

## RESISTANCE AND VOLTAGE ANOMALIES ABOVE 200 K IN BSCCO SYNTHESIZED BY SOLAR TECHNOLOGY

Dilbara GULAMOVA

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

Dilshod JALILOV

*Materials Science Institute, Tashkent, Uzbekistan, dilshod\_jalilov@list.ru*

Elyor ESHONKULOV

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

Otabek AKHMADKULOV

*Materials Science Institute, Tashkent, Uzbekistan, akhmadkulov95ob@gmail.com*

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

---

### Recommended Citation

GULAMOVA, Dilbara; JALILOV, Dilshod; ESHONKULOV, Elyor; and AKHMADKULOV, Otabek () "RESISTANCE AND VOLTAGE ANOMALIES ABOVE 200 K IN BSCCO SYNTHESIZED BY SOLAR TECHNOLOGY," *CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING*: Vol. 2022: No. 2, Article 3.

DOI: 10.34920/cce202223

Available at: <https://cce.researchcommons.org/journal/vol2022/iss2/3>

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](mailto:zuchra_kadirova@yahoo.com).

## RESISTANCE AND VOLTAGE ANOMALIES ABOVE 200 K IN BSCCO SYNTHESIZED BY SOLAR TECHNOLOGY

*Dilbara GULAMOVA (gulamova@uzsci.net), Dilshod JALILOV (dilshod\_jalilov@list.ru), Elyor ESHONKULOV (elyoreshonkulov94@mail.ru), Otabek AKHMADKULOV (akhmadkulov95ob@gmail.com) Materials Science Institute, Tashkent, Uzbekistan*

*The aim of the work was to study the resistance of Bi/Pb superconducting ceramics produced by solar energy, of the firing temperature and time. Based on the analysis of superconducting materials synthesis known technologies, solar technology as a non-trivial way to obtain superconductors with high pinning is proposed. The influence of the solar spectrum and the temperature gradient, as the main factors of solar technology, aimed the superconducting properties improving is substantiated. The relationship between the crystallite nuclei lamellar structure and superconducting ceramics morphology is shown. The dependence of the of Bi/Pb ceramics resistance in the temperature range 80-320 K has been studied. Anomalies of resistance in the temperature range of 250-320 K were revealed.*

**Keywords:** BSCCO, solar technology, layered morphology, resistance anomalies

## АНОМАЛИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ И НАПРЯЖЕНИЯ ВЫШЕ 200 К В BSCCO, СИНТЕЗИРОВАННЫХ СОЛНЕЧНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ

*Дильбара ГУЛАМОВА (gulamova@uzsci.net), Дильшод ЖАЛИЛОВ (dilshod\_jalilov@list.ru), Эльёр ЭШОНКУЛОВ (elyoreshonkulov94@mail.ru), Отабек АХМАДКУЛОВ (akhmadkulov95ob@gmail.com) Институт материаловедения, Ташкент, Узбекистан*

*Целью работы являлось исследование сопротивления Bi/Pb сверхпроводящей керамики, полученной солнечной энергией, от температуры и времени обжига. На основе анализа известных технологий получения сверхпроводящих материалов предложена солнечная технология, как нетривиальный путь получения сверхпроводников, обладающих высоким пиннингом. Обосновано влияние солнечного спектра и температурного градиента, как основных факторов солнечной технологии, направленных на повышение сверхпроводящих свойств. Показана связь пластинчатой структуры кристаллитов-зародышей с морфологией сверхпроводящей керамики. Исследована зависимость сопротивления Bi/Pb керамики в температурном интервале 80-320 К. Выявлены аномалии сопротивления в интервале 250-320 К.*

**Ключевые слова:** BSCCO, солнечная технология, слоистая морфология, аномалии сопротивления

## QUYOSH TEXNOLOGIYASI BILAN SINTEZ QILINGAN BSCCO DA 200K DAN YUQORI QARSHILIK VA KUCHLANISH ANOMALIYALARI TADQIQOTI

*Dilbara GULAMOVA (gulamova@uzsci.net), Dilshod JALILOV (dilshod\_jalilov@list.ru), Elyor ESHONKULOV (elyoreshonkulov94@mail.ru), Otabek AXMADKULOV (akhmadkulov95ob@gmail.com) Materialshunoslik instituti, Toshkent, O'zbekiston*

*Ishning maqsadi quyosh energiyasi tomonidan ishlab chiqarilgan Bi/Pb supero'tkazuvchi keramikalarning yonish harorati va vaqtiga qarab qarshiligini o'rganish edi. Supero'tkazuvchi materiallarni olishning ma'lum texnologiyalarini tahlil qilish asosida quyosh texnologiyasi yuqori pinli o'ta o'tkazgichlarni olishning noan'anaviy usuli sifatida taklif etiladi. O'ta o'tkazuvchanlik xususiyatlarini yaxshilashga qaratilgan quyosh texnologiyasining asosiy omillari sifatida quyosh spektri va harorat gradientining ta'siri isbotlangan. Kristallit yadrolarining qatlamli tuzilishi va o'ta o'tkazuvchan keramika morfologiyasi o'rtasidagi bog'liqlik ko'rsatilgan. Bi/Pb keramika qarshiligining 80-320 K harorat oralig'iga bog'liqligi o'rganildi. Qarshilikdagi anomaliyalar 250-320 K oralig'ida aniqlandi.*

**Kalit so'zlar:** BSCCO, quyosh texnologiyasi, qatlamli morfologiya, tortish anomaliyalari

DOI: 10.34920/cee202223

### Введение

Прогресс в материаловедении сверхпроводников, направленный на поиск новых фаз с высокой температурой сверхпроводящего перехода [1-4], в определяющей мере связан с технологией их получения [5-8]. Путем использования различных технологий синтезированы сверхпроводящие фазы Bi/Pb 2201, 2212, 2223 на основе системы Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O. Подвергая фазу 2223 давлению 0,3 Торр получена ВТСП фаза с  $T_c=193$  К [9] и предсказана возможность получения комнатно температурных сверхпроводящих фаз (КТСП) при сверхвысоких давлениях. Тенденция развития путей получения керамических высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), пригодных для практического применения, свидетельствует о

перспективном развитии расплавных технологий и создании композитных сверхпроводников. При этом, по мнению авторов [10], одной из задач является увеличение эффективности пиннинга путём инициирования кристаллизации мелкодисперсных включений, “собственных” по отношению к базовой системе, а также поиск примесных фаз, термодинамически стабильных в сверхпроводящей матрице и условий их введения, не подавляющих сверхпроводимость и образующих мелкодисперсные включения на межкристаллитных границах. Важную роль при получении таких композитов должно сыграть использование высокоомогенных прекурсоров. Непременным условием высоких транспортных токов в купратах является наличие центров пиннинга для вихре-

вых нитей, в качестве которых могут выступать и собственные дефекты кристаллической структуры и примесные фазы [11]. Наличие у Bi/Pb купратов сильной анизотропии означает, что разориентация сверхпроводящих кристаллитов крайне нежелательна и её необходимо устранять, максимально текстурируя керамику путем технологических приемов, не нарушая стабильности сверхпроводящих фаз [12]. Результаты исследований и предположения [13, 14] свидетельствуют о целесообразности поиска нетривиальных решений, позволяющих получить ВТСП фазы с высокими значениями  $T_c$  и  $J_c$ . Разработанной в последние годы Solar Fast Alloys Quenching-T (SFAQ-T) расплавной технологией [15, 16] получены устойчивые к распаду высоко текстурированные сверхпроводники на основе системы  $Bi_{1,7}Pb_{0,3}Sr_2Ca_{(n-1)}Cu_nO_y$  ( $n=2-12$ ) с критической температурой перехода  $T=150-295$  К [17-19]. Обращение к разработке технологии получения Bi/Pb ВТСП концентрированной солнечной энергией обосновано предположением о комплексном влиянии 2-х факторов на синтезируемый материал. Первый фактор – возможность резонансного возбуждения каждого атома системы в результате поглощения той определенной длины волны солнечного спектра, которая совпадает (или близка) к периоду колебаний валентных электронов данного атома. Как следствие, возможно изменение энергии межатомных связей и организация дополнительной связи с избыточным кислородом, т.к. процесс плавления солнечной энергией проходит при равновесном парциальном давлении кислорода и в расплаве растворяется избыточное, -по отношению к стехиометрическому,- количество кислорода. Т.к. каждый индивидуальный атом системы не может “организовать” дополнительную связь с избыточным “надстехиометричным” кислородом, это может осуществляться группой разных атомов, каждый из которых поглощает определенную длину волны солнечного спектра и, соответственно, имеет измененное энергетическое состояние валентных электронов. Поэтому целевой материал содержит “избыточный” кислород и может обеспечиваться высокая валентность меди и, возможно, других катионов, что благоприятно для сверхпроводимости [20]. Второй фактор - это резкий температурный градиент при плавлении и закалке расплава. Такие условия приводят к векторному росту и ориентации кристаллитов-зародышей в направлении падающего солнечного потока, т.е. текстуре. В результате прекурсоры имеют основу в виде кристаллитов-зародышей для последующего формирования на них в массивных керамических образцах высоко текстурированной морфологии. Исходя из вышесказанного целью

работы являлось исследование сопротивления Bi/Pb сверхпроводящей керамики, полученной солнечной энергией, от температуры и времени обжига керамики, полученной из “солнечных” прекурсоров.

### Методы исследования

Прекурсоры номинальных составов  $Bi_{1,7}Pb_{0,3}Sr_2Ca_{(n-1)}Cu_nO_y$ ,  $n=30$  готовили из смесей порошков оксидов:  $Bi_2O_3$ ,  $PbO$ ,  $SrCO_3$ ,  $CaO$ ,  $CuO$  марок “ч” расплавной “Super Fast Alloys Quenching -T (SFAQ-T) технологией в Большой солнечной печи (Паркент) [21]. Прекурсоры являлись исходным материалом для получения керамических образцов. Анализ микроструктуры делали на сканирующем зондовом микроскопе “SOLVER NEXT (NT-MDT), электронном микроскопе «ZEISS». Фазовый состав определяли анализом дифрактограмм, полученных на рентгеновском дифрактометре “ДРОН-УМ1, XRD-6100; Cu, K $\alpha$ -излучение, Ni-фильтр”. Сопротивление керамики исследовали 4-х контактным методом на образцах - балочках размером 21x5,2x3 мм и образцах-дисках диаметром 12-26 мм, толщиной 1,5-5 мм в температурном интервале 80-320 К. Контакты наносили втиранием серебряной пасты. Расстояние между внутренними и крайними контактами соответственно 5 мм и 18 мм. Соединительные провода - серебряные. Электрические параметры измеряли цифровым мультиметром “RIGOL DM3058E” ( $U=\pm 0,015\%$ ;  $I=\pm 0,055\%$ ). Температуру измеряли термопарой “хромель – капель”, градуировка в кипящей и ледяной воде, контрольная термопара “хромель-алюмель”. Точность измерения температуры  $\pm 2,5^\circ C$  (ГОСТ Р8.585-2001). Установка и схема измерения сопротивления 4-х контактным методом показаны на рисунке 1.

### Результаты и обсуждение

Внешний вид прекурсоров и наноразмерные зародыши в прекурсор-пластинке представлены на рисунке 2 [22].

Микроструктурный анализ скола керамической таблетки, перпендикулярного плоскости образца, показал образование слоистой структуры, состоящей из параллельных наноразмерных пластин. Сравнение ориентированной микроструктуры прекурсоров-зародышей (рис. 2b) и керамики (рис. 3) выявляет их взаимную связь. Кристаллиты нано-зародыши в прекурсорах являлись центрами, на которых при обжиге в результате реакции между кристаллитами и аморфной фазой формировались слои сверхпроводящих фаз [23]. На рисунке 3 видно пластинчатое расположение слоев (нарушенное из-за скалывания образца), но

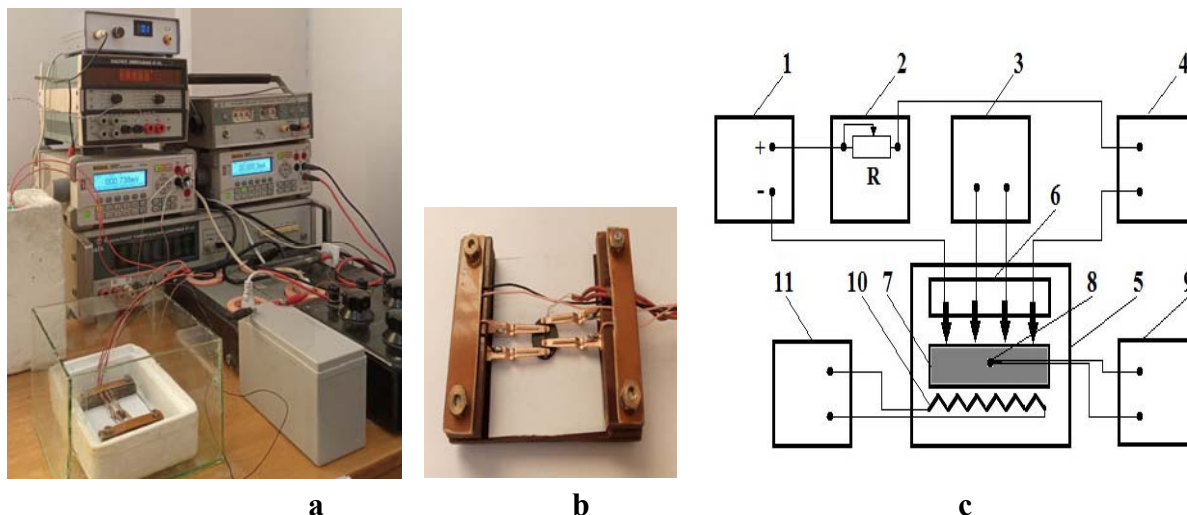


Рисунок 1. Установка для измерения сопротивления 4-х контактным методом. а – внешний вид установки; б – держатель образца; с – блок-схема: 1-источник постоянного тока, 2-магазин сопротивления, 3-устройство для измерения разности электрических потенциалов. (RIGOL DM3058E), 4-устройство для измерения силы тока с автоматическим определением полярности. (RIGOL DM3058E), 5-измерительная камера, 6-четырёхзондовая головка, 7-измеряемый образец, 8-термопара, 9-устройство для измерения напряжения термопары.(RIGOL DM3058E), 10-нагреватель, 11-источник напряжения резистивного нагревателя.

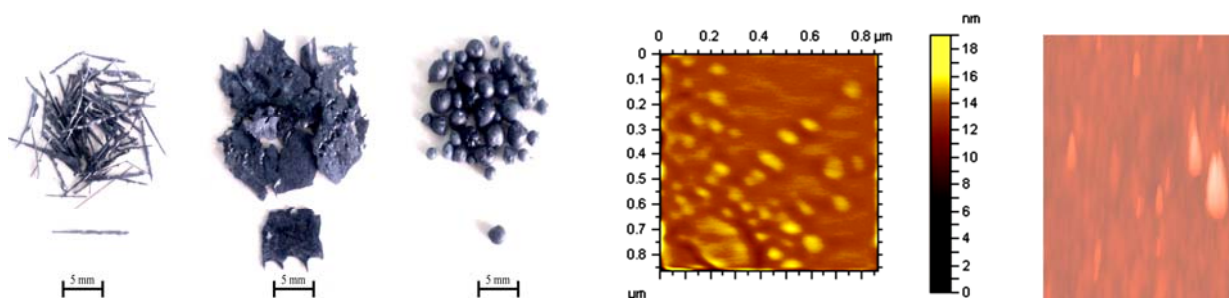


Рисунок 2. Прекурсоры полученные “SFAQ-T” технологией: а – внешний вид; б – нано размерные зародыши.

хорошо различимы участки с параллельной слоистой структурой, показанной, как пример, на фрагменте “А”.

Сопротивление керамических образцов R (Ohm) существенно зависело от температурно-временных режимов обжига. Образцы, полу-

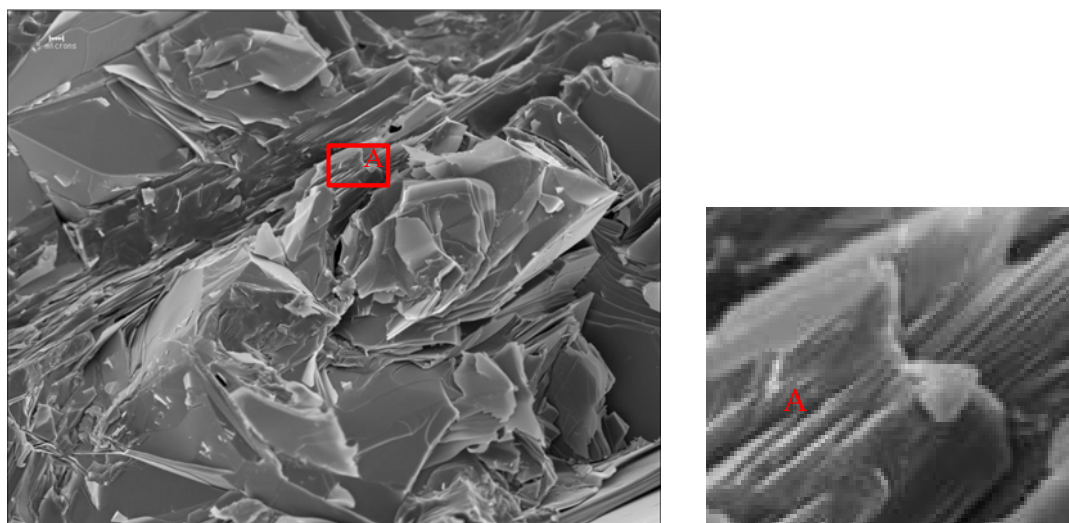


Рисунок 3. Микроструктура скола керамики номинального состава  $Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr_2Ca_{29}Cu_{30}Oy$ .

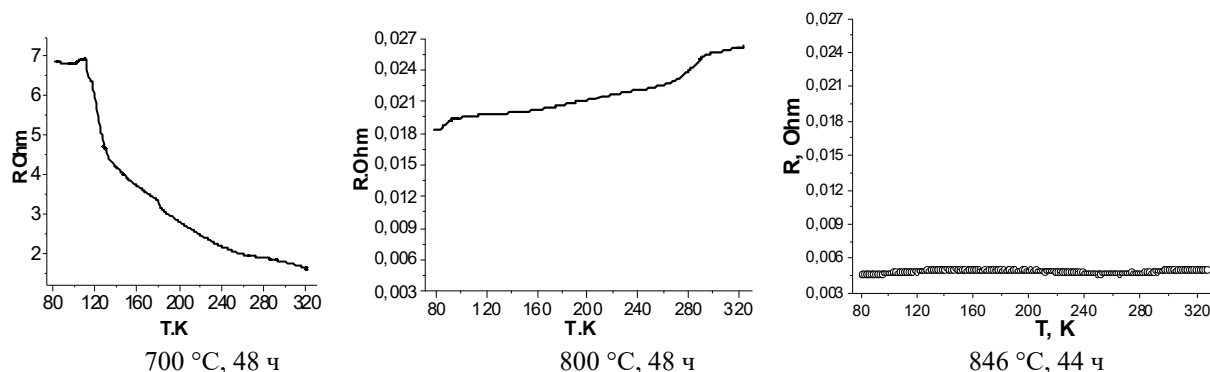


Рисунок 4. Изменение сопротивления  $R$  (Ohm) керамики номинального состава  $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{29}\text{Cu}_{30}\text{O}_y$  в температурном интервале 80-320 К.

ченные при температуре 700 °С, времени обжига 3 часа показали снижение сопротивления  $R$  (Ohm) от температуры  $T$  К в интервале 80-320 К, т.е. зависимость, характерную для полупроводников. В образце, обожженном при 800 °С, 48 часов наблюдали аномальное изменение хода кривой в интервале  $\approx 270$ -294 К, определяющем начало и конец предполагаемого сверхпроводящего перехода. Керамика, обожженная при 846 °С, 44 часа имела почти постоянное среднее сопротивление  $\approx 0,005$  (Ohm) от 80 К до 320 К. Результаты зависимости сопротивления  $R$  (Ohm) от температуры  $T$  К показаны на рисунке 4.

Фазовый состав керамики, полученной в указанных температурно-временных условиях, представлен сверхпроводящими фазами-гомологами [24].

### Заключение

Зависимости сопротивления от температуры в интервале 80-320 К показывают прямую связь фазового состава и морфологии керамики номинального состава  $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{29}\text{Cu}_{30}\text{O}_y$  с технологией синтеза прекурсоров и керамики в условиях температурного градиента на всех этапах от синтеза

прекурсоров до получения керамики. Солнечная технология, благодаря температурному градиенту при получении прекурсоров, обеспечивает векторную ориентацию кристаллитов-зародышей и образование рентгено-аморфной фазы [24]. Из такого материала, имеющего “заданную” текстуру, в последующем процессе обжига керамики (при соблюдении температурного градиента) получена пластинчатая структура, состоящая из сверхпроводящих фаз-гомологов. Фазы-гомологи имеют разную стехиометрию и материал можно представить как “квази” гетерофазную систему, характеризующую полупроводники. Поэтому, при малых временах обжига, когда содержание сверхпроводящих фаз мало, проявляются свойства, характерные для полупроводника. С увеличением времени обжига и температуры образуются сверхпроводящие фазы, а зависимость  $R$  (Ohm)- $T$ , К изменяется и имеет вид, характерный для сверхпроводящей системы, когда сопротивление возрастает с повышением температуры. Таким образом, из представленных результатов следует, что направленные технологические условия могут обеспечивать свойства полупроводника и сверхпроводника в одном образце.

### REFERENCES

1. Kaul A.R. Himicheskie metody polucheniya plenok i pokrytij VTSP [Chemical Methods for Obtaining HTSC Films and Coatings]. *Jurnal vsesoyuznogo himicheskogo obshchestva im. D.I. Mendeleeva*, 1989, vol. 34, no. 4, pp. 492-504.
2. Goloshapov S.I., Osipov V.N., Zimkin I.N., Gurin V.N., Nikanorov S.P., Nosov Y.G. Formirovanie VTSP-faz sistema Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O v rastvore-rasplove KCl [Formation of HTSC phases of the Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O system in a solution-melt of KCl]. *Fizika tverdogo tela*, 1997, vol. 39, no. 10.
3. Emery V. J., Kivelson S. A., Tranquada J. M. Stripe phases in high-temperature superconductors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1999, vol. 96, pp. 8814-8817.
4. Shimomaru Sh., Takahashi K., Seki H., Sakata K., Takenaka T. Preparation of Superconductive (Bi, Pb)-Sr-Ca-Cu-O Thick Films by Rapid Quenching. *Japanese Journal of Applied Physics*, 1989, vol. 28, no. 4, pp. L612-L614. DOI: 10.1143/JJAP.28.L612.
5. Li S.R., Oleynikov N.N., Gudilin E.A. Problems and prospects for the development of methods for obtaining HTSC materials from melts. *Inorganic materials*, 1993, vol. 29, no. 1, pp. 1571-1581.
6. Tretyakov Yu.D., Gudilin E.A. Himicheskie principy polucheniya metallooksidnyh sverhprovodnikov [Chemical principles of preparation of metal-oxide superconductors]. *Uspekhi khimii*, 2000, vol. 69, no. 3, pp. 3-40.
7. Grigorashvili Yu.E. Manufacturing Technology of the (Bi, Pb)<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>10</sub> high temperature superconductors-properties. Published in book: *Technology and Application*, 2012, pp. 242-260.
8. Naoki U., Noritsugu E., Yasuzo T., Hiroshi T. Synthesis of Bi-Sr-Ca-Cu-O Superconductor by Vacuum Calcination Method. *Japanese Journal of Applied Physics*, 1988, vol. 27, no. 6, pp. L1013-L1014.
9. Rabinovich K.S., Samoilenko L.L., Schneider A.G. *Sposob polucheniya sverhprovodyashchego materiala na osnove Bi-2223 s kriticheskoj temperaturuy*

- perekhoda 197K* [Method of obtaining a superconducting material based on Bi-2223 with a critical transition temperature of 197K]. Patent RF, no. 216.013.8FEF.
10. Ghattas A., Azzouz F Ben, Annabi M., Zouaoui M., Salem M. Ben. Pinning mechanism in (Bi, Pb)-2223 polycrystalline samples prepared with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles. 2008. Journal of Physics: Conference Series, vol. 97 A. 012175. DOI: 10.1088/1742-6596/97/1/012175.
  11. Pozigun S.A., Pan V.M., Alekseev V.A., Strunnikov V.M., Kaul A.R., Gorbtko O.Yu. Visokotemperaturnie sverkhprovodyashchie materialy s vysokimi tokonesushimi harakteristikami i metody ih polucheniya [High temperature superconducting materials with high current-carrying characteristics and methods receiving them]. *Uspekhi Fiz. Met.*, 2004, T. 5, pp. 167-218.
  12. Gadzhimagomedova S.Kh., Palchaeva D.K., Murlievaa Zh.Kh., Rabadanova M.Kh., Presnyakov M.Yu. Yastremskybc E.V., Shabanova N.S., Emirova R.M., Rabadanovaa A.E. Nanostrukturumaya keramika YBCO: svyaz mejdou urovnem legirovaniya i temperaturum koefitsientom elektricheskogo soprotivleniya [YBCO nanostructured ceramics: Relationship between doping level and temperature coefficient of electrical resistance]. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2022, vol. 168, A. 110811.
  13. Akopyan V.F., Parinov I., Chang S., Sverkhprovodimost': metody polucheniya vysokotemperaturnykh sverkhprovodnikov [Superconductivity: methods for producing temperature superconductors]. *RELGA*, 2019, no. 1.
  14. Weilun Tan. Razlichnie metody izgotovleniya sverkhprovodyashih soedineniy i metody kharakterizatsii soedineniy [Different Techniques of Producing Superconducting Joints and Methods of Joints Characterization]. *Journal of Physics Conference Series*, 2020, vol. 1635: 012008. DOI:10.1088/1742-6596/1635/1/012008.
  15. Bobylev N.B., Romanov Ye.P., Lyubimov M.G. i dr. Issledovaniye vozmozhnosti primeneniya steklokeramicheskoy tekhnologii dlya polucheniya VTSP-materialov na osnove soyedineniy sistemy Bi-Sr-Ca-Cu-O [Investigation of the possibility of using glass-ceramic technology to obtain HTSC materials based on compounds of the Bi-Sr-Ca-Cu-O system]. *Sverkhprovodimost': fizika, khimiya, tekhnika*, 1990, vol. 3, no 4, pp. 717-724.
  16. Chigvinadze J.G., Tavkhelidze V., Mamniashili G.I., Acrivos J.V., Ashimov S.M., Gulamova D.D. Vibration reed study of superconducting cuprates fabricated by superfast quenching in a solar furnace. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 2019, vol. 9, no. 4, pp. 4495-4499.
  17. Gulamova D.D. Bi/Pb kommatno – temperaturnye sverkhprovodyashchie fazy T<sub>c</sub>=291 K, 295 K poluchennye solnechnoy energiej [Bi/Pb room temperature superconducting phases of T<sub>c</sub>=291K, 295K obtained by solar energy]. *Chemistry and Chemical Engineering*, 2019, no. 2, pp. 3-6.
  18. Gulamova D.D. Bi/Pb sverkhprovodyashchie fazy, s povishenoy temperaturoy sverkhprovodyashogo perekhoda, sintezirovannie solnechnoy energiej [Bi/Pb superconducting phases, with an elevated superconducting transition temperature, synthesized by solar energy]. DOI: 10.3103/S0003701X18050067.
  19. Gulamova D.D., Eshonkulov E.B., Jalilov D., Bobokulov C., Gulamova K. Vliyanie sveta na soprotivlenie Bi/Pb sverkhprovodnikov, sintezirovanih solnechnoy energiej [Effect of light on the resistance of Bi/Pb superconductors synthesized by solar energy]. *Chemistry and Chemical Engineering*, vol. 2020, no. 4, pp. 8-11.
  20. Liu H.K., Dou S.X., Song K.-H., Sorrell C.C., Easterling K.E., Jones W.K. Cu valence states in superconducting Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O system. *Journal of Solid State Chemistry*, 1990, vol. 87, no. 2, pp 289-297.
  21. Gulamova D.D., Bakhrinov Kh.N., Bobokulov S.Kh., Gulamov T.I., Jalilov D.Yu. Osnovy razrabotki tekhnologiy sinteza oksidnih materialov na Bolshoy solnechnoy pechi (Parkent) [Bases of development of technologies of synthesis of oxide materials in Big solar furnace (Parkent)]. *Chemistry and Chemical Engineering*, 2020, vol. 2020, no. 1, pp. 12-15.
  22. Chigvinadze J. G., Acrivos J. V., Ashimov S. M., Gulamova D. D., Donadze G. J. Superconductivity at T<sub>c</sub>≈200 K in Bismuth Cuprates Synthesized Using Solar Energy, 2017, arXiv: 1710.10430v1 [cond-mat. Supr-con]. DOI: 10.48550/arXiv.1710.10430.
  23. Tretyakov Yu.D., Kazin P.E. Novye problemy i resheniya v materialovedenii keramicheskikh sverkhprovodyashchih kupratov [New problems and solutions in materials science of ceramic superconducting cuprates]. *Neorganicheskie materialy*, 1993, vol. 29, no. 12, pp. 1571-1581.
  24. Gulamova D.D., Gulamov T.I. Nizkoomnaya Bi/Pb keramika sodержashaya fazy T<sub>c</sub>=295-315 K, sintezirovannaya v solnechnoy pechi (Parkent) [Low-resistance Bi/Pb ceramics containing T<sub>c</sub> = 295-315 K phases synthesized in a solar furnace (Parkent)]. *Chemistry and Chemical Engineering*, vol. 2020, no. 3, pp. 20-24.