

ВПЛИВ МАЛИХ ДОЗ ОПРОМІНЮВАННЯ ШВИДКИМИ НЕЙТРОНАМИ ТА ШВИДКИМИ ЕЛЕКТРОНАМИ НА ТЕМПЕРАТУРНУ ЗАЛЕЖНІСТЬ ОПОРУ КЕРАМІКИ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

В. А. МОКРИЦЬКИЙ, А. О. САВЕЛЬЄВ

УДК 537.312.62

© 1998 р.

Одеський державний політехнічний університет
(270044 Одеса 44, просп. Шевченка, 1)

Досліджується вплив швидких нейтронів та швидких електронів на властивості високотемпературної надпровідної кераміки $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. Дози опромінювання становлять $10^{11} - 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Проведено порівняльний аналіз результатів опромінювання для двох типів випромінювання. Обговорюються можливі причини зміни властивостей надпровідного переходу під впливом швидких нейтронів.

Вступ

Вивчення радіаційних ефектів у високотемпературних надпровідниках (ВТНП) пов'язане з вирішенням багатьох питань практичного застосування випромінювання. Успішне застосування випромінювання обумовлене досягненнями радіаційної фізики твердого тіла у визначенні механізмів утворення первинних радіаційних дефектів, кінетики їх нагромадження, взаємодії між ними та із структурними дефектами, впливу умов опромінювання на дійсну дефектну структуру матеріалів та зміну їх фізичних властивостей у процесі старіння та відпаду. Дослідження впливу радіації на ВТНП для використання опромінювання як технологічного фактора почали проводитися регулярно тільки в останні роки.

У цій роботі досліджується поведінка ВТНП-кераміки під впливом радіаційного опромінювання дозами від 10^{11} до 10^{16} см^{-2} . Вибір цього інтервалу обумовлений тим, що під час "малих" доз ще не відбувається глобального руйнування структури матеріалу (концентрація радіаційних дефектів не перевищує концентрації власних), але відбуваються зміни деяких властивостей матеріалу, якими можна керувати. Метою роботи є виявлення можливості використання різних видів опромінювання для направленої зміни властивостей матеріалу.

1. Експеримент

Для досліджень вибрано високотемпературну надпровідну кераміку $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (1 — 2 — 3). Технологія виготовлення даного матеріалу достатньо

проста та дозволяє отримувати зразки з параметрами, які добре відтворюються. Кераміку виготовлено з порошків YO_2 , Ba_2CO_3 та CuO_2 марки ОСЧ за стандартною технологією. Якість фази (1 — 2 — 3) контролювалася за допомогою рентгенофазного аналізу. Отримані таким чином зразки мали температуру переходу $T_c = 91 + 92 \text{ К}$, ширину надпровідного переходу $\Delta T_c = 3 \text{ К}$, критичну густину струму $J_c = 200 + 400 \text{ А/см}^2$.

Для визначення транспортних характеристик (T_c , ΔT_c та J_c на зразки наносили контакти впаленням срібної пасти при температурі $400 - 450 \text{ }^\circ\text{C}$.

Температуру надпровідного переходу T_c визначали з температурної залежності опору $R(T)$ за точкою, коли опір зразка становив половину від свого значення при $T = 95 \text{ К}$. Вимірювання опору R проводилося чотириконтрактовим методом, що дозволило виключити вплив опору контактів. Похибка вимірювання опору зразків становила не більше ніж 1%. Вимірювання проводилося при температурі від 80 до 300 К. Похибка визначення температури не більша ніж 0,1 К.

Опромінювання здійснювалося при 290 К. Експозиційну дозу опромінювання регулювали зміною часу опромінювання. Кожний зразок опромінювався одноразово.

Інтенсивність пучка швидких нейтронів становила $1,5 \cdot 10^8 \text{ 1/(с} \cdot \text{см}^2)$, енергія — 14 МеВ. Було використано дози: $10^{11}, 10^{13}, 10^{14}, 10^{15}, 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. Енергія швидких електронів становила 2,7 МеВ. Дози: $10^{12}, 10^{13}, 10^{14}, 10^{15}, 10^{16} \text{ см}^{-2}$.

2. Результати експерименту

2.1. Вплив електронів

Залежність зміни опору кераміки у нормальному стані від дози опромінювання не спостерігається. Опір збільшується, як правило, у межах 0 — 1%. Поблизу надпровідного переходу результати опромінювання швидкими електронами однаковими

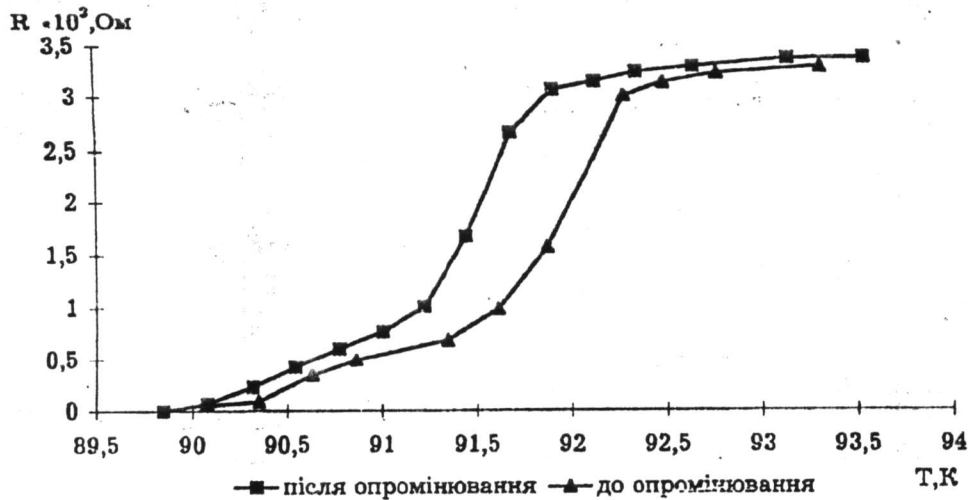


Рис.1. Вплив опромінювання швидкими нейтронами (дозою 10^{15} см^{-2}) на температурну залежність опору $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

дозами суттєво відрізняються для різних зразків. Хоч усі зразки було виготовлено в єдиному технологічному циклі, але існують деякі неконтрольовані відмінності у властивостях зразків, які приводять до різних результатів. Це значно ускладнює інтерпретацію результатів, і робить неможливим визначення дозової залежності у зміні параметрів кераміки, що ґрунтувалася б на результатах опромінювання різних зразків у вибраному діапазоні доз.

Аналіз вихідних параметрів свідчить, що по-перше, зразки дійсно мали такі відмінності, які проявляються у відхиленні вихідної критичної густини струму (у діапазоні від 300 до 340 А/см²), по-друге, існує кореляція між значенням вихідної критичної густини струму та значенням зміщення надпровідного переходу під впливом опромінювання електронами. Особливо відмітимо збільшення $T_c (\Delta T_c > 0)$ під впливом опромінювання різними дозами електронів у зразках, які мають порівняно велику критичну густину струму (більше 320 А/см²).

2.2. В п л и в н е й т р о н і в

Опір ВТНП-зразків у нормальному стані під впливом нейтронів дозами меншими ніж $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ практично не змінюється, але при більших дозах — зростає. Початкова температура надпровідного переходу зменшується під впливом, будь-якої дози нейтронів. Інколи спостерігається збільшення крутизни надпровідного переходу під впливом різних використаних доз опромінювання нейтронами (рис.1). У цих зразках спостерігається більш швидке зниження початкової температури надпро-

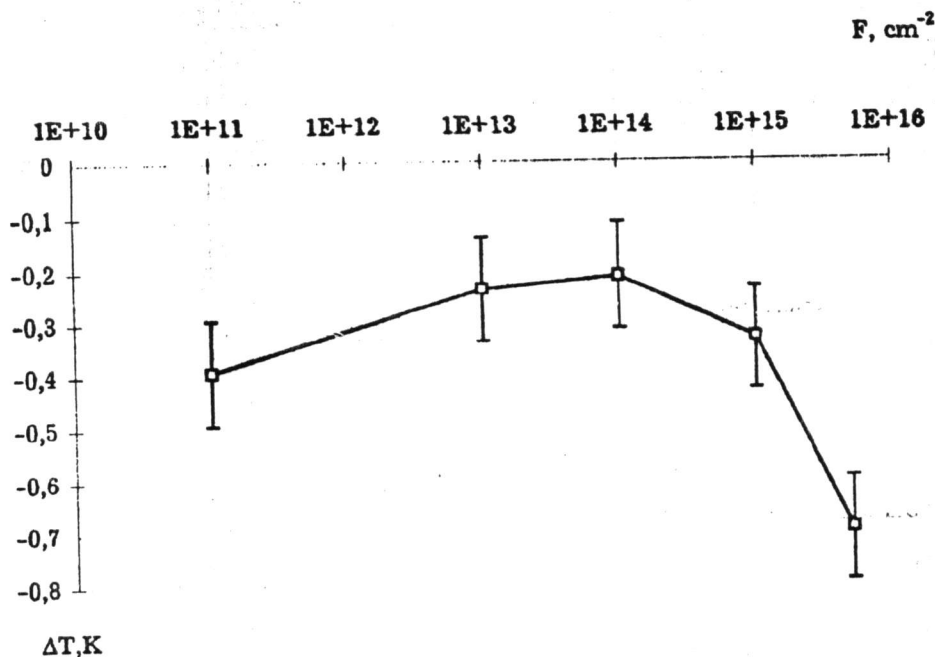
відного переходу ніж кінцевої, що звужує його інтервал.

Повторне вимірювання температурної залежності опору зразків через рік показало, що збереження за нормальних умов на протязі року будь-яких зразків не приводить до помітної зміни властивостей порівняно із зразками тільки що опроміненими.

Результати опромінювання нейтронами, на відміну від опромінювання електронами, не такі чутливі до структурних властивостей, пов'язаних з критичною густиною струму. Тому можна спостерігати дозову залежність зміни температури надпровідного переходу (рис.2). У роботі не спостерігали очікуваного [1, 2] підвищення температури T_c під впливом нейтронів.

3. Обговорення результатів

У межах вихідної T_c для зразків, що використовувалися у роботі з опромінюванням нейтронами, вплив цього параметра на зміщення температури переходу не дуже чіткий. Але порівняння з результатами робіт [1, 2], де використовувалися зразки з вихідною температурою надпровідного переходу $T_c = 88,6 + 91 \text{ К}$, дозволяє зробити висновок, що від останньої залежить не тільки величина зміни ΔT_c , а і характер цієї зміни (так у нашій роботі при опромінюванні нейтронами не виявлено збільшення T_c у будь-яких умовах). У роботах [1, 2], спостерігається збільшення T_c приблизно на 3 К під впливом опромінювання. Але, ймовірно, існує межа для T_c , яку не можливо перевищити шляхом оп-

Рис.2. Дозова залежність ΔT_c після опромінення швидкими нейтронами

роміювання зразка, і, якщо ця межа досягнута вже при виготовленні вихідних зразків, то опромінювання нейтронами не може підвищити T_c . Можливо, це пояснює відсутність покращання T_c .

У роботі не досліджувався вплив опромінення нейтронами дозами меншими ніж 10^{11}cm^{-2} , але можливо припустити, що крива ΔT_c (Ф) (рис.2) із зменшенням дози опромінювання повинна пройти через деякий мінімум і далі досягнути нуля.

Як сказано вище, результати опромінювання електронами та нейтронами відрізняються. Причину такої різниці слід шукати в різних механізмах взаємодії кожного виду опромінювання з речовиною. Під час опромінювання електронами основним типом дефектів, що утворюються є точкові дефекти. Енергія нейтронів значно більша ніж енергія електронів і значно більша ніж порогова енергія створення точкового дефекту, тому в разі опромінювання нейтронами первинні атоми в свою чергу здатні зміщувати каскад вторинних. Таким чином, існує велика ймовірність, крім створення точкових дефектів, створення складних каскадних комплексів тощо [3].

При опромінюванні електронами створені точкові дефекти мають низьку енергію міграції,

порівняно з енергією міграції складних комплексів та внаслідок цього високі ймовірності як рекомбінації дефекту (під час дії опромінювання та після зупинення опромінювання), так і міграції дефектів до стоків. У кераміках такими стоками можуть бути межі зерен, для монокристалів межі двійникування чи інші кластерні порушення ґратки (наприклад включення інших фаз). У результаті цього, відмінності у дії опромінювання нейтронами та електронами, швидше за все, можуть визначитися наявністю більшої концентрації стійких складних дефектів.

Відсутність змін через рік у разі збереження за нормальних умов свідчить, що у випадку опромінення при температурі 290 К відбувається часткова рекомбінація дефектів вже під час опромінювання. А дефекти, що залишаються, або не впливають на властивості матеріалу і їх рекомбінація не приводить до зміни цих властивостей, або мають стійкий характер та більш високу температуру відпалу. Все це підтверджує висновок зроблений раніше.

Висновки

Таким чином, вплив іонізуючого опромінювання дозами до 10^{16}cm^{-2} не приводить до значної деградації властивостей ВТНП-кераміки.

Опроміювання швидкими нейтронами може сприяти зміні таких параметрів матеріалу, як температура та ширина надпровідного переходу. У випадку опромінення електронами зміни параметрів менші, а чутливість до вихідних характеристик матеріалу більша, ніж у разі опромінення нейтронами.

Результати цієї роботи доводять, що опромінювання нейтронами може стати засобом керування властивостями керамічних ВТНП — можливість та ефективність цього залежить від вихідних властивостей матеріалу.

За рахунок стійкості дефектів введення дефектної структури добре піддається контролю і, таким чином, добре відтворюється. Це робить можливим використання опромінення нейтронами як ефективного технологічного фактора.

Опромінення електронами, на нашу думку, є більш чутливим методом впливу на матеріал, і результати опромінення дуже сильно залежать від вихідних параметрів кераміки.

1. Алексеенко А. А., Букалов А. В., Галушка А. П. и др. // Сверхпроводимость. Физика, химия, технология. — 1992. — 5, №1. — С.100 — 102.
2. Адонкін В. Т., Олексієнко Б. В., Галушка О. П. та ін. // УФЖ. — 1993. — 38. — С.1353 — 1362.
3. Вавилов В. С., Ухин Н. А. Радиационные эффекты в полупроводниках и полупроводниковых приборах. — М.: Атомиздат, 1969.

Одержано 13.02.97,
в остаточному варіанті — 11.07.97

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ И БЫСТРЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ КЕРАМИКИ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

В. А. Мокрицкий, А. А. Савельев

Резюме

Исследуется влияние быстрых нейтронов и быстрых электронов на свойства высокотемпературной сверхпроводящей керамики $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. Дозы облучения составляют $10^{11} - 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Проводится сравнительный анализ результатов облучения для двух типов излучений. Обсуждаются возможные причины изменений свойств сверхпроводящего перехода под действием быстрых нейтронов.

INFLUENCE OF SMALL-DOSE IRRADIATION BY FAST NEUTRONS AND FAST ELECTRONS ON THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF RESISTANCE OF CERAMICS $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

V. A. Mokritsky, A. A. Savelev

Odessa State Polytechnical University
(1, Shevchenko Prosp., Odessa 270044, Ukraine)

Summary

The influence of fast neutrons and fast electrons on properties of high-temperature superconducting ceramics $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ is observed. Irradiation fluences from 10^{11} to 10^{16} cm^{-2} are used. Comparative analysis of results for both types of radiations is carried out. The probable reasons for changes in the superconductivity transition properties under the action of fast neutrons are offered.

Сластни

В. А. Мокрицкий
А. А. Савельев