

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 2 (2021)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/JBVN5702>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/UHPJ6988>

***К. У. Жетписбаев¹, Д. Е. Ускенбаев², А. С. Ногай³,
Т. Г. Сериков⁴, А. С. Толегенова⁵**

¹ЖШС «NTS Design», Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

^{2,3,4,5}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ АСҚЫНӨТКІЗГІШ МАТЕРИАЛДАРЫ НАНОҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ ОЛАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

Жұмыстың негізгі мақсаты ретінде наноөлшемді қоспаларды ЖТАӨ материалы құрамына ендіру арқылы асқынөткізгіштің негізгі қасиеттері – критикалық температурасы мен ток тығыздығы мәндерін жақсарту. Аталған жұмыста $(Bi_{1,6}Pb_{0,4})_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ висмут қоспасынан тұратын ЖТАӨ материалы (бұдан әрі - BPSCCO) қатты фазалық және бірлесіп тұндыру әдістері арқылы алынды. Пиннингтік нүктелерді жасау үшін наноөлшемдік $Co_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ және $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ (бұдан әрі – CZFO, NZFO) материалдары қоспасы BPSCCO сынамасы салмағының 0,1 % массасындағы мөлшерде пайдаланылды. Фазалық талдау рентгендік дифрактометрдің көмегіме жасалды.

Кілтті сөздер: ЖТАӨ материалдары, критикалық температура, критикалық ток тығыздығы, пиннингтік нүктелер, қатты фазалы әдіс, бірлесіп тұндыру әдістері, наноөлшемдік қоспалар.

Кіріспе. Қазіргі кезде ЖТАӨ материалдары электроникада, энергетикада, көліктерді үдетуге арналған ехникаларда және т.с.с. бағыттарда кең қолданысқа ие болды. Олардың ішінде керамикалық висмут және иттрий-барий қоспалы ЖТАӨ метариалдары (күрделі купраттар негізіндегі) ток тасымалдаушы сымдар мен кабельдерді, индуктивтілік катушкаларды, көлемдік резонаторларды т.с.с. құрастыруға қолданылады. Алайда сыртқы магнит өрісінің әсерінен критикалық ток мәнінің жоғары болмауынан олардың кең көлемдегі қолданысы шектеулі болып отыр. Сонымен қатар, BPSCCO висмутқоспалы және YBCO иттрий-барий қоспалы ЖТАӨ материалдардың критикалық тогы температура және сыртқы магнит өрісі әсеріне тәуелді болатын қасиетке ие екендігі белгілі.

Бұл қасиет критикалық токтың жоғарғы тығыздығын қамтамасыз ететін магниттік құйындардың пиннингтік күштерін әлсірететін күшті термиялық флуктуацияларының әсерінен болады. Сондықтан ЖТАӨ материалдарын құрылымдық зерттеудегі ең негізгі есептердің өзектілігі ретінде критикалық токты жоғарылататын эффективті пиннингті орталықтардың рөлін атқаратын құрылымдық дефектілерді жасау болып табылады. Ви-ЖТАӨ материалдарында кристалл құрылымдарының қабатты сипатта орналасқандықтан, критикалық токтың күрделі анизотропия қасиеті тән болады. Когеренттілік ұзындығына шамалас болатын нанодоңғейдегі неесе атодық-кристаллдық деңгейдегі дефектілер пиннингтік орталықтар ретінде қарастырылады. ЖТАӨ материалдарындағы жасанды пиннингтік орталықтарды құрастырудың негізгі бірнеше әдістері болады:

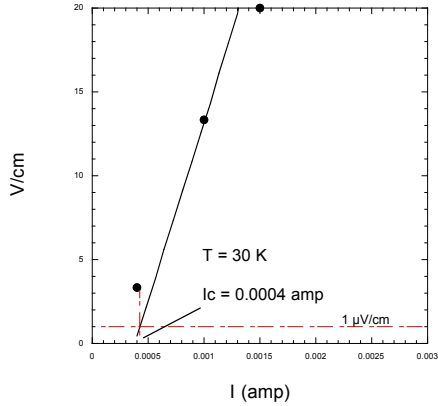
- материалға қосалар мен қосындыларды енгізу;
- радиациялық әсер ету;
- жасанды планарлы (сонымен қатар реттелген) дефектілердің құрылымын құрастыру.

Асқынөткізгіштік матрицаға пиннингті орталықтарды құрастыру мақсатында қоспаларды ендіруді көптеген әдістермен жүзеге асыруға болады. Негізгі мәселелердің бірі ретінде критикалық температура T_c мәнін кемітіп алмай эффективті пиннинг орталықтарының концентрациясына жету арқылы ток тығыздығын J_c жоғарылату болып табылады. Қоспалардың ыңғайлы концентрациясын, дисперстігін және түрін іздеу арқылы T_c төмендауі мен жоғарылауы арасындағы ортақ келісімді табу қажет. Сондықтан аталған жұмыстағы негізгі стратегиясының бірі ретінде құйындардың пиннингтік күшін арттыру мақсатында әртүрлі нано қоспаларды қосу арқылы наноөлшемді дефектілердің тиімді нұсқасын табу болып табылады. Нанокоспалардан жасалған дефектілердің радиациялық дефектілерден айырмашылығы пиннингтік орталықтардың концентрациясының қоспа құрамына химиялық өзгешелігіне емес, оның физикалық қасиеттеріне (парамагнетиктер, диамагнетиктер, суперпарамагнетиктер) тәуелді болуында. Бұл жерде екі маңызды заңдылықты атап өту қажет. Қоспалардың өте аз мөлшерінде (0,1-0,5 %) асқынөткізгіштің критикалық қасиеттеріне оң әсер беретіндігінде. Одан әрі қарай қоспа мөлшерін арттыру кезінде іздеген динамика кері нәтиже беретіндігі анықталды.

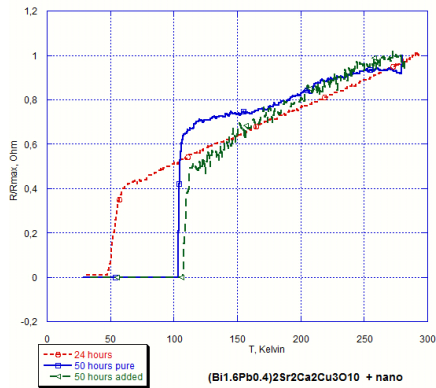
Тәжірибелік бөлім. Осы жұмыста наноөлшемді магниттік материал CZFO және NZFO қоспа ретінде пайдаланылды. Магниттік наноматериал магниттік тор мен магниттік тексура арасындағы өзара әсерлесу арқылы асқынөткізгіштің критикалық ток тығыздығының артуына ықпал етуі мүмкін. Антиферромагнитті $\text{Ca-Fe}_2\text{O}_3$, ферромагнитті – Fe_3O_4 және диамагнитті ZnO қоспа ретінде қолданудың нәтижесінде BPSCCO критикалық температура мен

критикалық ток тығыздығының артуына әкелді. Күрделі магниттік оксидтер пииниттік орталықтың діңгегі ретінде тиімді материал етінде қолдануға болады. Олар күшті құрылымдық, электрондық, және магниттік, тіпті иондық еркіндік дәрежелерінің күшті әсерлесуіне негізделген қасиеттердің көптеген түрлеріне ие [1-4]. Осыған дейінгі жұмыстарда $\text{Cu}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_9$ құрамына жалпы массасының 0.08 % етіп CZFO құспасын ендіргенде критикалық температура мәні 3,35 % және тиімді дефектілердің концентрациясының артуы анықталған еді. Сондықтан осы жұмыста CZFO таңдалды, себебі ол нанолешемді ең тиімді суперпарамагнит, сонымен қатар, ол ферриттік және ферромагниттік нұсқа ретінде қолданылады. Егер нано қоспаның өлшемі – d магниттік өрістің ЖТАӨ материалы бойына λ – ену тереңдігінен кіші және ξ – когеренттік ұзындығынан үлкен болған жағдайда критикалық ток тығыздығы – J_c жоғарылайды деген тұжырымды пайдаланамыз [5-6]. Сонымен қатар, d – дефектінің өлшемі ξ – когеренттік ұзындығы мәніне жақындаған сайын ағынның пинниттік күші жоғарылай түседі деген тұжырымды да қолдануға болады [7]. BPSCCO үшін ξ – когеренттік ұзындығы 2,9 нм, λ – ену тереңдігі 60-1000нм құрайды. Бұл жұмыста наноөлшемдері 5нм болатын Bi-2223 ЖТАӨ материалы қолданылады. Бұл өлшем ($\xi < d < \lambda$) шартын орындайды. ЖТАӨ материалдары қатты фазалық және бірлесіп тұндыру әдістері арқылы алынды. Сынамалар таблетка және лента пішіндерінде әзірленді. Сынамалар 24, 50, 100 және 125 сағаттық уақыттарында 850 °C температурасында күйдіру арқылы әзірленді. Төрт зонд әдісі арқылы электрлік кедергісі анықталса, критикалық ток тығыздығы мәндері (1) формула мен 1-суретте көрсетілген әдіс арқылы анықталды. Кедергінің температураға тәуелділік функциясы Гелий газымен салқындатылатын «Cryo Industry REF-1808-ACS» тұйықталған криокамерасымен және температура өлшегіш «Lake Shore Model 340» құрылғыларымен анықталып, критикалық температурасы өлшенді (2-сурет). Сынамалардың фазалық қасиеттері электронды сканерлеуші микроскоп және рентгендік дифрактометрмен зерттелді (3-7-суреттер). 24 сағатта әзірленген сынааның критикалық температурасы ЖТАӨ материалына жақын температурадан төмен болды [8-11].

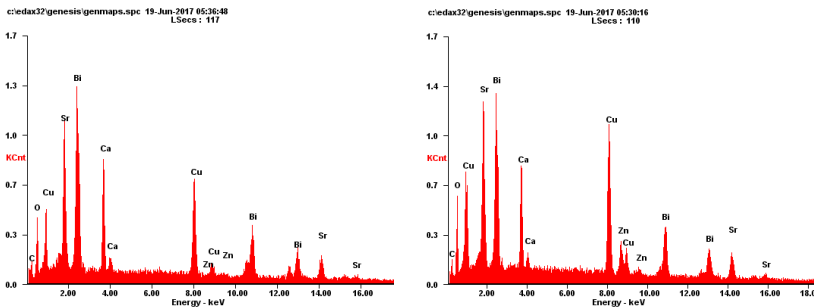
$$J_c = \frac{I_c}{A(\text{cm}^2)} \quad (1)$$

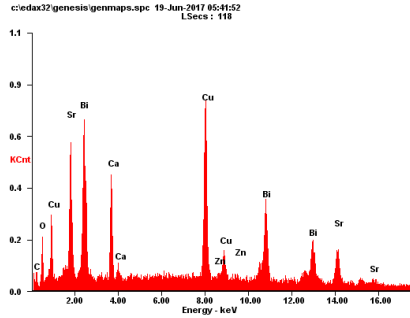


Сурет 1 – Зерттеу нәтижелерін қолдану арқылы критикалық ток тығыздығы мөнін анықтау әдісі.

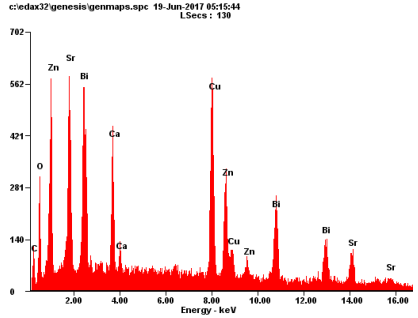


Сурет 2 – ВPSCCO материалына CZFO наноөлшемді қоспаны ендіру

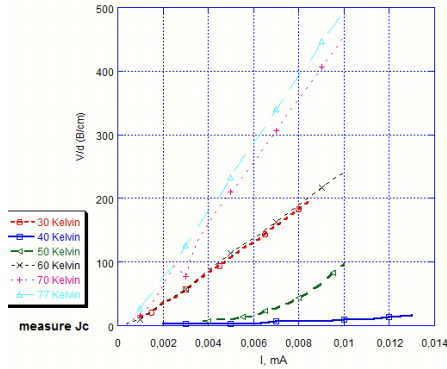




Сурет 3 – 24 сағат



Сурет 4 – 50 сағат



Сурет 6 – Ток тығыздығын анықтау әдісі

Кесте 1 – Ток тығыздығын анықтау

NZFO (wt%)	a (Å)	b (Å)	c (Å)	V_{2223} (%)	V_{2212} (%)	$T_{c-onset}$ (K)	T_{c-zero} (K)	ΔT_c (K)	$T_{2\omega}$ (K)	T_p (K)	$J_{c0}(T_p)$ (A cm ⁻²)	$J_{c0}(40 K)$ (A cm ⁻²)	$J_{c0}(77 K)$ (A cm ⁻²)
0.24 h	5.462	5.395	36.66	85	15	111	102	9	102	83	23	1.39	0.61
0.02 24 h	5.476	5.338	37.05	85	15	112	102	10	102	92	19	2.10	1.05
0.04 24 h	5.462	5.397	36.94	90	10	110	101	9	102	94	21	2.45	1.33
0.10 24 h	5.494	5.332	36.95	90	10	112	103	9	103	93	20	1.22	1.73
0.48 h	5.494	5.331	36.95	89	11	113	105	8	105	94	21	1.83	0.98
0.02 48 h	5.465	5.301	36.86	90	10	111	103	8	104	93	21	5.30	3.30
0.04 48 h	5.464	5.287	36.88	90	10	114	105	9	103	94	21	4.59	2.80
0.10 48 h	5.480	5.348	36.97	90	10	113	103	10	103	95	19	1.75	1.23

Қорынды. 50 сағатта әзірленген сынамалардың нанокұрылымды қоспасы жоқ және бар мәндерін салыстырғанда байқалатыны – критикалық температура мәні қоспаның арқасында жоғарылағандығын анықтауға болады. Рентгендік дифрактометрдің нәтижесінде алынған мәліметтерді талдау

барысында 125 сағаттық күйдіру кезінде кристаллдық торлардың өлшемдері кішірейетіндігі анықталды. Алайда критикалық температура мәні тек 100 сағаттық әзірлеу кезінде ғана жоғары мәнді көрсете алды. 24 және 50 (48) сағаттық сынаманы (таблетканы) қолдану арқылы тұрақты 30, 40, 50, 60, 70, 77 К температураларында ток тығыздығы мәндерін анықталды.

Берілген жұмыс AP09260251 ҚР БҒМ ғылыми жоба аясында орындалған.

Пайдаланған деректер тізімі

- 1 **Kong, W., Abd-Shukor, R.** // J. Elect. Mat. 36(12). – 2007. – P. 1648.
- 2 **Rush J.P., May-Miller C.J., Palmer K.G.B., Rutter N.A., Dennis A.R., Shi Y.H., Cardwell D.A. and Durrell J.H.** Transport in Bulk Superconductors : A Practical Approach // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 2016. – P. 26.
- 3 **Agail A. and Abd-Shukor R.** Effect of Different Nanosized NiO Addition on Ag-Sheathed (Bi_{1.6}Pb_{0.4})Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀ // Superconductor Tapes Journal of Superconductivity and Novel Magnetism. – 2013. – P.1273-1277.
- 4 **Abd-Shukor R., Kong I., Lim E.L., Mizan N.A., Alwi H.A., Jumali M.H. and Kong W.** Enhanced Critical Current Density of FeF₂ Added YBa₂Cu₃O_{7-δ} // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism. – 2012. – P. 957-960.
- 5 **Abd-Shukor R. and Kong W.** Magnetic field dependent critical current density of Bi–Sr–Ca–Cu–O superconductor in bulk and tape form with addition of Fe₃O₄ magnetic nanoparticles // Journal of Applied Physics. – 2009. – P. 301-308.
- 6 **Nabil, A.A. Yahya, Abd-Shukor R.** // J. Supercond. – 2014. – P. 329.
- 7 **Agail, A., Abd-Shukor, R.** // Appl. Phys. A Mater. Sci. Process. – 2013. – P. 501.
- 8 **Azman, N.J., Abdullah, H., Abd-Shukor, R.** // Adv. Cond. Mat. Phys. Art. No. 498747. – 2014.
- 9 **Zhetpisbaev K., Kumekov S., Nurul Raihan Mohd Suib and R. Abd-Shukor.** Effect of complex magnetic oxides nanoparticle on (Bi_{1.6}Pb_{0.4})Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀ // Superconductor prepared by co-precipitation method. Journal American institute of Physics/Conference Proceedings. – 2017. – Vol.1838. – №1. – P. 020009(1-5).
- 10 **Жетписбаев К.У., Кудайберген К.Б., Байгисова К.Б., Алджамбекова Г.Т., Сарсембаев Б.Д.** Влияние наноструктуры на свойства ВТСП. // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан/ Серия физика. – 2017. – № 4.
- 11 **Zhetpisbaev K., Kumekov S., Nurul Raihan Mohd Suib and R. Abd-Shukor.** Effect of Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe₂O₄ Nanoparticle on AC Susceptibility and Electrical Properties of YBa₂Cu₃O₇ Superconductor // Int. J. Electrochem. Sci. – 2019. – P. 279-286.

References

- 1 **Kong, W., Abd-Shukor, R.** // J. Elect. Mat. 36(12). – 2007. – P. 1648.
- 2 **Rush J.P., May-Miller C.J., Palmer K.G.B., Rutter N.A., Dennis A.R., Shi Y.H., Cardwell D.A. and Durrell J.H.** Transport in Bulk Superconductors : A Practical Approach // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 2016. – P. 26.
- 3 **Agail A. and Abd-Shukor R.** Effect of Different Nanosized NiO Addition on Ag-Sheathed (Bi_{1.6}Pb_{0.4})Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀ // Superconductor Tapes Journal of Superconductivity and Novel Magnetism. – 2013. – P.1273-1277.
- 4 **Abd-Shukor R., Kong I., Lim E.L., Mizan N.A., Alwi H.A., Jumali M.H. and Kong W.** Enhanced Critical Current Density of FeF₂ Added YBa₂Cu₃O_{7-δ} // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism. – 2012. – P. 957-960.
- 5 **Abd-Shukor R. and Kong W.** Magnetic field dependent critical current density of Bi–Sr–Ca–Cu–O superconductor in bulk and tape form with addition of Fe₃O₄ magnetic nanoparticles // Journal of Applied Physics. – 2009. – P. 301-308.
- 6 **Nabil, A.A. Yahya, Abd-Shukor R.** // J. Supercond. – 2014. – P. 329.
- 7 **Agail, A., Abd-Shukor, R.** // Appl. Phys. A Mater. Sci. Process. – 2013. – P. 501.
- 8 **Azman, N.J., Abdullah, H., Abd-Shukor, R.** // Adv. Cond. Mat. Phys. Art. No. 498747. – 2014.
- 9 **Zhetpishaev K., Kumekov S., Nurul Raihan Mohd Suib and R. Abd-Shukor.** Effect of complex magnetic oxides nanoparticle on (Bi_{1.6}Pb_{0.4})Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀ // Superconductor prepared by co-precipitation method. Journal American institute of Physics/Conference Proceedings. – 2017. – Vol.1838. – №1. – P. 020009(1-5).
- 10 **Zhetpishbayev K.U., Kudaybergen K.B., Baygisova K.B., Aldzhambekova G.T., Sarsembayev B.D.** Vliyaniye nanostruktury na svoystva VTSP. [Influence of nanostructure on HTSC properties]. Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan / Physics Series. – 2017. – No. 4
- 11 **Zhetpishaev K., Kumekov S., Nurul Raihan Mohd Suib and R. Abd-Shukor.** Effect of Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe₂O₄ Nanoparticle on AC Susceptibility and Electrical Properties of YBa₂Cu₃O₇ Superconductor // Int. J. Electrochem. Sci. – 2019. – P. 279-286.

Материал 12.06.21 баспаға түсті.

**К. У. Жетписбаев¹, Д. Е. Ускенбаев², А. С. Ногай³,
Т. Г. Сериков⁴, А. С. Толгенова⁵*

¹ТОО «NTS Design», Республика Казахстан, г. Нур-Султан;

²Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан.

Материал поступил в редакцию 12.06.21.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОСТРУКТУРЫ НА СВОЙСТВА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В данной работе рассматривается влияние наноразмерного примеси на структуру материала ВТСП, были определены основные свойства сверхпроводника- критическая температура и улучшение величины тока проводимости. Транспортная критическая плотность тока, J_{cr} , была измерена с использованием критерия никель-цинкового феррита $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ (NZFO) на сверхпроводник $Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ (Bi-2223). Для получение точки пиннига наноразмерности были использованы примеси $Co_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ и $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ образец массой 0,1 %. С помощью рентгеновской дифрактометра было проведено фазаовый анализ.

Ключевые слова: ВТСП материалы, , критическое температура, плотность критического тока, пинниговые центры, твердофазовые методы, наноразмерные добавки.

*К. U. Zhetpishbayev¹, D. E. Uskenbayev², A. S. Nogai³,

A. S. Tolegenova⁴, T. G. Serikov⁵

¹LLP «NTS Design», Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;

²S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,

Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.

Material received on 12.06.21.

STUDY OF THE INFLUENCE OF NANOSTRUCTURES ON THE PROPERTIES OF HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTING MATERIALS

In this paper, we consider the influence of a nanoscale impurity on the structure of a HTSC material, the basic properties of a superconductor – the critical temperature and the decrease in the conductivity current – were determined. The transport critical current density, J_{ct} , was measured using the $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ (NZFO) nickel-zinc ferrite criterion on a $Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ (Bi-2223) superconductor. To obtain a pinning point of nanoscale, impurities $Co_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ and $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ sample with a mass of 0.1 % were used. An X-ray diffractometer was used to conduct a phase analysis.

Keywords: HTSC materials, , critical temperature, critical current density, pinning centers, solid-phase methods, non-dimensional additives.

Теруге 12.06.2021 ж. жіберілді. Басуға 24.06.2021 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

6,28 Мб RAM

Шартты баспа табағы 15,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Р. Омарова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3792

Сдано в набор 12.06.2021 г. Подписано в печать 24.06.2021 г.

Электронное издание

6,28 Мб RAM

Усл. печ. л. 15,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Р. Омарова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3792

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz