

МОДИФИКАЦИЯ НАНОПЛАСТИН ХАЛЬКОГЕНИДОВ РТУТИ И СВИНЦА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИМИ ОТКЛИКАМИ

Соколова А.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к. ф.-м. н., Черевков С.А.
(Университет ИТМО)

Благодаря уникальным перестраиваемым оптоэлектронным свойствам двумерные полупроводниковые наноматериалы химического состава A_2B_6 значительно выделяются среди других наноструктур с планарной геометрией. Для получения 2D тройных нанокристаллов ближней инфракрасной (ИК) области спектра с настраиваемыми свойствами была использована методика катионного обмена, которая может быть реализована как в самих нанокристаллах, так и в различных гетероструктурах на их основе. Полученные нанопластины были исследованы с помощью люминесцентной и абсорбционной спектроскопии, а также методами атомно-силовой, просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии.

Введение. Двумерные наноматериалы химического состава A_2B_6 и особенно гетероструктуры на их основе значительно выделяются среди других планарных наноструктур благодаря своим уникальным оптоэлектронным свойствам. Для варьирования положения пика фотолюминесценции (ФЛ) нанопластин (НП) могут использоваться различные подходы, такие как: допирование, создание аллоидных наноструктур, гетероструктур, а также смешанные подходы. Все вышеперечисленные методики широко исследованы для наноструктур на основе кадмия, люминесцирующих в видимом спектральном диапазоне, однако практически не применимы в ИК диапазоне поскольку халькогениды кадмия, ртути и свинца образуют различные кристаллические решетки. Кроме того, опубликованные исследования по прямому получению двумерных нанокристаллов (НК) халькогенидов свинца показывают, что они не отличаются стабильностью, высоким химическим выходом и качеством оптических откликов, поэтому не подходят для создания гетероструктур на их основе. Ввиду обозначенных проблем, для получения НП ближнего инфракрасного диапазона с настраиваемыми свойствами наиболее подходящим является метод полного или частичного катионного обмена, который может быть реализован в том числе на различных гетероструктурах.

Основная часть. Для получения двумерных НП тройного состава были разработаны два подхода: направленное частичное замещение ионов ртути в нанопластинах $HgTe$ на свинец и метод катионного обмена кадмия на свинец в гетероструктурах типа ядро/оболочка и ядро/крылья на основе $CdSe/CdS$. Разработанные методики замещения позволяют синтезировать НП тройного состава ближнего ИК диапазона, в том числе гетероструктурированные, на основе халькогенидов ртути и свинца с сохранением исходных размеров, не приводящих к их деградации в процессе замещения, что было подтверждено результатами просвечивающей электронной (ПЭМ), сканирующей электронной (СЭМ) и атомно-силовой микроскопии (АСМ).

Морфология поверхности НП $HgPbTe$ была исследована с помощью АСМ на поверхности слюды. Установлены продольные размеры и толщина отдельных НП, которые составляют ~ 110 нм и $\sim 1,8$ нм, соответственно. При этом после проведения частичной замены положение максимумов поглощения НП тройного состава оставалось неизменным. В спектре ФЛ при малых процентах концентрации свинца (1–2%) в ансамбле наблюдалась полоса ФЛ НП $HgTe$ (830 нм), исчезающая при увеличении процента допирования, а также дополнительная полоса ФЛ с положением на длине волны ~ 1000 нм, сдвигающаяся дальше в ИК область при увеличении процентной доли свинца. При увеличении доли свинца выше 5% происходила потеря коллоидной стабильности. Было проведено исследование времён затухания ФЛ НП $HgPbTe$. При увеличении процентного содержания свинца наблюдалось незначительное сокращение усреднённого времени затухания. Исследование температурной зависимости ФЛ

НП HgPbTe выявило, что при уменьшении температуры происходит уменьшение полуширины и сокращение времени жизни ФЛ, а также наблюдается нехарактерное для НП уменьшение интенсивности ФЛ, что требует дальнейшего более детального исследования.

Аналогичные исследования были проведены и для гетероструктур PbSe/PbS. На основе СЭМ изображений были определены геометрические характеристики полученных двумерных кристаллов. Так, НП имеют прямоугольную форму с типичными размерами ~ 180 на 90 нм для PbSe/PbS ядро/крылья и 50 нм на 20 нм для PbSe/PbS ядро/оболочка. Было установлено, что образец ядро/оболочка имеет лучший контраст и более ровные края, что говорит о качестве кристаллической структуры. Исследование оптических характеристик двумерных гетероструктур тройного состава на основе халькогенидов свинца показало, что спектры поглощения, ФЛ и кинетика затухания ФЛ гетероструктур PbSe/PbS типа ядро/крылья и ядро/оболочка следуют тем же тенденциям, что и для исходных НП CdSe/CdS: положение максимума ФЛ для НП PbSe/PbS типа ядро/крылья находится на приблизительно той же длине волны, что и для НП PbSe (1300 нм и 1305 нм, соответственно), в то время как максимум ФЛ PbSe/PbS ядро/оболочка находится в более длинноволновой части ближней ИК области спектра (~1600 нм). Для обеих гетероструктур наблюдается типичное увеличение времен жизни ФЛ относительно НП PbSe, а именно 1180 ± 10 нс и 2450 ± 60 нс для гетероструктур ядро/крылья и ядро/оболочка, соответственно. Было продемонстрировано, что аналогично случаю НП PbSe, асимметрия спектров ФЛ гетероструктур PbSe/PbS проявляется в виде более низкоэнергетического излучения с ловушечных состояний. Квантовый выход полученных гетероструктур составил 0,8% и 0,9% для гетероструктур ядро/оболочка и ядро/крылья, соответственно.

Выводы. С помощью метода частичного и полного катионного обмена в квантовых НП и гетероструктурах на их основе были получены двумерные нанопластины тройного состава с настраиваемыми оптическими откликами в ближнем ИК диапазоне, которые были исследованы с помощью люминесцентной и абсорбционной спектроскопии, а также методами атомно-силовой, просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии.