

**ТВЕРДЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ,  
СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ ОКСИДОМ СКАНДИЯ И СОЛЕГИРОВАННЫЕ ОКСИДАМИ  
ИТТРИЯ ИЛИ ИТТЕРБИЯ**

**Числов А.С.,<sup>1,2</sup> Борик М.А.,<sup>1</sup> Кулебякин А.В.,<sup>1</sup> Курицына И.Е.,<sup>3</sup> Ломонова Е.Е.,<sup>1</sup>  
Мызина В.А.,<sup>1</sup> Милович Ф.О.,<sup>2</sup> Табачкова Н.Ю.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,  
Москва, Россия*

<sup>3</sup>*Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, Россия  
[Chislov.artem@bk.ru](mailto:Chislov.artem@bk.ru)*

Материалы на основе твердых растворов  $ZrO_2$ – $Sc_2O_3$ , используемые в твердооксидных топливных элементах (ТОТЭ), вызывают большой интерес, поскольку они обладают наивысшей ионной проводимостью среди твердых электролитов на основе  $ZrO_2$ . Применение таких материалов позволяет понизить рабочую температуру топливного элемента до 800°C, что весьма важно для увеличения стабильности, ресурса эксплуатации и надежности электрохимических устройств. Возможным путем решения данной проблемы может стать солегирирование твердых растворов  $ZrO_2$ – $Sc_2O_3$  оксидами редкоземельных металлов. Подбор солегирирующих примесей определяется как получением стабильного в диапазоне температур от комнатной до рабочей (700–1000°C) однофазного кубического твердого раствора, так и сохранением высокой проводимости, характерной для системы  $ZrO_2$ – $Sc_2O_3$ .

Целью настоящей работы является синтез кристаллов твердых растворов  $ZrO_2$ – $Sc_2O_3$ , солегирированных оксидами иттрия или иттербия, исследование их транспортных характеристик и сравнение влияния солегирирующей примеси  $Y_2O_3$  или  $Yb_2O_3$  на транспортные характеристики и стабилизацию кубической фазы в твердых растворах на основе  $ZrO_2$ – $Sc_2O_3$ .

Синтез кристаллов проводили методом направленной кристаллизации расплава в холодном контейнере. Были выращены монокристаллы твердых растворов  $(ZrO_2)_{0.99-x}(Sc_2O_3)_x(Yb_2O_3)_{0.01}$  и  $(ZrO_2)_{0.99-x}(Sc_2O_3)_x(Y_2O_3)_{0.01}$  где  $x = 0.08–0.10$ . Распределение оксидов иттрия и иттербия по длине кристаллов определяли методом энергодисперсионного анализа. Фазовый анализ проводили методами рентгеновской дифрактометрии и комбинационного рассеяния света. Плотность определяли методом гидростатического взвешивания. Транспортные характеристики кристаллов измеряли методом импедансной спектроскопии.

Структура кристаллов, идентифицированная с помощью рентгенодифракционного анализа как кубическая, по данным КРС является тетрагональной  $t''$  –фазой. Эта фаза имеет степень тетрагональности  $c/\sqrt{2}a = 1$  но принадлежит пространственной группе симметрии  $P42/nmc$  из-за смещения ионов кислорода в анионной подрешетке. Показано, что стабилизация псевдокубической ( $t''$ -фазы) для кристаллов ScYSZ наблюдается при суммарной концентрации стабилизирующих оксидов 11 мол.%, в то время как в случае кристаллов Sc1YbSZ это происходит при суммарной концентрации стабилизирующих оксидов 10 мол.%.

Установлено, что для всех исследуемых составов проводимость кристаллов увеличивается с увеличением концентрации  $Sc_2O_3$ . Для кристаллов, солегирированных оксидом иттрия или иттербия, максимальная проводимость наблюдается при различном содержании  $Sc_2O_3$  (10 и 9 мол.% соответственно). Установлено, что при содержании  $Sc_2O_3$  9-10 мол.% высокотемпературная проводимость кристаллов, солегирированных  $Yb_2O_3$ , выше, чем в случае солегирирования  $Y_2O_3$ . Максимальную проводимость во всем температурном интервале имеют кристаллы  $(ZrO_2)_{0.9}(Sc_2O_3)_{0.09}(Y_2O_3)_{0.01}$ .

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-13-00056.*