

УДК 620.3, 53.086

ЛАЗЕРНАЯ МИКРОСКОПИЯ ДВИЖЕНИЯ МАГНИТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ В КОЛЛОИДНОМ РАСТВОРЕ

Бородина Л.Н. (Университет ИТМО), Матюшкина А.А. (Университет ИТМО),

Вовк И.А. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д. ф.-м. н., с.н.с. Вениаминов А. В. (Университет ИТМО)

С использованием методики, реализованной на базе лазерного сканирующего конфокального микроскопа, измерена скорость дрейфа магнитолюминесцентных наноконпозитов с ядром из оксида железа и двумя полупроводниковыми оболочками в магнитном поле. Определен коэффициент диффузии наноконпозитов в коллоидном растворе и рассчитан их гидродинамический размер, отвечающий результатам, полученным методом динамического рассеяния света.

Введение. Синтетические наноразмерные композитные частицы, проявляющие не встречающееся у природных объектов сочетание люминесцентных и магнитных свойств, рассматриваются как очень перспективные системы для биовизуализации, тераностики, адресной доставки лекарств и гипертермии. Для определения размера наночастиц используют сканирующую электронную микроскопию и метод динамического рассеяния света, основанный на измерении коэффициента диффузии частиц. Метод восстановления люминесценции после фотообесцвечивания (Fluorescence Recovery After Photobleaching, FRAP), реализуемый с помощью как широкопольной, так и лазерной сканирующей микроскопии, широко используется для исследования микроскопической подвижности в биологических системах. Значительно реже этот подход применяется в материаловедении для получения количественных данных о подвижности молекулярных и наноразмерных объектов, и соответственно, информации об их размерах или микровязкости окружения.

Основная часть. Объектом исследования в настоящей работе является коллоидный раствор, магнитолюминесцентных наноконпозитов с суперпарамагнитным ядром из оксида железа Fe_3O_4 (SPION) и оболочками из селенида кадмия и сульфида цинка со средним гидродинамическим радиусом наноконпозита 7 нм; их спектр люминесценции имеет максимум на длине волны 625 нм и полуширину около 50 нм.

Для исследования движения наноконпозитов в растворе развивается и используется модифицированный метод исследования подвижности, основанный на создании фотоиндуцированной неоднородности интенсивности люминесценции и отслеживании динамики её пространственного распределения с течением времени. Такой подход к исследованию микроскопических движений позволит, в частности, разделять проявление диффузии и дрейфа наночастиц.

Суть метода состоит в следующем: в результате экспонирования актиничным излучением узкой полосы образца в ней изменяется квантовый выход люминесценции, затем поперечный пространственный профиль интенсивности люминесценции расширяется благодаря диффузионному перемешиванию экспонированных и неэкспонированных наночастиц, приобретая гауссову форму. По ширине профиля можно судить о скорости диффузии частиц, по смещению его центра – о дрейфе. Как экспонирование, так и анализ распределения интенсивности в пространстве после него осуществлялись с помощью лазерного сканирующего конфокального микроскопа LSM710 (Carl Zeiss) с диодным лазером 405 нм и низкоапертурным объективом Epiplan 5x/0.13, что способствовало обесцвечиванию и сбору света со всей толщины раствора 1 мм в спектроскопической кювете.

Коэффициент диффузии, определённый по результатам измерений, длившихся в течение 100 – 200 с, составил $90 \pm 8 \text{ мкм}^2 \text{ с}^{-1}$, что соответствует гидродинамическому радиусу $8 \pm 1 \text{ нм}$, близкому к определённому методом динамического рассеяния света.

Для выявления влияния магнитного поля на движение магнитнолюминесцирующих нанокompозитов экспонировалась полоса раствора, находящаяся на расстоянии 2,5 мм от постоянного магнита, который помещался вплотную перед кюветой с раствором. Напряжённость поля на таком расстоянии равна 0,15 Тл. Кроме диффузионного размывания экспонированной полосы, в растворе наблюдалось её смещение в магнитном поле со скоростью 20 мкм/с.

Выводы. На основе анализа изменений пространственного распределения интенсивности люминесценции фототрансформированной полосы определен коэффициент диффузии нанокompозитов в растворе и рассчитан их гидродинамический размер. Обнаружено направленное движение магнитнолюминесцирующих нанокompозитов с суперпарамагнитным ядром и определена скорость этого движения в неоднородном постоянном магнитном поле. Полученные результаты указывают на то, что исследованные нанокompозиты проявляют и люминесцентные, и магнитные свойства.

Примененный в настоящей работе экспериментальный метод исследования движения заслуживает большего внимания как универсальный подход к исследованиям наноматериалов, не ограниченный измерениями размера наночастиц, хотя и в этом узком применении он обладает преимуществами перед традиционным методом динамического рассеяния света.