

ՖԻԶԻԿԱ, ԿԵՆՍԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ, ԻՆՖՈՐՄԱՏԻԿԱ

СЕРГЕЙ НИКОГОСЯН

*Старший научный сотрудник Ереванского институт физики,
кандидат физико-математических наук*

ВАЧАГАН АРУТЮНЯН

*Заведующий отделом прикладных исследований физики Ереванского институт физики,
доктор физико-математических наук, профессор*

ЭДГАР МУГНЕЦЯН

*Сотрудник Международного Научно-Образовательного Центра НАН РА,
кандидат физико-математических наук*

ЕРДЖАНИК ЗАРГАРЯН

*Начальник учебной части Международного Научно-Образовательного Центра НАН РА,
кандидат физико-математических наук*

АЛЬБЕРТ САРКИСЯН²

*Директор Международного Научно-Образовательного Центра НАН РА,
доктор физико-математических наук, профессор*

СТИМУЛЯЦИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПРОВОДИМОСТИ В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ И $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2.5}\text{Cu}_{3.6}\text{O}_y$ ПОСЛЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В статье представлены результаты исследования стимуляции полупроводникового типа проводимости в поликристаллических высокотемпературных сверхпроводниках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ и $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2.5}\text{Cu}_{3.6}\text{O}_y$ после 30-минутной дополнительной обработки в воздухе соответственно при температурах 400°C и 600°C, и последующей выдержки при комнатной температуре в течение вплоть до $t_a=528$ часов. Обнаружено, что в указанных соединениях временная эволюция критической температуры сверхпроводящего перехода T_c , удельной электропроводности (r) при температуре 290K, а также параметра $\alpha =$

$r(290\text{K})/r(178\text{K})$ проявляют особенности, а между ними установлена определенная корреляция.

Ключевые слова и словосочетания: высокотемпературная сверхпроводимость (ВТСП), критическая температура перехода (T_c), полупроводниковая проводимость, переход сверхпроводник-диэлектрик (СДП), явление старения.

1. Введение

Переход сверхпроводник-полупроводник и его исследование для высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) имеет важное значение и обращает на себя внимание целого ряда мировых научных лабораторий [1-4]. Прежде всего эти

исследования могут быть использованы как для выяснения механизма ВТСП, так и их практического применения. Известно, что такой переход можно получить путем введения в ВТСП различных примесных добавок [1–3] или радиационных дефектов [4]. Удельное сопротивление выше критической температуры T_c для $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ монокристаллического образца после синтеза и выдержки вплоть до 17 лет в воздушной среде увеличивается всего в несколько раз, а T_c изменяется на несколько градусов (естественное старение) [5,6]. Известно также, что в результате термической обработки в ВТСП образуются метастабильные дефекты, которые, постоянно мигрируя, перераспределяются, вызывая определенные изменения характеристических параметров этих материалов в зависимости от времени выдержки после термической обработки (старение) [7]. Ранее нами были проведены аналогичные исследования в иттриевом соединении после 30-минутной термообработки при 400°C и дальнейшей выдержки при комнатной температуре вплоть до 256 часов [8]. Здесь наблюдаемый рост удельного сопротивления в нормальном состоянии почти на два порядка больше и предположительно приписывается увеличению объемной доли полупроводниковой фазы, образуемой в образце в процессе старения [8]. В данной работе представлены результаты стимулирования после кратковременной дополнительной термообработки полупроводникового типа проводимости в $YBa_2Cu_3O_x$ и $Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr_2Ca_{2.5}Cu_{3.6}O_y$ ВТСП образцах для более длительного интервала времени старения.

2. Экспериментальные методы

В наших экспериментах были исследованы два вида поликристаллических ВТСП образцов $YBa_2Cu_3O_x$ (Y) и $Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr_2Ca_{2.5}Cu_{3.6}O_y$ (Bi), синтезированных в воздухе по обычной порошковой технологии. Из каждого вида соединения

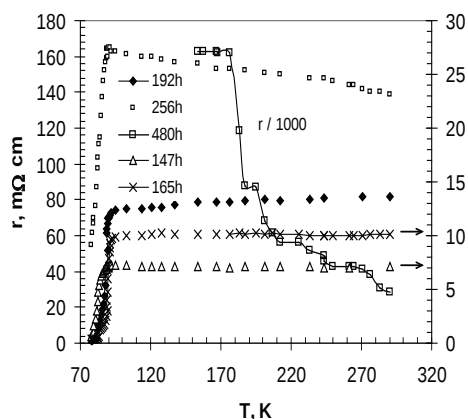
были подготовлены по два почти одинаковых прямоугольных образца размером 2 мм × 1 мм × 8 мм. Изучение явления старения было проведено путем регистрации вольт-амперных характеристик с использованием стандартной четырехзондовой техники в присутствии магнитного поля Земли [8]. Один из двух образцов Y и Bi нагревали в трубчатой печи при 400°C и 600°C в воздухе в течение 30 минут, охлаждали вместе с печью до комнатной температуры со скоростью 3°C / мин, а затем хранили в условиях окружающей среды вплоть до 528 часов (22 дней). Второй образец данного типа выдерживали в тех же условиях и использовали в качестве контрольного. В течение всего времени хранения t_a периодически регистрировались кривые температурной зависимости удельного сопротивления $\rho(T)$ для обоих типов образцов при постоянном транспортном токе 1 мА в интервале температур от 78K до 300K. T_c определяли по температуре средней точки сверхпроводящего перехода $\rho(T)$. Следует подчеркнуть, что параметры контрольного образца не менялись в течение всего периода хранения. Контролировался также параметр, определяемый соотношением $\alpha = \rho(176K)/\rho(290K)$ [4]. Чем больше α , тем лучше проявляется полупроводниковая или диэлектрическая проводимость и, следовательно, объемная концентрация фаз в образцах, ответственная за это, предположительно больше.

3. Полученные результаты и их обсуждение

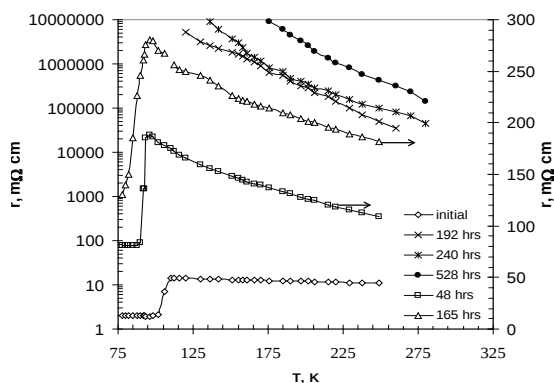
На рис.1 представлены кривые $\rho(T)$ для Y и Bi образцов после термической обработки и последующего хранения для различных фиксированных значений t_a . На рис. 2 показана зависимость $\rho(290K)$, T_c и α от t_a для тех же образцов. Как видно из рис. 1а, $\rho(T)$ для образца Y при $t_a < 256$ ч проявляет металлический тип проводимости, в то время как при температуре выше 90K и $t_a = 256$ ч появляется полупроводниковая

проводимость, а дальнейшее старение сопровождается значительным ухудшением сверхпроводимости с последующим его исчезновением. Позднее на кривых $r(T)$ появляются ступенчатые участки, свидетельствующие о неоднородности распределения образующихся локальных структурных дефектов. С ростом t_a для образца Вi имеет место некоторое расширение сверхпроводящих переходов и их сдвиг в сторону более низких температур, а также увеличение значения r в нормальном состоянии (рис. 2b). В отличие от Y образец Вi в исходном состоянии при температурах выше 116К проявляет

слабо выраженную полупроводниковую проводимость. T_c для образца Y в зависимости от t_a проявляет сильное немономтонное поведение, т.е. с увеличением t_a T_c растет от 82,5К, при $t_a = 192$ ч достигая максимума (90 К), и резко падает до 81,5 К при $t_a = 200$ ч (рис. 2a). В то время как в образце Вi T_c уменьшается от своего первоначального значения 106К до 91К через 48 часов и 80К через 165 часов (рис.2b). После дальнейшего старения при $t_a > 165$ ч в образце Вi наблюдается значительное ухудшение сверхпроводимости или полное исчезновение, т.е. резкий спад T_c и, соответственно, крутой подъем r .



(a)



(b)

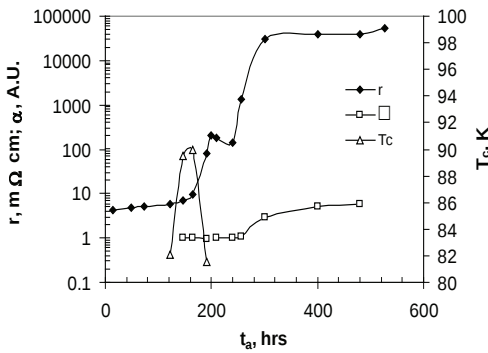
Рис. 1 Семейство кривых температурной зависимости удельного сопротивления $r(T)$ для образцов Y (a) и Вi (b), полученных для различных значений времен старения t_a (в часах). Стрелки указывают соответствующие координатные оси. Для остальных кривых левая ось используется в качестве координатной оси.

Как видно из рис. 1-2, для обоих образцов существует определенное пороговое значение температуры T_0 , выше которой наблюдается полупроводниковая проводимость, то есть r уменьшается с ростом температуры. В образце Y такой максимум появляется при $T_0 = 90$ К только после 256 часов старения, в то время как в образце Вi T_0 смещается от своего первоначального значения 116К до 98 К через 48 и 96 К через 165 часов. Как правило, это сопровождается одновременным увеличением $r(290$ К) и параметра α и снижением T_c . Видно, что в области $t_a \leq 200$ ч для обоих образцов наблюдались

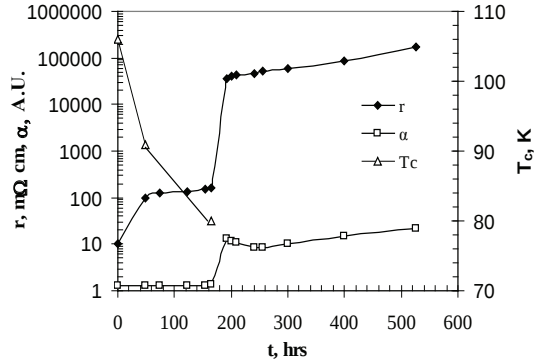
значительные изменения T_c и $r(290$ К), хотя в образце Y сохраняется металлический тип проводимости с $\alpha \approx 1$ вплоть до $t_a = 240$ часов (рис. 2a). С другой стороны, в образце Вi до $t_a = 165$ ч наблюдается медленный рост α и r , что сопровождается относительно быстрым снижением T_c . Отметим, что в образце Y в области $t_a \geq 240$ ч с ростом t_a имеет место одновременный рост $r(290$ К) и α . Однако в течение всего периода старения образец Вi с ростом t_a проявляет непрерывное увеличение $r(290$ К), в то время как параметр α в интервале $192 \text{ ч} \leq t_a \leq 240 \text{ ч}$ уменьшается (рис. 2 b). Основные различия в поведе-

нии исследуемых параметров наблюдаются в области «быстрых» процессов, когда $t_a \leq 240$ ч [9]. Наблюдаемые в работе [9] быстрые и медленные процессы приписываются наличию, соответственно, коротких и длинных межгранульных границ в образце. В нашем случае быстрые процессы старения объясняются образованием дефектов

в слабо связанной подрешетке кислорода элементарной ячейки ВТСП и дальнейшим перераспределением их на относительно коротких расстояниях [8,9], а медленные процессы – с образованием еще и дефектов в сильно связанной подрешетке кислорода и их перераспределением на достаточно длинных расстояниях [9].



(a)



(b)

Рис. 2 Зависимость параметров T_c , r (290K) и α от времени старения t_a (в часах) для образцов **Y** (a) и **Bi** (b).

В сверхпроводниках границы зерен могут служить как эффективные места накопления образуемых дефектов [10]. При старении эти дефекты становятся центрами ловушек для носителей тока. Таким образом, повышение температуры освобождает носители от этих ловушек, что приводит к снижению сопротивления образца, то есть наблюдается полупроводниковый тип проводимости. Немонотонное поведение кривой $T_c(t_a)$ указывает на то, что быстрые процессы в образце **Y** сопровождаются явлениями как упорядочения, так и разупорядочения, тогда как в образце **Bi** быстрые процессы сопровождаются только эффектами разупорядочения. Увеличение $r(290K)$ более чем на два порядка наблюдается в интервалах $240 \text{ ч} < t_a \leq 300 \text{ ч}$ и $165 \text{ ч} \leq t_a \leq 192 \text{ ч}$, соответственно для образцов **Y** и **Bi**. В области медленных процессов резкий рост параметров r и α , по-видимому, вызван образованием новой фазы и ее дальнейшей эволюцией. Это предположение

согласуется с результатами, полученными в [4,11,12], где после обработки в интервале температур 380–400 °C и дальнейшей выдержки при комнатной температуре наблюдается образование различных фаз, сопровождающихся потерей сверхпроводимости вплоть до жидкого гелия [12] и, следовательно, резким увеличением r . Результаты, полученные для образца **Bi**, легко объясняются с учетом того факта, что даже наиболее однородные ВТСП соединения $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4}$ могут содержать три фазы: 2201 ($n = 1$), 2212 ($n = 2$) и 2223 ($n = 3$), которые становятся сверхпроводящими, соответственно в температурных интервалах 10–20K, 80–90K и 105–120K [13,14]. Полученные значения T_c для образца **Bi** до и после старения (рис. 2a) обусловлены изменением в нем объемной доли 2223 и 2212 фаз. Такое изменение возможно, если предположить, что в образце после кратковременной термообработки стимулируются процессы фазового превращения

2223 в 2212 и 2201 [15]. До термической обработки концентрация 2223 фазы в образце Vi преобладает, однако в процессе старения она частично деградирует и преобладающей уже становится фаза 2212. К концу старения образец проявляет сильно выраженные полупроводниковые свойства, по-видимому, вследствие значительного увеличения объемной доли 2201 фазы (рис. 2). Такая интерпретация возможна в рамках микроскопической структурной модели, согласно которой каждый образец висмута состоит из слабо связанных зерен. Их центральная часть содержит 2212 фазу, окруженную тонким слоем 2223 фазы [14]. Между зернами разбросана 2201 фаза. Ее первоначальный объем очень мал в исходном образце, поэтому полупроводниковая проводимость нормального состояния выражена слабо. Однако в течении старения объем 2201 фазы быстро растет. Увеличение ρ более чем на два порядка после выдержки образца Vi в течение 192 часов, скорее всего, связано с резким увеличением концентрации полупроводниковой фазы 2201, которое очень хорошо коррелирует с образованием Ca_2PbO_4 , Ca_2CuO_3 высокоомных фаз [13], а также с выделением следов неореагировавшей части оксида CuO .

4. Выводы

30-минутная термическая обработка ВТСП соединений $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (образец Y) и $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2.5}\text{Cu}_{3.6}\text{O}_y$ (образец Vi), соответственно при 400°C и 600°C в воз-

духе, с последующим выдерживанием при 290K вплоть до $t_a = 528\text{ч}$, индуцирует в них эффект старения, то есть изменение их характеристических параметров. При низких значениях t_a старение сначала приводит к медленному, затем к быстрому росту $\rho(290\text{K})$ в обоих образцах. Однако быстрые процессы в образце Y сопровождаются немонотонным поведением T_c , а в образце Vi быстрым снижением T_c . Кроме того, в нормальном состоянии образец Y проявляет металлическую проводимость, а 256 часов спустя, при температуре выше 90K, появляется полупроводниковый тип проводимости. В исходном состоянии образец Vi проявляет слабо выраженный полупроводниковый тип проводимости, и наблюдается резкое увеличение $\rho(290\text{K})$ более чем на два порядка, что обусловлено фазовым переходом сверхпроводник-диэлектрик в связи с увеличением концентрации полупроводниковой фазы в обоих образцах.

Полученные результаты стимуляции перехода сверхпроводник-диэлектрик и подробное изучение условий его появления в ВТСП материалах имеет двойное прикладное значение. С одной стороны, это будет способствовать расширению наших понятий о неизвестном до сих пор механизме ВТСП [5,6], а с другой стороны, путем варьирования транспортных свойств, можно контролировать токнесущую способность, что является одним из важных прикладных свойств ВТСП соединений [12,16].

Дата предоставления статьи: 19.03.2015

REFERENCES

1. Imada M., Fujimori, A., Tokura Y. Metal-insulator transitions, Rev. Mod. Phys. 70, 1998, pp. 1039-1263.
2. G. Dubuis, A.T. Bollinger, D.Pavuna and I. Bozovic, J. Nov Magn 26, 749 (2013).
3. R Shabna, P M Sarun, S Vinu, A Biju and U Syamaprasad, Doping controlled metal to insulator transition in the (Bi, Pb)-2212 system, SUPERCONDUCTOR SCIENCE AND TECHNOLOGY, v.22, 2009, pp. 045016-045022.
4. Voitovich A., Bazilev A., Bandalet N., Ovseichuk S., Dobryankii V., Malyshevskii V., Ovseichuk I. The effect of gamma irradiation on temperature dependences of electrical resistance of bismuth ceramics with Pb and Sb additions. Superconductivity: Physics, Chemistry, Technique, 3, 1990, pp. 263-265.
5. Хаджай Г.Я., Вовк Р.В. Электротранспорт и устойчивость кислородной подсистемы монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ при длительной выдержки в воздухе Физика низких температур, т. 40, N12, 2014, с.1343-1347

6. Vovk R.V., Vovk N.R., and Dobrovolskiy O.V. Aging effect on electrical conductivity of pure and Al-doped $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals with a given topology of planar defects. *Advances in Condensed Matter Physics*, volume 2013, Article ID 931726, 7 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/931726>.
7. Yang, S., Claus H., Veal B., Wheeler R., Paulikas A., Downey, J.: New observation of phase boundary in oxygen deficient $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals. *Physica C*. 193, 1992, pp. 243-252.
8. Nikoghosyan S., Harutyunyan V., Baghdasaryan V., Mughnetsyan E., Zargaryan E., Sarkisyan A.: The effect of aging on the superconducting transition temperature and resistivity of Y-Ba-Cu-O ceramics after high temperature treatment. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 49, 2013, p. 012042.
9. Petrov, M., Balaev, D., Gokhfeld, D. Shayhutdinov, K., Alexandrov, K. Temperature evolution of the hysteresis feature on current-voltage characteristic of polycrystalline high-temperature superconductors with 1-2-3 structure. *Fizika Tverdogo Tela*. 44, 2002, pp. 1179-1183.
10. Kulikov D., Suris R., Trushin Yu. A model of the interaction of oxygen-subsystem defects with inter-crystallite boundaries in polycrystalline $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films under gamma -irradiation, *Supercond. Sci. Technol.* 8, 1995, pp. 303-310.
11. Finkel' V., Arzhavitin V., Blinkin A., Derevyanko V., Razdovskii Yu. The influence of weakly bonded oxygen on the crystal structure, electrical and relaxation properties of HTSC $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ceramics, *Physica C*. 235-240, 1994, pp. 303-304.
12. Bobylev, I., Zyuzeva, I. The effect of low-temperature processing and subsequent high-temperature annealing on $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ critical current density. *Fizika Tverdogo Tela*. 54, 2012, pp. 256-259.
13. Rao D., Somaian T., Haribabu V., Venudhar Y. Growth kinetics of high- T_c and low- T_c phase in $\text{Bi}_{2-x}\text{Pb}_x\text{Ca}_2\text{Sr}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ superconducting compounds. *Cryst. Res. Technol.* 28, 1993, pp. 285-298.
14. Gasumyants V., Kaz'min S., Kaidanov V., Lykov S., Polyakov V., Khabarov S. An opportunity to identify some peculiarities of granular structure of bismuth HTS ceramics from their electrical and magnetic properties. *Superconductivity: Physics, Chemistry, Technique*. 4, 1991, pp. 586-593.
15. Shnider A., Bulyshev Yu., Selyavko A. The effect of heat treatment regimes and component ratio on phase fraction in Bi-Sr-Ca-Cu-O system. *Superconductivity: Physics, Chemistry, Technique*. 4, 1991, pp. 1003-1005.
16. Meilikhov E.Z. Critical currents and current-voltage characteristics of high temperature superconducting ceramics. *Applied Superconductivity*, v. 4, N1/2, 1996, pp. 61-78.

STIMULATION OF SEMICONDUCTING CONDUCTIVITY IN POLYCRYSTALLINE HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ AND $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2.5}\text{Cu}_{3.6}\text{O}_y$ AFTER SHORT-TERM ADDITIONAL HEAT TREATMENT

SERGEY NIKOGHOSYAN

*Yerevan Physics Institute Senior Research Assistant
Candidate of Physical and Mathematical Sciences*

VACHAGAN HARUTYUNYAN

*Yerevan Physics Institute
Head of Department of Applied Physical Research
Doctor of Physical and Mathematical Sciences*

EDGAR MUGHNETSYAN

*International Scientific-Educational Center of the National Academy of Sciences of the RA
Candidate of Physical and Mathematical Sciences*

YERJANIK ZARGARYAN

*International Scientific-Educational Center of the National Academy of Sciences of the RA
Head of the Educational Department
Candidate of Physical and Mathematical Sciences*

ALBERT SARGSYAN

*International Scientific-Educational Center of the National Academy of Sciences of the RA, Director
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor*

The article presents the results of the study on stimulation of semiconductor type conductivity in polycrystalline high-temperature superconductors $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2.5}\text{Cu}_{3.6}\text{O}_y$ after 30 minutes additional thermal treatment in the air, respectively, at temperatures 400 °C and 600 °C, followed by heating at room temperature for up to $t_a = 528$ hours. It has been found that in these compounds temporal evolution of the critical superconducting transition temperature T_c , electric conductivity (r) at temperature 290K, as well as the parameter $\alpha = r(290\text{K}) / r(178\text{K})$ exhibits peculiar features, and between them definite correlation has been established.

Article submission date: 19.03.2015

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ եւ $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2.5}\text{Cu}_{3.6}\text{O}_y$ ԲԱԶՄԱԲՅՈՒՐԵՂԱՅԻՆ
ԲԱՐՁՐՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ ԳԵՐՀԱՂՈՐԴԻՉՆԵՐՈՒՄ ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴՉԱՅԻՆ
ՀԱՂՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԽԹԱՆՈՒՄԸ ԿԱՐՃԱԺԱՄԿԵՏ ՋԵՐՄԱՄՇԱԿՈՒՄԻՑ ՀԵՏՈ

ՍԵՐԳԵՅ ՆԻԿՈՂՈՍՅԱՆ

*Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի ալիզ գիտաշխատող,
ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների թեկնածու*

ՎԱՋԱԳԱՆ ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

*Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի ֆիզիկայի կիրառական հեռազոտությունների բաժնի վարիչ,
ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր*

ԷԴԳԱՐ ՄՈՒՂՆԵՑՅԱՆ

*Երևանի ԳԱԱ Գիտակրթական միջազգային կենտրոնի աշխատակից,
ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների թեկնածու*

ԵՐՋԱՆԻԿ ԶԱՐԳԱՐՅԱՆ

*Երևանի ԳԱԱ Գիտակրթական միջազգային կենտրոնի ուսումնական բաժնի պետ,
ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների թեկնածու*

ԱԼԲԵՐՏ ՍԱՐԳՍՅԱՆ

*Երևանի ԳԱԱ Գիտակրթական միջազգային կենտրոնի տնօրեն,
ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր*

Աշխատանքում ներկայացված են $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ և $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2.5}\text{Cu}_{3.6}\text{O}_y$ բազմաբյուրեղային բարձր ջերմաստիճանային գերհաղորդիչներում կիսահաղորդչային տիպի հաղորդականության խթանումը օդում 400° և 600° C լրացուցիչ 30 րոպեանոց ջերմամշակումից, և սենյակային ջերմաստիճանում մինչև $t_a = 528$ ժամ պահելուց հետո: Փորձնականորեն դիտվել է, որ նշված տիպի նմուշներում գերհաղորդչային անցման T_c կրիտիկական ջերմաստիճանին անցման ժամանակային էվոլյուցիան, 290K ջերմաստիճանում տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունը $/r/$, ինչպես նաև $\alpha = r(290\text{K}) / r(178\text{K})$ պարամետրը ցուցաբերում են առանձնահատկություններ՝ որոնց միջև որոշակի կապեր են հաստատված: