



рис.1 Спектральная зависимость оптической плотности пленок от расхода смеси газов.

Метод КРС был использован для определения среднего размера кристаллита и кристалличности отожженных пленок. При увеличении расхода смеси газов было замечено, что кристалличность пленок увеличилась с 39 % до 48 %, а средний размер кристаллита (около 5.3 нм) практически не изменился.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-79-10143).

Список публикаций:

- [1] Janz S., Löper P., Schnabel M. Silicon nanocrystals produced by solid phase crystallisation of superlattices for photovoltaic applications // *Materials Science and Engineering: B*. – 2013. – Т. 178. – №. 9. – С. 542-550.
- [2] Neizvestny I. G. et al. Formation of silicon nanocrystals in Si—SiO₂— α -Si—SiO₂ heterostructures during high-temperature annealing: Experiment and simulation // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. – 2016. – Т. 52. – №. 5. – С. 486-495.
- [3] Huang J. et al. Effects of chemical stoichiometry on the structural properties of Si-rich oxide thin films // *Thin Solid Films*. – 2015. – Т. 595. – С. 79-83.
- [4] Zamchiy A. O. et al. Effect of annealing in oxidizing atmosphere on optical and structural properties of silicon suboxide thin films obtained by gas-jet electron beam plasma chemical vapor deposition method // *Vacuum*. – 2018. – Т. 152. – С. 319-326.
- [5] Ундалов Ю. К., Теруков Е. И. Нанокластеры кремния, ncl-Si, в матрице гидрированного аморфного субоксида кремния, α -SiO_x: H ($0 < x \leq 2$) // *Физика и техника полупроводников*. – 2015. – Т. 49. – №. 7. – С. 887-898.

Влияние условий синтеза на микроструктуру протонпроводящих керамических материалов на основе церата бария

Луницкая Юлия Александровна

Филоненко Елена Михайловна, Булаева Елена Александровна, Калганов Дмитрий Александрович

Челябинский государственный университет

lupitskaya@gmail.com

Среди известных в настоящее время среднетемпературных твердооксидных электролитов керамические материалы на основе церата бария со структурой типа перовскита считаются наиболее высоко протонпроводящими и продолжают активно изучаться [1-3]. Появление протонов в структуре сложного оксида определяется наличием кислородных вакансий и водородсодержащей атмосферой, из которой протоны внедряются в решетку в виде гидроксильных групп [1]. Соединения на основе ВаСеО₃ обладают также высокой анионной проводимостью [1, 3] при условии частичного замещения Се⁴⁺ катионами низкой валентности М³⁺ в октаэдрических позициях (В - позициях) структуры типа перовскита. Гетеровалентное замещение в решетке АВ_{1-x}М_xО_{3- δ} обуславливает появление кислородных вакансий, концентрация которых определяется уровнем допирования x [1].

Основными критериями коммерческой реализации таких материалов для работы в топливных элементах наряду с ионной/протонной проводимостью выступают микроструктура керамики, конструкционные свойства

которой (относительная плотность, пористость, размеры зерен) в значительной степени зависят от температур синтеза и спекания материалов.

В настоящей работе проведен сравнительный анализ выбранных методов синтеза (твердофазной реакции и метода Печини) с целью получения однофазных и высокоплотных образцов состава $\text{BaCe}_{0.9}\text{M}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ (M^{3+} - Y, Pr, Nd, Sm, Gd) при сравнительно низких температурах спекания (1423 и 1623 К соответственно).

Особенности процессов фазообразования при синтезе церата бария и его производных изучали ТГ-ДСК анализом с помощью синхронного термоанализатора STA 449 F5 Jupiter, NETZSCH, на воздухе в температурном интервале 297 – 1473 К. Контроль фазового состава синтезированных образцов осуществляли методом качественного рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре Bruker D8 ADVANCE. Уточнение кристаллической структуры проводили методом Ритвельда с применением программного комплекса GSAS. Морфологию поверхности керамических образцов изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа (режим SEI) при увеличении $\times 10000$.

Анализ микроструктуры исследуемых образцов позволил выявить слабую связанность частиц и определить размер зерен (0.9 - 3.6 мкм) для соединений, полученных методом твердофазной реакции. При этом установлено, что материалы, полученные по технологии цитрат-нитратного синтеза (м. Печини), характеризуются высокой гомогенностью и имеют частицы меньшего размера (~ 0.4 мкм).

Для составов, полученных различными методами, определены относительная плотность и открытая пористость при 1423 и 1623 К соответственно. Показано, что после отжига при 1623 К относительная плотность всех керамических материалов увеличивается. Наибольшей относительной плотностью обладают образцы $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$, $\text{BaCe}_{0.9}\text{Sm}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$, полученные методом Печини. При этом открытая пористость соединений, исключение составляет $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$, уменьшается.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00269.

Список публикаций:

- [1] Medvedev D. A. et al. // *Progress in Materials Science*. 2014. V. 60. P. 72.
- [2] Лягаева Ю. Г. и др. // *Физика и техника полупроводников*. 2014. Т. 48. № 10. С. 1388.
- [3] Filonenko E. M., Lupitskaya Yu. A., Kalganov D. A. // *Materials Research Proceedings*. 2018. №. 9. P. 157.

Неразрушающие методы контроля материалов

Максимов Глеб Сергеевич

Наухацкий Игорь Анатольевич

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

Максимова Елена Михайловна, к.ф.-м.н.

neondreamer00@gmail.com

В связи с недопущением разрушения готовых изделий при, разного рода, исследованиях их качества, актуальны как методы, позволяющие сохранить целостность объекта, так и дополнительные критерии их структурного совершенства.

В работе методом рентгеновской дифрактометрии исследовалось совершенство кристаллической структуры эпитаксиальных пленок со структурой феррит-гранатов кристаллографической ориентации (111), выращенных на подложках со структурой галлий-гадолиниевого граната. Эти пленки широко применяются в технических устройствах.

Основной характеристикой структурного совершенства таких структур является различие в размерах кристаллических элементарных ячеек сопрягающихся материалов пленки и подложки – Δa :

$$\Delta a = \frac{\lambda}{2} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \left(\frac{1}{\sin \theta_{\text{пленки}}} - \frac{1}{\sin \theta_{\text{подложки}}} \right) \quad (1)$$

где λ – длина волны рентгеновского излучения, θ – угол Брегга, (hkl) – индексы интерференции.

Практически величина Δa определяется методом рентгеноструктурного анализа по разности в положении дифракционных пиков (углов Брегга) от материалов пленки и подложки (рис. 1).