

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения, технологии
и управления качеством

**СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ И МОДИФИКАЦИИ
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ
АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента 2 курса 203 группы
направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»,
профиль «Нанотехнологии, диагностика и синтез современных материалов»
факультета нано- и биомедицинских технологий
Переверзева Ярослава Евгеньевича

Научный руководитель

доцент, к.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Е.Г. Глуховской

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

С.Б. Вениг

инициалы, фамилия

Саратов 2017

Актуальность темы исследования. Наноразмерные объекты и изучение их свойств активное развиваемое направление современной науки, в последние годы привлекает все большее внимание исследователей из различных областей химии, физики, биологии и медицины. В исследованиях и разработках всё более широкое применение находят субмикронные частицы полупроводников, например, тонкие плёнки из наночастиц кремния, мультикристаллические структуры из зёрен кремния, структурированный из разных форм наночастиц оксид цинка рассматриваются как перспективные элементы солнечных батарей.

Большое число работ посвящено коллоидным квантовым точкам на основе полупроводников $A^{II}B^{VI}$ [1]. В литературе, однако, практически отсутствуют аналогичные работы с использованием полупроводниковых соединения $A^{III}B^V$ [2,3], которые, благодаря самому широкому сочетанию физических свойств, позволили создать гигантские промышленные масштабы оптоэлектроники и уникальные приборы микроэлектроники

Целью работы является исследование специфики токопереноса в системах с наночастицами или наноструктурированными материалами..

Для реализации поставленной цели планируется выполнить следующие **задачи:**

- обзор информации по проблеме исследований специфики токопереноса в системах с наноструктурированными материалами за последние 10 лет;
- получение и исследование монослоев на поверхности воды с помощью изотермы сжатия, выбор оптимальных условий для нанесения и перенос монослоев с квантовыми точками на твердые подложки;
- исследование морфологии полученных объектов, геометрии твердотельных наноразмерных объектов (InAs, InSb, GaAs);
- исследование ток-высотных и вольт-амперных характеристик нанообъектов на поверхности полученных образцов.

Краткая характеристика материалов исследования. В работе с помощью технологии Ленгмюра-Блоджетт получены твердые подложки с нанесенными на них монослоями квантовых точек и стабилизатора различного состава, также были взяты пластины полупроводников группы $A^{III}B^V$ – арсенид галлия, антимонид индия, арсенид индия. Была исследована морфология с помощью сканирующей зондовой микроскопии, а также получены ток-высотные и вольт-амперные характеристики изучаемых объектов.

Описание структуры. Магистерская работа включает введение, две главы, в которых обсуждается основное содержание работы, заключение и список литературы из 49 источников, изложена на 61 странице, содержит 36 рисунков. Во введении представлена актуальность темы исследования, а также сформулированы цель и задачи исследования. В **первой главе** В первом разделе проведен обзор современной периодической литературы по основным методам получения наночастиц, технологиям и методам характеристики и исследования наноструктурированных поверхностей и нанообъектов..

Вторая глава посвящена практическому изучению метода получения монослоев с квантовыми точками, их формированию и переносу, а также изучению электрофизических характеристик объектов с нанесенными монослоями и полупроводниковых объектов с помощью сканирующей зондовой микроскопии.

В **заключении** сформулированы основные выводы по результатам проведенного исследования.

Научная новизна. Разработка недорогих методов изготовления наноструктур в больших количествах – одно из важнейших направлений исследований. Одной из наиболее привлекательных технологий для решения такого рода задач и оказался метод Ленгмюра-Блоджетт.

Кроме того, метод Ленгмюра-Блоджетт позволяет достаточно просто изменять свойства поверхности монослоя и формировать качественные

пленочные покрытия. Все это возможно за счет точного контроля толщины получаемой пленки, однородности покрытия, низкой шероховатости и высокой, при подборе правильных условий, адгезии пленки к поверхности. Свойства пленок можно также легко варьировать, изменяя структуру полярной головки амфифильной молекулы, состав монослоя, а также условия выделения – состав субфазы и поверхностное давление. Метод Ленгмюра-Блоджетт позволяет встраивать в монослой различные молекулы и молекулярные комплексы, в том числе и биологически активные.

Основное содержание работы.

Важнейшая задача нанотехнологии – научиться встраивать органические молекулы в различные упорядоченные структуры в качестве новых функциональных элементов. Одной из технологий для таких задач является технология Ленгмюра-Блоджетт.

Также широкое применение находят исследования субмикронных частиц полупроводников. В литературе, однако, практически отсутствуют аналогичные работы с использованием полупроводниковых соединений $A^{III}B^V$ [2,3], которые, благодаря самому широкому сочетанию физических свойств, позволили создать гигантские промышленные масштабы оптоэлектроники и уникальные приборы микроэлектроники. Наличие, например, в узкозонных полупроводниках $A^{III}B^V$ носителей заряда с экстремально малыми величинами эффективной массы приводит к проявлению квантово-размерных эффектов в наночастицах больших размеров [4].

Молекулы жидкости, находясь в объеме фазы, испытывают действие сил притяжения со стороны окружающих молекул. Эти силы уравновешивают друг друга и равнодействующая их равна нулю. Молекулы, находящиеся на поверхности раздела “воздух-вода”, испытывают со стороны граничащих фаз действие разных по величине сил. Сила притяжения единицы объема жидкости много больше, чем единицы объема воздуха. Таким образом, равнодействующая сила, действующая на молекулу на

поверхности жидкости, направлена внутрь объема жидкой фазы, сокращая площадь поверхности до минимально возможного значения при данных условиях [5].

Одним из таких методов является сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ), позволяющая увидеть мельчайшие детали на поверхности размером в несколько десятых нанометра. Сканирующая зондовая микроскопия — один из мощных методов исследования морфологии и локальных свойств поверхности твердого тела с высоким пространственным разрешением. Развитие сканирующей зондовой микроскопии послужило основой для развития технологии создания низкоразмерных структур [6].

В сканирующей зондовой микроскопии используется взаимодействие между твердотельным нанозондом, приближенным к объекту исследования на некоторое малое расстояние — характерную длину затухания взаимодействия «зонд-объект».

В практической части работы была поставлена цель исследования специфики токопереноса в системах с наночастицами или наноструктурированными материалами. Для решения данной цели были запланированы 2 типа экспериментов — исследования с помощью атомно-силового (АСМ) и сканирующего туннельного (СТМ) микроскопа образцов, изготовленных по технологии Ленгмюра-Блоджетт и полупроводниковых образцов группы $A^{III}B^V$.

В работе было проведено исследование процесса формирования монослоя квантовых точек состава CdSe/CdS/ZnS, стабилизированных олеиновой кислотой ($C_{17}H_{33}COOH$) и квантовых точек CdSe, стабилизированных арахидоновой кислотой ($C^{19}H^{39}COOH$). Исследование проводилось методом записи изотерм сжатия. Для фиксирования изотерм сжатия МС был использован раствор квантовых точек состава CdSe/CdS/ZnS в толуоле. Концентрация частиц в растворе составила $1,2 \times 10^{-4}$ моль/л. Полученные на установке KSV NIMA L&LB Troughs изотермы сжатия МС представлены на рисунке 1.

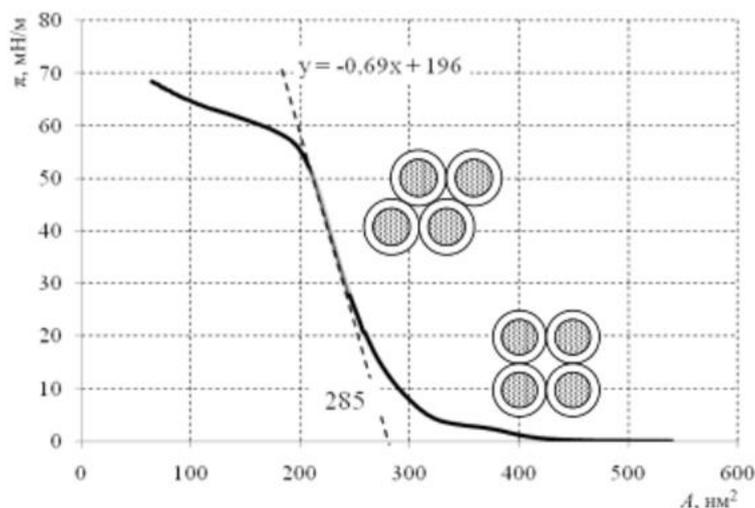


Рисунок 1 – Изотерма сжатия монослоя CdSe/CdS/ZnS

Также были получены изотермы сжатия раствора квантовых точек CdSe и арахидиновой кислоты при различных температурах. Концентрация точек в растворе составила $1,1 \times 10^{-3}$ моль/л. Полученные на установке KSV NIMA L&LB Troughs изотермы сжатия представлены на рисунке 2.

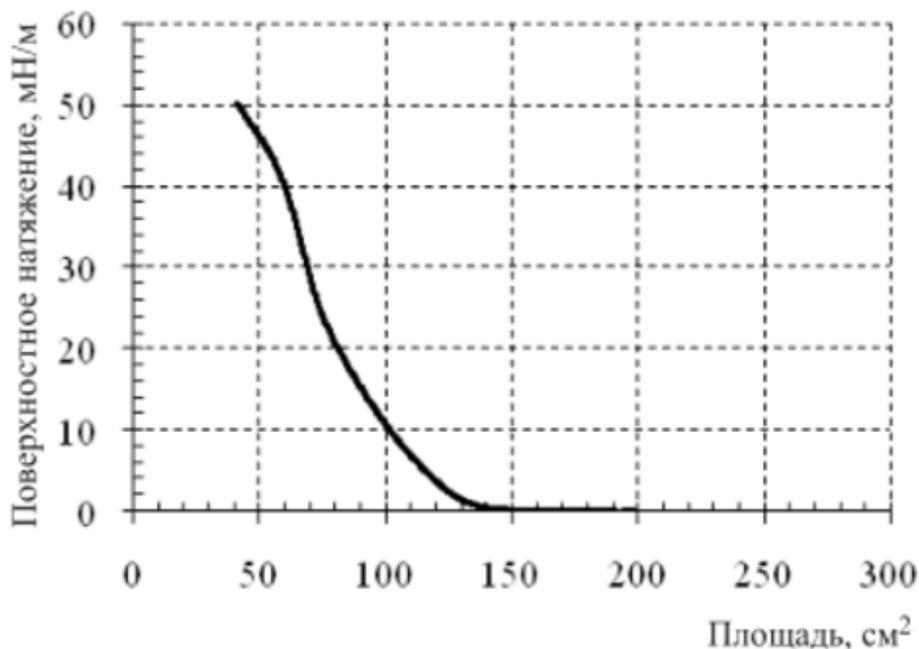


Рисунок 2 – Изотерма сжатия монослоя квантовых точек CdSe

Для исследования были взяты пластины трёх полупроводников группы АІІІВV – арсенида галлия (GaAs), арсенида индия (InAs), антимонида индия (InSb). В работе проведены исследования поверхности материалов и установлены некоторые свойства, аналогичные полученным для квантовых

точек [7].

После исследования поверхностей всех образцов были изучены ток-высотные и вольт-амперные характеристики. Результаты представлены на рисунках (расстояние между зондом и образцом обозначалось «z»).

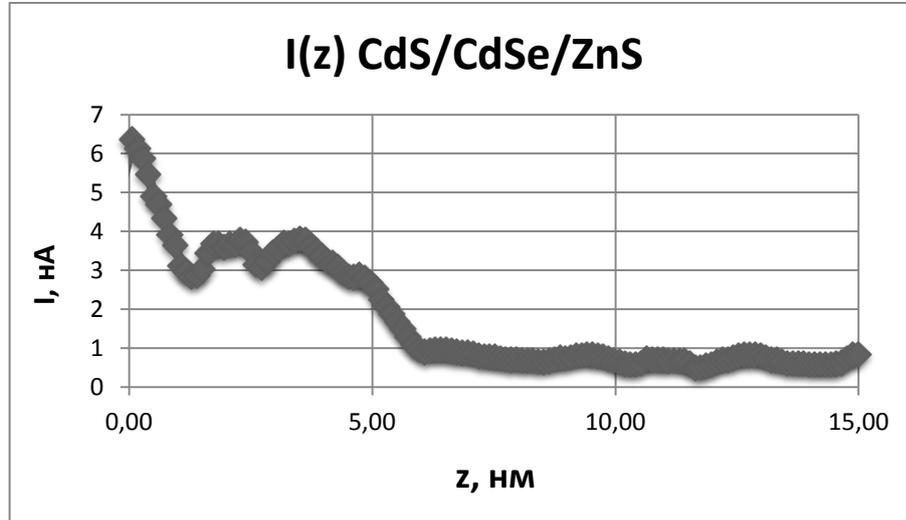


Рисунок 3 – Типичная ток-высотная характеристика подложки с квантовыми точками CdS/CdSe/ZnS

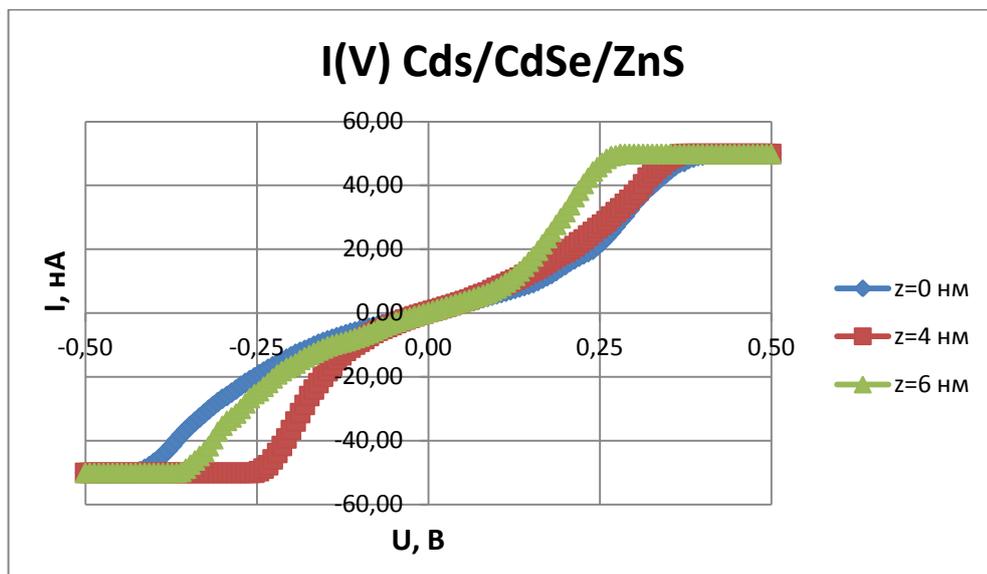


Рисунок 4 – Усредненная ВАХ CdS/CdSe/ZnS при различных расстояниях z

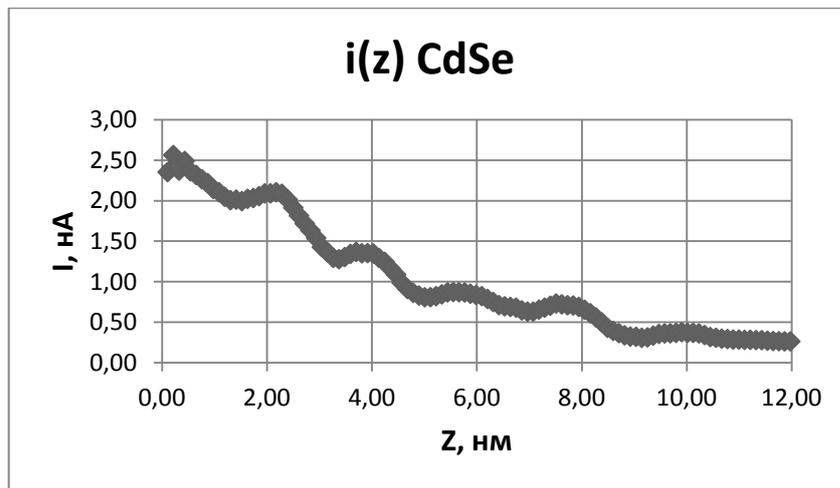


Рисунок 5 – Типичная ток-высотная характеристика подложки с квантовыми точками CdSe

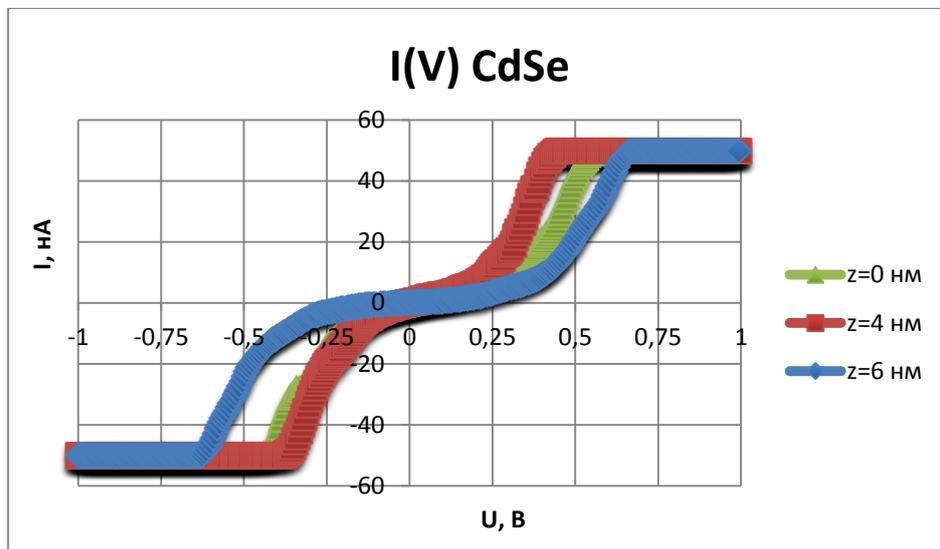


Рисунок 6 – Усредненная ВАХ CdSe при различных расстояниях z

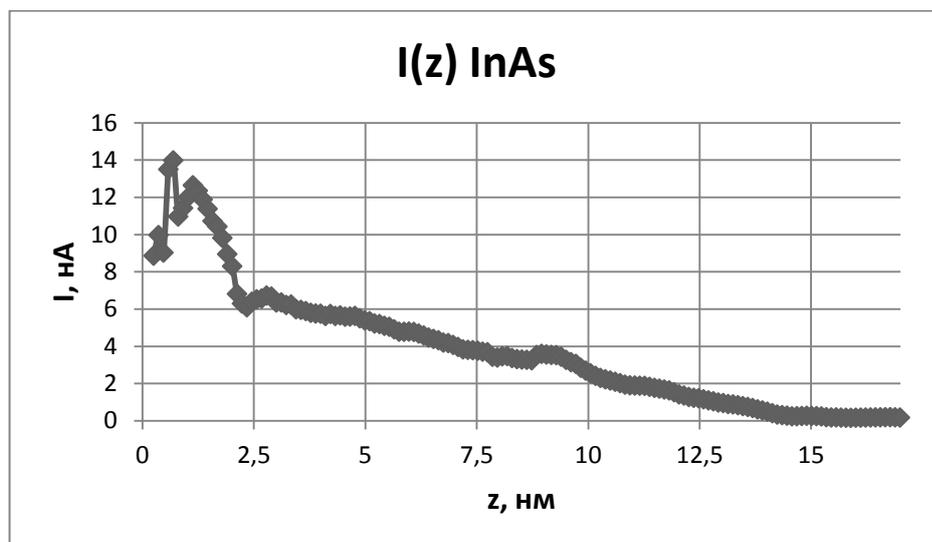


Рисунок 7 – Типичная ток-высотная характеристика InAs

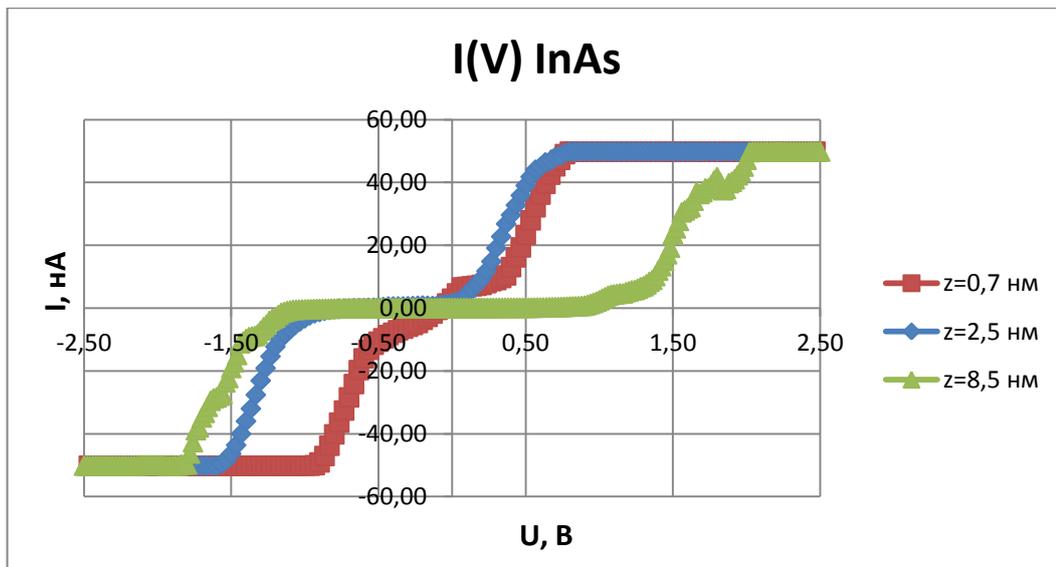


Рисунок 8 – Усредненная ВАХ InAs при различных расстояниях z

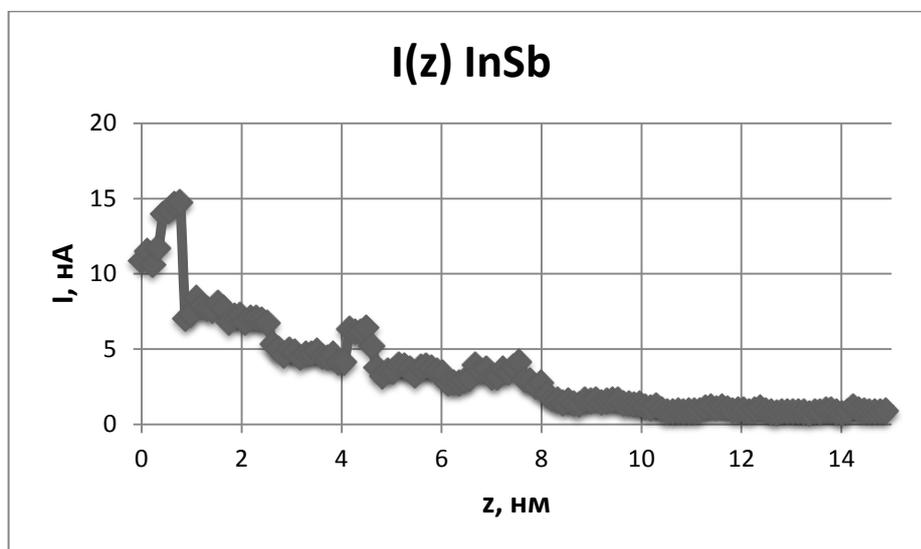


Рисунок 9 – Типичная ток-высотная характеристика InSb

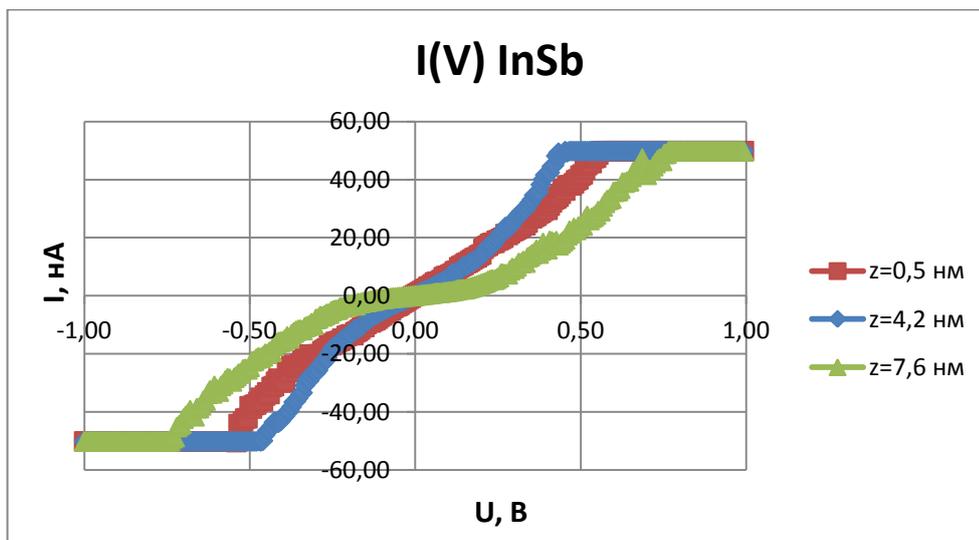


Рисунок 10 – Усредненная ВАХ InSb при различных расстояниях z

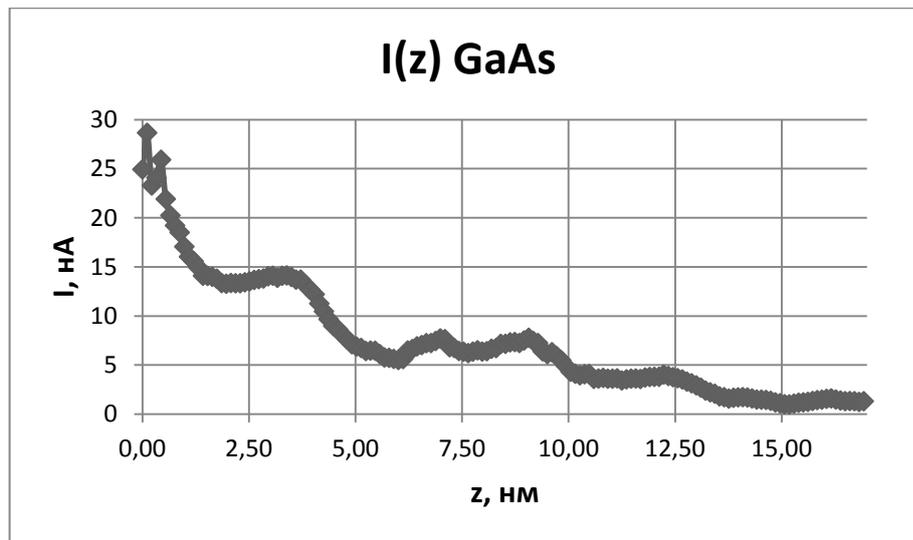


Рисунок 11 – Типичная ток-высотная характеристика GaAs

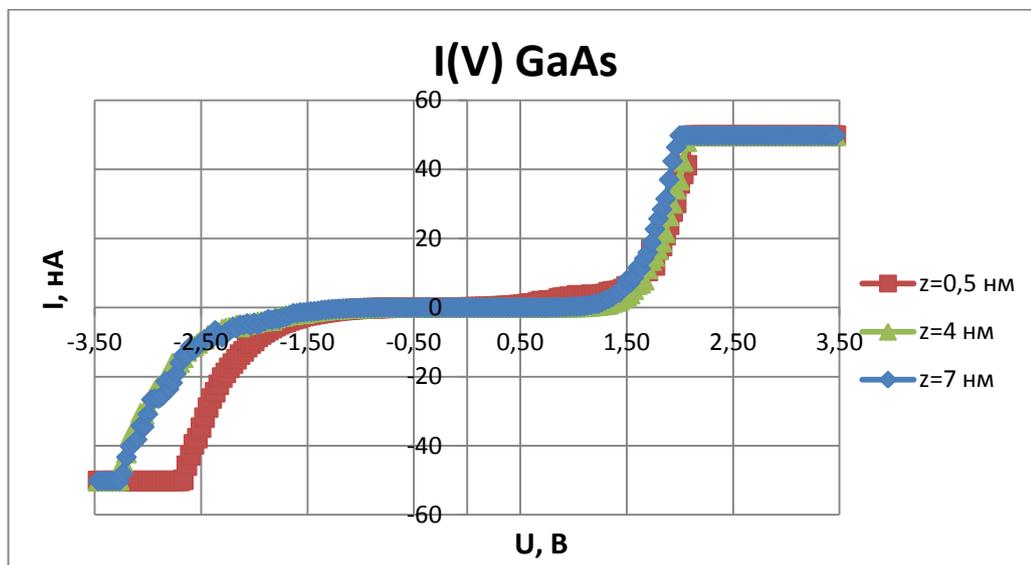


Рисунок 12 – Усредненная ВАХ GaAs при различных расстояниях z

Электронные свойства полупроводниковых структур в приборах имеют размерный характер (длины экранирования, диффузии, примесной связи и др., размеры доменов, квазичастиц и др.) и должны быть соотнесены с размерами структуры, где они проявляются. Для исследуемых в работе полупроводников λ может исчисляться десятками нанометров. Частица с такими размерами имеет 10^5 - 10^6 атомов и, соответственно, много «свободных» электронов. В ней электронные процессы должны проявляться как в обычных полупроводниковых структурах [8].

Также проведен анализ полученных данных: изменение вольт-амперных характеристик в зависимости от удаления зонда от образца

свидетельствует о смене механизмов токопрохождения. А наблюдение пиков тока объясняется как проявление поверхностных и квантовых эффектов [9].

Заключение. В ходе выполнения магистерской работы были освоены методы формирования монослоев на поверхности воды, а также их перенос на твердые подложки. Проведен обзор методов изучения свойств и характеристик наноразмерных объектов.

В ходе исследований достигнуты следующие результаты:

- Изучен метод Ленгмюра-Блоджетт. Найдены оптимальные условия для формирования и переноса исследуемых монослоев;
- Сформированы монослои квантовых точек и стабилизатора различного состава и перенесены на твердые подложки;
- С помощью сканирующей зондовой микроскопии изучены морфология объектов, а также их электрофизические характеристики, такие как, ток-высотные и вольт-амперные характеристики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. М.: Физматлит, 2007. 416 с.
- 2 Mikhailov, A.I. Peculiarities of Field Electron Emission from Submicron Protrusions on a Rough InSb Surface / A.I. Mikhailov // Technical Physics Letters. 2015. Vol. 41, No. 6. P. 568-570.
- 3 Rajput, N. Methods of preparation of nanoparticles – a review / N. Rajput // International Journal of Advances in Engineering & Technology. 2015. Vol. 7, Issue 4. P. 1806-1811.
- 4 Блинов, Л. М. Ленгмюровские пленки / Л. М. Блинов. Успехи физических наук. 1988. 480 с.
- 5 Tissue, B.M. Structure particle size and annealing gas phase-condensed Eu³⁺:Y₂O₃ nanophosphors / B.M. Tissue // J. Solid State Chemistry. 2003. Vol. 171. P. 12-18.

- 6 Жуков, Н. Д. Эмиссия полупроводниковых наноструктур / Н.Д. Жуков // ФТП. 2016. №50. С. 911.
- 7 Маделунг, О. Физика полупроводниковых соединений элементов III и V групп / О.Маделунг. М.:Просвещение. 2004. 311 с.
- 8 Егоров, Н.В. Электронная эмиссия / Н.В. Егоров. М.: Интеллект. 2011. 123 с.
- 9 Гуляев, Ю.В. Исследование формирования наноразмерной автоэмиссионной структуры / Ю.В. Гуляев / Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39. В. 11. С. 63-70