

В области значений потребляемой мощности 150–200 мВт наблюдаются более высокие выходные сигналы для сенсоров, у которых чувствительный элемент изготовлен из оксидной композиции, полученной с ультразвуковым воздействием. При этом при потребляемой мощности 200 мВт увеличение выходного сигнала превысило 20 %.

Выходной сигнал сенсоров может увеличиваться за счет усиления структурного разупорядочения оксидной композиции при ультразвуковом воздействии, а также за счет возрастания удельной поверхности в результате снижения размеров кристаллитов и изменения морфологии частиц. По данным рентгенофазового анализа, при термической обработке ксерогеля, полученного из совмещённых золь гидроксидов индия и галлия, в интервале 300–600 °С (2 ч) образуется твёрдый раствор $(\text{Ga},\text{In})_2\text{O}_3$ на основе кубической структуры оксида индия $\text{C-In}_2\text{O}_3$. Образцы композиции $\text{In}_2\text{O}_3\text{-Ga}_2\text{O}_3$ (отжиг 300 °С, 2 ч), полученные в сопровождении ультразвукового воздействия, имели размеры областей когерентного рассеяния, значения которых принято отождествлять с физическими размерами кристаллитов, ОКР = 12 нм, а в отсутствие ультразвукового воздействия – ОКР = 20 нм (параметр кристаллической решётки составил в обоих случаях $a=10,12 \text{ \AA} \pm 0,04$).

Ультразвуковой синтез оксидов вольфрама (WO_3) и индия (In_2O_3), а также твёрдого раствора $(\text{Ga},\text{In})_2\text{O}_3$, является эффективным способом получения нанодисперсных поликристаллических материалов.

Ультразвуковое сопровождение в процессе золь-гель синтеза позволяет получить материалы с большей удельной поверхностью и меньшим эквивалентным диаметром частиц, что изменяет ширину запрещённой зоны и энергию активации проводимости. Такие изменения приводят к росту газовой чувствительности и снижению рабочей температуры датчиков.

Литература

1. Malchenko, S.N. One-electrode semiconductor sensors for detection of toxic and explosive gases in air / S.N. Malchenko, I.N. Lychkovsky, M.V. Baykov // Sens. and Actuators B. Chem. – 1992. – Vol. 7. – Issue 1–3. – P. 505–506.
2. Korotchenkov, G. Practical aspects in design of one-electrode semiconductor gas sensors: Status report / G. Korotchenkov // Sens. and Actuators B. Chem. – 2007. – Vol. 121. – P. 664–678.
3. Гайдук, Ю.С. Полупроводниковые датчики диоксида азота на основе композиции $\text{In}_2\text{O}_3\text{-Ga}_2\text{O}_3\text{-WO}_3$ / Ю.С. Гайдук, А.А. Савицкий, В.А. Ломоносов // Известия НАНБ. Серия хим. наук, 2018. – Т. 54, № 2. – С. 146–153.

УДК 535.317

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ПРОЦЕСС СИНТЕЗА ОРТОФЕРРИТА ВИСМУТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ

Головач Р.В.¹, Дятлова Е.М.¹, Сергиевич О.А.¹, Шеченок А.А.², Шамкалович В.И.³

¹ Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

² Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»

³ Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Потребность в нанокompозитных материалах обусловлена необходимостью разработки новых методов получения интеллектуальных функциональных наноматериалов для приборов автоматики, сенсоров и других устройств микроэлектроники. Важнейшими требованиями к подобным материалам являются высокие эксплуатационные характеристики, простота и надежность синтеза и использования, универсальность, позволяющая как сочетать данные материалы с различными видами подложек, так и возможность использовать их как индивидуальное изделие, а также экономичность и низкое энергопотребление. В этой связи большое внимание уделяется разработке новых видов керамических наноматериалов, а именно макропористых композитов, отвечающих всем заявленным требованиям [1].

На основании вышеизложенного сформировалось основное направление исследований и цель работы, заключающаяся в разработке состава

и технологических параметров синтеза сегнетокерамических наноматериалов и получение функциональных покрытий, в т. ч. нанокompозитов для интегрированных исполнительных элементов приборов и устройств автоматики.

Синтез модифицированного ортоферрита висмута проводился двумя методами: высокотемпературным спеканием порошков и химическим, обеспечивающим экзотермическую реакцию в растворах компонентов. В качестве исходных материалов для синтеза ортоферрита висмута традиционным методом спекания использовались оксиды Bi_2O_3 , Fe_2O_3 , в качестве модифицирующих добавок – La_2O_3 , Ce_2O_3 и Co_3O_4 , которые вводились в количестве 0,1–0,2 мол. долей. В зависимости от вида добавки образцы обжигались при температурах 800–925 °С.

По второму способу получение мультиферроиков проводилось с использованием энер-

гоэффективного нитрат-цитратного метода синтеза, который включает приготовление водного раствора, содержащего нитраты металлов и лимонную кислоту, и термическую обработку этого раствора. При нагревании до 60 °С раствор трансформируется в гель, при 95 °С происходит разложение нитрат-цитратного раствора. Полученные порошки прокаливались при 450 °С и измельчались. Отпрессованные и высушенные образцы подвергались повторному спеканию при 800 °С со скоростью подъема температуры 10 °С/мин с выдержкой при максимальной температуре в течение 30 мин.

На первом этапе было исследовано влияние модифицирующих добавок при синтезе ортоферрита висмута. Зависимость среднего значения водопоглощения опытных образцов от количества модификатора, обожженных при температурах 850 и 900 °С приведена на рисунке 1.

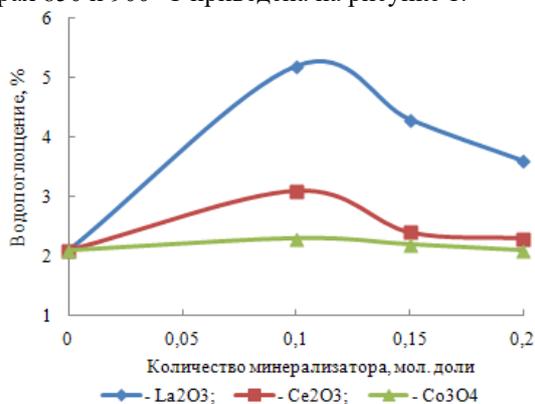


Рисунок 1 – Зависимость водопоглощения образцов с различным содержанием модификатора, обожженных при температуре 900 °С (с La₂O₃ и Ce₂O₃) и 850 °С (с Co₃O₄)

Как видно из рисунка 1, водопоглощение образцов с минерализатором в количестве 0,1 мол. доли возрастает, а далее при повышении до 0,2 мол. доли уменьшается, что связано с их активизирующим действием, при этом минимальным водопоглощением (1,94 %) обладают образцы с добавкой Ce₂O₃.

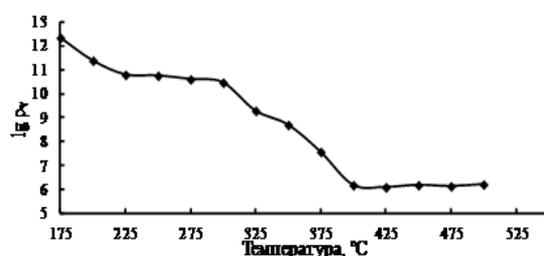


Рисунок 2 – Логарифмическая зависимость удельного сопротивления образца с добавкой Ce₂O₃ (0,2 мол. доли) от температуры измерения

Электрическая проводимость является одной из важнейших характеристик синтезируемых материалов. Сопротивление полупроводников с

ростом температуры уменьшается, проводимость увеличивается по причине того, что с ростом температуры в полупроводнике увеличивается число свободных электронов и «дырок» [2]. Графическая зависимость удельного объемного электрического сопротивления образца с оптимальной церийсодержащей добавкой от температуры измерения показана на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, удельное объемное электрическое сопротивление для исследуемых образцов равномерно уменьшается с увеличением температуры, что обусловлено зависимостью электропроводимости материала от концентрации носителей заряда, их величины и подвижности. Исследуемые материалы имеют ионы в узлах кристаллической решетки с невысокой подвижностью (отсутствуют ионы щелочных металлов). С ростом температуры увеличивается амплитуда и частота колебаний ионов в узлах кристаллической решетки, в результате чего повышается электропроводимость материала. Для обычных диэлектриков лагарифмическая зависимость электросопротивления линейная, однако, для сегнетоэлектрических материалов на кривых имеются перегибы, что обусловлено трансформацией их структур.

При синтезе ортоферрита висмута нитрат-цитратным методом в результате экзотермических реакций образуются нано- и микродисперсные частицы, которые однако образуют между собой более или менее прочные агрегаты. Для диспергации агрегатов были использованы прокаливание проб, растирание ручное и механическое в агатовой ступке и планетарной мельнице. Для исследования дисперсности синтезированных материалов использовался метод лазерной гранулометрии (рисунок 3).

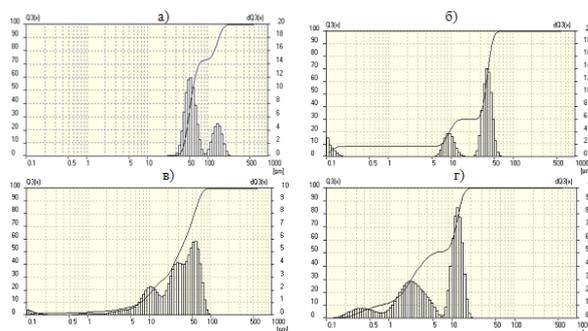


Рисунок 3 – Дифференциальная и интегральная кривые распределения частиц по размерам синтезированного ортоферрита висмута (а), подвергнутого прокаливанию (б), с первичной диспергацией и растиранием в агатовой ступке (в), подвергнутого прокаливанию и помолу в планетарной мельнице (г)

На основании данных рисунка 3 видно, что агрегаты синтезированного материала имеют размеры от 30 до 250 мкм. Прокаливание приводит к распаду агрегатов и выделению частиц

в нанодисперсном диапазоне (менее 0,15 мкм): значительно уменьшается максимальный размер частиц (менее 150 мкм), и агрегаты представлены в основном тремя фракциями. Растирание в агатовой ступке приводит к изменению дифференциальной кривой распределения и увеличению количества частиц с размером от 10 до 50 мкм. Более эффективна диспергация агрегатов в планетарной мельнице: максимальный размер частиц не превышает 10 мкм, значительно увеличивается содержание частиц менее 5 мкм и нанодисперсного диапазона.

Установлены закономерности изменения свойств синтезированных образцов в зависимости от вида и количества модификаторов. Синтезированы и исследованы керамические материалы на основе феррита висмута с использованием модифицирующей добавки Ce_2O_3 в количестве 0,1 мол. доли методами традиционного спекания и химическим синтезом. Получены функциональные керамические покрытия на микропористых подложках с использованием различных вариантов подготовки исходной керамической субстанции необходимого микро- и нанодисперсного диапазона.

При разных методах их нанесения разработанные материалы могут использоваться для изготовления различных компонентов электронной техники [3], в т. ч. для функциональных покрытий микропористых структур, используемых для изготовления средств автоматизации и автоматики.

Литература

1. Макоед, И.И. Получение и физические свойства мультиферроиков: монография / И.И. Макоед; Брест. гос. ун-т имени А.С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2009. – 181 с.
2. Бабич, В.М. Технология производства ферритов и радиокерамики: учеб. пособие для вузов / В.М. Бабич. – М. : Высшая школа, 1984. – 223 с.
3. Магнитная керамика на основе модифицированного феррита висмута / Р.В. Головач, О.А. Сергиевич, Ю.С. Шинелько, Е.М. Дятлова // 71-я Всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: сб. материалов конф., Ярославль, 18 апр. 2018 г. в 3 ч. [Электр. ресурс]. – Ярославль : Издат. дом ЯГТУ, 2018. – Ч. 1. – С. 100–103.

УДК 539.2:669.(1-8)

МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ ОЛОВО–СВИНЕЦ, ПОЛУЧЕННОГО ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ЗАТВЕРДЕВАНИЕМ

Гольцев М.В.¹, Белая О.Н.¹, Иванов А.А.¹, Шепелевич В.Г.², Гусакова С.В.²

¹Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

Сплавы на основе системы олово-свинец характеризуются высокими технологическими параметрами и используются в различных отраслях промышленности. На их основе изготавливаются легкоплавкие припои, подшипниковые сплавы, сплавы для кабельных оболочек, элементы электрических цепей и др. В последние десятилетия успешно развиваются нетрадиционные технологии получения материалов, к которым относятся и высокоскоростное затвердевание расплава, позволяющее достичь скоростей охлаждения выше 10^5 [1]. Структура сплавов, получаемых при сверхвысоких скоростях охлаждения, отличается от структуры, образующей в сплавах при малых и средних скоростях охлаждения. В связи с этим является актуальным исследование структуры и физических свойств сплавов системы олово-свинец, используемых в промышленности, например, эвтектического сплава.

Эвтектический сплав (Sn – 27 ат. % Pb) изготовлен сплавлением компонентов в кварцевой ампуле. Расплав сначала заливался в графитовую изложницу и затвердевал в форме стержня длиной 10 см и поперечным сечением 3×5 мм². Кусочек

сплава массой ~ 0,15 г расплавляли и инжигировали на внутреннюю полированную поверхность быстровращающегося медного цилиндра. Расплав растекался тонким слоем на поверхности кристаллизатора и затвердевал в виде фольги длиной до 10 см и шириной до 10 мм [1]. При исследовании использовались фольги толщиной 30 ... 100 мкм. Исследование микроструктуры фольг быстрозатвердевшего сплава выполнено на растровом электронном микроскопе LEO-1455 VP (Германия) с рентгеноспектральным микроанализатором Aztec Energy Advanced X-Max80 (Великобритания), позволяющим определить элементный состав и распределение компонентов, а также с дифракционной приставкой фазового анализа HKL EBSD Premium System Channel 5 (Великобритания), благодаря которой исследована зеренная структура фольг. Для определения фазового состава и текстуры применялся рентгеноструктурные исследования, проводимые на дифрактометре ДРОН-4. Полусная плотность дифракционных линий рассчитывалась по методу Харриса [2]. Исследование микроструктуры проводилось со стороны А фольги, контактирующей с кристал-