

Сборник тезисов конференции

Фотоница-2024



Санкт-Петербургский
государственный университет

25 октября 2024 года

Международная молодежная конференция «Фотоница-2024» прошла 25 октября 2024 года. Конференция посвящена исследованиям в области взаимодействия света с веществом. На ней были заслушаны устные доклады студентов и аспирантов, а также приглашенный доклад руководителя Лаборатории кристаллофотоники СПбГУ проф. Константиноса Стомпоса.

Тематика конференции:

- Энергетическая фотоника
- Информационная фотоника
- Фундаментальные вопросы взаимодействия света с веществом
- Химия и нанотехнологии в фотонике

Программный комитет:

- Председатель – Стомпос Константинос, руководитель Лаборатории кристаллофотоники СПбГУ
- Капитонов Юрий Владимирович, к. ф-м. н., доцент СПбГУ
- Чижов Юрий Владимирович, д. ф-м. н., профессор СПбГУ
- Емелин Алексей Владимирович, д. ф-м. н., профессор СПбГУ

Организационный комитет:

- Капитонов Юрий, yury.kapitonov@spbu.ru
- Мурзин Алексей, st049051@student.spbu.ru

Конференция проведена в соответствии с приказом СПбГУ 2499/1 от 13.03.2024.

Программа конференции «Фотоница-2024»

25 октября 2024 года

9:50	Открытие конференции	
10:00	Проф. Константинос Стомпос, руководитель Лаборатории кристаллофоники СПбГУ Halide Perovskites: Crystal Chemistry and Untapped Potential in Optoelectronics	
10:30	Самсонова А.Ю.	Катодолюминесценция монокристалла галогенидного перовскита MAPbCl ₃
10:45	Шевага Н.И.	Катодолюминесценция доменов и доменных стенок в кристаллах MAPbCl ₃
11:00	Дерибина Е.И.	Эпитаксия квантовых точек GaAs/AlGaAs разной плотности
11:15	Максимов М.А.	Когерентная динамика экситонов в тонкой квантовой яме GaAs/AlGaAs
11:30	Кофе-брейк	
11:45	Башегурова Е.А.	Уменьшение расщепления тяжело- и легкодырочного экситона в тонких неглубоких InGaAs/GaAs ямах
12:00	Мурзин А.О.	Лазерная генерация в квази-2D перовскитах Раддлсдена-Поппера BA ₂ MA ₂ Pb ₃ I ₁₀
12:15	Назаров Р.С.	Свободные экситоны в тонких плёнках MAPbI ₃ , исследованные методом четырёхволнового смешения
12:30	Теслина П.П.	Исследование фотолуминесценции перовскитных квантовых точек CsPbBr ₃ во фторфосфатной стеклянной матрице
12:45	Обед	
14:00	Мамаева М.	Observation of biexciton in 3D halide perovskite
14:15	Сатикова Е.А.	Исследование цеолита Ag-mog-60 методом ИК-спектроскопии
14:30	Бутюгина А.А.	Моделирование методом теории функционала плотности цвиттерионной структуры валина и его рамановских спектров
14:45	Шумицкая А.А.	Водные дисперсии наночастиц на основе сопряжённых донорно- акцепторных органических материалов для биомедицинского применения
15:00	Заккрытие конференции	

Уменьшение расщепления тяжело- и легкодырочного экситона в тонких неглубоких InGaAs/GaAs ямах

Башегурова Е.А., Капитонов Ю.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники

В модели частицы в потенциальной яме с бесконечными стенками по мере уменьшения толщины квантовой ямы (КЯ) растет расщепление тяжело- (X_{hh}) и легкодырочного (X_{lh}) экситона, что так же верно для КЯ GaAs/Al_{0,3}GaAs. Это явление объясняется разной эффективной массой, а значит разной энергией квантования, для легких и тяжелых дырок проводимости. Однако, в случае неглубоких потенциальных ям может проявляться обратный эффект, для исследования которого лучше всего подойдет образец, в котором содержатся КЯ с одним процентом содержания индия и разными толщинами. Для соотнесения резонансов в спектре фотолюминесценции (ФЛ) образца с КЯ разной толщины было проведен эксперимент по возбуждению ФЛ образца.

Исследуемый образец с тремя КЯ In(2-3%)GaAs/GaAs, толщиной 2, 3 и 4 нм, был помещен в камеру криостата ($T = 10\text{K}$). При использовании перестраиваемого непрерывного лазера, был получен спектр возбуждения ФЛ образца (Рис. 1а).

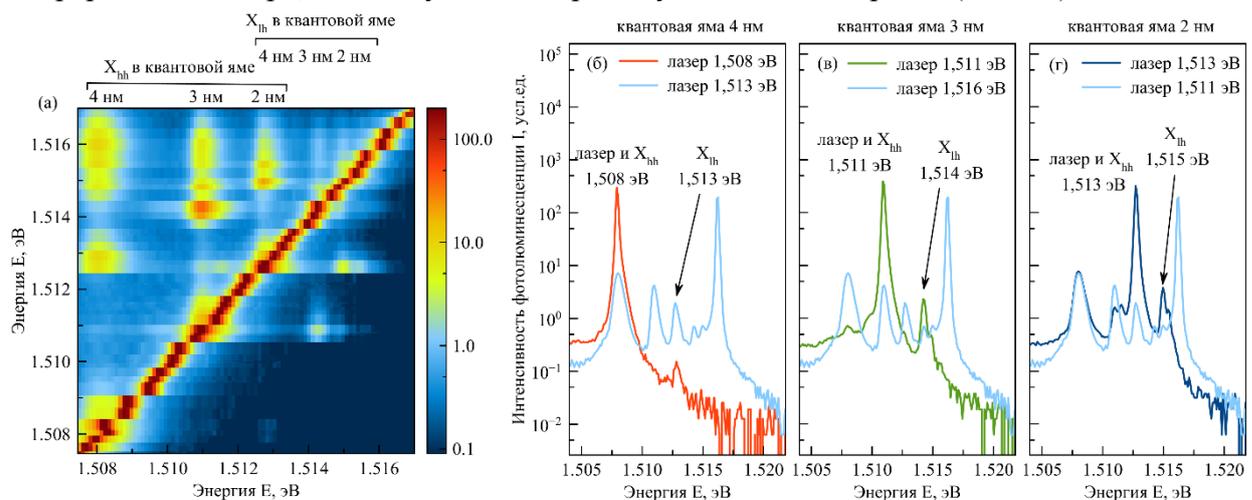


Рис. 1. (а) спектр возбуждения ФЛ, $T = 10\text{ K}$; (б), (в), (г) спектр ФЛ и антистоксовой люминесценции для КЯ 4, 3 и 2 нм соответственно.

При рассмотрении энергий полос ФЛ для отдельных КЯ был замечен искомый эффект: при уменьшении толщины КЯ уменьшается расщепление X_{hh} и X_{lh} (рис. 1б, 1в, 1г). Следующим этапом данного исследования станет построение модели квантования уровней энергии частицы в потенциальной яме с конечными стенками.

Благодарности: Работа выполнена на оборудовании ресурсного центра СПбГУ «Нанопотоника». Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Мегагрант № 075-15-2022-1112).

Моделирование методом теории функционала плотности цвиттерионной структуры валина и его рамановских спектров

Бутюгина А.А., Крауклис И. В.

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет

Физико-химические и спектральные свойства α -аминокислот в водной среде определяются их цвиттерионной структурой с разделёнными зарядами ($\text{NH}_3^+ - \text{CHR} - \text{COO}^-$, где R - боковой радикал). В отличие от простейших аминокислот, при моделировании цвиттерионного состояния валина необходимо рассматривать возможные структурные конформеры, которые возникают благодаря вращению разветвленного бокового радикала $-\text{C}_\beta\text{H}-(\text{C}_\gamma\text{H}_3)_2$. Для выявления цвиттерионных конформеров валина проводилось сканирование ППЭ по углу поворота $\varphi(\angle\text{N}-\text{C}_\alpha-\text{C}_\beta-\text{H})$ боковой цепи относительно одинарной связи $\text{C}_\alpha-\text{C}_\beta$. Эти расчеты показали наличие трёх локальных минимумов при углах поворота $\varphi \approx 50^\circ, 180^\circ, 310^\circ$ (рис. 1а); глобальный минимум соответствует цвиттериону **Val_ZW1**. Далее геометрия этих цвиттерионов была полностью оптимизирована в рамках континуальной модели водного растворителя (PCM).

При квантово-химическом моделировании цвиттерионов, помимо большого числа структурных конформеров, необходимо учитывать водную среду. В рамках дискретно-континуальной модели водной оболочки были предложены и рассчитаны цвиттерионные конформеры валина с 6 молекулами воды, одна из которых является мостиком между группами $-\text{NH}_3^+$ и $-\text{COO}^-$, а другие добавлялись с учетом насыщения свободных водородных связей этих функциональных групп. Боковой радикал $-\text{C}_\beta\text{H}-(\text{C}_\gamma\text{H}_3)_2$ является гидрофобным. Согласно этим расчетам, молекулярная система **Val_ZW3 + 6H₂O** оказалась наиболее стабильной благодаря дополнительной стабилизации водородных связей. Это указывает на необходимость учитывать все цвиттерионные конформеры валина при интерпретации спектральных данных. На рис. 1б представлено сравнение экспериментального КР спектра и рассчитанных рамановских спектров для трёх цвиттерионных конформеров валина с 6 молекулами воды; обнаружено хорошее согласие.

Все расчёты выполнялись с помощью пакета GAUSSIAN 16 [1], установленного на Huawei кластере Вычислительного центра СПбГУ [2].

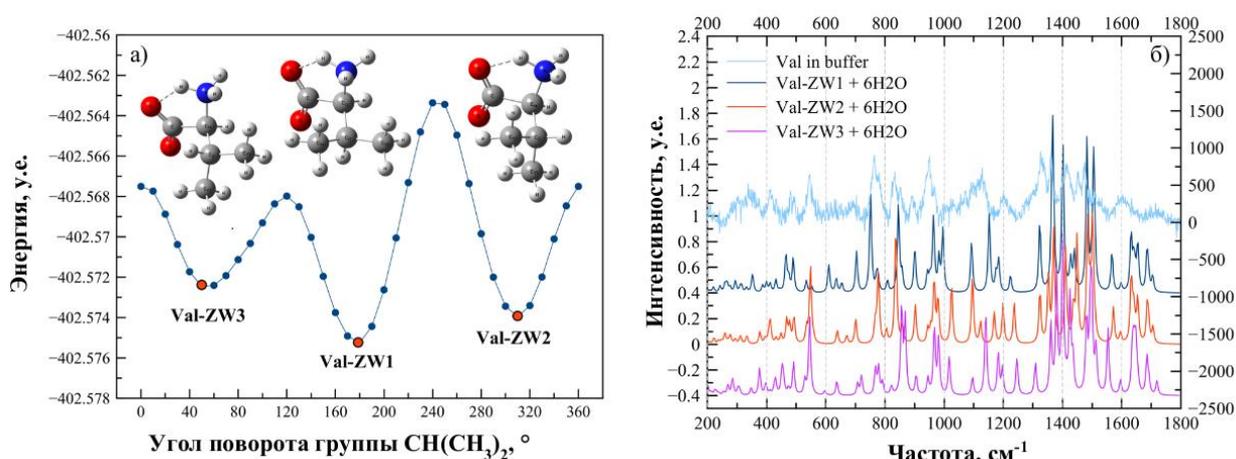


Рис.1. а) сканирование ППЭ цвиттерионного состояния валина по углу поворота боковой цепи относительно одинарной связи $\text{C}_\alpha-\text{C}_\beta$. б) Экспериментальный КР спектр валина в буферном растворе и рассчитанные КР спектры цвиттерионов в диапазоне $200-1800 \text{ cm}^{-1}$.

[1] M.J. Frisch, G.W. Trucks, et al., *Gaussian 16, Revision A.03* (Gaussian, Inc., Wallingford CT, 2016).

[2] Computational Center of Sankt-Petersburg State University: <http://www.cc.spbu.ru/>.

Эпитаксия квантовых точек GaAs/AlGaAs разной плотности

Дерибина Е.И.

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники

В квантовых точках GaAs/AlGaAs (КТ) постоянные решетки барьеров и точек хорошо согласованы, что позволяет на относительно долгих временах сохранять спиновую поляризацию ядер. Это позволит использовать квантовые точки в оптических логических устройствах, использующих долгоживущие ядерные спины для обработки информации.

Также ненапряженные квантовые точки GaAs/AlGaAs в зависимости от плотности расположения могут быть взяты за основу при изготовлении лазера, а также однофотонного излучателя.

В нашей работе был произведен рост квантовых точек разной плотности, а также с помощью спектроскопии фотолюминесценции изучены их оптические свойства. В частности, было обнаружено несколько областей локализации в области точек (КТ А, КТ В), а также тот факт, что степень круговой поляризации (DCP) квантовых точек типа А и В положительна и медленно уменьшается с повышением температуры от 4 К до 120 К (Рис.1).

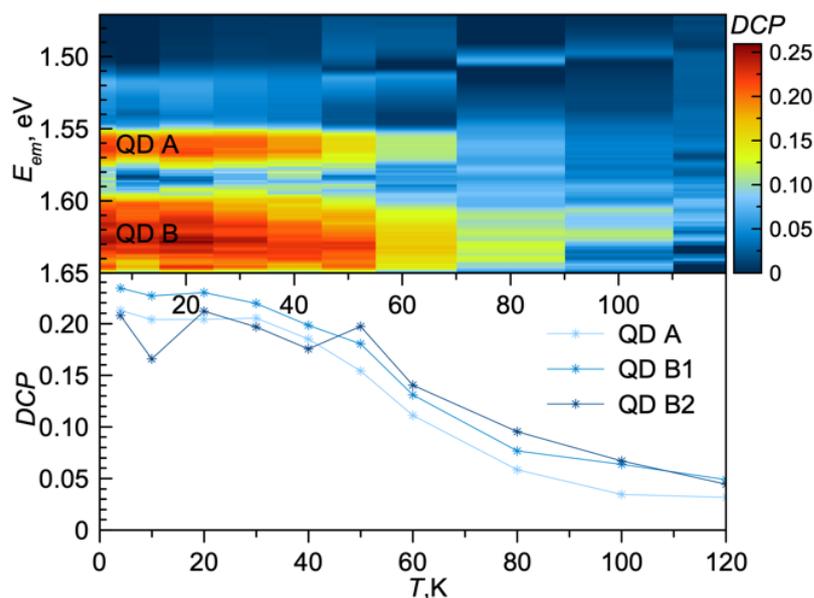


Рис. 1. Степень циркулярной поляризации (DCP) при различных температурах, полученная при возбуждении лазером 725 нм σ^+ квантовых точек GaAs/AlGaAs (верхний рисунок). DCP вблизи пиков квантовых точек А, В1, В2 при различных температурах (нижний рисунок).

Благодарности: Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (Мегагрант № 075-15-2022-1112) и Российским фондом фундаментальных исследований (RFBR 19-52-12046). Работа была выполнена на оборудовании Ресурсного Центра СПбГУ «Нанофотоника».

Когерентная динамика экситонов в тонкой квантовой яме GaAs/AlGaAs

Максимов М.А., Назаров Р.С.

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники

На сегодняшний день спонтанное фотонное эхо является перспективным нелинейным явлением для создания передовых оптических систем хранения данных [1], призванных революционизировать современные технологии квантовой памяти [2].

В настоящей работе исследуется спонтанное двухимпульсное фотонное эхо от ансамблей экситонов в тонкой 14 нм квантовой яме GaAs/AlGaAs, выращенной методом молекулярно-пучковой эпитаксии. Спектральные и поляризметрические измерения сигнала фотонного эха подтверждают экситонную природу наблюдаемого возбуждения. Время затухания измеряется для легко-дырочных, и тяжело-дырочных экситонов (рис. 1).

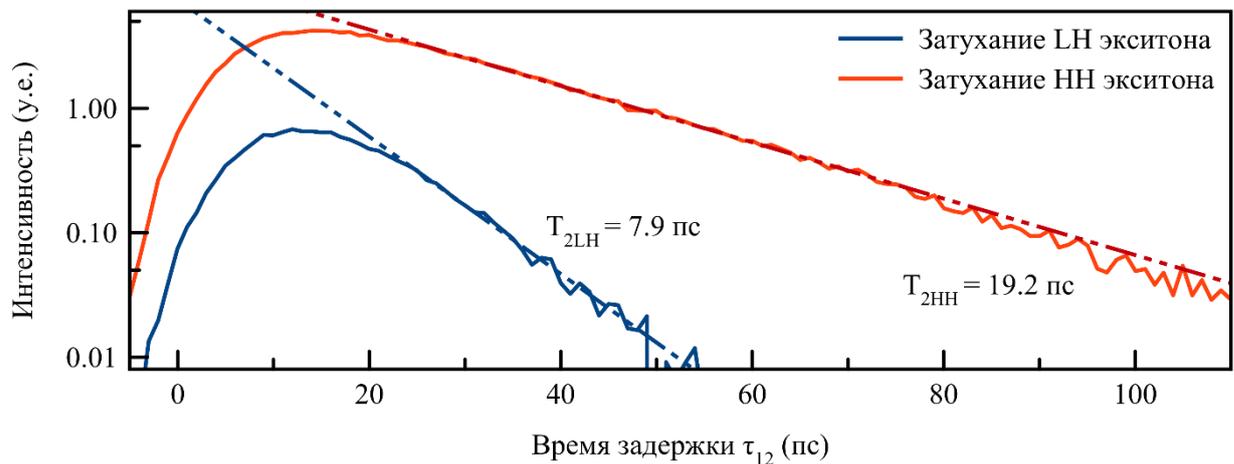


Рис. 1. Затухание сигнала фотонного эха от LH и HH экситонов

Полученные экспериментальные результаты демонстрируют наличие устойчивого экситонного резонанса и формирование сигнала спонтанного фотонного эха в тонкой квантовой яме GaAs/AlGaAs в пикосекундном временном масштабе. Характерное время дефазировки порядка 19 пс делает этот материал перспективным для будущих применений в информационной фотонике.

Список литературы:

- [1] Tittel, W., Afzelius, M., Chaneliere, et. al. (2010). Photon-echo quantum memory in solid state systems. *Laser & Photonics Reviews*, 4(2), 244-267.
- [2] Sergey A Moiseev, et. al. (2012). *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 45 124017

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Мегагрант № 075-15-2022-1112) на оборудовании ресурсного центра СПбГУ "Нанофотоника".

Лазерная генерация в квази-2D перовскитах Раддлесдена-Поппера $\text{BA}_2\text{MA}_2\text{Pb}_3\text{I}_{10}$

Мурзин А.О.¹, Paschos I.², Savvidis P.², Капитонов Ю.В.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники, Россия

² Westlake University, School of Science, Quantum Optoelectronics Lab, China

В ходе работы была исследована лазерная генерация в микрокристаллах квази-2D перовскитов Раддлесдена-Поппера $\text{BA}_2\text{MA}_{n-1}\text{Pb}_n\text{I}_{3n+1}$ ($n=3$). Рассматривалось два варианта размещения микрокристаллов: между сапфировых стекол с фиксированным расстоянием между ними (~ 500 нм), а также в планарном микрорезонаторе, спектральное положение минимума отражения которого было настроено вблизи максимума фотолюминесценции исследуемых образцов.

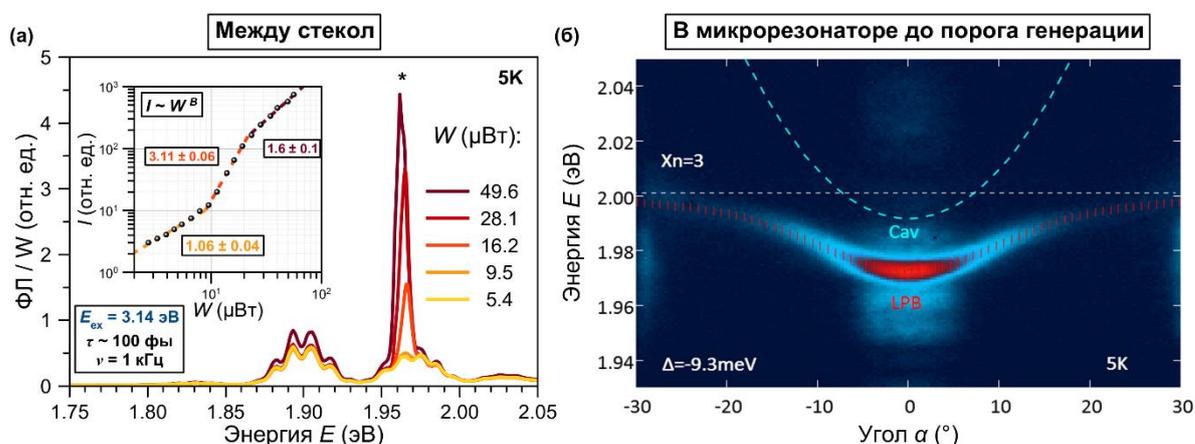


Рис. 1. (а) Спектры фотолюминесценции (ФЛ), нормированные на мощность падающего излучения для образца между стекол. На вставке показана пороговая зависимость для пика, отмеченного «*» на (а). (б) Угловая зависимость спектров ФЛ для образца в планарном микрорезонаторе до порога генерации.

В ходе низкотемпературных исследований обоих типов структур была обнаружена лазерная генерация, имеющая разную природу происхождения, которая классифицировалась исходя из порогового характера зависимости интенсивности излучения мощности возбуждения (рис.1а), а также исходя из поляризации данного излучения. В первом случае в качестве резонатора выступали микрокристаллы. Реализация второго варианта позволила обнаружить сильное экситон-фотонное взаимодействие (рис. 1б) и впервые показать поляритонную лазерную генерацию в данном материале.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Мегагрант № 075-15-2022-1112).

Свободные экситоны в тонких плёнках MAPbI_3 , исследованные методом четырёхволнового смешения

Назаров Р.С., Соловьёв И.А., Капитонов Ю.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники

Прямозонные полупроводники обладают важным свойством — наличием состояния свободного экситона с высокой силой осциллятора, что делает их многообещающими кандидатами для применения в сверхбыстрой обработке оптических сигналов и оптических вычислениях. Одним из подходов к таким вычислениям может быть использование эффекта четырёхволнового смешения (ЧВС). В данной работе демонстрируется проявление этого нелинейного оптического эффекта в поликристаллических тонких плёнках галогенидного перовскита MAPbI_3 ($\text{MA}^+ = \text{CH}_3\text{NH}_3^+$) при низких температурах. Проведя спектроскопический анализ сигнала ЧВС, исследуя спектры возбуждения фотолюминесценции и сравнивая результаты с данными для монокристаллов MAPbI_3 , мы обнаружили, что наибольший нелинейный отклик возникает в резонансе, связанным со свободным экситоном в области неглубоких дефектных состояний. Также было неожиданно выявлено наличие сигнала ЧВС при перпендикулярной геометрии линейного возбуждения, что может свидетельствовать о наличии других нелинейных эффектов или взаимодействий многих тел. Наблюдение ЧВС, связанного со свободными экситонами, даже в сильно дефектных тонких плёнках MAPbI_3 , подчёркивает устойчивость экситонного резонанса и перспективы использования материала в оптических вычислениях.

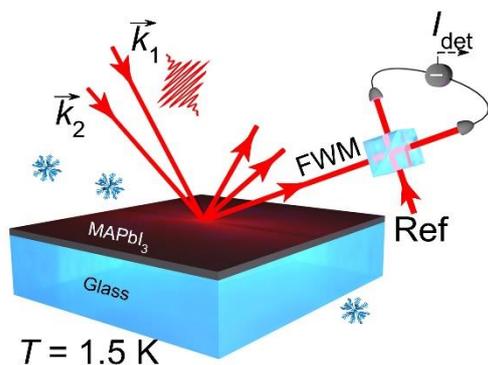


Рис. 1. Схема эксперимента ЧВС. Два лазерных импульса от одного и того же источника падают на тонкую плёнку MAPbI_3 при температуре 1,5 К с разными волновыми векторами \vec{k}_1 и \vec{k}_2 . Когерентный отклик ЧВС наблюдается в геометрии отражения в направлении $2\vec{k}_2 - \vec{k}_1$ только при наличии обоих импульсов. Сигнал ЧВС определяется путем взаимной корреляции с эталонным импульсом от того же источника.

Благодарности: Работа выполнена на оборудовании Ресурсного центра СПбГУ «Нанопотоника» при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Мегагрант № 075-15-2022-1112).

Катодоллюминесценция монокристалла галогенидного перовскита MAPbCl₃

*Самсонова А.Ю., Мамаева М.П., Мурзин А.О., Башегурова Е.А., Петров Ю.В.,
Ступнос К.К., Капитонов Ю.В.*

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет

Хлоридные перовскиты — полупроводники с шириной запрещенной зоны в ближнем ультрафиолетовом диапазоне, перспективные для применения в оптоэлектронике и фотонике. Одним из наиболее изученных представителей этого семейства является гибридный органо-неорганический перовскит MAPbCl₃ (MA⁺ = CH₃NH₃⁺). Низкотемпературная люминесцентная спектроскопия этого материала демонстрирует сложную структуру излучения (рис. 1). В данной работе исследована катодоллюминесценция монокристалла галогенидного перовскита MAPbCl₃ при температуре 70 К. Возбуждение электронным пучком использовалось для выявления различных излучателей: экситонов, дефектных состояний и посторонних включений. Экситонная люминесценция наблюдается из неповрежденного образца, в то время как полоса, соотношенная с дефектами, излучается из областей с дислокациями, дефектами роста и повреждениями кристалла. Изучено образование дефектов при облучении электронным пучком. Было обнаружено, что MAPbCl₃ устойчив к облучению, что подтверждает толерантность галогенидных перовскитов к дефектам и открывает возможности их модификации электронным пучком для различных применений.

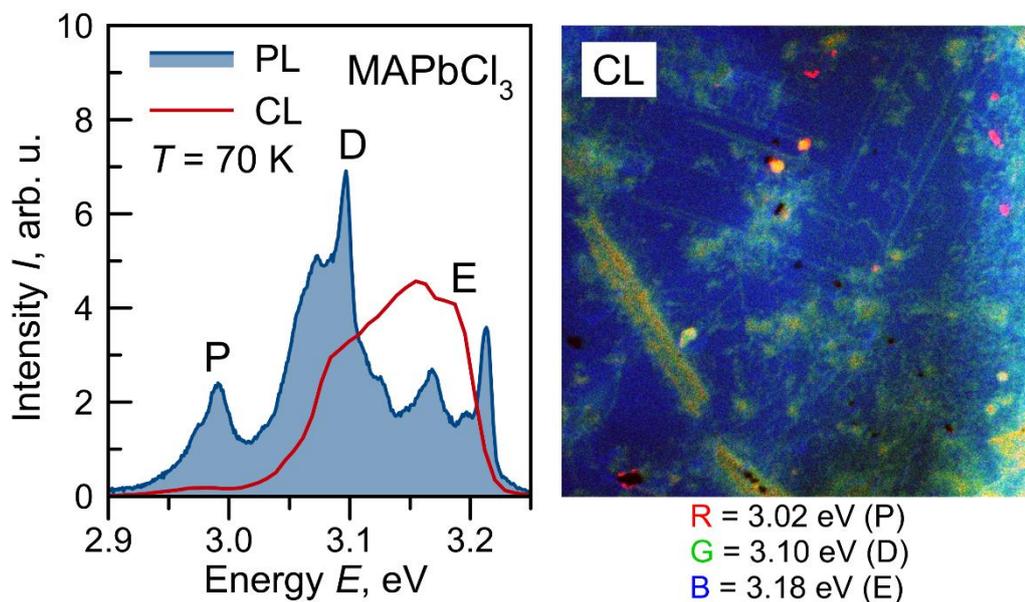


Рис. 1. Низкотемпературные спектры фотоллюминесценции и катодоллюминесценции MAPbCl₃, и гиперспектральная карта катодоллюминесценции при температуре 70 К.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Мегагрант № 075-15-2022-1112) на оборудовании РЦ «Нанофотоника» и «Нанотехнологии».

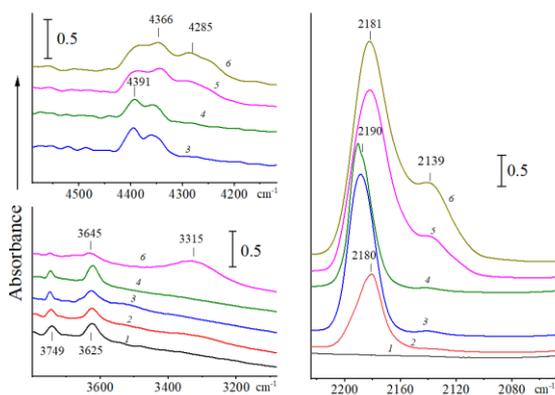
Исследование цеолита Ag-mor-60 методом ИК-спектроскопии

Сатилова Е.А., Шергин Я.В., Цыганенко А.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники.

Свойства поверхности Ag-морденита с атомным соотношением Si/Al 6,5 охарактеризованы с помощью ИК-спектров адсорбированного СО. Помимо Н-связывания с поверхностными ОН-группами и взаимодействия с атомами кислорода силоксановых мостиков с образованием Т-образных комплексов, происходит адсорбция на ионах Ag^+ , характеризующаяся полосой при 2193-2178 cm^{-1} . Точное положение этой полосы зависит от

покрытия, при десорбции она смещается в сторону более высоких волновых чисел, пока не исчезнет после нагревания в вакууме при 300°C. Рост частоты сопровождается увеличением интегрального коэффициента поглощения до 8,0 см/мкмоль, что значительно выше, чем у свободной молекулы СО.



переходом от ди- к моно-карбонилу, полосы которого не разрешены в области основных колебаний, но расщепление полосы обертона

Мы предполагаем, что изменения в положении полос и поглощении обусловлены

Рис. 2. Эволюция спектра СО, адсорбированного при -196°C на Ag-мордените по мере изменения покрытия поверхности.

подтверждает это предположение. Положение высокочастотной составляющей полосы обертона даже выше, чем удвоенная частота основного колебания (рис. 1), что указывает на то, что ангармоничность адсорбированного СО уменьшается до нуля или даже меняет знак. Высокая интенсивность полос обертона свидетельствует о нелинейной зависимости молекулярного диполя от колебательной координаты. Спектры, зарегистрированные при повышенной температуре, не показывают полос, которые можно было бы отнести к молекулам СО, связанным через атом кислорода. Квантово-химический расчет подтверждает отсутствие изомерии связывания СО, взаимодействующего с катионами Ag^+ .

Благодарности: Исследование было финансировано Министерством науки и высшего образования России по соглашению № 075-15-2023-611 от 30.08.2023.

Катодолюминесценция доменов и доменных стенок в кристаллах MAPbCl_3

Шевага Н.И.

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники

В настоящее время галогенидные перовскиты являются перспективными материалами для создания оптических устройств, а, следовательно, и интересными объектами исследования.

Катодолюминесцентная спектроскопия — один из широко применяемых методов изучения кристаллов. С её помощью в ходе работы были получены спектры излучения и гиперспектральные карты кристаллов MAPbCl_3 . На гиперспектральных картах при определённых длинах волн можно хорошо различить светящиеся доменные стенки образцов. Также использовалась электронная микроскопия, которая позволяет получить изображения рельефа поверхности кристалла.

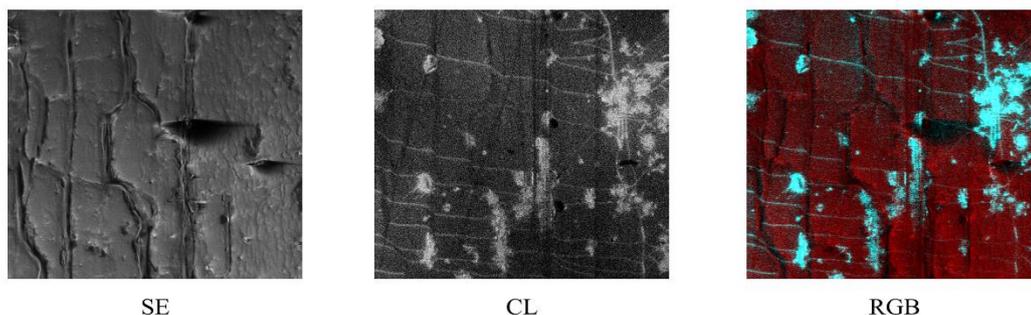


Рис. 1. Сравнение изображений, полученных электронной микроскопией (SE) и катодолюминесцентной спектроскопией (CL). На рисунке RGB показано наложение этих изображений друг на друга с сопоставлением им разных цветовых каналов.

Экспериментальные результаты демонстрируют независимость расположения доменных стенок от рельефа, изменение их конфигураций в циклах “нагревание-охлаждение” и различия спектров доменов и доменных стенок.

Благодарности: Работа выполнена на оборудовании ресурсного центра СПбГУ «Нанотехнологии» и при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Мегагрант № 075-15-2022-1112).

Исследование фотолюминесценции перовскитных квантовых точек CsPbBr₃ во фторфосфатной стеклянной матрице

Теслина П.П.

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра физики твердого тела

Отличительной особенностью галогенидных перовскитов считается высокая эффективность преобразования энергии, что делает их отличным материалом для создания недорогих солнечных элементов. Однако использование этих материалов в практике затруднительно из-за значительного недостатка перовскитов – низкой устойчивости к высокой температуре и влажности. Одним из возможных решений этой проблемы может стать формирование квантовых точек перовскитов в стеклянной матрице. В такой конфигурации перовскиты защищены от неблагоприятных условий окружающей среды.

В данной работе исследовались квантовые точки перовскита CsPbBr₃ во фторфосфатной стеклянной матрице (40P₂O₅–40BaO–20AlF₃). При синтезе образца использовался метод быстрого охлаждения расплава. Были получены спектры фотолюминесценции исследуемого образца при различных значениях температуры. В полученных данных наблюдается синий сдвиг фотолюминесценции, а также наличие нескольких полос.

Было установлено, что положение линии люминесценции с повышением температуры для трехмерных перовскитов смещается в высокоэнергетичную область быстрее, нежели для квантовых точек.

Кроме того, в работе присутствует анализ стабильности излучения фотолюминесценции образца под действием непрерывного и импульсного монохроматического излучения с длиной волны 405 нм. Результаты могут быть полезны при установлении операционной стабильности устройств, при создании которых использовался схожий материал.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Мегагрант №075-15-2022-1112).

Водные дисперсии наночастиц на основе сопряжённых донорно-акцепторных органических материалов для биомедицинского применения

Шумицкая А.А.^{1,2}, Исаева Ю.А.^{2,3}, Балакирев Д.О.², Ефремов А. Н.¹, Акасов Р.А.³,
Луносов Ю.Н.²

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет наук о материалах

² Институт синтетических полимерных материалов имени Н.С. Ениколопова РАН

³ Московский педагогический государственный университет

Фототерапия – это один из самых современных, безопасных и неинвазивных методов лечения рака. На сегодняшний день активно ведутся поиски эффективных ФС для фототерапии. Органические донорно-акцепторные (Д-А) соединения и наночастицы (НЧ) на их основе – одни из самых перспективных и современных материалов для фототерапии благодаря биосовместимости, низкой токсичности, способности к пассивному накоплению в опухоли [1,2] и возможности настраиваемого поглощения света от УФ и видимого до ближнего ИК-диапазона в зависимости от конструкции молекулы [3]. Однако НЧ на основе Д-А систем гидрофобны и имеют короткое время циркуляции в крови. Чтобы избавиться от данного недостатка используют матрицы для инкапсуляции на основе амфифильных полимеров, таких как полиэтиленгликоль-полилактид (PEG-b-PLA) или полиэтиленоксид-полипропиленоксид (Pluronic F-127), которые делают поверхность НЧ гидрофильной и маскируют их от иммунной системы, что повышает накопление ФС в раковой опухоли.

Несмотря на активные исследования ФС на основе Д-А молекул, актуальной задачей остается оптимизация свойств получаемых НЧ, включая их размер, форму, оптические свойства, стабильность и биологическую активность. В данной работе были приготовлены и систематически исследованы 8 дисперсий НЧ на основе ранее синтезированных по методике [4] 4 различных Д-А соединений, состоящих из электронодонорного трифениламинового фрагмента, тиофена и бензотиазола в качестве π -спейсеров и дициановинильной электроноакцепторной группы в комбинации с двумя разными полимерными матрицами (PEG-b-PLA, Pluronic F-127). Исследование взаимосвязи между молекулярной структурой таких соединений и свойствами получаемых НЧ позволит оптимизировать их эффективность в фототерапии и влиять на специфичность по отношению к раковым клеткам. В этой связи было изучено влияние инкапсуляции Д-А молекул в разные полимеры на размеры и цитотоксичность НЧ. Все НЧ с Pluronic F-127, в среднем, имели размер на 20-30 нм меньше, чем НЧ с PEG-PLA. Сравнительный анализ их цитотоксичности по отношению к раковым клеткам позволил определить, что наиболее эффективной комбинацией молекула-полимер оказался ТТД в Pluronic F-127 с полумаксимальной ингибирующей концентрацией $IC_{50} = 0,11$ мкг/мл и индексом фототоксичности (PI) = 129.

[1] Faraji A. H., Wipf P. Nanoparticles in cellular drug delivery //Bioorganic & medicinal chemistry. – 2009. – Т. 17. – №. 8. – С. 2950-2962.

[2] Doane T. L., Burda C. The unique role of nanoparticles in nanomedicine: imaging, drug delivery and therapy //Chemical Society Reviews. – 2012. – Т. 41. – №. 7. – С. 2885-2911.

[3] Lu B. et al. Organic conjugated small molecules with donor-acceptor structures: design and application in the phototherapy of tumors //Materials Chemistry Frontiers. – 2022. – Т. 6. – №. 20. – С. 2968-2993.

[4] Balakirev D. O. et al. Luminescent push-pull triphenylamine-based molecules end-capped with various electron-withdrawing groups: Synthesis and properties //Dyes and Pigments. – 2023. – Т. 208. – С. 110777.