

В данной работе исследовано взаимодействие фторида скандия и фторидов щелочных металлов (Li, Na, K, Rb, Cs) при различном соотношении исходных компонентов. Эксперименты выполняли при нормальном давлении в атмосфере аргона при 400–600 °С. Продолжительность синтеза составляла 100 ч. Состав и структура образующихся соединений очень сильно зависят от условий проведения синтеза. Рентгенофазовый анализ (РФА) продуктов реакций показал образование следующих соединений:

система LiF–ScF<sub>3</sub>: Li<sub>3</sub>ScF<sub>6</sub>;  
система NaF–ScF<sub>3</sub>: Na<sub>3</sub>ScF<sub>6</sub>, NaScF<sub>4</sub>;  
система KF–ScF<sub>3</sub>: K<sub>3</sub>ScF<sub>6</sub>, KSc<sub>2</sub>F<sub>7</sub>;  
система RbF–ScF<sub>3</sub>: Rb<sub>3</sub>ScF<sub>6</sub>, RbScF<sub>4</sub>;  
система CsF–ScF<sub>3</sub>: Cs<sub>3</sub>ScF<sub>6</sub>, CsScF<sub>4</sub>.

На основании данных РФА были определены структурные параметры полученных фторскандиатов щелочных металлов.

## ЛАЗЕРНЫЙ СИНТЕЗ НАНОПОРОШКА Fe:MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Наумова М.С.<sup>1\*</sup>, Платонов В.В.<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2)</sup> Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

\*E-mail: [naumova.marya@mail.ru](mailto:naumova.marya@mail.ru)

## LASER SYNTHESIS OF NANOPOWDERS Fe:MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Naumova M.S.<sup>1\*</sup>, Platonov V.V.<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

<sup>2)</sup> Institute of Electrophysics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

The work describes a synthesis process of magnesium aluminium spinel nanopowder obtained by laser evaporation method and doped with iron ions, as well as analysis of the final powder.

Одно из актуальных применений нанопорошков – изготовление лазерных керамик, прозрачность которых близка к монокристаллам. Преимуществом нанокерамик является возможность введения больших концентраций активных центров, а также равномерное распределение их по объёму. Например, если использовать в лазерах с активными центрами в виде ионов Fe<sup>2+</sup> [1,2] керамику из шпинели MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, можно получить высокую мощность излучения.

Нанопорошки, получаемые методом лазерного испарения [3, 4], являются химически чистыми и слабо агломерированными, что важно для синтеза лазерных керамик. Метод заключается в испарении вещества мощным лазерным излучением с последующей конденсацией в потоке газа и образованием наночастиц. В данной работе исследовался синтез нанопорошка  $Fe:MgAl_2O_4$  с помощью волоконного иттербиевого лазера.

Смесь с изначальным составом ( $1,65 mol. \% Fe_2O_3: MgO$ ):  $1,3Al_2O_3$ . была спрессована и спечена на воздухе при  $1400^\circ C$  в мишень. Испарение проводилось импульсами излучения лазера ЛС-07-Н (длина волны  $1,07 \mu m$ , мощность  $600 W$ ). Длительность импульсов –  $280 \mu s$ , скважность – 2. Мишень устанавливалась в перетяжку пучка с диаметром  $430 \mu m$ , плотность мощности излучения составила  $0,41 MW/cm^2$ . Для поддержания этих параметров мишень по мере испарения поднималась вверх. За счёт движения мишени лазерный луч перемещался по ней со скоростью  $76 cm/s$ .

Производительность получения нанопорошка составила  $2,7 g/ч$ , выход порошка  $19 мас. \%$ . Удельная поверхность оказалась равна  $104 m^2/g$ . Рентгенофазовый анализ показал, что в нанопорошке присутствуют 4 фазы: шпинель  $MgAl_2O_4$  –  $67 мас. \%$  (ОКР  $8,8 nm$ ),  $\gamma-Al_2O_3$  –  $25 мас. \%$  (ОКР  $13 nm$ ),  $MgO$  –  $5 мас. \%$  (ОКР  $4,8 nm$ ) и  $Fe_3O_4$  –  $3 мас. \%$  (ОКР  $2,3 nm$ ). Многофазность объясняется слишком быстрым остыванием испарённых частиц. Предполагается, что полное фазовое превращение произойдёт при спекании керамики.

Элементный анализ выявил увеличение доли атомов железа и алюминия в нанопорошке относительно мишени (на  $0,18$  и  $2,95 at. \%$ ) и уменьшение доли магния на  $3,13 at. \%$ . Причиной этого являются меньшие температуры плавления оксидов железа и алюминия ( $1565^\circ C$  и  $2050^\circ C$ ) по сравнению с оксидом магния ( $2850^\circ C$ ), что приводит к повышению их концентраций в паре и, следовательно, в порошке.

Таким образом, был синтезирован нанопорошок  $3,3at. \% Fe:MgAl_2O_4$ , имеющий сложный фазовый состав. Причинами низкой производительности, вероятно, являются высокая прозрачность материала мишени для излучения и малый коэффициент его преломления. Авторы выражают благодарность Медведеву А.И., Дёминой Т.М. и Лисиенко Д.Г. за проведение анализов порошка.

1. Великанов С.Д., Зарецкий Н.А., Зотов Е.А., Казанцев С.Ю. и др., Квантовая электроника, 1, 11 (2016).
2. Великанов С. Д., Дормидонов А. Е., Зарецкий Н. А., Казанцев С. Ю. и др., Квантовая электроника, 9, 769 (2016).
3. Лисенков В.В., Осипов В.В., Платонов В.В., ЖТФ, 83, 78 (2013).
4. Осипов В.В., Лисенков В.В., Платонов В.В., Орлов А. Н. и др., ЖТФ, 84, 97 (2014).