

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения, технологии  
и управления качеством

**СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОВОЛОКНИСТЫХ НЕТКАНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ С ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента магистратуры 2 курса 2291 группы  
направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»,  
профиль «Нанотехнологии, диагностика и синтез современных материалов»  
института физики

Захаренко Никиты Денисовича

Научный руководитель,  
доцент, к.ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

А.А. Сердобинцев

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой,  
д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

С.Б. Вениг

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Саратов 2022

**Введение.** На сегодняшний день квантовые точки  $\text{CsPbBr}_3$  с перовскитной структурой имеют огромный потенциал применения во многих областях благодаря своим уникальным фотолюминесцентным свойствам. В работе были рассмотрены принципы создания раствора, электроформования, сканирующей электронной микроскопии и люминесценции. Перовскитные наночастицы рассмотрены, как источники высоких значений квантового выхода, как конкурентно способный продукт для других полупроводниковых частиц [1]. Квантовые точки  $\text{CsPbBr}_3$  могут применяться в лазерных технологиях [2], в сфере альтернативной энергетики для замены нестабильных гибридных перовскитных нанокристаллов в солнечных батареях [3], фотодиодах [4], лазерах [5], фотодетекторах [6], а также для применения в дисплеях следующего поколения [7].

В моей выпускной квалификационной работе разработана новая технология получения нановолокнистых нетканых матов, содержащих перовскитные квантовые точки  $\text{CsPbBr}_3$ . Перовскиты могут применяться в лазерных технологиях, в сфере альтернативной энергетики для замены нестабильных гибридных перовскитных нанокристаллов в солнечных батареях, фотодиода, лазерах, фотодетекторах, а также для применения в дисплеях следующего поколения. В моей выпускной квалификационной работе ведение перовскитных квантовых точек в полимер является новой технологией изготовления нановолокнистого нетканого материала. При использовании разных концентраций компонентов, напряженности поля и иных показателей, итоговый материал будет обладать новыми свойствами, применение которых положительно скажется при разработке новых продуктов.

Учитывая это, разработка методики получения наноразмерных перовскитных квантовых точек на полимерном нетканом материале представляется актуальной задачей. В качестве основы использована уже апробированная методика получения субмикронных частиц кремния на нановолокнистом нетканом материале.

Целью выпускной квалификационной работы является – создание и исследование полимерных образцов с содержанием перовскитных КТ, их исследование, определение выводов работы, достижение наноразмерности частиц и получение эффекта люминесценции.

- На основе поставленной цели необходимо решить следующие задачи:
- приготовление раствора;
- электроформование;
- исследование на сканирующем электронном микроскопе;
- ультрафиолетовое (УФ) облучение образцов на планшетном ридере;
- сбор и анализ полученных данных;

Дипломная работа занимает 50 страниц, имеет 39 рисунков и 1 формулу.

Обзор составлен по 45 информационным источникам.

Во введении рассматривается актуальность работы, устанавливается цель и выдвигаются задачи для достижения поставленной цели.

Первый раздел представляет собой теоретическую часть.

Во втором разделе работы описана практика.

Ниже представлена структура содержания выполненной работы.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

### ВВЕДЕНИЕ

#### 1 Теоретическая часть

##### 1.1 Перовскиты

##### 1.2 Электроформование

##### 1.3 Люминесценция

##### 1.4 Фотолюминесценция

##### 1.5 Мотив работы

#### 2 Практическая часть

##### 2.1 Вступление

##### 2.2 Приготовление раствора

##### 2.3 Исследование образцов

##### 2.4 Обработка данных

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

### Основное содержание работы

**Описание теоретической части. Перовскиты.** Перовскиты представлены как редкий для Земли минерал [8]. В данной части описан классический химический состав и определено строение перовскита. Также приведены ключевые особенности, определена сравнительная характеристика, выделены преимущества использования квантовых точек, именно на основе этого вещества, такие как:

- простая структура
- простота изготовления
- низкая себестоимость процесса изготовления;
- широкий спектр поглощаемого света.

Было выяснено, что перовскиты обладают достаточно привлекательными оптическими свойствами, и высоким квантовым выходом. Помимо этого, описаны недостатки, а также решения этих проблем.

**Электроформование.** В этом разделе нановолокна описаны, как особые структуры, у которых с уменьшением размера улучшаются физические особенности. Был описан процесс электроформования, как метод изготовления нетканых материалов. [9]

Приведена схема устройства установки, рассмотрены принципы работы. В этом разделе было приведено главное достоинство метода создания нетканых материалов – достижение наноразмерности.

**Люминесценция.** Дано определение понятию люминесценции. Описаны спектры люминесценции, а также выход, и какой он бывает, в данном случае нас интересовал квантовый. Также была показана формула квантового выхода [10].

**Фотолюминесценция.** Также дано определение понятию, описаны условия возникновения этого явления.

**Мотив работы.** Здесь описаны достоинства методов, применяемых для создания нового метода получения нановолокнистого нетканого материала с люминесцентными наночастицами перовскита. Приведены необходимые условия, рассказано о том, почему нам важны применения именно этих методов. В этом разделе описывается план работы, причина применения полимера. Достоинства фторопласта, описания технологических параметров, важных для метода электроформования.

**Практическая часть. Вступление.** В данном разделе работы описывается прошлая работа, основанная на схожих методах [11]. Описана разработанная методика получения субмикронных частиц кристаллического кремния на нановолокнистом нетканом материале. В качестве полимеров использовался полиамид и полиакрилонитрил. Также описаны процессы практического применения электроформования, магнетронного распыления, лазерного отжига, рамановской спектроскопии, конфокальной микроскопии. Описан полученный результат, сделаны выводы, перенесено применение методов на текущую работу, определены преимущества настоящей разработки перед прошлой.

**Приготовление раствора.** Экспериментальная часть начинается с определения дозировок компонентов и добавления их в один измерительный стаканчик, после определения соотношения компонентов, был приготовлен раствор, нагрет и перемешан. После описывается процесс электроформования, параметры процесса, режимы работы, длительность эксперимента. После завершения процесса, полученный результат был зафиксирован при помощи ультрафиолетовой лампы, была достигнута фотолюминисценция полученного образца.

**Исследование образцов.** Была произведена сканирующая электронная микроскопия, с помощью специальной программы были определены размеры нановолокон, в среднем они составляли порядка 200 нм. В этом разделе прилагаются изображения исследований, сначала без перовскитных квантовых точек, затем вместе с ними. Было показано, что эти точки не люминесцируют,

так как не помещены внутрь волокна и в виду своей природы быстро деградируют. Дальнейшим, представляющим интерес, этапом стало измерение люминесценции полученных образцов. Описывается облучение ультрафиолетовым светом при помощи планшетного ридера Synergy H1 microplate reader. Диапазон значений длин излучаемых волн варьировался от 410 нм до 700 нм с шагом 1 нм. Каждый полученный ранее образец помещался в ридер и в разных точках, расстояние между которыми составляло 9 мм. После проведения исследований были вытаснены количественные данные, и, следующим этапом стала обработка этих данных.

**Обработка данных.** После измерений люминесценции были получены количественные данные. Описывается процесс обработки данных, заключающийся в построении таблиц и графиков в среде excel, на основе которых были описаны результаты получения и изучения максимальных длин волн и максимальных интенсивностей, являющимися характеристиками люминесценции. Так как серия экспериментов включала множество образцов, то в этом разделе показано большое количество графиков, говорящих о тех или иных факторах в условиях разработки нового метода. Далее на основе табличных данных были построены матрицы, включающие эти данные, это позволило объединить предыдущие значения и построить объемные графики, наглядно демонстрирующие геометрическое распределение частиц по площади образцов, а также интенсивность люминесценции.

**Заключение.** Для подведения итогов выполненной работы стоит определить несколько основных факторов. Первым фактором является получение однородности интенсивности максимума люминесценции по площади. Диаграммы в работе отражают равномерность распределения люминесцирующих частиц по площади образца. Наиболее однородными кажутся диаграммы на 23-25 см. Т.е. при увеличении расстояния увеличивается однородность по площади, что положительно сказывается на процессе формования в целом, так как есть больше возможности им управлять.

Вторым фактором является однородность длины волны максимума по площади. В работе было показано, что зависимость размера частиц от времени получения образца гораздо сильнее, чем от расстояния формования. Из данных эксперимента видно, что каждый образец формовался 15 минут. Так как все образцы были получены из одного и того же раствора, получается, что каждый последующий образец готовился из всё более старого раствора. И это влияло на размер получающихся в нетканом полимерном материале частиц. Стоит полагать, это связано с тем, что чем старше раствор, тем больше времени для роста частиц требуется, и тем больше они получаются. Вероятно, частицы формируются в растворе, а не в волокне, и их размер определяется временем выдержки раствора перед формованием. Цель работы была выполнена. Была разработана новая технология создания полимерных образцов с содержанием перовскитных КТ. Получившиеся образцы были успешно исследованы. На основе этих исследований, было определено, что нам удалось добиться получения эффекта люминесценции перовскитных КТ. Так как было выявлено, что данному результату предшествуют особые положительные факторы. Во-первых, НЧ хорошо защищены от воды и воздуха волокнами полимера. Из-за это на частицы не оказывается деструктивное влияние и затем не следует деградация НЧ. Во-вторых, рост НЧ CsPbBr<sub>3</sub> в волокне пространственно ограничен в двух направлениях.

#### **Список использованных источников**

- 1 Kovalenko, M. V. Properties and potential optoelectronic applications of lead halide perovskite nanocrystals / M. V. Kovalenko, [et al.] // Science. – 2017. – P. 745-750.
- 2 Protesescu, L. Nanocrystals of cesium lead halide perovskites (CsPbX<sub>3</sub>, X = Cl, Br, and I): novel optoelectronic materials showing bright emission with wide color gamut / L. Protesescu, [et al.] // Nano Lett. – 2015. – V. 15. – P. 3692.
- 3 Kang Wang All-inorganic cesium lead iodide perovskite solar cells with stabilized efficiency beyond 15%. / Wang Kang, [et al.] // Nature Communications. – 2018. – V. 9. – P. 4544.

4 Lu, M. Metal halide perovskite light-emitting devices: Promising technology for next-generation displays. / M. Lu, [et al.] // *Adv. Funct. Mater.* – 2019. – P. 29.

5 Polushkin, A.S. Single-particle perovskite lasers: From material properties to cavity design. / A.S. Polushkin, [et al.] // *Nanophotonics.* – 2020. – V. 9. – P. 599–610.

6 Luo, W. High detectivity ITO/organolead halide perovskite Schottky photodiodes. / W. Luo, [et al.] // *Semicond. Sci. Technol.* – 2019. – P. 34.

7 Liu, H. Engineering the Photoluminescence of CsPbX<sub>3</sub> (X= Cl, Br, and I) Perovskite Nanocrystals across the Full Visible Spectra with the Interval of 1 nm. / H. Liu, [et al.] // *ACS Applied Materials & Interfaces.* – 2019. – V. 11. – P. 14256-14256.

8 Перовскит [Электронный ресурс] // Wikia.org, свободная энциклопедия [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Перовскит> (дата обращения: 09.06.2022). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

9 Получение нановолокон методом электроформования [Электронный ресурс] // nano.msu.ru [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: [nano.msu.ru/files/master/I/materials/electromolding.pdf](https://nano.msu.ru/files/master/I/materials/electromolding.pdf) (дата обращения: 08.06.2022). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

10 Люминесценция [Электронный ресурс] // Wikia.org, свободная энциклопедия [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Люминесценция#Типы\\_люминесценции](https://ru.wikipedia.org/wiki/Люминесценция#Типы_люминесценции) (дата обращения: 08.06.2022). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

11 Захаренко, Н. Д. Субмикронные кристаллические частицы кремния, полученные на нановолокнистом нетканом материале / Н. Д. Захаренко, [и др.] // *Физика*. СПб: тезисы докладов международной конференции 18-22 октября 2021 г. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – С. 176-177.