**Структура и диэлектрические свойства твёрдых растворов со структурой типа шпинели Li1-xNaxNi0,5Mn1,5O4**

***Лымарь Д.В.1, Зубрилин А.А.1***

*1студент*

*Южный федеральный университет, НИИ физики, Ростов-на-Дону, Россия*

*E-mail:* [*m1494dima@mail.ru*](mailto:m1494dima@mail.ru)

Такой класс материалов как мультиферроики в последние десятилетия [1] привлекает всё больше внимания исследователей ввиду перспективности их применения в исполнительных механизмах, устройствах памяти, СВЧ-устройствах, датчиках, устройствах спинтроники и т.д. [2]. Мультиферроики – это уникальный класс соединений, которые обладают двумя или более типами «ферро» упорядочений, включая сегнетоэлектрическое, ферромагнитное и сегнетоупругое. Одной из основных особенностей некоторых представителей этого класса веществ является возможность управлять их электрическими характеристиками при помощи магнитного поля и наоборот. Для изготовления подобных композиций требуется уделить внимание выбору перспективных материалов, оптимизации процесса изготовления и комплексному исследованию свойств полученных объектов.

Вещества, имеющие структуру типа шпинели, обладают большим потенциалом для разработки мультиферроиков 2-го типа [3] (соединения, у которых сегнетоэлектрические свойства вызваны изменением магнитной подсистемы [4]). К таким материалам относятся Mn4+-содержащие шпинели состава AM0,5Mn1,5O4 (A = Li, Cu; M = Ni, Mg), которые проявляют ферро- или ферримагнетизм. Они могут быть получены в упорядоченном катионном состоянии со структурой P4332, способны демонстрировать магнитоэлектрические свойства и имеют полупроводниковую природу [3]. В работе [5] измерены моменты магнитного насыщения LiNi0,5Mn1,5O4 и CuNi0,5Mn1,5O4, которые составляют 1,958 µБ и 1,964 µБ соответственно.

В данной работе рассматривается система на основе материала со структурой типа шпинели LiNi0,5Mn1,5O4, который проявляет ферромагнитный порядок при температурах ниже ТС = 129 К [6]. Работа направлена на оптимизацию процесса изготовления и установление закономерностей формирования фазового состава, структуры и диэлектрических характеристик в твердых растворах (ТР) Li1-xNaxNi0,5Mn1,5O4, с целью получения материалов со свойствами перспективными для областей микро- и наноэлектроники.

Объектами исследования стали ТР системы Li1-xNaxNi0,5Mn1,5O4с х = 0,0 – 0,2; ∆х = 0,05. Изготовление ТР осуществляли методом двухстадийного твердофазного синтеза и спекания по обычной керамической технологии: Тсинт1 = (1170–1220) К; Тсинт2 = (1220–1270) К, τсинт1,2 = 5 ч; Тсп = (1270–1320) К, τсп = 2 ч.

Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре ДРОН 3.0 (CuKα – излучение, фокусировка по Брэггу – Брентано). Зависимости диэлектрических характеристик от температуры были получены с помощью LCR-метра Agilent E4980A в интервале температур (300–670) K, частот электрического поля 1 кГц-1 МГц и магнитного поля 0-0,85 Тл.

В работе обсуждаются закономерности фазообразования, формирования диэлектрических и магнитодиэлектрических характеристик исследуемых объектов. На базе полученных данных делается заключение о возможности использования рассматриваемых ТР в качестве основ мультифункциональных материалов в области микроэлектроники.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Государственное задание в сфере научной деятельности. Проект № FENW-2023-0010/ГЗ0110/23-11-ИФ), использовано оборудование Центра коллективного пользования НИИ физики Южного федерального университета "Электромагнитные, электромеханические и тепловые свойства твердых тел".

**Литература**

1. Spaldin N.A. Multiferroics beyond electric-field control of magnetism // Proc. R. Soc. A. 2020. Т. 476, № 2233. С. 20190542.
2. Wu Liang, Gao Ya, Ma Jing Recent progress in multiferroic materials // Science China Technological Sciences. 2015. Т. 58. С. 2207–2209.
3. Sundaresan A., Ter-Oganessian N.V. Magnetoelectric and multiferroic properties of spinels // J. Appl. Phys. 2021, 129 (6), article 060901.
4. Матвеева А.Н. Особенности магнитного упорядочения мультиферроиков на основе оксида марганца // Дисс. … к.ф.-м.н. Гатчина. Петербургский институт ядерной физики имени Б. П. Константинова. 2023. 130 c.
5. Branford W., Green M. A., Neumann D. A. Structure and Ferromagnetism in Mn4+ Spinels:  AM0.5Mn1.5O4 (A = Li, Cu; M = Ni, Mg) // Chemistry of Materials. 2002. V. 14(4). P. 1649–1656.
6. Amdouni N., Zaghib K., Gendron F., Mauger A., Julien C.M. Magnetic properties of LiNi0.5Mn1.5O4 spinels prepared by wet chemical methods // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2007. V. 309(1). P. 100–105.