

ВПЛИВ γ -ОПРОМІНЕННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАДПРОВІДНИКА $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$

С.О. Бунда

Ужгородський державний університет, 294000, Ужгород, вул. Волошина, 54

Проведені дослідження по вивченню впливу іонізуючого випромінювання на властивості високотемпературного надпровідника (ВТНП) $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$. Методами диференціальної скануючої калориметрії (ДСК) виявлено процеси дефектоутворення в аніонній підсистемі матриці надпровідника. Встановлено, що опромінення ВТНП дозами гама-радіації $750 \div 1300$ Гр приводить до покращення їх критичних параметрів, таких як критична температура переходу, друге критичне поле та критичний струм. Запропонована модель впливу м'якого гама-опромінення на критичну температуру ВТНП.

ВСТУП

Процеси взаємодії високоенергетичного (або, як його часто називають, жорсткого чи ядерного) випромінювання з твердими тілами супроводжується двома основними типами процесів [1]. По-перше, має місце явище радіаційної іонізації- тобто поява нерівноважних носіїв заряду за рахунок енергії збуджуючого випромінювання. По-друге, дія жорсткого випромінювання на тверді тіла супроводжується зміщенням частини атомів з початкових, стійких позицій, в інші стани, як правило метастабільні. Крім того, під дією нейтронів, заряджених частинок і γ -квантів достатньої енергії відбуваються ядерні реакції, які приводять до незворотніх змін хімічного складу твердого тіла.

Взаємодія γ -квантів з речовиною складається із трьох основних процесів: фотоефекту, комптонівського розсіювання і утворення електронно-позитронних пар. При цьому в твердому тілі виникають радіаційні дефекти (РД)- більш або менш стійкі порушення його кристалічної структури. Взагалі кажучи, тверді тіла, що містять РД, знаходяться в нерівноважному стані, тобто кожному РД відповідає набута енергія, яка виділяється у вигляді тепла або іншим чином при зникненні РД, наприклад, при термічному відпалі.

Гама-кванти, як і швидкі електрони, визивають переважно виникнення дефектів структури точкового типу. Імовірність виникнення зміщених атомів в результаті безпосередньої взаємодії γ -квантів з ядрами речовини є дуже малою. Основну роль в

утворенні дефектів відіграє дія на кристал швидких електронів, які виникають в результаті фотоефекту і ефекту Комптона, а також пар електронів і позитронів, які виникають при достатньо високих енергіях γ -квантів. Слід зауважити, що повний переріз поглинання γ -квантів визначається трьома згаданими процесами [1].

На даний час опублікована значна кількість робіт по впливу радіаційних дефектів, створених нейтронами, іонами, електронами, γ -квантами та іншими видами опромінення, на параметри ВТНП. Встановлено, що при певній концентрації дефектів (i , відповідно, флюенсі Φ_c) критична температура T_c , критичний струм J_c стають рівними нулю, а питомий електричний опір прямує до нескінченності. Аналіз експериментальних результатів дозволяє зробити висновок (див., наприклад, [2]) що при $\Phi = \Phi_c$ відбувається фазовий перехід. Однак природа цього переходу і механізм впливу на нього немагнітних дефектів залишаються неясними. Дійсно, пояснення зменшення T_c за допомогою відомих механізмів, таких як розмивання піків в густині електронних станів, вплив локалізації на енергію зв'язку куперівської пари і на кулонівське відштовхування, зустрічаються з певними труднощами.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Зразки ВТНП-кераміки номінального складу $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ опромінювалися в спеціальних капсулах, які містили мінімальний об'єм повітря при нормальному тиску і температурі $T=35^\circ\text{C}$. Об'єм повітря

був приблизно рівний об'єму зразків. Потужність дози гама- випромінювання кобальта-60 (^{60}Co) складала порядку 10^2 Гр/год; максимальний час опромінення - 50 год та інтегральна доза ~ 5000 Гр.

На рис. 1 приведені криві ДСК не

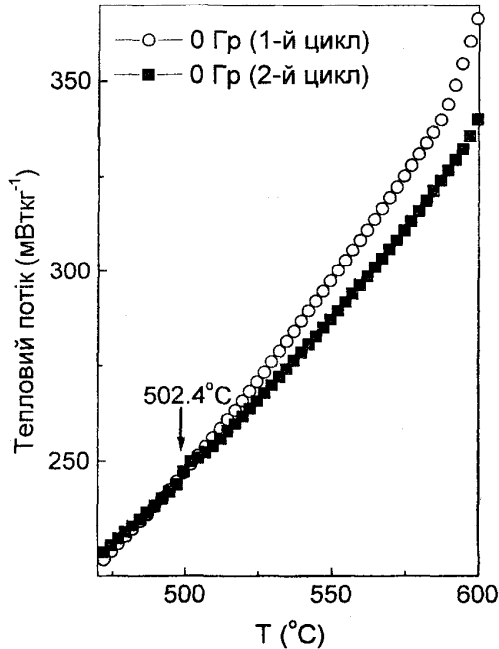


Рис.1а. Криві ДСК неопроміненої кераміки $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$.

опроміненої (а) та опроміненої γ - квантами (б) ВТНП- кераміки номінального складу $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ після першого і другого циклів термосканування. Швидкість зміни температури складала $5^\circ\text{C}/\text{хв}$. Як відомо [3], метод диференціальної скануючої калориметрії (ДСК) є надзвичайно чутливим до зміни питомої теплоємності зразків. У даному випадку зміна величини C_p обумовлена впливом міграції та термоактивованої дифузії точкових дефектів, які утворилися в матриці надпровідника під дією опромінення гама- квантами. Розглянемо більш детально особливості кривих ДСК, приведені на рис. 1.

Для зразків, не опромінених гама-квантами, криві ДСК після першого та другого термосканування практично співпадають в області температур $100 \div 500^\circ\text{C}$ (рис.1а). Вище значення $T=502,4^\circ\text{C}$ спостерігається розбіжність температурної поведінки кривих, котра обумовлена активною міграцією слабозв'язаного надстехіо-

метричного кисню та початком структурного фазового перетворення типу «ортофаза» - «тетра- фаза». Суттєво зауважити, що величина питомої теплоємності керамічного зразка стає дещо меншою (на 5 - 7%) після першого термоциклювання, що

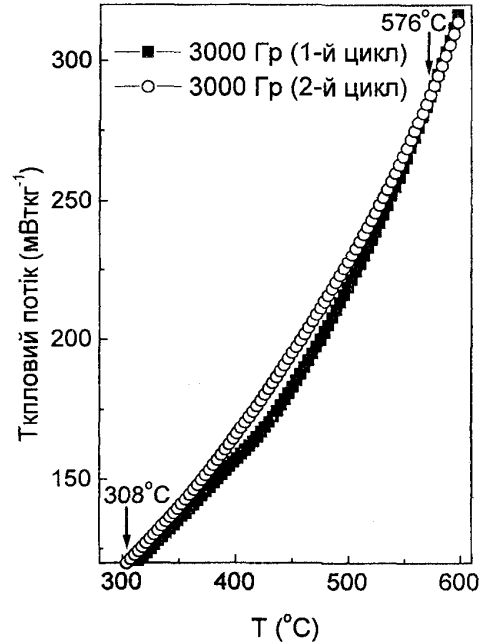


Рис.1б. Криві ДСК кераміки $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ опроміненої γ - квантами дозою 3000 Гр.

пов'язано із зменшенням концентрації власних дефектів кераміки (ефект термовідпалу).

У зразках тієї ж партії, опромінених гама- квантами дозою 3000 Гр, температурна поведінка кривих ДСК є принципово іншою. Тут криві ДСК співпадають тільки у температурному інтервалі $100 \div 308^\circ\text{C}$. Як бачимо, дифузія та термоактивація дефектів у опромінених зразках починається при температурі на 205°C нижчій, ніж у неопромінених. При досягненні температури $T \sim 576^\circ\text{C}$ криві ДСК знову співпадають, що свідчить про закінчення процесу термовідпалу радіаційних дефектів у матриці кераміки $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$.

На рис.2 зображені температурні залежності магнітного моменту надпровідникових керамічних зразків номінального складу $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$, опромінених різними дозами гама- квантів. Суцільна лінія описує неопромінені зразки. Як бачимо, відносно

невисокі (50÷500Гр) дози опромінення приводять до зменшення температури початку

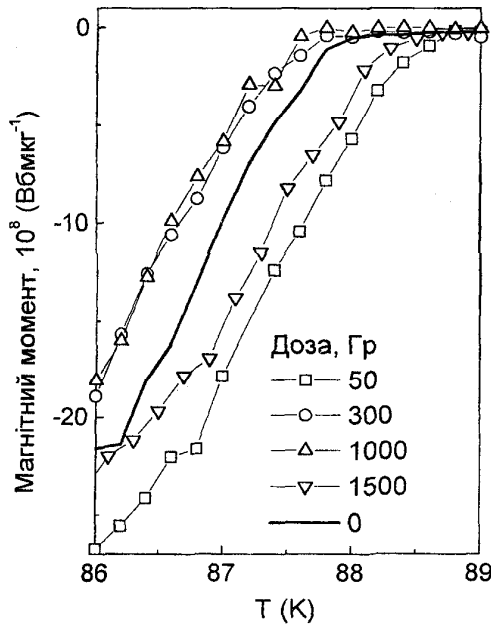


Рис.2. Температурні залежності магнітного моменту опромінених гама- квантами ВТНП- зразків $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$.

надпровідного переходу на 0,5 - 1% (рис.2). В той же час спостерігається суттєве (на 1,3-1,5%) зростання концентрації надпровідної (мейснерівської) фази (рис.3). При досягненні доз гама- опромінення більших 1000 Гр має місце зростання температури надпровідного переходу на 1-1,2% в порівнянні з неопроміненіми зразками. Максимальні ефекти позитивної зміни T_c та концентрації надпровідної фази мають місце при дозі опромінення ~ 1500 Гр (рис.3).

Відомо, що ВТНП кераміки являють собою складну композицію, яка складається із набору кристалічних зерен-гранул різної форми і різних розмірів. В цьому зв'язку дія іонізуючого випромінювання може змінювати, по-перше, як власне внутрішню структуру зерен (*intragrain structure*), так, по-друге, і властивості міжзеренних границь (*intergrain boundaries*). Зміна критичної температури переходу в надпровідний стан T_c під дією іонізуючого випромінювання обумовлена внутрізеренними структурно- хімічними змінами, в той час як значення величин H_{c1} , H_{c2} і J_c

визначаються в першу чергу якістю міжзеренних границь [4, 5].

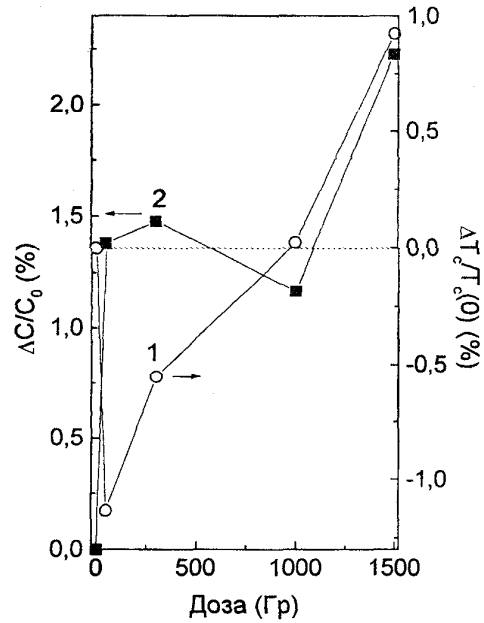


Рис.3. Залежності відносних змін температури надпровідного переходу (1) та концентрації мейснерівської фази (2) від дози опромінення.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ І ТЕОРЕТИЧНИЙ ОПИС

Проведемо розгляд дії іонізуючого випромінювання на конденсат куперівських пар в рамках теорії конденсації Бозе-Ейнштейна. Скористаємося співвідношенням для сильно розчинених бозе- систем, яке зв'язує критичну температуру конденсації T_c з концентрацією куперівських пар квазічастинок N_p та їх ефективною масою m^* [6]:

$$T_c = \frac{2\pi \hbar^2}{k_B m^*} \left(\frac{N_p}{2,612} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

Під дією опромінення гама- квантами варіація критичної температури δT_c дається рівністю

$$\delta T_c = \left(\frac{\partial T_c}{\partial x} \right) \delta x = \left(\frac{\partial T_c}{\partial N_p} \frac{\partial N_p}{\partial x} \right) \delta x \quad (2)$$

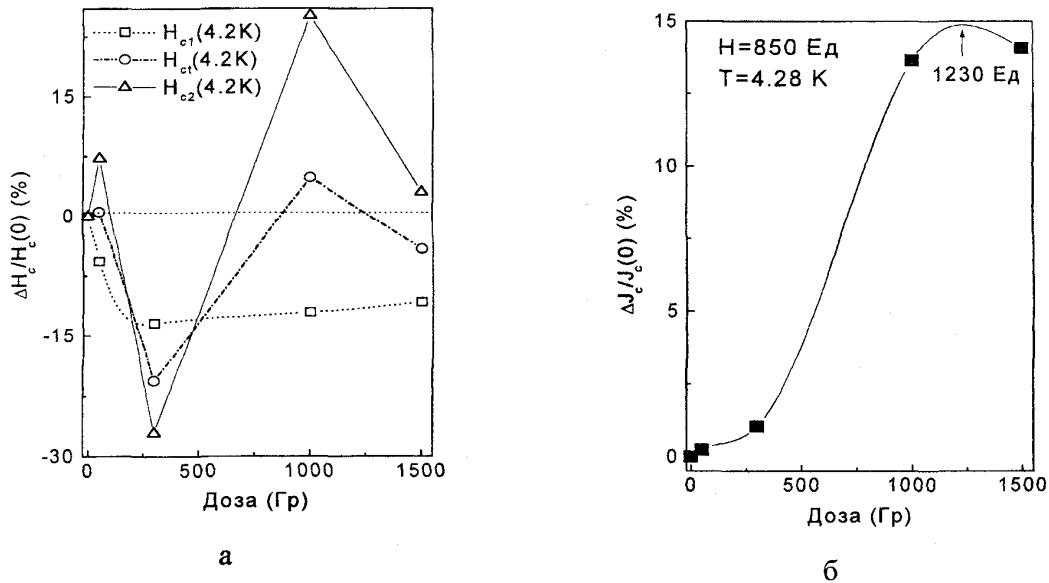


Рис. 4. Залежність критичних магнітних полів (а) і критичного струму (б) від інтегральної дози опромінення γ - квантами при температурі кипіння рідкого гелію.

де x - інтегральна доза опромінення. Таким чином, для розрахунку залежності $T_c(x)$ необхідно знати залежність концентрації іонів надстехіометричного кисню, які визначають концентрацію квазічастинок, від дози опромінення $N_p(x)$. При низьких дозах опромінення $N_p = N_p^0 \exp(|\alpha| x)$, де $\alpha = const$. На основі рівнянь (1-2) ми одержуємо залежність T_c надпровідника від інтегральної дози опромінення:

$$T_c(x) = \frac{T_c^0}{|\alpha|} \left[\exp\left(\frac{2|\alpha| x}{3}\right) + |\alpha| - 1 \right], \quad (3)$$

де $T_c^0 = T_c(x=0)$; $|\alpha|$ - модуль коефіцієнта взаємодії γ - квантів з іонами надстехіометричного кисню (куперівськими парами). Збільшенням або зменшенням концентрації бозе-частинок в системі під дією γ -квантів визначає, у відповідності із співвідношенням (3), тенденцію зміни критичної температури T_c .

Відносні зміни першого-, термодинамічного- і другого критичних полів надпровідної кераміки $YBa_2Cu_3O_{7.8}$ в залежності від інтегральної дози гама- опромінення приведено на рис.4а. В першу чергу необхідно відзначити дуже складний характер кривих. Так, в інтервалі малих ($\sim 30-70$ Гр) доз опромінення значення другі критичного поля зростає більш як на 8 %, в той

час як величина першого критичного поля зменшується на 6 %. Дози гама- опромінення порядку 220-350 Гр приводять до суттєвого падіння всіх трьох критичних полів відповідно на 13% (H_{c1}), 20% (H_{ct}) і 25% (H_{c2}) (рис.4а). Подальше збільшення дози опромінення приводить до різкого (стрибокподібного) зростання другого- і термодинамічного критичних полів (відповідно на 50 % та 25 %). Максимальні значення досягаються при дозі опромінення ~ 1000 Гр. Величина першого критичного поля при цьому практично не змінюється. Гама- опромінення ВТНП- керамік $YBa_2Cu_3O_{7.8}$ інтегральними дозами порядку 1500 Гр приводить до повторного зменшення параметрів H_{c2} і H_{ct} (рис.4а).

Відносна зміна критичного струму в залежності від інтегральної дози гама- опромінення ВТНП- кераміки $YBa_2Cu_3O_{7.8}$ приведена на рис.4б. Зростання інтегральної дози супроводжується стійким збільшенням критичного струму, котрий досягає максимуму при дозах порядку 1300-1500 Гр. Ми вважаємо, що в результаті ефективною взаємодією гама- квантів з атомами кисню формуються стійкі центри пінінгу та відбувається модифікація слабких джозефсонівських зв'язків між зернами. Вказані фактори приводять до зростання величини критичного струму.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. В.С. Вавилов, Н.П. Кекелидзе, Л.С. Смирнов, Действие излучений на полупроводники, Наука, Москва, (1988) 192 с.
2. В.Ф. Елесин, П.Б. Жилин, В.Е. Жуков, К.Э. Коньков, А.С. Молчанов, Сверхпроводимость: физика, химия, техника, 5, 12, 2315 (1992).
3. Бернштейн В.А., Егоров В.М., Дифференциальная сканирующая калориметрия в физикохимии полиметров, Химия, Ленинград, (1990) 256с.
4. В. Бунда, С. Бунда та ін., Наукові праці Інституту електронної фізики НАН України (ІЕФ'97), Ужгород (1996) с.44.
5. S.O. Bunda, Proceeding of Internationale conference «The sentenary of the electron», -18-20 August, Uzhgorod, Ukraine (1997) P.23.
6. Н. Марч, М. Паринелло, Коллективные эффекты в твердых телах и жидкостях, Мир, Москва, (1986) 320 с.

INFLUENCE OF γ - IRRADIATION ON PROPERTIES OF $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTOR S.O. Bunda

Uzhgorod State University, 294015, Uzhgorod, Voloshin Str., 54

$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ceramics were sequentially irradiated with 1.22 MeV electrons energy at a dose 155.4 R/min at ambient temperature. AC susceptibility and vibrating sample magnetometer magnetisation measurements were measured as a function of temperature and magnetic field, respectively. Hysteresis loops $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ for ceramic samples are presented and analysed in terms of the Bine critical state model to obtain the variation of the intragranular critical current density as a function of the magnetic field. Changes of the transition temperature to the superconducting state and changes of the intragrain critical current density due to the dose rate of irradiation are associated with a change of carrier concentration in CuO_2 planes. A formation of the extra pinning centres by electron irradiation is suggested.