

Original article

In print article

<https://doi.org/10.26565/2222-5617-2024-40-04>

UDC: 538.945, 537.5, 544.2

PACS numbers: 74.72.Bk, 74.45.c, 74.25.n

## ОПРОМІНЮВАННЯ ФОТОНАМИ ТА «ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНА» ЕЛЕКТРИЧНА НАДПРОВІДНІСТЬ ПОЛІКОМПОНЕНТНИХ МЕТАЛ-ОКСИДНИХ СПОЛУК

Ю. І. Бойко<sup>1</sup>, В. В. Богданов<sup>1</sup>, Р. В. Вовк<sup>1</sup>, Б. В. Гриньов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, 61022 Харків, Україна

<sup>2</sup>Інститут сцинтиляційних матеріалів НТЦ «Інститут монокристалів» НАН України, пр. Науки, 60, 61072 Харків, Україна  
E-mail: [bogdanov@karazin.ua](mailto:bogdanov@karazin.ua)

Надійшла до редакції 27 березня 2024 р. Переглянуто 06 травня 2024 р.

Прийнято до друку 15 травня 2024 р.

У роботі обговорюється можливість збільшення температури переходу метал-оксидних сполук ("високотемпературних" надпровідників) до надпровідного стану (нульовий електричний опір) при опромінюванні їх досить потужним потоком фотонів. У цьому випадку в опромінюваній речовині внаслідок внутрішньої фотоіонізації відбуваються зміни як важливих параметрів фононного спектру, так і енергетичного спектра електронів.

Величина енергії фотона має задовольняти таку умову:  $h\nu \geq W$  ( $\nu$  – частота фотона,  $W$  – енергія фотоіндукованої хімічної реакції). Згідно зі зробленими в роботі оцінками, мінімальна довжина хвилі фотонів, які можуть реалізувати описаний ефект, має характеризуватися значенням  $\lambda \approx 10^{-4}$  м. Фотони такої довжини хвилі відповідають інфрачервоному світловому випромінюванню, потік достатньої потужності якого легко досягається лазерною технологією.

Зміна параметрів фононного спектру та енергетичного стану електронів в обговорюваних сполуках при опроміненні їх фотонами обумовлює утворення додаткової кількості скупчень спеціальних комплексів іонів (негативних U-центрів), які здатні генерувати квазічастинки: «куперовські» пари електронів (бозони).

Утворення скупчень негативних U-центрів (кластерів) призводить до формування особливого енергетичного спектра електронної підсистеми метал-оксидів, що допускає парні переходи електронів. Спарені електрони переносять електричний заряд без втрати енергії. Опромінювання оптичними фотонами полікомпонентних метал-оксидів інтенсифікує процес формування максимально можливої сумарної довжини кластерів з U-центрів, отже інтенсифікує процес переходу метал-оксидів у надпровідний стан: температура повного переходу цих сполук до надпровідного стану  $T_c$  може наблизитися до значення температури відкриття псевдощільнини в енергетичному спектрі електронів, тобто цей перехід реалізується за більш високих температур, ніж це відбувається за звичайних умов.

**Ключові слова:** високотемпературна надпровідність, метал-оксидні сполуки, негативні U-центри, фотоіонізація.

**Як цитувати:** Ю. І. Бойко, В. В. Богданов, Р. В. Вовк, Б. В. Гриньов. Опромінювання фотонами та «високотемпературна» електрична надпровідність полікомпонентних метал-оксидних сполук. Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Серія «Фізика». Вип. 40, 2024, 41–46. <https://doi.org/10.26565/2222-5617-2024-40-04>

**In cites:** Yu. I. Boyko, V. V. Bogdanov, R. V. Vovk, B. V. Grinyov. Photon irradiation and "high-temperature" electrical superconductivity of polycomponent metal-oxide compounds. Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Physics. Iss. 40, 2024, 41–46. <https://doi.org/10.26565/2222-5617-2024-40-04> (in Ukrainian).

## ВСТУП

Відкриття "високотемпературної" електричної надпровідності (нульовий електричний опір) полікомпонентних метал-оксидних сполук викликало величезний інтерес до досліджування цього класу речовин [1, 2]. До цих сполук відноситься цілий ряд речовин, які описуються загальною хімічною формулою  $(R)Ba_2Cu_3O_{7-x}$ , де R – це Y, Nd, La, Pr та ін, а також деякі складніші сполуки, до складу яких, крім зазначених вище іонів, входять також іони Bi, Te і Hg. Всі ці речовини переходять до надпровідного стану в інтервалі температур  $\approx (90 - 160)$  K, тобто вище температури кипіння рідкого азоту (77 K). Саме ця обставина використана для обґрунтування того, що метал-оксидні сполуки були виділені в окремий клас так званих "високотемпературних" надпровідників на відміну від класичних (металевих) надпровідників, температура переходу яких характеризується інтервалом значень  $\approx (1 - 40)$  K. У подальших дослідженнях, що відбулися після відкриття «високотемпературної» надпровідності, основні зусилля були спрямовані на пошук нових надпровідників, а також на знаходження умов, за яких метал-оксидні надпровідники характеризувались би ще вищою температурою переходу. При цьому стратегічною метою більшості досліджень є виявлення надпровідності при кімнатній температурі (300 K) і при нормальному (атмосферному) тиску. Вимога здійсненості цієї умови є дуже важливою для реалізації широкого та, найголовніше, економічно вигідного використання надпровідників у технічних цілях. Проте дотепер зазначена стратегічна мета численних досліджень, присвячених вивченню надпровідності, залишається недосягнутою. Однією з причин є відсутність однозначності в розумінні мікроскопічного механізму надпровідності метал-оксидних сполук. Спроби пояснити надпровідність цього класу речовин за допомогою теорії BCS (фононне спарювання електронів), яка описує «низькотемпературну» надпровідність металів та металевих сплавів, виявилася неприйнятною [3, 4]. При цьому детальне дослідження природи елементарних носіїв електричного заряду в метал-оксидах показало, що електрична провідність цих речовин при температурах  $T \leq T_c$  реалізується за рахунок транспорту спарених електронів (бозонів), як і у разі класичних «низькотемпературних» надпровідників. У зв'язку з цим одним із актуальних напрямків досліджень надпровідності на даний час є з'ясування причин утворення спарених електронів у метал-оксидах. Природно, що більшість цих досліджень присвячена вивченню хімічної та кристалографічної будови цього класу речовин, оскільки визначають особливості будови як фононного

спектру, так і енергетичного спектру електронів, що, у свою чергу, визначає можливість генерування квантових квазічастинок – бозонів.

У цій роботі проведено аналіз кристалографічної будови та хімічного складу метал-оксидів, на підставі якого зроблено висновок про те, що визначальну роль у процесі формування надпровідного стану цих речовин відіграє «ізодесмічна» (шарувата) будова їхньої кристалічної ґратки, а також можливість утворення різних хімічних зв'язків між іонами. У цих сполуках іон кисню O (аніон) утворює іонну та ковалентну хімічні зв'язки з іонами різних металів [5]. Такий специфічний характер зв'язку між іонами метал-оксидів зумовлює формування в них кристалічної структури з орторомбічною елементарною коміркою. При цьому важливу роль для надпровідності відіграє величина параметра  $x$ , що характеризує ступінь відхилення від стехіометрії метал-оксидів за киснем. При великому дефіциті іонів кисню ( $x \geq 5$ ) формується кристалічна структура з іншою (тетрагональною) елементарною коміркою і надпровідність у такій структурі не виявляється. Зазначені особливості будови метал-оксидних сполук обумовлюють утворення в цих речовинах особливих іонних комплексів (негативних U-центрів), які здатні генерувати спарені електрони  $i$ , відповідно, реалізувати надпровідність цих речовин [6]. Відповідно до наведеної вище інформації, природно вважати, що утворення негативних U-центрів може бути суттєво активовано, якщо опромінювати метал-оксид досить потужним потоком оптичних фотонів. В цьому випадку в результаті ефекту внутрішньої фотоіонізації має посилюватися процес утворення негативних U-центрів, які згодом поєднуються в скупчення (кластери). Відповідно має активуватися і процес переходу метал-оксидів до надпровідного стану, тобто при опромінюванні фотонами цей перехід має реалізовуватися за більш високих температур, ніж це спостерігається у звичайних умовах.

У наступних розділах цієї статті описані причини формування особливого структурного стану метал-оксидів та зроблено кількісні оцінки величини можливого підвищення температури  $T_c$  переходу цих речовин до надпровідного стану при опромінюванні фотонами. Наводяться також експериментальні дані, що свідчать про правомірність зроблених висновків.

### ОСОБЛИВОСТІ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА КРИСТАЛОГРАФІЧНОЇ БУДОВИ МЕТАЛ-ОКСИДІВ

1) Насамперед, слід зазначити, що всі «високотемпературні» метал-оксидні надпровідники у своєму складі мають іон міді, а також деякі інші іони, які мають здатність змінювати свою валентність ( $Cu^{1+}$ ,

$\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{3+}$ ), ( $\text{Bi}^{3+}$ ,  $\text{Bi}^{5+}$ ). Відповідно, наявність зазначених іонів дозволяє легко змінювати ступінь окислення описуваних речовин. При цьому існує чітка кореляція між температурою переходу речовини до надпровідного стану  $T_c$  і концентрацією іонів кисню.

2) Всі метал-оксиди в надпровідному стані характеризуються наявністю певної частки високочастотних фонових (оптична мода), що зумовлює збільшення температури Дебая цих сполук до величини  $\approx 10^3$  К. Це зумовлено специфічною кристалографічною будовою метал-оксидів, що описується орторомбічною елементарною коміркою. Відмінною особливістю цієї структури є те, що вона має шаруватий характер і містить дві конфігурації кисневого оточення іонів міді: чотиригранну піраміду в площинах  $\text{CuO}_2$  і ромб, що складається з ланцюжків  $\text{CuO}$  в базовій площині. Утворюється структура, що складається з так званих "перовскито-подібних" блоків, що містять площини  $\text{CuO}_2$ , розділені відокремленими площинами, утвореними ланцюжками  $\text{CuO}$ . Саме ця обставина зумовлює зближення іонів між площинами і відповідно збільшення максимального значення частоти у фоновому спектрі.

3) Перехід до надпровідного стану метал-оксидних сполук за звичайних умов реалізується за відносно низьких значень щільності енергетичних станів електронів поблизу рівня Фермі:  $N(E_F) \approx (10^{26} - 10^{27}) \text{ 1/m}^3$ . При цьому зони провідності цих речовин характеризуються досить широким інтервалом значень  $\approx (3 - 10) \text{ eV}$ .

4) Усі надпровідні метал-оксидні сполуки характеризуються температурою  $T^* \geq T_c$ , за досягнення якої починається відхилення від "нормальної" провідності (температура відкриття так званої "псевдо-щілини" в енергетичному спектрі електронів). При цьому значення температури  $T^*$  істотно залежить від величини параметра  $x$ , що характеризує ступінь наповнення метал-оксидної сполуки іонами кисню.

5) При переході до надпровідного стану при  $T \leq T_c$  всі метал-оксиди характеризуються появою в енергетичному спектрі електронної підсистеми доволі вузької  $\approx (5 \times 10^{-3} - 10^{-2}) \text{ eV}$  енергетичної щілини поблизу рівня Фермі.

Найбільш прийнятна фізична концепція, що пояснює практично всі перелічені вище особливості надпровідності метал-оксидних сполук, це ідея про те, що в обговорюваних речовинах формуються специфічні скупчення комплексів іонів (негативні U-центри), що складаються з певного набору іонів (див. рис. 1) [6].

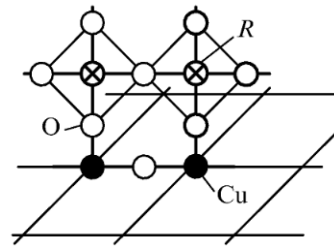


Рис. 1. Фрагмент кристалічної структури  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , що містить кластер  $\text{Cu}_2\text{R}_2\text{O}_4$ , де іони  $\text{Cu}$  "вбудовані" в  $\text{CuO}_2$ -площину, а іон  $\text{R} = \text{Cu}$  в ланцюжках  $\text{CuO}_3$ .

Fig. 1. Fragment of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  crystal structure containing a  $\text{Cu}_2\text{R}_2\text{O}_4$  cluster, where  $\text{Cu}$  ions are "embedded" into the  $\text{CuO}_2$  plane, and the  $\text{R} = \text{Cu}$  ions in the  $\text{CuO}_3$  chains.

Кожен U-центр складається з двох іонів міді (катіонів), вбудованих у площину  $\text{CuO}_2$  та оточуючих їх негативних іонів кисню (аніонів), а також з двох іонів міді, вбудованих у площині, утвореними ланцюжками  $\text{CuO}$ . Формування скупчень такого роду центрів у полікомпонентних метал-оксидних сполуках було підтверджено експериментально. Детальний аналіз енергетичного спектру електронів, що формується в цих речовинах показав, що в ньому виникають рівні, що допускають локальний парний перехід електронів від іону кисню до двох сусідніх іонів міді (рис. 2).

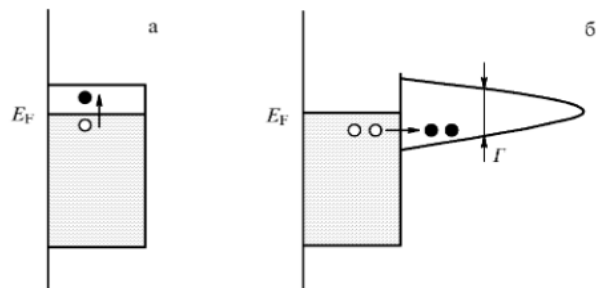


Рис. 2. Схема зонної структури електронного енергетичного спектра: а) звичайного металу; б) метал-оксидної сполуки [15]. Дірки виникають у заповненій зоні за рахунок переходу електронних пар на парний рівень, ширина якого  $\Gamma \sim T$ .

Fig. 2. Diagram of the band structure of the electronic energy spectrum: a) ordinary metal; b) metal-oxide compound [15]. Holes appear in the filled zone due to the transition of electron pairs to a pair level, the width of which  $\Gamma \sim T$ .

При цьому на початковій стадії процесу формування енергетичного спектра поява навіть невеликої кількості скупчень U-центрів (кластерів) зумовлює незначну надлишкову електричну

провідність при температурі  $T^*$  (температура відкриття «псевдо-щілини»). Мінімальний розмір кластера, що обумовлює можливість парного переходу електронів на вищій енергетичний рівень, визначається довжиною когерентності в площинах  $\text{CuO}_2$  і становить  $\approx 10^{-9}$  м. У міру збільшення концентрації іонів кисню в метал-оксиді, тобто за зменшенням параметра  $x$  ( $x \rightarrow 0$ ), сумарна довжина кластерів, що складаються з негативних U-центрів, збільшується, а температура  $T^*$  поступово зменшується, наближаючись до температури переходу  $T_c$ . Таким чином, температура переходу метал-оксидних сполук у надпровідний стан  $T_c$  визначається повним заповненням аніонної підґратки іонами кисню, тобто за досягнення максимально можливої сумарної довжини кластерів, утворених U-центрами. Переконалим підтвердженням на користь правомірності зробленого висновку є такий експериментальний факт.

Як зазначалося, складніші метал-оксидні сполуки, що містять додаткові іони Bi, Tl, Hg характеризуються найбільш високими значеннями температури переходу  $T_c$  порівняно з більш простими метал-оксидами. Виходячи з викладеної вище логіки, це пояснюється тим, що в структурі цих сполук є додаткова кількість площин  $\text{CuO}_2$ , наявність яких зумовлює утворення більшої кількості кластерів, що складаються з U-центрів, порівняно з більш простими оксидами металу. Відповідно, ці сполуки характеризуються вищими значеннями  $T_c$ . Фактом, що свідчить на користь наведеної вище схеми, є результат роботи [11], в якій показано, що збільшення сумарної довжини кластерів в умовах дії зовнішнього тиску призводить до підвищення температури переходу  $T_c$ .

Таким чином, з великим ступенем впевненості можна зробити висновок, що визначальну роль у процесі появи надпровідного стану в метал-оксидних сполуках грає наявність у їх структурі базисних площин, сформованих  $\text{CuO}_2$ , розділених відокремленими площинами, утвореними ланцюжками  $\text{CuO}$ . Така кристалографічна будова метал-оксидів, а також наявність хімічних зв'язків однойменних пар іонів, що відрізняються, зумовлюють появу скупчень специфічних комплексів іонів (негативних U-центрів), здатних генерувати спарені електрони, що і обумовлює електричну надпровідність цих речовин.

#### **ЗБІЛЬШЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПЕРЕХОДУ МЕТАЛ-ОКСИДІВ У НАДПРОВІДНИЙ СТАН В УМОВАХ ОПРОМІНЮВАННЯ ФОТОНАМИ**

Відповідно до висновку, зробленого в попередньому розділі, природно припустити, що перехід метал-оксидних сполук до надпровідного

стану може відбуватися за більш високої температури, якщо їх опромінювати досить потужним потоком фотонів. Дійсно, процес формування специфічного енергетичного спектру електронів у метал-оксидах пов'язаний з можливістю утворення іонного і ковалентного хімічних зв'язків між однойменними парами іонів. Реалізація цього процесу може бути суттєво полегшена в умовах опромінювання фотонами [12]. Як уже зазначалося, у звичайних умовах (без опромінення) перші ознаки утворення кластерів з U-центрів виявляються при температурі  $T^*$  (температура відкриття «псевдо-щілини»), яка значно перевищує температуру переходу  $T_c$ . Очевидно, що опромінення фотонами може значно прискорити процес утворення U-центрів та формування їх скупчень. При цьому теплове руйнування скупчень блокуватиметься процесом їхнього утворення під дією опромінення. Відповідно, при цьому температура переходу  $T_c$  має наближатися до значення температури  $T^*$ . Зробимо оцінку деяких параметрів потоку фотонів, під впливом якого можна реалізувати цей ефект. Насамперед, очевидно, що величина енергії фотона має задовольняти таку умову:  $h\nu \geq W$  ( $h$  – константа Планка,  $\nu$  – частота фотона,  $W$  – енергія фотоіндукованої хімічної реакції, що зумовлює утворення негативного U-центру). В даному випадку мінімальне значення енергії  $W$  визначається величиною теплової енергії, достатньої для ліквідації бозонів (руйнування спарених електронів), відповідальних за надпровідність, тобто  $W \approx kT_c$  ( $k$  – константа Больцмана). Оскільки для метал-оксидів величина  $T_c \approx 100$  К, то мінімальна довжина хвилі  $L$  фотонів, які можуть реалізувати описуваний ефект, має характеризуватися значенням  $L \approx 10^{-4}$  м. Фотони такої довжини хвилі відповідають інфрачервоному світловому випромінюванню, потік достатньої потужності якого легко досягається лазерною технологією. Очевидно, що в даному випадку необхідно, щоб густина фотонів відповідала густині атомів речовини, що опромінюється, тобто  $n_f \approx n_{at} \approx 10^{29}$  1/м<sup>3</sup>. Така густина фотонів досягається при використанні лазера потужністю  $\approx 10^{11}$  Вт/м<sup>2</sup> та тривалістю імпульсу  $\approx 10^{-8}$  с. При цьому необхідно мати на увазі, що інфрачервоне випромінювання проникає в об'єм метал-оксидних сполук на глибину  $\approx 10^{-6}$  м. Отже, описуваний ефект може реалізуватися або в приповерхневому шарі зразка, що опромінюється, або в об'ємі плівки зазначеної товщини. Крім того, повною мірою цей ефект має проявлятися в монокристалах, оскільки наявність зерен з характерним розміром  $\approx (10^{-4} - 10^{-5})$  м обумовлює значне розсіювання інфрачервоного випромінювання.

## ВИСНОВКИ

Лазерне опромінення, що характеризується довжиною хвилі  $L \leq 10^{-4}$  м та тривалістю імпульсу  $\approx 10^{-8}$  с за досягнення густини потужності  $\approx 10^{11}$  Вт/м<sup>2</sup> може зумовити утворення у метал-оксидних сполуках додаткову кількість специфічних комплексів іонів (негативних U-центрів).

Утворення скупчень негативних U-центрів (кластерів) призводить до формування особливого енергетичного спектра електронної підсистеми метал-оксидів, що допускає парні переходи електронів.

Поява кластерів U-центрів, розмір яких досягає довжини когерентності електронів ( $\approx 10^{-9}$  м) обумовлює формування «куперівських» пар електронів (бозонів), здатних переносити електричний заряд без втрати енергії. При цьому виявляються перші ознаки появи надпровідного стану метал-оксидів: зменшення електричного опору при температурі  $T^*$  (температура відкриття псевдощільни в енергетичному спектрі електронів). У звичайних умовах (без опромінення) середнє значення температури  $T^*$  для метал-оксидів характеризується величиною  $\approx 300$  К і залежить від рівня насичення киснем (значення параметра  $x$ ).

В умовах опромінення фотонами в метал-оксидах інтенсифікується процес формування максимально можливої сумарної довжини кластерів з U-центрів і, відповідно, температура повного переходу цих сполук до надпровідного стану  $T_c$  може наблизитися до значення  $T^*$ .

Описаний ефект може реалізуватися в приповерхневому шарі завтовшки  $\approx 10^{-6}$  м об'ємних монокристалічних зразків метал-оксидів або в тонких плівках такої самої товщини.

## КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no conflict of interests.

## REFERENCES

1. J. G. Bednorz, K. A. Mueller. Z. Phys., B 64, 189 (1986). <https://doi.org/10.1007/BF01303701>
2. M. K. Wu, J. R. Ashburn, C. J. Torng, P. H. Hor, R. L. Meng, L. Gao, Z. J. Huang, Y. Q. Wang, and C. W. Chu. Phys. Rev. Lett., 58, 908 (1987). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.58.908>
3. J. Bardeen, L. N. Cooper, J. R. Schrieffer. Phys. Rev., 108, 1175 (1957). <https://doi.org/10.1103/PhysRev.108.1175>
4. B. Batlog B. Batlogg, R. J. Cava, A. Jayaraman, R. B. van Dover, G. A. Kourouklis, S. Sunshine, D. W. Murphy, L. W. Rupp, H. S. Chen, A. White, K. T. Short, A. M. Muijsce, and E. A. Rietman. Phys. Rev. Lett., 58, 2333 (1987). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.58.2333>
5. H. Jaeger, S. Hofmann, G. Kaiser, K. Schulze, G. Petzow. Phys. C, 153, 133 (1988). [https://doi.org/10.1016/0921-4534\(88\)90517-5](https://doi.org/10.1016/0921-4534(88)90517-5)
6. Yu. I. Boyko, V. V. Bogdanov, R.V. Vovk. Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "Physics", 32, 10-13, (2020). <https://doi.org/10.26565/2222-5617-2020-32-01>
7. P. Strobel, J. Capponi, M. Marezio, P. Monod. Solid State Comm., 64, 513, (1987). [https://doi.org/10.1016/0038-1098\(87\)90770-8](https://doi.org/10.1016/0038-1098(87)90770-8)
8. K. Yvon, M. Francois. Z. Phys., 76, 413 (1989). <https://doi.org/10.1007/BF01307892>
9. Ryusuke Matsunaga, Yuki I. Hamada, Kazumasa Makise, Yoshinori Uzawa, Hirotaka Terai, Zhen Wang, and Ryo Shimano. Phys. Rev. Lett., 111, 057002 (2013). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.111.057002>
10. Ryusuke Matsunaga, Naoto Tsuji, Hiroyuki Fujita, Arata Sugioka, Kazumasa Makise, Yoshinori Uzawa, Hirotaka Terai, Zhen Wang, Hideo Aoki, and Ryo Shimano. Science, 345, 1145 (2014). <https://doi.org/10.1126/science.1254697>
11. Y. Boyko, V. Bogdanov, R. Vovk, B. Grinev. Low. Temp. Phys., 44, 63 (2018). <https://doi.org/10.26565/2222-5617-2021-34-03>
12. D. Fausti, R. I. Tobey, N. Dean, S. Kaiser, A. Dienst, M. C. Hoffmann, S. Pyon, T. Takayama, H. Takagi, and A. Cavalleri. Science, 331, 189 (2011). <https://doi.org/10.1126/science.1197294>

# PHOTON IRRADIATION AND “HIGH-TEMPERATURE” ELECTRICAL SUPERCONDUCTIVITY OF POLYCOMPONENT METAL-OXIDE COMPOUNDS

Yu. I. Boyko<sup>1</sup>, V. V. Bogdanov<sup>1</sup>, R. V. Vovk<sup>1</sup>, B. V. Grinyov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody sq., 61022 Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>Institute for Scintillation Materials, STC “Institute for Single Crystals”, National Academy of Science of Ukraine, 60 Nauky Ave., 61072 Kharkiv, Ukraine

E-mail: bogdanov@karazin.ua

Received on March 27, 2024. Reviewed on May 06, 2024.

Accepted for publication on May 15, 2024.

The paper discusses the possibility of increasing the transition temperature of metal-oxide compounds (“high-temperature” superconductors) to the superconducting state (zero electrical resistance) when irradiating them with a sufficiently powerful photon flow. In this case, in the irradiated substance, as a result of internal photo-ionization, changes occur in both the important parameters of the phonon spectrum and the electrons energy spectrum.

The value of the photon energy must satisfy this condition:  $h\nu \geq W$  ( $\nu$  is the photon frequency,  $W$  is the energy of the photoinduced chemical reaction). According to the estimates made in the work, the minimum wavelength of photons that can realize the described effect should be characterized by the value  $\lambda \approx 10^{-4}$  m. Photons of this wavelength correspond to infrared light radiation, a flow of sufficient power of which is easily achieved by laser technology.

A change in the parameters of the phonon spectrum and the energy state of electrons in the discussed compounds when they are irradiated with photons causes the formation of an additional number of clusters of special ion complexes (negative U-centers), which are capable of generating quasiparticles: “Cooper” pairs of electrons (bosons).

The formation of clusters of negative U-centers leads to the formation of a special energy spectrum of the electronic subsystem in metal oxides, which allows pair transitions of electrons. Paired electrons carry an electric charge without losing energy. Irradiation of multicomponent metal oxides with optical photons intensifies the process of formation of the maximum possible total length of U-centers clusters, therefore intensifies the process of metal oxides transition to a superconducting state: the temperature of the complete transition of these compounds to the superconducting state  $T_c$  can approach the value of the temperature of the opening of a pseudogap in the energy spectrum of electrons that is, this transition is realized at higher temperatures than it occurs under normal conditions.

**Keywords:** high-temperature superconductivity, metal-oxide compounds, negative U-centers, photoionization.