**Морфология и люминесценция антистоксовых люминофоров NaYF4: Yb3+, Ho3+, дополнительно легированных ионами гадолиния (III), лютеция (III) и лантана (III)**

***Бетина А.А., Булатова Т.С., Носов В.Г., Богачёв Н.А.***

*Студент, 1 курс бакалавриата*

*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*химический факультет, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: betina.ann@yandex.ru*

Кристаллические наноматериалы, содержащие ионы редкоземельных элементов, вызывают интерес у современных учёных благодаря широкому спектру практического применения. Подобные наноматериалы используются в качестве люминесцентных термометров, фотокатализаторов и сенсоров биологически активных веществ. [1-3] Исследование эффекта со-легирования позволит адаптировать наноматериалы под определенные нужды, варьировать морфологию и люминесценцию наночастиц.

Целью данной работы стало изучение морфологии и люминесценции антистоксовых люминофоров NaYF4: Yb3+, Ho3+, дополнительно легированных ионами гадолиния (III), лютеция (III) и лантана (III).

Наночастицы были синтезированы гидротермальным методом при 180 ºС. Было показано, что образцы NaYF4: Yb3+, Ho3+ имеют гексагональную сингонию, структурный тип β-NaYF4. Анализ порошковых дифрактограмм показал, что при изоморфном замещении иттрия (III) гольмием (III) параметры элементарной ячейки практически не изменяются. Методом сканирующей электронной микроскопии был проанализирован размер полученных наночастиц, который также практически неизменен (около 680 нм).

Анализ спектра люминесценции показал, что при возбуждении на 973  нм образцы NaYF4: Yb3+, Ho3+ демонстрируют полосы люминесценции с максимумами при 541, 647 и 752 нм. Мольная доля Ho3+, соответствующая максимальной интенсивности люминесценции, составляет 2 ат.%. Затем частицы NaY0.78-xYb0.2Ho0.02F4 были дополнительно легированы гадолинием (III), лютецием (III) и лантаном (III).

При добавлении Gd3+ наблюдалось линейное увеличение объема элементарной ячейки и уменьшение размера наночастиц. При добавлении Lu3+ наблюдалось линейное уменьшение объема элементарной ячейки и увеличение размера наночастиц. Структурный тип сингонии не менялся. При добавлении La3+ изменение параметров элементарной ячейки было нелинейным, ввиду изменения фазы: при концентрации La3+ менее 40 ат.% объем элементарной ячейки уменьшался, при 40 ат.% наблюдалось смешение aфаз β-NaYF4 и LaF3. При 60 ат.% наблюдалась исключительно фаза LaF3. При этом размер β-NaYF4 увеличивался, а LaF3 имел значительно меньший размер.

При легировании частиц лантаноидами наблюдался рост интенсивности люминесценции, а затем концентрационное тушение. Механизм люминесценции не изменялся. При легировании Gd3+ и Lu3+ интенсивность люминесценции увеличивалась, и была максимальна при достижении 70 ат.% и 10 ат.% соответственно. При легировании La3+ интенсивность люминесценции уменьшалась.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных МД-1191.2022.1.3.*

**Литература**

1. Swieten T.P., Yu D., Yu T., Vonk S.J.W., Suta M., Zhang Q., Meijerink A., Rabouw F.T. Ho3+-based luminescent thermometer for sensitive sensing over a wide temperature range // Adv. Optical Mater. 2021. Vol. 9. N 1. P. 518.

2. Tou M., Mei Y., Bai S., Luo Z., Zhanga Y., Li Z. Depositing CdS nanoclusters on carbon-modified NaYF4:Yb,Tm upconversion nanocrystals for NIR-light enhanced photocatalysis // Nanoscale. 2016. Vol. 8. N 1. P. 553.

3. Hu J., Wang R., Fan R., Huang Z., Liu Y., Guo G., Fu H. Enhanced luminescence in Yb3+ doped core-shell upconversion nanoparticles for sensitive doxorubicin detection // Journal of Luminescence. 2020. Vol. 217. P. 812-834.