

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 661.882.27:[538.958+539.215.2]

DOI: 10.17223/00213411/64/9/175

ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ И РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ПОРОШКОВ  $\text{BaZr}_x\text{Ti}_{(1-x)}\text{O}_3$ , СИНТЕЗИРОВАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОЧАСТИЦ  $\text{TiO}_2$ \*М.М. Михайлов<sup>1</sup>, А.Н. Лапин<sup>1</sup>, О.А. Алексеева<sup>1,2</sup>, С.А. Юрьев<sup>1</sup>, Е.Ю. Королева<sup>2</sup><sup>1</sup> Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия<sup>2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия**Ключевые слова:** порошки, наночастицы, синтез, оптические свойства, облучение.

Порошки титанатов бария используются во многих областях техники. Высокая отражательная способность в широкой области спектра (0.5–2.5 мкм) позволяет применять их в качестве пигментов отражающих покрытий, а наличие точки Кюри при температуре 120 °С позволяет использовать их для стабилизации температуры объектов, на которые они могут быть нанесены [1]. Увеличение стойкости к действию излучений таких порошков возможно осаждением на поверхности зерен наночастиц, а смещение фазового перехода в область комнатной температуры – частичным замещением катионов титана атомами других элементов. Получение порошков, удовлетворяющих указанным требованиям, возможно синтезом с использованием наночастиц в качестве одной из составляющих смесей.

Ранее такие порошки получали синтезом из смесей порошков микронных размеров  $\text{BaCO}_3$  и  $\text{TiO}_2$  и нанопорошка  $\text{ZrO}_2$  [2]. Нанопорошок  $\text{ZrO}_2$  выполнял две функции: являлся поставщиком замещающего элемента циркония в соединениях  $\text{BaTi}_{(1-x)}\text{Zr}_x\text{O}_3$  и, в какой-то степени, его наночастицы повышали стойкость к действию излучений, выступая в роли места стоков образованных при облучении первичных дефектов. Представляет научный интерес использование наночастиц  $\text{TiO}_2$  вместо наночастиц  $\text{ZrO}_2$  при синтезе соединений  $\text{BaTi}_{(1-x)}\text{Zr}_x\text{O}_3$ , объемная доля которых в исходных смесях порошков ( $\text{BaCO}_3 + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2$ ) существенно большая. При этом концентрация наночастиц  $\text{TiO}_2$  должна быть несколько большей по сравнению с расчетной, необходимой для смещения фазового перехода до определенной температуры. Непрореагировавшая часть наночастиц будет выполнять роль центров релаксации первичных дефектов, образованных действием излучений.

В настоящей работе осуществляли синтез порошков  $\text{BaTi}_{(1-x)}\text{Zr}_x\text{O}_3$  с использованием наночастиц  $\text{TiO}_2$  и исследование оптических свойств: спектров диффузного отражения ( $\rho_\lambda$ ) в области 0.2–2.2 мкм, интегрального коэффициента поглощения солнечного излучения ( $a_s$ ) и радиационной стойкости ( $\Delta\rho_\lambda$  и  $\Delta a_s$ ). Для каждой концентрации замещающих атомов Zr ( $x = 0.05, 0.1$  и  $0.15$ ) готовили смеси микропорошков  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  и нанопорошка  $\text{TiO}_2$ , прогревали их в атмосфере последовательно: 2 ч, 800 °С → 2 ч, 1200 °С. Образцы готовили легким прессованием в подложки, спектры  $\rho_\lambda$  регистрировали в вакууме на месте облучения (*in situ*) до и после облучения электронами:  $E = 30$  кэВ,  $\Phi = (1, 3, 5) \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup>. Коэффициент поглощения  $a_s$  рассчитывали по спектрам  $\rho_\lambda$  с использованием международного стандарта [3].

Исследования показали, что в составе синтезированных порошков  $\text{BaTi}_{(1-x)}\text{Zr}_x\text{O}_3$  имеются непрореагировавшие наночастицы  $\text{TiO}_2$ . Это позволило получить высокое значение коэффициента отражения в области 0.5–2.2 мкм (рис. 1) и малую величину коэффициента поглощения  $a_s$ : 0.232, 0.21 и 0.168 для  $x = 0.05, 0.1$  и 0.15 соответственно.

После облучения электронами спектры  $\rho_\lambda$  порошков изменяются, в основном, в области 400–1000 нм, образуется полоса поглощения с максимумом при 700 нм, максимальное значение  $\Delta\rho$  составляет 9.7% для порошка  $\text{BaTi}_{0.85}\text{Zr}_{0.15}\text{O}_3$  при  $\Phi = (1, 3, 5) \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup>. Из зависимостей  $\Delta a_s(\Phi)$  следует (рис. 2): абсолютные значения  $\Delta a_s$  небольшие – максимальное значение соответствует этому порошку и составляет 0.05 для  $\Phi = 5 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup>; наименьшие значения – для порошка с  $x = 0.05$ , они не превышают величину 0.02.

Таким образом, применение наночастиц  $\text{TiO}_2$  вместо наночастиц  $\text{ZrO}_2$  при синтезе позволяет получить порошки  $\text{BaTi}_{(1-x)}\text{Zr}_x\text{O}_3$  с высокой отражательной способностью, малым значением коэффициента поглощения  $a_s$  и увеличенной радиационной стойкостью оптических свойств, что дает возможность использовать такие порошки для приготовления термостабилизирующих покрытий.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-32-60067 «Создание научных основ получения твердых растворов  $\text{BaTi}_{(1-x)}\text{Zr}_x\text{O}_3$  для отражающих покрытий космических аппаратов с применением нанотехнологий».

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>