

Сборник тезисов конференции

Фотоница-2022



Санкт-Петербургский
государственный университет

28 октября 2022 года

Международная молодежная конференция Фотоница-2022 прошла онлайн 28 октября 2022 года. Конференция посвящена исследованиям в области взаимодействия света с веществом. На ней были заслушаны устные доклады студентов и аспирантов, а также приглашенные доклады зарубежных ученых.

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
- Чижов Юрий Владимирович, д. ф-м. н., профессор СПбГУ
- Емелин Алексей Владимирович, д. ф-м. н., профессор СПбГУ
- Капитонов Юрий Владимирович, к. ф-м. н., с.н.с. СПбГУ
- Толстой Пётр Михайлович, д.х.н., профессор кафедры физической органической химии СПбГУ
- Штарёв Дмитрий Сергеевич, д. ф.-м. н., доцент, Институт наукоёмких технологий и передовых материалов Дальневосточного федерального университета

Организационный комитет:

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

Конференция проведена в соответствии с приказом СПбГУ 11241/1 от 25.10.2022 в рамках проекта «Создание лаборатории кристаллофотоники» по соглашению №075-15-2022-1112 от 30.06.2022.

Программа конференции

28 октября 2022 года

9:50	Открытие конференции
10:00	<i>Назаров Роман</i> – Динамика фотонного эха в магнитном поле от экситонов в квантовой яме InGaAs/GaAs
10:15	<i>Бутюгина Анна</i> – Когерентные оптические свойства экситонов и их комплексов в полупроводниках
10:30	<i>Дерибина Екатерина</i> – Капельная эпитаксия квантовых точек GaAs/AlGaAs
10:45	<i>Максимов Матвей</i> – Исследование фотолюминесценции в широких квантовых ямах гетероструктур GaAs/InGaAs
11:00	<i>Барахоева Ксения</i> – ИК-спектроскопическое исследование La-содержащего MOF-76. Влияние УФ облучения.
11:15	<i>Михелева Алёна</i> – Анализ стадий механизма фотостимулированной десорбции CO, адсорбированного на поверхности TiO ₂
11:30	Кофе-брейк
11:45	<i>Гриценко Виталий</i> – Картографирование фазового перехода в тонкой пленке галогенидного перовскита MAPbI ₃
12:00	<i>Самсонова Анна</i> – Показатель преломления вблизи экситонного резонанса в монокристалле MAPbI ₃
12:15	<i>Шумицкая Анастасия</i> – Фарадеевское вращение на объёмных монокристаллах перовскита MAPbI ₃
12:30	<i>Козлов Вадим</i> – Спектроскопия спиновых шумов магнитно-анизотропных центров
12:45	Обед
14:00	Проф. <i>Константинос Стомпос</i> , руководитель Лаборатории кристаллофотоники СПбГУ – Crystal Engineering of Dimensionally Reduced Halide Perovskite Semiconductors

14:30	<i>Полонеева Дарья</i> – Пористые жидкости на основе металл-органических каркасных структур
14:45	<i>Ложкина Ольга</i> – Подавление перехода доменных стенок к нестационарному движению посредством периодической модуляции ширины мягких ферромагнитных нанопроводов
15:00	<i>Тощева Екатерина</i> – Реакция восстановления N ₂ на поверхностях гидрида Ca ₃ CrN ₃ H и электрода Ca ₃ CrN ₃ : Расчёты методом теории функционала плотности (DFT)
15:15	<i>Беляев Леонид</i> – Диэлектрические структуры для сенсинга
15:30	<i>Жаровов Дмитрий</i> – Влияние фотостимулированного дефектообразования на люминесценцию ионов эрбия в оксидных и фторидных матрицах
15:45	<i>Борисик Анастасия</i> – Влияние УФ-возбуждения на свойства МОКС на основе лантаноидов
16:00	Заккрытие конференции

ИК-спектроскопическое исследование La-содержащего MOF-76. Влияние УФ облучения

Барахоева Ксения Александровна

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники

Металл-органические каркасные структуры (МОКС) являются перспективными материалами при решении широкого круга задач, среди которых хранение и транспортировка «солнечного топлива» (CH_4 , H_2) и утилизация CO_2 [1]. МОКСы, содержащие ионы редкоземельных элементов (РЗЭ), могут быть эффективно использованы в качестве люминесцентных маркеров [2].

В данной работе объектом исследования был МОКС типа MOF-76, содержащий ионы РЗ. Была отработана методика ИК-спектроскопического эксперимента для данных систем. Зарегистрированы спектры MOF-76(La) при различных температурах термоактивации в вакууме. Обнаружено полное удаление молекулярной воды из пор образца при температуре активации 250°C .

Было изучено влияние фотовозбуждения исследуемого образца MOF-76(La) в области поглощения органического лиганда (бензол-трикарбоксилат), соответствующего облучению УФ-светом ($\lambda < 360$ нм), в вакууме и на воздухе. В обеих сериях экспериментов в результате облучения наблюдалось появление полос поглощения молекулярных CO_2 и H_2O с одновременным незначительным уменьшением интенсивности полос, принадлежащих колебаниям органического лиганда, что может указывать на частичное разложение компонента структуры.

[1] Zhou, H.-C. et al. *Chem. Rev.* **2012**, 112 (2), 673–674.

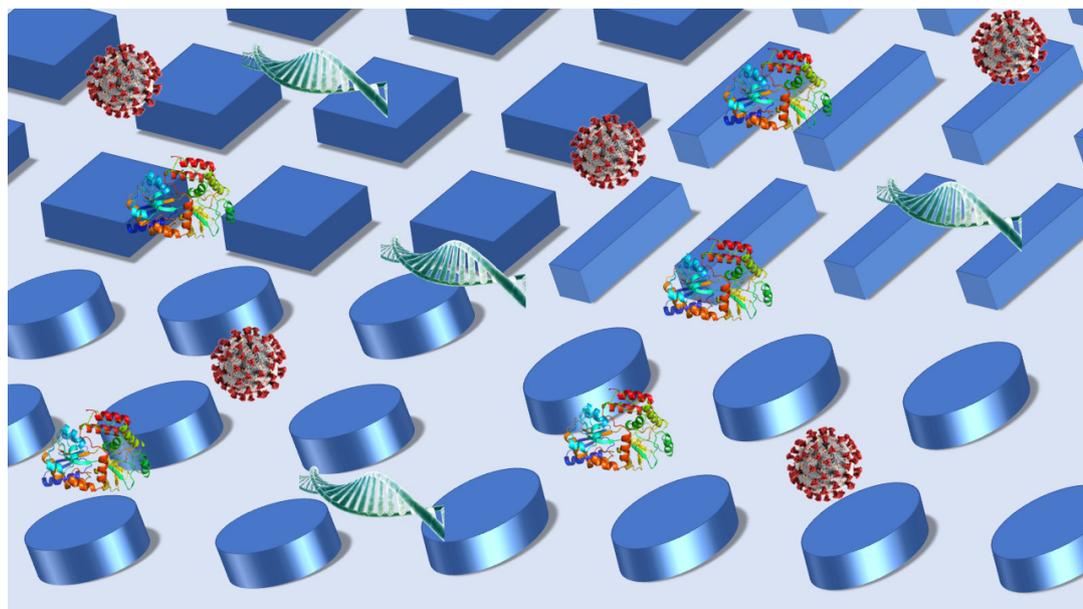
[2] Mayeuski, A. V. et al. *J. Lumin.* **2021**, 235, 117970.

Диэлектрические структуры для сенсинга

Беляев Леонид Юрьевич

Датский Технологический университет, кафедра фотонной инженерии

Быстрое и точное обнаружение биомаркеров оказывает огромное влияние на наше ежедневное здоровье. Искусственно созданные наноструктуры можно использовать для повышения чувствительности сенсоров биомаркеров. Мы разрабатываем оптические датчики на основе диэлектриков для обнаружения сердечных биомаркеров в сотрудничестве.



- [1] Beliaev, L. et al. *Nanomaterials*. **2022**, 12(10), 1748.
- [2] Finco, G. et al. *Nanophotonics*. **2021**, 10(17), 4289–4296.
- [3] Shkondin, E. et al. *Opt. Mater. Express*. **2017**, 7, 4171–4182.
- [4] Shkondin, E. et al. *ACS Appl. Nano Mater.* **2018**, 1(3), 1212–1218.

Влияние УФ-возбуждения на свойства МОКС на основе лантаноидов

Борисик Анастасия Константиновна

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники

Во многих научных областях, например, в катализе или биоанализе, широкое применение нашли металлоорганические координационные полимеры, известные также как металл-органические каркасные структуры (МОКС).

МОКС образованы двумя составляющими: ионами металлов (или кластерами ионов металла) и органическими молекулами, называемыми линкерами. Отдельный интерес представляет исследование люминесцирующих МОКС. Чаще всего для таких исследований используют МОКС на основе лантаноидов, так как они имеют высокую характеристичность излучения.

В спектрах люминесценции MOF-76 на основе лантаноидов наблюдается характеристичное излучение f-f переходов соответствующего лантаноида. Несмотря на то, что данные переходы запрещены правилами отбора, в спектрах наблюдается достаточно интенсивная люминесценция этих полос за счёт эффекта антенны.

В спектрах люминесценции некоторых образцов наблюдалось усиление интенсивности полос после их предварительного облучения под ртутной лампой.

Чтобы исследовать механизм наблюдаемого явления были получены ИК-спектры образцов МОКС, разбавленных с KBr в отношении 1:50. В этих спектрах также наблюдается усиление интенсивности в области 1700-1300 см⁻¹.

[1]Farrusseng, D. (2011) Metal-organic frameworks: Applications from catalysis to Gas Storage. Weinheim: Wiley-VCH.

[2] Nguyen, T. et al. *Coord. Chem. Rev.***2018**, 377,259–306.

[3] Rosi, N. et al.*J. Am. Chem. Soc.* **2005**, 127(5), 1504–1518.

[4] Lian, X. et al. *RSC Adv.***2016**, 6(14), 11570–11576.

Когерентные оптические свойства экситонов и их комплексов в полупроводниках

Бутюгина Анна Алексеевна

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники

Преимущество методов реализации хранения оптической информации с помощью когерентных оптических явлений в полупроводниках заключается в том, что они позволяют осуществлять быструю запись с помощью коротких лазерных импульсов. В настоящей работе проведено исследование фотонного эха от экситонов и их комплексов (трионов). Исследуемый образец содержит квантовую яму GaAs/AlGaAs толщиной 15 нм, ширина запрещенной зоны ямы и стенок равна 1.52 эВ и 1.85 эВ соответственно. Температура образца в течение всего эксперимента оставалась постоянной и равной 1.46 К. На рис. 1 показана зависимость амплитуды сигнала фотонного эха от времени опорного импульса и амплитуды первого сигнала. В зависимости наблюдается два максимума Раби-осцилляций — явление изменения сигнала фотонного эха при увеличении мощности первого импульса. Для максимумов Раби-осцилляций были измерены временные профили фотонного эха в зависимости от времени между двумя импульсами τ_{12} , зависимость амплитуды сигнала от τ_{12} и время необратимой фазовой релаксации T_2 . Было установлено, что при параметрах системы, соответствующих первой Раби-осцилляции, T_2 равно 43.1 пс.

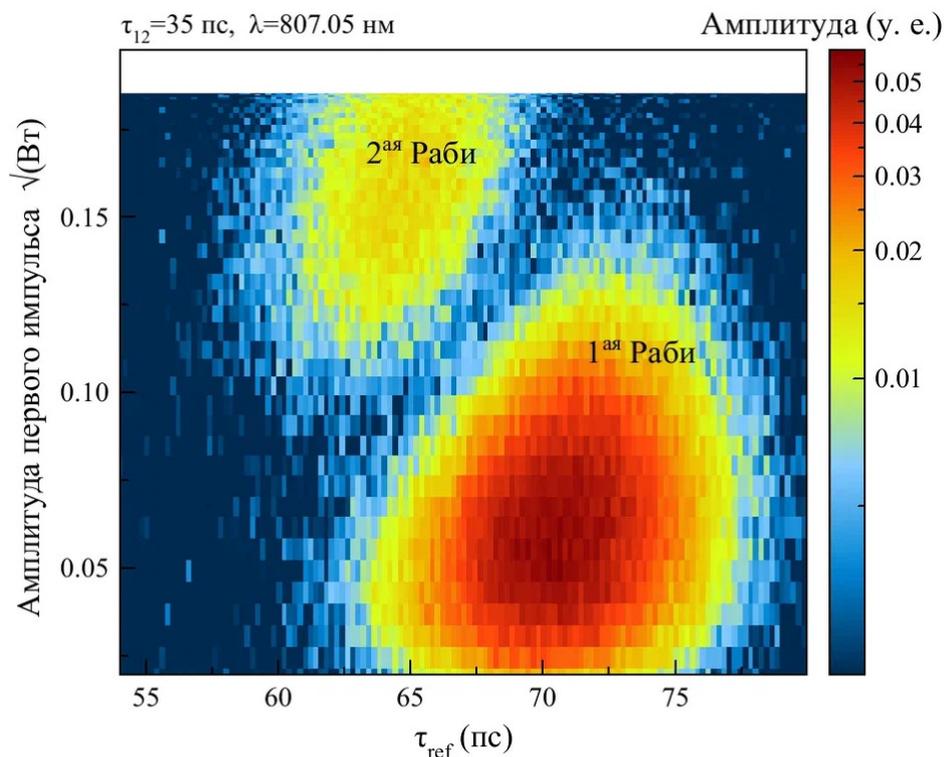


Рис. 1. Зависимость сигнала фотонного эха от времени между двумя импульсами τ_{12} и амплитуды первого импульса.

Работа выполнена на оборудовании Ресурсного центра СПбГУ «Нанофотоника». Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-22-00439 (<https://rscf.ru/project/22-22-00439/>).

Картографирование фазового перехода в тонкой пленке галогенидного перовскита MAPbI_3

Гриценко Виталий Олегович

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники

Галогенидные перовскиты представляют большой интерес для фотовольтаики и оптоэлектроники благодаря их уникальным оптическим свойствам, таким как: большая длина диффузии носителей, большой коэффициент поглощения, поглощение от ультрафиолета до ближнего инфракрасного света, в следствии возможности регулирования ширины запрещенной зоны, изменением состава или добавления легирующих веществ и многое другое. Одной из удивительных особенностей этих полупроводниковых соединений является наличие нескольких структурных фазовых переходов, влияющих на их оптические свойства.

В данной работе исследовались оптические свойства структурного фазового перехода между тетрагональной и орторомбической фазами при нагревании и охлаждении тонкой пленки галогенидного перовскита MAPbI_3 . Изменение температуры в температурной области фазового перехода влечет за собой значительное изменение спектра поглощения [1]. В ходе работы была выбрана такая длина волны проходящего лазерного излучения (775 нм), чтобы она соответствовала максимальной разности коэффициента поглощения до и после фазового перехода, что позволило нам визуализировать фазовый переход по пропусканию. Использование высокоточной ИК-камеры в качестве детектора позволило наблюдать фазовый переход (рис. 1).

Время **охлаждения** до 81К с 167К, 4.3 мин

Время наблюдения, 7.1 мин.

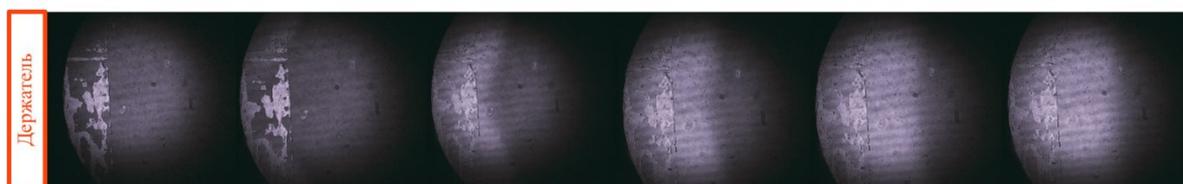


Рис. 1. Зависимость пропускания образца от времени при охлаждении (светлые области соответствуют орторомбической фазе, темные – тетрагональной фазе).

В ходе работы была определена временная зависимость положения фазового перехода, а также его длительности для всех точек, принадлежащих данной конфигурации образца (тонкая пленка на предметном оптическом стекле). Также была обнаружена зависимость длительности фазового перехода от места на образце, что предварительно объясняется неравномерной засветкой образца лазерным излучением и последующим неравномерным нагревом.

Таким образом, в ходе данной работы была рассмотрена временная зависимость положения и длительности структурного фазового перехода между тетрагональной и орторомбической фазами в тонкой пленке MAPbI_3 на предметном оптическом стекле.

Работа выполнена на оборудовании РЦ «Нанопотоника» СПбГУ при поддержке Мегагранта № 075-15-2022-1112.

[1] Jiang, Y.etal. *Appl. Phys. Lett.* **2018**, 108, 061905.

Капельная эпитаксия квантовых точек GaAs/AlGaAs

Дерибина Екатерина Игоревна

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники

Квантовые точки (КТ) GaAs/AlGaAs являются привлекательным объектом для исследований информационной фотоники, поскольку в отличие от самоорганизованных индиевых КТ, в них нет напряжений, связанных с отличием постоянных решеток точки и барьеров. В работе с помощью капельной молекулярно-пучковой эпитаксии были выращены такие КТ. На подложке арсенида галлия были контролируемо осажжены капли галлия. Затем в присутствии паров мышьяка капли преобразовались в GaAs, что сопровождалось травлением подложки. Полученные нанотверстия показаны на рис. 1.

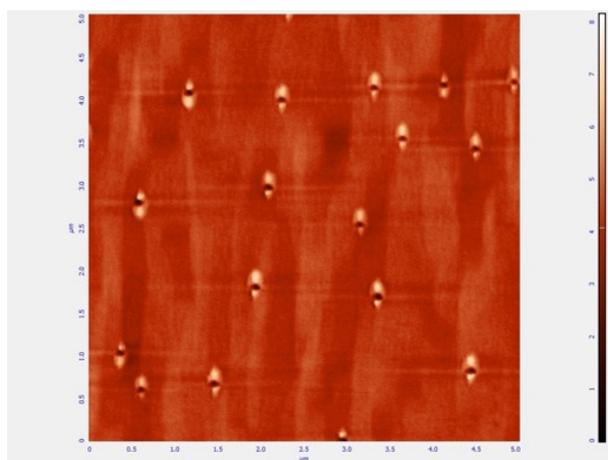


Рис. 1. Снимок АСМ нанотверстий.

Далее мы вырастили барьер $\text{Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$, заполнили отверстия GaAs и закрыли вторым барьером $\text{Al}_{0.38}\text{Ga}_{0.62}\text{As}$. Так был получен массив нанобъектов с поверхностной плотностью 0.7 мкм^{-2} . Также для увеличения плотности был выращен образец с нанотверстиями при пониженной температуре подложки (плотность 5.0 мкм^{-2}). В спектре микрофотолюминесценции от образца с КТ (рис. 2) в диапазоне $1.55 - 1.65 \text{ эВ}$ наблюдаются отдельные пики от КТ, образующие три ансамбля (А, В, С), которые мы связываем с тремя различными областями локализации в нанобъектах.

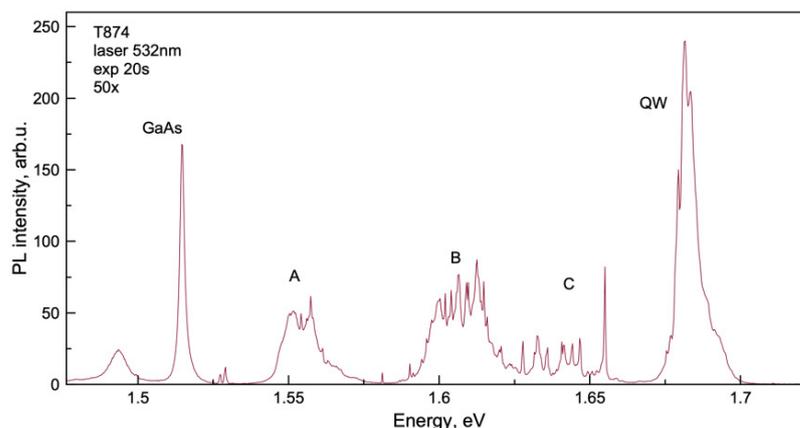


Рис. 2. Микрофотолюминесценция от образца с КТ при температуре 4 К.

Работа была выполнена на оборудовании Ресурсного центра СПбГУ «Нанопотоника». Работа поддержана Министерством науки и Высшего образования (Мегагрант № 075-15-2022-112).

Влияние фотостимулированного дефектообразования на люминесценцию ионов эрбия в оксидных и фторидных матрицах

Жаровов Дмитрий Анатольевич

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники, лаборатория «Фотоактивные нанокompозитные материалы»

Трёхвалентный ион эрбия (Er^{3+}), как и другие трёхвалентные ионы лантаноидов (Ln^{3+}), может выступать в качестве активатора для фото- и апконверсионных люминофоров. Уникальные свойства таких люминофоров обусловлены нарушением правил Лапорта – запрещённые f-f переходы в ионах Ln^{3+} могут быть частично разрешены в твердотельных матрицах. Интенсивность таких оптических переходов зависит как от кристаллической структуры, так и от наличия собственных и несобственных дефектов матрицы, что открывает возможность для управления люминесценцией путём внедрения в матрицу различных примесей.

Матрицы для таких люминофоров могут быть как оптически активны (например, оксиды), так и оптически неактивны (например, фториды) относительно взаимного расположения границы фундаментального поглощения самой матрицы и коротковолновой границы спектра источника УФ-облучения.

В ряде работ было показано, что УФ-облучение оптически активной матрицы диоксида циркония ZrO_2 , допированного ионами Er^{3+} и Yb^{3+} , изменяет интенсивность соответствующих f-f полос поглощения, а также установлено, что данное изменение поглощения коррелирует с изменением поглощения фотоиндуцированных дефектов в матрице.

В данной работе проведено комплексное исследование влияния УФ-облучения на f-f люминесценцию ионов Er^{3+} в оксидных (ZrO_2 и La_2O_3) и фторидных (LaF_3 и YF_3) матрицах. Экспериментально установлено как увеличение (для фторидных матриц), так и уменьшение (для оксидных матриц) интенсивности люминесценции, вызванное УФ-облучением дисперсных образцов. Предложен механизм установленного эффекта.

Данная работа была выполнена в рамках исследовательского гранта Санкт-Петербургского государственного университета (PureID 91696387).

Спектроскопия спиновых шумов магнитно-анизотропных центров

Козлов Вадим Олегович

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники

Спектроскопия спиновых шумов (ССШ) представляет собой оптический метод регистрации парамагнитного резонанса по флуктуациям намагниченности [1,2]. Этот метод основан на эффекте Фарадея, благодаря которому шумы намагниченности можно косвенно измерять с помощью шума фарадеевского вращения. При использовании метода ССШ и других магнитооптических методов, подразумевается выполнение теоремы Ван Флека [3]: фарадеевское вращение прямо пропорционально проекции намагниченности на волновой вектор зондирующего луча. Данный факт вместе с флуктуационно-диссипационной теоремой [4] позволяет измерять магнитную восприимчивость парамагнитной среды, как и при использовании классического метода электронного парамагнитного резонанса.

При регистрации спинового шума выделяют две геометрии эксперимента [2]: геометрию Фарадея, когда внешнее магнитное поле сонаправленно с волновым вектором света и геометрию Фойгта, когда они перпендикулярны. В изотропных спиновых системах в геометрии Фарадея наблюдаются, как правило, только флуктуации амплитуды намагниченности, которым соответствует сигнал вблизи нуля частот. В геометрии Фойгта – флуктуации направления намагниченности, чему соответствует сигнал на ларморовской частоте (частоте парамагнитного резонанса). Однако в системах с анизотропными центрами теорема Ван Флека перестаёт быть справедлива. С практической точки зрения это приводит к тому, что различия между двумя геометриями пропадают, и спиновый шум на ларморовской частоте обнаруживается при произвольной ориентации внешнего магнитного поля. Данный факт экспериментально продемонстрирован для кубического кристалла CaF_2 с анизотропными центрами Nd^{3+} .

Показано, что в случае анизотропных спиновых систем теоремы Ван Флека недостаточно для корректного описания сигналов спиновых шумов. Обнаруженная произвольность геометрии при исследовании магнитно-анизотропных центров упрощает процедуру проведения эксперимента. Ожидается, что полученный результат может быть обобщен на случай разупорядоченных систем, таких как стёкла с центрами окраски, и может быть пригоден для выявления в них скрытой анизотропии примесных центров.

[1] Römer, M. et al. *Rev. Sci. Instrum.* **2007**, 78, 103903.

[2] Zapasskii, V. et al. *Adv. Opt. Photonics.* **2013**, 5(2), 131–168.

[3] VanVleck, J. and Hebb, M. *Phys. Rev.* **1934**, 46(1), 17–32.

[4] Callen, H. and Welton, T. *Phys. Rev.* **1951**, 83(1), 34–40.

Подавление перехода доменных стенок к нестационарному движению посредством периодической модуляции ширины мягких ферромагнитных нанопроводов

Ложкина Ольга Александровна

Доменные стенки, распространяющиеся в ограниченных магнитных проводах под действием внешнего магнитного поля или электрического тока, являются интересным объектом для ряда концептов спинтроники, включая элементы логики [1] и памяти [2]. Стохастичность их движения и процессов с одной стороны является нежелательным фактором для использования в сенсорах, но с другой стороны крайне привлекательна для набирающего популярность направления нейроморфных вычислений [3]. Зависимость механизма распространения доменных стенок от внешнего поля нелинейна и имеет так называемый переход к нестационарному движению при некотором критическом значении поля.

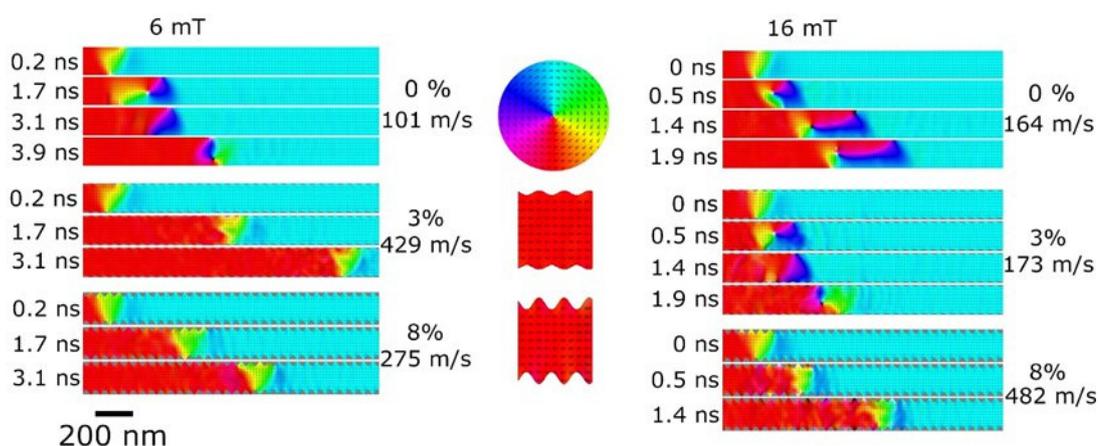


Рис. 1: скриншоты моделирования распространения доменной стенки в нанопроводах с различной амплитудой модуляции ширины под действием внешнего магнитного поля, демонстрирующие сдвиг критического поля перехода к нестационарному состоянию.

В данной работе посредством микромагнитного моделирования и экспериментальной работы мы изучаем возможности сдвига и полного подавления поля перехода к нестационарному движению посредством введения периодической модуляции ширины плоских нанопроводов из пермаллоя для эффективного управления стохастичностью распространения доменных стенок [4].

[1] Allwood, D. et al. *Science*. **2005**, 309(5741), 1688–1692.

[2] Parkin, S. et al. *Science*. **2008**, 320(5873), 190–194.

[3] Wang, Y. et al. *IEEE Trans. Nanotechnol.* **2015**, 14(6), 998–1012.

[4] Lozhkina, O. et al. *J. Appl. Phys.* **2022**, 131, 233902.

Исследование фотолюминесценции в широких квантовых ямах гетероструктур GaAs/InGaAs

Максимов Матвей Андреевич

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники

Оптические свойства экситонов и их комплексов в широких квантовых ямах на сегодняшний день мало изучены. Рассмотрение фотолюминесценции (ФЛ) в широких ямах представляет значительный научный интерес для обнаружения квантовых биений, понимания квантовой запутанности и лазерной генерации без инверсии заселенностей, а также для создания ультрабыстрых оптических приборов [1].

Отличительной особенностью данной работы является изучение ФЛ от гетероструктур GaAs/In(1.8%)GaAs в широкой, 145 нм квантовой яме при оптической накачке непрерывным лазерным излучением 1.9 эВ. В ходе работы предлагается теоретическая модель, описывающая квантование энергии поступательного движения экситона в яме.

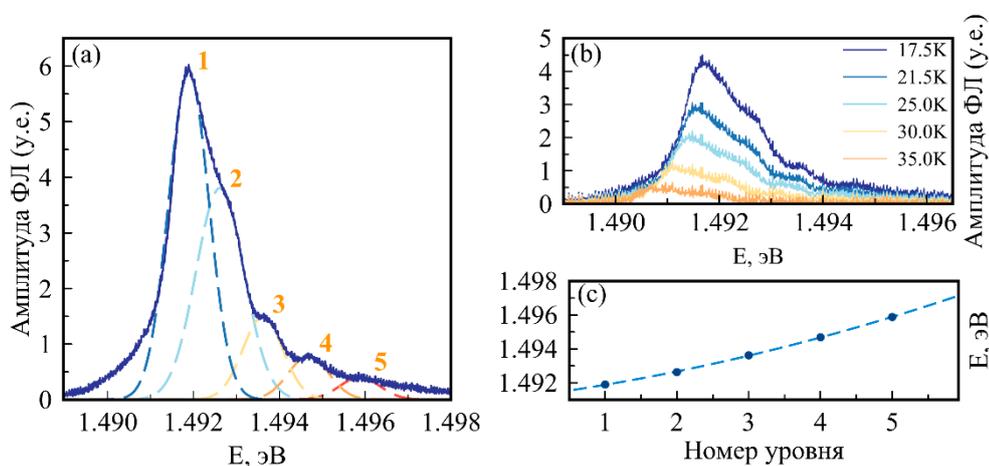


Рис. 1. (а) Уровни квантования энергии экситонов в квантовой яме и зависимость энергии уровней от порядкового номера (с), а также спектры ФЛ (b) при различных температурах.

Полученные экспериментальные данные позволяют говорить о наличии ФЛ от экситонов в квантовой яме. Была определена энергия запрещённой зоны материала ямы. Полученное значение $E_g = 1.4913$ эВ совпадает с известным значением [2].

Работа выполнена на оборудовании Ресурсного центра СПбГУ «Нанофотоника» при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Мегагрант № 075-15-2022-1112).

[1] Sangwan, S. et al. *Nat. Commun.* **2018**, 9, 351.

[2] Nahory, R. et al. *Appl. Phys. Lett.* **1978**, 33, 659–661.

Анализ стадий механизма фотостимулированной десорбции CO, адсорбированного на поверхности TiO₂

Михелева Алёна Юрьевна

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники

Методами ИК-спектроскопии и волюметрии изучены процессы адсорбции CO на поверхности TiO₂ при комнатной температуре [1], а также его десорбции, индуцированной УФ светом, соответствующим фотовозбуждению диоксида титана в области его собственного поглощения. Получены кинетические зависимости для серии давлений CO и интенсивностей возбуждающего УФ света. Кинетические данные позволили выбрать параметры для описания фотодесорбции CO и ре-адсорбции CO, а именно начальные скорости наблюдаемых процессов (r_{0d} и r_{0g}) и разница в количестве молекул CO при фотодесорбции и ре-адсорбции (dN). Зависимости начальной скорости от давления и интенсивности УФ света хорошо описываются линейной функцией.

Анализ полученных экспериментальных данных позволил предложить возможный механизм фотостимулированной десорбции CO и ре-адсорбции. Процессы, протекающие на стадии фотодесорбции, могут быть описаны следующими уравнениями реакций:

1. $TiO_2 + h\nu \rightarrow e + h$
2. $Ti^{4+} \cdots CO + e \rightarrow Ti^{3+} + CO$
3. $Ti^{4+} + e \rightarrow Ti^{3+}$
4. $Ti^{3+} + h \rightarrow Ti^{4+}$
5. $O_s^{2-} + h \rightarrow O_s^-$
6. $O_s^- + e \rightarrow O_s^{2-}$
7. $O_s^- + CO \rightarrow O_s^- \cdots CO \rightarrow V_a^+(h) + CO_2$

Следует отметить, что на протяжении всего фотопроцесса протекает темновой адсорбционно-десорбционный процесс. Образование CO₂ в ходе облучения TiO₂ было подтверждено масс-спектрометрически, в том числе с использованием изотопа ¹³CO. Также методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии были обнаружены пики, соответствующие образованию кислородных вакансий, O_s⁻, что подтверждает восстановление образца диоксида титана за счет нарушения стехиометрии Ti/O.

[1] Буланин, К.etal. *Оптика И Спектроскопия*. **2021**, 129, 11, 1400.

Динамика фотонного эха в магнитном поле от экситонов в квантовой яме InGaAs/GaAs

Назаров Роман Сергеевич

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники

Нам удалось наблюдать колебательное поведение стимулированного (трёхимпульсного) фотонного эха (ФЭ) от экситонов в квантовой яме InGaAs/GaAs под действием внешнего магнитного поля. Исследование ФЭ, зависимость от магнитного поля, представляет научный интерес в области обработки информации, в частности, при создании долгоживущей оптической памяти [1].

Реализация гетеродинного детектирования сделала возможным измерение временной динамики сигнала в масштабах пикосекунд. Контроль поляризации каждого из импульсов независимо от других позволил провести поляриметрические измерения фотонного эха. Спектроскопические измерения сигнала фотонного эха были произведены с помощью перестраиваемого титан-сапфирового пикосекундного лазера. Образец, содержащий квантовую яму In_{0,03}Ga_{0,97}As/GaAs толщиной 3 нм, охлаждали до температуры 1,4 К и прикладывали поперечное магнитное поле до 5 Тл.

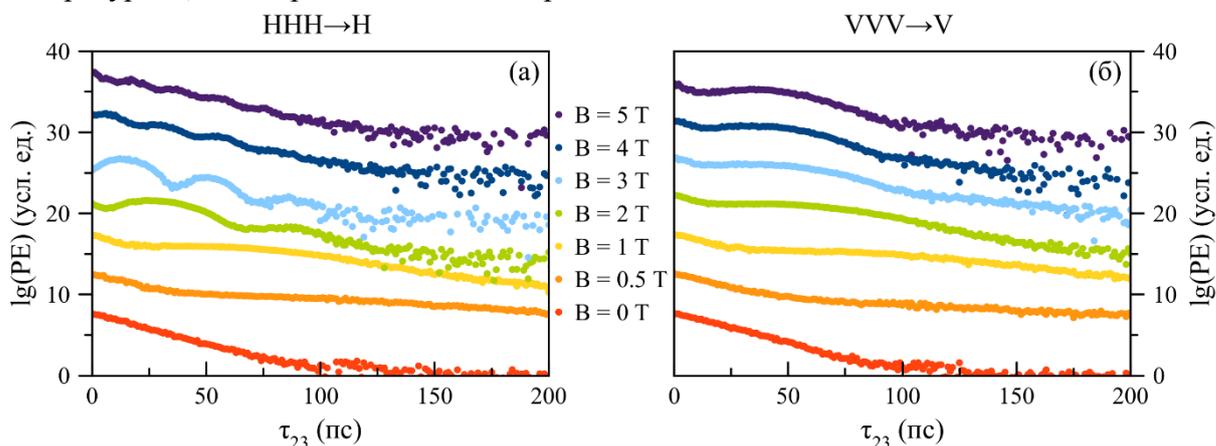


Рис. 1. Амплитуда фотонного эха как функция временной задержки τ_{23} при различных значениях магнитного поля, для линейных поляризаций возбуждения-детектирования, параллельных (а) и перпендикулярных (б) магнитному полю.

В отсутствие магнитного поля амплитуда ФЭ спадает экспоненциально с постоянной времени оптической когерентности $T_2 = 27$ пс. Приложение магнитного поля приводит к возникновению колебаний амплитуды ФЭ.

Работа выполнена на оборудовании Ресурсного центра СПбГУ «Нанофотоника» за счет гранта Российского научного фонда № 22-22-00439.

[1] Langer, L. et al. *Nat. Photonics*. **2014**, 8, 851–857.

Показатель преломления вблизи экситонного резонанса в монокристалле MAPbI_3

Самсонова Анна Юрьевна

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники

Исследовать оптические свойства галогенидных перовскитов необходимо для создания на их основе различных оптоэлектронных устройств. В настоящей работе измерен спектр отражения монокристалла MAPbI_3 при нормальном падении света (рис. 1а). В такой конфигурации зависимость коэффициента отражения R от энергии фотона E объёмного MAPbI_3 представляет собой типичную резонансную кривую, природа которой – взаимодействие света с экситонами (рис. 1б). Положение резонанса определяется разницей между значением ширины запрещённой зоны MAPbI_3 и энергией связи экситона, и приблизительно равно 1.64 эВ при температуре $T = 4$ К.

Дополнительно к экситонному резонансу в спектре отражения $R(E)$ MAPbI_3 наблюдались осцилляции при энергиях E ниже положения экситонного резонанса (рис. 1с,д). Мы считаем, что в результате естественного раскола монокристалла сформировался резонатор Фабри-Перо, и наблюдаемые осцилляции являются модами Фабри-Перо. Зная положения максимумов мод Фабри-Перо и размер резонатора d , можно определить показатель преломления n MAPbI_3 в области прозрачности материала (рис. 1е).

Из результатов можно убедиться, что показатель преломления быстро возрастает вблизи экситонного резонанса, что связано с его большой силой осциллятора. Это обстоятельство необходимо учитывать, в том числе для расчета резонаторов лазеров, излучающих в области прозрачности.

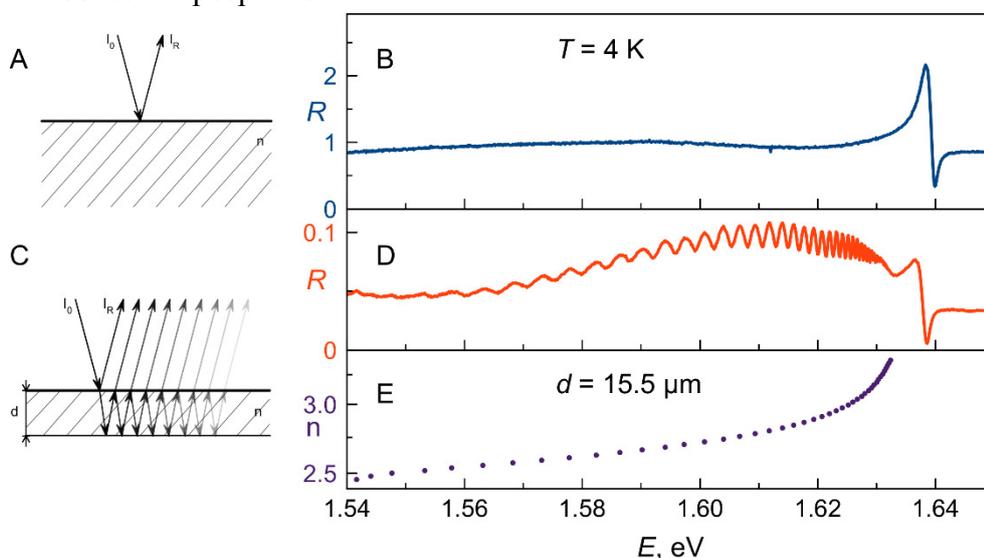


Рис. 1. (а, с) Отражение R . (b, d) $R(E)$ от MAPbI_3 при $T = 4$ К. (е) $n(E)$ MAPbI_3 .

Это исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Мегагрант № 075-15-2022-1112) и выполнено на оборудовании РЦ СПбГУ «Нанопотоника».

Фарадеевское вращение наобъёмных монокристаллах перовскита MAPbI_3

Шумицкая Анастасия Алексеевна

Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, кафедра фотоники

Эффект Фарадея (фарадеевское вращение) – магнитооптический эффект, заключающийся в повороте плоскости поляризации линейно-поляризованного света, проходящего через оптически не активное вещество, находящееся во внешнем магнитном поле. Характер фарадеевского вращения определяется типом магнетизма вещества. Исследуя его в зависимости от температуры и условий фотолегирования, можно оценить пара- и диамагнитные вклады в исследуемом твёрдом теле. Присутствие фарадеевского вращения, связанного с парамагнетизмом, является необходимым условием для возможности изучения образца методом спектроскопии спиновых шумов (ССШ).

В настоящей работе исследуется фарадеевское вращение на перовските MAPbI_3 . Перовскиты – новые и крайне перспективные материалы, которые используются в солнечной энергетике. Эти материалы даже вошли в топ-10 прорывов 2013 года журнала «Science» [1]. В силу их новизны накопление базовых знаний об оптике и магнетизме этих систем происходит в настоящее время (см., напр. [2]), и выращиваемые в РЦ «Нанопотоника» СПбГУ кристаллы перовскитов необходимо предварительно характеризовать. Для этого была создана установка измерения фарадеевского вращения. Температура в эксперименте регулируется при помощи нагревателя из тонкой проводящей плёнки, на которой закреплён образец. Магнитное поле создаётся электромагнитной катушкой, запитанной от генератора переменного тока. Фарадеевское вращение измеряется стандартным поляриметрическим приёмником, состоящим из балансного фотодетектора, генератора звуковых частот и синхронного детектора. Величина вращения измеряется в нескольких температурных точках с шагом в 10°C .

При повышении температуры наблюдается уменьшение вращения плоскости поляризации, что свидетельствует об уменьшении парамагнитного вклада в соответствии с законом Кюри. При понижении температуры ниже определённого критического значения (57°C) сигнал резко исчезает, что связано со структурным фазовым переходом кристалла [3].

[1] Coontz, R. *Science*. **2013** (DOI: 10.1126/article.23775).

[2] Garcia-Arellano, G. et al, *J. Phys. Chem. Lett.* **2021**, 12(34), 8272–8279.

[3] Dobrovolsky, A. et al. *Nat. Commun.* **2017**, 8, 34.