

УДК 53.097

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ГИБРИДНОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА И КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ТРОЙНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАЗЛИЧНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Карамышева С.П.(Университет ИТМО), Рамазанова В.Р.(Университет ИТМО), Зюбин
А.А. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент, Орлова А.О.
(Университет ИТМО)

Введение. Гибридные структуры (ГС), состоящие из квантовых точек (КТ) и графена, являются перспективными материалами для создания фотоэлектрических, электрохимических и биосенсорных элементов на их основе [1]. Создание сенсорной системы на основе такого гибридного материала может позволить получить сенсор с различными типами регистрируемого сигнала. Классические КТ, к которым относятся CdSe/ZnS и CdTe, являются токсичными, поскольку в их составе присутствуют ионы тяжелых металлов, что ограничивает их применение для биомедицинских приложений, поэтому в настоящее время наблюдается переход к использованию биосовместимых КТ, например, КТ тройных соединений AgInS₂ (AIS) [2]. Комбинация AIS КТ с многослойными нанолентами графена (МНГ) позволит получить чувствительный компонент для создания на его основе экологичного сенсорного элемента. Однако для производства таких устройств требуется выбрать оптимальную архитектуру AIS КТ в составе ГС, что играет важную роль при исследовании оптических и фотоэлектрических свойств приведённой системы. Ранее было показано, что скорость переноса электрона максимальна для КТ наименьших размеров в подборке гибридных систем (ГС) состава PbS/CdS КТ /MoS₂, где различается диаметр ядра PbS, а оболочка CdS остаётся одинакового размера [3]. Здесь же необходимо упомянуть, что в структурах данного типа оптимизация лигандной оболочки на поверхности КТ позволяет существенно улучшить временные характеристики фотоотклика [4].

Основная часть. В данной работе были сформированы гибридные структуры, состоящие из многослойных нанолент графена и AIS КТ типа ядро и ядро/оболочка с оболочкой ZnS различной толщины (AIS/ZnS), и исследованы зависимости люминесцентных свойств данных структур от архитектуры КТ. На предыдущем этапе работы было показано, что нанесение монослоя AIS/ZnS КТ на поверхность слоя нанолент графена позволяет значительно увеличить проводимость структуры при ее освещении светом видимого диапазона за счет эффективного переноса энергии/заряда от КТ к графену. На данном этапе работы были исследованы люминесцентные свойства ГС в зависимости от свойств AIS КТ для установления «оптимальной» архитектуры квантовых точек (ядро или ядро/оболочка), при использовании которой можно одновременно исследовать не только изменение темновой и фотопроводимости, но и люминесцентного отклика при взаимодействии структуры с газообразным или жидким анализом. Основной целью исследования является выявление закономерности оптических и фотоэлектрических свойств структур в зависимости от архитектуры КТ: от наличия/отсутствия оболочки ZnS, а также от её толщины. Для этого были синтезированы гидрофильные ядра AIS и набор квантовых точек AIS/ZnS с тремя различными толщинами оболочки ZnS и осуществлена замена стабилизатора поверхности КТ. Для изучения описанных выше свойств были сформированы сухие слои упомянутого набора КТ при помощи метода Ленгмюр-Шеррера для изучения их спектров поглощения, стационарной люминесценции и кинетики затухания люминесценции КТ. Показано, что при переходе из водной среды к органической происходит сдвиг положения первого экситонного перехода для AIS КТ и трёх вариантов AIS/ZnS порядка 20 нм в область больших энергий. Положение максимума люминесценции при переводе КТ из одной среды в другую сдвигается в коротковолновую область. Также продемонстрировано, что наращивание оболочки ZnS на AIS КТ приводит к увеличению интенсивности фотолюминесценции (ФЛ) и сдвигу максимума полосы люминесценции на 135 нм в область больших энергий, а увеличение

толщины оболочки увеличивает квантовый выход люминесценции и сопровождается незначительным смещением полосы в длинноволновую область. Изучение кинетики затухания люминесценции показало характерные времена затухания: для одного из типов электронных переходов составляет 20-30 нс, двух других, являющихся долгоживущими, порядка 200 и 500-600 нс, соответственно. Установлено, что наращивание оболочки на ядра AIS приводит к увеличению времени затухания люминесценции для каждого типа наблюдаемых переходов. На основе полученных спектров стационарной люминесценции КТ, затухания люминесценции КТ в составе ГС и данных о фотоэлектрических свойствах ГС AIS/ZnS КТ/Графен было установлено наличие эффективного канала переноса энергии/заряда от AIS/ZnS КТ к многослойному графену. Установлено, что наличие монослоя AIS/ZnS КТ в составе ГС приводит к увеличению амплитуды фотоотклика ГС в 10 раз. Исследование кинетики затухания люминесценции ГС AIS/ZnS КТ/Графен на диэлектрической подложке в схеме полевого транзистора при постоянном напряжении на контактах сток-исток +5В и пошаговом его изменении на затворе от -40В до +40В приводит к небольшому перераспределению квантового выхода люминесценции среди подансамблей КТ.

Выводы. Таким образом, установленная зависимость люминесцентного отклика AIS квантовых точек в составе ГС от их архитектуры и толщины оболочки ZnS свидетельствует о том, что КТ AIS/ZnS с толщиной оболочки ZnS 5 нм соответствуют «оптимальной» архитектуре для получения гибридных структур на основе нанолент графена, поскольку их использование позволяет минимизировать влияние поверхностных дефектных состояний у КТ на их люминесцентные свойства в сухом слое и одновременно сохранить условия для эффективного переноса энергии от КТ к графену в составе структур. Данное исследование позволит подобрать наилучше подходящий вид AIS КТ для производства сенсора для детекции биомаркеров сердечно-сосудистых заболеваний или рака. Исследование было выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, госзадание № 2019–1080, и в рамках проекта ITMO.Collab «Детектирование "немых" биомаркеров» при поддержке Университета ИТМО.

Список использованных источников:

1. Cernat A., Tertiş M, Fritea L., Cristea C. Graphene in Sensors Design // *Advanced 2D Materials*. – Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. – 2016. – С. 387–431.
2. Chang J. Y., Wang G. Q., Cheng C. Y., Lin W. X., Hsu J. C. Strategies for photoluminescence enhancement of AgInS₂ quantum dots and their application as bioimaging probes // *Journal of Materials Chemistry*. – 2012. – Т. 22. – №21. – С. 10609-10618.
3. Chen J.-S., Li M., Wu Q., Fro, E., Tong X., Cotlet M. Layer-Dependent Photoinduced Electron Transfer in 0D–2D Lead Sulfide/Cadmium Sulfide–Layered Molybdenum Disulfide Hybrids // *ACS Nano*. – 2019. – Т. 13. – № 7. – С. 8461–8468.
4. Su nY. L., Xie D., Sun M. X., Teng C. J., Qian L., Chen R. S., Xian L., Ren T. L. Hybrid graphene/cadmium-free ZnSe/ZnS quantum dots phototransistors for UV detection // *Scientific Reports*. – 2018. – Т. 8. – № 1. – С. 5107
5. Xu Z., Hine C. R., Maye M. M., Meng Q., Cotlet M. Shell thickness dependent photoinduced hole transfer in hybrid conjugated polymer/quantum dot nanocomposites: From ensemble to single hybrid level // *ACS Nano*. – 2012. Т. 6. – № 6. – С. 4984–4992.