

На правах рукопису

СЕМЕНЬКО  
Михайло Петрович

УДК: 537.512.62:669.018

Дослідження електрофізичних властивостей  
плазмових ВТНП покриттів

Спеціальність 01.04.07 - Фізика твердого тіла

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата фізико-математичних наук

Робота виконана на кафедрі фізики металів Київського університету

ЛННБ України ім.В.Стефаника

Шевченка



00825915 (U)

Наукові керівники :

доктор фізико-математичних наук, член кор.АН України, професор

МАКАРА ВОЛОДИМИР АРСЕНЬОВИЧ

кандидат фізико-математичних наук, завідувач лабораторією

РЕВО СЕРГІЙ ЛУКИЧ

Офіційні опоненти : доктор фізико-математичних наук, завідувач лабораторією електродинаміки надпровідників Інституту металофізики АН України

ПРОХОРОВ ВАЛЕРІЙ ГЕОРГІЄВИЧ

доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства АН України

ДМИТРІЄВ ОЛЕКСАНДР ІЛІЧ

Провідна установа - Інститут монокристалів АН України (м.Харків)

Захист відбудеться "22" березня 1993 р. о 14<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 068.18.15 у Київському університеті ім. Тараса Шевченка /252022, Київ-22, проспект акад.Глушкова 6, фізичний факультет/

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Київського університету.

Автореферат розісланий " " 1993 р.

Вчення секретар спеціалізованої вченої ради

Охріменко Б.А.  
ЛННБ ім. В. Стефаника  
АН України

## Загальна характеристика роботи.

### Актуальність теми досліджень

Можливості використання високотемпературних надпровідних керамік (ВТНП) в технічних цілях стимулювало наукові дослідження по розробці технологій для створення різного роду структур на основі даних матеріалів, в тому числі і по розробці способів одержання ВТНП покриття і тонких плівок.

Одним з перспективних способів одержання різного роду покриття, в тому числі і надпровідних, є метод плазмового напилення. Перевагою плазмового напилення ВТНП є: малий час термообробки частинок матеріалу в потоці плазми, який оцінюється в  $10^{-2}$ – $10^{-4}$ с, що дозволяє в основному зберігати склад напилюемого матеріалу, одночасно доводячи його до розплаву; висока швидкість охолодження і кристалізації частинок в покритті, яка досягає  $10^3$ – $10^4$ с, що дає можливість регулювати кристалічну структуру напиленого матеріалу в широких інтервалах; формування покриття переважно із розплавлених частинок малого розміру порядку 10–50нм; можливість одержання виробів складної форми. Формування напиленого ВТНП матеріалу із рідини дозволяє одержувати хороші контакти між окремими кристалітами та виску густину покриття, а це, в свою чергу, дозволяє сподіватися на підвищення густини критичного струму.

Ставленими уже традиційними, дослідження плазмових покриття на кафедрі фізики металів Кіївського університету дозволили одними із кращих одержати надпровідні покриття із ВТНП матеріалів плазмовим методом на різного роду підложках.

Слідє відітити, що в світі кожного місяця публікуються сотні робіт по ВТНП матеріалам, та по їх плазмовому напиленню до даного часу відомо незначну кількість робіт. Ще не достатньо вивчені електрофізичні властивості плазмових ВТНП покриття. Найвні дані слабо відображають їх структурні особливості, склад, струмунесучу здатність. Крім того, на сьогодні практично не вивчені механічні характеристики покриття, що в кінцевому результаті, як і надпровідні характеристики, дуже важливо для використання їх в технічних цілях.

Все це і обумовлює актуальність проведених досліджень.

### Мета роботи:

- відпрацювання способу одержання ВТНП покритть  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  плазмовим методом на різних підложках;
- дослідження процесів формування структури покритть на основі  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  при термічних відпалах;
- дослідження впливу структурних особливостей і складу плазмових ВТНП покритть на надпровідні характеристики;
- дослідження впливу жорстких та пластичних деформацій на надпровідні характеристики плазмових ВТНП покритть на гнучких підложках;
- дослідження струмоносучої здатності плазмових ВТНП покритть виходячи із даних по вимірюванню вольт-амперних характеристик, температурних залежностей електричного опору та критичного струму, визначення основних механізмів обмеження надпровідних струмів на основі розробки різного роду моделей та їх експериментальної апробації.

### Наукова новизна роботи

Результати, одержані в роботі, доповнюють наявні дані про процеси формування ВТНП структури плазмових покритть.

Досліджено склад ВТНП покритть, як на поверхні, так і по всій товщині покриття, визначено його кореляцію із надпровідними властивостями.

Вперше подано аналіз виду вольт-амперних характеристик плазмових ВТНП покритть.

Вперше досліджено процеси деградації властивостей ітрієвих покритть при поздовжній деформації розтягом і після холодної прокатки. Це дозволило ввести таку характеристику, як критична деформація плазмових ВТНП покритть.

### Практична значимість роботи

Одержано нові результати, які дозволяють дати більш повну картину про особливості будови, складу, механічних і надпровідних властивостей плазмових ВТНП покритть. Дані результати складають базу для розробки принципово нових виробів на основі ВТНП матеріалів.

Вони дозволяють судити про струмонесучу здатність, стійкість і стабільність покрить із даних керамік.

В той же час, одержані дані служать більш глибокому розумінню процесів, які проходять при напильг' та відпалі даних матеріалів.

Результати, одержані в роботі, служать основою для відпрацювання технологічних прийомів, дозволяючи покращити як напильді, так і механічні характеристики плазмових ВТНП покрить.

Разом з тим, одержані результати, крім їх практичного застосування, можуть бути використані і для розвитку фундаментальних уявлень про неоднорідні надпровідні системи, які мають трьохмірні джозефсоновські зв'язки, а також про процеси деформації перколяційних систем.

#### На захист виносяться такі положення:

- густина транспортного надпровідного струму в плазмових  $YBa_2Cu_3O_x$  покриттях залежить від просторового розміщення вибраного участку по перерізу покриття і зростає по мірі віддалення від поверхнею покриття і підложки;

- в плазмових високотемпературних надпровідникових покриттях вольт-амперна характеристика при температурі менше критичної в області критичних струмів  $J_c$  описується виразом:

$$U = \gamma(J - J_c) \exp\left[ - \frac{E_a}{kT} (1 - J/J_c) \right]$$

де  $E_a$  - енергія активації джозефсоновських вихорів,  $U$  і  $J$  - відповідно напруга на зразку і величина транспортного струму,  $\gamma$  - параметр,  $T$  - температура,  $k$  - постійна Больцмана;

- деградація надпровідних властивостей плазмових ВТНП покрить на гнучких підложках при повздовжніх жорсткій і пластичній деформаціях обумовлена, на відміну від надпровідникових металів і композиційних матеріалів на їх основі, крихким розрушенням створених при напильні слабких надпровідних зв'язків між гранулами;

- тензорезистивний ефект при повздовжній жорсткій деформації плазмових ВТНП покрить на підложках із нержавіючої сталі виникає в області слабких зв'язків між гранулами.

## Апробація роботи

Результати дисертаційної роботи лягли в основу повідомлень на Научно-практичному семінарі "Оптика і спектроскопія в народному господарстві" /м.Мелітопіль, 1990/, International Conference on Metalurgical Coatings and Thin Films /April 22-26, 1991, San-Diego, California, USA/, Семінарі по магнітоелектроніці /м.Алушта, 1991/, Всеросійській нараді по фізиці магнітних матеріалів /м.Іркутськ, 1992/, XIII Всесоюзній конференції по фізиці міцності і пластичності металів і сплавів /м.Самара, 1992/.

## Публікації

Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані в 7 роботах, які приведені в кінці автореферату.

## Структура і об'єм дисертації

Дисертація складається із вступу, п'яти глав, висновків, списку літератури (122 назви). Робота викладена на 154 сторінках машинописного тексту, включає 45 малюнків і 6 таблиць.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У Вступі обґрунтовується актуальність теми досліджень, визначається мета і завдання дослідження, аргументується наукова новизна, теоретична і практична значимість роботи, формулюються основні положення, що виносяться на захист, описується структура роботи.

### ГЛАВА I. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ВТНП ТА МЕТОДИ ОДЕРЖАННЯ ПЛІВОК І ПОКРИТЬ

У першій главі дано коротку характеристику основних властивостей ВТНП матеріалів.

На основі наявних літературних даних описано структуру, основні електрофізичні, в тому числі і надпровідникові, властивості

металооксидних надпровідників. Проведено аналіз експериментальних результатів по впливу вмісту кисню в кераміці  $YBa_2Cu_3O_x$  на її різноманітні властивості.

Також проведено розгляд струмоносної здатності полікристалічних ВТНІ керамік. Приведені основні теоретичні та модельні підходи для опису надпровідників зі слабкими зв'язками, якими є полікристалічні ВТНІ матеріали.

Коротко розглянуто основні методи одержання тонких і товстих плівок та покриттів.

В кінці глави розглянуто вплив деформації розтягу на надпровідникові властивості металічних надпровідників та композитів на їх основі.

## ГЛАВА 2. СИНТЕЗ ПОРОШКУ, ТЕХНОЛОГІЯ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ, МЕТОДИКИ ВИКОРИСТАНІ В РАБОТІ.

У другій главі описано спосіб одержання порошків, які використовувались для напилення плазмовим методом. Приведено коротку характеристику плазмового методу та його основні параметри для напилення покриттів в даній роботі: тип плазмотрону - РРН-1000; потужність - 18кВт (при струмі 300А і напрузі 60В); плазмоутворюючий газ - аргон+гелій (1:2); транспортуючий газ - кисень ( $p=4.5-8.0$ атм). При вказаних параметрах для частинок розміром 20-40мкм оптимальними відстанями вводу порошка в плазмовий струмінь та до підложки були відповідно 35-38мм та 150мм.

Описані методики, які використовувалися в даній роботі для дослідження структури, складу, електричних та інших властивостей ВТНІ покриттів. Серед них: растрова електронна мікроскопія, Оме спектрометрія, рентгеноструктурний та фазовий аналіз, чотирьох точковий метод дослідження електричних властивостей, метод дослідження прогину зразків та коефіцієнта термічного розширення, метод дослідження впливу поєздовжньої деформації розтягу на властивості покриттів.

## ГЛАВА 3. СТРУКТУРА, СКЛАД І ОСНОВНІ ЕТАПИ ФОРМУВАННЯ ИТРИЄВИХ ВТНІ ПОКРИТТІВ.

У третій главі представлені результати дослідження

структури плазмових ВТНП покриттів. Безпосередньо після напилення фазовий склад покриттів є продуктом розпаду кераміки  $YBa_2Cu_3O_x$ . Основні фази: залишки  $YBa_2Cu_3O_x$ ,  $BaCuO_2$ , та  $Y_2CuO_5$ . Після відпалу при  $950^\circ\text{C}$  ( $\tau=30\text{хв}$ ) формується орторомбічна структура ітрієвої кераміки, степінь орторомбічності якої менше, чим початкового порошку.

Структуру покриттів по даним растрової мікроскопії можна представити у вигляді кристалічних гранул округлої або овальної форми, характер зв'язку між якими носить вигляд спайок. Вона характеризується певною пористістю. Розмір гранул і пористість покриттів обумовлена не тільки початковою дисперсністю порошка, а й теплофізичними процесами, які залежать від типу підложки.

Проведено дослідження елементного складу плазмових ВТНП покриттів на нержавіючій сталі методом Оже-спектроскопії як по поверхні зразків, так і по всій товщині покриття. Встановлено, що для зразків плазмових покриттів  $YBa_2Cu_3O_x$  на підложці із сталі ІХІ8НТ характерним є відхилення від стехіометрії по всій товщині покриття. На межі підложки і покриття утворюється дифузійний прошарок, товщина якого становить 30-40 мкм для зразків відпалених при  $950^\circ\text{C}$  ( $\tau=30\text{хв}$ ). Характерним є те, що в дифузійному прошарку концентрація  $Ca$  і  $O$  перевищує в 2 рази їх вміст в середніх прошарках покриття. Це обумовлює створення буферного підпрошарку, який заважає взаємодифузії елементів підложки і покриття. Для поверхні зразків характерним є сильне збагачення вуглецем і обіднення киснем. Внутрішні прошарки хоч і близькі до стехіометрії, але вміст міді дещо низький.

Експериментальне дослідження розподілу критичного струму по покритті показало, що його густина не є рівномірною по товщині покриття. Критичний струм зростає по мірі віддалення від поверхневої покриття і підложки. Даний розподіл обумовлений порушенням стехіометрії матеріалу при напиленні та відпалі.

Досліджено формування ВТНП структури плазмових покриттів при відпалі. По даних температурної залежності опору та фазових досліджень показано, що формування структури здійснюється за наступні температурні етапи:

- 1) початок формування ВТНП структури ( $T=750^\circ\text{C}$ );
- 2) інтенсивний ріст структури І-2-3 всередині надпровідних гранул ( $T=(850-930)^\circ\text{C}$ );
- 3) удосконалення поверхневого складу гранул та покращення типу

зв'язку між ними ( $T = (930-950)^\circ\text{C}$ );

4) інтенсивний ріст гранул в розмірі ( $T = 960^\circ\text{C}$ );

5) деградація структури I-2-3 ( $T = (965-970)^\circ\text{C}$ ).

Дані етапи дещо відрізняються від температурних етапів формування структури керамічних зразків, що обумовлюється особливостями структури матеріалу після напилення та дифузійними процесами на межі підложка-покриття. Часові стадії формування структури залежать як від швидкості дифузійних процесів, так і від параметрів напилення.

Експериментально досліджено температурні залежності величини прогину системи підложка-покриття в процесі формування структури та в процесі повторних відпалів. Показано, що при нагріванні напиленого покриття на підложках із нерівнічної сталі в області температур  $T = 350-400^\circ\text{C}$  проходить окислення киснево-дифіцитної фази  $\text{BaCuO}_{2-x}$ , а при охолодженні зі швидкістю менше критичної ( $7-10 \text{ K/хв}$ ) спостерігається перехід тетра-орто сформованої структури. На основі цих даних показано, що величина прогину збільшується зі зменшенням вмісту кисню в кераміці. Крім того, по даним результатам визначено розподіл залишкових напружень по покриттю і зроблено висновок, що величина макронапружень обумовлена не тільки різницею к.т.р., а й процесами утворення пор та дифузіїю на межі підложка покриття.

#### ГЛАВА 4. СТРУМОНЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ІТРИЄВИХ ПОКРИТЬ, ОДЕРЖАНИХ ПЛАЗМОВИМ МЕТОДОМ.

У четвертій главі на основі ВАХ проведено аналіз струмонесучої здатності плазмових ВТНП покриттів. Експериментальне дослідження дозволило встановити, що ВАХ при напруженнях  $E$  на зразках більше  $50-100 \text{ мкВ/см}$  описується виразом:

$$U = \beta \cdot (J - J_c')^{\alpha} \quad (1)$$

характерним для надпровідників зі слабкими зв'язками між гранулами. А при  $\alpha E < 50-100 \text{ мкВ/см}$

$$U = \gamma (J - J_c) \cdot \exp\left[-\frac{E_a}{k \cdot T} \left(1 - \frac{J}{J_c}\right)\right] \quad (2)$$

В формулах  $\alpha, \beta, \gamma$  - параметри,  $U$  і  $J$  - напруга на зразку і величина транспортного струму,  $J_c$  і  $J_c'$  - параметри, які відповідають значенню критичного струму,  $E_a$  - енергія активації пінінга,  $T$  - температура,

$k$  - постійна Больцмана.

На основі аналізу надпровідника зі слабкими зв'язками, як надпровідника II-роду, показано що формула (2) відповідає області термоактиваційного крипу магнітного потоку. А так як, руйнування надпровідності надпровідників зі слабкими джозефсоновськими зв'язками обумовлено виникненням одномірної решітки джозефсоновських вихорів в області зв'язку, то звідси слідує, що для магнітної структури існує пінінг. Природа пінінгу, очевидно, обумовлена різницею енергій просторового розміщення вихрової структури, яка виникає внаслідок неоднорідності зв'язку. Оцінка виграшу енергії вихору  $\Delta W$  для двох областей, які відрізняються критичним струмом на порядок, дає значення відносної енергії  $\Delta W/kT \sim 10$ , в той же час експериментальне значення  $E_a/kT \sim 0.1-1.0$ . Але врахування енергії взаємодії вихорів між собою приведе до зниження значення  $\Delta W$ .

Експериментальні залежності критичного струму від температури описуються виразами:

$$J_c = J_{c0} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^{\alpha} \quad (3), \quad \text{або} \quad J_c = J_a \cdot \exp(-T/T_0) \quad (4).$$

Температурну залежність енергії активації  $E_a$  можна представити у вигляді:

$$E_a = \alpha T (T - T_0) \quad (5).$$

Очевидно, дані залежності обумовлені сильною неоднорідністю покриття, що приводить до створення різних типів зв'язку між гранулами. Таким чином, порівняно низькі значення критичного струму (порядку  $10^2 \text{ A/cm}^2$  без спеціальних методів обробки) обумовлені сильною неоднорідністю покриття та слабкими зв'язками між гранулами.

## ГЛАВА 5. ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЇ НА ВЛАСТИВОСТІ НАДПРОВІДНИХ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТЬ НА СТАЛІ.

У п'ятій главі описані результати досліджень впливу деформацій розтягу та прокатки на надпровідні властивості ВТНП покриття.

Згідно одержаних ВАХ при різних відносних деформаціях розтягу побудовані залежності критичного струму, енергії активації від  $\epsilon$ . Одержані результати свідчать, що при відносних деформаціях розтягу менше 1.0-1.5% надпровідні властивості не погіршуються. При  $\epsilon$  більше ніж 1.5% проходить зменшення критичного струму та енергії

активації, які стають практично рівними нулеві при відносних деформаціях порядку 3%. В той же час проходить збільшення опору зразків та зменшення температури переходу в надпровідний стан.

Дослідження впливу циклічних деформацій розтягом показало, що при  $\epsilon_{\text{с}} = 1.5\%$  надпровідні властивості не змінюються. При  $\epsilon_{\text{с}}$  опір зразків збільшується, а критичний струм зменшується в перші 1-2 цикли, а в подальшому ці величини залишаються не змінними, якщо величина деформації не перевершує попередньо досягнутої  $\epsilon$ .

Встановлено, що деградація надпровідних властивостей плазмових ВТНП покриттів проходить за рахунок руйнування слабких зв'язків між гранулами. А так як, на відміну від металічних надпровідників, при циклічних деформаціях так званих процесів тренування ВТНП покриттів не наблюдається, то звідси слідує, що руйнування слабких зв'язків між гранулами ВТНП покриттів проходить крижко.

Дослідження впливу деформації розтягу на електричний опір покриттів показує, що при  $\epsilon_{\text{с}}$  залежність  $R(\epsilon)$  носить характер:

$$R = R_0(1 + S_1 \epsilon) \quad (6)$$

А при  $\epsilon_{\text{с}}$  проходить різке зростання опору. При повторній деформації до значень менше критичних,  $R(\epsilon)$  описується виразом (6), але з меншим коефіцієнтом  $S_1$ . На основі розрахунків, виходячи з перколяційної теорії для системи із двох частин показано, що зростання опору обумовлено руйнування зв'язків між гранулами, а тензорезистивний ефект виникає на цих зв'язках.

Деформація прокатки приводить до деградації надпровідних властивостей практично при найменшому обжиманню до 5-10%. Як свідчать результати досліджень термо е.д.с. наведеної деформацією, яка виникає в парі деформований-недеформований матеріал, ця деградація обумовлена зростання дефектності системи покриття-підложка. Але після відпаду при  $T=950^{\circ}\text{C}$  ( $\tau=30\text{хв}$ ) деформованого до  $\epsilon_{\Sigma}=15-20\%$  матеріалу термо е.д.с. на зразках не виникає до обжаттів порядку 20%. Це дозволило використати двухстадійну методику одержання покриттів, яка включає напилення зразка, його відпал, прокатку до  $\epsilon_{\Sigma}=10-15\%$  та повторне напилення покриття. Після відпаду при  $950^{\circ}\text{C}$  ( $\tau=30\text{хв}$ ) зразки характеризувались критичним струмом  $5 \cdot 10^2 \text{А/см}^2$ , відносно малою шириною переходу та вищою критичною деформацією розтягом ( $\sim 2\%$ ).

1. Відпрацьована методика одержання ітрієвих ВТНП покриттів плазовим методом, яка дозволяє одержувати покриття з густиною критичного струму  $\sim 5000/\text{см}^2$  при температурі  $T=77\text{K}$  і в нульовому магнітному полі;

2. Показано, що формування ВТНП структури плазових покриттів при відпаї характеризується рядом температурних етапів, які дещо відрізняються від етапів формування ВТНП структури об'ємних зразків. Також з'ясовано, що часові стадії формування структури залежать як від параметрів напильня, так і від типу підложки, і вони визначаються типом структури і швидкістю дифузійних процесів.

3. Виявлено, що в ВТНП плазових покриттях розподіл критичного струму характеризується сильною неоднорідністю по перерізу покриття, причому густина його зростає по мірі віддалення від поверхні покриття і підложки. Даний розподіл обумовлений порушенням стехіометрії при напильні та дифузійними процесами при відпаї.

4. На основі моделі надпровідника з екстремально низьким значенням першого критичного поля вперше об'яснено відхилення виду вольт-амперних характеристик для ВТНП плазових покриттів біля області критичних струмів від ВАХ високотемпературних надпровідників із слабкими надпровідними зв'язками між гранулами. Дана модель дозволяє обґрунтувати існування пінінга джоєфсоновських вихорів на неоднорідностях всередині надпровідного зв'язку між гранулами.

5. Вперше досліджено вплив одноосного розтягу на властивості плазових ВТНП покриттів. Виходячи із позицій надпровідника зі слабкими механічними зв'язками між гранулами, які характеризуються сильною неоднорідністю, і з позицій виникнення сжимаючих напруг в покритті об'яснено деградацію надпровідних властивостей плазових ВТНП покриттів на підложках із нержавіючої сталі в процесі жорсткої і пластичної деформації. Показано існування критичних деформацій для даних ВТНП покриттів.

6. На основі перколяційної теорії для системи, яка складається із гранул і зв'язків між ними, об'яснено вплив одноосного розтягу на електричний опір плазових ВТНП покриттів на нержавіючій сталі в нормальному стані. Показано, що тензорезистивний ефект виникає, в основному, на слабких зв'язках між гранулами.

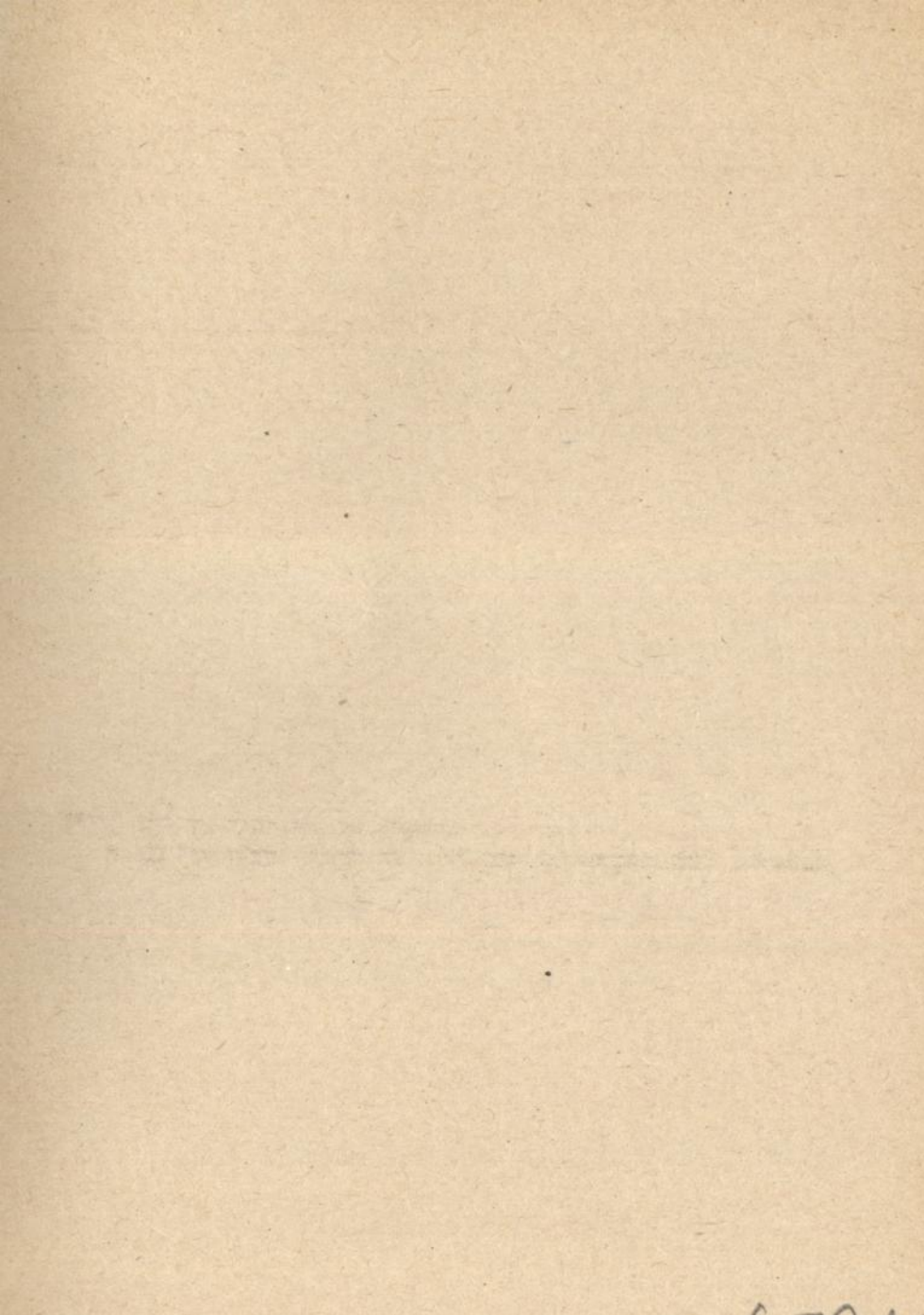
Основний зміст дисертаційної роботи викладено в публікаціях:

1. Кузьменко П. П., Забич Н. Г., Семенько М. П., Нефедов Н. Н.. Зависимость  $T_c$  от содержания кислорода в керамике  $YBa_2Cu_3O_x$ . - Вестн. Киевск. Ун-та: Физика, 1990, т. 31, с. 47-50.
2. Makara V. A., Dashevskij N. N., Revo S. L., Semen'ko M. P. The structure and electrophysical properties of gas-thermal high temperature superconducting coatings. - Thin Solid Films, 208 (1991), 179-182.
3. Рево С. Л., Семенько М. П., Макара В. А. Послойный анализ сверхпроводимости газотермических ВТСП покрытий. - Матер. Всерос. сов. по физике магн. матер. (23-26 июня 1992), г. Иркутск, с. 140-141.
4. Семенько М. П., Рево С. Л., Макара В. А., Дашевский Н. Н. Влияние деформации растяжением на электрическое сопротивление образцов с плазменными ВТСП покрытиями. - XIII Всес. конф. по физике прочности и пластичности метал. и сплавов, г. Самара, 23-25 июня 1992, Тез. докл., с. 35.
5. Рево С. Л., Семенько М. П., Дашевский Н. Н. Деградация сверхпроводящих свойств плазменных покрытий  $Y-Ba-Cu-O$  при деформации. - Научн. практ. семин.: Оптика и спектроскопия в нар. хоз., г. Мелитополь, июль 1990 г., Матер. семин., с. 61-63.
6. Рево С. Л., Дашевский Н. Н., Семенько М. П. Внутреннее трение лент из нержавеющей стали с газотермическим ВТСП покрытием. - Матер. Всерос. сов. по физике магн. матер. (23-26 июня 1992), г. Иркутск, с. 142-143.
7. Рево С. Л., Семенько М. П., Борисов Ю. С., Дашевский Н. Н. Деградация сверхпроводящих свойств высокотемпературных сверхпроводящих газотермических покрытий  $Y-Ba-Cu-O$  при циклической упругой и пластической деформациях. - Семинар по магнитоэлектронике, г. Алушта, 19-25 октября 1991 г., Тез. докл., с. 139.



ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України





AB 26.851