

## **Исследование нанодисперсного объемного материала $YBa_xCu_yO_z$ , полученного с помощью искрового плазменного спекания**

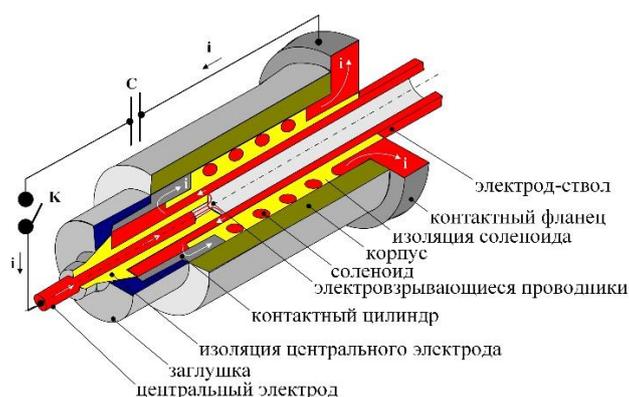
Циммерман Александр Игоревич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

На сегодняшний день сверхпроводящие материалы, ввиду своих свойств, являются наиболее перспективными в области электроэнергетики и способны передавать электроэнергию без потерь. Используют такие материалы, например, в транспортах на магнитных подушках, в сверхпроводящих обмотках, а также в генераторах и линиях электропередач [1, 2].

В настоящее время известны несколько групп материалов высокотемпературных сверхпроводников. Однако соединения на основе купратов обладают достаточно большим значением температуры ( $T \approx 95$  К) перехода в сверхпроводящее состояние [3], а также такие соединения наиболее просты в получении и дальнейшем использовании.

Существующие методы получения материалов на основе купратов имеют как преимущества, так и недостатки. Недостатками являются издержки, неудовлетворительная дисперсность порошкообразного продукта, а также сложность получения. В НИ ТПУ разработан метод прямого плазмодинамического синтеза. Известно, что этот метод лишен этих недостатков и может рассматриваться в качестве альтернативного для получения нанодисперсных иттрий-бариевых купратов. Данный метод основан на использовании коаксиального магнитоплазменного ускорителя, схема которого представлена на рисунке 1. Преимуществами данного метода является быстрдействие, простота получения и экологичность технологии [4]. Таким образом, главной целью исследования было получение объемного образца иттрий-бариевых купратов.



*Рисунок 1. Схема КМПУ*

Синтез купратов осуществлялся за счет плазмохимической реакции, протекающей в рабочей камере-реакторе. Основные твердые прекурсоры (оксид иттрия, углекислый барий и медь) закладывались в канал формирования плазменной структуры, а газообразный прекурсор (кислород) закачивался в предварительно вакуумированную камеру-реактор. В результате протекания плазмохимической реакции был синтезирован продукт, сбор которого осуществлялся со стенок камеры-реактора после ее вскрытия.

С целью проведения дальнейших исследований полученный продукт был спечен в объемный образец с помощью установки искрового плазменного спекания. Образец помещался в графитовую пресс-форму и спекался под давлением 60 МПа со скоростью 50°С/сек в атмосфере аргона. С целью насыщения полученного керамического образца кислородом он отжигался в атмосферной печи при  $T = 950^{\circ}\text{C}$  с выдержкой этой температуры 3 часа и с постоянной подачей кислорода на образец. В результате был получен объемный материал.

На рисунке 2 представлена типичная рентгеновская дифрактограмма полученного объемного материала, фазовый анализ которого проведен с помощью программы Search-Match и базы структурных данных PDF 2. В результате расшифровки были идентифицированы следующие фазы:  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,96}$  (79-882),  $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$  (84-2454) и  $\text{CuO}$  (80-1916). Выделяется наиболее интенсивный максимум с 38 до 39 градусов. При увеличении

отчетливо видно разделение максимума на 2 пика. Которые относятся к иттрий-бариевому купрату и оксиду меди.

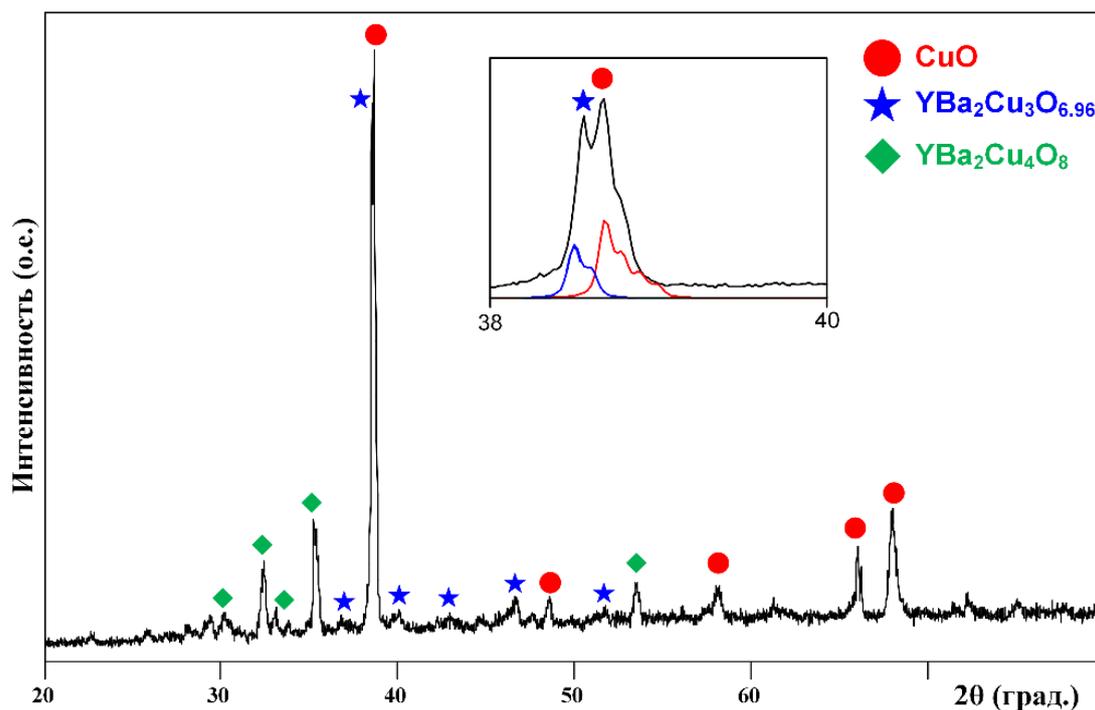


Рисунок 2. Типичная рентгеновская дифрактограмма объемного материала

На рисунке 3 представлен EDS анализ объемного материала, в частности: выделенного слоя (рисунок 3а) и области (рисунок 3б). По литературным данным, такая слоистая структура является сверхпроводящей. Элементный анализ подтверждает наличие меди, кислорода, иттрия и бария. Атомные проценты определяют следующую стехиометрию для слоя – YBa<sub>2.3</sub>Cu<sub>3.4</sub>O<sub>8</sub>, для области – YBa<sub>2.4</sub>Cu<sub>3.5</sub>O<sub>15</sub>. Полученные коэффициенты композитов близки к тем, которые были идентифицированы по рентгеновской дифрактограмме. Стоит отметить, что известна инструментальная ошибка приставки такого прибора при работе с органическими соединениями, что может вызывать некоторую погрешность в определении процентного содержания элементов, в частности – кислорода.

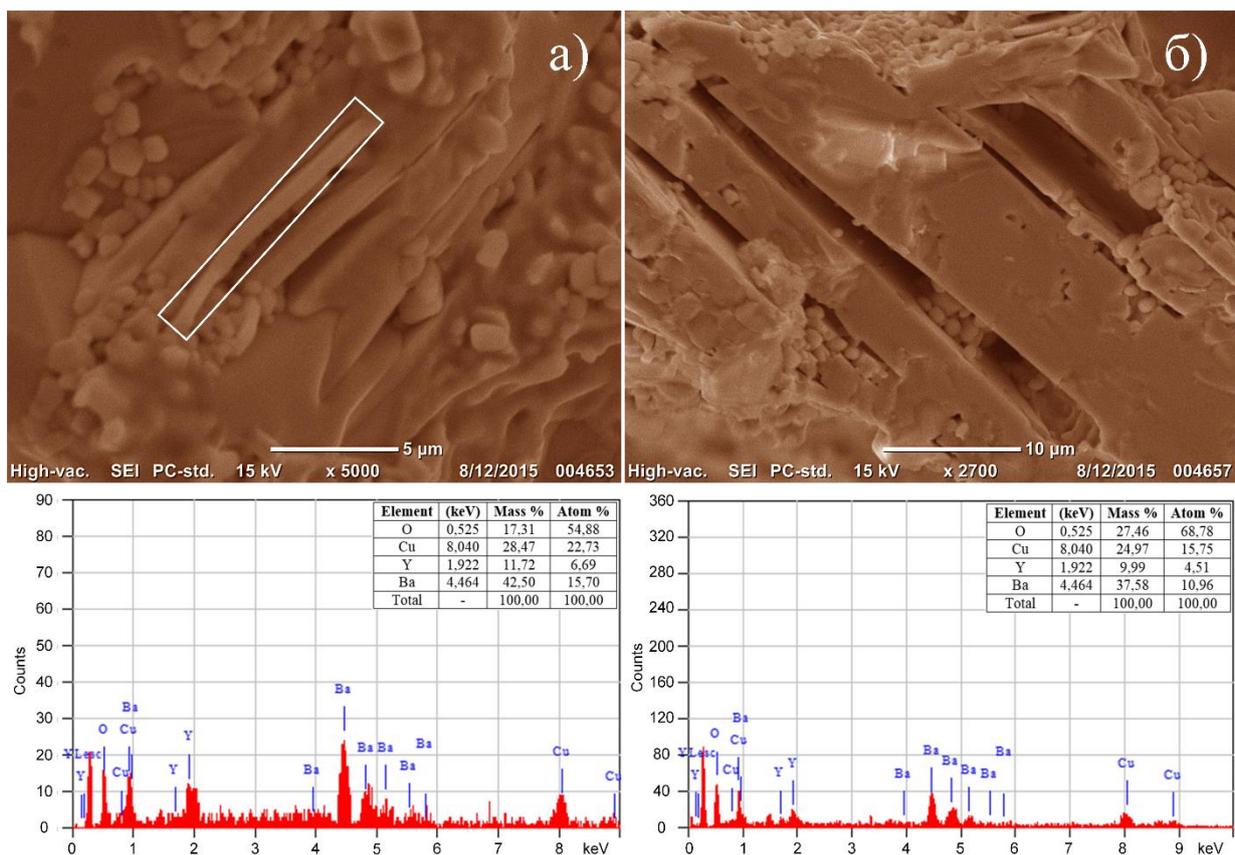


Рисунок 3. EDS Керамики а) для выделенного слоя  $YBa_{2.3}Cu_{3.4}O_8$ , б) для области  $YBa_{2.4}Cu_{3.5}O_{15}$

В работе была экспериментально показана возможность получения наноразмерных порошкообразных иттрий-бариевых купратов в системе, основанной на использовании КМПУ. Из полученного порошка методом искрового плазменного спекания был изготовлен объемный иттрий-бариевый купрат. В результате проведенных анализов выявлено наличие сверхпроводящих слоев в объемном образце. В дальнейшем будут проведены опыты для подтверждения сверхпроводящих свойств полученного материала.

### Литература:

1. Seki, H., Wongsatanawarid, A., Kobayashi, S., Ikeda, Y., Murakami, M. (2010). Effects of binder addition on the mechanical properties of bulk Y–Ba–Cu–O superconductors. *Physica C*, no. 470, pp. 1177–1180.

2. Namburi, D. K., Shi, Y., Palmer, K. G., Dennis, A. R., Durrell, J. H., Cardwell, D. A. (2016). An improved top seeded infiltration growth method for the fabrication of Y–Ba–Cu–O bulk superconductors. *Journal of the European Ceramic Society*, no. 36, pp. 615–624.
3. Noudem, J. G., Reddy, E. S., Tarka, M., Goodilin, E. A., Noe, M., Zeisberger, M., Schmitz, G. J. (2002). Electrical performance of single domain  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  fabric. *Physica C*, no. 366, pp. 93–101.
4. Пат. 137443 РФ. МПК7 H05H 11/00. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / А.А Сивков, А.С. Сайгаш, Ю.Л. Колганова. Заявлено 24.09.2013; Опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4. – 6 с.