

УДК 535.015

ЗАВИСИМОСТЬ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ НАНОПЛАСТИНОК PbSe ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Мудрак А.С. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – заведующий центром "Информационные оптические технологии" Университета ИТМО, к. ф. - м. н. Литвин А.П. (Университет ИТМО)

В данной работе исследовались спектральные и кинетические свойства фотолюминесценции (ФЛ) нанопластин (НП) PbSe, синтезированных методом катионного обмена. Измерения ФЛ проводились в диапазоне температур 78–300 К и их результаты сравнивались с результатами, полученными для НП CdSe и квантовых точек (КТ) PbSe. Были исследованы факторы, влияющие на увеличение ширины полосы ФЛ.

Введение. Коллоидные нанопластины (НП) — это новый тип полупроводниковых двумерных нанокристаллов, преимущество которых – сохранение двумерного пространственного ограничения. Дискретное варьирование толщины НП приводит к гораздо меньшим значениям неоднородного уширения линии ФЛ, что выражается в крайне узкой (по сравнению с квантовыми точками) ширине полос ФЛ. Благодаря указанным свойствам коллоидные НП PbSe являются многообещающими материалами для создания светодиодов в ближней инфракрасной (ИК) области.

Для эффективного использования полупроводниковых коллоидных НП халькогенидов свинца в ближнем ИК диапазоне в области создания светодиодов с широко настраиваемыми длинами волн излучения, необходимо понять механизмы, приводящие к уширению спектральных линий. Изучение температурных зависимостей параметров ФЛ – универсальный инструмент для понимания энергетической структуры наноматериалов и механизмов излучательной и безызлучательной рекомбинаций. Кроме того, исследование температурных зависимостей ФЛ представляет не только фундаментальный интерес для понимания механизмов релаксации энергии, но и позволяет проанализировать возможность практического применения наноматериалов в такой области, как люминесцентная нанотермометрия. Высокий квантовый выход ФЛ в ближнем ИК-диапазоне от 0D и 2D наноструктур на основе халькогенидов свинца в сочетании с большими коэффициентами температурного сдвига положения пика ФЛ делают их перспективным кандидатом для конкуренции с имеющимися материалами.

В данной работе был проведен анализ спектральных и кинетических свойств ФЛ НП PbSe толщиной в четыре монослоя. Измерения ФЛ проводились в диапазоне температур 78–300 К.

Основная часть. В работе исследовались НП PbSe, синтезированных методом катионного обмена из НП CdSe. Спектры поглощения НП PbSe были измерены в коллоидной фазе с помощью спектрофотометра Shimadzu UV3600. Спектры ФЛ в ближнем ИК-диапазоне были получены на оригинальной установке с возбуждением гелий-неоновым лазером на длине волны 633 нм. Для исследования времен жизни ФЛ НП PbSe использовался однофотонный лавинный диод, синхронизированный с импульсным лазером с длиной волны 635 нм. Для исследования температурных зависимостей ФЛ НП были заключены в матрицу из пористой бумаги и помещались в криостат с азотным охлаждением. Измерения ФЛ проводились в диапазоне температур 78–300 К.

Время жизни ФЛ НП PbSe сокращается с понижением температуры, что объясняется эффектом «гигантской силы осциллятора». В пользу этого также свидетельствует рост интегральной интенсивности ФЛ при понижении температуры. Спектры ФЛ, записанные при различных температурах, демонстрируют заметную асимметрию и могут быть описаны суммой двух пиковых функций. При этом более высокоэнергетический пик описывается функцией Фойгта и объясняется излучением с края запрещенной зоны. Низкоэнергетический же пик описывается функцией Гаусса и обусловлен наличием поверхностных состояний в НП. Последнее подтверждается тем фактом, что относительная интенсивность

низкоэнергетического пика выше для НП, осажденных и очищенных на атмосферном воздухе, чем для НП, обработанных в инертной атмосфере. Было показано, что НП PbSe и CdSe демонстрируют схожие величины и формы температурной зависимости однородного уширения ФЛ. При этом у НП PbSe значительно более высокие значения полуширины основного максимума ФЛ. Это показывает, что уширение спектра ФЛ НП PbSe не связано с внутренними механизмами излучения, а связано с неоднородным уширением.

На неоднородное уширение влияют следующие факторы: сильная дисперсия НП по размерам, а также формирование локальных ансамблей НП из-за сильного Ван-дер-Ваальсова взаимодействия, которые изменяют их оптические свойства. Вторым фактором может быть наличие дефектов в кристаллической решётке, возникающих в результате перестройки решётки в ходе реакции катионного обмена. Третьим фактором являются неглубокие ловушечные состояния, формирующие континуум подуровней рядом с краем запрещённой зоны, тем самым внося свой вклад в уширение полосы ФЛ.

Выводы. В данной работе было проведено комплексное исследование ФЛ нанопластин PbSe толщиной 4 монослоя, полученных методом катионного обмена. Продемонстрировано, что помимо основного максимума ФЛ, связанного с излучением с края запрещённой зоны, присутствует дополнительная полоса ФЛ с меньшей энергией, чье положение и интенсивность также зависит от температуры. Показано, что данная полоса ФЛ более выражена для НП, обработка которых проводилась в условиях атмосферного воздуха, что подтверждает связь данной полосы ФЛ с ловушечными состояниями. Большая ширина основной полосы ФЛ нанопластин PbSe связана с высоким значением неоднородного уширения, в то время как значение однородного уширения близко к наблюдаемому для НП CdSe. Также рассмотрены возможные механизмы, приводящие к увеличению неоднородного уширения в НП PbSe.