

**Оптимизация технологии приготовления феррита висмута – перспективного материала “зеленой энергетики”**

**Научный руководитель – Хасбулатов Сидек Вахаевич**

**Абдулмуслимова Селима Анзоровна**

*Студент (бакалавр)*

Чеченский государственный университет, Грозный, Россия

*E-mail: jasm27122001@mail.ru*

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ФЕРРИТА ВИСМУТА – ПЕРСПЕКТИВНОГО МАТЕРИАЛА “ЗЕЛеной ЭНЕРГЕТИКИ”**

*Абдулмуслимова С.А*

*Хасбулатов С.В*

*Студент*

*Кандидат физико-математических наук, доцент*

*Чеченский государственный университет*

*Физико-математический факультет, Грозный, Россия*

*E-mail: <mailto:jasm27122001@mail.ru>*

Целью исследования является оптимизация технологии изготовления  $\text{BiFeO}_3$  в виде керамики, перспективная для применений в «зеленой энергетике», в том числе в солнечно-водородной с участием возобновляемых источников энергии.

Методы приготовления и исследования образцов.

Использован двухстадийный твердофазный синтез с последующим спеканием по обычной керамической технологии (ОКТ). Рентгенографически (дифрактометр ДРОН-3, - излучение, схема фокусировки по Брэггу-Брентано) контролировалась внутренняя структура образцов микроструктурным анализом.

Механоактивация (МА) синтезированных порошков проводилась в шаровой планетарной мельнице АГО-2, помол производился в течение 15 мин., частота вращения барабана составляла 1800 об/мин.

Спекание с закалкой проводилось следующим образом: образец нагревали в печи до температуры спекания ( $T_{\text{сп.}}$ ) и выдерживали при этой температуре в течение 15 мин. Далее образец доставали из печи и охлаждали на воздухе. Спекание синтезированных образцов проводили при температуре  $T_{\text{сп.}} = 850$  °С несколькими способами: по ОКТ и с применением МА и закалки. Рентгенограммы керамик после спекания, приготовленных по ОКТ и с помощью МА. Анализ рентгенограмм показал, что использование метода МА снижает содержание примесных фаз  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{40}$  и  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ . После спекания по ОКТ в образцах  $\text{BiFeO}_3$  все еще присутствует небольшое количество балластных фаз. Наименьшее количество примесных фаз (9%  $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{40}$  и 6%  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ ) образовывалось при спекании с закалкой, но плотность при этом способе спекания оказалась самой низкой.

В качестве модификаторов были выбраны редкоземельные элементы (РЗЭ) всего ряда лантаноидов. Твердые растворы (ТР) состава  $\text{Bi}_{1-x}\text{A}_x\text{FeO}_3$  (где  $\text{A} = \text{La}, \text{Nd}, \text{Pr}, \text{Gd}, \text{Sm}, \text{Eu}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Yb}, \text{Lu}$ ) были синтезированы при  $T_1 = (800-890)$  С, 10 час.;  $T_2 = (820-910)$  С, 6-10 час. в зависимости от состава. С повышением содержания РЗЭ

наблюдалось повышение температур синтеза. Добавление к ферриту висмута РЗЭ позволяет значительно повысить плотность получаемых керамик, но при увеличении атомного номера РЗЭ отмечается тенденция к снижению  $\rho_{\text{отн.}}$  керамик.

Микроструктуры немодифицированного феррита висмута можно выделить более крупные светлые зёрна ( $\sim 10$  мкм) основной фазы и мелкие серые зёрна ( $\sim 4$  мкм) - примесной фазы. При легировании лантаном количество примесной фазы значительно уменьшается. Эта тенденция сохраняется до середины ряда лантаноидов, а затем, по мере уменьшения ионных радиусов РЗЭ, количество примесных фаз снова увеличивается. Накопление примесных фаз приводит к разрыхлению микроструктуры, утолщению границ кристаллитов, деформации границ зёрен основной фазы, что согласуется с полученными значениями плотностей [2].

Оптимальным способом приготовления феррита висмута в керамическом исполнении является легирование его РЗЭ из ряда  $\text{La} \rightarrow \text{Eu}$ , которое позволяет стабилизировать перовскитную структуру  $\text{BiFeO}_3$ , значительно уменьшить в нем количество примесных фаз и получить высокоплотные образцы. Это определяет вектор его использования в “зеленой энергетике”, прежде всего не в традиционной (топливной), а в альтернативной (солнечно-водородной) с участием возобновляемых источников энергии.

### Литература

1. Хасбулатов С.В., Павелко А.А., Гаджиев Г.Г., Шилкина Л.А., Резниченко Л.А., Бакмаев А.Г., Алешин В.А., Омаров З.М. Фазовые переходы, теплофизические свойства и диэлектрическая спектроскопия феррита висмута с малоразмерными РЗЭ // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 20. <http://elibrary.ru/item.asp?id=target=>.
2. Абубакаров А.Г., Павелко А.А., Хасбулатов С.В., Резниченко Л.А. Высокотемпературные сегнетомагнетики на основе феррита висмута: история, исследования, современность. // Конструкции из композиционных материалов. 2018. №3.
3. Шилкина Л.А., Хасбулатов С.В., Садыков Х.А., Павелко А.А., Болдырев Н.А., Дудкина С.И., Резниченко Л.А. Особенности структуры композиционных BST-керамик. (На основе рентгенографических исследований) // Конструкции из композиционных материалов. 2016. № 4. С. 67-72. [https://elibrary.ru/item.asp?id=<span style="](https://elibrary.ru/item.asp?id=<span style=)
4. Khasbulatov S.V., Pavelko A.A., Reznichenko L.A., Shilkina L.A., Omarov Z.M., Aleshin V.A.. The Phase Composition, Grain Structure, Dielectric Spectra And The Heat Capacity Of  $\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{FeO}_3$  Solid Solutions. (Chapter 40, P. 279-286) // Monograph. «Physics, Mechanics of New Materials and Their Applications». New York: Nova Science Publishers. 2017. [https://www.novapublishers.com/catalog/product\\_info.php?products\\_id=61270](https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=61270)