

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики полупроводников
наименование кафедры

**Анализ электрофизических характеристик структуры с квантовыми
точками CdSe**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 412 группы

направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
код и наименование направления

факультета нано- и биомедицинских технологий
наименование факультета

Шмырёва Алексея Анатольевича
фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент
должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

В.Ф. Кабанов

инициалы, подпись

Зав. кафедрой:

к.ф.-м.н., профессор
должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

А.И. Михайлов

инициалы, подпись

Саратов 2018

ВВЕДЕНИЕ

Общая характеристика работы.

Актуальность темы. Наночастицы имеют широкий спектр применения в практических целях. Это непосредственно связано с возможностью модифицирования и регулирования эффективной ширины запрещенной зоны, при изменении размера наночастицы. Следствием такой модификации становится изменение электро-оптических свойств систем: длины волны люминесценции, области поглощения. Не менее важным практическим свойством, является способность наночастиц существовать в виде растворов.

Такое свойство упрощает методы получения покрытий из пленок наночастиц. Примерами таких методик могут служить: метод центрифугирования, или нанесение наночастиц с помощью струйной печати на любые поверхности. Вышеприведенные методики позволяют удешевить технологии создания устройств на основе наночастиц. Растворные свойства, делают возможным, введение наночастиц в матрицы для создания композитных материалов. Аналогичную ситуацию можно наблюдать с органическими люминесцентными материалами, использование которых в создании светоизлучающих устройств, нашло применение в OLED технологии.

Вышеперечисленные свойства наночастиц говорят о большом потенциале для их практического применения. Они могут применяться как материалы для: светодиодов, солнечных батарей, полевых транзисторов.

Такое применение наночастиц, говорит об актуальности исследований в этой области науки. Ввиду этого важной практической задачей является определение размера нанокристаллов.

Физические системы исследования низкоразмерных структур, различаются по способу внешнего воздействия на исследуемый объект и по типу регистрируемого сигнала.

Каждый метод позволяет получить информацию различного характера об исследуемом объекте, причем характер и объем информации, могут существенно видоизменяться.

При этом различные методы имеют особенные требования к исследуемым образцам. Это могут быть проводящие образцы, магнитные материалы, тонкие пленки.

При анализе низкоразмерных структур наиболее значительной является информация об их атомной структуре, элементном составе и электронных свойствах.

Многие из существующих методов определения параметров наночастиц требуют дорогостоящего оборудования, специальных условий проведения экспериментов, имеют сложный характер работы и высококвалифицированных операторов. Поэтому разработка новых, более простых с точки зрения получения результата, и не столь требовательных в отношении необходимого оборудования и уровня квалификации сотрудников, методов определения параметров наночастиц остается востребованной и на сегодняшний день.

Цель и задачи бакалаврской работы. Целью бакалаврской работы является оценка метода дифференциальных нормированных туннельных вольт-амперных характеристик (ВАХ), как метода определения параметров квантово-размерных объектов.

Задачами бакалаврской работы стало получение структуры с монослоем квантовых точек (КТ) полупроводников группы A_2B_6 : CdSe с разным временем выращивания КТ 4,15,30,30 секунд, с последующим исследованием полученных структур, получением расчетных значений электрона для первых трех разрешенных уровней, получением дифференциальных ВАХ, анализ и определение характерного размера квантоворазмерного объекта, сравнение с результатами прямых измерений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **разделе 1** рассмотрены основные свойства квантовых точек и приведена их классификация. Описаны методы создания и исследования изучаемых структур.

В **разделе 1.2** представляется методология получения структуры с монослоем смеси олеиновой кислоты и квантовых точек CdSe, сформированный на стеклянной подложке с ITO (оксидом индия-олова) по технологии Ленгмюра – Блоджетт на установке KSV NIMA L&LB Troughs.

В **разделе 1.3** описываются методы исследования квантовых точек CdSe и полученных структур. Параметры квантовых точек определялись прямыми измерениями, с помощью лазерного анализатора размера частиц Malvern Zetasizer Nano и косвенными по анализу спектральных характеристик на комплексе для регистрации спектральных характеристик источников излучения с монохроматором МДР-41 и детектором ФЭУ-62, и анализу дифференциальных нормированных туннельных вольт-амперных характеристик, полученных с помощью сканирующего зондового микроскопа СЗМ NANOEDUCATOR II.

В **разделе 2** представлены экспериментальные результаты исследований и анализа полученных данных, изготовленных структур.

Процедура I(V)-спектроскопии состояла в получении вольт-амперных характеристик (ВАХ) туннельного перехода зонд-образец. По ВАХ можно судить о локальной проводимости образца. Также с ее помощью можно исследовать неоднородности электрических свойств образцов сложного состава. На рисунке 1 показан общий вид схемы снятия ВАХ.

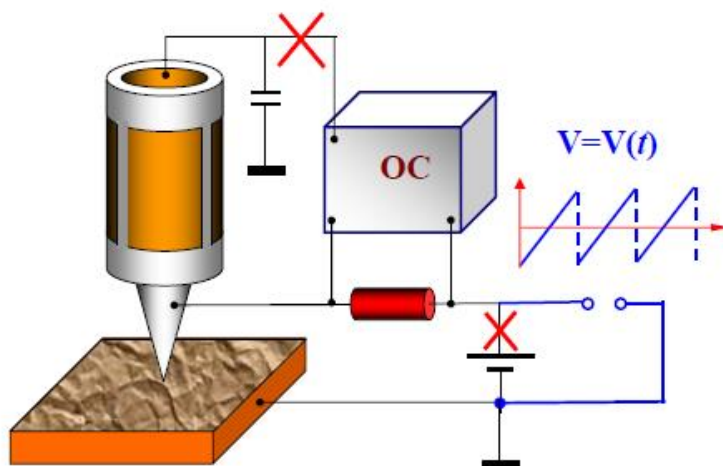


Рисунок 1 – Схема регистрации ВАХ туннельного промежутка СТМ.

При исследовании туннельной ВАХ выбиралось не менее 10 точек для снятия ВАХ. В автоматическом режиме измерялись не менее 10 ВАХ на точку. Измерения ВАХ проводились в пределах величин тока - от 10^{-12} до 10^{-8} А, напряжения – от -1,5 до 0 В. По воспроизводимости результатов измерений отбирались точки с устойчивыми характеристиками, после чего проводились усреднения ВАХ.

Для анализа полученных туннельных ВАХ использовалась методика дифференциальных ВАХ - зависимостей $(dI/dV)/(I/V)$ от напряжения V .

Расчет значений энергии электрона для первых трех разрешенных уровней проводился по моделям КТ кубической шаровой формы.

При использовании модели КТ кубической формы с ребром a положение уровней энергетического спектра КТ может быть представлено:

$$\varepsilon_i = \frac{(\pi \hbar)^2}{2m^*} \cdot \frac{1}{a^2} \cdot (l^2 + m^2 + n^2), \quad (1)$$

где $l, m, n = 1, 2, 3, \dots$ – положительные числа, соответствующие номерам уровней;

m^* – эффективная масса электрона,

a – характерный размер КТ.

В случае модели КТ шаровой формы с радиусом a в приближении одноэлектронного спектра в параболической яме:

$$\mathcal{E}_i = \frac{(\pi \hbar)^2}{2m^*} \cdot \frac{1}{a^2} \cdot (4n + 2l + 3), \quad (2)$$

где n – радиальное квантовое число ($n = 0, 1, 2, \dots$);

l – орбитальное квантовое число ($l = 0, 1, 2, \dots$).

Расчетные значения энергии электрона для первых трех разрешенных уровней в соответствии с (1) и (2) КТ *CdSe* представлены на рисунке 2 и рисунке 3. В расчетах использовалось значение эффективной массы электронов в зоне проводимости *CdSe* $m^* = 0,13m_0$, где m_0 - масса свободного электрона.

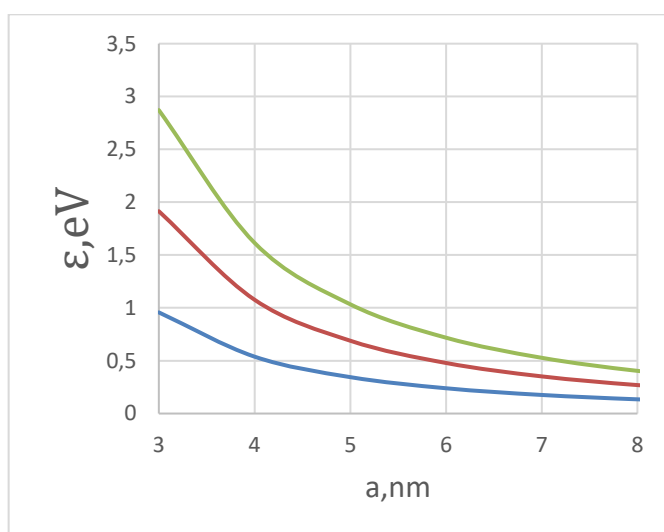


Рисунок 2 – Расчетные значения энергии электрона для первых трех разрешенных уровней КТ *CdSe*: по модели «кубической» КТ.

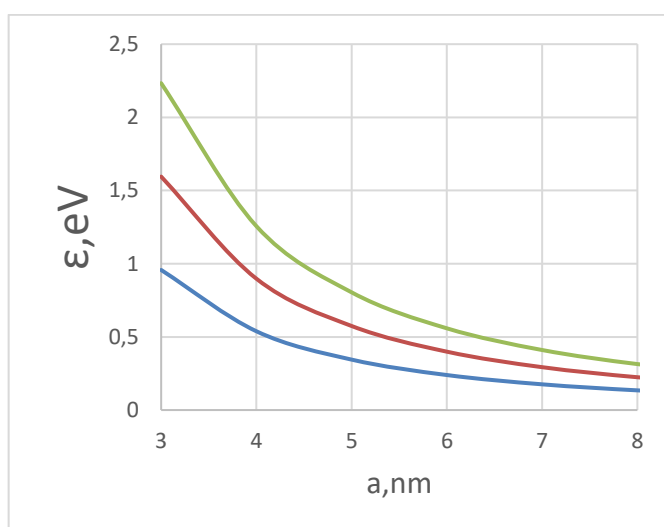


Рисунок 3 – Расчетные значения энергии электрона для первых трех разрешенных уровней КТ *CdSe*: a – по модели «шаровой» КТ.

В соответствии с этими модельными представлениями можно провести оценку характерных размеров КТ исследуемых образцов.

В ходе исследований рассматривались и анализировались нормированные дифференциальные туннельные ВАХ при отрицательном потенциале смещения на подложке относительно зонда. В таком случае происходит туннельный переход электронов из электрода ИТО через дискретные уровни квантово-размерного объекта в зонд туннельного микроскопа. Дискретный спектр энергии электронов проводимости квантово-размерного объекта обуславливает пики на нормированных дифференциальных ВАХ. Ниже, на рисунке 4, представлены типичные дифференциальные туннельные ВАХ КТ CdSe, для различных образцов.

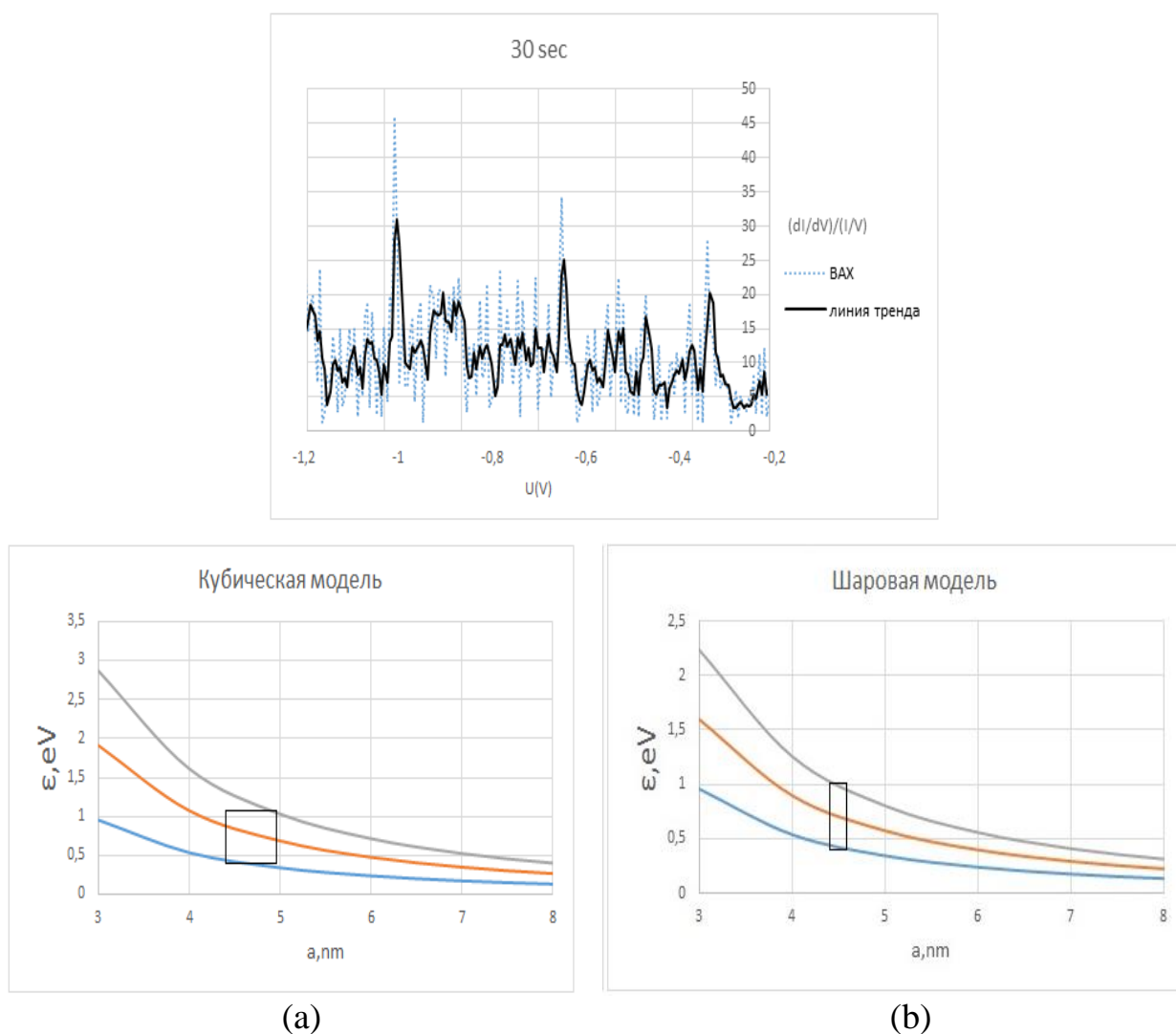


Рисунок 4 – Типичные дифференциальные туннельные ВАХ КТ CdSe 30S(a),(b) – в соответствии с расчетными уровнями энергетического спектра.

Анализ полученных значений по положению пиков на дифференциальных нормированных туннельных ВАХ на основании усреднения по группе образцов, позволил провести оценку величины линейных размеров квантового объекта, которая оказалась в диапазоне значений для модели кубической формы: 4,0 – 5,1 нм., для шаровой формы: 4,1-4,6 нм.

В разделе 2.4 для выяснения справедливости подхода на основании анализа экспериментальных данных по положению пиков на дифференциальных нормированных туннельных ВАХ дополнительно была проведена оценка размеров КТ на основании анализа спектральной характеристики исследуемых образцов (рисунок 5).

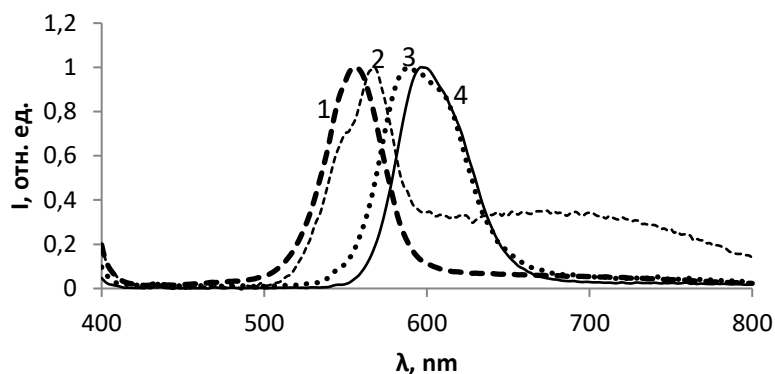


Рисунок 5 – Спектральной характеристики КТ CdSe:

1, 2, 3, 4 – различные образцы.

Оценка размеров КТ с учетом выражений (1) и (2), величины энергии ширины запрещенной зоны объемного материала $\mathcal{E}_g = 1,74$ эВ и, в предположении, что изменение положения первого энергетического уровня КТ \mathcal{E}_{c1} относительно дна зоны проводимости объемного материала \mathcal{E}_c в несколько раз превышает соответствующее изменение энергии потолка валентной зоны \mathcal{E}_{v1} относительно \mathcal{E}_v (так как $m_n^* \ll m_p^*$), показала результат 4,1 – 5,1 нм.

В разделе 2.5 представлены результаты исследований растворов квантовых точек CdSe с помощью лазерного анализатора размера частиц Malvern Zetasizer Nano (рисунок 6).

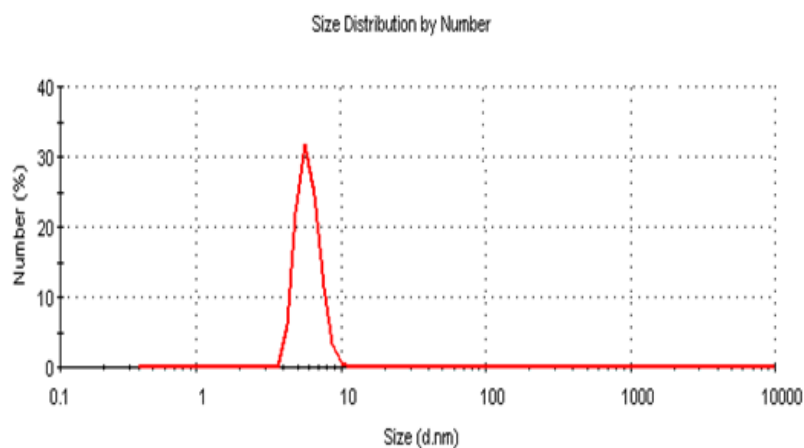


Рисунок 6 – Оценка размеров КТ CdSe с помощью лазерного анализатора размера частиц.

Полученные результаты исследований с учетом толщины оболочки КТ порядка 1 нм показали величину характерных размеров КТ в диапазоне 3,9 – 4,9 нм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе бакалаврской работы сформированы структуры с монослоем квантовых точек CdSe с различным временем выращивания (4 сек., 15 сек., 30 сек., 300 сек.), Проведено исследование полученных образцов методом сканирующей зондовой микроскопии.

Обработка группы исследуемых образцов позволила сделать вывод, что расчетные значения оценки размеров КТ, полученных из анализа экспериментальных дифференциальных туннельных ВАХ, из анализа спектральной характеристики и измерений с помощью лазерного анализатора размера частиц находятся в хорошем качественном и количественном согласии с погрешностью не более 10 %. При этом метод анализа дифференциальных нормированных туннельных ВАХ позволил определить более адекватную модель для определения энергетического спектра КТ исследуемых образцов – модель «шаровой» КТ.

Кроме того, этот метод может использоваться для анализа механизмов проводимости исследуемых структур, расчета параметров и ряда других важных электронных процессов. Все это позволяет считать, что метод

анализа дифференциальных нормированных туннельных ВАХ является эффективным методом экспресс-анализа, который может быть использован при изучении квантово-размерных объектов.