

**О ВОЗМОЖНОСТИ СИНТЕЗА ИТРИЙ-БАРИЕВЫХ КУПРАТОВ В ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ  
ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕ**

А.И. Циммерман, Ю.Л. Шаненкова, М.И. Гуков

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.А. Сивков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [alexsimmer@yandex.ru](mailto:alexsimmer@yandex.ru)

**ON POSSIBILITY OF SYNTHESIS OF YTTRIUM-BARIUM CUPRATES IN ELECTRO  
DISCHARGE PLASMA JET**

A.I. Tsimmerman, Yu.L. Shanenkova, M.I. Gukov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.A. Sivkov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [alexsimmer@yandex.ru](mailto:alexsimmer@yandex.ru)

***Abstract.** In this paper, the possibility is shown to synthesize yttrium-barium cuprates using a high-speed electro discharge plasma jet. The synthesized products were characterized by X-Ray diffractometry, scanning electron microscopy and transmission electron microscopy.*

Высокотемпературные сверхпроводники находят широкое применение в различных областях науки и техники. Например, их используют в сверхпроводящих обмотках, в системах сверхпроводящих маховиков и в поездах на магнитных подушках [1]. Также применение высокотемпературных сверхпроводников потенциально полезно в двигателях и генераторах [2]. Соединение элементов иттрия, бария, меди и кислорода на данный момент являются наиболее перспективными материалами в области сверхпроводников, так как имеют высокое значение критической температуры перехода в сверхпроводящее состояние вплоть до 90 К [3].

Основным методом получения иттрий-бариевых купратов на сегодняшний день является отжиг смеси оксида иттрия, углекислого бария и оксида меди в атмосферной печи. Данный способ отличается большими временными издержками.

В данной работе рассматривается новый метод получения нанодисперсного иттрий-бариевого купрата. В основе предложенного метода лежит использование импульсного коаксиального магнитоплазменного ускорителя с медными электродами. Преимуществами данного метода являются: быстроедействие, простота получения и экологичность технологии [4].

В исходном состоянии в канал формирования плазменной структуры закладываются следующие прекурсоры: оксид иттрия, углекислый барий и медь в необходимом соотношении. Иницированием загорания дугового плазменного разряда осуществляется при помощи электровзрывающихся медных проводников. Получаемая многокомпонентная плазма истекает в пространство рабочей камеры, заполненной кислородом. В результате плазмохимической реакции синтезируется нанопорошок, сбор которого осуществляется через час после окончания рабочего цикла, продолжительность которого составляет ~500 мкс.

Анализ синтезированного порошка осуществлялся с помощью рентгеновской дифрактометрии (Shimadzu XRD7000), сканирующей электронной микроскопии (Magellan 400) с приставкой энергодисперсионного анализа и просвечивающей электронной микроскопии (Jeol JEM 2200F).

На рисунке 1 представлена рентгеновская дифрактограмма полученного образца. Фазовый анализ продукта проведен с помощью программы Search-Match и базы структурных данных PDF 2. В результате расшифровки были идентифицированы следующие фазы:  $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$  (80-1459),  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,5}$  (48-891),  $\text{BaCO}_3$  (78-2057),  $\text{CuO}$  (80-1917), а также  $\text{Y}_2\text{O}_3$  (20-1412). Наиболее интенсивные максимумы, присутствующие на дифрактограмме, являются отражениями от фаз  $\text{CuO}$  и  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,5}$ , что свидетельствует об их доминирующем присутствии в продукте.

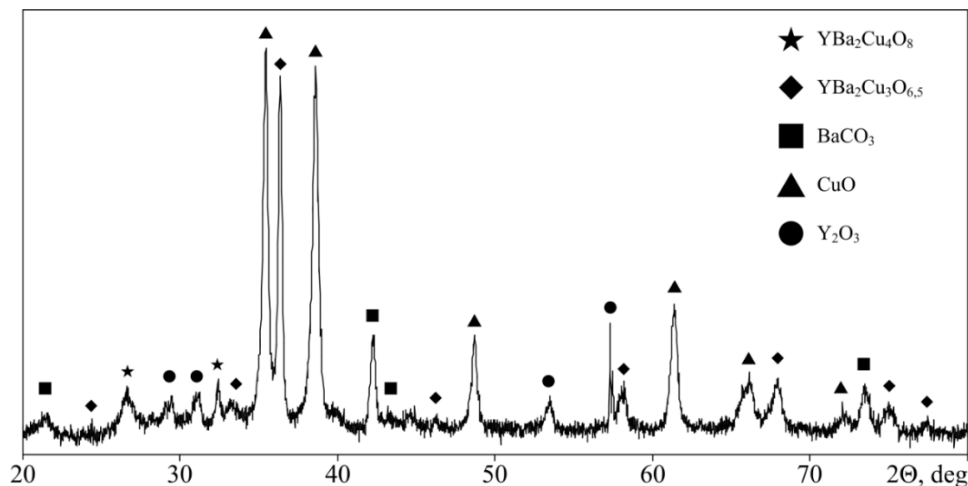


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма синтезированного материала

Результаты рентгеноструктурного анализа полученного материала подтверждаются данными просвечивающей электронной микроскопии. На рисунке 2 представлены светлопольные рисунки при разных увеличениях ( $\times 80\text{k}$  и  $\times 600\text{k}$ ), а также дифракционная картина синтезированного продукта. Как видно, размер частиц данного продукта не превышает 150 нм. Большинство частиц-кристаллитов имеют шарообразную форму. Электронная дифракция с выделенной области (SAED) в большинстве своем имеет точечно-кольцевой характер. Расшифровка ее результатов позволяет подтвердить синтез указанных выше фаз. Наиболее яркие отражения точечных рефлексов, которые хорошо заметны на SAED-картине относятся к фазам  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,5}$ ,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$  и  $\text{CuO}$ .

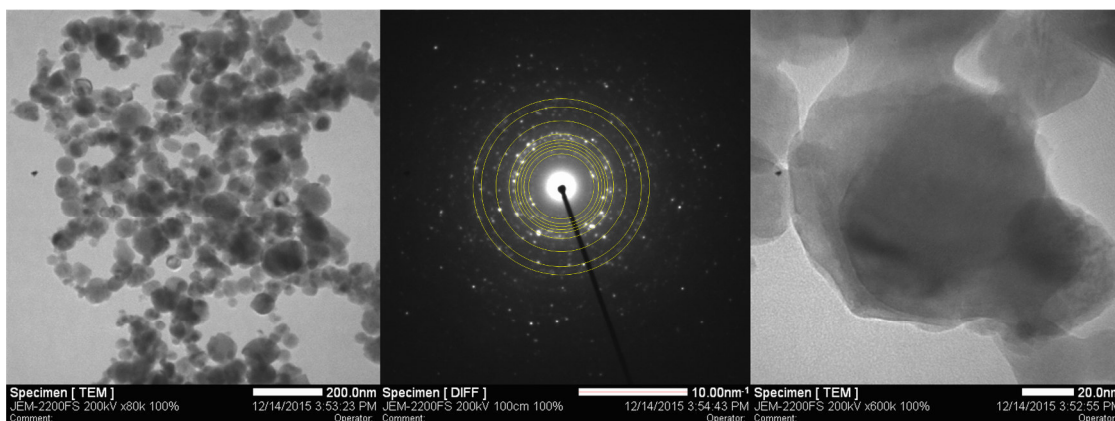


Рис. 2. ТЕМ-снимки синтезированного материала

На рисунке 3 представлены SEM-снимки полученного образца. Из рисунков 3а и 3б видно, что полученный порошок является наноразмерным. Максимальный размер частиц составляет ~140 нм, средний размер частиц варьируется в диапазоне 70–75 нм. Также с полученного порошка снят EDS в области, указанной на рисунке 3в. Результат EDS, представленный на рисунке 3г, подтверждает наличие всех ранее перечисленных химических элементов в данном образце.

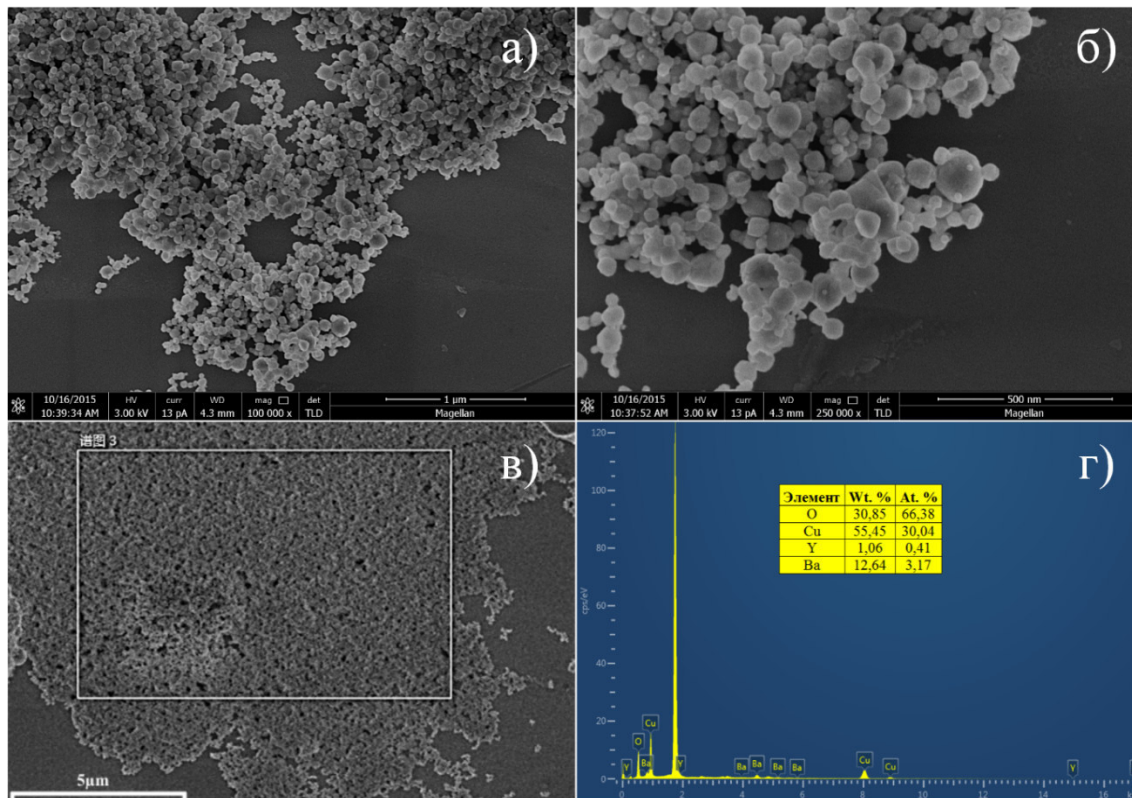


Рис. 3. а–б) SEM-снимки синтезированного материала; в–г) EDS анализ

В работе была экспериментально показана возможность синтеза нанодисперсных иттрий-бариевых купратов в системе, основанной на использовании импульсного коаксиального магнитоплазменного ускорителя с медными электродами. Проведенные анализы позволили доказать, что полученный продукт содержит фазы иттрий-бариевых купратов. Размеры частиц полученного материала свидетельствуют об его нанодисперсности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> 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.