

ANOMALOUS OF RESISTANCE AND MAGNETIC SUSCEPTIBILITY AT 280-310 K AND AMBIENT PRESSURE IN BISMUTH CUPRATES SYNTHESIZED BY SOLAR ENERGY

Dilbara Dj. GULAMOVA

Materials Science Institute, Tashkent, Uzbekistan, gulamova@uzsci.net

Elyor B. ESHONKULOV

Materials Science Institute, Tashkent, Uzbekistan, elyoreshonkulov94@mail.ru

Valeriya R. LI

Moscow Institute of Steel and Alloys branch, Almalik, Uzbekistan, vli@misis.uz

Grigor I. MAMNIASHVILI

Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, mgrigor@rocketmail.com

Timur I. GULAMOV

Moscow Institute of Steel and Alloys branch, Almalik, Uzbekistan, Gulamovtimur@gmail.com

Follow this and additional works at: <https://cce.researchcommons.org/journal>

 Part of the [Materials Science and Engineering Commons](#)

Recommended Citation

GULAMOVA, Dilbara Dj.; ESHONKULOV, Elyor B.; LI, Valeriya R.; MAMNIASHVILI, Grigor I.; and GULAMOV, Timur I. () "ANOMALOUS OF RESISTANCE AND MAGNETIC SUSCEPTIBILITY AT 280-310 K AND AMBIENT PRESSURE IN BISMUTH CUPRATES SYNTHESIZED BY SOLAR ENERGY," *CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING*: Vol. 2024: No. 1, Article 2.

DOI: 10.34920/cce202412

Available at: <https://cce.researchcommons.org/journal/vol2024/iss1/2>

This Article is brought to you for free and open access by Chemistry and Chemical Engineering. It has been accepted for inclusion in CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING by an authorized editor of Chemistry and Chemical Engineering. For more information, please contact zuchra_kadirova@yahoo.com.

ANOMALOUS OF RESISTANCE AND MAGNETIC SUSCEPTIBILITY AT 280-310 K AND AMBIENT PRESSURE IN BISMUTH CUPRATES SYNTHESIZED BY SOLAR ENERGY

Dilbara Dj. GULAMOVA¹ (gulamova@uzsci.net)

Elyor B. ESHONKULOVA¹ (elyoreshonkulov94@mail.ru)

Valeriya R. LF² (vli@misis.uz)

Grigor I. MAMNIASHVILI³ (mgrigor@rocketmail.com)

Timur I. GULAMOV² (Gulamovtimur@gmail.com)

¹Materials Science Institute, Tashkent, Uzbekistan

²Moscow Institute of Steel and Alloys branch, Almalyk, Uzbekistan

³Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia

In order to obtain the full content of high-temperature superconducting phases using the "Super Fast Alloys Quenching" technology in the Large Solar Furnace (Parkent), precursors of bismuth cuprates of the series $Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr_2Ca_{(n-1)}Cu_nO_y$, $n=3-30$ were synthesized. Methods for study the properties of precursors are presented. The oriented nano-sized microstructure and layered structure of nanocrystalline nuclei are shown. The phase composition of the precursors at the beginning of the series ($n=3-5$) is represented by X-ray amorphous and crystalline phases. An increase in the content of CaO and CuO destabilizes the amorphous phase. The crystalline basis of all precursors is identical. Graphs of the resistance and magnetic susceptibility of $Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr_2Ca_{(n-1)}Cu_nO_y$, ($n=5,12,30$) precursors show abnormally sharp effects in the temperature range 275-310 K at atmospheric pressure, daylight. The manifestation of the Meissner effect, anomalies in resistance and magnetic susceptibility below 270 K suggest superconductivity of the precursors of the series $Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr_2Ca_{(n-1)}Cu_nO_y$, $n=5, 12, 30$ at room temperature.

Keywords: Bi/Pb cuprates, solar technology, microstructure, phase composition, resistance, magnetic susceptibility, room-temperature superconducting phases

АНОМАЛИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ И МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ПРИ 280-310 К И АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ ВИСМУТОВЫХ КУПРАТАХ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИЕЙ

Дильбара Дж. ГУЛАМОВА¹ (gulamova@uzsci.net)

Эльор Б. ЭШОНКУЛОВ¹ (elyoreshonkulov94@mail.ru)

Валерия Р. ЛИ² (vli@misis.uz)

Григор И. МАМНИАШВИЛИ³ (mgrigor@rocketmail.com)

Тимур И. ГУЛАМОВ² (Gulamovtimur@gmail.com)

¹Институт материаловедения, Ташкент, Узбекистан

²Филиал Московского института стали и сплавов, Алмалык, Узбекистан

³Тбилисский государственный университет, Тбилиси, Грузия

С целью получения полнообъемного содержания высокотемпературных сверхпроводящих фаз технологией "Super Fast Alloys Quenching" в Большой солнечной печи (Паркент) синтезированы прекурсоры висмутовых купратов ряда $Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr_2Ca_{(n-1)}Cu_nO_y$, $n=3-30$. Представлены методы исследования свойств прекурсоров. Показана ориентированная нано размерная микро-структура и слоистое строение нано кристаллитов-зародышей. Фазовый состав прекурсоров начала ряда ($n=3-5$) представлен рентгеноаморфной и кристаллическими фазами. Возрастание содержания CaO и CuO дестабилизирует аморфную фазу. Кристаллическая основа всех прекурсоров идентична. Графики зависимости сопротивления и магнитной восприимчивости прекурсоров $Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr_2Ca_{(n-1)}Cu_nO_y$, ($n=5,12,30$) показывают аномально резкие эффекты в температурном интервале 275-310 К при атмосферном давлении, дневном освещении. Проявление эффекта Мейсснера, аномалии сопротивления и магнитной восприимчивости выше 270 К предполагают сверхпроводимость прекурсоров ряда $Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr_2Ca_{(n-1)}Cu_nO_y$, $n=5, 12, 30$ при комнатной температуре.

Ключевые слова: клинкер, Bi/Pb купраты, солнечная технология, микроструктура, фазовый состав, сопротивление, магнитная восприимчивость, комнатно-температурные сверхпроводящие фазы

QUYOSH ENERGIYASI BILAN SINTEZLANGAN VISMUT KUPRATLARDA 280-310 K DAGI QARSHILIK VA MAGNIT SINGDIRUVCHANLIK ANOMALIYASI

Dilbara Dj. GULAMOVA¹ (gulamova@uzsci.net)

Elyor B. ESHONKULOVA¹ (elyoreshonkulov94@mail.ru)

Valeriya R. LF² (vli@misis.uz)

Grigor I. MAMNIASHVILI³ (mgrigor@rocketmail.com)

Timur I. GULAMOV² (Gulamovtimur@gmail.com)

¹Materialshunoslik instituti, Toshkent, O'zbekiston

²Moskva po'lat va qotishmalar institutining filiali, Olmaliq, O'zbekiston

³Tbilisi Davlat Universiteti, Tbilisi, Gruziya

Yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchi fazalarning to'liq hajmi tarkibini olish uchun maqsadida Katta quyosh pechida (Parkent) "Super Fast Alloys Quenching" texnologiyasidan foydalanib $Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr_2Ca_{(n-1)}Cu_nO_y$, $n=3-30$ seriyali vismut kupratlarining prekursorlari olindi. Prekursorlarning xossalari o'rganish usullari keltirilgan. Nano kristalli yadrolarning yo'naltirilgan nano o'lchamdagi mikro tuzilishi va qatlamli tuzilishi ko'rsatilgan. Prekursorlarning fazaviy tarkibi ($n=3-5$) qator boshlanishida renigen amorf va kristall fazalar bilan ifodalanganadi. CaO va CuO ning oshishi amorf fazani beqarorlashtiradi. Barcha prekursorlarning kristalli asosi bir xil. $Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr_2Ca_{(n-1)}Cu_nO_y$, ($n=5,12,30$) prekursorlarining qarshilik va magnit sezuvchanlik grafiklari, atmosfera bosimida, kunduzgi yorug'likda 275-310 K harorat oralig'ida anomal ravishda keskin ta'sirlarni ko'rsatadi. Meissner effektining namoyon bo'lishi, qarshilik va magnit sezuvchanlikdagi anomaliyalar xona haroratida $Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr_2Ca_{(n-1)}Cu_nO_y$, $n=5,12,30$ seriyasining prekursorlarining o'ta o'tkazuvchanligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: Bi/Pb kupratlari, quyosh texnologiyasi, mikrotuzilish, fazaviy tarkib, qarshilik, magnit sezuvchanlik, xona haroratli o'ta o'tkazuvchan fazalar

DOI: 10.34920/cce202412

Введение

Состав и технология являются основными факторами, определяющими свойства

целевого материала. При постоянном составе, который в настоящее время достаточно надежно определяется высокоточными приборами и

аналитическим оборудованием, тонкие особенности технологии синтеза представляют главный секрет *know-how*, который необходимо реализовать для создания требуемых свойств у материала и изделий на его основе. Для синтеза оксидных сверхпроводящих материалов [1-22] традиционно широко используют технологии на основе принципа твердофазных реакций. Такие процессы долговременны, связаны с промежуточными переделами помола, разделения на фракции, компактирования, обжига и другими индивидуальными особенностями. Термообработка представляет энергозатратный процесс с периодическим поэтапным изменением термического режима, что требует применения высокоточной аппаратуры и дорогостоящих нагревателей. В результате создаются материалы и изделия с разориентированной объемной микроструктурой, приемлемой, с некоторыми ограничениями, для изделий с изотропными свойствами, но не удовлетворяющей жесткие требования к параметрам анизотропных материалов, существенно зависящим от особенностей морфологии. Некоторое улучшение текстуры, позволяющее достигать требуемых свойств в производстве сверхпроводящих материалов заданного состава с ориентированной микроструктурой, достигается расплавными методами. Однако, высокая энергоемкость расплавных технологий, сложность длительного поддержания требуемого температурно-временного режима часто не позволяют конкурировать с промышленными процессами на основе твердофазного принципа. В то же время, в тех случаях, когда возможность реализации требуемых свойств целевого материала расплавными методами превалирует над экономическими аргументами, используются расплавные технологии. Например, разработанный Р. McJinn расплавный метод [23] текстурирования для повышения критической температуры сверхпроводящего перехода купратов иттрия, висмута и других сверхпроводящих материалов, заслуживает внимания, т.к. создает свойства, не достигнутые твердофазным методом к моменту разработки им технологии направленного текстурирования, аналогичной методу выращивания монокристаллов.

Для производства материалов с изотропной структурой требования не столь строги, как

к технологиям получения целевых продуктов, свойства которых определяющим образом зависят от особенностей морфологии, к которым относятся материалы и изделия с особыми электрофизическими свойствами: сегнетоэлектрики, полупроводники, сверхпроводники. Твердофазные технологии производства сегнетоэлектриков и оксидных полупроводников развиты достаточно надежно, однако в области сверхпроводящих купратов сложно добиться воспроизводимых результатов традиционными технологиями и до настоящего времени остается проблема получения сверхпроводящей керамики с критической температурой сверхпроводящего перехода выше 137 К. Предполагается, что нетривиальные технологии позволят приблизиться к получению комнатно-температурных сверхпроводящих купратов. Подтверждением этого предположения являются результаты получения солнечной технологией "SFAQ" сверхпроводящих висмутовых фаз с $T_c=295$ К [27] и выше [24-27]. Комнатно-температурные фазы получены в ограниченном объеме в количестве в многофазных купратах висмута. Для выполнения требования широкого промышленного использования массивных низкоомных керамик целью работы явилось получение полнообъемного содержания высокотемпературных сверхпроводящих фаз.

Объекты и методы исследования

Висмутовые купраты, состав которых описывается формулой $Bi_{1,7}Pb_{0,3}Sr_2Ca_{(n-1)}Cu_nO_y$, $n=3-30$, синтезированы в Большой солнечной печи (Паркент) "SFAQ" технологией [28]. Принцип метода заключается в плавлении шихты заданного состава концентрированной солнечной энергией и последующей закалке расплава. На фронтальную поверхность расплава воздействует солнечное излучение, представляющее спектр энергий 0,3-4,0 eV. Противоположная сторона расплава находится на водоохлаждаемой подложке с температурой 10-12 °С. Такие условия создают высокий температурный градиент в ванне расплава = 200-340 град/см². Расплав закаливается в диспергаторе. Закаленные частицы, прекурсоры, - представляют собой пластинки, сферолиты, иглы [29] и используются для изготовления балочек размером 30x5x5мм путем помола, сухого прессования, что исключает влияние примесей,

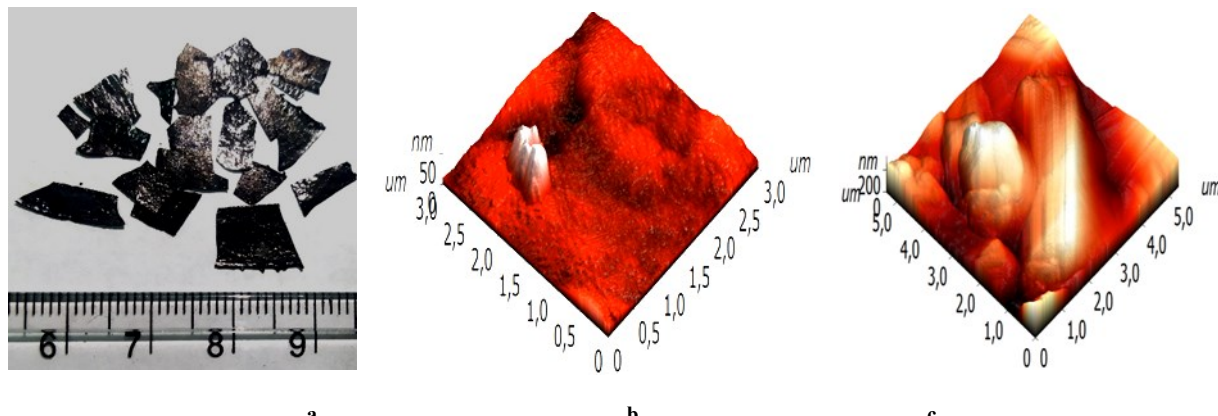


Рисунок 1. Прекурсоры-пластинки (а) и SEM микроструктура (b, c) прекурсоров номинальных составов $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{(n-1)}\text{Cu}_n\text{O}_y$, ($n=3-30$), полученных “SFAQ” технологией в Большой солнечной печи (Паркент).

при давлении 392 МПа.

Микроструктура исследована на сканирующем зондовом микроскопе “SOLVER NEX30T (NT-MDT)” и электронном микроскопе «ZEISS». Фазовый состав определен рентгеновским методом на дифрактометрах: «ДРОН-УМ-1», CuK_α -излучение, Ni-фильтр; “X 6100”.

Электрофизические свойства исследованы резистивным 4-х контактным [30], магнитной индуктивности [31] методами. В этих методах напряжение, ток, сопротивление определяются мультиметром «Rigol DM3058E».

Температура определяется термопарами хромель-капель, хромель-алюмель, градуированными в кипящей воде и льду.

Результаты и обсуждение

Микроструктура прекурсоров - пластинок неправильной формы, толщиной менее 0,2 мм (рис. 1а) и балочек показана на рисунке 1b, c. Прозрачные включения, видимые на рисунке 1а, показывают стеклофазу, образовавшуюся в результате закалки эвтектики. Микроструктура прекурсоров представляет собой ориентированные в одном

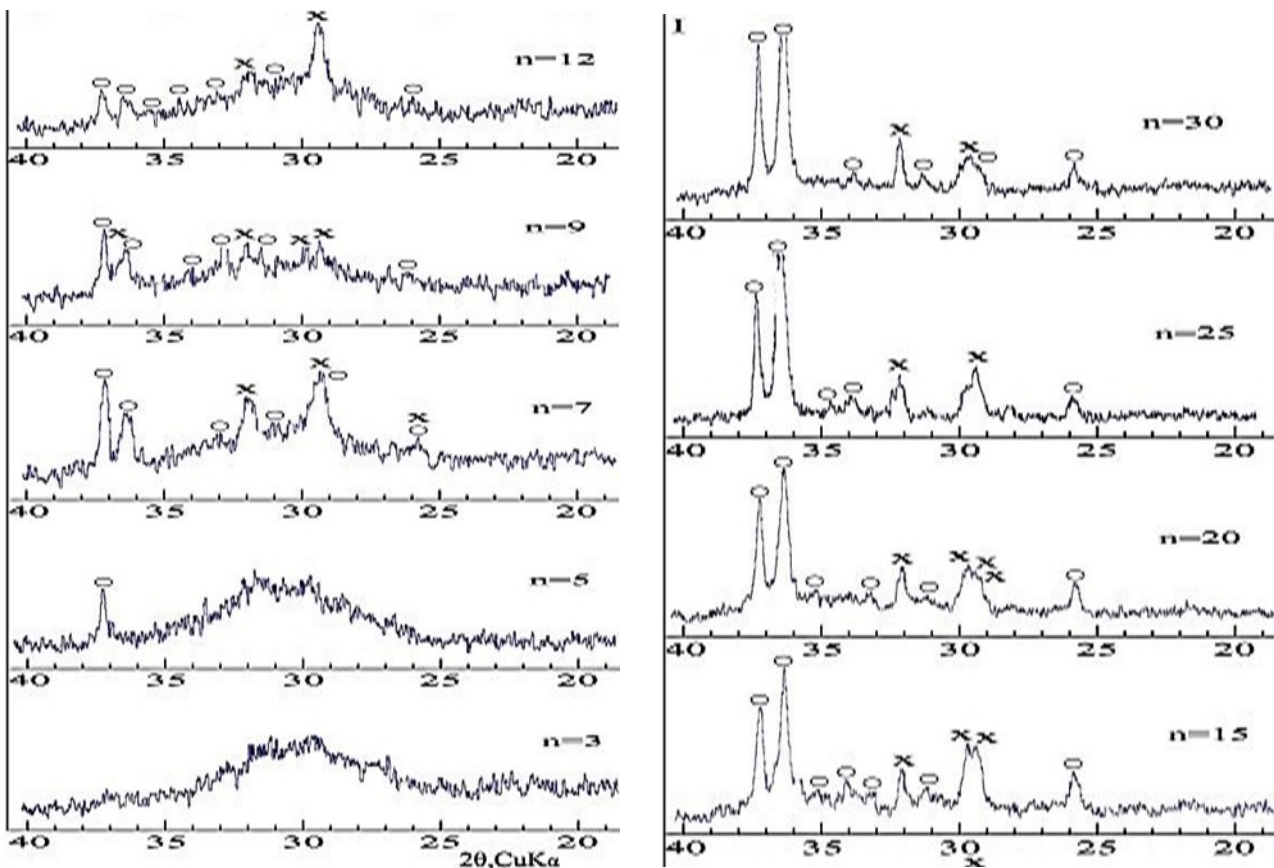


Рисунок 2. Дифрактограммы прекурсоров номинальных составов $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{(n-1)}\text{Cu}_n\text{O}_y$, ($n=3-30$), x, o-сверхпроводящие фазы.

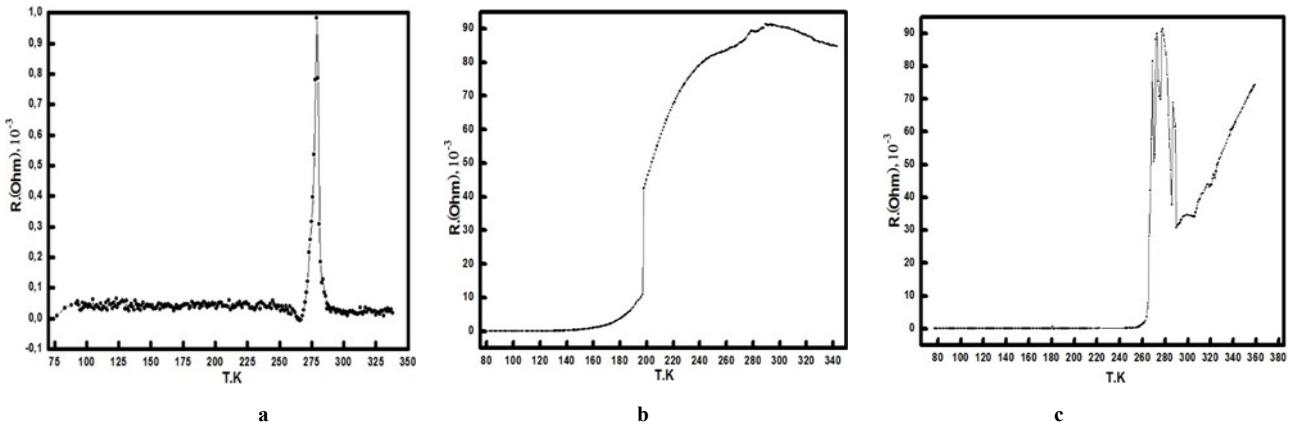


Рисунок 3. Аномальные эффекты сопротивления прекурсоров номинальных составов $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{(n-1)}\text{Cu}_n\text{O}_y$, $n=5,12,30$: а - ($n=5$); б - ($n=12$); с - ($n=30$).

направлении блоки нано кристаллитов (рис. 1б). Блоки состоят из плотно упакованных пластин, показанных на рисунке 1с.

Результаты рентгенофазового анализа прекурсоров коррелируют с данными микроструктурного анализа. Дифрактограммы прекурсоров номинальных составов $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{(n-1)}\text{Cu}_n\text{O}_y$, ($n=3-5$) показывают рентгеноаморфную фазу (гало в интервале $2\theta=27-34^\circ$) и рефлексы, определяющие кристаллические фазы (рис. 2). Рефлексы ($2\theta \cong 26; 29,8; 33,3; 34,2; 36,5; 37,4; 42,44,9$) входят в системы $[\text{hkl}]$ Bi/Pb сверхпроводящих фаз 2212, 2223, 2234 [32]. Рентгеноаморфная фаза дестабилизируется с увеличением содержания CaO и CuO ($n \geq 15$).

Результаты исследования сопротивления и магнитной восприимчивости прекурсоров представлены на графиках (рис. 3а, б, с; 4а, б, с). Аномальные эффекты зависят от номинального состава прекурсоров. В образце номинального состава $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{(n-1)}\text{Cu}_n\text{O}_y$, ($n=5$) резкое возрастание сопротивления при 275 К и спад до почти нулевого значения, а

также возрастание и начало спада сопротивления в образце номинала $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{(n-1)}\text{Cu}_n\text{O}_y$, ($n=12$) при 290 К, аналогичное повторение эффектов возрастания и спада сопротивления в образце номинала $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{(n-1)}\text{Cu}_n\text{O}_y$, ($n=30$) указывают на возможность связи этих аномалий со сверхпроводящими фазами. Начало перехода в образце ($n=5$) происходит при 276 К. С увеличением ($n=12,30$), т. е. увеличением содержания CaO и CuO , температура аномального изменения сопротивления “ T_c ” повышается до $T_c=300$ К у образца номинала ($n=12$) и до $T_c=278-312$ К у образца номинала ($n=30$) соответственно. Эти зависимости соответствуют предположению авторов [6] о возрастании T_c сверхпроводящих фаз с увеличением объема элементарной ячейки, что и происходит по ряду $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{(n-1)}\text{Cu}_n\text{O}_y$ ($n=5-30$).

На графиках магнитной восприимчивости, измеренной на тех же образцах, аномальные эффекты повторяются в аналогичных температурных интервалах 280-300 К. (рис. 4а, б, с).

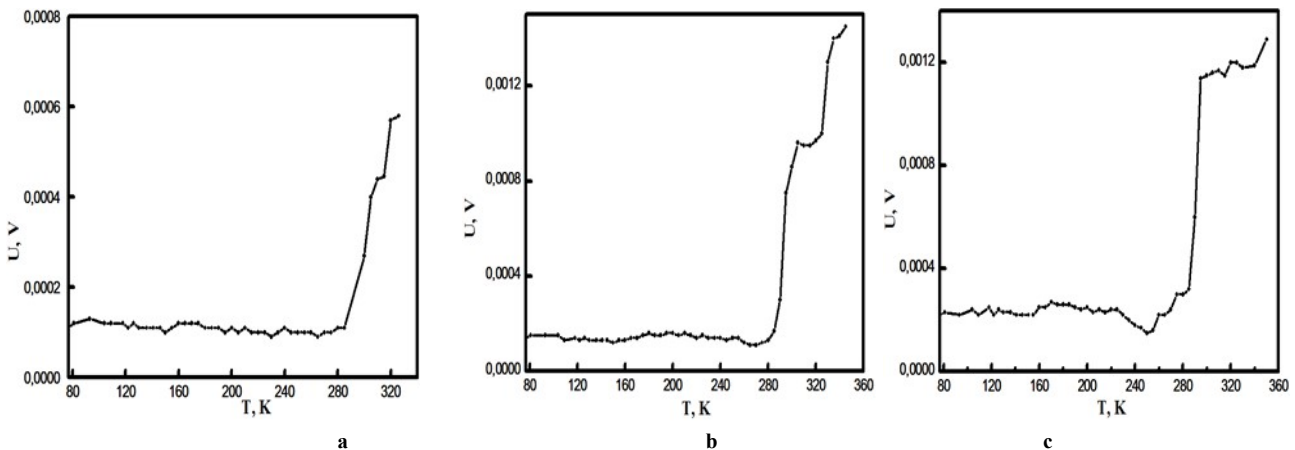


Рисунок 4. Изменение напряжения в прекурсорах-пластинках номинальных составов $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{(n-1)}\text{Cu}_n\text{O}_y$, ($n=5,12,30$): а - ($n=5$); б - ($n=12$); с - ($n=30$).

Аномальные эффекты на зависимостях сопротивления и магнитной восприимчивости в температурном интервале 275- 310 К в сопоставлении с проявлениями эффекта выталкивания магнита (эффекта Мейсснера) от образцов прекурсоров и керамик ряда $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{(n-1)}\text{Cu}_n\text{O}_y$, ($n=5,12,30$) при комнатных температурах, нормальном атмосферном давлении, при дневном свете и под воздействием белого света [33] позволяют сделать предположение о проявлении сверхпроводящих свойств висмутовых купратов, синтезированных “SFAQ” технологией.

Предположения о сверхпроводящих переходах при комнатных температурах в прекурсорах и керамиках висмутовых купратов ряда $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{29}\text{Cu}_{30}\text{O}_y$, ($n=5,12,30$), синтезированных “SFAQ” технологией, сделаны на основании впервые полученных аномальных эффектов изменения сопротивления и магнитной восприимчивости в температурном интервале 78-320 К при нормальном атмосферном давлении, дневном освещении и под воздействием источника света. Представленные экспериментальные результаты получены впервые. Ранее синтезированные в температурном интервале 840-850°C керамики на основе этих прекурсоров содержали лишь ограниченное количество комнатно-температурных сверхпроводящих фаз $T_c=295$ К, о которых сообщалось в работе [27].

Заключение

Сопоставление условий получения прекурсоров с экспериментальными результатами исследования свойств позволяет сделать следующие предположения.

1. Синтез в расплаве определяет повышенную взаимную растворимость компонентов (по сравнению с твердофазными процессами) и возможность образования фаз с большими

объемами элементарной ячейки, что прямо связано с температурой сверхпроводящего перехода.

2. Условия получения прекурсоров, определяемые резким температурным градиентом, “надстехиометричным кислородом”, определяют повышение плотности дефектов и соответственное усиление пиннинга. “Надстехиометричный” кислород может стабилизировать высоковалентные состояния катионов, в том числе Cu^{2+} .

3. Снижение критической температуры T_c после длительного обжига керамики приводит к аннигиляции дефектов и, соответственно, разрушению сверхпроводящих фаз. Результаты повышения критической температуры перехода в сверхпроводящее состояние T_c после длительной выдержки керамик в жидком азоте и снижение T_c в этих образцах, обожженных длительное время (40-50 часов), указывают на положительное влияние дефектов, образовавшихся при выдержке в жидком азоте, т.к. обжиг приводит к аннигиляции дефектов и, соответственно, наблюдаемому снижению T_c из-за уменьшения силы пиннинга, т.е. дегградации сверхпроводящих фаз при длительной термообработке.

4. Экспериментальные графики изменения сопротивления и магнитной восприимчивости, представляют характерные для сверхпроводящих переходов зависимости.

5. Эффект Мейсснера проявляется при комнатной температуре, обычном атмосферном давлении, под и без воздействия источника света.

Сопоставление экспериментальных результатов и объяснение влияния особенностей “солнечной” технологии позволяют нам сделать предположение о возможности получения сверхпроводящих комнатно-температурных висмутовых купратов солнечной энергией.

REFERENCES

1. Tretyakov Yu.D., Goodilin E.A., Himicheskie principy polucheniya metallooksidnykh sverhprovodnikov [Chemical principles of preparation of metal-oxide superconductors]. *Vsnexu khimii*, 2000, 69/1, 3–40. DOI: 10.1070/RC2000v069n01ABEH000526
2. Chu C.W., Deng L.Z., Lv B. Hole-doped cuprate high temperature superconductors. *Physica C: Superconductivity and its Applications*, 2015, 514, 290-313. DOI:10.1016/j.physc.2015.02.047
3. Yu.E. Grigorashvili, Manufacturing Technology of the $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ high temperature Superconductors (Properties. *Superconductors - Properties, Technology, and Applications*, 2012, 242. DOI: 10.5772/38203
4. Pozigun S. A., Pan V. M., Alekseev V. A., Strunnikov V. M., Kaul' A. R., Gorbenko O. YU. Vysokotemperaturnye sverhprovodyashie materialy s vysokimi tokonesushchimi harakteristikami i metody ih polucheniya [High-Temperature Superconducting Materials with High Current-Carrying Characteristics and Methods of Their Fabrication]. *Uspekhi fiziki metallov*, 2004, 5, 167-218.
5. Yoshihiro Abe. [Superconducting glass-ceramics in BiSrCaCuO . Fabrication and its Applications]. Available at: https://play.google.com/store/books/details?id=uxHtCgAAQBAJ&rdid=bookuxHtCgAAQBAJ&rdot=1&source=gbs_atb&pcampaignid=books_booksearch_atb.
6. Tarascon J.M., McKinnon W.R., Barbour P., Hwang D.M., Bagley B.G., Greene L.H., Hull G.W. Preparation, structure and properties of the superconducting compound series $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_y$ with $n = 1, 2$ and 3. *Phys. Rev. B. – Melville*, 1989, 38, 8885-8892.

7. Rabinovich K.S., Samojlenko L.L., SHnejder A.G. *Sposob polucheniya sverhprovodyashchego materiala na osnove Bi-2223 s kriticheskoj temperaturaj perekhoda 197K* [Method for producing superconducting material based on Bi-2223 with a critical transition temperature of 197K], Patent RU, 2014147556/03
8. Zhang, YR., Qiu, LP., Gao, SL. et al. Synthesis of 2223-Phase BSCCO Based on Liquid-Phase Method and Its Magnetic Properties. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 2023, 36, 493–501. DOI:10.1007/s10948-023-06496-6
9. Zhang, YR., Qiu, LP., Gao, SL. et al. Synthesis of 2223-Phase BSCCO Based on Liquid-Phase Method and Its Magnetic Properties. *J Supercond Nov Magn.*, 2023, 36, 493–501. DOI:10.1007/s10948-023-06496-6
10. El Makdah M.H., El Ghouch N., El-Dakdouki M.H., Awad R., Matar M. Synthesis, characterization, and Vickers microhardness for (YIG) x/(Bi,Pb)-2223 superconducting phase. *Ceramics International*, 2023, 49/13. DOI: 10.1016/j.ceramint.2023.04.070
11. Verma I., Kumar R., Ganesan V., Banerjee A., Das B. Synthesis and magnetic properties of (Bi,Pb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O_{10+δ} superconductor. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 2012, 25/4, DOI: 10.1007/s10948-011-1339-6
12. Torsoni G.B., Cena C.R., de Freitas G.Q., Carvalho C.L. Synthesis of (Bi,Pb)-2223 superconductor powder by Pechini method. *Revista Brasileira de Fisica Tecnológica Aplicada*, 2018, 5, 1, DOI: 10.3895/rbfta.v5n1.7550
13. Lima R.G., Rodrigues V.D., Carvalho C.L., Teixeira S.R., Souza A.E., Zadorosny R. Synthesis of Bi-based superconductor by microwave-assisted hydrothermal method. *Journal of Physics: Conference Series*, 2014, 507, PART 1, DOI: 10.1088/1742-6596/507/1/012053
14. Cena C.R., Torsoni G.B., Zadorosny L., Malmonge L.F., Carvalho C.L., Malmonge J.A. BSCCO superconductor micro/nanofibers produced by solution blow-spinning technique. *Ceramics International*, 2017, 43/10, 7663–7667. DOI: 10.1016/j.ceramint.2017.03.065
15. Ermiza S.N., Hashim A., Kasim A., Norazila I., Siti F.S. Synthesis and characterization of low density Bi-2223 cuprates superconductor doped Eu₂O₃ nanoparticles. *Solid State Phenomena*, 2021, 317, 131-137. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.317.131
16. Balasan B.A., Hashim A., Mazwir M.H., Zulkifli F.H. Electrospinning Synthesis of Bi-2223 Superconducting Nanowires. *Solid State Phenomena*, 2020, 307, 93–97. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.307.93
17. El Ghouch N., Al-Oweini R., Awad R. Synthesis, characterization and electrical properties of hybrid mono-iron-substituted undeca-tungstosilicate/(Bi,Pb)-2223 phase superconductors. *Materials Research Express*, 2019, 6/11, 116001-116101. DOI: 10.1088/2053-1591/ab46e2
18. Gokhfeld D.M., Koblischka M.R., Koblischka-Veneva A. Highly Porous Superconductors: Synthesis, Research, and Prospects. *Physics of Metals and Metallography*, 2020, 121/10, 936-948. DOI: 10.1134/S0031918X20100051
19. Loudhaief N., Labiadh H., Hannachi E., Zouaoui M., Ben Salem M. Synthesis of CdS nanoparticles by hydrothermal method and their effects on the electrical properties of Bi-based superconductors. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 2018, 31/8, 2305-2312. DOI: 10.1007/s10948-017-4496-4
20. Astuti F., Baqiyah M.A., Darminto. Magnetic properties of superconductors Bi-2212 and (Bi,Pb)-2212 nanoparticles synthesized by dissolved method. *AIP Conference Proceedings*, 2013, 1554/1, 97-100. DOI: 10.1063/1.4820293
21. Yamaki K., Fusegi R., Oikawa D., Irie A. Synthesis of BSCCO single crystal whiskers for terahertz em wave oscillators. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 2013, 23/3, Article sequence number: 7200504. DOI: 10.1109/TASC.2012.2230295
22. Kannan T., Predeep P. Effect of sintering temperature on the glassy precursor synthesis of superconducting Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr₂Cu₄Ca₃O_{12+δ}. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 2013, 26/1, 53-58. DOI: 10.1007/s10948-012-1703-1
23. McGinn P. Progress in the melt texturing of RE-123 superconductors, *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*, 1994, 46/12, 31–33. DOI:10.1007/BF03222660
24. Chigvinadze J.G., Acrivos J.V., Ashimov S.M., Gulamova D.D., Donadze G.J. Superconductivity at T_c≈200K in bismuth cuprates synthesized using solar energy. *Archive*. 2017, 1710.10430
25. Gulamova D.D., Jalilov D.Y., Bobokulov S.N., Eshonkulov E.B., Gulamova K.Z., Ahmadkulov O.B., Rusinov A.V. Vozmozhnosti i osobennosti solnechnoj tekhnologii v proizvodstve keramicheskikh materialov [Solar technology possibilities and features in ceramic materials production]. *Novye ognepupory*, 2022, 7, 42-47.
26. Mamniashvili G.I., Donadze G., Tavkhelidze V., Gulamova D.D. Superconducting precursors in Bi/Pb multiphase cuprates fabricated by the solar technology and their comparative study by torque magnetometry methods. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 2023, 13/6, 12390-12395, DOI:10.48084/etasr.6487
27. CHigvinadze D.G., Gulamova D.D., Ashimov S.M. Bi/Pb komnotno-temperaturnye sverhprovodyashchie fazy Ts=291K, 295 K, poluchennye solnechnoj energij [Bi/Pb room temperature superconducting phases of T_c=291 K, 295 K obtained by solar energy]. *Himiya i himicheskaya tekhnologiya*, 2019, 2, 3-8.
28. Chigvinadze J.G., Ashimov S.M., Acrivos J.V., Gulamova D.D. Critical temperature of the superconducting transition of individual phases of multiphase bismuth cuprates after cooling in a magnetic field to a temperature of 77 K. *Low temperature Physics*, 2019, 45/4, 386-394. DOI:10.1063/1.5093517
29. Gulamova, D.D., Jalilov, D., Eshonkulov, E.B., Bobokulov S.Kh, Gulamov T.I., Saidov R.M., Bakhronov H.N. Nanostructured low-resistance ceramics based on the Bi–Pb–Sr–Ca–Cu–O system produced by solar technology. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2022, 63, 60–65. DOI:10.1007/s11148-022-00681-1
30. Singh Y. Electrical resistivity measurements: a review. *International Journal of Modern Physics: Conference Series*, 2013, 22, 745–756. DOI:10.1142/S2010194513010970
31. Nikolo M. Superconductivity: A guide to alternating current susceptibility measurements and alternating current susceptometer design. *American Journal of Physics*, 1995, 63/1, 57-65. DOI:10.1119/1.17770
32. Jian C., Zuyao C., Yitai Q., Jiansheng X., Zhenghui H., Shifong S., Minhu F., Qirui Z. Superconductivity and phases of leaded Bi-Ca-Sr-Cu-O system. *Solid State Communications*, October 1988, 68/3, 327-330. DOI:10.1016/0038-1098(88)90769-7
33. Gulamova D.D., Eshonkulov E.B., ZHalilov D.YU., Bobokulov S.H. Vliyanie sveta na soprotivleniya Bi/Pb sverhprovodnikov, sintezirovannyh solnechnoj energiej [Effect of light on the resistance of Bi/Pb superconductors synthesized by solar energy]. *Himiya i himicheskaya tekhnologiya*, 2020, 4, 8-11.