

УДК 538.958

ПЕРЕНОС ЗАРЯДА МЕЖДУ КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ PbS И НАНОПЛАСТИНКАМИ MoS₂

Мудрак А.С., Скурлов И. Д., Соколова А. В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – ведущий научный сотрудник ЦИОТ ИТМО к. ф. - м. н.
Литвин А.П.

Аннотация. В данной работе исследуется перенос заряда между квантовыми точками (КТ) сульфида свинца (PbS) и нанопластинками (НП) MoS₂. С помощью анализа затухания фотолюминесценции было изучено, как эффективность переноса заряда изменяется в зависимости от размера КТ, а также от расстояния между КТ и НП. Также было продемонстрировано, что в комплексах КТ PbS и НП MoS₂ наблюдается рост удельной проводимости и фотопроводимости по сравнению с пленками, состоящими из чистых КТ.

Введение. Дихалькогениды переходных металлов (ДПМ, примеры соединений: MoS₂, MoSe₂, WS₂) имеют слоистую структуру, в которой слои связаны друг с другом слабыми ван-дер-ваальсовыми взаимодействиями. Объёмные ДПМ являются непрямозонными полупроводниками, но при уменьшении их толщины до одного монослоя, становятся прямозонными полупроводниками. Это происходит из-за комбинации эффекта квантового ограничения и изменения гибридизации в ДПМ. В монослоях ДПМ по сравнению с объёмными ДПМ наблюдается увеличение квантового выхода фотолюминесценции. Другим преимуществом ДПМ является их исключительная подвижность носителей, что может быть использовано для создания эффективных полевых транзисторов и фотоприемников. Сравнительно недавно появились методы эксфолиации, позволяющие получать монослои ДПМ в достаточно большом количестве, что, вкуче с вышеописанными факторами и привело к возрождению интереса к ДПМ.

Известные ДПМ обладают широкой запрещённой зоной, и не могут эффективно поглощать инфракрасное излучение. КТ PbS, PbSe и HgTe напротив, обладают обширным поглощением во всем инфракрасном диапазоне. Следовательно, путем комбинирования ДПМ и КТ можно расширить спектральный диапазон фотоприемников в ИК-область, а также улучшить чувствительность таких устройств. Производительность данных устройств определяется эффективностью переноса заряда и/или энергии между КТ и ДПМ. В данной работе рассмотрено влияние различных факторов на перенос заряда между КТ PbS и НП MoS₂ а именно: размера квантовых точек и расстояния между КТ и НП. Также была исследована удельная проводимость и фотопроводимость подобных комплексов КТ PbS и НП MoS₂.

Основная часть. На эффективность переноса заряда между КТ и НП MoS₂ основное влияние оказывают относительное положение энергетических уровней, а также расстояние между частицами. Благодаря точному контролю количества монослоев MoS₂ можно изменять их запрещенную зону, скорости поглощения и эмиссии, а также тип проводимости. Существует еще больше способов для изменения свойств полупроводниковых КТ: варьирование их химического состава, размера и формы, а также замена их поверхностных лигандов. Также можно управлять расстоянием между КТ и MoS₂ путем контроля размера лигандов на поверхности КТ.

В данной работе использовались КТ PbS со средним размером 2,9 – 5,2 нм и НП MoS₂ с латеральными размерами менее 200 нм и толщиной 4 нм. КТ PbS, покрытые молекулами олеиновой кислоты (ОА, длина молекулы ~ 1,9 нм), были нанесены поверх плёнки MoS₂ методом центрифугирования. Затем расстояние между КТ PbS и нанопластинками MoS₂ контролировалось путем замены лигандов на серосодержащие органические кислоты различной длины, а именно: 3-меркаптопропионовая кислота (МРА, ~ 0,4 нм), 6-

меркаптогексановая кислота (МНА, ~ 1,1 нм), 8 -меркаптооктановая кислота (МОА, ~ 1,4 нм) и 11-меркаптоундекановая кислота (МУА, ~ 1,7 нм).

Эффективность переноса заряда оценивалась с помощью анализа сокращения времени затухания ФЛ КТ. Как и следовало ожидать, более короткое расстояние между наночастицами приводит к более выраженному динамическому тушению ФЛ. Сокращение расстояния между частицами приводит к увеличению перекрытия электронных волновых функций КТ и НП, тем самым повышая вероятность туннелирования заряда. Было обнаружено, что эффективность переноса снижается при увеличении размера КТ. При добавлении НП MoS₂ также наблюдается увеличение удельной проводимости и фотопроводимости полученного композитного материала по сравнению с плёнкой, состоящей только из КТ PbS.

Выводы. Было изучено влияние размера КТ и расстояния между КТ и НП на эффективность переноса заряда. Также было продемонстрировано, что комплексы КТ PbS - НП MoS₂ обладают превосходной проводимостью, которая увеличилась в 18 раз при освещении в ближнем инфракрасном диапазоне. Полученные результаты позволят использовать исследуемый комплекс для фотодетектирования ближнего ИК излучения.

Подпись

Мудрак А.С. (автор)

Скурлов И. Д. (соавтор)

Соколова А. В. (автор)

Литвин А.П. (научный руководитель)