

Наименование проекта: Разработка технологии получения Bi-VTСП керамики с высокими критическими параметрами.

Актуальность: Высокотемпературные сверхпроводники из-за уникальных электрофизических свойств (проводящие, диамагнитные и др.) являются одним из перспективных материалов используемых в передовых направлениях науки и техники - энергетика, электроника, медицина, связь, приборостроение и мн. др. На их основе создаются электромагнитные экраны, модуляторы, антенны, коммутаторы и фильтры СВЧ- и импульсных сигналов, болометры миллиметрового, субмиллиметрового и инфракрасного диапазона излучений, принципиальные схемы сверхбыстродействующих компьютеров, чувствительных медицинских томографов и сверхчувствительных диагностических устройств, способных реагировать даже на изменения психического состояния человека и многие другие. Они особое место занимают для изготовления токонесущих лент, проводов и кабелей, а также в сильноточных устройствах. Хотя, VTСП материалы уже используются в различных областях, проблемы широкого пользования ограничиваются с его стоимостью, сложностью технологического исполнения и значениями критических параметров. В связи с этим, разработка эффективной технологии получения керамических материалов с высокими токонесущей способностью и критической температурой является актуальной задачей для практического применения.

Цель: Разработка технологии и оптимизация режимов получения Bi-VTСП керамики с высокой критической температурой и с повышенной плотностью критического тока.

Ожидаемые результаты: В результате проведенных научно-исследовательских работ будет разработана технология получения исходных аморфных материалов-прекурсоров для использования в получении висмутсодержащей высокотемпературной сверхпроводящей керамики с высокой критической температурой и с повышенной токонесущей способностью. Будет разработана технология получения высокодисперсных материалов-порошков (нано и микро размерных) на основе аморфных прекурсоров и получен VTСП керамики висмутсодержащих купратных составов Bi-2212 и Bi-2223 на основе микро и нанодисперсных порошков и оптимизированы режимы введения в керамику нанодисперсных включений на основе тугоплавких и магнитных материалов. Будет разработана технология повышения текстуры и плотности керамического VTСП образца и проведена оптимизация технологических режимов получение экспериментального образца керамики с высокой критической температурой и с повышенной плотностью критического тока. Будет разработана технология высокоактивных исходных аморфных материалов-прекурсоров составов Bi-2212 и Bi-2223 для применения в качестве сырья-полуфабриката в получении VTСП изделия различного назначения, в 2 и более раза укороченным технологическим режимом получения VTСП керамики. Будут разработаны и оптимизированы технологические режимы синтеза

керамических образцов Bi-ВТСП повышенной плотностью критического тока.

Полученные результаты за 2021-2023гг. В результате проведенных исследований по получению Bi-ВТСП керамик на основе стеклообразных прекурсоров, полученных закалкой расплава были разработаны следующие устройства: - устройство получения прекурсоров с использованием интенсивного широкополосного оптического излучения, включающий УФ, видимый и ИК спектры высокой интенсивностью; - устройства плавления под воздействием комбинированного ИК и УФ лазерного излучения; - устройства плавления под воздействием ИК нагрева. Во всех устройствах плавления осуществлялись без использования тигля, в окислительной атмосфере, что обеспечивала обогащение кислородом стеклообразные прекурсоры. При этом, скорость образования ВТСП фаз Bi-2212 и Bi-2223 повышалась в 3-4 раза, по сравнению с твердофазным или другими способами. Были получены однофазные сверхпроводящие керамики Bi-2223 , что другими расплавленными методами сложно достигнуть, даже при длительной термической обработке. При этом установлено, что повышение содержания катионов Ca и Cu выше сверх стехиометрического состава приводит к ускорению и полноте образованию высокотемпературной фазы Bi-2223 . Исследование критических параметров ВТСП керамик показали существенно повышенную плотность критического транспортного тока, чем сверхпроводящие керамики, полученные твердофазным методом, методом соосаждения и др. Высокие J_c связаны с образованием дефектов в керамиках, полученные по стеклокристаллическому методу. Эти дефекты могут являться в качестве пиннинг-центров закрепления потока. Были синтезированы ВТСП керамики состава Bi-2223 с нанодисперсными включениями на основе ферромагнитных материалов NiZnFeO , CoFeO , FeO , CuZnFeO с различной концентрации. При этом были получены сверхпроводящие керамики в два раза повышенной плотностью критического транспортного тока, чем керамики без добавки при температуре 77 К и до 4 раза выше при температуре 30 К. На основе синтезированных ВТСП керамических образцов были получены сверхпроводящие экспериментальные образцы длинномерных лент по методу «порошок в трубе». При температуре кипения жидкого азота 77 К величина плотности критического транспортного тока повысилась для состава $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2.5}\text{Cu}_{3.5}\text{O}_y$ до 10 раз, измеренная по критерию $1\mu\text{V}/\text{cm}^2$, что существенно превышает критические токи керамических образцов.

На основе полученных результатов можно утверждать, что самый оптимальный метод получения ВТСП керамик является метод с использованием ИК нагрева получения стеклообразных прекурсоров. Преимущество этого метода заключается в простоте исполнения, малого энергопотребления, надежности, стабильности и полноте выхода ВТСП высокотемпературной фазы 2223, обеспечение высокого транспортного тока, высокой производительности. Разработанного метода можно использовать

для получения сверхпроводящих материалов для промышленного производства изделия различного назначения.

Запланированные по календарному плану все задания полностью выполнены. За 2021-2023гг опубликованы следующие публикации.

- 1 Nogay A., Uskenbaev U., Tatkeyeva G., Aleksandrovsky V., Zhetpisbaev K., Uskenbaev A., Investigation of the Effect of Laser and Optical Radiation on the Formation and Properties of High-Temperature Superconducting Compounds. Труды университета. 2021, №3, С. 268-274 (КОКСОК).
- 2 Жетписбаев К.У., Ускенбаев Д.Е., Ногай А.С., Сериков Т.Г., Толегенова А.С. Жоғары температуралы ақасқын өткізгіш материалдары наноқұрылымының олардың қасиеттеріне әсері. Вестник Торайгырова университета. 2021, №2, С. 262. (КОКСОН).
- 3 Нұрбек Н.А., Ускенбаев Д.Е. Устройство измерения критической температуры и критического тока высокотемпературных сверхпроводников. Международная научно-теоретическая конференция «Сейфуллинские чтения – 17: «Современная аграрная наука: цифровая трансформация», посвященная 30-летию независимости Республики Казахстан. - Нур-Султан: Казахский агротехнический университет имени Сакена Сейфуллина. 2021. - С. 47-48.
- 4 Ускенбаев Д.Е., Ибатаев Ж.А., Ускенбаев А.Д., Жетписбаев К.У., Ногай А.А. Құрамында висмуты бар жоғары температуралы асқын өткізгішті рентгендік және микроқұрылымдық зерттеулер // Цифровая трансформация обучение: Образование, наука, индустрия. Сборник материалов международной научно-практической онлайн конференции. Алматы: КазНацЖенПУ. 2021.
- 5 Uskenbaev D., Zhetpisbaev K., Nogai A., Beissenov R., Zhetpisbaeva A., Baigisova K., Salmenov E., Nogai A., Turuntay S. Synthesis of High Temperature Superconducting Ceramics in the Bi(Pb)-Sr- Ca-Cu-O System Based on Amorphous Precursors. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. - №4/12 (118). - P. 29-37. (Скопус, Процентиль 47).
- 6 Ускенбаев Д. Е., Ногай А. С., Ускенбаев А.Д., Жетписбаев К. У., Турмантай С. Балқымадан алынатын жоғары температуралы асқын өткізгіш қосылыстардың түзілуіне және қасиеттеріне жағдайлардың әсерін зерттеу. Вестник Торайгыров университета. Энергетическая серия. 2022. - №3. - С.186-199. (КОКСОН).
- 7 Ускенбаев Д.Е., Ибатаев Ж.А., Ногай А.А., Ускенбаев А.Д. Перспективы получения ВТСП керамики на основе висмута. Материалы Межд. научно-практ. конференции им. Д. И. Менделеева, посвяще. 90-летию профессора Р. З. Магарила. Том 2. Тюмень: ТИУ. 2022. - С. 170-171.
- 8 Ускенбаев А.Д. Получение висмутовой высокотемпературной сверхпроводящей керамики из расплава и исследование свойств. Международная научно-практическая конференция. «Сейфуллинские чтения – 18: «Молодёжь и наука – взгляд в будущее». 2022. - том I, часть VI.. - С. 41-44.

- 9 Ускенбаев Д.Е. Рентгеновские исследования висмутовых сверхпроводящих керамик, полученных из стеклофазы под воздействием ИК излучения. Международная научно-практическая конференция. «Сейфуллинские чтения – 18 (2): «Наука XXI века - эпоха трансформации» 2022. - том I, часть VI. - С. 273-276.
- 10 Сарсенбаева М.Б., Джусупова А.А., Ускенбаев Д.Е. Синтез и критические свойства висмутового высокотемпературного сверхпроводника составов 2234 и 2245. Международная научно-практическая конференция. «Сейфуллинские чтения – 18(2): «Наука XXI века - эпоха трансформации». 2022. - том II, часть I. - С. 162-164.
- 11 Патент на изобретение. Ускенбаев Д.Е., Ногай А.С., Ускенбаев А.Д., Ногай Э.А. Способ получения высокотемпературной сверхпроводящей керамики Bi-2223 из расплава. Патент на изобретение. Заявка № 2022/0578.1 от 27.09.2022. В печати.
- 12 Uskenbaev D., Nogai A.S., Uskenbayev A., Zhetpisbayev K., Nogai E., Dunayev E., Zhetpisbayeva A., Nogai A. Synthesis and Research of Critical Parameters of Bi-HTSC Ceramics Based on Glass Phase Obtained by IR Heating, ChemEngineering. 2023. – №7. – P. 95-107. (WoS – Q1, Scopus – Процентиль 77).
- 13 Uskenbaev D., Nogai A., Uskenbaev A., Nogai Э., Synthesis and Properties of Bismuth HTS Ceramics Bi-2234 Obtained from a Melt. Вестник КарГУ. 2023.- №3(111). – С.162 – 170. (КОКСОН).
- 14 Байтелесов С., Ускенбаев Д.Е., Ногай А.С., Ногай Э.А. Рентгеновское, микроструктурное исследования и свойства висмутового сверхпроводника, полученного под воздействием ИК излучения. «М.А.Гендельманның 110 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары–19» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары - Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 19», посвященной 110- летию М.А. Гендельмана». - 2023.- Т. I, Ч. V.- С. 150-152.
- 15 Сарсенбаева М.Б., Джусупова А.А., Ускенбаев Д.Е. Исследование влияния нанодобавок на критические параметры Bi-ВТСП. «М.А.Гендельманның 110 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары–19» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары - Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 19», посвященной 110- летию М.А. Гендельмана». - 2023. - Т. I, Ч. V. - С. 143-145.
- 16 Патент на полезную модель. Ускенбаев Д.Е., Ногай А.С., Ускенбаев А.Д., Ногай Э.А. Способ получения ВТСП керамики состава $Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_{2.25}Cu_{3.25}O_y$. Патент на полезную модель №8711. Заявка 2023/0791.2 от 24.10.2023.

Члены исследовательской группы:

Ускенбаев Д.Е. PhD, ассоциированный профессор, позиция в проекте –

руководитель. Индекс Хирша (h-index) - 5, профиль (<http://orcid.org/0000-0001-6265-1376>).

Ногай А.С. доктор физико-математических наук, профессор, позиция в проекте - ведущий научный сотрудник. Индекс Хирша (h-index) - 5, профиль (<http://orcid.org/0000-0003-4235-7246>).

Жетписбаев К.У. – Доктор (PhD), позиция в проекте - старший научный сотрудник. Индекс Хирша (h-index) - 1, профиль (<http://orcid.org/0000-0001-8828-0075>).

Ногай А.А. - PhD, позиция в проекте - младший научный сотрудник. Индекс Хирша (h-index) – 2, профиль (<http://orcid.org/0000-0002-3816-9595>).

Ускенбаев А.Д. - магистр, позиция в проекте – младший научный сотрудник.

Мендыбаев С.А. – к.т.н., доцент, позиция в проекте – инженер-электронщик.

Сарсенбаева М.Б. - магистрант, позиция в проекте – лаборант.

Турсунтай С - магистрант, позиция в проекте - лаборант.

Информация для потенциальных пользователей: Используя разработанную технологию, можно получить массивные ВТСП керамики с высокой токонесущей способностью для широкой области применения. А также длинномерные сверхпроводящие ленты, провода и кабели для токопроводящих изделия и для применение в сильноточных устройствах. Технология также может быть использована для получения конструкционных материалов различного назначения с особыми электрофизическими свойствами – ферроэлектрики, пьезоэлектрики, термоэлементы, ферромагнетики, твердые электролиты и др.