

УДК 544.421.42

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕГИДРАТАЦИИ
ГЕЛЕВЫХ СИСТЕМ $\text{SiO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3\text{-Eu}_2\text{O}_3$

Н. А. ЧАН

Научный руководитель С. И. НИФТАЛИЕВ, д-р хим. наук, проф.
Воронежский государственный университет инженерных технологий
Воронеж, Россия

Силикатные системы нашли применение в процессах селективной сорбции, катализа, в качестве нанореакторов для синтеза различных материалов, оптических биосенсоров.

Оксид кремния можно получить из тетраэтоксисилана (TEOS), из различных глин и каолина. Наличие реакционно-способных силанольных групп ($\equiv \text{Si} - \text{OH}$) на поверхности частиц кремнезема позволяет регулировать их электроповерхностные свойства, агрегативную устойчивость, пористую структуру, модифицировать редкоземельными оксидами.

Материал, содержащий наночастицы $\text{SiO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3\text{-Eu}_2\text{O}_3$, малотоксичен и может быть использован в медицине в качестве контрастного вещества при проведении МРТ и яркого люминесцентного маркера для оптической визуализации.

В работе синтезировали систему $\text{SiO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3\text{-Eu}_2\text{O}_3$ в процессе гидролиза тетраэтоксисилана в водной среде. В 100 мл воды добавляли 0,1 М растворы солей $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$ и тетраэтоксисилан (ТЭОС) с различным соотношением оксидов $\text{SiO}_2 : \text{Gd}_2\text{O}_3 : \text{Eu}_2\text{O}_3$ (100:0:0; 95:3:2; 92:5:3; 90:6:4) [1]. Раствор нагревали до 45 °С в термостате с магнитной мешалкой. Полученные после перемешивания смеси высушивали при температуре 50 °С и оставляли на трое суток. Процессы термодеструкции изучали методами термогравиметрии (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на синхронном термическом анализаторе NETZSCH STA 449 F3 Jupiter в платиновых тиглях. Гелеобразные образцы нагревали в атмосфере азота от 20 °С до 500 °С со скоростью 5 °С/мин. Наблюдали наличие эндотермического эффекта, соответствующего процессу дегидратации (табл. 1). Наибольшая потеря воды происходит в интервале температур 30 °С...123 °С. Общая потеря влаги образцами составляет 88 %...93 %, что типично для гелей, синтезированных в водной среде [2].

По кривой ТГ рассчитывали степень превращения α и энергию активации процесса дегидратации системы для каждого соотношения компонентов по уравнению Аррениуса.

Самое высокое значение энергии активации – 40 кДж/моль дегидратации чистого геля оксида кремния. Самое низкое соответствует дегидратации

образца $\text{SiO}_2 : \text{Gd}_2\text{O}_3 : \text{Eu}_2\text{O}_3 = 95 : 3 : 2$. Обычно энергия активации для удаления свободной влаги находится в пределах 5...20 кДж/моль. Повышенные значения энергии активации процесса дегидратации говорят о том, что вода находится в связанном состоянии. По-видимому, вода удерживается в каркасе оксида кремния. Наблюдаемое снижение энергии активации при модифицировании оксида кремния оксидами РЗЭ говорит о том, что эти оксиды связываются с поверхностью оксида кремния и ускоряют процесс выхода влаги. Данный факт должен учитываться при разработке технологии сушки данного материала для удаления избытка влаги, которая в процессе эксплуатации может гасить люминесценцию.

Табл. 1. Результаты анализа гелей термическим методом

Образец $\text{SiO}_2 : \text{Gd}_2\text{O}_3 : \text{Eu}_2\text{O}_3$	Кривая ДСК	Кривая ТГ	Энергия активации E_a , кДж/моль
	Эндотермический эффект: комплексный пик, °С; тепловой эффект, Дж/г	Общая потеря массы, %	
100 : 0 : 0	46,6 °С...97,7 °С; 1277 Дж/г	88,11	40
95 : 3 : 2	30 °С...123 °С; 1771 Дж/г	93,39	30,13
92 : 5 : 3	36,1 °С...101 °С; 1255 Дж/г	92,89	32,33
90 : 6 : 4	46 °С...103,7 °С; 1258 Дж/г	91,83	34,44

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Niftaliev, S. I.** The synthesis of the system $\text{SiO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3\text{-Eu}_2\text{O}_3$ and research on the acid-base properties and kinetics of particle formation in this system / S. I. Niftaliev, I. V. Kuznetsova, N. A. Tran // Mater. Proc. – 2025. – Vol. 21, № 2.
2. Синтез наноразмерного оксида гадолиния / С. И. Нифталиев, И. В. Кузнецова, И. А. Саранов [и др.] // Физика и химия стекла. – 2019. – Т. 45, № 3. – С. 250–258.