**Нелинейные оптические свойства тонких пленок селенида галлия**

**Самсонов М.А.**

студент

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,физический факультет, Москва, РоссияE–mail: maxson2708@mail.ru

Выдающиеся электронные характеристики графена вдохновили ученых на поиск новых двумерных слоистых материалов с подобными уникальными свойствами. В последние годы особый интерес представляют монохалькогениды постпереходных металлов [1]. Эти двумерные материалы имеют слоистую структуру с сильными связями внутри слоёв и слабыми Ван-дер-Ваальсовыми взаимодействиями между слоями. Благодаря этому свойству возможно создание слоев данных материалов толщиной в одну элементарную ячейку кристаллической структуры.

Селенид галлия является слоистым полупроводником с непрямой запрещенной зоной, однако из-за небольшой разницы между энергиями прямой и непрямой запрещенной зоны [2] (25 мэВ) прямой переход важен для рекомбинации носителей заряда при температурах выше 50 K. Это открывает возможности для применения GaSe в оптоэлектронных устройствах, таких как лазеры [3] и фотодетекторы [4]. Тем не менее, исследования показывают, что GaSe обладает характерными чертами полупроводников с непрямой запрещенной зоной, что указывает на наличие сложных электронных переходов и разнообразие характеристик данного слоистого материала. Таким образом, для применения селенида галлия в современных технологиях необходимы дальнейшие исследования его свойств для более глубокого понимания электронной структуры и оптических характеристик этого материала

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию нелинейных оптических свойств тонких плёнок селенида галлия. Образцы GaSe были получены методом механического расслоения объемного материала. Возбуждение образцов осуществлялось импульсами второй и третьей гармоники Nd3+:YAP-лазера (360 нм, τ = 10 нс), а зондирование – фотолюминесценцией (ФЛ) органических красителей (Кумарин-7 и Китон Ред). Также проводилось исследование особенностей двухфотонной ФЛ и генерации второй гармоники при возбуждении излучением фемтосекундного лазера (SolarLS FL300, λ=1026 нм, τ = 320 фс).

В плёнках GaSe обнаружено просветление на длине волны 620 нм (2 эВ) при возбуждении 10 нс импульсами на длине волны 360 нм (Рис.1b) и 540 нм (Рис.1e) объяснено заполнением фазового пространства экситонов. На основе измеренных спектров ФЛ пленок GaSe выделены две полосы излучения (Рис.1c). Установлено, что коротковолновая составляющая ФЛ (623 нм, 1,990 эВ) связана с излучательной рекомбинацией прямого экситона, длинноволновая (645 нм), смещенная на 68 мэВ (1,922 эВ), – с излучательной рекомбинацией непрямого экситона с участием LO-фонона. При возбуждении образца излучением с длиной волны 540 нм помимо вышеуказанных полос ФЛ обнаружена особенность в области 633 нм (1,959 эВ) (Рис.1e). Превосходящий рост интенсивности и сдвиг (31 мэВ) в длинноволновую область данной полосы ФЛ с увеличением интенсивности возбуждения по сравнению с ФЛ, связанной с прямым экситонным переходом, а также учитывая разницу между энергией прямой и непрямой запрещённой зоны в GaSe (25 мэВ) и энергии связи прямого экситона (20 мэВ), в совокупности может указывать на излучательную рекомбинацию свободных электронов и дырок на непрямом переходе с испусканием TO-фонона (26,5 мэВ).

При возбуждении пленки GaSe фемтосекундными импульсами на длине волны 1026 нм обнаружена генерация второй гармоники. В работе представлена зависимость интенсивности второй гармоники от интенсивности накачки, характеризуемая квадратичным ростом.

На основе измеренных спектров двухфотонной ФЛ обнаружена особенность в области 612 нм (2.026 эВ), которая может быть связана с излучательной рекомбинацией свободных электронов и дырок на прямом переходе.



Рис.1. . Спектры линейного и нелинейного пропускания (а,d), дифференциального пропускания (b,e) и ФЛ (c,f) плёнок селенида галия при возбуждении на длине волны 360 нм (a, b, c) и 540 нм (d, e, f).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 24-12-00020

Литература:

1. Isik, M.; Sarigul, N.; Gasanly, N., Thermoluminescence characteristics of GaSe and Ga2Se3 single crystals // *Journal of Luminescence* **2022,** *246*, 118846.
2. Capozzi, V.; Pavesi, L.; Staehli, J. L., Exciton-carrier scattering in gallium selenide // *Physical Review B* **1993,** *47* (11), 6340.
3. Chen, Z.; Chen, Q.; Chai, Z.; Wei, B.; Wang, J.; Liu, Y.; Shi, Y.; Wang, Z.; Li, J., Ultrafast growth of high-quality large-sized GaSe crystals by liquid metal promoter // *Nano Research* **2022,** *15* (5), 4677-4681.
4. Yu, Q.; Liu, F.; Zhang, Y.; Deng, H.; Shu, B.; Zhang, J.; Yi, T.; Dai, Y.; Fan, C.; Su, W., Lab‐on‐Fiber Based on Optimized Gallium Selenide for Femtosecond Mode‐Locked Lasers and Fiber‐Compatible Photodetectors //*Advanced Photonics Research* **2023,** *4* (4), 2200283.