

УДК 539.23,621.793.18

## ДВУХСТАДИЙНОЕ СПЕКАНИЕ КЕРАМИКИ ЖЕЛЕЗОИТТРИЕВОГО ГРАНАТА ДЛЯ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

© 2022 г. В. А. Лузанов<sup>а</sup> \*, В. В. Балашов<sup>а</sup>, К. В. Лопухин<sup>а</sup><sup>а</sup> Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,  
пл. Введенского, 1, Фрязино Московской обл., 141190 Российская Федерация

\*E-mail: valery@luzanov.ru

Поступила в редакцию 03.02.2022 г.

После доработки 03.02.2022 г.

Принята к публикации 07.02.2022 г.

Предложен и опробован двухстадийный процесс спекания керамики железиттриевого граната для магнетронного распыления. Показано, что при использовании одноосного прессования компактов происходит синтез наноразмерных кристаллитов железиттриевого граната. Исследована кристаллическая структура полученных образцов керамики. Методом магнетронного распыления полученной мишени выращены эпитаксиальные пленки на подложках из алюмоиттриевого граната.

DOI: 10.31857/S0033849422060158

### ВВЕДЕНИЕ

Железиттриевый гранат (ЖИГ) является одним из наиболее исследуемых материалов в области микроэлектроники, магноники, акустоэлектроники, спинтроники. Пленочные структуры на основе ЖИГ представляют особенно большой интерес. В настоящее время для изготовления пленок ЖИГ используются различные методы: жидкофазная эпитаксия [1], ионно-лучевое распыление [2], МОСVD [3], импульсное лазерное распыление [4], магнетронное ВЧ-распыление [5]. В двух последних в качестве источника используют спрессованные мишени из ЖИГ. Для изготовления керамических мишеней обычно используется горячее изостатическое прессование — довольно сложный технологический процесс, требующий высоких давлений газа при повышенных температурах.

Цель данной работы — исследовать возможность осаждения высококачественных пленок ЖИГ методом магнетронного распыления керамической мишени, полученной двухстадийным спеканием без использования изостатического пресса.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве исходных материалов применяли высокочистые оксид иттрия и оксид железа. Стехиометрические количества оксидных порошков смешивали в течение 15 ч в безводном изопропиловом спирте вместе со связующим (поливинил-

бутираль — 1% вес. к порошку). После смешивания и последующей сушки до влажности порядка 1% при 50°C порошки просеивали через сито с ячейками 500 мкм для гранулирования. Компактирование производилось одноосным прессованием в пресс-форме из нержавеющей стали диаметром 70 мм при давлении 20 МПа. Толщина компактов составила 6 мм. На первом этапе после прессования компакты прокаливали при 1000°C в течение 20 ч для удаления остаточных органических веществ. Кристаллическую структуру полученных образцов исследовали методом рентгеновской дифракции. Рентгеновская дифрактограмма от полученного компакта приведена на рис. 1. Как можно видеть, в составе полученного компакта присутствуют простые оксиды иттрия и железа. Кроме того, наблюдается наличие синтезированного оксида железа — иттрия  $YFeO_3$ .

На втором этапе для синтеза ЖИГ и придания прочности был проведен отжиг при температуре 1250°C в течение 20 ч. Вместо обычной усадки наблюдалось увеличение диаметра образца до 75 мм из-за одноосной направленности давления при прессовании. На рис. 2 приведена рентгеновская дифрактограмма. Все наблюдаемые линии соответствуют железиттриевому гранату  $Y_3Fe_5O_{12}$ . На рис. 3 представлен профиль линии для отражения (402). По уширению линии в полученной керамике был определен средний размер областей когерентного рассеяния. Он составил около 100 нм.

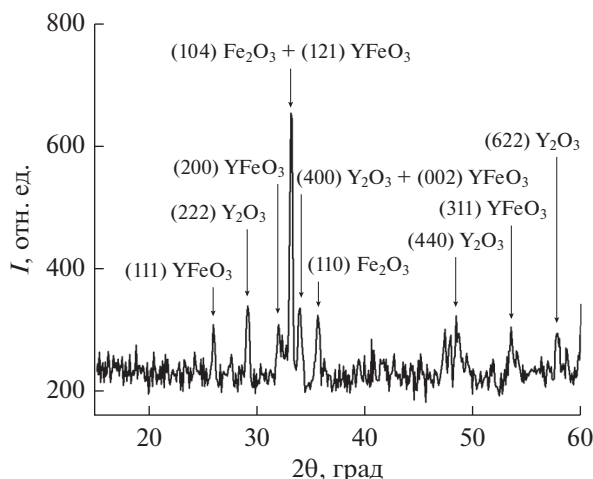


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма от образца после первого этапа отжига при температуре 1000°C.

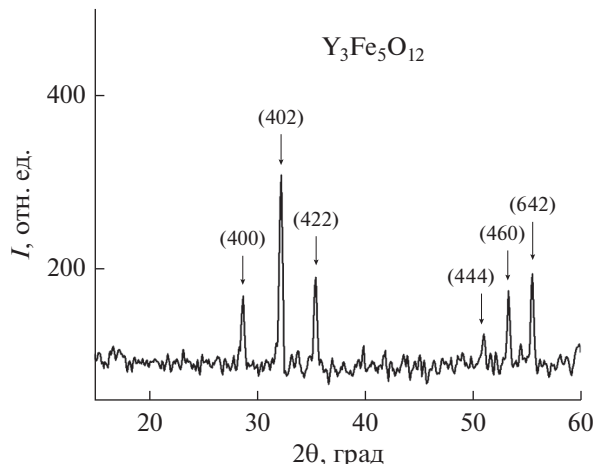


Рис. 2. Рентгеновская дифрактограмма от образца после второго этапа отжига при температуре 1250°C.

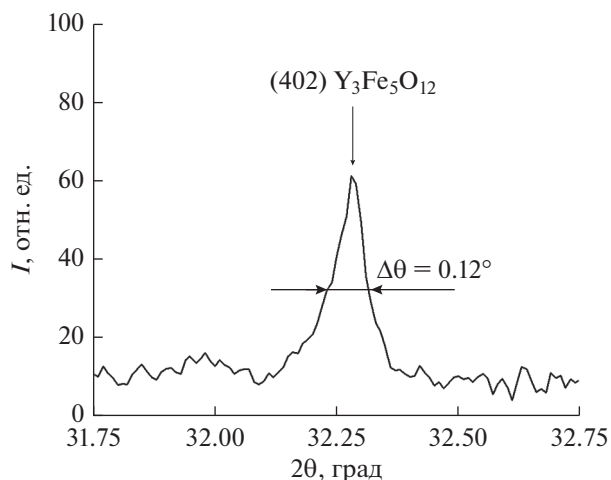


Рис. 3. Профиль дифракционной линии  $Y_3Fe_5O_{12}$ . Отражение от плоскости (402).

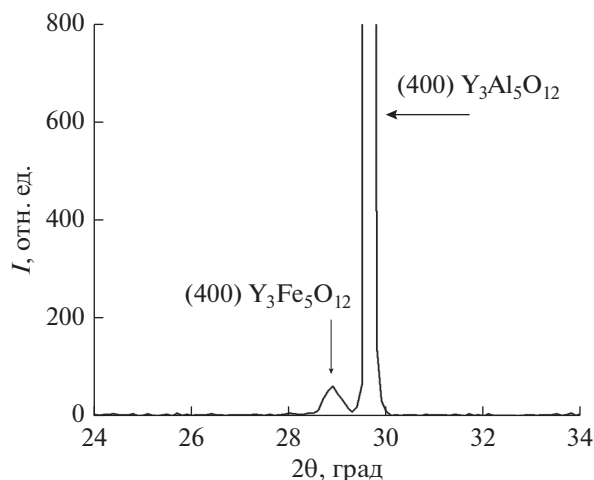


Рис. 4. Рентгеновская дифрактограмма от пленки  $Y_3Fe_5O_{12}$ , осажденной на подложку из  $Y_3Al_5O_{12}$ .

Полученная керамическая мишень была установлена в магнетронное распылительное устройство, описанное в [6]. Диаметр катода составлял 75 мм. После предварительного распыления в течение 30 мин было проведено осаждение пленки на подложку из алюмоиттриевого граната. Температура подложки составляла 25°C. Распыление проходило в атмосфере аргона при давлении  $10^{-3}$  мбар. Мощность ВЧ-разряда на мишени составляла 100 Вт. После осаждения полученную пленку отжигали в атмосфере при температуре 700°C в течение 3 ч. В результате отжига произошла рекристаллизация осажденной пленки с образованием эпитаксиального монокристаллического слоя  $Y_3Fe_5O_{12}$ . Рентгеновская дифрактограмма от по-

лученной пленки (рис. 4) содержит только линии (400) от пленки ЖИГ и от подложки из  $Y_3Al_5O_{12}$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что двухстадийное спекание керамики железиттриевого граната без использования изостата позволяет получать стехиометрические керамические мишени, пригодные для эпитаксиального осаждения пленок ЖИГ методом магнетронного распыления. При использовании такой мишени получены структурно совершенные эпитаксиальные пленки на подложках из алюмоиттриевого граната.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ**

Работа выполнена в рамках государственного задания ИРЭ РАН по теме 0030-2019-0012 при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-07-01075).

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Shone M.* // *Circuits, Syst. Signal Process.* 1985. V. 4. № 1–2. P. 89.
2. *Высоцкий С.Л., Никулин Ю.В., Кожевников А.В. и др.* // *ЖТФ.* 2020. V. 65. № 7. P. 1221.
3. *Stadler B., Vaccaro K., Yip P. et al.* // *IEEE Trans.* 2002. V. MAG-38. № 3. P. 1546.
4. *Sokolov N.S., Fedorov V.V., Korovin A.M. et al.* // *J. Appl. Phys.* 2016. V. 119. № 2. P. 023903.
5. *Park M.-B., Cho N.-H.* // *J. Magn. Magn. Mater.* 2001. V. 231. P. 253.
6. *Лузанов В.А.* Магнетронное распылительное устройство. Патент РФ на изобретение № 2761900. Оpubл. офиц бюл. “Изобретения. Полезные модели”. № 35. 13.12.2021.