

ЗОЛЬ-ГЕЛЬ-СИНТЕЗ МОНОДИСПЕРСНЫХ ГЛОБУЛ КРЕМНЕЗЕМА МЕТОДОМ ШТОБЕРА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Лашковская Е.И., Хамаде Б.З.С., Вдовин П.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Н. В. Гапоненко – доктор. физ.-мат. наук

Аннотация. Синтезированы монодисперсные глобулы диоксида кремния методом Штобера. Рассмотрены перспективы применения синтетических опаловых матриц. Продемонстрирована ап-конверсионная люминесценция эрбия в суспензии $\text{SiO}_2/\text{BaTiO}_3(\text{Er}, \text{Yb})$.

Монодисперсные глобулы кремнезема размером около нескольких сотен нанометров синтезируются из раствора тетраэтоксисилана [1]. Глобулы кремнезема используются для получения натуральных и синтетических опалов – драгоценных камней, представляющих собой трехмерные фотонные кристаллы, оптические свойства которых могут быть модифицированы за счет введения в поры жидкостей, или применяя золь-гель синтез в порах [2–6]. Актуальность исследований синтеза и применения монодисперсных глобул и опаловых матриц на их основе сохраняется.

Методика эксперимента Для синтеза монодисперсных глобул кремнезема использовали этиловый спирт (этанол), тетраэтоксисилан $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4\text{Si}$, аммиак и дистиллированную воду. На рисунках 1а и 1б показаны СЭМ-изображения сфер после одноразового нанесения их раствора методом центрифугирования на предметное стекло и термообработки на воздухе при температуре 200 °С.

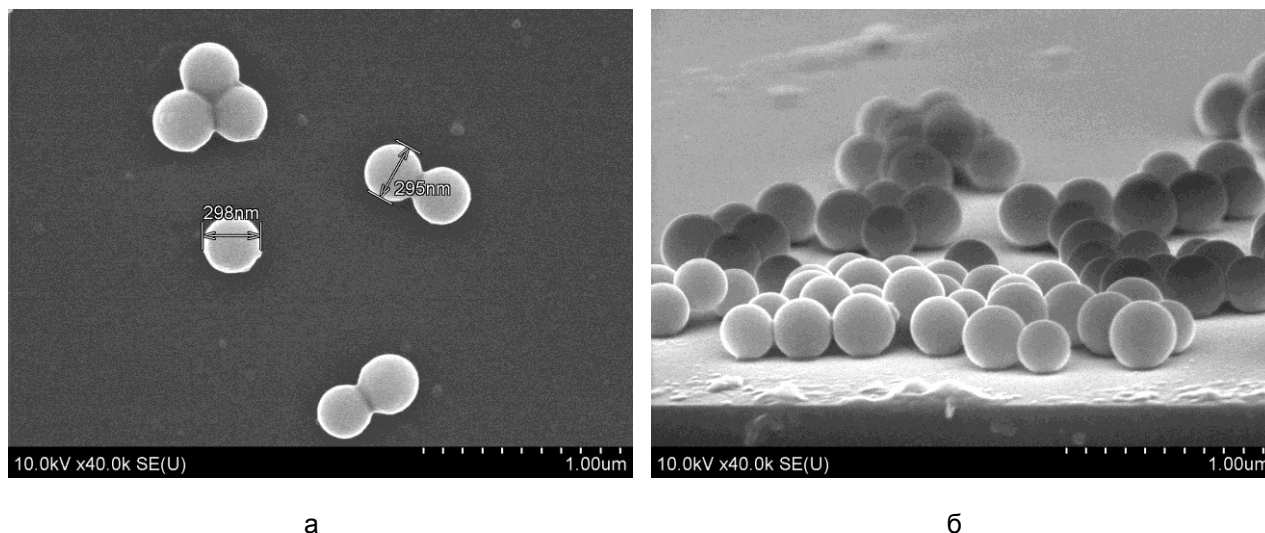


Рисунок 1 – СЭМ-изображение глобул диоксида кремния на предметном стекле: (а) – вид сверху; (б) – вид с торца подложки

Опаловые матрицы на воздухе обладают слабо выраженной иризацией из-за значительного диффузионного рассеяния. Опаловые матрицы пористые, образуя между своими шариками трёхмерное периодическое пространство с размерами пор около нескольких десятков нанометров. За счёт мезоскопической решётки пор, проникновение различных жидкостей в поры опаловой матрицы обеспечивает уменьшение диффузного рассеяния света, что вызывает яркую иризацию опаловой матрицы (рис. 2).

При смешивании раствора глобул с золей титаната бария, содержащим эрбий и иттербий, было получено матовое люминесцирующее покрытие (рис. 3 (а)). При возбуждении лазером с длиной волны 980 нм наблюдается ап-конверсионная люминесценция (рис. 3(б)) с наиболее интенсивными полосами на 410, 523, 546 и 658 нм, соответствующим переходам $^2\text{H}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$, $^2\text{H}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$, $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ и $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ трёхвалентных ионов эрбия [7].

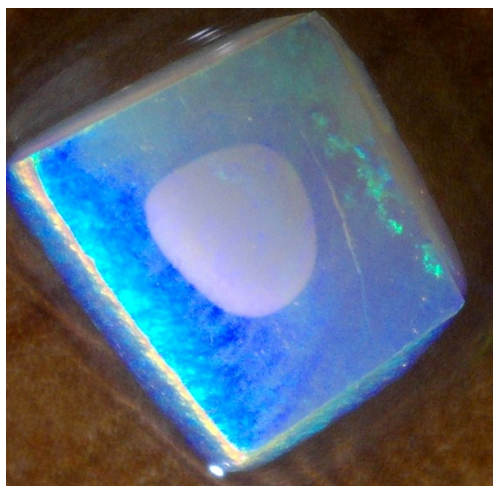
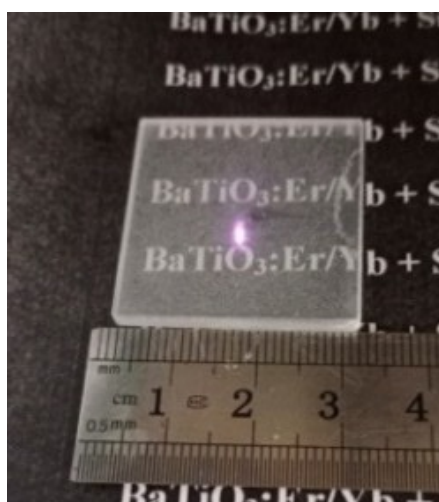
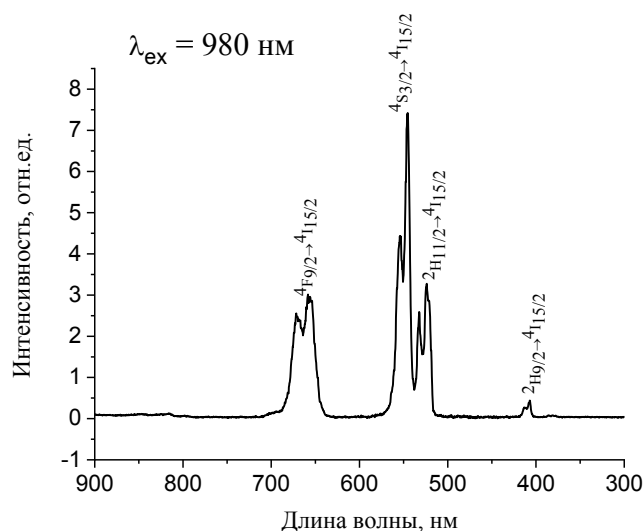


Рисунок 2 – Опаловая матрица, частично пропитанная этиловым спиртом.



а



б

Рисунок 3 – (а) - Фото люминесценции покрытия, нанесенного из суспензии (глобулы SiO_2 + золь $\text{BaTiO}_3\text{:Er:Yb}$) на кварцевое стекло, после термообработки при температуре 900°C , (б) – спектр ап-конверсионной люминесценции ионов эрбия

Заключение

Получены моодисперсные глобулы кремнезема из раствора тетраэтоксисилана с использованием метода Штобера. Формируемые глобулы могут быть использованы в сочетании с люминофорами как для разработки покрытий с эффектом ап-конверсионной люминесценции и визуализации ИК-излучения, так и для синтеза опаловых матриц, изменяющих рассеяние света и иризацию в зависимости от наполнителя пор.

Список использованных источников:

1. Stoeber, W. Controlled Growth of Monodisperse Silica Spheres in the Micron Size Range / W. Stoeber, A. Fink, E. Bohn // *J. Colloid Interface Science*. 1968. Vol. 26. P. 62–69.
2. Самойлович, М. И. Способ получения синтетического материала со структурой благородного опала: пат. Рос. Фед. № 2 162 456 C1 / М. И. Самойлович, С. М. Самойлович. Оpubл. 27.01.2001.
3. Towards 3D Photonic Crystals / V. M. Shelekhina [et al.] // *Synthetic Metals*. 2001. Vol. 124, No 1. P. 137–139.
4. Photonic Band Gap Phenomenon and Optical Properties of Artificial Opals / V. N. Bogomolov [et al.] // *Phys. Rev. E*. 1997. Vol. 55. P. 7619–7625.
5. Three-Dimensional Photonic Band Gap Structures Doped with Tb^{3+} Ions / N. V. Gaponenko [et al.] // *Physics, Chemistry and Application of Nanostructures: Reviews and Short Notes to Nanomeeting'2001*. 2001. P. 214–220.
6. Sol-Gel Derived Films in Mesoporous Matrices: Porous Silicon, Anodic Alumina and Artificial Opals / N. V. Gaponenko // *Synthetic Metals*. 2001. Vol. 124, No 1. P. 125–130.
7. Золь-гель-синтез моодисперсных глобул кремнезема и оптические свойства упорядоченных и неупорядоченных материалов на их основе / Н. В. Гапоненко [и др.] // *Доклады БГУИР*. 2024;22(6):21-28.