Ван-дер-ваальсовы наногетероструктуры на основе монокалькогенидов GaSe и InSe

Шубина Т.В.¹, Беляев К.Г.¹, Сорокин С.В.¹, Авдиенко П.С.¹, Рахлин М.В.¹, Галимов А.И.¹,
Торопов А.А.¹, Кириленко Д.А.¹, Давыдов В.Ю.¹, Смирнов А.Н.¹, Седова И.В.^{1,2},
Иванов С.В.¹

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

² L2C, UMR 5221 CNRS-Université de Montpellier, F-34095, France

DOI 10.34077/Semicond2019-212

Ван-дер-ваальсовы гетероструктуры, активно изучаемые в последнее время [1], представляют собой, как правило, монослои 2D кристаллов, набираемые в стопку методом эксфолиации («скотч» технологией). Мы представляем наногетероструктуры на основе монокалькогенидных соединений GaSe и InSe, созданные ван-дер-ваальсовой разновидностью метода молекулярно-пучковой эпитаксии [2]. В зависимости от ростовых параметров морфология сформированных структур может быть либо планарной, либо состоять из массива наноплателетов. Состав и политип выращенных образцов были установлены методом комбинационного рассеяния света. Интегральные спектры фотолюминесценции (ФЛ), измеренные при различных уровнях возбуждения в широком температурном диапазоне, показали экситонный характер излучения, близкий к наблюдаемому нами в пластинках, сколотых от качественных объемных кристаллов.

Наногетероструктуры на основе InSe представляют собой планарные вставки, обогащенные атомами In, в матрицах из Se-содержащих соединений A_3B_6 и A_2B_6 . Они демонстрируют ФЛ значительно выше по энергии, чем 1.3-эВ излучение из объемных кристаллов InSe. В GaSe образцах наиболее яркая люминесценция наблюдалась в массивах наноплателетов. Исследование методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) выявили в таких структурах наличие вставок Ga_2Se_3 (рис. 1a). Вакансионно-упорядоченное соединение Ga_2Se_3 имеет структуру сфалерита, где треть позиций галлия не заполнена и представляет собой структурные вакансии, формирующие супер-ячейку в направлении оси [011]. Спектроскопия микро-ФЛ таких образцов продемонстрировала наличие узких линий экситонной ФЛ на верхне-энергетическом краю спектра излучения, не наблюдавшихся ранее. Эти линии практически полностью линейно поляризованы (рис. 1b) с диаграммой направленности излучения в пределах $\pm 20^\circ$. Их принадлежность к прямозонным вставкам Ga_2Se_3 подтверждена измерениями микро-ФЛ с временным разрешением, показавшими характерные времена затухания излучения порядка 1 нс, тогда как непрямозонный GaSe характеризуется временами затухания в десятки нс.

В совокупности полученные данные впервые продемонстрировали возможность создания методом ван-дер-ваальсовой эпитаксии наногетероструктур на основе родственных халькогенидных соединений, таких как Ga_2Se_3 и GaSe, а также традиционных гетероструктур из разнородных соединений, обладающих уникальными оптическими свойствами.

[1] Novoselov K.S. et al., *Science* **343**, 461 (2016).

[2] Сорокин С.В. и др., ФТП (2019) в печати.

Рис. 1. – (a) ПЭМ изображение наногетероструктур $Ga_2Se_3/GaSe$. (b) Карта интенсивности поляризации узких линий ФЛ в полном угловом диапазоне.