

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Пазуха Ірина Михайлівна

УДК 621. 315. 8

**ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ В ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТАХ ДАТЧИКІВ
ТЕМПЕРАТУРИ, ДЕФОРМАЦІЇ І ТИСКУ**

01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Суми - 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі прикладної фізики Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – заслужений діяч науки і техніки України, доктор фізико-математичних наук, професор **Проценко Іван Юхимович**, завідувач кафедри прикладної фізики Сумського державного університету.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор **Равлік Анатолій Георгійович**, професор кафедри фізики металів та напівпровідників Харківського національного технічного університету “ХПТ”;

доктор фізико-математичних наук, професор **Шматько Олександр Олександрович**, професор кафедри фізики надвисоких частот Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна.

Захист відбудеться «12» травня 2009 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.02 у Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Р.-Корсакова, 2, корпус ЕТ, ауд. 236.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Сумського державного університету.

Автореферат розіслано «06» квітня 2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

А.С.Опанасюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні тенденції розвитку мікро- і наноелектроніки, сенсорної техніки та ін. галузей приладобудування стимулюють пошуки нових матеріалів для створення елементної бази, які б мали більш широкий спектр функціональних можливостей та задовольняли вимоги матеріалознавців і конструкторів. Серед таких матеріалів можна виділити багат шарові плівкові структури загального типу та мультишари. Широке використання плівкових матеріалів як чутливих елементів різноманітних датчиків неелектричних величин стимулює як фізико-технологічні, так і фундаментальні дослідження процесів, які дають можливість підвищити ефективність датчиків. У зв'язку з цим на даний час актуальним залишається вивчення електрофізичних (питомий опір, термічний коефіцієнт опору (ТКО), коефіцієнт тензочутливості (КТ)), магніторезистивних (магнітоопір), оптичних та ін. властивостей тонкоплівкових матеріалів. Однак для покращання характеристик сенсорів, чутливими елементами яких є тонкоплівкові зразки, недостатньо тільки розуміти явища, які лежать в основі роботи приладу, наприклад, тензоефект або спін-залежне розсіювання електронів. Важливим залишається вивчення питань про взаємозв'язок між цими явищами та такими фізичними процесами, як взаємна дифузія атомів та фазоутворення з метою створення чутливих елементів з покращеними характеристикам, стабільних у широкому температурному інтервалі та під дією інших різноманітних факторів навколишнього середовища. Особливо це актуально, коли мова йде про багат шарові плівкові системи, оскільки фізичні процеси, що відбуваються на межі поділу шарів, можуть спричинити не тільки розмиття інтерфейсу, а й відіграти як позитивну, так і негативну роль у роботі датчика. Крім того, на межі поділу шарів виникає новий механізм розсіювання електронів провідності – інтерфейсний, за рахунок якого можна впливати на величину питомого опору, ТКО, КТ та ін. і який на даний час залишається майже не вивченим.

Із вищезазначеного випливають актуальність теми даної роботи та доцільність проведення дослідження фізичних процесів у чутливих плівкових елементах датчиків температури, деформації і тиску.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася на кафедрі прикладної фізики Сумського державного університету у рамках держбюджетних тем № 0103U000773 „Вплив статичної деформації і температури на електрофізичні властивості багат шарових плівкових систем” (2003-

2005 pp.); №0106U001942 „Формування кристалічної структури і електрофізичних властивостей плівкових матеріалів на основі багатoshарових металевих наносистем” (2006-2007 pp.); спільного проекту науково-технічного співробітництва №М/148-2006 „Дифузійні процеси і стабільність інтерфейсів в металевих багатoshарових системах” (2006-2007 pp.) між Сумським державним університетом та Інститутом фізики САН (м. Братислава, Словаччина).

Здобувач брала участь у дослідженнях та підготовці проміжних і остаточних звітів зазначених НДР.

Мета і задачі досліджень. Основна мета даної роботи полягала у встановленні особливостей фізичних процесів у чутливих елементах датчиків температури, деформації і тиску, які представляють собою багатoshарові плівкові системи на основі Cu і Cr або Ag, Fe і Cr або Cu.

Відповідно до поставленої мети необхідно було розв'язати такі конкретні наукові задачі:

- експериментально дослідити температурну залежність питомого опору і термічного коефіцієнту опору чутливих елементів;
- проаналізувати внесок у величину питомого опору і ТКО багатoshарових плівкових систем об'ємного, поверхневого, зерномежевого та інтерфейсного розсіювання електронів провідності;
- розробити методіку визначення внеску інтерфейсного розсіювання електронів у термо- та тензорезистивні властивості тонкоплівкових чутливих елементів датчиків;
- встановити вплив інтерфейсного розсіювання на робочі характеристики датчиків температури, деформації і тиску;
- здійснити експериментальні дослідження особливостей процесів фазоутворення і дифузії та, як залежної від цих процесів, якості структурного стану двошарових плівок Cu/Cr, Fe/Cu, Fe/Cr та Ag/Cu.

Об'єкт дослідження: фізичні процеси, що відбуваються у дво- та багатoshарових тонкоплівкових системах на основі Cu і Cr або Ag та Fe і Cr або Cu, які можуть бути використані як чутливі елементи датчиків температури, деформації і тиску.

Предмет дослідження: електрофізичні властивості, розсіювання електронів на внутрішніх межах поділу, фазоутворення та взаємна дифузія атомів у дво- і багатoshарових плівках на основі Cu і Cr або Ag та Fe і Cr або Cu.

Методи дослідження: вакуумна пошарова конденсація і резистивний метод вимірювання при термовідпалюванні і деформації зразків у високому вакуумі, просвічуюча електронна мікроскопія, електронографія, рентгенографія, рентгенівська рефлектометрія, вторинно-іонна мас-спектрометрія (ВІМС), числовий розрахунок

термо- і тензорезистивних властивостей дво- та багатошарових плівкових систем.

Наукова новизна отриманих результатів. Проведення теоретичних і експериментальних досліджень фізичних процесів у чутливих елементах датчиків температури, деформації і тиску дозволило отримати такі нові наукові результати:

1. Виходячи із комплексних, систематичних досліджень, встановлені особливості структурно-фазового стану і дифузійних процесів на межі поділу окремих шарів у чутливих елементах датчиків на основі плівкових систем Cu/Cr, Fe/Cu, Fe/Cr і Ag/Cu та проаналізовано питання про стабільність інтерфейсів у них.

2. Вперше запропонована методика оцінки внеску інтерфейсного розсіювання електронів на межі поділу шарів у загальну величину питомого опору, термічного коефіцієнту опору та коефіцієнту тензочутливості багатошарових плівок. Показано, що створення штучної межі поділу призводить до відносного збільшення питомого опору $\Delta\rho/\rho$ на (12-21)%, КТ $\Delta\gamma/\gamma$ – (7-11)% та відносного зменшення ТКО $\Delta\beta/\beta$ на (9-20) %.

3. Проаналізовано питання впливу розсіювання електронів на зовнішніх поверхнях плівки і межах зерен на термо- і тензорезистивні властивості плівок товщиною 50-100 нм. Показано, що поверхнєве і зерномежеве розсіювання у цьому інтервалі товщин дають внесок у загальну величину питомого опору, ТКО і КТ у межах (57-76)% та (2-10)% відповідно.

4. Проведені дослідження дозволили розробити фізико-технологічні основи створення чутливих елементів датчиків температури, деформації і тиску.

5. Запропонована конструкція датчика тиску, чутливим елементом якого є плівкові структури Cu/Cr та Fe/Cr, а конструктивні особливості дозволяють використовувати його для вимірювання форвакууму ($p \cong 20-40$ Па) у вакуумних установках загального типу.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати, отримані у ході виконання дисертаційної роботи, можуть бути використані при розробці чутливих елементів термо-, тензодатчиків і датчиків тиску з покращеними характеристиками і стабільною роботою в широкому температурному інтервалі. Запропонована модель провідності двошарової полікристалічної плівкової системи може бути використана для прогнозування кінетики розвитку і протікання дифузійних процесів у чутливих елементах датчиків температури, деформації і тиску при їх виготовленні та експлуатації.

Фундаментальне значення отриманих результатів полягає у подальшому розвитку уявлень про фізичні процеси (зовнішній та внутрішній розмірні ефекти, процеси фазоутворення та дифузії), які протікають у тонкоплівкових чутливих елементах датчиків температури, деформації і тиску.

Особистий внесок здобувача полягає у самостійному пошуку та аналізі літературних джерел, проведенні технологічних і фізичних досліджень. Автор особисто отримувала зразки, проводила вимірювання, обробку та інтерпретацію отриманих результатів, здійснювала математичні розрахунки. Самостійно проводила електронографічні та електронно-мікроскопічні дослідження. При консультаціях д-ра наук Кужела Р. (Карловий університет, м. Прага) автором самостійно були проведені дослідження методами рентгенографії та рентгенівської рефлектометрії. Постановку задач досліджень і узагальнення результатів зроблено спільно з науковим керівником д-ром фіз.-мат. наук, проф. Проценком І.Ю. В обговоренні результатів досліджень брали участь д-р фіз.-мат. наук Дехтярук Л.В., канд. фіз.-мат. наук Проценко С.І. та канд. фіз.-мат. наук Однодворець Л.В. Особисто автором підготовлено статті [2, 6], тези доповідей [9, 11, 15], підрозділи в [1] та [5, 7, 8], обговорювалися матеріали робіт в [1, 4, 5, 8-10, 12, 13, 15, 16]. Основні наукові результати доповідалися особисто автором на наукових семінарах і конференціях.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові та практичні результати роботи оприлюднені і обговорені на таких конференціях: X, XI Міжнародних конференціях „Фізика і технологія тонких плівок” (Івано-Франківськ, 2005, 2007 рр.); Харківських нанотехнологічних Асамблеях (Харків, 2006, 2008 рр.); на Всеукраїнських конференціях „ЕВРИКА” (Львів, 2004, 2006 рр.); 7-й, 8-й Міжнародних конференціях «Фізичні явища в твердих тілах» (Харків, 2005, 2007 рр.); Всеукраїнській конференції «Нанорозмірні системи. Будова, властивості, технології» (Київ, 2007 р.); Міжнародній конференції «Сучасні проблеми фізики твердого тіла» (Київ, 2007 р.); XLII Zakopane School of Physics International Symposium (Закопане, Польща, 2008 р.); науково-технічних конференціях фізико-технічного факультету Сумського держуніверситету (Суми, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 рр.).

Публікації. Основні матеріали дисертації відображені у 18 публікаціях, основними з них є 16 робіт, серед них 1 колективна монографія, 5 статей, опублікованих у фахових наукових журналах, 2 статті у нефахових виданнях та 8 тез доповідей. Назви публікацій наведені у списку опублікованих праць.

Структура і зміст роботи. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел із 198 найменувань. Дисертацію викладено на 149 сторінках друкованого тексту, ілюстровано 48 рисунками і 20 таблицями.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета та основні задачі досліджень, зазначені методи досліджень, відзначені новизна та практичне значення отриманих результатів, наведені дані про структуру роботи, особистий внесок автора.

У першому розділі „Використання плівкових матеріалів як датчиків неелектричних величин (літературний огляд)” наведено аналітичний огляд і аналіз публікацій, які присвячені технологічним основам та принципам плівкового мікроприладобудування. Зокрема, наводяться переваги застосування багат шарових плівкових систем як чутливих елементів різноманітних датчиків неелектричних величин. Показано, що комбінуючи плівки металів з різними фізичними властивостями, змінюючи товщину окремих шарів та їх чергування, можна отримати системи з принципово новими властивостями та широкими функціональними можливостями. Так, базуючись на магніторезистивних властивостях та, зокрема, на явищі гігантського магнітоопору, створюються різноманітні мініатюрні датчики магнітного поля з низьким енергоспоживанням, які використовуються для безконтактного вимірювання положення елемента, що обертається, кутової швидкості, прискорення та ін. величин. На основі явища тензочутливості створюються датчики деформації та тиску, які мають стабільні характеристики у широкому температурному інтервалі.

Крім того, проаналізовано особливості фізичних процесів у тонкоплівкових чутливих елементах різноманітних датчиків неелектричних величин таких, як зовнішній та внутрішній розмірні ефекти, процеси взаємної дифузії атомів і фазоутворення, макронапруження термічного характеру та ін. Розуміння явищ, які зумовлюють термо-, тензо-, магніторезистивні або інші властивості різноманітних плівкових сенсорів, дозволить не тільки покращити їх ефективність та стабільність, але й зменшити затрати на виготовлення. Розглянуті теоретичні моделі розмірного ефекту у ТКО і КТ багат шарових плівок мають добре узгодження з експериментальними результатами і цілком можуть бути використані для прогнозування

термо- та тензорезистивних властивостей. Вони дають можливість визначити не тільки такі параметри, як середня довжина вільного пробігу електронів (СДВП) λ_0 , коефіцієнти дзеркальності електронів (ρ), розсіювання їх на межі зерен (МЗ) (R) та проходження межі зерна (τ), а й визначити їх температурні залежності. Поряд з цим відзначається, що розглянуті моделі не дозволяють визначити величину коефіцієнта розсіювання електронів на межі поділу окремих шарів (Q). Нанорозмірний і нанокристалічний характер плівкових систем обумовлює інтенсивні дифузійні процеси по межах зерен та перемішування атомів на межі поділу (МП) окремих шарів, що може призвести до розмиття МП та спричинити утворення інтерметалідних фаз і твердих розчинів не тільки біля інтерфейсу, а й по всьому об'єму плівки, і, як наслідок, відіграти негативну роль у роботі датчиків, створених на їх основі. Зменшити інтенсивність дифузійних процесів можна шляхом підбору компонентів систем таким чином, щоб вони мали мінімальну взаємну розчинність, або шляхом введення буферних шарів. У результаті проведеного аналізу основний напрям досліджень був визначений так: розробка методики визначення впливу інтерфейсного розсіювання на термо- і тензорезистивні властивості чутливих елементів датчиків температури, деформації і тиску, а також вивчення процесів дифузії та фазоутворення процесів, які відбуваються на межі поділу окремих шарів у багатошарових плівкових системах із різним типом розчинності компонентів, з метою покращання робочих характеристик датчиків температури, деформації і тиску.

У другому розділі „Техніка і методика експерименту” описані методи отримання, дослідження та вимірювання електричних властивостей чутливих елементів датчиків температури, деформації і тиску.

Оскільки структура та електрофізичні властивості плівкових систем значною мірою залежать від умов одержання, тому для правильної інтерпретації і коректної оцінки отриманих результатів необхідно жорстке дотримання ідентичності умов конденсації зразків. У зв'язку з цим всі зразки отримувалися у вакуумній установці ВУП-5М, в якій забезпечуються необхідні вакуумні умови (тиск газів залишкової атмосфери $p \sim 10^{-4}$ Па), методом термічного (плівки Cu, Ag і Cr) та електронно-променевого (плівки Fe) випаровування при сталій швидкості конденсації, температурі та матеріалу підкладки. Вимірювання товщини зразків проводилося в процесі конденсації методом кварцового резонатора з похибкою до 10% при товщинах плівок 5-100 нм та після конденсації (з метою контролю загальної товщини зразків) інтерферометричним методом з

похибкою 30% в інтервалі товщин 10-100 нм. Електричний опір плівок вимірювався з точністю $\pm 0,05\%$ цифровим вольтметром АРРА-109. Температура контролювалася за допомогою хромель-алюмелевої термопари і вольтметра UT-70В, що забезпечило точність $\pm 1\text{К}$. Для дослідження електрофізичних властивостей чутливого елемента датчика тиску нами була розроблена конструкція цього датчика, принцип роботи якої полягає у тому, що при відкачуванні вакуумної камери за рахунок зміни тиску всередині камери та зовні відбувається деформація робочого елемента, внаслідок чого змінюється його електричний опір. При розробці конструкції датчика та діагностиці макету були використані дані про структурно-фазовий стан та дифузійні процеси, описані в 4 розділі.

Дослідження фазового складу та структури плівкових зразків з метою отримання інформації про кристалічну ґратку, середній розмір кристалітів, їх концентрацію, характер меж зерен та про дефекти кристалічної будови проводилося при використанні електроннографічного, електронно-мікроскопічного (прилад з високою розрізнявальною здатністю ПЕМ-125К) та рентгенографічного (прилад X'Pert PRO) методів. Дифузійні процеси вивчалися за допомогою методу ВІМС (МС-7201М). Методом рентгенівської рефлектометрії (прилад X'Pert PRO), для систем $[\text{Cu}/\text{Cr}]_n/\text{П}$, $[\text{Fe}/\text{Cu}]_n/\text{П}$, $[\text{Fe}/\text{Cr}]_n/\text{П}$ і $[\text{Ag}/\text{Cu}]_n/\text{П}$ (П-підкладка, $n = 2, 3, 4$) були проведені дослідження шорсткості поверхні та інтерфейсів, а також додаткове визначення товщини окремих шарів.

Третій розділ „Роль інтерфейсного розсіювання електронів у електрофізичних і тензорезистивних властивостях чутливих елементів” складається із трьох підрозділів.

У *першому підрозділі* викладена методика визначення внеску інтерфейсного розсіювання електронів в електрофізичні (питомий опір, ТКО та КТ) властивості на прикладі систем типу $[\text{Me}/\text{Me}]_n/\text{П}$ зі штучно змодельованою межею поділу. Суть даної методики полягає у порівнянні величини питомого опору, ТКО або КТ двох металевих плівкових зразків однакової загальної товщини, один з яких представляє собою одношарову плівку, а другий – багатшарову гомогенну плівкову систему на основі того самого металу, в якій штучно змодельована внутрішня межа поділу шляхом зупинення процесу конденсації на певний проміжок часу (10 хв.). При цьому необхідне жорстке дотримання таких вимог: високоточне вимірювання товщини плівок (похибка - $\pm 0,5$ нм); сталі значення швидкості конденсації (точність - $\pm 0,1$ нм/с); близькі величини концентрації та енергії активації заліковування дефектів кристалічної будови (вакансійного типу та

дефектів пакування), які отримуються шляхом побудови спектру дефектів за методикою Венда; ідентичність розподілу кристалітів за розмірами з відхиленням їх середньої величини не більше 10%; приблизно однакова концентрація кристалітів з дефектами пакування, які мають відносно велику енергію активації заліковування.

Було показано (рис. 1), що вплив розсіювання електронів на МП шарів проявляється не тільки в еволюції функції розподілу дефектів $F_0(E)$ (на спектрі для плівки $\text{Cu}(24)/\text{Cu}(36)/\text{П}$ з інтерфейсом (рис. 1д) при $E = 0,66$ еВ має місце особливість, що свідчить про внесок штучної МП), а й у величині питомого опору (ρ) та ТКО (β) (рис. 1а, б). Розрахунок величини відносного збільшення питомого опору $\left(\frac{\rho[\text{Cu}(d_1)/\text{Cu}(d_2)] - \rho[\text{Cu}(d_1 + d_2)]}{\rho[\text{Cu}(d_1 + d_2)]} \right)$ і відносного зменшення ТКО $\left(\frac{\beta[\text{Cu}(d_1 + d_2)] - \beta[\text{Cu}(d_1)/\text{Cu}(d_2)]}{\beta[\text{Cu}(d_1 + d_2)]} \right)$ дає відповідно величини $\Delta\rho/\rho = 0,12-0,21$, $\Delta\beta/\beta = 0,09 - 0,20$. Ідентичність спектру дефектів для плівок

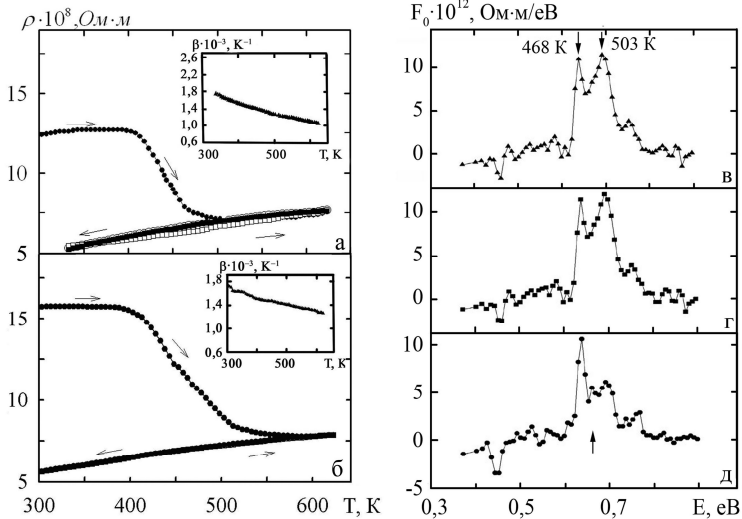


Рис. 1. Температурна залежність питомого опору і ТКО (на вставках) для двох термостабілізаційних циклів для плівок $\text{Cu}(65)/\text{П}$ (а) і $\text{Cu}(28)/\text{Cu}(37)/\text{П}$ (б) та порівняння спектрів дефектів для плівок $\text{Cu}(24)$ (в), $\text{Cu}(36)$ (з) і плівкової системи $\text{Cu}(24)/\text{Cu}(36)/\text{П}$ (д). У дужках вказана товщина у нм. Стрілками вказані основні максимуми на спектрі та особливість, пов'язана з наявністю інтерфейсу

Cu(24), Cu(36), представлених на рис. 1в, г свідчить на користь того, що умови конденсації цих зразків, як і Cu(24)/Cu(36)/П, однакові. Враховуючи ідентичність умов отримання зразків, розподілу за розмірами кристалітів і концентрації ДП (рис. 2), можна зробити висновок, що відмінності температурної залежності ρ і β одно- і двошарових плівок пов'язані з дією додаткового механізму розсіювання електронів на інтерфейсі.

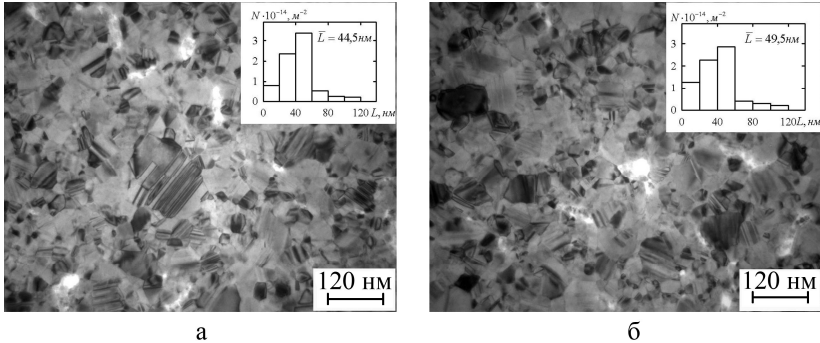


Рис. 2. Кристалічна структура та відповідні гістограми (на вставках) одношарової плівки Cu(65) (а, б) і двошарової плівкової системи Cu(28)/Cu(37)/П (в, з), відпалених до $T_g = 630$ K та охолоджених до 300 K

Застосовуючи запропоновану вище методику для аналізу впливу інтерфейсного розсіювання на тензорезистивні властивості плівок Cu, було показано, що при переході від одношарової плівки до плівки зі штучно створеною межею поділу при однаковій загальній товщині зразків відбувається відносно зростання коефіцієнта тензочутливості $\Delta\gamma/\gamma = 0,07-0,11$.

У даному підрозділі також було визначено внесок об'ємного (ρ_0 , β_0 і γ_{0l}), зерномежевого (ρ_{gb} , β_{gb} і γ_{gb}) та поверхневого (ρ_d , β_d і γ_{dl}) розсіювання електронів у загальну величину питомого опору, ТКО і КТ і зроблено розрахунок статистичної ваги кожного з цих механізмів розсіювання електронів (табл. 1).

Для розрахунків були використані такі співвідношення:

$$\rho_{gb}(T) = (\beta_g \rho_g - \beta_0 \rho_0) T + (\rho_{gb})_0, \quad \rho_d(T) = \rho(T) - \rho_g(T), \quad (1)$$

$$\beta_{gb}(T) = \frac{(\beta_g \rho_g - \beta_0 \rho_0)}{(\beta_g \rho_g - \beta_0 \rho_0) T + (\rho_{gb})_0}, \quad \beta_d(T) = \frac{(\beta \rho - \beta_g \rho_g)}{(\beta \rho - \beta_g \rho_g) T + (\rho_d)_0}, \quad (2)$$

$$\gamma_{dl}^{\rho} = (\gamma_l^{\rho} \rho - \gamma_{gl}^{\rho} \rho_g) \rho_d^{-1}, \gamma_{gb}^{\rho} = (\gamma_{gl}^{\rho} \rho_g - \gamma_{0l}^{\rho} \rho_0) \rho_{gb}^{-1}. \quad (3)$$

де індексом “g” позначено питомий опір полікристалічної плівки при $d \rightarrow \infty$, а $(\rho_{gb})_0$ і $(\rho_d)_0$ – постійні інтегрування при $T \rightarrow 0$ К.

Таблиця 1

Статистична вага доданків коефіцієнту повздожньої тензочутливості

Плівкова система	d , нм	$\frac{\rho_0}{\rho}$	$\frac{\rho_{gb}}{\rho}$	$\frac{\rho_d}{\rho}$	$\left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right)_{int}$
Cu(20)/Cu(25)/П	45	0,17	0,02	0,71	0,10
Cu(30)/Cu(30)/П	60	0,22	0,03	0,64	0,11
Cu(45)/Cu(45)/П	90	0,31	0,05	0,49	0,16
Cu(50)/Cu(50)/П	100	0,31	0,06	0,51	0,12

На основі проведених розрахунків було зроблено висновок, що об’ємне і поверхнєве або зерномежеве розсіювання електронів дає внесок у загальну величину питомого опору, ТКО та КТ на рівні (50-75)% та до 10% відповідно.

У *другому підрозділі* проведено аналіз електрофізичних (питомий опір та ТКО) властивостей багат шарових плівкових систем в умовах інтерфейсного розсіювання на прикладі систем Cu/Cr, Ag/Cu та Fe/Cr (рис. 3), в яких згідно з діаграмою стану реалізується різний структурно-фазовий стан. Фазовий стан системи Cu/Cr відповідає біпластині, системи Ag/Cu – тришаровій плівці з проміжним шаром біля інтерфейсу, а системи Fe/Cr – одношаровій плівці твердого розчину (α -Fe, Cr).

Розрахунки показали, що при переході від дво- до чотиришарової системи при однаковій загальній товщині зразків відбувається відносне збільшення питомого опору та відносне зменшення ТКО, а саме $\Delta\rho/\rho = 0,30-0,40$ (Cu/Cr); $0,14-0,25$ (Ag/Cu) і $0,07-0,16$ (Fe/Cr) та $\Delta\beta/\beta = 0,31-0,38$ (Cu/Cr); $0,11-0,14$ (Ag/Cu) і $0,11-0,15$ (Fe/Cr). Таку зміну електрофізичних властивостей при ідентичності умов отримання можна пояснити дією додаткового механізму розсіювання електронів на інтерфейсі.

У *третьому підрозділі* наведені типові робочі характеристики запропонованого датчика тиску (рис. 4). Як бачимо з рис. 4, залежність має дві ділянки, на першій із яких характеристика має лінійний характер, причому при збільшенні величини $\Delta\rho$ відносна зміна опору $\Delta R/R_n$ також зростає, що повністю узгоджується із уявленням про тензоефект, а на другій – спостерігається немонотонна зміна опору при

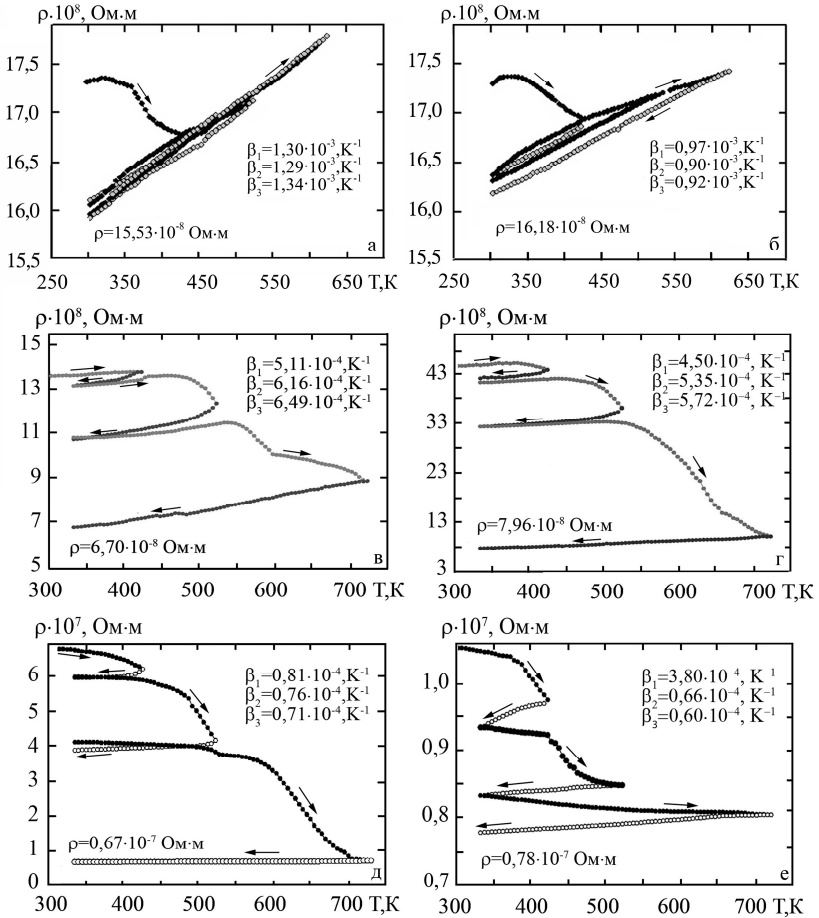


Рис. 3. Залежність питомого опору від температури для плівкових систем Cr(30)/Cu(30)/П (а), [Cr(15)/Cu(15)]₂/П (б), Ag(20)/Cu(20)/П (в), [Ag(10)/Cu(10)]₂/П (г), Fe(40)/Cr(40)/П (д), [Fe(20)/Cr(20)]₂/П (е). Величина β розрахована за першими трьома кривими охолодження

зміні тиску. Лінійна ділянка відповідає діапазону тисків у вакуумній камері $p = 20\text{-}40$ Па, тому даний датчик можна використовувати для вимірювання форвакууму у вакуумних установках загального типу. Причина різкого збільшення опору на другій ділянці пов'язана зі зміною швидкостей відкачування із робочої камери при

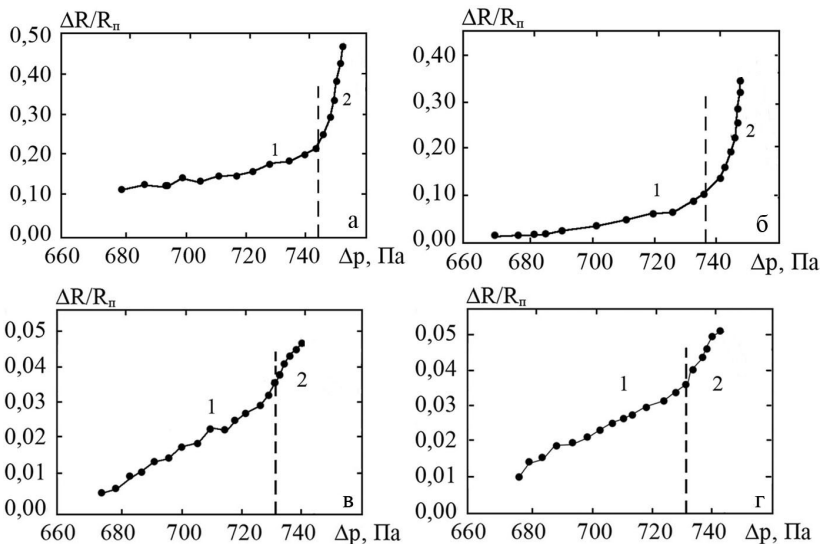


Рис. 4. Робочі характеристики датчика тиску на основі плівкових систем $[Cu(20)/Cr(20)]_2/\Pi$ (а), $[Cu(10)/Cr(15)]_2/\Pi$ (б), $[Fe(15)/Cr(15)]_2/\Pi$ (в), $[Fe(10)/Cr(10)]_2/\Pi$ (г), де $\Delta p = p_{am} - p_3$; p_{am} – атмосферний тиск, p_3 – тиск газів залишкової атмосфери

перемиканні режиму з форвакууму на високий вакуум.

На основі представлених робочих характеристик було проведено розрахунок величини баричного коефіцієнту опору $\beta_p = R_n^{-1} \cdot \Delta R / \Delta p$. Для системи Cu/Cr величина β_p змінюється в межах від $1,50 \cdot 10^{-3}$ до $0,12 \cdot 10^{-3} \text{ Па}^{-1}$ в інтервалі товщин двошарової плівки $d = 50\text{-}120 \text{ нм}$, для системи Fe/Cr - від $0,50 \cdot 10^{-3}$ до $0,35 \cdot 10^{-3} \text{ Па}^{-1}$ в інтервалі товщин $d = 40\text{-}80 \text{ нм}$. Знаючи β_p , можна записати рівняння, яке описує баричну $\beta_p \cdot p_3$ залежність $R(p) = R(p_n) \cdot e^{\beta_p p_3}$, де $R(p_n)$ – опір при атмосферному тиску.

Четвертий розділ „Фазоутворення і дифузійні процеси на межі поділу шарів на основі Cu і Cr або Ag, Fe і Cr або Cu ” складається із чотирьох підрозділів.

У першому підрозділі представлено результати досліджень процесів фазоутворення, дифузійних процесів та аналіз якості структури інтерфейсів у плівкових системах Cu/Cr та Fe/Cu, компоненти яких згідно з діаграмою стану мають обмежену взаємну розчинність.

Результати обробки рентгенограм та електронограм (рис. 5) показали, що у невідпаленому стані та після відпалювання до $T_b = 630$ К плівкові системи на основі Cu і Cr мають двофазний склад, який відповідає ГЦК-Cu+ОЦК-Cr із параметрами ґратки $\bar{a} = 0,360 - 0,361$ нм (Cu) і $\bar{a} = 0,288-0,289$ нм (Cr), тобто зберігається індивідуальність окремих шарів, незважаючи на те, що при відпалюванні внаслідок різних температур і швидкостей рекристалізації Cu і Cr відбувається сегреґація, або так зване «захоплення» атомами Cu атомів Cr до 20 ат.%, в результаті чого на межі поділу шарів утворюється проміжний шар і система представляє собою не біплатину, а двошарову плівку евтектичного типу. Про це свідчать результати аналізу дифузійних процесів та структурної якості інтерфейсів. Величина шорсткості лежить у межах $\sigma \cong 0,58-1,53$ нм при кімнатній температурі, що свідчить про низьку якість межі поділу в системі, що може призвести до погіршення стабільності в роботі чутливих елементів датчиків, незважаючи на стабільний структурно-фазовий стан.

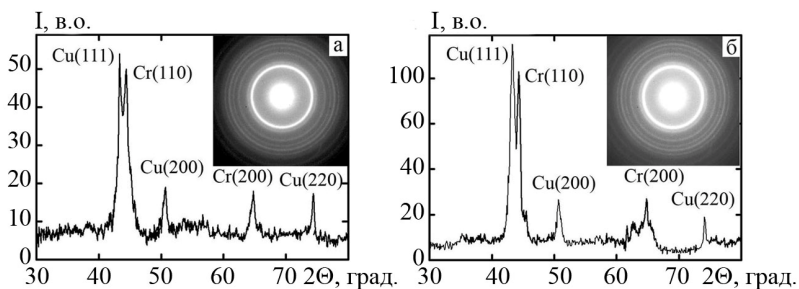


Рис. 5. Рентгенограми та електронограми (на вставках) від плівки Cr(30)/Cu(30)/Pt у невідпаленому (а) та відпаленому до $T_b = 630$ К і охолодженому до 300 К (б) станах

Плівкові системи на основі Fe і Cu до та після термовідпалювання до $T_b = 630$ К мають фазовий склад ГЦК Cu + ОЦК Fe з параметрами ґратки $\bar{a}(\text{Cu}) = 0,360 \pm 0,001$ нм та $\bar{a}(\text{Fe}) = 0,288 \pm 0,001$ нм і їх можна розглядати як біплатини, тобто як системи, в яких зберігається індивідуальність окремих шарів.

Дифузійні профілі відносної концентрації для систем на основі Fe і Cu після конденсації (рис. 6а) та після відпалювання до 630 К (рис. 6б) свідчать про певне перемішування атомів. Шорсткість інтерфейсу при цьому може змінюватися в широких межах - від 0,12 до

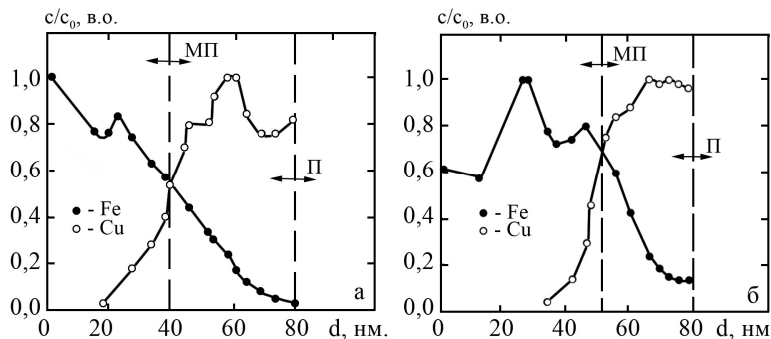


Рис. 6. Дифузійні профілі відносної концентрації для плівкової системи Fe(30)/Cu(50)/Π у невідпаленому (а) та відпаленому до 630 К (б) станах

2,50 нм. Таким чином, якщо сформована багатошарова система на основі Cu і Fe буде мати інтерфейс з малою шорсткістю ($\sigma \cong 0,12$ нм), то можна отримати систему, в якій буде чітке збереження індивідуальності окремих шарів і, як наслідок, плівкові сенсори будуть мати стабільні робочі характеристики.

У другому підрозділі представлено результати досліджень процесів фазоутворення, дифузійних процесів та аналіз структури інтерфейсів у плівкових системах Fe/Cr та Ag/Cu, компоненти яких, згідно з діаграмою стану для масивних матеріалів мають необмежену взаємну розчинність.

Результати дослідження фазового стану у системі Fe/Cr (рис. 7) показали, що вже на стадії конденсації відбувається утворення твердого розчину т.р.(Fe, Cr) з параметром ґратки $\bar{a} = 0,289 \pm 0,001$ нм.

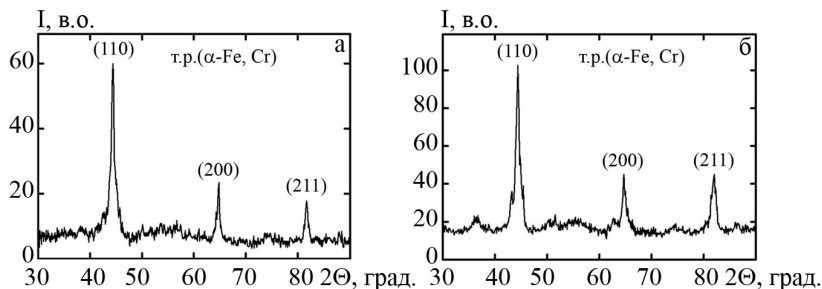


Рис. 7. Рентгенограми від плівкової системи $[Fe(10)/Cr(10)]_2/\Pi$ у невідпаленому (а) та відпаленому до 630 К (б) станах

Термовідпалювання до 630 К не вносить суттєвих змін у структурно-фазовий стан, а швидше за все стимулює деякі субструктурні зміни. Зменшення товщини окремих шарів обумовлює ще більш інтенсивне перемішування атомів Fe і Cr і тим самим стимулює утворення гомогенного т.р. (Fe, Cr).

Також було показано, що результати рефлектометричних даних протирічать висновку про розмиття інтерфейсу в системах на основі Fe і Cr. Якщо порівнювати рефлектометричні дані для системи Cu/Cr, в якій зберігається індивідуальність окремих шарів та системи Fe/Cr, в якій по всьому об'єму зразка відбувається утворення твердого розчину (рис. 8, табл. 2), то можна дійти висновку, що шорсткість інтерфейсу нижча у випадку систем Fe/Cr. Згладжування інтерфейсів у випадку плівок на основі Fe і Cr можна пояснити не тільки зерномежевою,

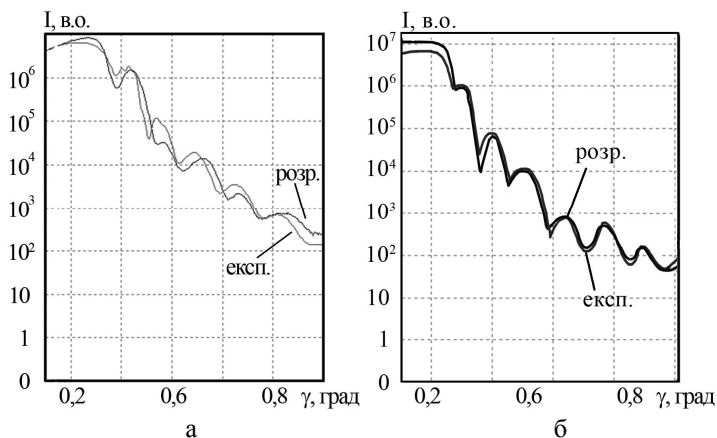


Рис. 8. Рентгенівські рефлектометричні залежності для плівокових систем $[\text{Cr}(30)/\text{Cu}(30)]_2/\text{SiO}_2$ (а) та $[\text{Fe}(6)/\text{Cr}(7)]_3/\text{Si}$ (б)

Таблиця 2

Результати розрахунків товщини і шорсткості окремих шарів для плівокових систем $[\text{Cr}(30)/\text{Cu}(30)]_2/\text{SiO}_2$ та $[\text{Fe}(6)/\text{Cr}(7)]_3/\text{Si}$

$[\text{Cr}(30)/\text{Cu}(30)]_2/\text{SiO}_2$			$[\text{Fe}(6)/\text{Cr}(7)]_3/\text{Si}$		
Шар	d, нм	σ , нм	Шар	d, нм	σ , нм
1 Підкл. SiO_2	—	1,10	1 Підкл. Si	-	1,79
2 Cu	30,2	1,07	2 Cr	10,7	0,94
3 Cr	30,0	3,83	3 Fe	9,9	0,35
4 Cu	30,2	1,03	4 Cr	10,2	1,18
5 Cr	31,2	1,90	5 Fe	10,1	0,44

але й інтенсивною поверхневою дифузією атомів верхнього шару вздовж інтерфейсів.

Фазовий склад плівкової системи Ag/Cu відповідає ГЦК Cu + ГЦК Ag з параметрами ґратки \bar{a} (Cu)=0,360 ± 0,001 нм, \bar{a} (Ag)=0,408 ± 0,001 нм. Шорсткість меж поділу досить висока ($\sigma = 1,32-1,92$ нм).

Таким чином, найбільш стабільними у роботі в температурному інтервалі від 300 до 630 К будуть чутливі елементи, виготовлені на основі Fe і Cr, оскільки має місце збереження фазового складу при високій якості інтерфейсів.

У *третьому підрозділі* проведено апробацію теоретичної моделі провідності двошарових полікристалічних плівок в умовах взаємної дифузії атомів при довільному співвідношенні між товщинами шарів та довжиною вільного пробігу електронів у них.

Згідно з даною моделлю, коефіцієнт об'ємної (D_v), наприклад, для випадку $k_i \gg 1$ та зерномежевої (D_b) дифузії при $\alpha_{0i} \ll 1$ будуть визначатися за співвідношеннями

$$D_{vi} = \frac{d_i^2}{a_{vi}^2 t_D} \frac{\Delta\sigma_i^2}{\sigma_{0i}^2} \left(\frac{3}{8k_i} \right)^{-2}; \quad (4)$$

$$D_{bi} = \left(\frac{4D_{vi}}{\pi t_D \delta_i^2} \right)^{1/2} \left(\frac{d_i \Delta\sigma_i}{\sigma_{0i}} \right)^2 \left(R_{0i} \left(1 - \frac{1 - R_{0i}}{\gamma_{bi} C_{0i}} \right) \frac{2}{3} \alpha_{0i}^{-1} \right)^2. \quad (5)$$

де t_D – час дифузійного відпалювання; d_i – товщина i -го шару; σ_{0i} – провідність необмеженого монокристалічного зразка; $\Delta\sigma_i = \sigma_i(0) - \sigma_i(t_D)$ – зміна провідності полікристалічного шару в результаті дифузійного відпалювання; α_{0i} – зерномежевий параметр за моделлю МШ; k_i – зведена товщина; R_{0i} – ймовірність розсіювання носіїв заряду на межі зерна; β_i – характерна глибина проникнення атомів домішки в i -й шар плівкової системи вздовж міжкристалічної границі; C_{0i} – розподіл атомів домішки; δ_i – дифузійна ширина міжкристалічної межі.

Порівняння результатів розрахунків з даними ВІМС і ОЕС показали, що дана модель може бути використана для прогнозування кінетики розвитку і протікання процесів дифузії у чутливих елементах датчиків температури, деформації і тиску при їх виготовленні і експлуатації в інтервалі робочих температур.

У четвертому підрозділі проведено узагальнення результатів досліджень. Показано, що робочі характеристики датчиків температури, деформації і тиску можуть бути покращеними за рахунок інтерфейсного розсіювання, причому в системах з обмеженою розчинністю компонент (система Cu/Cr) вплив інтерфейсного розсіювання на електрофізичні властивості буде більшим у порівнянні з системами з необмеженою розчинністю компонент (система Fe/Cr).

На основі аналізу структурно-фазового стану, дифузійних процесів та структурної якості інтерфейсу було зроблено висновок, що чутливі елементи на основі Cu і Cr або Ag та Fe і Cr або Cu досить стабільні, оскільки процеси взаємної дифузії атомів не призводять до змін структурно-фазового стану. Найбільша якість інтерфейсів була отримана в системах на основі Fe і Cr.

Проаналізувавши вплив різних фізичних процесів на електрофізичні властивості багатошарових плівкових систем, було показано, що при розробці на їх основі чутливих елементів датчиків температури, деформації і тиску необхідно враховувати таке:

- у терморезистивних властивостях величина ρ залежить від прояву зовнішніх та внутрішніх розмірних ефектів (розсіювання електронів провідності на поверхні (p), межах зерен (r), інтерфейсі (Q), фонах та дефектах);
- температурні ефекти у параметрах λ_0 , p , r і Q ;
- у тензорезистивних властивостях, крім розмірного ефекту, необхідно враховувати деформаційні ефекти, які проявляються у зміні величини λ_0 , p , r та геометричних розмірів плівки.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язана задача стосовно встановлення особливостей фізичних процесів (розмірні ефекти, дифузійні процеси і процеси фазоутворення), їх внеску в електрофізичні властивості (питомий опір, температурний коефіцієнт опору, коефіцієнт тензочутливості) тонкоплівкових структур, які можуть бути використані як чутливі елементи датчиків температури, деформації і тиску та як залежну від цих процесів стабільність їх роботи.

У дисертаційній роботі отримані такі наукові й практичні результати:

1. Розроблена та апробована методика розрахунків та контролю впливу інтерфейсного розсіювання електронів на електрофізичні властивості, суть якої полягає у комплексному вивченні кристалічної

структури, процесу заліковування дефектів, питомого опору, ТКО та КТ:

- встановлено, що у штучно змодельованих двошарових плівкових системах Cu/Cu інтерфейсне розсіювання дає внесок у питомий опір і ТКО в межах (9-21)%, а у величину КТ – (7-11)%;
- у двокомпонентних системах внесок інтерфейсного розсіювання при переході від дво- до чотиришарових систем такий: $\Delta\rho/\rho = 0,30-0,40$ (Cu/Cr); $0,14-0,25$ (Ag/Cu); $0,07-0,16$ (Fe/Cr) та $\Delta\beta/\beta = 0,31-0,38$ (Cu/Cr); $0,11-0,14$ (Ag/Cu) та $0,11-0,15$ (Fe/Cr), що дає можливість покращити робочі характеристики терморезисторів та термодатчиків за рахунок збільшення кількості меж поділу між шарами у тонкоплівковому чутливому елементі.

2. Проаналізоване питання про можливість розділення внеску об'ємного, поверхневого, зерномежевого та інтерфейсного розсіювання електронів у плівковій системі Cu/Cu/Π; отримано, що об'ємне і поверхнєве або зерномежеве розсіювання електронів дають внесок у загальну величину питомого опору на рівні (50-75)% та до 10% відповідно.

3. Запропонована конструкція датчика тиску, чутливим елементом якого є плівкові системи Cu/Cr та Fe/Cr, який може бути використаний для вимірювання форвакууму у вакуумних установках загального типу. Проведені експериментальні дослідження електрофізичних властивостей датчика показали, що він має баричний коефіцієнт опору $\beta_p = (0,12-1,50) \cdot 10^{-3} \text{ Па}^{-1}$ в інтервалі товщин чутливого елемента $d = 50-120$ нм (система [Cu/Cr]_n/Π) та $\beta_p = (0,35-0,50) \cdot 10^{-3} \text{ Па}^{-1}$ в інтервалі товщин $d = 40-80$ нм (система [Fe/Cr]_n/Π) у діапазоні робочих тисків.

4. Дослідження структурно-фазового стану двошарових плівок Cu/Cr, Fe/Cu, Fe/Cr та Ag/Cu як складових чутливих елементів датчиків методами електронної мікроскопії, електронографії, рентгенографії, рентгенівської рефлектометрії та вторинно-іонної мас-спектрометрії показали наступне:

- у системах на основі Cu і Cr та Fe і Cu у невідпаленому чи відпаленому до 700 К стані має місце збереження індивідуальності окремих шарів, тому їх можна розглядати як біпластини, що дозволяє зробити висновок про можливість використання плівкових систем на основі Cu і Cr або Fe як чутливих елементів датчиків з великим ресурсом роботи при температурах до 700 К;
- плівкова система Fe/Cr/Π відповідає умові гомогенності, оскільки в ній вже в процесі конденсації утворюється по всьому об'єму зразка твердий розчин (Fe, Cr); фазовий стан системи не змінюється при

термовідпалюванні до 700 К, що також дає можливості її практичного застосування;

- стабільність інтерфейсів (тобто збереження індивідуальності окремих шарів), від яких залежить стабільність роботи датчиків, повною мірою визначається дифузійними процесами, які контролюються в першу чергу конденсаційно-стимульованою, а в другу чергу – термодифузією.

5. Методом рентгенівської рефлектометрії встановлено, що відносно низька шорсткість інтерфейсів має місце у плівкових системах на основі Fe і Cr із високою взаємною розчинністю атомів ($\sigma \cong 0,35 - 0,98$ нм), в той час як у випадку систем із низькою взаємною розчинністю атомів шорсткість інтерфейсів значно більша ($\sigma \cong 0,58 - 1,53$ нм для системи Cu/Cr/П та $\sigma \cong 0,12 - 2,50$ нм – Fe/Cu/П); згладжування інтерфейсів у першому випадку можна пояснити не тільки зерномежевою, але й інтенсивною поверхневою дифузією атомів верхнього шару вздовж інтерфейсів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Проценко С.І. Структура, дифузійні процеси і магніторезистивні та електрофізичні властивості плівкових матеріалів / С.І. Проценко, І.В. Чешко, Л.В. Однорець, І.М. Пазуха [За заг. ред. І.Ю. Проценка]. – С.: Наукове видання СумДУ, 2008. – 197 с. – ISBN 978-966-657-156-7.

Здобувачем було підготовлено 1 підрозділ із 5-ти розділу 1, 1 підрозділ із 3-х розділу 3, здійснено відбір та аналіз літературних джерел.

2. Пазуха І.М. Вплив інтерфейсного розсіювання на електрофізичні властивості плівкових матеріалів / [І.М. Пазуха, С.І. Проценко] // Вісник СумДУ. Серія: Фізика, математика, механіка. – 2005. – № 8(80). – С. 148 – 153.

Здобувач провела дослідження впливу інтерфейсного розсіювання на електрофізичні властивості плівкових матеріалів, підготувала текст статті.

3. Dekhtyaruk L.V. Procedure for estimating the contribution of interface scattering of electrons to the specific resistance and the temperature coefficient of resistance of films / [L.V. Dekhtyaruk, І.М. Pazukha, I.Yu. Protsenko] // Ukr. J. Phys. – 2006. – V. 51, №7. – P. 728-732.

Здобувачем здійснено відбір літературних джерел, проведено експериментальні дослідження структурно-фазового стану та

електрофізичних властивостей плівкових систем зі штучно змодельованою межею поділу на основі Си.

4. Дехтярук Л.В. Проводимость двухслойных моно- и поликристаллических слоев металла в условиях взаимной диффузии / [Л.В. Дехтярук, С.И. Проценко, И.В. Чешко, И.М. Пазуха] // ФТТ. – 2006. – Т.48, Вып. 10. – С. 1729-1739.

Здобувачем було проведено комп'ютерне моделювання та підбір літературних джерел.

5. Проценко С.І. Структурно-фазовий стан, стабільність інтерфейсів та електрофізичні властивості двошарових плівкових систем / [С.І. Проценко, І.В. Чешко, Д.В. Великодний, О.В. Синашенко, Л.В. Однорець, І.М. Пазуха, І.Ю. Проценко] // Успехи физ. мет. – 2007. –Т.8, №4. – С. 247-278.

Здобувачем були проведені електронографічні та рефлектометричні дослідження, порівняння результатів дослідження електрофізичних властивостей з розрахунковими для систем Си/Cr та Fe/Cr, зроблено аналіз отриманих даних та підготовлено підрозділи, що стосуються зазначених матеріалів.

6. Пазуха І.М. Чутливі елементи датчика тиску на основі плівок Cr і Си або Fe / [І.М. Пазуха, І.Ю. Проценко] // Вісник СумДУ. Серія: Фізика, математика, механіка. – 2008. – №2. – С.82-87.

Здобувачем було проведено дослідження робочих характеристик датчика тиску на основі систем Fe/Cr та Си/Cr, аналіз процесів дифузії і фазоутворення на межі поділу шарів і проблему стабільності інтерфейсів, підготовлено текст статті.

7. Однорець Л.В. Структурно-фазовий стан і стабільність інтерфейсів двошарових плівкових систем / [Л.В. Однорець, С.І. Проценко, І.М. Пазуха, В.А. Соломаха, І.В. Чешко] // Наноматериалы. Том 2. Сборник докладов Харьковской нанотехнологической Ассамблеи. – Х.: ХФТИ, 2008. – С.55 – 63.

Здобувачем було проведено дослідження процесів фазоутворення і електрофізичних властивостей плівкових систем на основі Си і Cr або Fe та підготувала підрозділ, що стосується зазначених матеріалів.

8. Бібик В.В. Дифузія і фазоутворення в нанокристалічних плівкових системах на основі Со і Си та Fe і Cr / [В.В. Бібик, І.М. Пазуха, І.Ю. Проценко] // Наноматериалы. Том 2. Сборник докладов Харьковской нанотехнологической Ассамблеи. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2008. – С. 219-226.

Здобувач виконала дослідження процесів фазоутворення в нанокристалічних плівкових системах на основі Fe і Cr та підготувала підрозділ, що стосується зазначених матеріалів.

9. Григоренко О.В. Методика визначення внеску інтерфейсного розсіювання електронів у ТКО двошарової плівкової системи / [О.В. Григоренко, І.М. Пазуха] // Тези доповідей науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фізико-технічного факультету (Суми, 18-29 квітня, 2005). – С. 111.

Здобувач запропонувала методику визначення внеску інтерфейсного розсіювання електронів у ТКО двошарової системи та підготовлено текст доповіді.

10. Великодний Д. Вплив деформації та термообробки на електрофізичні властивості багатошарових плівкових систем / [Д. Великодний, І. Пазуха, С. Проценко, І. Чешко] // Збірник тез Всеукраїнської конференції [ЕВРИКА-2006], (Львів, 15-17 травня 2006 р.). – С. 185.

Здобувачем було проведено дослідження електрофізичних властивостей плівкових систем на основі Cu і Cr в умовах термообробки.

11. Бритова А.Б. Методика визначення впливу зовнішніх і внутрішніх меж поділу на параметри електроперенесення та електрофізичні властивості плівкових матеріалів / [А.Б. Бритова, І.М. Пазуха, І.Ю. Проценко] // Матеріали XI Міжнародної конференції [«Фізика і технологія тонких плівок та наносистем»], (Івано-Франківськ, 7-12 травня 2007 р.). – С. 80-81.

Здобувачем запропоновано методику визначення впливу зовнішніх та внутрішніх меж поділу на параметри електроперенесення, підготовлено текст доповіді.

12. Майкова Є. Структура і електрофізичні властивості двошарових плівок $Co/(Au, Ag, Cu)$ та Cu/Cr / [Є. Майкова, С.І. Проценко, І.М. Пазуха, І.Ю. Проценко, І.В. Чешко] // Тези конференції [НАНСИС 2007], (Київ, 21-23 листопада 2007 р.). – С. 372.

Здобувачем досліджено електрофізичні властивості плівкових систем на основі Cu і Cr .

13. Velykodnyj D. Influence of interface scattering on electrophysical properties multilayer film systems / [D. Velykodnyj, M. Marszalek, І. Pazukha, I. Protsenko, O. Synashenko] // Матеріали 8-ї Міжнародної конференції [«Фізичні явища в твердих тілах»], (Харків, 11-13 грудня 2007 р.). – С. 80.

Здобувачем проведено дослідження впливу інтерфейсного розсіювання на електрофізичні властивості плівкових систем на основі Cu і Cr .

14. Синашенко О.В. Кореляція між структурно-фазовим станом і електрофізичними властивостями плівкових матеріалів із спін-залежним розсіюванням електронів / [О.В. Синашенко, І.М. Пазуха, С.І Проценко, І.В. Чешко] // Матеріали Міжнародної конференції [“Сучасні проблеми фізики твердого тіла”], (Київ, 8-11 жовтня 2007 р.). – С. 158.

Здобувачем були отримані експериментальні дані методом електронної мікроскопії та електронографії, проведені дослідження електрофізичних властивостей, здійснено їх аналіз.

15. Єлізаренко Д.К. Вивчення електрофізичних властивостей плівкових систем на основі Ag і Cu / [Д.К. Єлізаренко, І.М. Пазуха] // Тези доповідей науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фізико-технічного факультету (Суми, 21-24 квітня 2008 р.). – С. 94-95.

Здобувачем досліджено особливості електрофізичних властивостей плівкових систем на основі Cu і Ag, підготовлено текст доповіді.

16. Synashenko O. AES studies of diffusion processes in Cu/Fe multilayers / [O. Synashenko, Y. Zabala, M. Marszalek, K. Marszalek, I. Pazukha, I. Protsenko] // Book of Abstracts of XLII Zakopane School of Physics (Krakow, 19-24 May 2008). – P.43.

Здобувачем було проведено обробку результатів досліджень дифузійних процесів у системі Fe/Cu.

АНОТАЦІЯ

Пазуха І.М. Фізичні процеси в чутливих елементах датчиків температури, деформації і тиску. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів елементів і систем. – Сумський державний університет, Суми, 2009.

Дисертація присвячена встановленню особливостей фізичних процесів у багатошарових плівкових системах на основі Cu і Cr або Ag та Fe і Cr або Cu, які можуть бути використані як чутливі елементи датчиків температури, деформації і тиску.

Запропонована методика оцінки внеску інтерфейсного розсіювання електронів у загальну величину питомого опору, температурного коефіцієнту опору (ТКО) і коефіцієнта тензочутливості (КТ). Розраховано внесок об'ємного, поверхневого, зерномежевого та інтерфейсного розсіювання електронів у загальну величину ТКО та КТ і зроблено розрахунок статистичної ваги кожного з цих механізмів розсіювання електронів. Показано, що робочі

характеристики чутливих елементів датчиків температури, деформації і тиску можуть бути покращені за рахунок інтерфейсного розсіювання. Проаналізовано особливості процесів дифузії та фазоутворення у двошарових плівкових системах, компоненти яких мають різну взаємну розчинність, і вивчено проблему стабільності інтерфейсів.

Ключові слова: датчики температури, деформації і тиску, багатшарові плівки, термічний коефіцієнт опору, коефіцієнт тензочутливості, інтерфейсне розсіювання.

АННОТАЦИЯ

Пазуха И.М. Физические процессы в чувствительных элементах датчиков температуры, деформации и давления.– Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – физика приборов, элементов и систем. – Сумский государственный университет, Сумы, 2009.

Диссертация посвящена изучению особенности физических процессов в многослойных пленочных системах на основе Cu и Cr или Ag, Fe и Cr или Cu, которые могут быть использованы как чувствительные элементы датчиков температуры, деформации и давления.

Проведен анализ влияния физических процессов на электрофизические свойства чувствительных элементов датчиков температуры, деформации и давления. Показано, что величина удельного сопротивления многослойных пленочных систем при термообработке и деформации зависит от действия, которое оказывают внешний и внутренний размерные эффекты. Среди процессов, связанных с электронным транспортом в тонкопленочных образцах, наименее изученным является интерфейсное рассеяние. В связи с этим была предложена методика, которая позволила не только определить вклад данного механизма в величину удельного сопротивления, ТКО, КТ, но и показать, что рабочие характеристики термо- и тензорезисторов могут быть улучшены за счет увеличения количества границ раздела. Показано, что стабильность работы датчиков неэлектрических величин в значительной степени зависит от процессов фазообразования и взаимной диффузии атомов. Методом рентгеновской рефлектометрии проведен анализ стабильности границ раздела для образцов, компоненты которых имеют различную взаимную растворимость. Установлено, что в системе Fe/Cr, в которой уже на стадии конденсации происходит образование твердого раствора

по всему объему пленки, интерфейс более гладкий ($\sigma \cong 0,35 - 0,98$ нм) по сравнению с системой Cu/Cr ($\sigma \cong 0,58-1,53$ нм), в которой сохраняется индивидуальность отдельных слоев.

Ключевые слова: датчики температуры, деформации и давления, многослойные пленки, температурный коэффициент сопротивления, коэффициент тензочувствительности, интерфейсное рассеивание.

SUMMARY

Pazukha I.M. Physical processes in sensing element of temperature, strain and pressure sensors. – Manuscript.

Thesis for a Doctor of philosophy degree (Ph. D.) in physics and mathematics on specialty 01.04.01 – Physics of equipments, elements and systems. – Sumy State University, Sumy, 2009.

The dissertation is devoted to features of physical properties in multilayer film systems on the base of Cu and Cr or Ag, Fe and Cr or Cu, which can use as temperature, gauge and pressure sensors sensing elements.

The method of estimation interface scattering contribution in resistivity, temperature coefficient of resistance (TCR) and gauge factor total value was proposed. Contribution of volume, surface, grain boundary and interface electron scattering contribution in TCR and gauge factor was calculated. Appear that working characteristics of temperature, gauge and pressure sensing elements can be improved at the expense of interface scattering. Features of diffusion processes and phase state in double-layered thin film systems, which components have different mutual solubility, and problem of interface stability was studied.

Key words: temperature, gauge and pressure sensors, multilayer film systems, temperature coefficient of resistance, gauge factor, interface scattering.

Підп. до друку 25.03.2009
Обл.- вид. арк. 0,9.
Наклад 100 пр.
Ум. друк. арк. 1,1.
Замовлення №

Формат 60×90/16.
Папір ксероксний.
Гарнітура Times New Roman Суг.
Друк офсетний.

Вид-во СумДУ. 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.
Свідотство ДК № 3062 від 17.12.2007р.
Друкарня СумДУ. 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.