

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 539.2

DOI: 10.17223/00213411/63/5/164

А.П. СУРЖИКОВ<sup>1</sup>, Е.В. НИКОЛАЕВ<sup>1</sup>, Е.Н. ЛЫСЕНКО<sup>1</sup>, С.А. НИКОЛАЕВА<sup>1</sup>, Д.Ж. КАРАБЕКОВА<sup>2</sup>, А.С. ГЫНГАЗОВ<sup>3</sup>**ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЛИТИЙ-ТИТАНОВОГО ФЕРРИТА ПРИ СИНТЕЗЕ В ПУЧКЕ ЭЛЕКТРОНОВ 2.4 МэВ \****Ключевые слова:* Li-Ti-феррит, электронный пучок, структура, атомно-силовая микроскопия.**Введение**

Ферритовые материалы являются ключевыми элементами большинства современных радиотехнических, электронных и вычислительных устройств [1, 2]. В частности, группа литиевых ферритов находит широкое применение в СВЧ-технике, а также в качестве катодных материалов для литиевых батарей [3, 4]. Литийзамещенные ферриты, в которых ионы  $\text{Fe}^{3+}$  замещены ионами титана, характеризуются низкими значениями диэлектрических потерь и высокой температурной стабильностью, поэтому они широко используются в микроволновой технике [5–7].

На сегодняшний день широко используется керамическая технология получения ферритов, включающая синтез ферритовых порошков при высоких температурах. Вследствие того, что ферриты, как правило, имеют сложный состав, их синтез происходит через образование переходных продуктов твердофазного взаимодействия, которые включают фазы моноферритов и твердых растворов окислов. Такие твердофазные взаимодействия протекают в диффузионном режиме, поэтому для полного протекания синтеза требуется включение в технологический процесс неоднократных процедур помола и компактирования с дальнейшими многочасовыми отжигами при высоких температурах. Таким образом, керамическая технология получения ферритов относится к разряду многооперационных и энергозатратных и не позволяет получить большой процент годной продукции. Кроме того, с помощью данной технологии невозможно получить ультрадисперсные ферритовые порошки из-за применения высоких температур синтеза.

В последнее время интенсивно используются новые методы синтеза ферритовых материалов, основанные на нагреве реагентов в пучке высокоэнергетических электронов (1–10 МэВ) [8–10]. В наших работах [11, 12] было показано, что с помощью данного способа нагрева можно многократно ускорить твердофазные взаимодействия в реакционной смеси и существенно снизить температуру и время синтеза. Полученные электронно-пучковым способом нагрева ферриты характеризуются высокими значениями остаточной намагниченности, намагниченности насыщения, удельного электрического сопротивления и температурой Кюри.

Известно, что свойства ферритов во многом определяются микроструктурой. Поэтому важно знать, как нагрев исходной смеси в пучке высокоэнергетических электронов влияет на формирование микроструктуры синтезированного феррита. Использование электронной микроскопии для изучения микроструктуры литиевых ферритов имеет ограничения вследствие их высокого удельного сопротивления. Зарядка поверхности препятствует получению снимков высокого разрешения. Данного недостатка лишен метод атомно-силовой микроскопии (АСМ). Цель данного исследования – изучение методом АСМ микроструктуры литиевого феррита, синтезированного при нагреве в пучке высокоэнергетических электронов с энергией 2.4 МэВ.

**Методика эксперимента**

В работе исследовался литий-титановый феррит состава  $\text{Li}_{0.6}\text{Fe}_{2.2}\text{Ti}_{0.2}\text{O}_4$ , который относится к основной группе материалов современной микроволновой техники. Исходными реагентами служили промышленные порошки  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (чда),  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  (хч),  $\text{TiO}_2$  (чда). Исходная смесь этих порошков в заданной пропорции подвергалась обработке в шаровой планетарной мельнице АГО-2С в течение 60 мин при комнатной температуре. Использовался режим максимальной энергонапряженности мельницы 60g, при котором частота вращения барабанов в переносном движении составила 2200 об/мин. Порошковые компакты получали односторонним холодным прессованием в форме таблеток.

Синтез литиевого феррита осуществляли электронно-пучковым нагревом порошковых компактов на ускорителе ИЛУ-6 (Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск) с энергией электронов 2.4 МэВ [13]. Более подробно методика синтеза описана в [11]. Синтез осуществлялся при темпера-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания «Наука» (проект FSWW-2020-0008), а также РФФИ (проект № 20-07-00662).

Уважаемые читатели!

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

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