

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Дідоборець Олександр Йосипович

УДК 538.911

**ВПЛИВ КАТІОННОЇ НЕСТЕХІОМЕТРІЇ ТА СТРУКТУРНОЇ НЕВПОРЯДКОВАНOSTI
КИСНЮ В ЕПІТАКСІАЛЬНИХ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ПЛІВКАХ НА НАДЛИШКОВИЙ ШУМ
НОРМАЛЬНОЇ ФАЗИ**

01.04.07 - Фізика твердого тіла

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Дніпропетровськ - 2002

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Дніпропетровському державному аграрному університеті
Міністерства аграрної політики України

Науковий керівник - доктор фізико-математичних наук

Бобиль Олександр Васильович,
С.Петербурзький державний технічний університет,
професор кафедри фізики твердого тіла.

Офіційні опоненти - доктор фізико-математичних наук, професор

Кудзін Аркадій Юрійович,
Дніпропетровський національний університет,
професор кафедри фізики твердого тіла;

доктор фізико-математичних наук, професор
Руденко Едуард Михайлович,
Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова Національної
Академії наук України, завідувач відділу
надпровідникової електроніки.

Провідна установа - Інститут Фізики Національної Академії наук України.

Захист відбудеться "20" грудня 2002р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.051.02 по захисту дисертацій при Дніпропетровському національному університеті за адресою: 49050, м. Дніпропетровськ-50, пров.Науковий, 13.

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Дніпропетровського національного університету.

Автореферат розісланий "19" листопада 2002 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Спірідонова І.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Використання високотемпературних надпровідникових (ВТНП) плівок в мікро- та НВЧ електроніці є достатньо перспективним. Так, застосування ВТНП плівок як чутливих елементів у мікроболометрах антенного типу дозволяє суттєво збільшити коефіцієнт перетворення потужності випромінювання у сигнал, досягти пікосекундної швидкодії, підвищити ефективність антени за рахунок зменшення опору при охолодженні. Але вже в перших працях по дослідженню шумів антенних мікроболометрів на основі плівок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ спостерігали велике значення шумового параметру Хоуге (a), що перевищувало на 2 – 3 порядки його величини для простих металів. Високий рівень фліккер-шуму (ФШ) свідчить про відносно швидку деградацію параметрів плівок і вказує на наявність значної концентрації метастабільних дефектів структури. Як відомо, для діапазонів робочих частот та температур ВТНП мікроелектроніки переважаючими джерелами ФШ є переходи атомів кисню у базовій CuO - площині структури $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ поблизу дефектів, обумовлених наявністю флуктуацій внутрішніх деформацій та катіонної нестехіометрії.

Тому експериментальне та теоретичне дослідження кореляцій між стехіометричним складом, структурним розподілом кисню у базовій площині і електрофізичними властивостями епітаксіальних плівок на основі матеріалу $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, а також відповідне вдосконалення технології їх виготовлення з метою суттєвого зниження рівня ФШ є актуальним для фізики та електроніки твердого тіла.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Робота відповідає плану держбюджетної тематики кафедри фізики Дніпропетровського державного аграрного університету і виконувалась в розділі теми НАН України: “Вивчення закономірностей формування тонкоплівкових багаточарових надпровідникових структур кріоелектроніки та дослідження нерівноважних і нестационарних процесів у них”, № Держреєстрації 0197U004370 (1997-2000pp).

Мета і завдання досліджень. Метою даної роботи є виявлення кореляцій між стехіометричним складом, структурними дефектами та електрофізичними і шумовими властивостями епітаксіальних $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ плівок для оцінки досягнутого рівня технології плівок, контролю їх якості та визначення потенціальних можливостей застосування їх у приладах ВТНП мікроелектроніки.

Використання інтенсивності фліккер-шуму для контролю технології росту епітаксіальних плівок ітрій-барієвого купрату і створення планарних мікроболометрів антенного типу з низьким рівнем шуму.

Для досягнення поставленої мети передбачалось виконання таких завдань:

- Виконати комплексні локальні дослідження $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ плівок, нанесених на різні підкладки, різними технологіями.

- З'ясувати кореляції між інтенсивністю ФШ, величиною критичної температури T_c , струму j_c та локального катіонного складу плівки з застосуванням діаграми потрійних катіонних станів.

- Розробити мікромоделі катіонних дефектів, які можливо використовувати для реконструкції дефектів, що спостерігаються на зображеннях електронної мікроскопії.

- Виконати комп'ютерне моделювання методом Монте-Карло просторових розподілів атомів кисню CuO -площини і розрахунки енергій бар'єру їх переходу (спектрів дефектів-флуктуаторів - ДФ) у найближчі вузли решітки в залежності від конфігурації розташування сусідніх атомів кисню, від режимів післяростових термообробок (стартової та кінцевої температур, швидкості зміни температури), від ступеня заповнення киснем CuO - площини, від наявності одноосьової деформації і блоковості епітаксialьних плівок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$.

- Розробити теоретичні методики розрахунку температурних і частотних залежностей інтенсивності ФШ нормальної фази на основі використання спектрів ДФ.

Об'єктом дослідження є структурні дефекти епітаксialьних ВТНП плівок ітрій-барієвого купрату і їх вплив на основні електрофізичні характеристики нормальної фази поблизу температури надпровідного переходу.

Предметом дослідження є точкові дефекти-флуктуатори (джерела ФШ у робочому діапазоні частот мікроболометричних приладів), що виникають внаслідок порушення впорядкованості атомів кисню у базовій CuO -площині плівок даного складу.

Для досягнення зазначеної мети були використані наступні методи:

- Комплекс експериментальних засобів локальних досліджень, який вміщував вивчення розподілу у просторі стехіометричних та структурних дефектів епітаксialьних $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ плівок (за допомогою рентгенодифракційного аналізу та рентгеноспектрального мікроаналізу, електронної мікроскопії, термо-ЕРС) і дослідження електрофізичних властивостей (провідності, інтенсивності та спектру ФШ, критичного струму та температури переходу у надпровідний стан).

- Застосування експериментальних засобів локальних досліджень для плівок ітрій-барієвого купрату, нанесених на різні підкладки з використанням різних технологій.

- Застосування комп'ютерного моделювання методом Монте-Карло розподілу ДФ у CuO -площині та їх розподілу по енергіям з урахуванням наявності деформації та блокової структури.

- Розрахунком температурних та частотних залежностей інтенсивності ФШ нормальної фази шляхом використання отриманого автором спектрального розподілу ДФ при різних режимах термічної обробки плівок.

- Вивченням механізмів катіонного дефектоутворення шляхом використання отриманого розподілу катіонного складу, значень температури переходу у надпровідний стан (T_c), критичного струму (j_c) та параметру Хоуге на фазовій потрійній діаграмі катіонних станів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- Вперше методом комплексних локальних досліджень структурних та шумових властивостей епітаксіальних $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ плівок на потрійній фазовій діаграмі катіонних станів, поблизу складу (123), були знайдені два розрізи з максимальними температурами T_c (вздовж ліній (123)-(110) і (123)-(105)) та два розрізи з мінімальними T_c (вздовж ліній (123)-(202) і (123)-(011)) і розроблена модель катіонного дефектоутворення, що описує як область гомогенних складів, так і область значних відхилень від стехіометрії, яким вже відповідає фазове розшарування плівок.
- Вперше моделюванням процесів формування епітаксіальних плівок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ встановлено залежність інтенсивності шуму та його спектру від структурної якості плівок.
- Встановлено, що поблизу границь доменів розташовані кисневі ДФ, які мають найменшу енергію активації.
- Встановлено, що для високоякісних епітаксіальних плівок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ основними джерелами шуму є точкові дефекти, енергія бар'єру яких складає 0,3-0,9еВ, та дефекти поблизу границь блоків з енергією $< 0,5\text{eV}$.

Практичне значення отриманих результатів полягає:

- У розробці методики оцінки похибки локального рентгеноспектрального мікроаналізу для визначення стехіометричного складу плівок даного типу.
- У створенні комп'ютерних програм для розрахунків спектрального розподілу ДФ з використанням методу Монте-Карло, при різних режимах термічного формування плівок, з урахуванням їх деформацій та блокової структури.
- У з'ясуванні можливості використання інтенсивності і спектру ФШ для контролю технології росту епітаксіальних плівок даного типу, їх термічної обробки з метою створення планарних мікроболометричних пристроїв антенного типу з низьким рівнем шуму.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці методики і програм комп'ютерного моделювання процесів структурного упорядкування атомів кисню у базовій CuO -площині епітаксіальних $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ плівок під час їх термічної обробки, при наявності деформації і блокової мікроструктури, розрахунках спектрів ДФ і ФШ на основі результатів моделювання та співставлення їх з експериментальними результатами [3-6]; участі у виконанні експериментальних комплексних досліджень структурних і електрофізичних властивостей плівок та комп'ютерній обробці отриманих результатів [1,2]; визначенні оптимальних технологічних режимів росту, термічної обробки, травлення плівок для застосування їх в антенних мікроболометрах [7-10]; участі в узагальненні, аналізі та обговоренні результатів.

Внески співавторів:

Бобилію О.В. належать постановка задачі дисертаційної роботи та розробка методики комплексних локальних досліджень.

Сурісу Р.А. належить узагальнення механізму катіонного дефектоутворення, розрахунки моделі потенціалу ДФ CuO-площини.

Морозову О.І. належить участь у розробці методики моделювання процесів структурного упорядковування атомів кисню у базовій площині.

Карманенко С.Ф., Леонову В.Н. і Хребтову І.А. належить розробка технології виготовлення смужкових мікроболометрів антенного типу на основі плівок ітрій-барієвого купрату.

Внесок інших співавторів полягає в участі в отриманні експериментальних результатів

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались і обговорювались на 14 і 15 Міжнародних конференціях “Noise in Physical System and 1/f Fluctuations”(Leuven, 1997; Hong Kong, 1999), Першій міжнародній школі “Nucleation and Non-Linear Problems in the First-Order Phase Transitions” (С. Петербург, 1998).

Публікації. Основні наукові результати, які включені до дисертації, надруковані у 10 статтях і матеріалах конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, трьох додатків та списку літератури із 200 найменувань. Загальний об’єм дисертації складає 146 сторінок, з яких 103 сторінки друкованого тексту, 34 малюнки та 5 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обґрунтована актуальність проблеми, сформульовані мета роботи, об'єкт і предмет дослідження, перелік використаних методів, обґрунтовується наукова новизна отриманих результатів, що виносяться на захист, та їх практичне значення.

У першому розділі роботи проведено аналітичний огляд літературних джерел, які містять інформацію про вплив структурної впорядкованості атомів кисню у базовій площині $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ на електрофізичні властивості даних ВТНП кристалів і плівок. Проведено аналіз методик локальних досліджень, присвячених з'ясуванню та теоретичному обґрунтуванню існування кореляції між структурними параметрами та значеннями провідності, інтенсивності шуму нормальної фази епітаксіальних плівок даного типу. Зокрема, експериментально встановлена наявність сильної кореляції між величиною середньоквадратичних флуктуацій внутрішніх мікронапруг $\langle \varepsilon \rangle = \{ \langle (\delta c/c)^2 \rangle \}^{1/2}$ (де c -параметр ґратки) та інтенсивністю ФШ, для виміру якого звичайно використовують безрозмірний параметр Хоуге – α (рис.1).

Огляд пропонує моделі свідчить про те, що джерелами шуму нормальної фази – дефектами-флуктуаторами (ДФ) плівок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ в актуальному для мікроелектроніки діапазоні частот є атоми кисню CuO -площини, які здійснюють термоактивовані переходи через бар'єри (з $E \sim 1,4\text{eV}$) між мінімумами двоямного потенціалу, розташованими між найближчими заповненим і вільним вузлами ланцюжкових кисневих субґраток. Потенціал останнього вище першого на величину ($\Delta E \sim 0,25\text{eV}$). Вважається, що в лінійному випадку ці енергії залежать від локальних значень деформації ґратки, концентрацій катіонних та кисневих дефектів.

Незважаючи на достатньо інтенсивні дослідження електрофізичних властивостей ВТНП епітаксіальних плівок на основі сполуки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, постає ряд нерозв'язаних проблем, а саме:

- Не встановлено кореляції між інтенсивністю фліккер-шуму (ФШ), величиною критичної температури і струму, і локального катіонного складу плівок.
- Не розроблено мікромоделі катіонних дефектів.
- Недостатньо досліджено локальні кореляції між катіонним та кисневим складом.
- Не з'ясовано вплив просторового розподілу атомів кисню у CuO -площині, на спектри ДФ та експериментальні спектри ФШ.

- Не досліджено вплив режимів термічної обробки, наявності одноосних деформацій на структурну впорядкованість у CuO -площині і на спектри ДФ для сполук близьких до $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$.

- Відсутні розрахунки спектрів ДФ, які враховують блокову структуру епітаксialьних плівок і не встановлені границі областей з найбільш інтенсивними джерелами фліккер-шуму на f - T -площині.

В кінці розділу сформульована постановка задачі.

Розділ II присвячено: 1) визначенню залежності величини похибки рентгеноспектрального мікроаналізу від параметрів досліджуваних епітаксialьних $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ плівок (тип атома, товщина плівки, технологія її росту), 2) виявленню кореляцій між інтенсивністю ФШ, величиною критичної температури T_c , струму j_c і локального катіонного складу плівки з використанням діаграми потрійних катіонних станів, а також 3) розробці мікромоделей катіонних дефектів, що були використані для реконструкції дефектів, які спостерігаються на зображеннях електронної мікроскопії.

У розділі 2.1 наведено результати попередньої оцінки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ плівок для добору зразків, необхідних для виконання задачі, наведено параметри використаних методик і апаратури, обґрунтовано можливість застосування рентгеноспектрального мікроаналізу для проведення комплексних локальних досліджень складу і електрофізичних властивостей плівок. Розроблений підхід включає наступні етапи:

- Визначено параметри функції генерації рентгенівського випромінювання $\varphi_i(\rho_z)$ і оцінено їхні похибки шляхом використання рівняння Н.Нідриг для коефіцієнта зворотного розсіювання і моделі ефективного атомного номера Z_{eff} системи плівка-підкладка у випадку тонкої плівки $t < R_i$ (t і R_i - її товщина і глибина генерації електронів i -их аналізованих атомів, відповідно).

- Проведено рентгеноспектральні дослідження об'ємних $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ кристалів ($t > R_i$), результати яких використовуються далі при проведенні кількісного мікроаналізу плівок у якості еталонних.

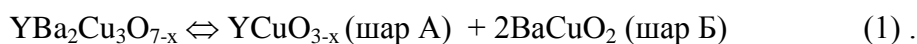
- Визначено похибки мікроаналізу на підставі досліджень залежності рентгеноспектральних даних від величини енергії збуджуючих електронів і товщини плівок. Відносні величини похибок були не більш 0,3, 1,0, 2,0 і 4,0 % для атомів Y, Ba, Cu і O, відповідно.

- Використана спеціальна комп'ютерна програма для керування процедурою визначення мікро складу великого масиву точок плівки (> 300) із просторовою розрізняючою здатністю 2 мкм. При цьому похибка визначення відносних просторових змін складу була приблизно у три рази менше зазначених вище.

Приклад комплексних локальних досліджень складу і величини критичної температури T_c показано на рис. 2.

Рис.2. T_c карта 50×500 мкм² смужки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ плівки на MgO підкладці (а). Стрілка і лінія на (а) указує шлях, уздовж якого визначався просторовий розподіл мікроскладу (б) із кроком 2 мкм; криві на (б) зміщені: вгору на 0,15 для Y і вниз на 0,3 для Cu. Значення $K_i = 1,0$ відповідають стехіометричному складу (123)

На початку розділу 2.2 на підставі дослідження локальних кореляцій між катіонними і кисневими складами, а також двошарової моделі елементарного фрагменту $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ґратки обґрунтовано принципову можливість використання потрібної діаграми катіонних станів при аналізі результатів вимірів. З хімічної точки зору двошарова модель заснована на реакції



Вона дозволяє розглядати елементарний фрагмент як сукупність слабкозв'язаних фрагментів, оскільки енергія кулонівської міжшарової взаємодії найближчих фрагментів дорівнює $\sim 3\%$ від енергії взаємодії між атомами в іонних з'єднаннях типу NaCl . Ці фрагменти були використані в якості стійких елементарних утворень при описуванні нестехіометричних гомогенних станів плівки. Залежність величини T_c від положення точки складу на потрібній діаграмі катіонних станів показана на рис.3.

Рис.3. Величини локальних T_c на діаграмі катіонних станів $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ плівок на MgO і LaAlO_3 підкладках - великий і малий прямокутник, відповідно. Позначено головні напрямки діаграми. Дужки $\langle \rangle$ вказують на те, що склад є гіпотетичним

По початку різкої залежності величини T_c , що виникає в міру збільшення нестехіометрії, оцінено інтервали гомогенних складів $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ плівок. З рис.3 видно, що на потрібній фазовій діаграмі станів катіонних окислів мають місце два розрізи з мінімальними T_c уздовж ліній $(123) \rightarrow (202)$ і $(123) \rightarrow (011)$ і два розрізи з максимальними T_c уздовж ліній $(123) \rightarrow (110)$ і $(123) \rightarrow (105)$, у напрямку яких спостерігаються мінімальні і максимальні інтервали гомогенності, відповідно.

Далі в розділі 2.3 досліджено залежність інтенсивності шуму від положення точки складу на потрібній діаграмі катіонних станів. Показано, що в зразках зі складами, близькими до розрізів максимальних T_c основними джерелами шуму є стрибки кисню між позиціями PPO1 і PPO5 , а в зразках зі складами, близькими до розрізів мінімальних T_c - ці стрибки локалізовані в місцях розриву кисневих ланцюжків. Аналізом залежностей інтенсивності шуму від величини катіонної нестехіометрії, проведений з використанням відомих з літературних джерел теоретичних виразів, доведено, що основною ознакою, що характеризує вплив катіонного безладдя на масштаб мікронапруг, є тип розрізу, поблизу якого розташовується склад зразка, а основним кількісним параметром - величина відхилення від стехіометричного складу на діаграмі катіонних станів.

У розділі 2.4 описано комплексні локальні виміри, виконані з використанням магнітооптичної методики, рентгеноспектрального мікроаналізу і T_c картографування. Досліджено кореляції між величинами критичної температури T_c , критичного струму j_c і катіонного складу плівок поблизу одного з розрізів максимальних T_c , а саме уздовж $(123) \rightarrow (105)$. Показано, що відхилення від сте-

хіометричного складу приводить до зменшення як T_c , так і j_c . При цьому виконується скейлінгове співвідношення

$$1 - j_c(T) / j_{cmax}(T) \propto (1 - T_c / T_{cmax})^\nu, \quad (2)$$

де j_{cmax} , T_{cmax} - максимальні значення, що спостерігаються поблизу стехіометричного складу (123), показник $\nu \approx 0,7$ і не залежить від температури. Наприкінці розділу обговорено причини, що обмежують величину критичного струму неоднорідних блокових надпровідникових плівок, найбільш ймовірною з яких є мала енергія зв'язку вихорів на міжблокових границях.

У розділі 2.5 проаналізовано особливості катіонного дефектоутворення в плівках у залежності від місця розміщення їх складу на потрійній діаграмі катіонних станів як у межах області гомогенних складів, так і в області їх фазового розшарування. Аналіз, заснований на наявності різних варіантів катіонних взаємозаміщень, проведено з використанням описаної вище двошарової моделі. Розглянуто 6 сегментів потрійної діаграми катіонних станів, що відрізняються надлишком катіонів одного типу і недостачею катіонів іншого типу. Наприклад, у сегменті +Cu/-Ba переважають атоми міді на місцях барію Cu_{Ba} і вакансії атомів барію V_{Ba}^{2+} . Наприкінці розділу наведено результати дослідження зображень зразків плівок $YBa_2Cu_3O_7$, отриманих електронним мікроскопом, запропоновано класифікацію дефектів, що спостерігаються на цих зображеннях, і проведено реконструкцію мікромоделі деяких лінійних і планарних мікрodefektів.

Розділ III присвячено: 1) комп'ютерному моделюванню методом Монте-Карло просторових розподілів атомів кисню по CuO-площині і розрахункам енергій бар'єру їх переходу (спектру ДФ) у найближчі вузли ґраток, що залежить від наявності і конфігурації розташування сусідніх атомів кисню. 2) Описано залежності спектрів ДФ від режимів модельних термообробок (стартової і кінцевої температур, швидкості термообробки), дефіциту кисню при наявності одноосової деформації, а також з урахуванням блокової структури плівок $YBa_2Cu_3O_7$. 3) Проведено співставлення результатів моделювання з результатами шумових вимірів і виявлені переважаючі джерела шуму на площині частота-температура (f - T - площина).

У розділі 3.1 описано процедуру Монте-Карло моделювання і вибору параметрів комп'ютерних розрахунків. Розподіл атомів кисню на CuO-площині було отримано за стандартною схемою Метрополіса в рамках так званої моделі ANNNI, що враховує взаємодії найближчих атомів кисню: 1) взаємодії, що притягає, V_2 ($\sim 0,30$ eV), яка зумовлена ковалентним зв'язком атомів кисню через орбіталі розташованого між ними атома міді і 2) відштовхувальних взаємодій V_1 ($\sim 0,35$ eV) і V_3 ($\sim 0,05$ eV) атомів кисню, розташованих у середині суміжних і протилежних ребер квадрату субреши́тки міді, відповідно (див. рис.4.).

У цьому розділі наведено аналітичні вирази, які використано для опису процесу термообробки і обчислення енергії активації переходів атомів між вузлами ґраток. У додатку наведено блок-схему комп'ютерної програми розрахунку. У розділі обґрунтовано кроки по розвитку методики Монте-Карло моделювання з метою опису реальних зразків і врахування умов росту плівок, описано результати пробних розрахунків, проведено їхнє попереднє співставлення з експериментальними результатами.

У розділі 3.2 досліджено вплив одноосьових деформацій (P) на просторові розподіли кисню і спектри ДФ для складів, близьких до $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. Відстань між вузлами, наприклад 0 і 1, для P уздовж x виражається через P у такий спосіб

$$r_{01} = a/2 ((1+P)^2 + 1)^{1/2}, \quad (3)$$

де a - відстань між найближчими кисневими вузлами. Для визначення величин деформаційних змін потенціалів взаємодій використано експонентну форму їх залежності від відстані, а радіус екранування вважався рівним $1,6 \text{ \AA}^0$. Показано, що деформаційні зміни V_2 мають той же знак, що і зміни V_1, V_3 . Саме ця умова забезпечує одержання в результаті розрахунків орієнтації кисневих ланцюжків у перпендикулярному напрямку до осі деформації, що відповідає експериментам по монодомінізації тиском кристалів $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$.

Далі дається аналіз отриманих автором результатів модельних термообробок для $P=0,00-0,05$. Встановлено, що максимальні значення P відповідають характерним деформаціям ($\sim 1-10\%$) плівок, нанесених на підкладки, що звичайно використовуються, і цілком достатні для виявлення впливу деформації на доменну і дефектну структуру плівок. На підставі аналізу залежностей сумарної енергії взаємодії атомів кисню від кінетики температурної обробки, від величини стартової температури встановлено існування трьох принципово різних груп технологічних режимів, що відповідають: (1) рівноважним фазовим флуктуаціям і мінімальній кількості метастабільних дефектів після термообробки, (2) і (3) квазіізотермічним обробкам (швидким релаксаціям), які приводять до наявності великої кількості метастабільних точкових дефектів (при $P \neq 0$) і утворенню двійників (при $P=0$), відповідно. Саме останні два режими близькі до реальних умов одержання епітаксціальних плівок і кристалів $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. При $P=0$ термообробка з низькою стартовою температурою приводить до виникнення полідоменних розподілів. Орієнтація доменних границь залежить від концентрації кисню: при локальній нестачі кисню виникають 90-градусні (стосовно a -осі) двійникові границі, а при його надлишку - 45-градусні границі. На границях цих доменів локалізовані ДФ, що мають найнижчу енергію активації. Показано, що основними факторами, які визначають характер розподілу кисню по CuO -площині, спектр ДФ і, отже, частотні та температурні залежності інтенсивності ФШ, є нестационарність росту й термообробки плівок, а також наявність деформації, що виникає за рахунок невідповідності постійної ґратки плівки і підкладки.

У розділі 3.3 з метою розробки процедури співставлення результатів моделювання з результатами шумових вимірів проведено класифікацію особливостей структури спектральних розподілів ДФ (див. рис.5) і їх мікроприроди. Встановлено відповідності між конфігураціями розташування сусідніх атомів кисню і величинами енергій ДФ.

Виявлено, що для пояснення структури спектрів ДФ важливими є дві обставини: мала величина V_3 і невелика відмінність модулів V_2 і V_1 . Перша дозволила значно скоротити кількість різних варіантів найближчого оточення від ~ 200 до 8, внаслідок цього вони виявляються згрупованими по спектру енергій, що і відображає їхня нумерація на рис.5 і Табл. 1.

Рис.5. Спектри дефектів-флуктуаторів у середині блоку (а) і поблизу границі блоків (б); (в) і г) результати моделювання реальних плівок з розмірами блоків 0,04 і 0,20 мкм, відповідно. Пунктирні прямі на в) і г) приблизно відповідають результатам шумових досліджень плівок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ на Si і MgO підкладках, що мають такі ж розміри блоків. 1-8 – номери групи ДФ відповідають тб.1.

Друга обставина виявила наступну закономірність. Максимальну енергію мають атоми регулярної фази (група 1), що складається з п'яти приблизно однакових порцій. Послідовне вирахування цих порцій і пояснює наявність перших шести груп. 6^{a} енергія - це висота бар'єра ізольованого атома ($V_f - V_i \approx 0$), а для інтерпретації 7^{oi} і 8^{oi} енергій необхідно враховувати V_3 ($V_f - V_i < 0$).

Наприкінці розділу 3.3 проаналізовано залежності інтенсивності шуму, виду спектру ДФ від структурної якості плівок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ і проведено співставлення результатів розрахунків з експериментом. Зокрема, як видно з мал.1 і 5 в),г), найбільші величини α , $\langle \varepsilon \rangle$ і найменші розміри блоків мають неякісні плівки на Si підкладках. При цьому положистий хід залежності $\alpha(E)$ відповідає значному інтервалу $1/f$ - залежності інтенсивності шуму від частоти (якщо $S_V(E) \sim 1/f$, то $\alpha(E) = \text{const.}$). Більш крутий хід залежності $\alpha(E)$ високоякісних епітаксіальних плівок на MgO підкладках указує на істотно менший внесок дефектів поблизу границь блоків с енергією бар'єрів $< 0,5$ еВ.

Розділ 3.4 присвячено комп'ютерному моделюванню розподілу атомів кисню поблизу границь блоків і розрахунку відповідних спектрів ДФ. Отримані кількісні результати дозволили встановити границі областей переважних джерел ФШ на f - T - площині. Виявлено, що для актуальних частот і температур ВТНП мікроелектроніки основними джерелами цього шуму є ДФ, розташовані поблизу малокутових границь блоків і інших двовимірних дефектів, енергія активації дифузії кисню поблизу яких $< 0,5$ еВ (див. рис.6).

На підставі отриманих у цьому розділі результатів проведено оптимізацію технології росту плівок, післяростової термообробки і технології виготовлення планарних мікроструктур. Це дозволило

значно зменшити рівень ФШ, досягти на деяких зразках рекордно низької і стабільної величини параметра Хоуге, $1,8 \times 10^{-4}$ при 93 К. Як показали лабораторні іспити макетних зразків при реєстрації

Таблиця 1. Основні групи ДФ, виділені по середньому значенню енергій їх бар'єру E_{cp} , і компоненти цієї енергії $\Delta V = V_f - V_i$, де V_i і V_f - енергії взаємодії атома кисню з найближчим оточенням до і після переходу, відповідно. Наявність знаку " \approx " означає, що в таблиці використане наближення $V_3 = 0$.

N групи	E_{cp} , eB	V_i	V_f	$\Delta V = V_f - V_i$
1	1,65	$2V_2$	$3V_1$	$3V_1 - 2V_2$
2	1,30	$2V_2, 2V_2 + V_1$	$2V_1, 3V_1$	$2V_1 - 2V_2, 2V_1 - 2V_2$
3	0,95	$V_2, 2V_2$	$2V_1, 2V_1 + V_2$	$2V_1 - V_2, 2V_1 - V_2$
4	0,67	$2V_2 + V_1, V_2 + V_1$	$2V_1 + V_2, 2V_1$	$V_1 - V_2, V_1 - V_2$
5	0,48	$\approx 0, 2V_2 + 2V_1$	$V_1, 2V_1 + V_2$	$V_1, -V_2$
6	0,30	$\approx 0, 2V_1 + V_2$	$\approx 0, 2V_1 + V_2$	$\approx 0, \approx 0$
7	0,15	$2V_1, 3V_1 + V_2$	$2V_1 + V_2, 3V_1 + 2V_2$	$-V_1, V_2$
8	$< 0,1$	$V_1 + V_2, 2V_1$	V_2, V_2	$-V_1, V_2 - 2V_1$

випромінювання з частотою 70 ГГц, ці плівки можуть забезпечити високі конкурентні параметри мікросмужкових болометрів антенного типу.

У висновках сформульовані основні результати роботи.

У додатку міститься опис блок-схеми програми розрахунків розподілу кисню по CuO-площині в залежності від режимів термообробки, наявності одноосьових деформацій, блокової структури плівок, блок-схем програм розрахунків просторового розподілу T_c та температурної залежності просторового розподілу густини струму у плівці, опис технології вирощування і травлення плівок, використаної для виготовлення антенних мікроболометрів з рекордно низьким шумовим параметром Хоуге.

Рис.6. Переважні джерела шуму на f - T - площині. Пунктирна пряма поділяє частотну вісь на область вимірів ($f > 1$ Гц) і область деградаційних процесів

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертації проведено експериментальне і теоретичне дослідження впливу катіонної нестехіометрії, деформаційних, структурних дефектів, неупорядкованості кисню у CuO -площині на рівень фліккер-шуму, величину критичної температури та струму в епітаксialьних ВТНП плівках на основі ітрій-барієвого купрату з метою вдосконалення технології їх виготовлення і досягнення конкурентних параметрів приладів мікроелектроніки, створених на їх основі. Основні результати досліджень та зроблені на їх підставі висновки - наступні:

1. Вперше проведено аналіз похибок рентгеноспектрального мікроаналізу та проведені локальні виміри мікроскладу з розрізняючою здатністю 2мкм у тих же точках, де були визначені величини T_c .

2. Знайдено, що на потрійній фазовій діаграмі катіонних станів існує двоє розрізів з максимальними T_c (вздовж ліній (123)-(110) і (123)-(105)) та два розрізи з мінімальними T_c (вздовж ліній (123)-(202) та (123)-(011)).

3. Показано, що в зразках, розташованих на діаграмі катіонних станів в областях максимальних T_c , основними джерелами шуму є переходи кисню між позиціями ґратки $O1$ та $O5$ CuO -площини, а у зразках з мінімальними T_c - ці переходи дислокуються поблизу розривів кисневих ланцюжків.

4. Визначено границі області гомогенних складів $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ плівок і запропоновано двошарову модель катіонного дефектоутворення, на основі якої проведено реконструкцію дефектів, що спостерігаються на зображеннях електронної мікроскопії.

5. Для сполук, близьких до $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, методом Монте-Карло виконано ком-п'ютерні розрахунки розподілів у просторі атомів кисню CuO -площини та енергій бар'єрів, що відповідають їх переходам до найближчих вузлів ґратки в залежності від режимів термічної обробки і наявності одноосової деформації (P). Встановлено існування трьох принципово різних груп технологічних режимів, що відповідають: (1) рівноважним фазовим флуктуаціям і невеликій кількості метастабільних дефектів після термообробки, (2) і (3) квазіізотермічним термообробкам (швидким релаксаціям), що приводять до наявності значної кількості метастабільних точкових дефектів (при $P \neq 0$) і утворенню двійників (при $P = 0$), відповідно. Саме ці режими близькі до реальних умов виготовлення епітаксialьних плівок і кристалів $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, відповідно.

6. Методом Монте-Карло проведено моделювання спектрів $1/f$ фліккер-шуму нормальної фази епітаксialьних плівок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. Показано, що основними факторами, які визначають доменну і дефектну структуру плівки, і, отже, спектр $1/f$ -шуму, є режими термообробок і величини деформацій, що виникають за рахунок невідповідності постійних ґратки плівки і підкладки. Проведено класифікацію особливостей структури спектральних розподілів дефектів-флуктуаторів і їх мікроприроди у залежності від конфігурацій найближчого оточення флуктуючого атома кисню.

7. На основі аналізу залежності інтенсивності шуму і його спектру від структурної якості епітаксialьних плівок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ з'ясовано наступне:

1) При відсутності деформації термообробка з низькою початковою температурою приводить до виникнення полідоменних розподілів. Орієнтація доменних границь залежить від концентрації кисню: при локальному недоліку кисню виникають 90-градусні (відносно $a(b)$ -осі) двійникові границі, а при його надлишку - 45-градусні границі. 2) Поблизу доменних границь розташовані дефекти-флуктуатори, що мають найнижчу енергію активації. 3) Для високоякісних епітаксialьних плівок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ основними джерелами шуму є метастабільні точкові дефекти з енергією бар'єрів 0,3-0,9 еВ і дефекти поблизу границь блоків з енергією бар'єрів $< 0,5$ еВ.

8. Показано, що для актуальних діапазонів робочих частот і температур переважними джерелами фліккер-шуму епітаксialьних $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ плівок є переходи кисню поблизу малокутових границь блоків, з яких складаються навіть самі якісні плівки. Оптимізацією параметрів технології плівок, післяростової термообробки і технології планарних мікроструктур значно зменшено рівень шуму і досягнуто на деяких зразках рекордно низької величини параметра Хоуге $1,8 \times 10^{-4}$ при 93 К. Уперше показано, що ці плівки можуть забезпечити високі конкурентні параметри мікросмужкових болометрів антенного типу. Вони можуть сполучити і високу просторову селективність, і можливість реєстрації ви-промінювання в діапазоні спектру 3 мм-300 мкм (100-1000 ГГц) при 90 К з наносекундною швидкодією, еквівалентною потужністю шуму $NEP=1,5 \times 10^{-12}$ Вт/Гц^{1/2} і визначальною здатністю $D^*=1,2 \times 10^{12}$ см Гц^{1/2}/Вт.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. N.A. Bert, A.V. Lunev, Yu.G. Musikhin, R.A. Suris, V.V. Tret'yakov, A.V. Bobyl, S.F. Karmanenko, A.I. Dedoborez. Mechanisms of cation defect formation in epitaxial $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ films. *Physica C* **280**, (1997) p. 121-136. Дисертантом виконані експериментальні вимірювання та комп'ютерна обробка результатів.
2. Н.И. Гуливец, А.В. Бобыль, А.И. Дедоборец, Б.И. Пелешенко. Функция рас-пределения атомов макроскопически изотропных объектов в дифракционных исследованиях. Письма в

ЖТФ **23**(5) 1997, с.21-26.

Дисертантом розроблена комп'ютерна

програма регуляризації функції розподілу.

3. A.V.Bobyl, R.A.Suris, A.I. Dedoborez, A.I.Morosov, I.A.Khrebtoy, V.N. Leonov, V.G. Malyrov, I.I. Shaganov. Flicker noise in metals with structural instability. Proc. 14th Intern. Conf. "Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuations", Leuven, 1997, p.397-400.

Дисертантом виконано моделювання методом Монте-Карло процесів структурного упорядкування атомів кисню у CuO-площині.

4. A.V. Bobyl, A.I. Dedoborez, A.I. Morosov, R.A. Suris. Twins and defect-fluctuators in YBaCuO epitaxial films: Monte-Carlo simulation of the film annealing and detwinning. First Intern. Workshop. "Nucleation and Non-Linear Problems in the First-Order Phase Transitions" (NPT98). 29 June-3 July 1998, St. Petersburg, p.14.

Дисертантом виконано комп'ютерне моделювання процесів релаксації в YBaCuO епітаксціальних плівках в процесі їх термічної обробки.

5. А. В. Бобыль, А. И. Дедоборец, А. И. Морозов, Р. А. Сурис. Двойники и дефекты-флуктуаторы эпитаксиальных пленок $YBa_2Cu_3O_7$: моделирование процессов отжига и монодоменизации методом Монте-Карло. Нерганические материалы, № 8, 1999, с. 1002-1006. Дисертантом розроблено програму комп'ютерного моделювання процесів монодомінізації та розрахунку енергій дефектів-флуктуаторів.

6. А. А. Берзин, А. В. Бобыль, А. И. Дедоборец, А. И. Морозов, Р. А. Сурис. Моделирование спектров 1/f-шума в эпитаксиальных пленках $YBa_2Cu_3O_7$. ФТТ, **41**, 1999, с.29-36.

Дисертантом створена комп'ютерна програма моделювання та розрахунку спектрів 1/f-шуму при наявності деформації та блокової структури плівок.

7. А.В. Бобыль, М.Э.Гаевский, А.И.Дедоборец, С. Ф. Карманенко, В. Н.Леонов, А. В.Лунев, А. А. Семенов, Р. А. Сурис, И. А. Хребтов. Избыточный шум эпитаксиальных пленок $YBa_2Cu_3O_7$ и болометры антенного типа на их основе. ФТТ **41**, в.11, 1999, с.35-39.

Дисертантом проведено моделювання процесів росту і термічної обробки плівок та визначення оптимальних технологічних параметрів.

8. A.V. Bobyl, A.A. Bersin, A.I.Dedoborez, I.A.Khrebtoy, V.N.Leonov, R.A. Suris. Excessive noise of epitaxial $YBa_2Cu_3O_7$ films for antenna-like bolometers. Proc.15th Intern. Conf. "Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuations", Hong Kong, 1999, p.158-161. (Доповідь по результатам роботи [7].)

9. С. Ф. Карманенко, А. А. Семенов, В. Н. Леонов, А. В. Бобыль, А.И. Дедоборец, А. В. Лунев, А. В. Нашекин, Р. А. Сурис. Источники фликкер-шума и технология сверхпроводящих микрополосков на основе пленок иттрий-бариевого купрата. ЖТФ **70**, в. 4, 2000, с.63-72.

Дисертантом шляхом Монте-Карло моделювання процесів формування кисневих дефек-

тів-флуктуаторів з урахуванням видалення кисню на границях блоків запропоновані оптимальні режими вирощування та травлення епітаксialьних плівок YBaCuO .

10. S. F. Karmanenko, A. A. Semenov, I. A. Khrebtov, V. N. Leonov, T. H. Johansen, Yu. M. Galperin, A. V. Bobyl, A. I. Dedoboretz, M. E. Gaevski, A. V. Lunev and R. A. Suris. Fabrication process and noise properties of antenna-coupled microbolometers based on superconducting YBCO films. *Supercond. Sci. Technol.* **13**, 2000, p. 273-286.

Дисертантом розроблені технологічні режими виготовлення чутливих елементів антенних мікроболометрів з конкурентними параметрами.

АНОТАЦІЯ

Дідоборець О. І. Вплив катіонної нестехіометрії та структурної неупорядкованості кисню в епітаксialьних $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ плівках на надлишковий шум нормальної фази. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук по спеціальності 01.04. 07 – Фізика твердого тіла, Дніпропетровський державний аграрний університет, Дніпропетровськ, 2002 р.

Встановлені кореляції між інтенсивністю фліккер-шуму, величиною критичної температури T_c , струму j_c і локального катіонного складу епітаксialьних плівок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ з використанням діаграм потрійних катіонних станів. На діаграмі виявлені два розрізи з максимальними T_c і два розрізи з мінімальними температурами переходу в надпровідний стан. В зразках, стехіометричний склад яких відповідає максимальним T_c , основними джерелами шуму є переходи атомів кисню між позиціями двох субґраток у CuO -площині, а в зразках з мінімальними T_c – ці переходи зосереджені поблизу розривів кисневих ланцюжків. Запропоновано механізм дефектоутворення, що відповідає даній топології, на основі якого проведено реконструкцію дефектів, які спостерігаються на зображеннях електронної мікроскопії.

Моделюванням методом Монте-Карло процесів термообробки плівок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ показано, що для актуальних діапазонів частот і температур основними джерелами їх надлишкового фліккер-шуму є переходи кисню поблизу малокутових границь блоків.

Оптимізація технологій плівок та планарних мікроструктур дозволила досягти рекордно малої величини шумового параметра Хоуге ($1,8 \cdot 10^{-4}$ при 93К) на тестових структурах, з яких можуть бути виготовлені високоякісні смужкові мікроболометри антенного типу.

Ключові слова: фліккер-шум, епітаксialьні плівки, нормальна фаза, діаграма потрійних катіонних станів, шумовий параметр Хоуге, стехіометричний склад, CuO -площина, катіонна нестехіо-

метрія, мікроболометри антенного типу, малокутові границі блоків, планарні мікроструктури, електронна мікроскопія, критичний струм, критична температура.

АННОТАЦІЯ

Дедоборец А. И. Влияние катионной нестехиометрии и структурной неупорядоченности кислорода в эпитаксиальных $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ пленках на избыточный шум нормальной фазы. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 -Физика твердого тела, Днепропетровский государственный аграрный университет, Днепропетровск, 2002 г.

Работа посвящена установлению взаимосвязи между стехиометрическим составом и электрофизическими свойствами эпитаксиальных пленок на основе $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, а также теоретическому моделированию процессов формирования структурной упорядоченности атомов кислорода в базовой CuO - плоскости во время термической обработки пленок с целью выявления корреляций между их структурными и шумовыми свойствами, определения спектрального распределения источников фликкер-шума, для выяснения их микроприроды.

Исследования также направлены на оценку достигнутого уровня технологии пленок, контроля их качества и определения потенциальных возможностей применения их в приборах ВТСП микроэлектроники, использования интенсивности фликкер-шума для контроля технологии роста эпитаксиальных пленок итрий-бариевого купрата и создания малошумящих планарных микроболометров антенного типа.

Для достижения этой цели в работе были использованы следующие методы:

Комплекс экспериментальных методик локальных исследований, при которых получаемые результаты строго привязаны к пространственным координатам изучаемого фрагмента образца. Этот комплекс включал исследования пространственных распределений структурных свойств (рентгенодифракционный анализ, рентгеноспектральный микроанализ, сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия, термо-ЭДС) и электрофизических свойств (проводимости, интенсивности шума, критического тока (j_c) и температуры сверхпроводящего перехода (T_c)). Этот комплекс применялся для локальных исследований разнообразных $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ пленок, нанесенных на различные подложки и различными технологиями.

Использовались теоретические методики расчета спектральных распределений дефектов-флуктуаторов путем компьютерного моделирования методом Монте-Карло.

Разработаны теоретические методики расчета температурных и частотных зависимостей интенсивности фликкер-шума нормальной фазы на основе использования спектральных распределений дефектов-флуктуаторов.

Выполнен анализ источников погрешности рентгеноспектрального микроанализа и изучены механизмы дефектообразования по распределениям состава, величин T_c , J_c и шумового параметра Хоуге (α) на тройной фазовой диаграмме катионных состояний.

Основные результаты работы состоят в следующем:

- Впервые методом комплексных локальных исследований структурных и шумовых свойств эпитаксиальных $YBa_2Cu_3O_7$ пленок на тройной фазовой диаграмме катионных состояний, вблизи состава (123), были обнаружены два разреза с максимальными температурами T_c (вдоль линий (123)-(110) и (123)-(105) и два разреза с минимальными T_c (вдоль линий (123)-(202) и (123)-(011)) разработана модель катионного дефектообразования, которая описывает как область гомогенных составов, так и область значительных отклонений от стехиометрии, при которых уже наблюдаются фазовые расслоения пленок.

- Впервые моделированием процессов отжига эпитаксиальных пленок $YBa_2Cu_3O_7$ проведен анализ зависимости интенсивности шума и его спектра от структурного качества пленок.

- Обнаружено, что вблизи границ доменов расположены кислородные ДФ, которые имеют наименьшую энергию активации.

- Установлено, что для высококачественных эпитаксиальных пленок $YBa_2Cu_3O_7$ основными источниками шума являются точечные дефекты, энергия барьера которых составляет 0,3-0,9эВ, и дефекты вблизи границ блоков с энергией менее 0,5эВ.

- Полученные результаты предоставляют возможности использования интенсивности фликкер-шума для контроля технологии роста эпитаксиальных пленок данного типа, их отжига и создания малозумящих планарных микроболометрических устройств антенного типа, позволяют установить взаимосвязи между стехиометрическим составом и электрофизическими свойствами эпитаксиальных пленок на основе $YBa_2Cu_3O_7$.

- Установлено, что для актуальных диапазонов рабочих частот и температур преобладающими источниками фликкер-шума эпитаксиальных $YBa_2Cu_3O_7$ пленок являются переходы кислорода вблизи малоугловых границ блоков, из которых состоят даже самые качественные пленки.

- Оптимизация технологий пленок и планарных микроструктур позволила достичь рекордно малой величины шумового параметра Хоуге ($1,8 \cdot 10^{-4}$ при 93К) на тестовых структурах, из которых могут быть изготовлены высококачественные полосковые микроболометры антенного типа. Они могут сочетать и высокую пространственную селективность, и возможность регистрации излучения в диапазоне спектра 3мм – 300мкм (100 – 1000ГГц) при 90К с наносекундным быстродействием и электрической эквивалентной мощностью шума (NEP), равной $1,5 \cdot 10^{-12}$ Вт/Гц^{1/2} на частотах от 30 до 10^7 Гц, что близко к ограничению на уровне мощности фонного шума.

Ключевые слова: фликкер-шум, эпитаксиальные пленки, нормальная фаза, дефекты-флуктуаторы, тройная фазовая диаграмма катионных состояний, шумовой параметр Хоуге, стехиометрический состав, CuO-плоскость, катионная нестехиометрия, микроболометры антенного типа, малоугловые границы блоков, планарные структуры, рентгеноструктурный и рентгенодифракционный микроанализ, сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия, критический ток, критическая температура, гомогенный состав, фазовые расслоения, электрическая эквивалентная мощность шума.

ANNOTATION

Dedoborets A. I. Influence of cation nonstoichiometry and oxygen structural disorder in epitaxial $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ films on excess noise in normal phase. – Manuscript.

Thesis for obtaining a scientific degree of “Candidate of Physico-Mathematical Sciences” on speciality 01.04.07 – Physics of the Solid State, Dniepropetrovsk State Agrotechnical University, Dniepropetrovsk, 2002.

Correlations have been determined between flicker noise intensity, critical temperature values T_c , critical current j_c and local cation composition of epitaxial $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ films with using triple phase diagram of the cation compositions. Two tie lines with the highest T_c and two lines with the lowest T_c have been found on the diagram. The primary source of noise in samples with the highest T_c is related to oxygen jumps between two sublattice positions in the CuO – plane, and in samples with the lowest T_c – these jumps are localised at the oxygen chain breaks. A mechanism of cation defect formation was proposed, which account for presence of this topology. The mechanism was verified by reconstructing cation defects observed in TEM images.

Monte-Carlo modelling anneals of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ epitaxial films have been carried out, and the excess flicker noise in the operating frequency and temperature ranges were shown to be dominated by oxygen migration near small-angle block boundaries. Optimization of film and planar-microstructure fabrication permitted a record-low Hooge noise parameter ($1,8 \cdot 10^{-4}$ at 93K) for test structures, which can be used to prepare high-performance antenna-type strip microbolometers.

Key words: flicker noise, epitaxial films, normal phase, triple phase diagram of the cation compositions, Hooge noise parameter, CuO-plane, cation nonstoichiometry, small-angle block boundaries, planar-microstructure, TEM images, critical temperature, critical current, sublattice positions, antenna-type strip microbolometers.

ДІДОБОРЕЦЬ ОЛЕКСАНДР ЙОСИПОВИЧ

**ВПЛИВ КАТІОННОЇ НЕСТЕХІОМЕТРІЇ ТА СТРУКТУРНОЇ НЕВПОРЯДКОВАНOSTI
КИСНЮ В ЕПІТАКСІАЛЬНИХ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ПЛІВКАХ НА НАДЛИШКОВИЙ ШУМ
НОРМАЛЬНОЇ ФАЗИ**

Спеціальність 01.04.07 - Фізика твердого тіла

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук

Підписано до друку 27.09. 02. Формат 60×90/16. Папір друкарський. Друк плоский. Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. 1,0. Тираж 120 прим. Замовлення №252
Типографія ДДАУ, 49600, м. Дніпропетровськ, вул. Ворошилова, 25.