

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СПОСОБНОСТИ К ГЕНЕРАЦИИ УСИЛЕННОЙ СПОНТАННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ОТ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЛЁНОК НАНОКРИСТАЛЛОВ ПЕРОВСКИТА CSPVBR₃

Никитина М. А. (ГБОУ Вторая СПб Гимназия), Мальцев Я. А. (ГБОУ гимназия 402),
Успенский Я. Л. (ГБОУ Лицей №533)

Научный руководитель - Харитонов В. В. (Университет ИТМО)

Введение. Современная кремниевая электроника подходит вплотную к фундаментальным ограничениям пределов быстродействия и уменьшения рабочей толщины микросхем, поэтому в последнее время наблюдается заметное падение скорости наращивания вычислительных мощностей, в то время как суперкомпьютеры начинают выполнять всё более критически важные задачи, поиск альтернатив электронике является актуальной задачей. Одним из путей разрешения этого кризиса является развитие фотонных вычислений, где бит информации переносится не с помощью электрона, а с помощью фотона, скорость передвижения которого более, чем в 300 раз быстрее скорости движения электрона в кремнии. Таким образом, фотонные вычисления теоретически позволяют увеличить скорость передачи информации не менее, чем на два порядка.

Однако для полноценного развития фотонных вычислителей требуются материалы с высоким квантовым выходом и высоким коэффициентом преобразования или модуляции света. Свинцово-галогенидные перовскиты типа CsPbX₃ (X = Br, Cl, I) на данный момент являются наиболее эффективными по сравнению с халькогенидными за счет их излучательной способности. Органо-неорганические метиламиновые и формамидиновые перовскиты наиболее эффективно преобразуют солнечную энергию среди перовскитов, применяющихся на практике, и считаются перспективными для фотовольтаики, особенно для целей солнечной энергетики. На их свойства, в том числе фотолюминесцентные, сильно влияют размеры, форма, пространственная структура. Однако они не отличаются стабильностью. Материалы типа CsPbX₃ более стабильны и эффективны, нежели вышеперечисленные. Они более устойчивы к влиянию влажности и повышенных температур и способны преобразовывать солнечную энергию наравне с метиламиновыми перовскитами. Свинцово-галогенидные перовскиты являются одним из материалов, отвечающих указанным требованиям, тем не менее необходима дальнейшая оптимизация химического состава. В данном проекте исследуется изменение физических свойств перовскита CsPbBr₃ при частичном замещении свинца кадмием.

Основная часть. В данной работе 2 основных этапа. На первом проходит детальное изучение синтеза перовскитных квантовых точек/нанокристаллов (КТ/НК): процесс подготовки прекурсоров, синтез на линии Шленка, постобработка образцов и нанесение пленок перовскита методом центрифугирования. Второй этап включает в себя оптическую характеризацию, а также модификацию нанокристаллической плёнки лазерным фемтосекундным излучением и обработку полученных данных.

Синтезы образцов проводились на линии Шленка с вакуумированием, а также в инертной атмосфере азота. В качестве переменных условий синтеза были выбраны соотношение Pb и Cd и максимальная температура синтеза, при которой добавлялся последний прекурсор TOP-Br (trioctylphosphine-Br) и осуществлялось преобразование реакционной смеси в галогенидный перовскит. После синтеза выполнялась многоэтапная промывка образцов и центрифугирование для отделения крупных кластеров перовскита от квантовых точек/нанокристаллов образца. Далее плёнки КТ/НК наносились на стеклянные подложки для дальнейшей оптической характеризации.

Были получены два типа данных для обработки: оптические изображения пятен засветки образов и массивы значений интенсивности, полученные в результате анализа на лазерной установке.

В процессе обработки полученных данных были реализованы 4 алгоритма. Первый алгоритм по изображению линейки находит расстояние между её делениями и соотносит длину в пикселях с длиной в микрометрах. Второй позволяет найти центр пятна по изображению путем деления среднего значения произведений зеленого компонента отдельного пикселя и его координат на среднее значение зеленого компонента среди всех пикселей. Третий определяет диаметр пятна на изображении, а также выделяет области различной интенсивности пятна (90, 80 и 70% от общей интенсивности засветки). Четвертый выполняет свертку данных, полученных на лазерной установке. Алгоритмы были реализованы с помощью языка программирования Python.

Выводы. Изучена тематическая литература, синтезированы квантовые точки перовскита CsPbBr_3 , нанесены нанопленки методом центрифугирования, а также оптимизирован процесс обработки данных.

Список использованных источников.

1. Елизаров М. С. Исследование перовскитных материалов для элементов фотовольтаики: СПб, 2018. - 7 с.
2. Самойлова Н. Перовскитные солнечные батареи выдержали 1800 часов термического стресса // Энерговектор. - 2020. - 30.05.
3. УрФУ Учёные придумали, как продлить срок работы дешёвых российских солнечных батарей // РФФИ. - 2022. - 20.05.
4. Чугуева И. Наноматериалы. Ученые превратили одноклеточные водоросли в наноструктурные перовскиты // ПерсТ. - 2023.
5. Radiative recombination in semiconductors// FOSCO. - Silicon Valley: Fiber Optic Tutorials.
6. Krieg F., Qui K., Burian M., Raino M., Naumenko D Stable Ultraconcentrated and Ultradilute Colloids of CsPbX_3 (X = Cl, Br) Nanocrystals Using Natural Lecithin as a Capping Ligand // JACS. - 2019. - №141. - С. 50.