

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В МОДЕРНИЗАЦИИ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Махмудов Немадулла Ахматович

канд. физ.-мат. наук, профессор кафедры,
Академия Вооруженных Сил Республики Узбекистан

Аннотация. В данной статье рассматривается возможность использования иттрий- и висмутсодержащих сверхпроводящих керамических порошков не только в качестве электропроводящих материалов, но и как многофункциональных, энергосберегающих компонентов. Приведены аргументы в пользу их эффективного применения в различных условиях. Представлены практические рекомендации по использованию иттрий- и висмутсодержащих керамических материалов $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ и $Bi_{1,7}Pb_{0,3}Sr_2Ca_{(n-1)}Cu_nO_y$ ($n=2-9$) в машиностроении и в процессе модернизации военных систем связи, что позволяет достичь значительных технологических успехов.

Ключевые слова: модификация, эксплуатационные характеристики, керамика, нанопорошки, средства связи, кабели, датчики.

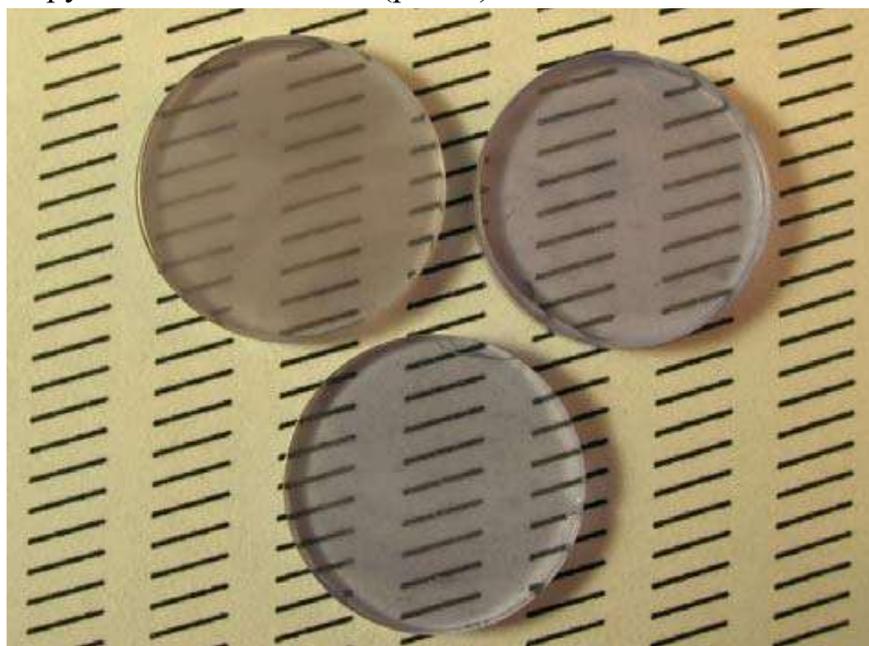
Annotation. Three papers report that superconducting ceramic powders of yttrium and bismuth can be considered as multifunctional, energy-efficient materials rather than electrical conductors. $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ and $Bi_{1,7}Pb_{0,3}Sr_2Ca_{(n-1)}Cu_nO_y$ ($n=2-9$) yttrium and bismuth ceramics obtained in various conditions, practical instructions are given on the possibility of high achievements in the field of mechanical engineering and modernization of military communications systems.

Keywords: modification, operational, ceramics, nanopowders, communication devices, cables, sensors.

Научные исследования микро- и наноразмерных системных объектов привели к значительному развитию современных направлений физики твердого тела, материаловедения, кристаллографии, электротехники, электроники и машиностроения. Частицы микронного и нанометрового масштаба могут существенно изменять свойства материалов, а в некоторых случаях приводить к поразительным модификационным изменениям. Модификационные изменения в материалах способствуют созданию современных многофункциональных, энергосберегающих материалов с улучшенными физико-химическими, механическими и эксплуатационными характеристиками. На сегодняшний день перед материаловедением стоит ряд важных задач, среди которых одной из ключевых является разработка многофункциональных материалов. К таким материалам относятся гибридные сверхпроводящие керамики, изготовленные на

основе иттрий- и висмутсодержащих порошков. Эти материалы обладают не только сверхпроводящими свойствами, но и находят широкое применение в машиностроении, производстве деталей двигателей, а также в модернизации военных средств связи. Например, в России и других странах были разработаны и запатентованы нанокерамические и нанокompозитные конструкционные элементы для машиностроения [1].

Оптически прозрачная нанокерамика на основе материала $Nd_3 + Y_2O_3$, применяемая в лазерных и коммуникационных технологиях, была разработана совместно с УрОРАН при участии В.В. Осипова, О.Л. Хасанова, Н.А. Махмудова и других исследователей (рис. 1).



1-й рисунок. Прозрачные устройства

Оптическая $Nd - Y_2O_3$ керамическая прозрачная деталь была уплотнена из нанопорошков под действием статического давления и ультразвукового воздействия. Также были синтезированы нанокерамические материалы с высокой прочностью, устойчивые к разрушению и ударам, применяемые в машиностроении (рис. 2).



2-й рисунок. Изделия, изготовленные из нанопорошка

Руководитель нашего научного проекта – профессор Томского политехнического университета, доктор физико-математических наук, директор ООО «НПП Нанокompакт» О. Л. Хасанов (тел./факс: (3822) 427242, 426936).

Мы ведем научные исследования совместно с Томским Политехническим университетом (нано-центр ТПУ) более 40 лет [2,3].

Наши стратегические партнеры:

ЗАО «Центр точной механообработки» (г. Томск);

Научный центр РАН, СОРАН (г. Томск);

Институт металлургии и материаловедения РАН;

Лаборатория Университета Средней Азии (Артел);

Физико-технический научно-исследовательский институт (г. Ташкент);

Научно-исследовательский институт солнечной энергетики (г. Паркент).

Керамические порошки на основе $ZrO_2 - Y_2O_3$ использовались для изготовления бензиновых насосов и топливных насосов автотракторов. В ходе испытаний было установлено, что их износостойкость в 20 раз выше по сравнению со стандартными материалами, такими как металлографиты.

Часть изготовленных образцов из керамического порошка была обжарена в вакуумной печи (произведенной в Германии, рис. 3) при температуре 20–2200°C, а оставшиеся образцы – в высокотемпературных печах (произведенных в Чехии, рис. 3) [3,4].



3-й рисунок. Высокотемпературная печь.

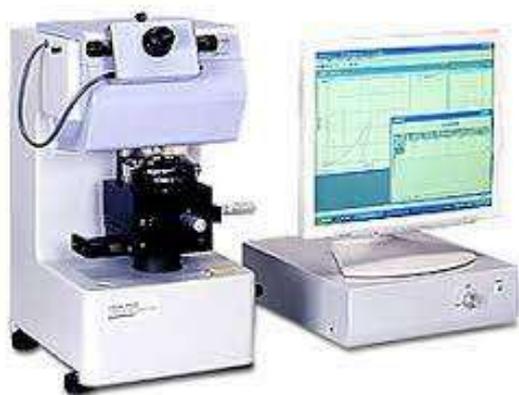
Сухие нанопорошки были уплотнены в требуемой форме с равномерной плотностью с помощью пресс-формы с ультразвуковым волноводом (рис. 4) и коллекторного пресса (рис. 5).



4-й рисунок. Устройство микротвердомера ПМТ-3.



5-й рисунок. Комплектующий пресс.



6-й рисунок. Ультра-микротвердомер DIN-211S устройство.

Твердость керамических материалов измерялась с помощью микротвердомера ПМТ-3М с CCD-телекамерой, пикометра (разработанного в США), а также ультра-микротвердомера (ДИН-211S, произведенного в Японии) (рис. 6). Висмутсодержащие керамические материалы обжигались в крупных солнечных печах в двух разных точках мира: во Франции, где поперечное сечение потока света в печи составляет 50 см, и в Паркенте, где этот показатель достигает 98 см. Температура обжига может достигать 2000 °С. Керамические материалы на основе иттрия и висмута (ПЭМ) были исследованы с помощью просвечивающей электронной микроскопии (рис. 7) и атомно-силовой микроскопии (рис. 8) для анализа электрической структуры поверхности [5,6].



7-й рисунок. Освещённая электронная микроскопия.

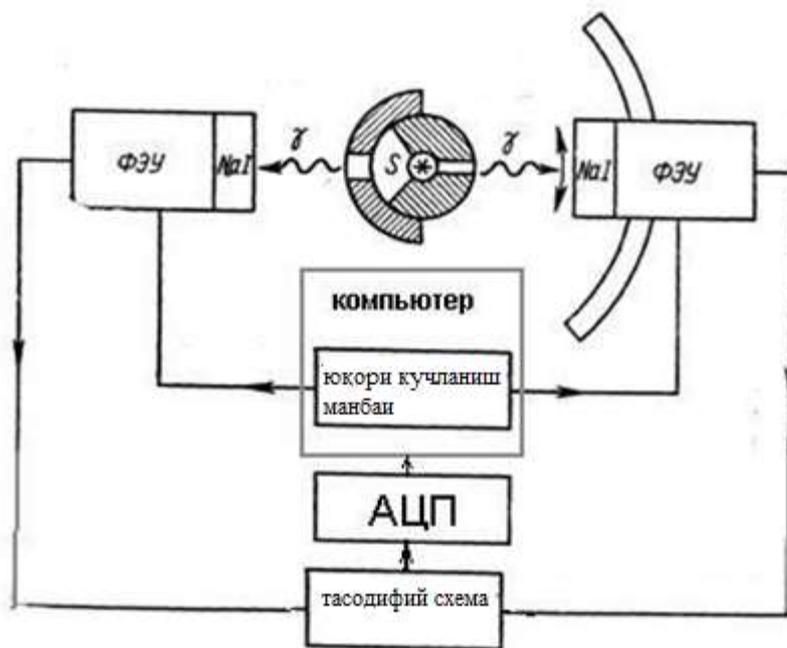


8-й рисунок. Атомно-силовая микроскопия (АСМ).



В целях научного изучения керамических материалов были синтезированы образцы иттриевого сверхпроводника $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ с использованием различных методов. Электронная структура и электрофизические свойства образцов, полученных разными способами, были исследованы с применением современных методик. Полученные результаты научных исследований были проанализированы методом сравнения.

Первая серия образцов $Y_2O_3BaO_2 - Cu$ представляет собой сверхпроводящий порошок ($T_c = 91$ К), полученный методом синтеза в кислородном потоке при высокой температуре (СВС) и уплотненный под давлением $6,2$ Н/см². Вторая серия включает аналогичные образцы, для которых эксперименты по измерению УРАФ-кривых проводились в комнатных условиях, а некоторые спектры – в температурном диапазоне $77...300$ К. Третья серия образцов была подготовлена на основе нитратной технологии ($T_c = 85$ К) и уплотнена под давлением 3 Н/см². Четвертая серия образцов была изготовлена методом уплотнения порошков меди, иттрия и бария (ТУ 48-0531-375-97) под давлением $6,4$ Н/см². Образцы пятой серии были подготовлены путем облучения ускоренным пучком электронов высокой точности, основанным на электронном потоке (СЭП), с использованием ускорителя «ТОНУС» в Томском политехническом университете. Энергия данного ускорителя составляет $1,3$ МэВ, плотность тока — $j = 1,2$ кА/см², а длительность импульса — $\tau = 50$ нс. Кривые УРАФ измерялись на установке, где в качестве источника позитронов использовался NaI с активностью 7 мК, а погрешность разделения кривых составляла 1 мрад. Температурные измерения проводились в вакууме в диапазоне $77...300$ К в аннигиляционной камере, адаптированной для таких исследований. Это позволило измерять сверхпроводящие керамические материалы в критическом диапазоне температур T_c , близком к комнатной температуре. Каждый спектр измерялся в течение $16-18$ часов. Среднее значение интенсивности УРАФ-спектров составило $(1,5...6) \cdot 10^6$. Все кривые УРАФ были зафиксированы с использованием горизонтального шилли-аннигиляционного устройства для спектральной визуализации (рисунок 9).



9- й рисунок. Устройство аннигиляции с горизонтальной геометрией.

Блок-схема состоит из следующих элементов: 1. Источник постоянного тока. 2. Магазин сопротивлений. 3. Устройство для измерения разности электрических потенциалов. 4. Устройство для автоматического определения полярности по силе тока. 5. Измерительная камера. 6. Четырехконтактный зонд. 7. Устройство для размещения образцов. 8. Термопара. 9. Устройство, адаптированное для измерения напряжения термопары. 10. Нагреватель. 11. Источник напряжения, адаптированный для нагрева сопротивления.

В целях изучения вакансионных и дислокационных дефектов в сверхпроводящих керамических материалах в соответствии с современными требованиями были исследованы спектры времени жизни позитронов в иттрийсодержащих образцах. Исследование проводилось совместно с учеными Хельсинкского технологического университета (Финляндия) и профессором Хаутияром. Установлено, что спектры времени жизни позитронов, аналогично спектру углового распределения аннигилировавших позитронов, разделяются на два компонента. Времена жизни позитронов составляют: $\tau_1 = 150$ пс, $\tau_2 = 450$ пс. Для эксперимента использовался гелиевый криостат, позволяющий изменять температуру в диапазоне 10 К до 300 К. Стабильность температуры составляла не менее 0,5 К [7,8].

В заключение можно сказать, что рассмотренные выше нанокерамические материалы могут использоваться для модернизации кабелей, датчиков, микросхем, а также деталей машиностроения, применяемых в средствах связи.

С помощью современных высокоточных multifunctional приборов был проведен комплексный научный анализ, в результате которого установлено, что спектр кривой состоит из двух распределений Гаусса – G_1 и G_2 . Однако, на



самом деле, большая часть кривой УРАФ (анализируемых материалов, включая металл и его сплавы) формируется за счет поверхностных электронов и представляет собой параболу, тогда как меньшая часть состоит из спектра Гаусса.

Использованная литература:

1. Khasanov, O.L. Investigation of the $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ and $(Bi,Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10-x}$ structural instabilities by the ultrasound acoustic and positron diagnostics / O.L. Khasanov, V.V. Belomestnykh, N.A. Makhmudov // Registration materials, 2017. - В. 25-36.
2. Belousov, O.K. On the Superconductivity Mechanism in Yttrium Ceramic Used as an Example. Кириш режими: <https://doi.org/10.1134/S0036029518090045>. Мурожаат санаси - 23.04.2023.
3. Махмудов, Н.А. Анализ точечных дефектов в иттриевых сверхпроводящих керамиках, изготовленных различными методами / Н.А. Махмудов // Таълим сифати самарадорлигини оширишда халқаро тажрибадан фойдаланиш: муаммо ва ечимлар. – Чирчик, 2021. - В. 85-86.
4. Махмудов, Н.А. Анализ результатов изготовления различными методами сверхпроводящей иттриевой керамики. Кириш режими: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11995>. Мурожаат санаси - 23.04.2023.
5. Эшкувватов Ш.Н. Аннигиляция позитронов в иттрийских сверхпроводящих керамиках, изготовленных различными методами / Ш.Н. Эшкувватов, Н.А. Махмудов, Ж.З. Улашов // Использование международного опыта в повышении эффективности качества образования: проблемы и решения. – Чирчик, 2021. – С. 608–613.
6. Eshkuvvatov, Sh.N. Double implantation of gas and metal ions in TiNi. / Sh.N. Eshkuvvatov, N.A. Makhmudov // The International Conference “Modern Problems of Nuclear Energetics and Nuclear Technologies”. - Т., 2021. – В. 186-188.
7. Eshkuvvatov, Sh.N. Annihilation of positrons in yttrium Superconducting ceramics made by various methods. / Sh.N. Eshkuvvatov, N.A. Makhmudov // The International Conference “Modern Problems of Nuclear Energetics and Nuclear Technologies”. Т. 2021. – В. 188-189.
8. Eshkuvvatov, Sh.N., Анализ методов изготовления и свойств высокотемпературной сверхпроводящей керамики на основе иттриевых образцов / Sh.N. Eshkuvvatov, N.A. Makhmudov, R.K. Turniyazov, I.N. Makhmudov // Respublika janubida elektr energetika sohasining rivojlanish istiqbollari mavzusidagi xalqaro ilmiy – texnik anjuman. – Termiz, 2022. – В. 42-47.