

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ХОМЕНКО ЛЮБОВ ГРИГОРІВНА

УДК 539.21:548.4:536.42

**СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В ШВИДКОЗАГАРТОВАНИХ
БІНАРНИХ ТА КВАЗІБІНАРНИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ Fe, Ti і W**

01.04.07 – фізика твердого тіла

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Суми – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Технічному центрі НАН України (м. Київ).

Науковий керівник – доктор фізико-математичних наук, професор,
Куницький Юрій Анатолійович,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка,
професор кафедри загальної фізики.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник, доцент
Рубіш Василь Михайлович,
Ужгородський науково-технологічний центр матеріалів
оптичних носіїв інформації інституту проблем реєстрації
інформації НАН України,
директор;

доктор фізико-математичних наук, професор
Погребняк Олександр Дмитрович,
Сумський державний університет,
в.о. завідувача кафедри наноелектроніки.

Захист відбудеться " 8 " червня 2012 року о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.02 у Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корпус ЕТ, ауд. 236

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

Автореферат розісланий " 27 " квітня 2012 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.О. Журба

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Постійний інтерес, що проявляють дослідники, які працюють у галузі фізики конденсованого стану та фізичного металознавства змішаних систем, до досліджень матеріалів з особливими механічними, тепловими, електричними, магнітними та ін. властивостями, обумовлений прагненням пояснити різноманітність притаманних унікальних властивостей, користуючись загальними принципами, та розробити принципи оптимізації режимів синтезу та термочасової обробки для формування певної структури цих матеріалів. У той самий час у науковій літературі дані про структурний і напружений стан таких плівок та узагальнення про експериментальні дослідження кінетичних, теплових, гальваноманітних, локальних та інтегральних магнітних властивостей аморфних металевих сплавів (АМС) нечисленні, несистематизовані та суперечливі.

Не вирішеними до цього часу є питання кінетики та механізмів атомного упорядкування та впливу нерівноважного стану систем різного хімічного складу, отриманих за різних умов, на фазові та структурні перетворення, трансформацію електронної та атомної будови. Зокрема, вивчення температурної залежності ефекту Холла в аморфних феромагнетиках дозволяє оцінити знак і концентрацію носіїв заряду, встановити зв'язок між аномальним коефіцієнтом Холла, питомим електроопором та намагніченістю насичення, а також експериментально перевірити застосування теорії Кондорського-Ведяєва-Грановського. Це дає можливість отримати інформацію про природу кінетичних явищ в аморфних металевих сплавах залежно від їх складу і особливості структури, а також установити закономірності в зміні ряду фізичних параметрів як у процесі термообробки сплавів, так і при переході в кристалічний стан.

На сьогодні використання уявлень про внутрішні напруження першого і другого роду в аморфних і нанокристалічних сплавах дозволяє встановити їх зв'язок із структурною неоднорідністю і на основі цього провести оцінку розподілу залишкових напружень, виявити її взаємозв'язок з фізичними властивостями при механічній і тепловій дії, а також визначити практичні рекомендації щодо спрямованого синтезу нових матеріалів з аморфною та нанокристалічною структурами.

Однією з перспективних систем сьогодення є $TiB_2-W_2B_5$ квазібінарна система, яку можна описати як композиційний керамічний матеріал, для якого характерне істотне збільшення міцності, твердості та тріщиностійкості порівняно з однофазними матеріалами – боридом титану та боридом вольфраму. Крім отримання керамічних масивних зразків методом порошкової металургії, сьогодні набувають розвитку також іонно-плазмові способи створення покриттів на основі боридів перехідних металів, що забезпечують отримання нанокристалічних плівок, у яких можна очікувати більш високі характеристики, ніж у масивних зразках. Таким чином, напрямком створення

наноструктурних плівок із малим розміром зерна (не більше 100 нанометрів) є дуже перспективним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у рамках держбюджетних тем: „Розробка науково-методичних засад застосування сучасних методів дослідження структури і властивостей атомних кластерів, наночастинок, фрактальних агрегатів, наноматеріалів та наноструктурованих поверхневих шарів з унікальними властивостями” № 0104U004483 (2006 – 2010 рр.); „Дослідження структури і властивостей наноструктурованих поверхневих шарів, організованих за допомогою темплатів” № 0107U005515 (2010 – 2011 рр.); „Дослідження самоорганізації кластерних та фрактальних агрегатів наноструктурних матеріалів, вивчення процесів фазоутворення в евтектичних системах на основі інтерметалідів та отримання жаростійких покриттів з них” № 0107U000134 (2007 – 2011 рр.).

Мета і задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи полягала у встановленні закономірностей фазових і структурних перетворень, змін електрофізичних, гальваномагнітних і магнітних властивостей та розвитку фізичних уявлень про процеси, що їх обумовлюють, за нерівноважних умов формування метастабільних бінарних та багатокомпонентних структур на основі перехідних *d*-металів.

Відповідно до поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

1. Проаналізувати кінетичні, термодинамічні та фізико-хімічні чинники, що визначають здатність бінарних та багатокомпонентних систем на основі перехідних металів до формування аморфних та нанокристалічних структур при швидкому гартуванні розплавів, газотермічному та іонно-плазмовому напиленні.
2. Виявити структурні особливості в нанокристалічних металевих плівкових системах при зміні їх складу, методів та режимів отримання, термочасової обробки та дії зовнішніх чинників, з'ясувати природу фазового розшарування, формування структурних і концентраційних неоднорідностей та гартівних напружень, особливостей структурних перетворень, кінетику та механізми структурної релаксації та кристалізації.
3. Розробити фізичну модель формування напружень в аморфних металевих сплавах та встановити зв'язок між напруженнями і структурними особливостями аморфних сплавів, отриманих швидким гартуванням розплаву та плазмово-дуговим напиленням.
4. Дослідити температурні та концентраційні залежності електричних, гальваномагнітних та магнітних властивостей бінарних та багатокомпонентних аморфних феромагнетиків на основі металів групи заліза, виявити характер змін цих властивостей при переході у кристалічний стан та встановити в рамках теорії Кондорського-Ведяєва-Грановського кореляційний зв'язок між температурними залежностями електроопору, аномального коефіцієнта Холла та намагніченості насичення.

5. Дослідити особливості формування локальних магнітних властивостей та проходження процесів перемагнічення у поверхневих шарах бінарних і багатокомпонентних аморфних феромагнетиків на основі групи заліза; у наближенні стохастичної магнітної структури розрахувати локальні магнітні параметри, встановити взаємозв'язок між ними та визначити зміну цих параметрів при переході у кристалічний стан.

6. Установити закономірності проходження концентраційно-структурного впорядкування в нанокристалічних іонно-плазмових конденсатах твердих розчинів систем Ti-W-V та Ti-W-C залежно від температури і часу конденсації та відпалу під час використання магнетронної і тріодної схем іонного розпилування.

Об'єкт дослідження – фізико-хімічні процеси, що обумовлюють формування та зміну фазового складу, структури, субструктури, напруженого стану та фізико-хімічних властивостей конденсатів та плівок бінарних та багатокомпонентних систем на основі перехідних *d*-металів, які одержані різними методами за нерівноважних умов.

Предмет дослідження – закономірності зміни структури, електричних, гальваномагнітних і магнітних властивостей бінарних та багатокомпонентних аморфних, нано - і мікрокристалічних сплавів на основі *d*-перехідних металів, які отримані за нерівноважних умов під дією зовнішніх чинників.

Методи дослідження: рентгенівська дифрактометрія на відбиття та на просвіт (ДРОН-2.0, ДРОН-3М); малокутове розсіювання рентгенівських променів (ДРАМ-2.0), рефлектометрія, просвічуюча електронна мікроскопія (ПЕМ-125 К, ЕМ-200) з подальшою обробкою електронно-мікроскопічних зображень за допомогою когерентного Фур'є-аналізу, растрова електронна мікроскопія (РЕММА-101А). Магнітні властивості досліджувалися на вібраційному магнітометрі та магнітооптичному лазерному гістеріографі з реалізацією меридіонального ефекту Керра. Температурні залежності питомого електроопору досліджували чотирьохзондовим методом, а гальваномагнітні властивості – методом змінного струму у змінних магнітних полях на різних частотах при $B \leq 2$ Тл. Усі виміри проводили з наступною їх математичною обробкою.

Наукова новизна одержаних результатів. Проведені у роботі комплексні експериментальні та теоретичні дослідження дали змогу отримати такі нові наукові результати:

1. Визначено значення величини пружної енергії та енергії поверхневого натягу в аморфних сплавах, уперше проведена оцінка напружень першого і другого роду та характеру їх впливу на фізичні властивості матеріалу при тепловій і механічній діях.

2. Для бінарних та багатокомпонентних аморфних феромагнетиків на основі групи заліза, які отримані швидким гартуванням розплаву, в наближенні стохастичної магнітної структури проведено розрахунки значень напруженості кореляційного поля, сталої Блоха, коефіцієнта спін-хвильової жорсткості,

сталої обмінної взаємодії, радіусу кореляції. Уперше встановлені закономірності зміни локальних магнітних параметрів залежно від хімічного складу аморфних феромагнетиків та при переході їх у кристалічний стан.

3. Удосконалені для ряду сплавів на основі групи заліза кількісні відношення, які пов'язують температурні залежності електроопору, аномального коефіцієнта Холла і намагніченості насичення. На їх основі в рамках теорії Кондорського-Ведяєва-Грановського встановлена трансформація енергетичного спектра електронів при переході від аморфного до кристалічного стану.

4. Набуло подальшого розвитку для визначення умов переходу з аморфно-кластерного до нанокристалічного станів у системах Ti-W-B, які отримані за різних режимів іонно-плазмовим розпиленням. Показано, що нанокристалічний стан може бути стабілізований шляхом уведення більш ніж 5 об. % атомів Ti у цю систему.

Практичне значення одержаних результатів. Використання уявлень про внутрішні напруження першого та другого роду в аморфних і нанокристалічних сплавах дає змогу встановити їх зв'язок із структурними неоднорідностями, провести оцінку розподілу залишкових напружень, виявити її взаємозв'язок із фізичними властивостями при механічній та тепловій діях, а також виробити практичні рекомендації щодо спрямованого синтезу нових матеріалів із аморфною або нанокристалічною структурою.

Дослідження температурних залежностей електрофізичних, теплових, магнітних та гальваномагнітних параметрів в аморфних феромагнетиках дає можливість отримати інформацію про природу кінетичних явищ залежно від їх складу і особливостей структури, а також установити закономірності у зміні ряду фізичних характеристик як у процесі термообробки сплавів, так і при переході в кристалічний стан.

Результати проведеного комплексного дослідження закономірностей утворення елементного і фазового складу, структури і напруженого стану покриттів є основою для створення теорії синтезу та еволюції нерівноважного структурного стану матеріалів, що формуються за умов надвисоких швидкостей термалізації плівкоутворювальних частинок при осадженні. Отримані результати є науковою основою для вибору оптимальних режимів осадження конденсатів за складом, структурою та властивостями.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійною кваліфікаційною науковою працею, в якій висвітлено результати теоретичних та експериментальних досліджень автора. Особистий внесок здобувача полягає у самостійному аналізі літературних даних, експериментальному дослідженні нових об'єктів, обробці і систематизації результатів та формулюванні висновків, оформленні текстів статей і тез, апробації результатів на наукових конференціях. Постановку завдань досліджень і узагальнення результатів здійснено разом із науковим керівником. Спільно із доктором фіз.-мат. наук О. В. Собоєм були проведені порівняльні дослідження впливу умов

конденсації іонно-плазмових покриттів квазібінарних систем Ti-W-B та Ti-W-C на їх фазовий склад та структуру. Особисто автором було підготовлено текст першого розділу навчального посібника [1]. У роботах, опублікованих у співавторстві, особисто автору належать: [2, 4, 6, 8, 9] – участь у плануванні та проведенні експерименту, [3, 8, 9, 12,] – проведення чисельно-аналітичних розрахунків, обговорення результатів, аналіз висновків та підготовка тексту матеріалів до публікацій [2, 5, 7, 9, 10, 11, 13, 14]. Обговорення всіх результатів та формулювання висновків проведено із науковим керівником та співавторами опублікованих робіт. Основні наукові результати доповідалися особисто автором на наукових семінарах і конференціях.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові та практичні результати роботи доповідалися на: академічних читаннях “Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии” НАНСИС–2007 (Київ, 2007 р.); Всеукраїнській конференції “Современное материаловедение: материалы и технологии” СММТ–2008 (Київ, 2008 р.); IV Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji přední vědecké povínky (Прага, 2008 р.); Міжнародній конференції “Фізика, технічні науки: стан, досягнення і перспективи” (Полтава, 2008 р.); IV Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції "Наука и инновации" (Дніпропетровськ, 2008 р.); V Міжнародній науково-практичній конференції "Нанотехнологии – производству 2008" (Фрязіно, Москва, 2008 р.); П'ятнадцятій Всеросійській науковій конференції "ВНКСФ – 15" (Кемерово, Томськ, 2009 р.); XII Міжнародній конференції “Фізика і технологія тонких плівок і наноструктур” (Івано – Франківськ, 2009 р.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 14 наукових праць: 6 статей, із них 5 у фахових виданнях, 1 посібник, 7 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 170 сторінках, із них 124 сторінки основного тексту, до якого входять 65 рисунків та 16 таблиць; 55 рисунків та 14 таблиць на окремих аркушах, список використаних джерел із 146 найменувань на 14 сторінках .

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність роботи і розглянута суть проблеми, що досліджується. Сформульовані мета і завдання дослідження, обґрунтовані наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, зазначений особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію роботи та публікації.

У **першому розділі** «Структурні особливості отримання матеріалів із аморфною та нанокристалічною структурами (літературний огляд)» увага приділяється дослідженню та аналізу факторів, що визначають здатність бінарних та багатокomпонентних систем на основі перехідних *d*-металів до

формування аморфних та нанокристалічних структур за різних методів та режимів отримання (надшвидке гартування з розплаву; плазмово-дугове напилення; атомне та іонно-плазмове осадження). При швидкому охолодженні розплаву залежно від складу сплаву та швидкості охолодження можливі морфологічні зміни, розширення області існування твердих розчинів, утворення метастабільних фаз і формування аморфних та нанокристалічних структур. Поява проміжних фаз визначається швидкістю охолодження розплаву та типом реакції їх утворення у відповідних умовах, а формування метастабільних фаз є результатом зміни умов зародження та росту кристалів у переохолодженому розплаві. У процесі швидкого загартування із розплаву спостерігаються самоорганізація флуктуацій густини, утворення дефектів, вморожених центрів кристалізації, неоднорідність у розподіленні елементів за перерізом аморфної стрічки. Невідповідність у значеннях параметрів ближнього порядку (БП) аморфних сплавів залежно від умов отримання (швидкість загартування, час знаходження стрічки на диску та ін.) більша, ніж у розплав залежно від його температурно-часових умов. Це свідчить про високий ступінь гетерогенності структури аморфних стрічок. Закономірності структуроутворень при газотермічному напиленні (ГТН) визначаються складом, розміром фракції порошку, який використовується для напилення, та тепловими режимами напилення. При напиленні інших шарів відбувається відпал попередніх, що призводить залежно від режимів ГТН до структурної релаксації або часткової кристалізації напилених сплавів у локальних мікрооб'ємах.

У другому розділі «Методи отримання та дослідження» описані методи отримання та дослідження зразків. Для експериментального визначення напружень в аморфних сплавах проводили електронно-мікроскопічні дослідження (прилад з високою роздільною здатністю ПЕМ – 125 К) бінарних та багатокомпонентних сплавів різного складу, які отримані за різними технологіями (гартування на швидкому диску, газотермічне та плазмово-дугове напилення). Обробка електронно-мікроскопічних знімків проводилася методом когерентного Фур'є-аналізу.

Структурні особливості бінарних та багатокомпонентних аморфних феромагнетиків на основі елементів групи заліза, отриманих швидким гартуванням розплаву, досліджували методами рентгенографії на дифрактометрі ДРОН-2.0 з використанням FeK_{α} випромінювання та просвічуючої електронної мікроскопії (прилад ЕМ-200). Середній розмір нанокристалів L розраховували за формулою Селякова-Шеррера.

Визначення температурних залежностей в інтервалі 77 – 1000 К питомого електроопору $\rho(T)$ і коефіцієнта Холла $R_H(T)$ бінарних і багатокомпонентних аморфних сплавів проводили за чотиризондовою методикою. Температурні залежності намагніченості насичення $J_S(T)$ досліджували з використанням вібраційного магнітометра. Локальні магнітні параметри поверхневих шарів плівок досліджували на магнітооптичному лазерному гістенографі з реалізацією меридіального ефекту Керра.

За основними кривими намагнічення $J(H)$ у наближенні стохастичної магнітної структури розраховували відносну дисперсію:

$$d_m(H) = 0,5 \cdot [1 - J(H) \cdot J_s^{-1}].$$

В області температур $T < T_c$ здійснювали перебудову залежності $J_s(T)$ у координатах $[I_s(0) - I_s(T)] / [I_s(0) T^{3/2}] = f(T)$. За кутом нахилу одержаної прямої визначали сталу Блоха B .

Для визначення сталої обміну α враховували:

$$\alpha = C \cdot (B^{2/3} \cdot J_s(0)^{5/3})^{-1},$$

де $C = 1,755 \cdot 10^{-17} \text{ Дж}^{2/3} \cdot \text{Тл}^{-1/3} \cdot \text{К}^{-1}$.

Значення сталої спін-хвильової жорсткості D знаходили за формулою:

$$D = g \cdot \mu_B \cdot J_s(0) \cdot \alpha = G \cdot J_s(0) \cdot \alpha,$$

де $G = 19,475 \cdot 10^{-24} \text{ Дж/Тл}$.

Середній магнітний момент $\langle \mu \rangle$ на атом перехідного металу (у магнетонах Бора) оцінювали за виразом:

$$\langle \mu \rangle = (J_s \cdot \sum_i A_i c_i) / 5585 \cdot \rho,$$

де A_i і c_i – атомна вага і концентрація i -го компонента сплаву, ρ – середня густина сплаву.

За значеннями напруженості кореляційного поля H_l та намагніченості насичення J_s розраховували ефективну константу локальної магнітної анізотропії:

$$K_l = 1,935 H_l J_s \sqrt{\langle d_m \rangle}.$$

Радіус кореляції r_c флуктуацій напрямку осей магнітної анізотропії, що характеризує розмір упорядкованих областей, у яких обмінна взаємодія є однорідною визначали:

$$r_c = \sqrt{\alpha I_s / H_l}.$$

Модернізована рентгенографічна методика дослідження особливостей ближньої впорядкованості плівок із використанням геометрії паралельних ковзаючих променів в умовах повного зовнішнього відбивання.

Вплив режимів формування і відпалу на проходження в іонно-плазмових конденсатах систем W-Ti-B і W-Ti-C концентраційно-структурного впорядкування досліджено методом малокутового рентгенівського розсіювання (дифрактометр ДРАМ-2,0) в інтервалі кутів розсіювання $2\theta = 0,1 - 5^\circ$ з реєстрацією випромінювань позиційно-чутливим детектором та обробкою кривих спеціальною комп'ютерною програмою.

Зразки для дослідження впливу теплового режиму осадження

нанокристалічних іонно-плазмових конденсатів квазібінарних систем фаз упровадження W-Ti-C і W-Ti-B на їх фазово-структурний стан отримані іонним розпиленням (магнетронна схема) при розпилюванні гарячепресованих мішеней складу 85 мол. % WC – 15 мол. % TiC і 83 мол. % W₂B₅ – 17 мол. % TiB₂. З метою виявлення структурних особливостей конденсатів проводили порівняльний аналіз рентгеноструктурних досліджень при $\theta=2\theta$ зйомці у режимі на відбиття, коли дифракційний вектор \vec{s} перпендикулярний до площини плівки з результатами, отриманими при зйомці у режимі на просвіт, коли дифракційний вектор \vec{s} лежить у площині плівки, тобто \vec{s} перпендикулярний до нормалі $\vec{n}(\vec{s} \perp \vec{n})$.

Третій розділ «Закономірності формування структури, напруженого стану та фізичних властивостей в аморфних металевих сплавах на основі Fe та Ni» складається із трьох підрозділів.

У першому підрозділі розроблена фізична модель формування напружень в аморфних металевих сплавах. У рамках цієї моделі показано, що енергії поверхневого натягу структурної неоднорідності ΔH визначається за співвідношенням

$$\Delta H = \frac{2V_{at}^3 Y_0 \langle \rho^2 \rangle}{9 k^3} - \frac{4}{3} \sum_{\alpha} \frac{m \Delta C_{\alpha} V_{at}^3}{\langle Z \rangle k} \frac{Y_0 \langle \Delta C_{\alpha} \Delta \rho \rangle}{k} +$$

$$+ \sum_{\alpha, \alpha'} \left[\frac{m(1 + qC_{\alpha}) Y_0}{\langle Z \rangle k} + \frac{3mG \Delta C_{\alpha} \langle r_{at} \rangle V_{at}}{S_L h \langle \Delta C_{\alpha} \Delta C_{\alpha'} \rangle} \right],$$

де Y_0 – модуль пружності; V_{at} – об'єм, що припадає на атом; k – середній коефіцієнт пакування; $\langle Z \rangle$ – середнє координаційне число; G – модуль стиску; S_L – площа поверхні поділу неоднорідність-матриця; $\langle r_{at} \rangle$ – середня міжатомна відстань; $\langle \Delta \rho^2 \rangle$, $\langle \Delta C_{\alpha} \Delta C_{\alpha'} \rangle$, $\langle \Delta \rho \Delta C_{\alpha} \rangle$ – відповідно середньоквадратичні флуктуації густини, концентрації та кореляційної поправки. Як видно зі співвідношення, енергія поверхневого натягу структурної неоднорідності залежить від хімічного складу сплавів, розміру та форми (структурних або концентраційних) неоднорідностей, характеру зміни концентрації та густини вздовж нормалі до межі поділу неоднорідність-матриця. Наявність локальних відмінностей градієнтів температури та зсувних напружень, що виникають у процесі формування аморфних сплавів методом швидкого гартування з розплаву, потребує розгляду напружень двох типів. Напруження першого роду $\sigma_1(r)$ поширюються по всьому об'єму аморфного матеріалу та залежать від технологічних умов його отримання.

Напруження другого роду $\sigma_2(r)$ мають флуктуаційний характер, визначаються відмінностями процесів структуроутворення в різних мікрооб'ємах аморфного матеріалу та залежать від сил міжатомної взаємодії та умов формування. Поле тензора напружень, що діють у матеріалі, становить

суму $\sigma(r) = \sigma_1(r) + \sigma_2(r)$. Установлено, що на стадії структурної релаксації значення $U^{\alpha\beta}(R)$ і ΔH зменшуються, причому це проявляється в зниженні кута розкиду $\Delta\varphi$ орієнтації головних осей анізотропії ізочастотних діаграм (ІЧД), що відповідають різним модам та вирівнюванню ексцентриситетів апроксимуючих еліпсів, і у збільшенні висоти окремих піків $I(\lambda)$, зменшенні їх ширини та загальної кількості відповідно. У процесі структурної релаксації стійкість різних складових дифракційних картин Фраунгофера (ДКФ) неоднакова; найбільшу стійкість мають короткохвильові моди, спектр та будова яких визначають спрямованість структурних перебудов довгохвильових складових. У результаті низькотемпературного відпалу за рахунок дифузійних процесів упорядкованість структурних складових зростає (зменшується кут розкиду $\Delta\varphi$ у широкому діапазоні λ), а рівень напружень знижується (рис. 1).

Установлено зв'язок між напруженнями та структурними особливостями аморфних сплавів. Доведено, що пластична деформація та низький температурний відпал при $T < T_{кр}$ аморфних сплавів призводять до зменшення напружень другого роду, що позначається на структурно-чутливих властивостях. В аморфних магнітом'яких феромагнетиках на основі металів групи заліза при оптимальному відпалі підвищується магнітна проникність, зменшується коерцитивна сила, стабілізуються петлі гістерезису. Зовнішні напруження $\sigma_{зовн}$ призводять до зміни доменної структури феромагнетика та змінюють динаміку процесів перемагнічування.

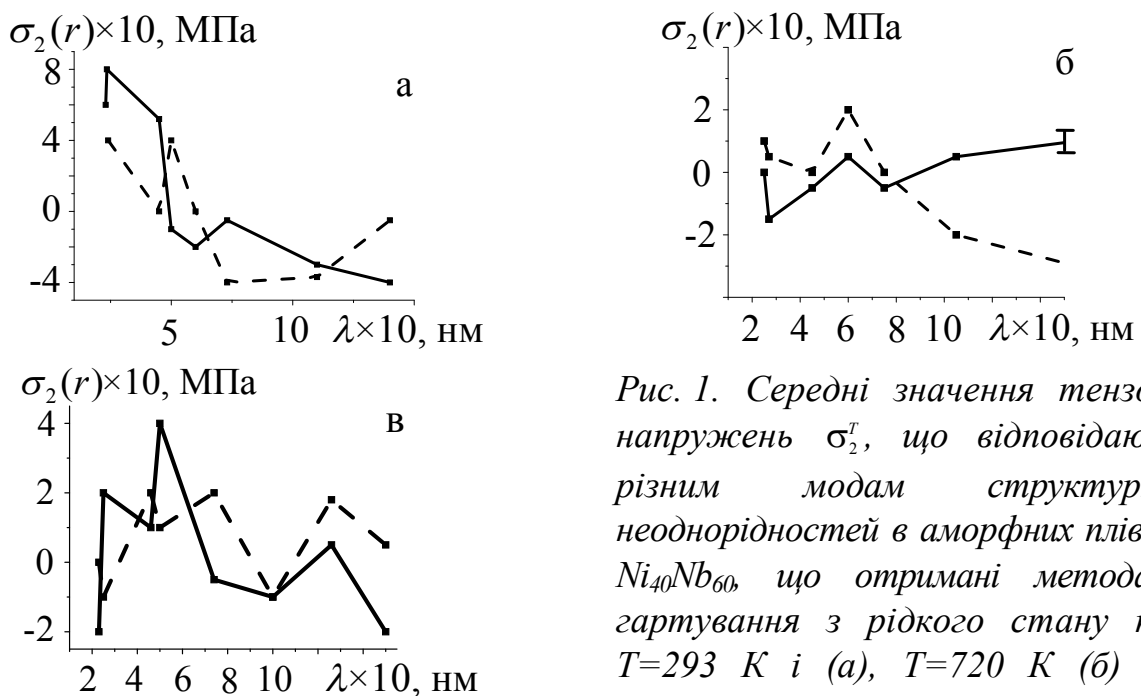


Рис. 1. Середні значення тензора напружень σ_2^r , що відповідають різним модам структурних неоднорідностей в аморфних плівках $Ni_{40}Nb_{60}$, що отримані методами гартування з рідкого стану при $T=293\text{ K}$ і (а), $T=720\text{ K}$ (б) та плазмово-дугового напilenня при $T=293\text{ K}$ (в)

Другий підрозділ присвячений дослідженню температурних та концентраційних залежностей електричних, гальваномагнітних та магнітних властивостей, виявленню характеру змін цих властивостей при переході у

кристалічний стан та встановленню в рамках теорії Кондовського-Ведяєва-Грановського кореляційного зв'язку між температурними залежностями електроопору $\rho(T)$, аномального коефіцієнта Холла $R_s(T)$ та намагніченості насичення $J_s(T)$ для бінарних та багатокомпонентних аморфних феромагнетиків на основі металів групи заліза.

Для визначення ролі внеску фононного механізму розсіювання в температурні залежності $R_s(T)$ і $\rho(T)$ перевірялося виконання співвідношення

$$\Delta R_s(T) = a\rho + b\rho^2,$$

у якому перший член визначається асиметричним розсіюванням носіїв струму, а другий – пов'язаний із механізмом бічного зсуву носіїв струму під впливом спін-орбітальної взаємодії.

При дослідженні ефекту Холла в аморфних феромагнітних сплавах системи Fe-B встановлено, що у сплаві із вмістом бору 17,5 ат %, де найбільш сильно виявляються інварні властивості, при $T = 300$ К значення ефективного коефіцієнта Холла R_H становить $8,9 \cdot 10^{-8}$ м³/Кл.

Електронний і магнітний стани аморфних сплавів систем Fe-B подібні до станів для класичних інварних сплавів системи Fe-Ni. Зі зростанням вмісту хрому в межах 8–15 ат % в аморфних сплавах системи Fe-Cr-B спостерігається тенденція до зменшення значень коефіцієнта Холла R_s і питомого опору Холла ρ_H . Про це свідчить той факт, що при збільшенні температури відпалу ефективний коефіцієнт Холла R_H практично не змінюється аж до температури Кюрі. При $T \approx T_C$ спостерігається зменшення значення ефективного коефіцієнта Холла R_H приблизно на порядок. Зв'язок між коефіцієнтом Холла R_s і квадратом намагніченості насичення J_s в аморфному стані слабший, ніж у кристалічному, що пов'язано з розупорядкуванням структури (рис. 2). З цієї ж причини фононний внесок у кінетичні властивості аморфних сплавів менш вагомий, ніж у кристалічних аналогах.

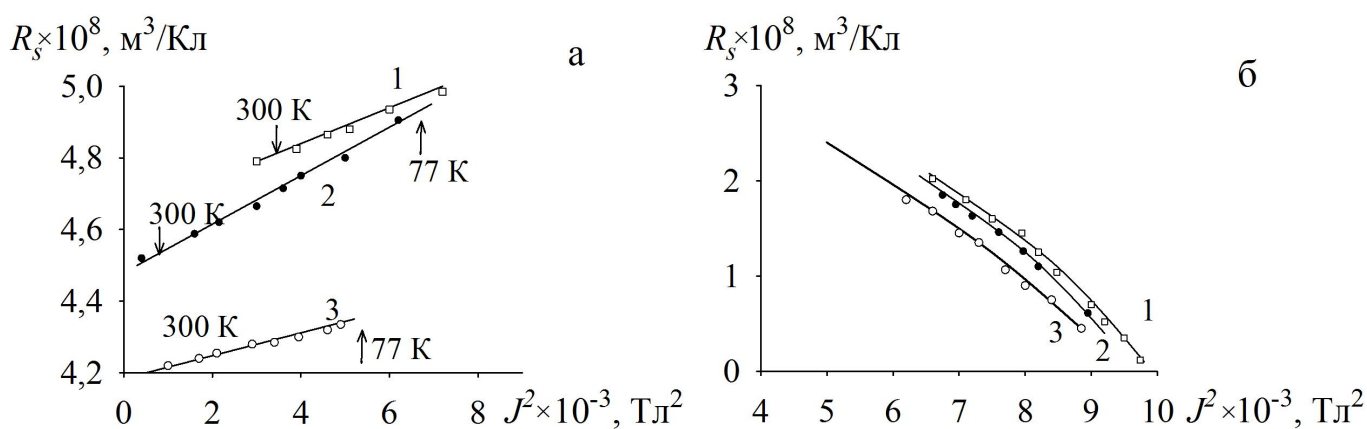


Рис. 2. Залежність аномального коефіцієнта Холла R_s від квадрата намагніченості насичення J_s^2 для аморфних (а) і кристалічних (б) сплавів: $Fe_{77}Cr_8B_{15}$ (1), $Fe_{75}Cr_{10}B_{15}$ (2), $Fe_{73}Cr_{12}B_{15}$ (3)

У третьому підрозділі проаналізовані особливості морфологічної будови аморфних, нано- і мікрокристалічних сплавів та досліджені локальні магнітні параметри. Залежно від хімічного складу, методів та режимів формування стрічок спостерігається нанонеоднорідна структура. Для досліджених АМС на основі металів групи заліза в межах аморфного стану середні міжатомні відстані $\langle r_i \rangle$ та структурні радіуси кореляції L_i (область когерентного розсіювання) змінюються немонотонно з часом відпалу та з його температурою (рис. 3). Це пов'язано зі зменшенням рівня гартівних напружень, зниженням вільного об'єму та перерозподілом компонентів сплавів, що призводить до зміни як композиційного, так і топологічного БП.

Концентраційні залежності середнього значення магнітного моменту $\langle \mu \rangle$, температури Кюрі T_c і коефіцієнта спін-хвильової жорсткості D істотно залежать від хімічного складу аморфних сплавів, режимів і методів їх одержання. Так, за ідентичних умов одержання, наприклад, для сплавів системи Fe-B, отриманих швидким гартуванням із розплаву, зі збільшенням вмісту бору спостерігається збільшення значень T_c при структурній релаксації АМС пов'язано зі змінами композиційного упорядкування.

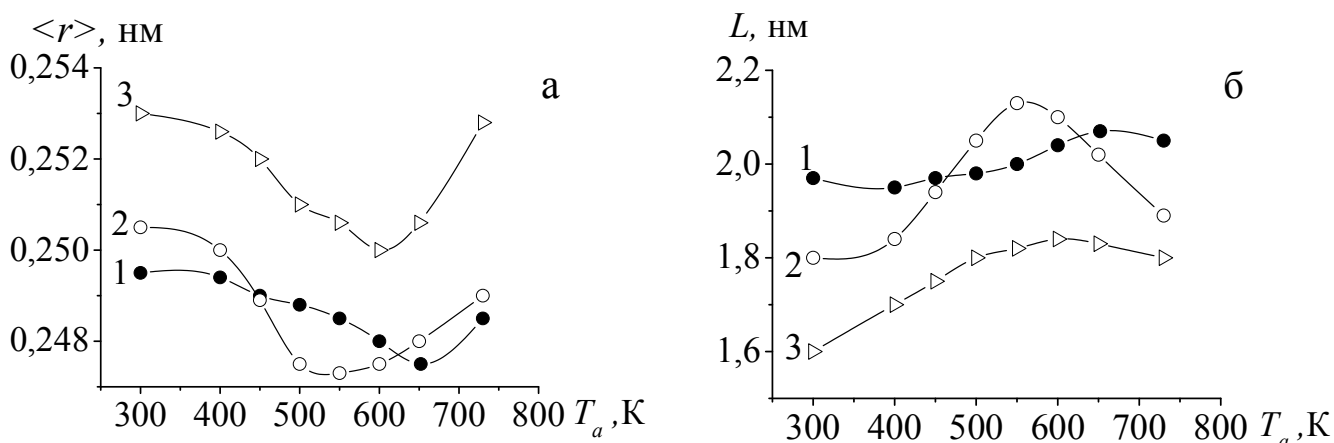


Рис. 3. Залежність середніх міжатомних відстаней $\langle r \rangle$ (а) та радіуса кореляції L (б) від температури ізотермічного відпалу T_a для аморфних сплавів: $Fe_{60}Co_{20}Si_8B_{12}$ (1); $Co_{83,8}Fe_{5,7}Si_{7,9}B_{2,7}$ (2); $Fe_{66,9}Ni_{24,7}Si_{4,9}B_{3,5}$ (3)

Для швидкозагартованих сплавів на основі металів групи заліза закон Блоха $T^{3/2}$ виконується лише в області $T < T_c/2$. Це свідчить про існування в АМС супермагнітних фрагментів з “обірваними” обмінними зв’язками.

Спрямлення кривих $I_s(T)/I_{s(0)} = f(T/T_c)$ для АМС порівняно з кристалічними аналогами пов'язано з впливом структурних флуктуацій, які обумовлюють флуктуації обмінної взаємодії. Значення відношення D/T_c , що характеризує протяжність обмінної взаємодії, в аморфних феромагнетиках менша, коефіцієнт Блоха B та значення константи спін-хвильової жорсткості D для АМС майже на порядок менший, ніж у кристалах аналогічного складу. Відносно малі значення D для аморфних феромагнетиків свідчать про нестабільність в них спінових

хвиль, поруч з якими можливі й інші низькоенергетичні моди. Оскільки константа D істотно залежить від обмінного інтегралу, магнітного моменту та середніх міжатомних відстаней, то на основі проведених розрахунків можна стверджувати, що аморфізація сплавів супроводжується зменшенням обмінного інтегралу.

Для сплавів різних систем (Fe-B, Fe-Cr-B, Fe-Me-B та багатокомпонентних) у наближенні теорії стохастичної магнітної структури були розраховані локальні магнітні параметри (табл. 1 і 2).

Таблиця 1

Локальні магнітні параметри для сплавів $Fe_{85-x}Cr_xB_{15}$

Параметр	Значення параметра залежно від складу			
	$Fe_{77}Cr_8B_{15}$	$Fe_{75}Cr_{10}B_{15}$	$Fe_{73}Cr_{12}B_{15}$	$Fe_{70}Cr_{15}B_{15}$
Стала Блоха $B \cdot 10^5, K^{-3/2}$	8,0	10,6	14,2	16,8
Константа обмінної взаємодії $\alpha \cdot 10^{13}, cm^{-2}$	3,84	3,67	3,6	3,48
Коефіцієнт спінової жорсткості $D, \text{пА} \cdot \text{м}$	4,87	4,43	4,18	3,84
Локальне поле анізотропії $H_l, \text{кА/м}$	29,6	40	142,4	200,8
Кореляційний радіус r_c (при $T=300 \text{ K}$), нм	9,6	6,8	2,1	1,7

З аналізу даних, наведених у таблиці 1, випливає, що характерна довжина обмінної взаємодії в аморфних сплавах менша, ніж у кристалічних аналогах. Для аморфних сплавів на основі заліза флуктуації обмінного інтеграла вищі, ніж в аморфних сплавах на основі кобальту. Внаслідок сильної залежності обмінного інтеграла від міжатомних відстаней, параметрів БП і конфігурації атомних мікрогруповань флуктуації обмінної взаємодії більшою мірою обумовлені локальним композиційним безладом, а не локальним топологічним розупорядкуванням.

Таблиця 2

Локальні магнітні параметри для сплавів $Fe_{80}Me_5B_{15}$

Параметр	Значення параметра залежно від складу			
	$Fe_{80}Ti_5B_{15}$	$Fe_{80}Mn_5B_{15}$	$Fe_{85}B_{15}$	$Fe_{80}Ni_5B_{15}$
Стала Блоха $B \cdot 10^5, K^{-3/2}$	4,95	4,50	3,56	2,05
Константа обмінної взаємодії $\alpha \cdot 10^{13}, cm^{-2}$	3,70	4,22	4,36	5,40
Коефіцієнт спінової жорсткості $D, \text{пА} \cdot \text{м}$	5,9	6,48	7,9	9,9
Локальне поле анізотропії $H_l, \text{кА/м}$	44,8	32	22,4	21,6
Кореляційний радіус r_c (при $T=300 \text{ K}$), нм	7,9	10,8	12,8	14,0

Аналіз магнітних параметрів систем Fe-Me-B (табл. 2, рис. 4) показує, що у всіх феромагнітних сплавах зі значеннями температури Кюрі T_c , нижчими за температуру початку кристалізації T_k , при легуванні сплавів 3d-елементами, що знаходяться ліворуч від заліза, температура Кюрі T_c знижується. Якщо легуючий елемент знаходиться праворуч від заліза, то значення T_c зростають. У кристалічних аналогах виявляється протилежна тенденція.

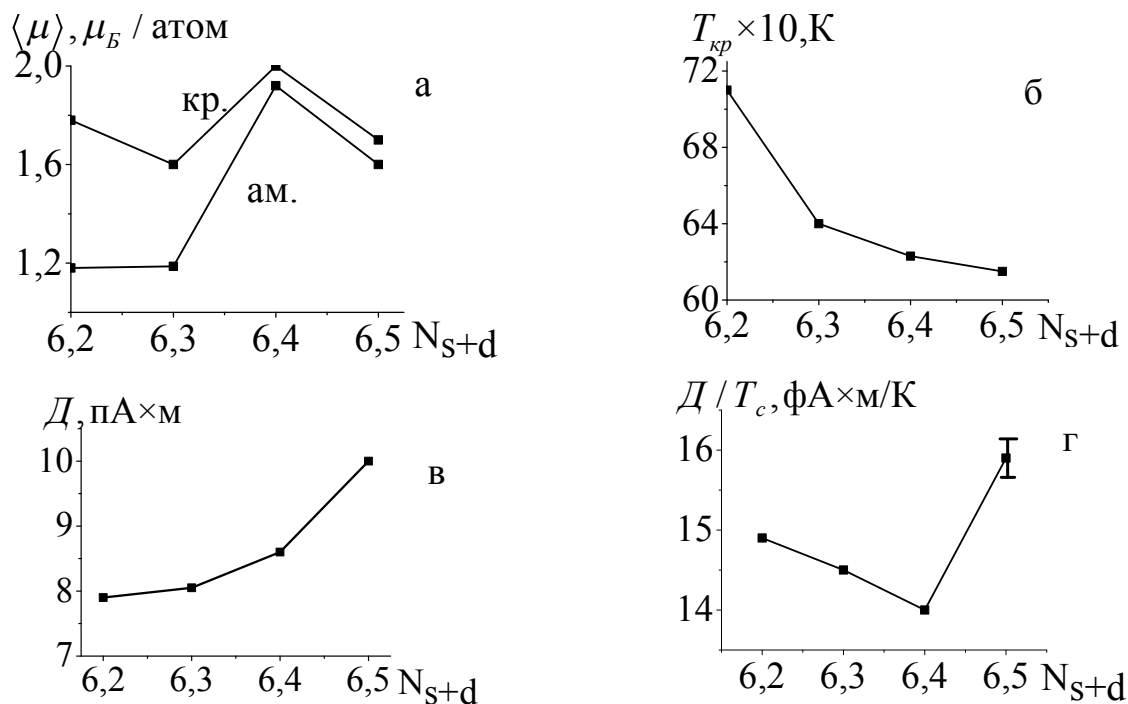


Рис. 4. Залежність магнітних параметрів і параметрів кристалізації для сплавів $Fe_{75}Me_5B_{20}$ від концентрації електронів на атом ПМ N_{s+d} : середній магнітний момент $\langle \mu \rangle$ (а); температура кристалізації T_k (б); коефіцієнт спін-хвильової жорсткості D (в) і відношення D/T_c (г)

При цьому спостерігається підвищення термічної стабільності аморфного стану: збільшується значення температур початку кристалізації $T_{кр}$ і середні значення енергії активації кристалізації $\langle E \rangle$. Збільшення вмісту металоїдів у такому інтервалі призводить як до збільшення сил міжатомної взаємодії, так і до збільшення константи спін-хвильової жорсткості D .

У четвертому розділі «Вплив умов отримання на структуру іонно-плазмових конденсатів системи W-Ti-B та W-Ti-C» при використанні малокутового та ширококутового рентгенодифракційних методів проведено дослідження структурного стану іонно-плазмових конденсатів систем W-Ti-B та W-Ti-C.

У першому підрозділі наведено результати досліджень фазового складу конденсатів, які отримані магнетронним розпиленням мішені квазібінарної системи $TiB_2-W_2B_5$. Плівки зі співвідношенням атомів Ti і W більш ніж 1:10 були однофазними (твердий розчин $(Ti,W)B_2$ з гексагональною кристалічною ґраткою і такого самого як і TiB_2 -фаза, структурного типу). У твердому розчині

$(\text{Ti,W})\text{B}_2$ відбувається заміщення атомів титану атомами вольфраму в металевій підгратці. При збільшенні співвідношення атомів W/Ti у зразках від 62:38 до 98:2 спостерігалися якісні зміни структури конденсатів (рис. 5).

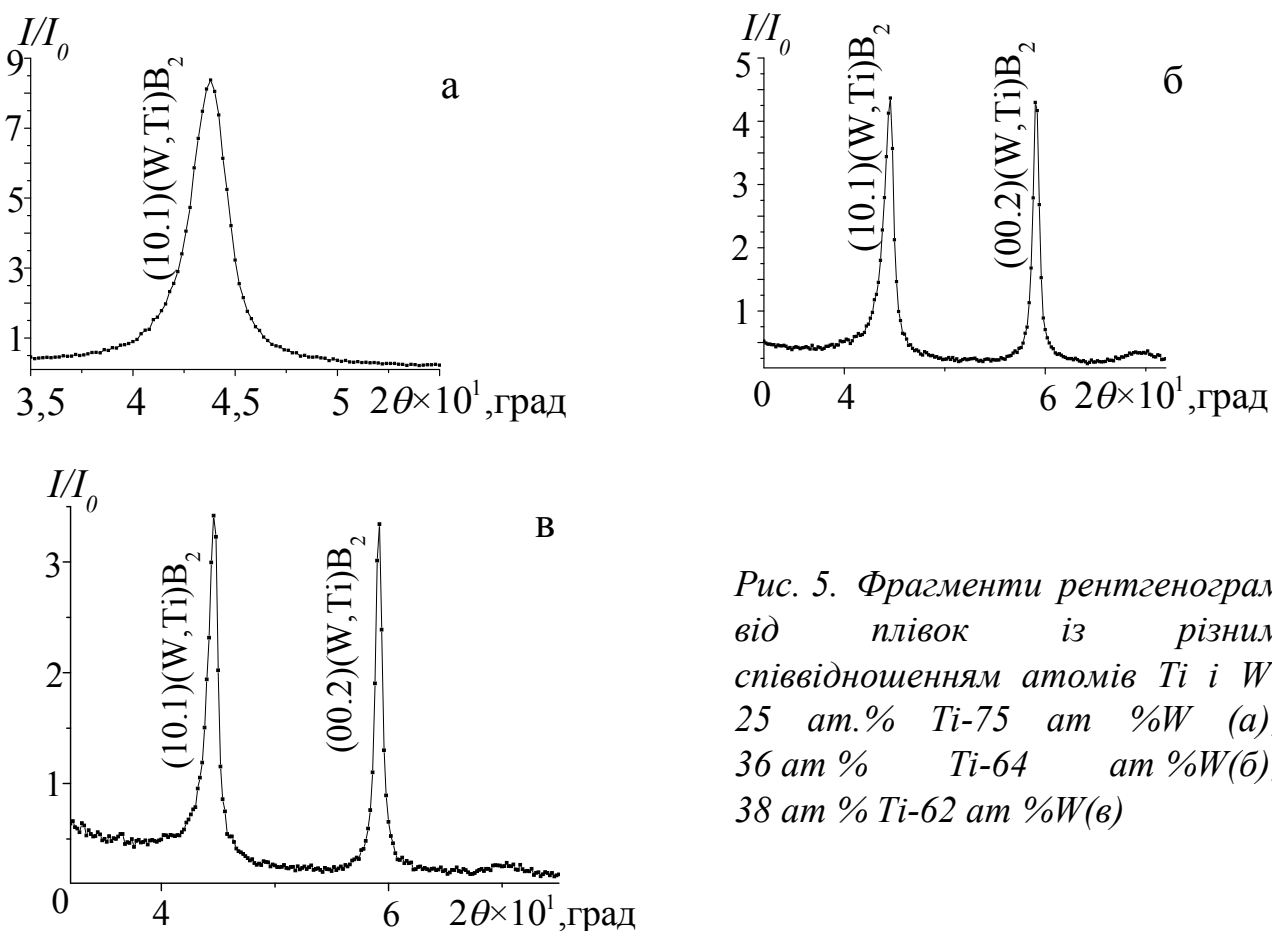


Рис. 5. Фрагменти рентгенограм від плівки із різним співвідношенням атомів Ti і W: 25 ат.% Ti-75 ат.% W (а); 36 ат.% Ti-64 ат.% W (б); 38 ат.% Ti-62 ат.% W (в)

Доведено, що структурні особливості формування конденсатів систем W-Ti-B визначаються конденсаційними процесами, на які істотно не впливає тип матеріалу підкладки, а впливає лише її шорсткість.

У другому підрозділі проведено порівняльний аналіз еволюції структури іонно-плазмових конденсатів квазібінарних карбідних та боридних систем за різних температур T_k осадження. Показано, що у всьому дослідженому температурному інтервалі T_k відбувається формування пересиченого твердого розчину з нанокристалічною або кластерною (аморфною) структурою. Аморфноподібна структура характерна для конденсатів Ti-W-B систем при найбільш низькій температурі T_k , що відповідає найбільшому переохолодженню при термалізації високоенергетичних частинок.

Нерівноважні умови формування конденсатів призводять до процесу концентраційного розшарування у твердому розчині з утворенням періодичного атомного впорядкування, що супроводжується появою кореляційного максимуму на кривих малокутового рентгенівського розсіювання (рис. 6). Порівняльний аналіз структурного стану конденсатів у системах W-Ti-C та W-Ti-B за допомогою малокутового та ширококутового рентгенодифракційних

методів показав, що на перших двох стадіях концентраційного розшарування відбувається розпад твердих розчинів за спінодальним механізмом.

Ефект концентраційного впорядкування для однакового часу конденсації (60 хв.) проявляється більш яскраво у конденсатах твердих розчинів системи W-Ti-B. Методом малокутового рентгенівського розсіювання досліджено вплив режимів формування та відпалу на проходження в іонно-плазмових конденсатах системи W-Ti-B концентраційно-структурного впорядкування. Виявлено постадійний механізм переходу від об'ємно-модульованої структури до одновимірно-модульованої при збільшенні температури формування від 570 до 1170 К. Структура впорядкування твердого розчину, яка утворюється при температурі конденсації $T_k = 770\text{K}$, має однорідний об'ємний розподіл для різних напрямків у плівках. При температурі конденсації $T_k > 970\text{K}$ виявлено постадійний механізм переходу від об'ємно-модульованої структури розшарування до одновимірно-модульованої.

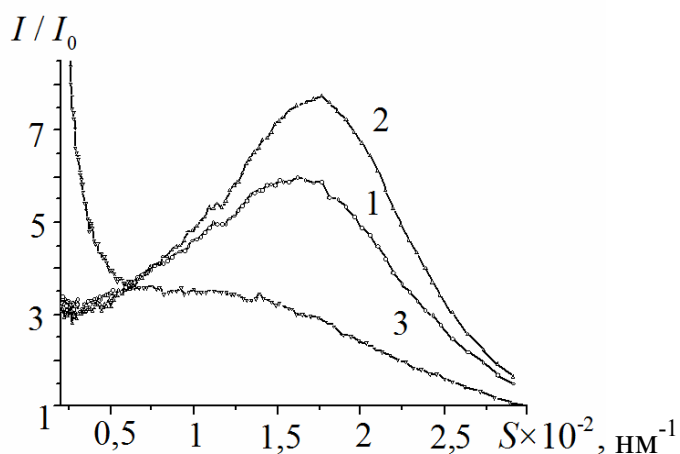


Рис. 6. Малокутові криві, отримані від конденсатів систем W-Ti-B на алюмінієвій підкладці при різних температурах конденсації 353 (1), 573 (2), 673 К (3)

Нерівноважності структурного стану матеріалу, отриманого методом осадження з іонно-плазмових потоків, визначають високу дифузійну рухливість при конденсаційному розшаруванні Ti/W твердого розчину.

В інтервалі $T_k = 570\text{--}1120\text{K}$ значення коефіцієнта дифузії змінюється від $7 \cdot 10^{-19}$ до $8 \cdot 10^{-18}\text{ см}^2/\text{с}$, що на три порядки перевищує аналогічні значення для масивних кристалічних матеріалів. У початковий період постконденсаційного відпалу конденсатів із сильно нерівноважним аморфно-кластерним структурним станом значення коефіцієнта дифузії металевих атомів, які впливають на формування модульованої структури, при температурах відпалу (670–770 К) досягають $(1\text{--}2) \cdot 10^{-18}\text{ см}^2/\text{с}$. Підвищення радіаційного фактора при використанні трьохелектродної схеми іонного розпилення призводить до посилення ефекту концентраційного розшарування в конденсаті, знижує температуру переходу і стимулює збільшення довжини хвилі λ_{od} концентраційного впорядкування.

ВИСНОВКИ

1. Установлено, що в аморфних сплавах, отриманих швидким гартуванням з розплаву, величини пружної енергії матриці $U^{a\beta}(R)$ та енергії поверхневого натягу структурної неоднорідності ΔH близькі за значеннями та залежно від складу і режимів одержання становлять 5–20 кДж/моль. Дефекти будови, характер зміни пружної енергії та поля напружень визначають кінетику та механізм структурної релаксації та кристалізації аморфних сплавів. Форма та напрямок росту кристалічних зародків при термообробці АМС обумовлені дифузією атомів, рівнем залишкових гартівних напружень, а також характером просторового розподілу деформаційних полів.

2. Розроблено методику визначення гартівних напружень першого $\langle\sigma_1\rangle$ та другого $\langle\sigma_2\rangle$ роду в аморфних сплавах. Установлено, що значення $\langle\sigma_i\rangle$ та дисперсії $\Delta\sigma_i$ нижчі для аморфних сплавів, які отримані за оптимальних режимів плазово-дугового наплення, ніж для сплавів ідентичного хімічного складу, які отримані швидким гартуванням з розплаву. Різний характер просторового розподілу деформаційних полів значною мірою визначає кінетику процесів структурної релаксації та кристалізації, а також механізми атомних упорядкувань та фазових перетворень.

3. Досліджено температурні та концентраційні залежності електричних, гальваноманітних та магнітних властивостей бінарних та багатокомпонентних аморфних феромагнетиків на основі металів групи заліза. Виявлено, що коефіцієнт Холла $R_H > 0$ та залежно від хімічного складу змінюється в межах $(3 - 6) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{Кл}$. Зв'язок між аномальним коефіцієнтом Холла R_S і квадратом намагніченості насичення J_s^2 в аморфному стані слабший, ніж у кристалічному, що обумовлено розупорядкованістю структури. Внаслідок структурного розупорядкування фононний внесок у кінетичні властивості аморфних металевих сплавів менш істотний, ніж для кристалічних аналогів.

4. У наближенні стохастичної магнітної структури для бінарних та багатокомпонентних аморфних феромагнетиків на основі групи заліза розраховано локальні магнітні параметри, які варіюються в межах: напруженість кореляційного поля $H_l = 10,4 - 200 \text{ кА/м}$; стала Блоха $B = (2,05 - 16,8) \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-3/2}$; коефіцієнт спін-хвильової жорсткості $D = 3,84 - 12,94 \text{ пА}\cdot\text{м}$; стала обмінної взаємодії $\alpha = (3,4 - 17,2) \cdot 10^{-13} \text{ см}^{-2}$; радіус кореляції $r_c = 1,7 - 23,5 \text{ нм}$; визначені зміни цих параметрів при переході у кристалічний стан і встановлено взаємозв'язок між параметрами стохастичної магнітної структури. Відносно малі значення константи спін-хвильової жорсткості D для аморфних феромагнетиків на основі металів групи заліза, порівняно з кристалічними аналогами, відбивають нестабільність в них спинових хвиль. Аморфізація сплавів супроводжується зменшенням обмінного інтегралу.

5. Структурний радіус кореляції L , визначений за результатами дифракційного експерименту, відповідає для АМС декільком міжатомним

відстаням, а кореляційний радіус r_c магнітної неоднорідності становить десятки нанометрів. Кристалізація АМС супроводжується зростанням структурного радіуса кореляції L , у той час як кореляційні радіуси магнітної структури r_c практично не змінюються. Значення параметрів ближнього порядку АМС ідентичного складу, усереднені за макрооб'ємом, слабо залежать від технології їх виготовлення, хоча локальні характеристики стохастичної магнітної структури (H_l і r_c) можуть при цьому змінюватися досить істотно.

6. Нерівноважні умови формування конденсатів систем Ti-W-B та TiC-WC приводять до концентраційного розшарування з довжиною хвилі атомно-періодичного упорядкування $\lambda=3,7-4,6$ нм. В іонно-плазмових конденсатах систем Ti-W-B та Ti-W-C розчину досліджено вплив умов осадження та відпалу на формування модульованої структури при концентраційному розшаруванні. Виявлено постадійний механізм переходу від об'ємно-модульованої структури до одновимірної-модульованої при збільшенні температури формування від 570 до 1170 К. Підвищення радіаційного фактора при використанні трьохелектродної схеми іонного розпилення призводить до посилення ефекту концентраційного розшарування в конденсаті.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати

1. Соболев О. В. Процеси розпаду пересичених твердих розчинів / О. В. Соболев, Ю. А. Куницький, Л. Г. Хоменко. – Киев : Академперіодика, 2010. – С. 251.
2. Процеси впорядкування в іонно-плазмових конденсатах систем W-Ti-B та W-Ti-C / [О. В. Соболев, Ю. А. Куницький, М. Ю. Барабаш, Я. А. Нечитайло, Л. Г. Дзюба] // Фізика і хімія твердого тіла. – 2008. – Т. 9, № 3. – С. 515 – 519.
3. Напруження в аморфних та нанокристалічних матеріалах / [А. П. Шпак, Ю. А. Куницький, Л. Ю. Куницька, Д. С. Леонов, Л. Г. Дзюба, М. Ю. Барабаш] // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2008. – Т. 6, № 1. – С. 211 – 230.
4. Стохастична магнітна структура аморфних сплавів / [А. П. Шпак, Ю. А. Куницький, В. О. Демент'єв, Я. А. Нечитайло, Л. Ю. Куницька, Л. Г. Дзюба, М. Ю. Барабаш] // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2008. – Т. 6, № 2. – С. 1 – 20.
5. Рентгенографічні дослідження ближньої впорядкованості надтонких плівок / [Ю. П. Гомза, В. В. Клепко, С. Д. Несін, Е. А. Лисенков, Ю. А. Куницький, М. Ю. Барабаш, Л. Г. Хоменко] // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2009. – Т. 7, № 2. – С. 411 – 419.
6. Влияние термического фактора на процесс концентрационно – структурного упорядочения в ионно-плазменных конденсатах системы W-Ti-B / [А. П. Шпак, О. В. Соболев, Л. Ю. Куницкая, М. Ю. Барабаш, Ю. А. Куницкий,

Л. Г. Хоменко] // Журнал технической физики. – 2010. – Т. 80. – № 8. – С. 75 – 79.

7. Связь коэффициента Холла с некоторыми параметрами в аморфных и кристаллических ферромагнетиках / [М. Ю. Барабаш, Л. Ю. Куницкая, **Л. Г. Хоменко**, Ю. А. Куницкий] // Журнал нано- та електрон. фіз. – 2010. – Т. 2, №1. – С. 74 – 83.

2. Наукові праці апробаційного характеру

8. Когерентний Фур'є-аналіз для діагностики аморфних та нанокристалічних матеріалів / [Ю. А. Куницький, Я. А. Нечитайло, **Л. Г. Дзюба**, В. А. Демент'єв, М. Ю. Барабаш] // Матеріали Міжнар. конф. [“Наноструктурні системи: технології – структура – властивості – застосування (НСС-2008)”], (Ужгород, 13 – 16 жовтня 2008 р.). – С. 11.

9. Експериментальні методи дослідження фрактальних структур [текст]: тези доповідей / [Ю. А. Куницький, Я. А. Нечитайло, **Л. Г. Дзюба**, В. А. Демент'єв] // Матеріали Міжнар. конф. [“Наноструктурні системи: технології – структура – властивості – застосування (НСС-2008)”], (Ужгород, 13 – 16 жовтня 2008 р.). – С. 19.

10. **Дзюба Л. Г.** Напряжения в аморфных материалах / [**Л. Г. Дзюба**, Я. А. Нечитайло, В. А. Демент'єв] // Материалы 10-й Междунар. Конфер. [“Высокие давления 2008. Фундаментальные и прикладные аспекты”], (Судак, 16 – 20 вересня 2008 р.). – С. 13.

11. Застосування голографічної та спектр-інтерферометрії для визначення напруження в поверхневих шарах матеріалів / [М. Ю. Барабаш, **Л. Г. Дзюба**, Я. А. Нечитайло, В. О. Демент'єв, Ю. А. Куницький] // Матеріали XII Міжнар. конф. [“Фізика і технологія тонких плівок і наноструктур”], (Івано-Франківськ, 18 – 23 травня 2009 р.). – С. 22.

12. Пори, як фазово – структурна неоднорідність твердого тіла / [О. В. Соболев, М. Ю. Барабаш, **Л. Г. Дзюба**, Ю. А. Куницький] // Матеріали XII Міжнар. конф. [“Фізика і технологія тонких плівок і наноструктур”], (Івано-Франківськ, 18 – 23 травня 2009 р.). – С. 36.

13. Напруження в аморфних та нанокристалічних сплавах / [Л. Ю. Куницкая, **Л. Г. Дзюба**, Я. А. Нечитайло, В. О. Демент'єв] // Матеріали XII Міжнар. конф. [“Фізика і технологія тонких плівок і наноструктур”], (Івано-Франківськ, 18 – 23 травня 2009 р.). – С. 27.

14. **Дзюба Л. Г.** Процессы самоорганизации на поверхности покрытия / [**Л. Г. Дзюба**, Ю. А. Куницкий] // Материалы V Междунр. конфер [“Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследования, применение, экологически чистые технологии производства и утилизации изделий”], (Большая Ялта, Жуковка Автономная республика Крым, 22 – 26 травня 2008 р.). – С. 31.

АНОТАЦІЯ

Хоменко Л. Г. Структурні перетворення в швидкозагартованих бінарних та квазібінарних системах на основі Fe, Ti і W. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла. - Сумський державний університет, Суми, 2012.

Проаналізовано кінетичні, термодинамічні та фізико-хімічні фактори, що визначають здатність бінарних та багатокомпонентних систем на основі перехідних металів до формування аморфних та нанокристалічних структур при швидкому гартуванні розплавів, газотермічному та іонно-плазмовому напиленні. Виявлено структурні особливості нанокристалічних металевих плівкових систем при зміні їх складу, методів та режимів отримання, термочасової обробки та дії зовнішніх чинників. Досліджено температурні та концентраційні залежності електричних, гальваноманітних і манітних властивостей та особливості формування локальних манітних властивостей, проходження процесів перемагнічення у поверхневих шарах багатокомпонентних аморфних феромагнетиках на основі групи заліза.

Розглянуто вплив теплового режиму осадження нанокристалічних іонно-плазмових конденсатів квазібінарних систем фаз упровадження W-Ti-C і W-Ti-B на їх фазово-структурний стан та встановлено закономірності проходження концентраційно-структурного упорядкування в нанокристалічних іонно-плазмових конденсатах $(W,Ti)B_2$ твердого розчину залежно від температури і часу конденсації та відпалу під час використання магнетронної і тріодної схем іонного розпилювання.

Ключові слова: бінарні та багатокомпонентні системи, нанокристалічні матеріали, феромагнітні сплави, гальваноманітні властивості, манітні властивості, тепловий режим осадження, фазово-структурний стан, концентраційно-структурне упорядкування.

АННОТАЦИЯ

Хоменко Л. Г. Структурные преобразования в быстрозакаленных бинарных и квазибинарных системах на основе Fe, Ti и W. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика твердого тела. - Сумский государственный университет, Сумы, 2012.

В диссертационной работе проанализировано кинетические, термодинамические и физико-химические факторы, определяющие склонность бинарных и многокомпонентных систем на основе переходных металлов к формированию аморфных и нанокристаллических структур при быстрой закалке расплавов, газотермическом и ионно-плазменном напилении.

Рассмотрены дефекты атомного и локального уровней строения аморфных материалов. Отмечено, что неоднородности атомного уровня – неотъемлемая часть аморфной структуры. Рассмотрены дефекты микроскопического и макроскопического уровня строения и неоднородности, вносимые технологией закалки. Установлена связь напряжений и структурных неоднородностей. Проведена оценка напряжений первого и второго рода и характера их влияния на физические свойства материалов при тепловом и механическом воздействиях.

Определены закономерности изменения локальных магнитных параметров в зависимости от химического состава аморфных ферромагнетиков и при переходе их в кристаллическое состояние. Проанализированы причины существования корреляций обменного взаимодействия и неоднородностей намагниченности в нанокристаллических ферромагнетиках.

Для ряда сплавов на основе металлов группы железа исследованы температурные зависимости коэффициента Холла, электросопротивления, намагниченности насыщения в аморфном и кристаллическом состояниях. В рамках теории Кондорского-Ведяева-Грановского установлена связь между аномальным коэффициентом Холла R_s , удельным электросопротивлением ρ и намагниченностью насыщения J_s . Выявлены закономерности в изменении ряда физических параметров, как в процессе термообработки аморфных сплавов, так и при переходе в кристаллическое состояние.

Рассмотрено влияние теплового режима осаждения нанокристаллических ионно-плазменных конденсатов квазибинарных систем фаз внедрения W-Ti-C и W-Ti-B на их фазово-структурное состояние и установлены закономерности протекания концентрационно-структурного упорядочения в нанокристаллических ионно-плазменных конденсатах $(W,Ti)B_2$ твердого раствора в зависимости от температуры, времени конденсации и отжига при использовании магнетронной и триодной схем ионного распыления.

Методом малоуглового рентгеновского рассеяния исследовано влияние режимов формирования и отжига на протекание в ионно-плазменных конденсатах системы W-Ti-B концентрационно-структурного упорядочения. Образующаяся модулированная структура при относительно низкой (до 770 К) температуре конденсации твердого раствора имеет однородное объемное распределение структурных фрагментов. Выявлен постадийный механизм перехода от объемномодулированной структуры к одномерно модулированной при увеличении температуры формирования от 570 до 1170 К. Установлено уменьшение диффузионной подвижности при создании модулированной структуры на основе упорядочения металлических (W-Ti) атомов при увеличении времени отжига метастабильного постконденсационного состояния ионно-плазменного конденсата. При использовании трехэлектродной схемы ионного распыления действие радиационного фактора приводит к усилению эффекта концентрационного расслоения в конденсате, понижает температуру

перехода и стимулирует увеличение длины волны $\lambda_{од}$ концентрационного упорядочения.

Ключевые слова: бинарные и многокомпонентные системы, нанокристаллические материалы, ферромагнитные сплавы, гальваномагнитные свойства, магнитные свойства, тепловой режим осаждения, фазово-структурное состояние, концентрационно-структурное упорядочение.

SUMMARY

Khomenko L. G. Structural transformations in rapidly-hardened binary and quasi-binary systems based on Fe, Ti and W. – Manuscript.

Thesis for a Doctor of Philosophy degree (Ph. D.) in physics and mathematics on specialty 01.04.07 – Solid-State Physics. – Sumy State University, Sumy, 2012.

The kinetic, thermodynamic and physic-chemical factors which determine the propensity of binary and multicomponent systems based on transition metals in the formation of amorphous and nanocrystalline structures during rapid quenching of melts, thermal spray and ion-plasma spraying, were analyzed. The structural features of nanocrystalline metallic film systems were shown when their composition, methods and modes of production, thermal-time treatment are changing and the external factors are influencing. The temperature and concentration dependences of the electrical, galvanomagnetic and magnetic properties, peculiarities of the local magnetic properties formation, the processes of remagnetization in the surface layers of multicomponent amorphous ferromagnets based on the iron group were investigated.

The influence of the thermal regime of deposition of nanocrystalline ion-plasma condensates of quasibinary systems implementation phases of W-Ti-C and W-Ti-B on their phase-structural state was revealed. The regularities of the concentration and structural ordering in nanocrystalline ion-plasma condensates (W,Ti)B₂ of solid solution, depending on temperature and time of condensation and annealing during the use of magnetron and triode sputtering schemes, were established.

Kew words: binary and multicomponent systems, nanocrystalline materials, ferromagnetic alloys, galvanomagnetic properties, magnetic properties, thermal deposition, the phase-structural state, the concentration and structural ordering.

Підписано до друку 25.04.2012.

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 1, 1. Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 пр. Зам. № __

Видавець і виготовлювач

Сумський державний університет,

вул. Римського – Корсака, 2, м. Суми, 40007

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17. 12. 2007