

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРОВСКИТНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕГО ЭЛЕКТРОНОГО МИКРОСКОПА(СЭМ)

Выполнил: Муленга Мумба, студент группы Б22-104 НИЯУ
МИФИ, Научный Руководитель: к.ф. -м.н., доц.
Корноухов В.Н

Москва, 2026 год



Актуальность

Перовскитные квантовые точки в настоящее время являются одним из наиболее перспективных классов наноматериалов благодаря своим высокой эффективности фотолюминесценции, узкой ширине спектра излучения и возможности регулирования длины волны излучения. Материалы с синим излучением представляют интерес для применения в светодиодах, дисплейных технологиях, лазерных системах и других оптоэлектронных устройствах, поскольку длину волны их излучения можно изменять в широком диапазоне при сохранении высокой вероятности излучательных переходов и узкополосной люминесценции, характерных для полупроводников с прямой запрещённой зоной.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Цель

Исследование перовскитных квантовых точек, легированных ионами неодима и их структурных характеристики

ЗАДАЧИ:

Изучение теоретических основ квантово-размерных эффектов и свойств перовскитных квантовых точек.

- Анализ существующих методов синтеза перовскитных нанокристаллов.

Исследование влияния легирования Nd^{3+} на морфологические свойства переданных образцов квантовых точек с различными условиями получения

Проведение структурной и элементной характеристики образцов с использованием СЭМ, EDX и методом динамического рассеяния света DLS.

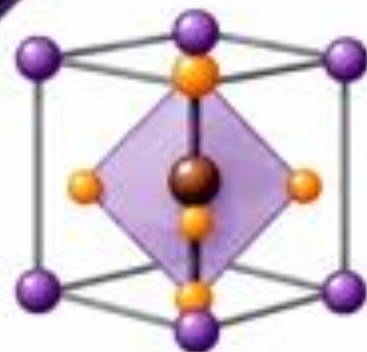
ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Квантовые точки (КТ)-полупроводниковые нанокристаллы с размерами в диапазоне от 1 до 10 нм в которых из-за пространственного ограничения движения носителей заряда проявляются квантово-размерные эффекты.

Квантово-размерный эффект возникает, когда размеры наночастиц становятся приблизительно равными длине волны де Бройля электронов или радиусу экситона.

- энергетические уровни электронов и дырок становятся дискретными
- ширина запрещённой зоны увеличивается при уменьшении размеров частицы.
- спектр излучения можно «настраивать» изменением размера нанокристаллов.

Перовскитные квантовые точки-нанокристаллы на основе галогенидов цезий-свинца которые демонстрируют высокую фотолюминесценцию, узкий спектр излучения и способность изменять энергию запрещённой зоны благодаря малым размерам и квантово-размерным эффектам.



Формула структуры:



(A, B – катионы; X – галогенид-анион)

A

A – одновалентный катион

(органический или неорганический)

Примеры: Cs^+ , MA^+ (метиламмоний), FA^+ (формамидиний)

B

B – двухвалентный металл (Pb^{2+} и др.)

Примеры: Pb^{2+} , Sn^{2+} и др.

X

X – галогенид-анион

Примеры: Cl^- , Br^- , I^-

ПОЛУЧЕНИЯ СИНЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Одной из наиболее сложных задач при создании перовскитных квантовых точек. Для получения синего излучения требуется частичная замена Br^- на Cl^- что увеличивает ширину запрещённой зоны и смещает спектр в область коротких длин волн. Дополнительное влияние оказывают эффекты квантового ограничения и присутствие Nd-содержащих соединений, изменяющих электронную структуру нанокристаллов.

увеличение содержания хлора может приводить к деградации структуры и снижению интенсивности фотолюминесценции-важной задачей является повышение стабильности и эффективности синих перовскитных КТ.

ЛЕГИРОВАНИЕ ИОНАМИ Nd^{3+} на СВОЙСТВА ПЕРОВСКИТНЫХ КТ



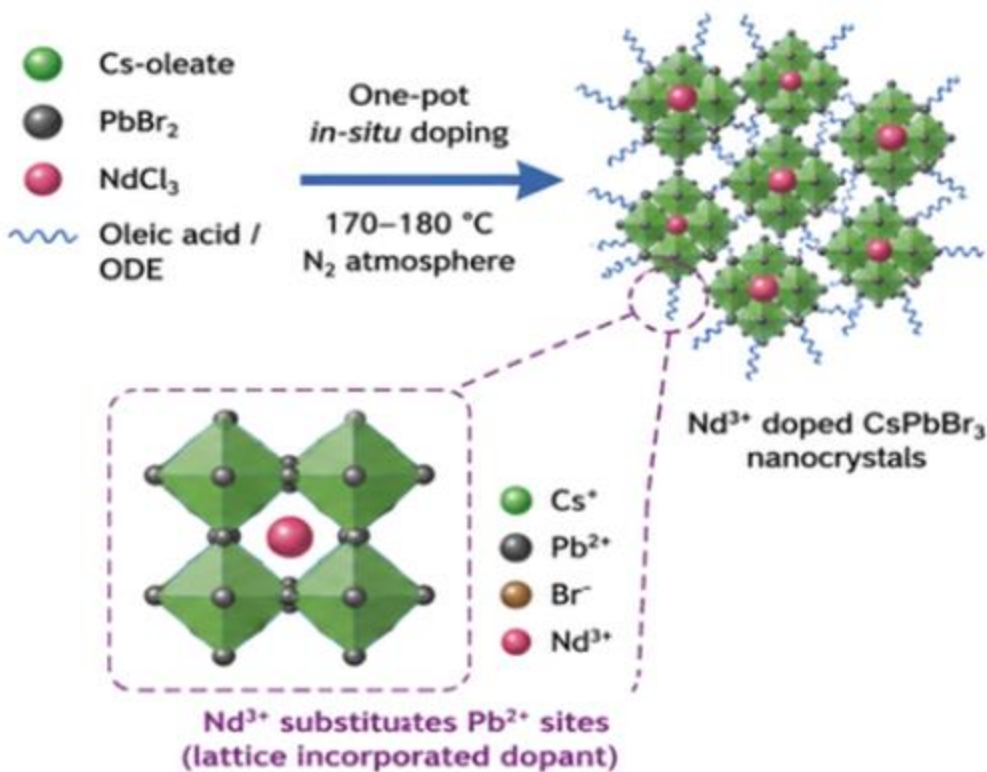
Присутствие неодимсодержащих соединений (например, $\text{CsPb}(\text{Nd})\text{Br}_x\text{Cl}_{3-x}$) приводит к локальному изменению электронной структуры, перераспределению плотности заряда и пассивации дефектных состояний, что способствует повышению стабильности нанокристаллов и интенсивности фотолюминесценции.

- Легирование Nd^{3+} позволяет управлять оптическими свойствами квантовых точек.
- Снижается вероятность безызлучательной рекомбинации.
- Центры Nd^{3+} влияют на процессы переноса энергии и спектральные характеристики излучения.
- При высокой концентрации Nd^{3+} возможно тушение люминесценции

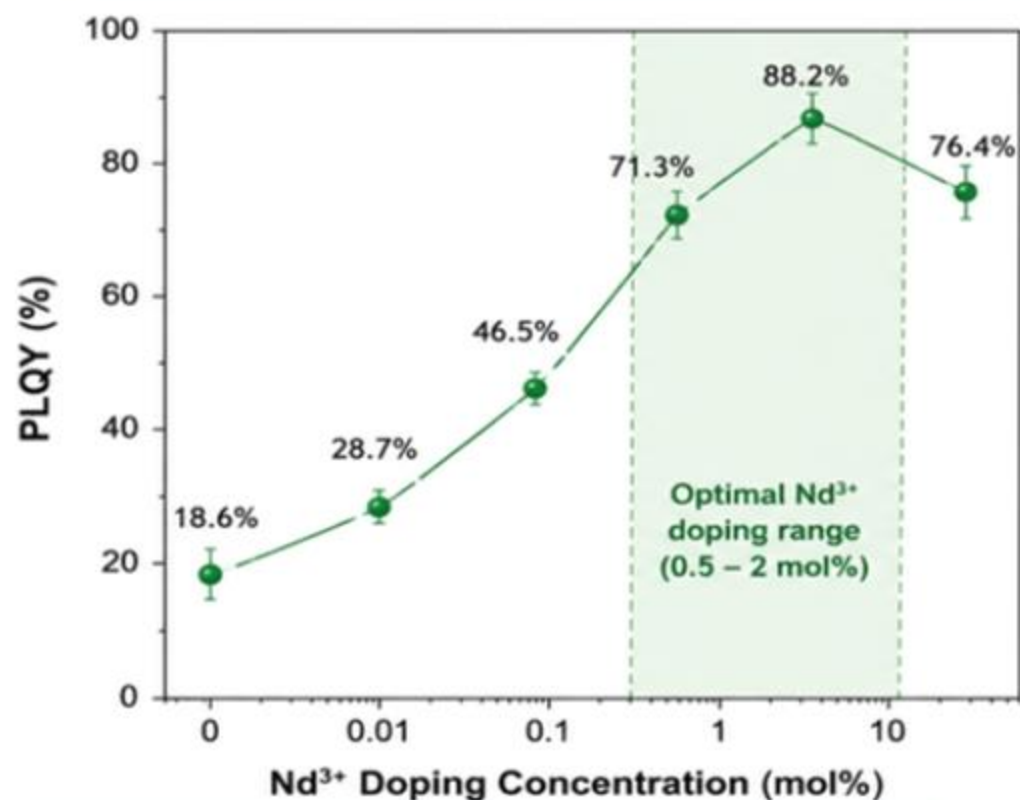
ЛЕГИРОВАНИЕ ИОНАМИ Nd^{3+} на СВОЙСТВА ПЕРОВСКИТНЫХ КТ



In-situ Doping of Nanocrystals with Nd^{3+}



Effect of Nd^{3+} Doping on PLQY



In-situ incorporation of Nd^{3+} into CsPbBr_3 nanocrystals significantly enhances PLQY, reaching a maximum of ~88% at optimal doping concentration.

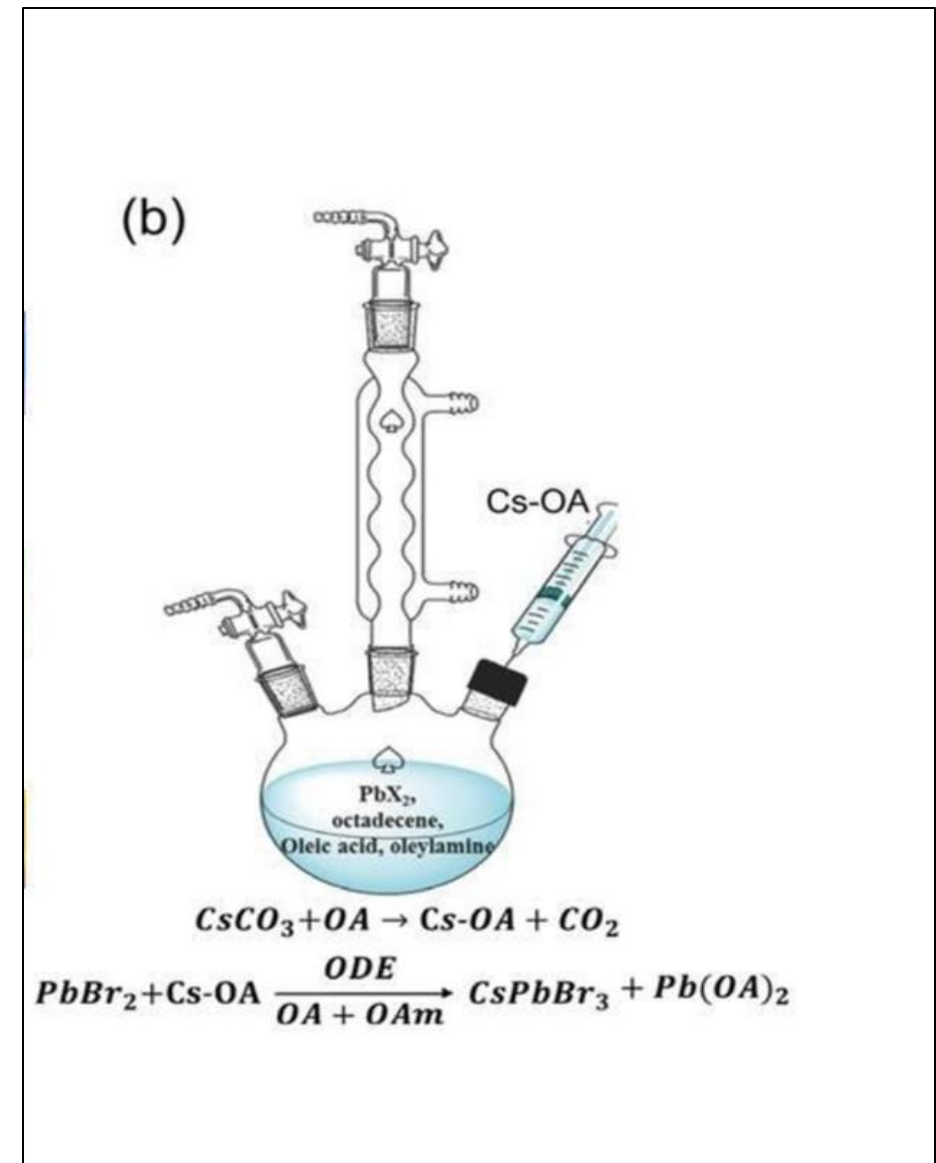
КОЛЛОИДНЫЙ СИНТЕЗ ПЕРОВСКИТНЫХ КТ

Нанокристаллы формируются в растворе в присутствии лигандов.

Основными компонентами синтеза являются:

- прекурсоры Cs^+ ,
- соединения Pb^{2+} ,
- Галогениды (Br, I)
- органические растворители,
- поверхностно-активные вещества.

Метод горячей инъекции, прекурсоры быстро вводятся в нагретую реакционную среду.



ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ПЕРОВСКИТНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)

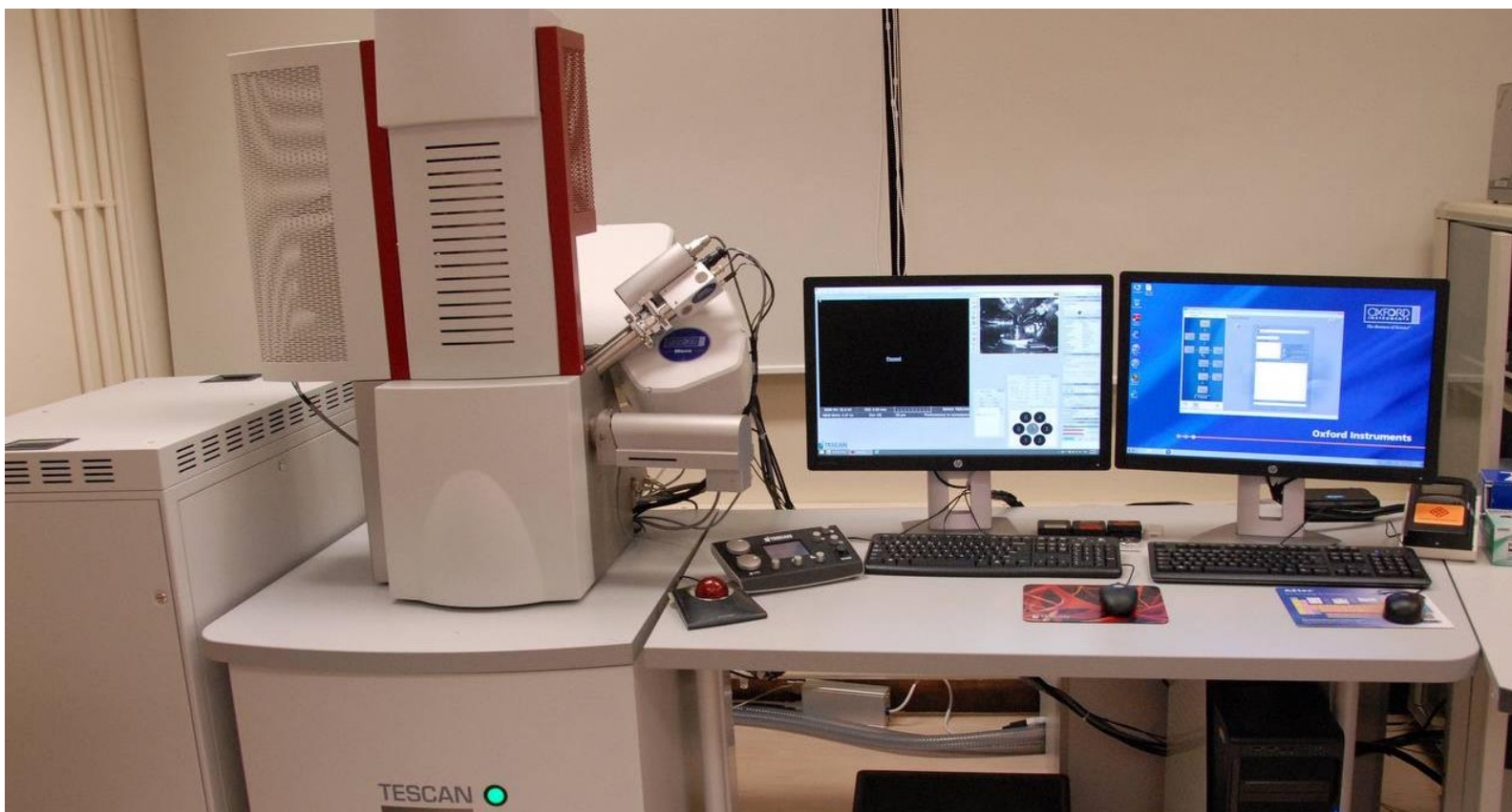
Энергодисперсионная рентгеновская
спектроскопия (EDX)

Метод динамического рассеяния света DLS

Сканирующая Электронная Микроскопия-TESCAN MAIA3



Принцип работы СЭМ основан на взаимодействии сфокусированного электронного пучка с поверхностью исследуемого образца. При взаимодействии электронов с материалом возникают вторичные электроны и рентгеновское излучение, которые регистрируются детекторами и используются для формирования изображения поверхности.



- исследовать морфологию наночастиц,
- определять размеры и форму квантовых точек,
- анализировать дефекты поверхности,

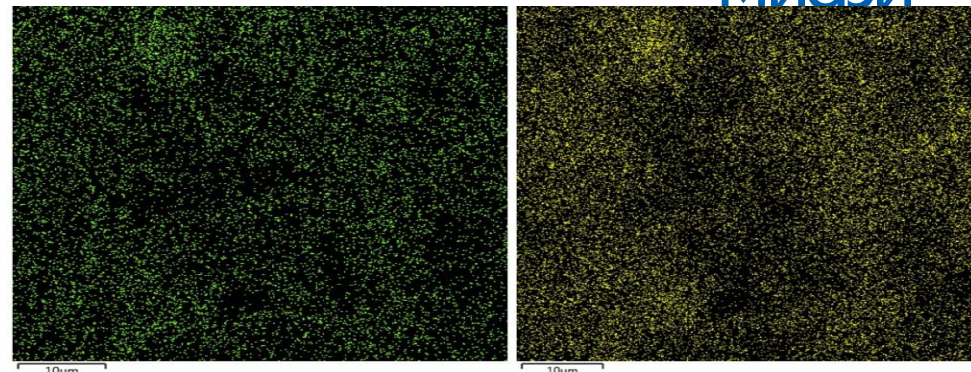
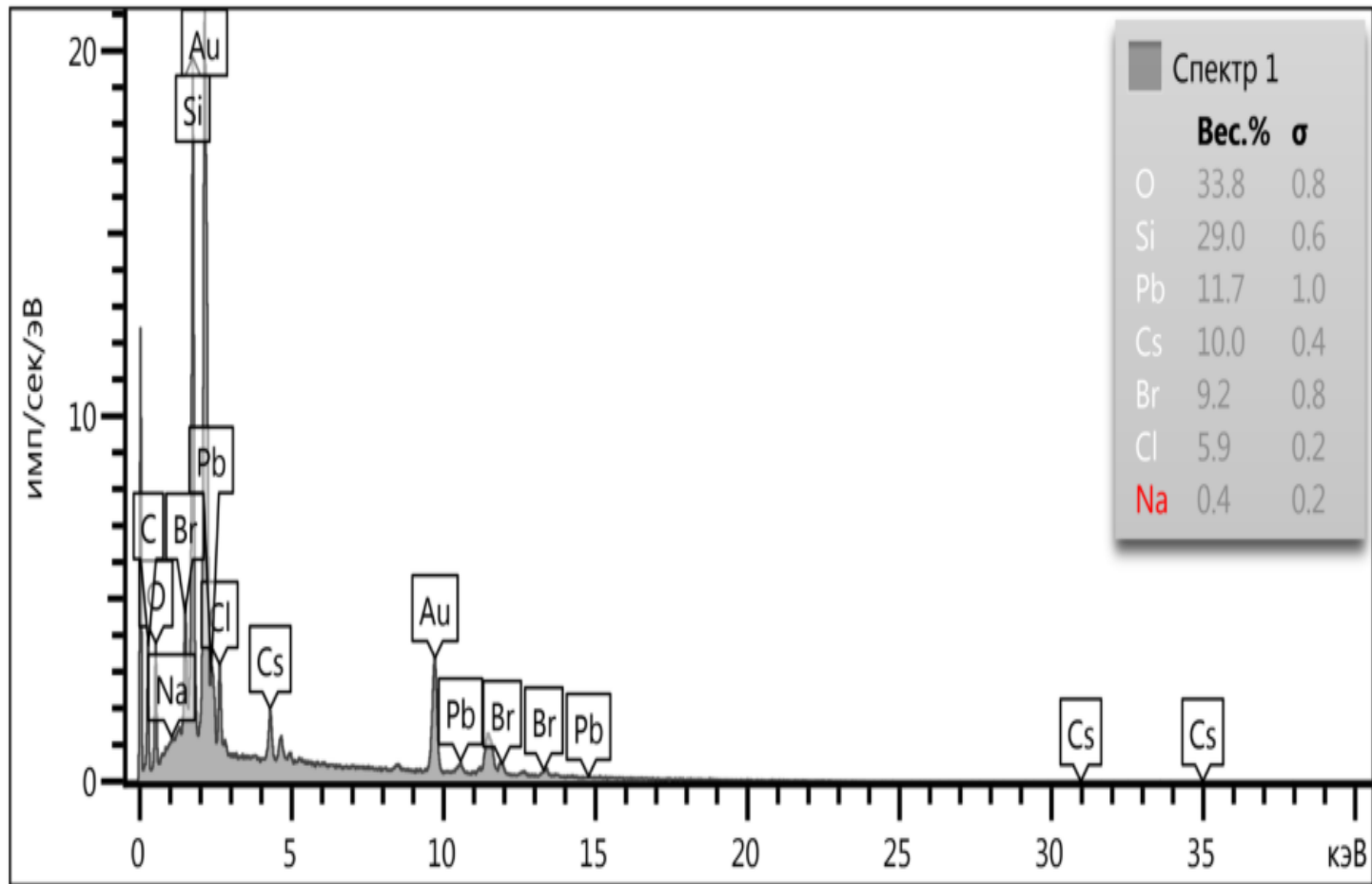
Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (EDX)



Под действием электронного пучка атомы материала испускают характеристическое рентгеновское излучение, по которому можно определить химический состав исследуемого Участка.

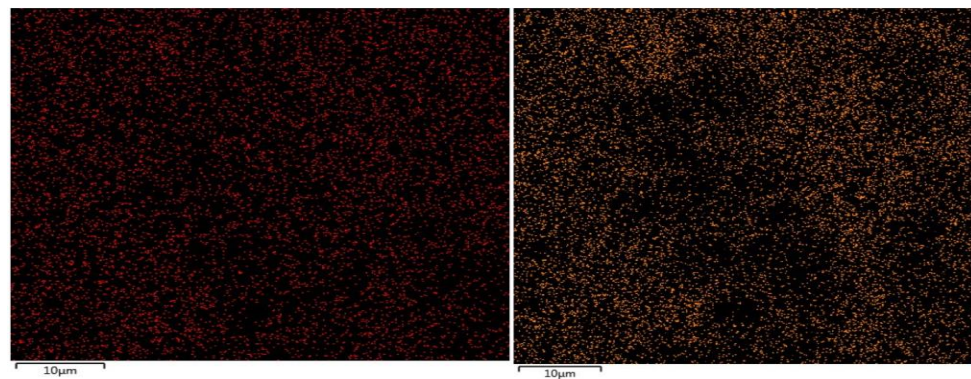


- Определять присутствующие элементы
- Анализировать распределение компонентов
- выявлять примеси
- проверять соответствие состава материала заданной стехиометрии.



(a) Br

(b) Cs



(c) Nd

(d) Pb

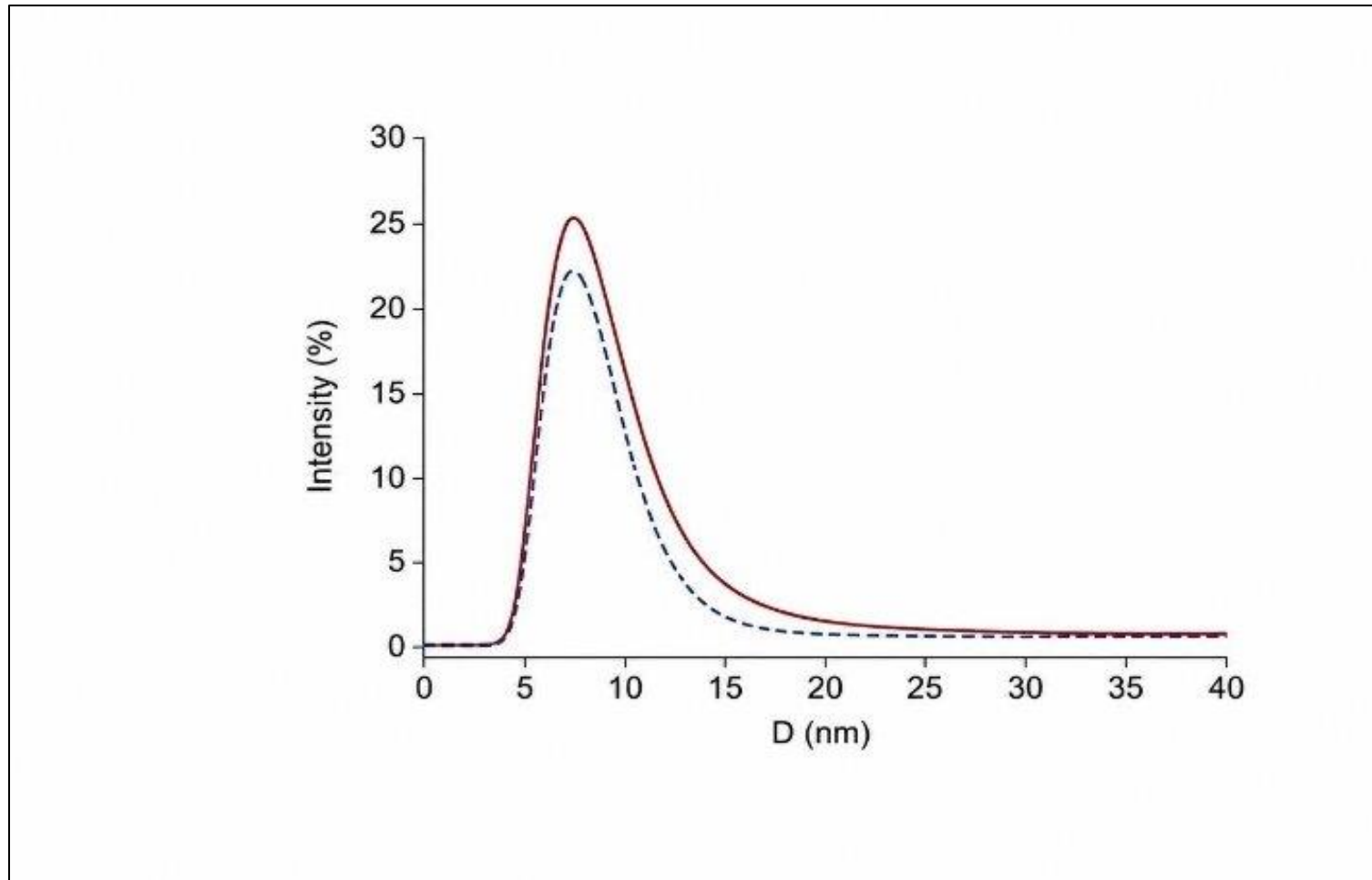
Метод динамического рассеяния света DLS.

Суть-анализе флуктуаций интенсивности рассеянного лазерного излучения возникающих вследствие броуновского движения наночастиц в растворе. По скорости движения частиц рассчитывается их гидродинамический диаметр.



- распределение частиц по размерам;
- степень агрегации квантовых точек;
- определять средний размер наночастиц;
- определять индекс полидисперсности (PDI);
- исследовать коллоидную стабильность растворов

Malvern Zetasizer analyzer



Распределение размеров квантовых точек на основе данных DLS.

Максимум гауссового распределения находится при ~ 8 нм (Z -average $\approx 8,8$ нм, PDI $\approx 0,1$), что подтверждает низкую степень агрегации и узкое распределение размеров.

ВЫВОДЫ



В данной работе были исследованы перовскитные квантовые точки, легированные ионами неодима, и изучено влияние условий синтеза на их структурные свойства.

Методы СЭМ, EDX и DLS продемонстрировали высокую эффективность при исследовании структуры и элементного состава материалов.

Установлено, что использование легирования Nd^{3+} может способствовать улучшению характеристик перовскитных квантовых точек за счёт уменьшения дефектности структуры.

Личный вклад в работу заключался в подготовке образцов для исследования методом СЭМ, получении и анализе СЭМ-изображений, а также измерении размеров нанокристаллов с использованием программы ImageJ. На основе обработки изображений была проведена оценка распределения частиц по размеру.



**Спасибо за
внимание!**

muumba18@gmail.com

+7-991-616-64-56

Москва, 2026 год