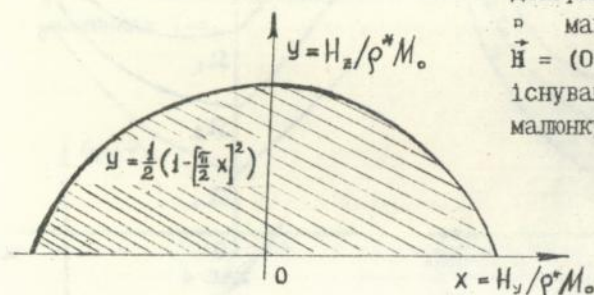
мал. 4

спектральні віти пульсуючих коливань 2π ДМ в напрямі ОZ при різних рівнях поля H_x .

У другому розділі вивчається вплив зовнішнього планарного магнітного поля на структуру 2π ДМ. При наймі обмежень, зроблених у роботі:

$$|H_x/\rho^*M_0|, |H_y/\rho^*M_0| \ll 1 \quad (7)$$

були отримані фазова діаграма стійкості 2π ДМ у полі паралельному площині 2π ДМ мал. 5.



мал. 5
діаграма стійкості 2π ДМ
в магнітному полі
 $\vec{H} = (0, H_y, H_z)$. Область
існування 2π ДМ на
малюнку закреслена.

і поправки до розподілу намагнічення під впливом зовнішнього поля, на підставі яких було отримано значення тензору динамічної сприйнятливості феромагнетика з 2π ДМ, компоненти якого мають вигляд

$$\chi_{xx} = -1\alpha_0 \nabla^{-1} \omega_0 (\Omega^2 - \omega^2) \pi^2 1S, \quad (8)$$

$$\chi_{zz} = -4\omega_0^2 \nabla^{-1} \left\{ \omega + 1\alpha_0 \omega_0 \left[-\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) + 1 - 2\epsilon h_{oz} - \left(\frac{\pi h_{oy}}{2}\right)^2 \right] \right\} 1S,$$

$$\chi_{zx} = -\chi_{xz} = \alpha_0 \omega_0^2 \omega \nabla^{-1} \pi^2 h_{oy} 1S,$$

$$\nabla = \omega (\omega^2 - \Omega^2) - 1\alpha_0 \omega_0 \left[-\omega^2 + \omega_0^2 h_{oz} (1 - 2h_{oz} - (\pi h_{oy}/2)^2) \right],$$

де S - площа поверхні 2π ДМ.

Інші компоненти тензору магнітної сприйнятливості на підставі зроблених наближень, в зв'язку з їх малістю, не

потрапили до розгляду.

Аналіз поведінки тензору $\chi_{ij}(\omega)$ вказує на можливість резонансних явищ при наближенні частоти зовнішнього поля до власної частоти коливань зв'язаного стану блохівських ДМ.

Третій розділ, присвячений вивченню впливу магнітостатичної взаємодії на динамічні властивості уокеровської доменної межі внутрішньої структура якої визначається функціями:

$$\theta_0 = \frac{\pi}{2}, \quad \varphi_0(\xi) = 2\text{arctg} \exp(\xi - \xi_0) \quad (9)$$

де $\xi = \mathbf{x}/l^*$, $l^* = (\alpha/\rho^*)^{1/2}$, $\rho^* = \rho + \rho^* \cos^2 \chi$, значення χ пов'язане зі швидкістю пересування ДМ співвідношенням:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \xi_0 = v^* = - \frac{\rho^*}{2} \sin \chi \cos \chi = \frac{v}{\omega_0 l^*} \quad (10)$$

де v - швидкість ДМ.

Саме тут був отриманий спектр згібних коливань з урахуванням магнітостатики для 2π ДМ, яка рухається. З його аналізу встановлені обмеження на максимальну швидкість руху ДМ

$$\frac{v_w - v_{max}}{v} = \left(\frac{\epsilon}{\rho^*} \right)^2 \left(\frac{\pi^2}{8} \right)^2 \quad (11)$$

Таким чином, повне урахування магнітостатичної взаємодії викликає зменшення максимальної швидкості, що якісно підтверджують численні експериментальні пошуки [6, 7]. Очевидно, що цей ефект повинен поглиблюватися в тому разі, коли $\epsilon \rightarrow 1$, тобто з підвищенням ролі магнітостатичної взаємодії.

У другому підрозділі був розглянутий процес гальмування ДМ при наяві взаємодії її потенціалу з об'ємними спінквільовими коливаннями. При цьому значення сили гальмування дорівнюється

$$F(V) = A(T) \left[V - \frac{38}{107} V^3 - \frac{45}{107} V(1-V^2)^{1/2} \right] \quad (I2)$$

де $A(T) = \left(\frac{c}{\rho^*} \right)^3 \frac{kT}{(2\pi l)^3} \frac{107}{144} \frac{5! \xi(5)}{\pi^2}$, $\xi(5) = 1.04 \dots$

k - постійна Больцмана, T - температура зразку у кельвінах.

Випадок коли $V \rightarrow 0$ був розглянутий вже раніше [8]. При цьому наближенні результат (I2) відповідає висновками цієї роботи.

Числові оцінки характеристики гальмування, яка у випадку $V \ll 1$ пов'язана з α_0 співвідношенням

$$\alpha_0 \sim \frac{A(T)}{\rho^* M_0^2} \quad (I3)$$

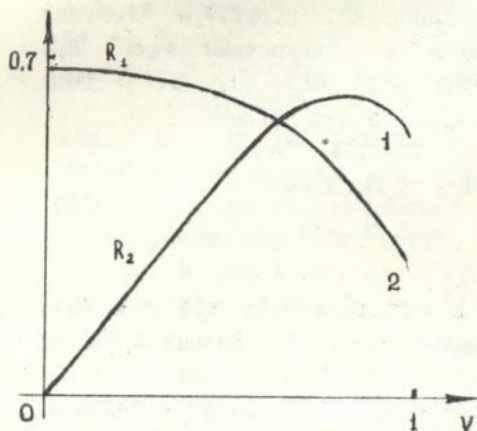
для матеріалів з $\rho^* = 4\pi$, $M_0 = 10$ Гс, $c^* = 10^{-4}$, $l = 10^{-7}$ м, $T = 300$ К має порядок

$$\alpha_0 \sim 10^{-7} + 10^{-8} \quad (I4)$$

що, взагалі, значно нижче ніж значення дисипативних характеристик справжніх кристалів. Очевидно, що вклади магнітостатичного поля не мають великого значення, а основний вплив належить іншим механізмам між яких гальмування на структурних дефектах.

Вивченню цього процесу присвячений четвертий розділ дисертаційної роботи. У її першому підрозділі розглянуте гальмування π ДМ, яка рухається у слабодисипативному малозабрудненому середовищі.

З рівнянь Л.-Л., що визначають динаміку намагнічення були виключені дисипативні характеристики речовини, а витрати склалися з енергії спінхвильових збурень, що виникають під час одиничного акту взаємодії дефекту та ДМ. При цьому були отримані залежності потужності випромінювання енергії π ДМ від швидкості її руху, які зображені на (мал. 6).



мал. 6

графік функціональної залежності потужності витрат кінетичної енергії ДМ у полі дефектів.

R_1, R_2 величини пропорційні витратам у тонкій плівці і необмеженому феромагнетизму відповідно.

Перша крива на мал. 6 свідчить про те, що під час руху κ ДМ у необмеженому середовищі витрати енергії зростають на початку по лінійному закону, а потім при наближенні до уокеровської швидкості починають зменшуватися. Цей ефект викликаний зменшенням енергії збурень при великих швидкостях, що приводить до неможливості стаціонарного руху під впливом зовнішньої сили зі швидкістю вищою за критичну

$$v_c \sim 0,9... \quad (15)$$

З методичної точки зору цікавим є результат, що визначає витрати енергії ДМ яка рухається у тонкій плівці. В цьому випадку потужність випромінювання зменшується з підвищенням швидкості. Тому, взагалі, в межах моделі, використаної в цьому підрозділі ніякого стаціонарного руху ДМ під впливом зовнішніх сил виникнути не може.

Таким чином, отриманий результат свідчить про обмеженість моделі у розгляді релаксаційних процесів в тонких

плівках.

Для покращення засобів визначення характеристик гальмування у другому підрозділі до рівнянь, описуючих динаміку намагніченості були введені релаксаційні члени у формі Гільберта і розглянуте середовище з пуасонівським розподілом крапкових дефектів магнітної структури. Розгляд процесів гальмування був обмежений швидкостями $V \ll 1$. При цьому вираз потужності витрат під час руху ДМ у полі дефектів у головному наближенні по V має вигляд:

$$E_{\Sigma}^{-1} \frac{\partial E}{\partial \tau} = -\gamma^2 n l^2 v \begin{cases} a_1 \lambda(v) / L_z, & L_z / \lambda(v) \ll 1 \\ a_2, & L_z / \lambda \gg 1 \end{cases} \quad (16)$$

де $\lambda(v) = (\beta l)^{1/2} / (2\alpha_G v)^{1/2} \gg 1$, n - густина дефектів, $a_1 = 0,1$, $a_2 = 0,05$, γ - константа, яка характеризує усереднений показник взаємодії з дефектами, E_{Σ} - енергія блоківської межі.

Особливість отриманих результатів полягає у визначенні якісної залежності релаксаційних властивостей матеріалу від товщини, що відбивається у зміні функціональної залежності витрат від швидкості ДМ для окремих систем.

З підвищенням товщини плівки пов'язане зменшення релаксації в системі. Це не входить у протиріччя з численними експериментальними дослідженнями.

Звертаємо увагу на те, що для тонкої плівки витрати на дефектах зменшуються при зростанні α_G , що пов'язано зі зменшенням амплітуди деформації ДМ у дисипативному середовищі.

У додатках до дисертаційної роботи показані найбільш суттєві і складні розрахунки.

У заключенні сформульовані результати і висновки дисертації.

Головні результати і висновки дисертаційної роботи:

I. Встановлений аналітичні вирази спектральних віт-ульсуючих і згібних коливань 2π ДМ, з аналізу яких були виявлені: анізотропний в площині ДМ характер його спінквільових збурень, уточнене критичне значення поля

змінення при досягненні якого рівноважна структура стає нестійкою; періодичний характер перетворень 2π ДМ при критичному значенні поля змінення.

2. Визначення впливу планарних компонентів магнітного поля, в площині YOX, які суттєво знижують межі стійкості 2π ДМ. На підставі відповідних висновків була побудована діаграма стійкості ДМ в зовнішньому полі.

3. В результаті досліджень впливу 2π ДМ на частотні властивості ферромагнітних матеріалів отримані відповідні поправки до значення тензору магнітної сприйнятливості і встановлена можливість резонансних явищ в області частот значно нижчих ніж частота ФМР.

4. В межах теорії збурень для уокеровської π ДМ розглянутий процес її динамічного гальмування під час взаємодії з тепловими магнонами і полем випадково розподілених дефектів ферромагнітного середовища. При цьому були виявлені зміни релаксаційних властивостей системи, яка містить уокеровську ДМ від товщини зразка та зниження значення максимальної швидкості ДМ нижче уокеровської межі при врахуванні магнітостатичної взаємодії.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ОПУБЛІКОВАНІ У СЛІДУЮЧИХ РОБОТАХ:

Горобець Ю.И., Финохин В.И., Джебєра Ю.И. Торможение доменной стенки в ферромагнетике с дефектами // УФЖ.- 1991.- т. 36, N 8.- с. 1215-1220.

Горобець Ю.И., Джебєра Ю.И., Финохин В.И. Движение 180-градусной доменной стенки в поле случайно распределенных дефектов // ФТТ.- 1993.- т. 35, N 2.- с. 335-342.

Горобець Ю.И., Джебєра Ю.И., Финохин В.И. Влияние магнитостатического поля на динамические свойства доменных стенок // УФЖ.- 1993.- т. 38, N2.- с. 287-293.

Горобець Ю.И., Финохин В.И., Джебєра Ю.И. Торможение ДС в ферромагнетике // XIX Всесоюзная конференция по физике магнитных явлений.- Ташкент- 1991.- с. 109.

Джебєра Ю.И. Спектры спинволновых возмущений и неустойчивость полосового домена в поле смещения // ФТТ.- 1993.- т. 35, N10 - с. 2270-2278.

457180

АВ 30.268

Підп.до друку 03.05.94. Формат 60x84/16. Уч.-вид.арк. 1.0.
Тираж 100 прим. Замовлення № 302.

Донецький державний університет,

Ін-т "Донецький Будпроект", м.Донецьк - 340114,
вул.Університетська, № 80.