

УДК 538.958

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ГИБРИДНЫХ СТРУКТУР МНГ/CIS/ZnS

Тимкина Ю.А. (университет ИТМО), Резник И.А. (университет ИТМО), Дубовик А.Ю.
(университет ИТМО)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, доцент Орлова А.О.
(университет ИТМО)

Исследована зависимость интенсивности и кинетики затухания люминесценции гибридных структур на основе многослойных графеновых нанолент и монослоя квантовых точек CIS/ZnS от напряжения на затворе ($\pm 40\text{В}$) с шагом в 10 В и фиксированном напряжении на контактах сток-исток (0В; 5В). Анализ полученных данных выявил существенное изменение интенсивности и времен жизни люминесценции КТ на диэлектрической подложке в зависимости от напряжения на затворе и контактах.

Введение. Трехкомпонентные квантовые точки (КТ) CuInS₂ (CIS) с оболочкой ZnS являются перспективным материалом, который может рассматриваться как нетоксичная замена кадмиевым квантовым точкам. Благодаря квантовому размерному эффекту можно настраивать ширину запрещенной зоны, тем самым регулируя, положение полосы люминесценции и длинноволновой полосы поглощения. Биосовместимость позволяет использовать данные квантовые точки в биомедицине в качестве люминесцентных маркеров, а также в качестве доноров при переносе энергии фотовозбуждения. Поэтому необходимо более тщательное исследование фотофизических свойств и фотостабильности на различных подложках для выявления возможностей их применения. Например, как эффективных сенсоров для биомедицинских приложений и фотовольтаических устройств (детекторы и эмиттеры) для нанофотоники с использованием КТ данного типа.

Одним из материалов, который может быть использован как платформа для исследования фотофизических свойств квантовой точки, является графен. Графен является двумерным материалом с высокой проводимостью. Носители заряда в графене имеют большую мобильность, которую можно настраивать с помощью прикладываемого напряжения, так как при изменении напряжения на затворе меняется уровень Ферми. Тем самым можно настраивать эффективность переноса заряда от КТ к графену и подложке. Также существует зависимость эффективности тушения люминесценции КТ от количества слоев графена за счет увеличения количества безызлучательных переходов от КТ к графену. В данной работе проведено исследование фотофизических свойств квантовых точек CIS/ZnS на диэлектрической подложке и в составе гибридных структур с многослойными нанолентами графена (МНГ). Для исследования зависимости оптических параметров от напряжения была использована модель полевого транзистора.

Основная часть. В работе были использованы квантовые точки CIS/ZnS, синтезированные методом горячей инъекции и стабилизированные додекантиолом, имеющие ширину запрещенной зоны 1.5eV и максимум полосы люминесценции на 610 нм. Также были использованы МНГ, сформированные в N-метилпирролидоне при обработке в ультразвуковой ванне в течение 14 часов и характеризующиеся латеральными размерами 20–50 мкм, шириной 1–5 мкм и толщиной 10 нм производства Nacional de Grafite (Бразилия). Для создания исследуемого образца МНГ были нанесены с помощью метода Ленгмюр-Блоджетт на диэлектрическую кремниевую подложку, имеющую на поверхности проводящие контакты. Перенос сформированной на поверхности пленки МНГ на подложки происходил при силе поверхностного натяжения 41 мН/см. Для формирования гибридных структур МНГ/КТ на полученную подложку нанесен монослой CIS/ZnS. Квантовые точки отмывались от излишков стабилизатора методом осаждения. Осадок перерастворялся в

хлороформе. Затем с помощью методики нанесения пленок Ленгмюр-Блоджетт происходило нанесение КТ на подготовленную подложку. Формирование монослоя КТ и перенос его на подготовленную платформу проводился при достижении силы поверхностного натяжения 20 мН/см.

Было проведено исследование зависимости люминесценции CIS/ZnS от напряжения на затворе и контактах проводилось на конфокальном люминесцентном микроскопе LSM 710 (ZEISS, Germany). Области сканирования выбирались таким образом, что исследовался монослой квантовых точек CIS/ZnS, находящийся на диэлектрической подложке и на поверхности МНГ. Регистрация спектров люминесценции проводилась в двух режимах:

- При варьировании напряжения на затворе (± 40 В) с шагом в 10 В и фиксированном напряжении на контактах 0 В;
- При варьировании напряжения на затворе (± 40 В) с шагом в 10 В и фиксированном напряжении на контактах 5 В.

Также была исследована кинетика затухания люминесценции гибридных структур CIS/ZnS КТ от напряжения на затворе и на контактах. Сканирование проводилось на люминесцентном микроскопе MicroTime 100 (PicoQuant, Germany). Области сканирования также выбирались с учетом того, чтобы монослой квантовых точек CIS/ZnS находился на различных подложках. Регистрация спектров люминесценции проводилась в двух режимах:

- при варьировании напряжения на затворе (± 40 В) с шагом в 10 В и фиксированном напряжении на контактах 0 В;
- при варьировании напряжения на затворе (± 40 В) с шагом в 10 В и фиксированном напряжении на контактах 5 В.

Выводы. В ходе работы выявлена зависимость люминесцентных свойств CIS/ZnS КТ от напряжения на затворе и контактах. Установлена корреляция интенсивности люминесценции и времен жизни люминесценции от типа подложек при изменении параметров подводимого напряжения. При подаче напряжения на затвор отмечается повышение эффективности тушения люминесценции квантовых точек CIS/ZnS при возрастании напряжения от -40 В до +40 В. Наибольшая эффективность тушения люминесценции КТ достигается при напряжении смещения на затворе 40 В. При подключении фиксированного напряжения сток-исток на контакты, равного 5 В, падает общая интенсивность люминесценции КТ в обеих зонах. Это обусловлено появлением направленного движения зарядов в графене и подложке. В зоне МНГ/КТ данный эффект проявляется сильнее, так как в многослойных графеновых нанолентах выше подвижность зарядов, чем в диэлектрической подложке. При изменении напряжения на затворе от -40 В до +40 В наблюдается увеличение интенсивности люминесценции. Максимальная интенсивность люминесценции в обеих областях достигается напряжении на затворе равном 30 В. Такой эффект наблюдается за счет изменения подвижности зарядов и накопления зарядов на поверхности МНГ, что приводит к уменьшению ловушечных состояний в графене и за счет этого уменьшается вероятность переноса электрона от КТ на графену.