

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



SATBAYEV
UNIVERSITY

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова
Кафедра «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика»

Старцева София Валерьевна

Микроскопическое исследование поверхности углеродных
наноматериалов

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 6В07109 – Инженерная физика и материаловедение

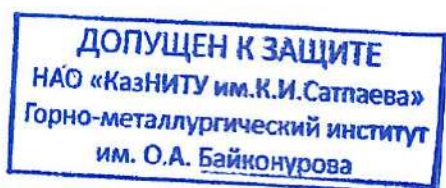
Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика»



ДОПУЩЕНА К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой «МНиИФ»

PhD

К.К. Кудайбергенов

«26» мая 2023 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Микроскопическое исследование поверхности углеродных
наноматериалов»

по специальности 6В07109 – «Инженерная физика и материаловедение»

Выполнила

Старцева София Валерьевна

Рецензент
PhD, старший преподаватель кафедры
физики твердого тела и нелинейной
физики КазНУ им. аль-Фараби

Ж.К. Толепов

«30» мая 2023 г.



Научный руководитель

К.ф-м.н., ассоциированный
профессор

Б.А. Байтимбетова

«25» мая 2023 г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
«Материаловедение, нанотехнологии
и инженерная физика»
PhD



К.К. Кудайбергенов
«26» мая 2023 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Старцевой Софии Валерьевне

Тема: Микроскопическое исследование поверхности углеродных наноматериалов

Утверждена приказами ректора университета №408-П/Ө от «23» ноября 2022 г.

Срок сдачи законченной работы «31» мая 2023 г.

Исходные данные к дипломной работе: Работа посвящена синтезу углеродных нанотрубок методом плазмохимического осаждения из паровой фазы на подложках из кремния и никеля и исследование их структуры на сканирующем электронном микроскопе.

Краткое содержание дипломной работы:

а) Основные методики и описания производства углеродных наноматериалов

б) Синтез углеродных нанотрубок PECVD- методом

в) Исследование структурных характеристик углеродных нанотрубок на сканирующем электронном микроскопе

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): Рекомендуемая основная литература:

1 Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии.

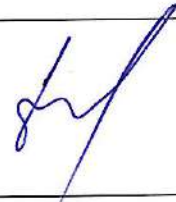
2 ESM Duraia, Z Mansurov, SZ Tokmoldin // Preparation of carbon nanotubes with different morphology by microwave plasma enhanced chemical vapour deposition // Physica status solidi (c) 7 (3-4), – C. 1222-12267

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю	Примечание
Литературный обзор	15.01.2023	нет
Экспериментальная часть	18.03.2023	нет
Результаты и их обсуждение	14.04.2023	нет

Подписи


консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	к.ф-м.н., Бейсебаева А.С.	26.05.23	

Научный руководитель

 Байтимбетова Багила
Абдисаматовна

Задание принял к выступлению обучающаяся

 Старцева София
Валерьевна

Дата

«26» мая 2023 г.

АННОТАЦИЯ

Данная дипломная работа представляет собой исследование методов и техник, используемых для изучения поверхности углеродных наноматериалов на микроскопическом уровне. Углеродные наноматериалы, такие как углеродные нанотрубки, графен и фуллерены, обладают уникальными свойствами и широким спектром применений в различных областях, включая электронику, катализ и биомедицину. В работе осуществляется обзор современных методов исследования поверхности углеродных наноматериалов, включая сканирующую электронную микроскопию (СЭМ), атомно-силовую микроскопию (АСМ), просвечивающую электронную микроскопию (ПЭМ) и сканирующую туннельную микроскопию (СТМ). Описываются принципы работы каждого метода, их преимущества и ограничения, а также применение в исследовании углеродных наноматериалов. В работе проводятся собственные эксперименты с использованием атомно-силового и сканирующего электронного микроскопов для исследования поверхности углеродных нанотрубок выращенных на катализаторах из железа и никеля. Полученные данные анализируются и интерпретируются с целью выявления особых структурных и химических особенностей, которые могут влиять на свойства и функциональность углеродных нанотрубок.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыс көміртекті наноматериалдардың бетін микроскопиялық деңгейде зерттеу үшін қолданылатын әдістер мен әдістерді зерттеу болып табылады. Көміртекті нанотүтіктер, графен және фуллерендер сияқты көміртекті наноматериалдар бірегей қасиеттерге ие және әртүрлі салаларда, соның ішінде электроника, катализ және биомедицинада қолданудың кең ауқымы бар. Бұл мақала көміртекті наноматериалдардың бетін зерттеудің заманауи әдістерін қарастырады, соның ішінде сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ), атомдық күшті микроскопия (АКМ), трансмиссиялық электронды микроскопия (ТЭМ) және сканерлеу туннельдік микроскопия (ТСМ). Әрбір әдістің жұмыс істеу принциптері, олардың артықшылықтары мен шектеулері, сондай-ақ көміртекті наноматериалдарды зерттеуде қолданылуы сипатталған. Бұл жұмыста темір және никель катализаторларында өсірілген көміртекті нанотүтікшелердің бетін зерттеу үшін атомдық күш пен сканерлеуші электронды микроскоптарды қолдану арқылы өз тәжірибеміз жүргізілді. Алынған деректер көміртекті нанотүтіктердің қасиеттері мен функционалдығына әсер етуі мүмкін арнайы құрылымдық және химиялық белгілерді анықтау үшін талданады және түсіндіріледі.

ANNOTATION

This thesis is a study of the methods and techniques used to study the surface of carbon nanomaterials at the microscopic level. Carbon nanomaterials such as carbon nanotubes, graphene, and fullerenes have unique properties and a wide range of applications in various fields, including electronics, catalysis, and biomedicine. This paper reviews modern methods for studying the surface of carbon nanomaterials, including scanning electron microscopy (SEM), atomic force microscopy (AFM), transmission electron microscopy (TEM), and scanning tunneling microscopy (STM). The principles of operation of each method, their advantages and limitations, as well as their application in the study of carbon nanomaterials are described. In this work, our own experiments are carried out using atomic force and scanning electron microscopes to study the surface of carbon nanotubes grown on iron and nickel catalysts. The obtained data are analyzed and interpreted in order to identify special structural and chemical features that can affect the properties and functionality of carbon nanotubes.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
Литературный обзор	11
1 Современные методы получения углеродных наноматериалов	11
1.1 Исследование и снятие спектров углеродных наноматериалов методом АСМ	12
1.2 Исследование углеродных наноматериалов методом сканирующей туннельной микроскопии	15
1.3 Изучение морфологии углеродных наноматериалов методом растровой электронной микроскопии	17
1.4 Изучение и интерпретация углеродных наноматериалов методом просвечивающей электронной микроскопии	21
2 Экспериментальная часть	25
2.1 Подготовка образца	25
2.2 Процесс синтеза	26
3 Результаты исследований и их обсуждение	30
3.1 Обнаружение углеродных нанотрубок	30
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	34
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ	35
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	36

ВВЕДЕНИЕ

Наноматериалы в наше время являются одной из важнейших отраслей для нанотехнологий. Мы знаем, что в мире есть материалы, функциональные свойства которых определяются упорядоченной структурой их нанофрагментов, размер которых лежит в пределах от 1 до 100нм. С нанотехнологиями и наноматериалами тесно связано наше дальнейшее перспективное развитие и будущее. Благодаря углубленному изучению наноматериалов человечество достигнет новый технологический уровень, где в нашу жизнь войдут удивительные наноматериалы и нанотехнологии, которые найдут применение в различных отраслях: электронике, медицине и создание новых композиционных материалов.

Методы исследования наноматериалов в первую очередь направлены на определение размера и структуры наночастиц, установления взаимосвязи между размерными эффектами и свойствами наноматериалов.

Актуальность работы. Сейчас, лаборатории по всему миру изучают удивительные свойства наноматериалов, а также занимаются разработкой методов для углубленного изучения их структуры и свойств. Существует много разносторонних методов изучения, исследования характеристик твердых наноструктур.

В данной дипломной работе я рассмотрела методы электронной и зондовой микроскопии для исследования поверхности углеродных наноматериалов, как: атомно-силовая микроскопия, сканирующая туннельная микроскопия, растровая электронная микроскопия и просвечивающая электронная микроскопия.

Целью данной дипломной работы является углубленное микроскопическое исследование углеродных наноматериалов методом электронной микроскопии, с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Литературный обзор

1. Современные методы получения углеродных наноматериалов

Существует несколько современных методов получения углеродных наноматериалов, таких как графен, углеродные нанотрубки и фуллерены.

Один из таких методов - химическое осаждение из газовой фазы (CVD). Этот метод заключается в том, что газы, содержащие углерод, например - метан, проходят через печь с катализатором, на котором образуются углеродные наночастицы. Эти наночастицы затем соединяются, образуя углеродные нанотрубки или графен.

Еще один метод - электрохимическое осаждение. Он заключается в том, что электрод из графита или другого углеродного материала погружается в раствор, содержащий металлические ионы. При подаче электрического тока на электрод, на его поверхности образуется пленка углерода, которая затем может быть отделена и использована для создания углеродных наноматериалов.

Также существуют методы получения углеродных наноматериалов с помощью лазеров или ультразвука. Эти методы заключаются в обработке углеродных материалов лазерными или ультразвуковыми волнами, что приводит к образованию наночастиц углерода.

Фуллерены, могут быть получены путем дуговой перегрузки графита, при которой между электродами создается дуга, приводящая к образованию углеродных наночастиц, которые затем соединяются, образуя фуллерены.

Еще один интересный метод получения углеродных нанотрубок - метод химической вапоризации металла. В этом методе, металл, например - железо или никель, используется в качестве катализатора для реакции газов, содержащих углерод, таких как метан. При нагревании реакционной смеси до высоких температур, углеродные атомы осаждаются на катализаторе, а затем соединяются, образуя углеродные нанотрубки.

Существуют также методы получения углеродных нанотрубок, использующие кластеры металла в качестве катализаторов. Эти методы включают синтез нанотрубок с использованием кластеров железа или кобальта, которые добавляются в раствор, содержащий углеродные материалы. После этого раствор нагревается до высоких температур, чтобы кластеры металла могли катализировать реакцию образования углеродных нанотрубок.

Кроме того, одним из самых инновационных методов получения углеродных наноматериалов является использование бактерий. Исследователи обнаружили, что некоторые бактерии могут преобразовывать углерод в углеродные нанотрубки. Для этого бактерии выращиваются на специальных средах, содержащих углерод, после чего происходит экстракция углерода из бактерий и образование углеродных нанотрубок.

Методы получения углеродных наноматериалов сильно зависят от конкретного материала, который необходимо получить, и от его специфических свойств и применений.

1.1 Исследование и снятие спектров углеродных наноматериалов методом атомно-силовой микроскопии

Атомно-силовая микроскопия - основана на силовом взаимодействии зонда и образца, которая позволила визуализировать практически любые поверхности на атомарном уровне [1]. Первый атомно-силовой микроскоп состоял из осколка алмаза, прикрепленного к полоске из фольги, к так называемому кантилеверу. Алмазное острие находилось в контакте с поверхностью посредством межатомных сил Ван-дер-Ваальса, вертикальные перемещения проводились с помощью второго острия сканирующего туннельного микроскопа, который был размещен поверх кантилевера [2].

Для понимания того, какие силы взаимодействуют между зондом и образцом обычно применяется потенциал Леонардо Джонса, описывающий взаимодействие 2 неполярных молекул [3]. На большом расстоянии друг от друга неполярные молекулы будут притягиваться, на малом расстоянии будет доминировать отталкивающая сила. Соответственно есть некоторая точка равновесия, которая будет эти две силы уравнивать. Поскольку зонд прикреплен к кантилеверу точка равновесия будет расположена дальше от поверхности. Помимо сил Ван-дер-Ваальса между зондом и поверхностью действует ещё такие силы как электростатические силы, магнитные, капиллярные и т. д.

Для того чтобы отследить взаимодействие зонда и образца используется отражённый лазерный луч (рисунок 1). Луч отражается от задней поверхности кантилевера, попадает на четырёх-сегментный фотодетектор и отслеживая сигнал, поступающий из разных сегментов можно точно наблюдать, как уклоняется кантилевер. Все вышеперечисленные силы уравниваются в какой-то определённой точке, те - которые дальше зонд притягивается, те - которые ближе зонд отталкивает. Рассмотрим общую схему микроскопа. Образец лежит на столбике из пьезокерамики, у которого верхняя часть отвечает за перемещение образца вверх и вниз, а нижняя часть отвечает за перемещение образца по координатам X и Y. Лазерный луч попадает сверху на заднюю поверхность кантилера, отражается с помощью зеркала на сегментный фотодетектор, с которого сигнал поступает в обратную связь, обратная связь означает что этот сигнал попадает обратно назад на разъем пьезодрайвера который управляет перемещением образца по вертикали. С помощью компьютера можно перемещать образец по X и по Y, таким образом обеспечивается сканирование по строке.



Рисунок 1 – Схема работы атомно-силового микроскопа [4]

Кроме того, на зонд, с помощью верхней пьезокерамики, может подаваться колебания, обеспечивающие работу зонда в резонансных методиках. Современный зонд атомно-силового микроскопа состоит из трёх частей: чип размером 1,5 мм на 3 мм, к чипу крепится кантилевер, к кантилеверу крепится остриё. Зонд изготавливается из кремния или нитрида кремния, а радиус закругления острия при вершине составляет 10 нанометров, но если нужно исследовать не только топографию поверхности но и какие-то свойства образца, то зонды могут покрываться магнитными материалами, проводящими материалами, могут окрашиваться антителами для поиска специфичных молекул, могут изготавливаться из алмаза для царапания поверхности, либо на них может выращиваться дополнительный сверх острый зонд с радиусом закругления острия около 1 нанометра, которые позволят получать изображение с большим разрешением поскольку мы знаем что чем меньше радиус закругления, тем меньше детали мы можем увидеть.

Выделяет три основных режима работы атомно-силового микроскопа. Первый режим – это *контактный*, в котором острие прижимается к поверхности образца и скользит вдоль него, второй режим - это *бесконтактный*, остриё колеблется по вертикали, либо по горизонтали на расстоянии от образца, третий режим – *полу-контактный*, тут остриё колеблется по вертикали, касаясь образца в нижней точке [4].

Бесконтактный и полу-контактный режим являются резонансными методиками, смысл их в том, что остриё колеблется на частоте механического резонанса, при приближении к образцу, то есть при контакте с ним колебания падают, соответственно, отслеживая амплитуду колебаний можно отслеживать расстояние от образца. Самым высоким разрешением обладает

контактный режим, потому что зонд находится в контакте с поверхностью, но при контактном режиме зонд повреждает образец путём царапания, поэтому наиболее распространённым является полу-контактный режим. Выбор режима работы на атомно силовом микроскопе зависит от типа образца и целей исследования. Всем трём режимам соответствуют свои участки на кривой Леонардо Джонса, к тому же есть четвёртый режим - *литография*, когда с помощью зонда образец целенаправленно модифицируется, также можно отслеживать другие силы, возникающие при взаимодействии зонда и образца.

Все силы отслеживаются для того, чтобы получить информацию о образце, хорошее изображение и надёжные данные, для этого требуется проводить качественную пробоподготовку:

1. При рассмотрении отдельных частиц их нужно разделить (разбавление, растворение, ультразвуковое размешивание);
2. Поверхность для исследования по возможности должна быть плоской, лучше всего подходит либо слюда, либо высокоориентированный графит;
3. Образец должен быть зафиксирован, чтобы не ездил под действием зонда;
4. Для наиточнейших результатов работа должна проводиться в вакууме, а ещё лучше при криогенной температуре [5].

Если не соблюдать эти правила, то помимо того, что сам микроскоп обладает нелинейностью, мы можем получить образец, меняющийся во время сканирования, потому что он нестабилен. Если для исследования взять хороший, чистый, гладкий образец, хорошее остриё, откачать воздух, тем самым получить вакуум, и температуру снизить до криогенной, то в результате атомно-силовой микроскопии можно получить изображение отдельных атомов.

Недостатком атомно-силового микроскопа является то, что разрешение по горизонтали в десятки раз хуже, чем по вертикали это связано с тем, что форма зонда далека от идеальной.

Приведу пару примеров как влияет качество образца и зонда на результат изображения. На рисунке 2 (а) мы наблюдаем опал - структуру из шариков диаметром сотни нанометров, такое изображение мы получили из-за грязного образца, изображение (б) получили после того как образец вымыли в ацетоне [6].

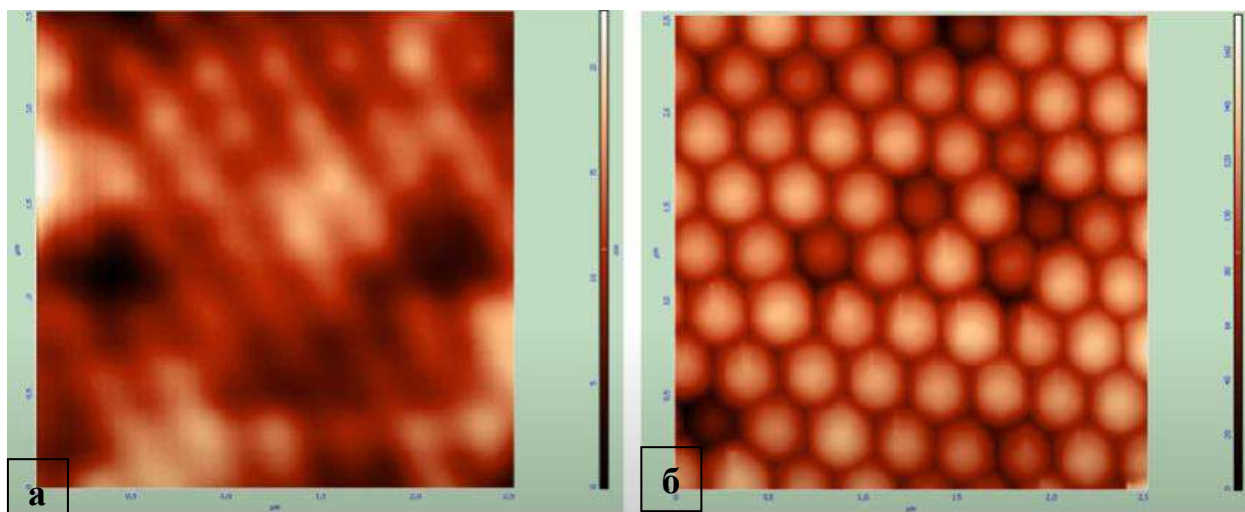


Рисунок 2 – Исследование структуры опала на атомно силовом микроскопе.
(а) загрязненный опал, (б) опал очищенный ацетоном [6]

1.2 Исследование углеродных наноматериалов методом сканирующей туннельной микроскопии

Сканирующая туннельная микроскопия – один из видов зондовой микроскопии, работающая на основе туннельного эффекта, позволяющая получить рельеф поверхности с высоким разрешением [7].

Туннельный эффект характеризуется прохождением частицей барьера, когда ее полная энергия меньше, чем высота барьера. Туннельный эффект не подчиняется законам классической физики и полностью им противоречит, он существует только в квантовом мире [8].

Сканирующий туннельный микроскоп был изобретен в 1981 году швейцарскими исследователями Герд Карл Биннигом и Генрих Рорером в лаборатории IBM (International Business Machines Corporation). В 1986 году исследователи получили Нобелевскую премию за изобретение сканирующего туннельного микроскопа. Позже выяснилось, что благодаря СТМ можно передвигать отдельные атомы по поверхности [9].

В СТМ используется туннельный эффект, где вероятность того, что электрон преодолеет барьер экспоненциально зависит от ширины барьера. В первой половине двадцатого века было показано, что если к плоской поверхности подвести остриё с приложенным напряжением, то пойдет ток, который будет сосредоточен в узком канале. Таким образом если у нас имеется острое остриё и узкий канал, то двигая остриё вдоль поверхности при поддержке постоянного тока мы можем прописать профиль поверхности с очень высоким разрешением. На то время проблема СТМ заключалась в том, что было сложно поддерживать определенное расстояние постоянно, но если микрометрическими винтами подкручивать положение зонда двигая вдоль поверхности и измерять каждый раз ток, подкручивая также другой винт в зависимости от тока, то если ток вырос – зонд нужно отодвинуть от

поверхности, а если ток упал, то нужно зонд подвинуть к поверхности, таким образом можно получить профиль поверхности с высоким разрешением. Как говорилось выше, основной проблемой данного метода является то, что зонд движется над образцом на расстоянии нескольких ангстрем, таким образом достаточно малейшего сотрясения аппаратуры или неточный поворот винта чтобы зонд врезавшись в образец сломался. Эта проблема могла быть решена в начале 80-х годов, когда изобрели пьезокерамику, с помощью которой можно было точно переместить зонд от начала строки к концу и по возвращению обратно зонд оказался бы в начальной точке сканирования, но она не была решена таким образом. Для решения данной проблемы изобретатели использовали обратную связь, для поддержания постоянного расстояния между зондом и образцом. Таким образом расстояние поддерживалось не винтиками, а введенной системой обратной связи, которая самостоятельно передвигала с помощью пьезокерамики зонд ближе к образцу или дальше в зависимости от того как меняется туннельный ток. Кроме того, чтобы преодолеть все внешние воздействия они поместили микроскоп в состояние левитации с помощью сверхпроводящих магнитов, а также использовали вакуум и сверхнизкие температуры, благодаря данным операциям метод заработал [10].

Рассмотрим структуру туннельного микроскопа (рисунок 3). Во-первых, он состоит из металлического острия, которое находится над поверхностью, острие прикреплено к пьезосканеру в виде трубочки, сканер прикреплен к блоку механического приближения, который позволяет переместить сканер на расстояние до 5 микрон. Образец расположен на системе, которая позволяет механически перемещать его вправо и влево, всем вышеперечисленным управляет блок электроники, который включает в себя: усилитель туннельного тока, цепь обратной связи, высоковольтный блок для управления пьезокерамикой. Также в структуре СТМ присутствует система виброизоляции, система подачи и откачки воздуха для вакуума. Сканер СТМ может быть представлен в разных видах, в нашем случае он представлен в виде трубочки из пьезокерамики, у которой один из сегментов отвечает за перемещение по вертикали, а другой отвечает за передвижение по горизонтальным координатам.

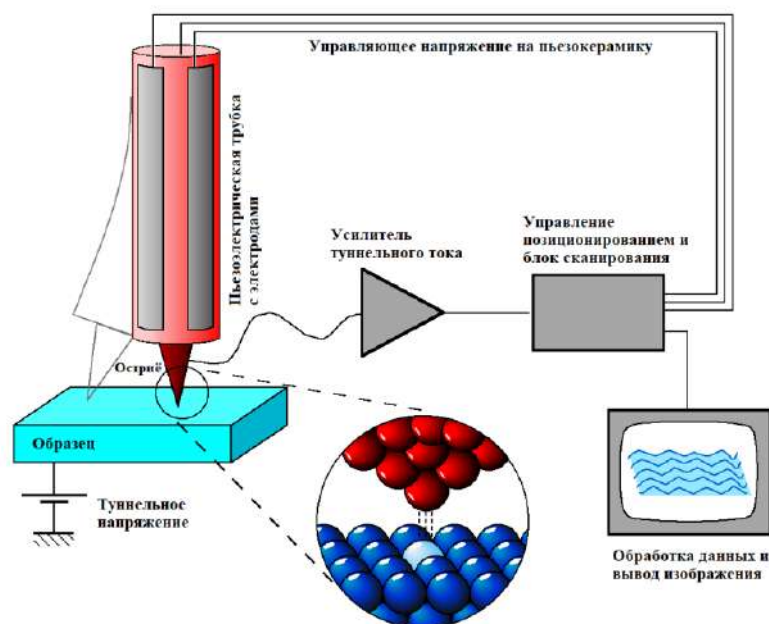


Рисунок 3 – Структура туннельного микроскопа [11]

В идеальном случае остриё должно быть острым и на его вершине должен находиться один отдельный атом. Поскольку зависимость туннельного тока от расстояния очень сильное, то выяснилось, что, если мы возьмем за остриё проволоку, которую просто грубо отрежем, то есть вероятность, что один атом окажется крайним и в случае работы с очень гладкой поверхностью, благодаря отдельному атому мы получим сверхвысокое разрешение. Острия можно получить разными способами:

1. Механического обрезание тонкой проволоки
2. Травление проволоки химическим взаимодействием
3. Разрыв проволоки посредством растяжения

Основным преимуществом СТМ является то, что он позволяет получать изображение поверхности с разрешением менее нанометра по вертикали и горизонтали. Главным недостатком СТМ является то, что он позволяет получать изображения только на проводящих поверхностях и то, что ток зависит от плотности состояний на уровне Ферми. Поэтому на гладких поверхностях мы можем получить разный ток и воспринять это как некоторый рельеф поверхности, хотя на самом деле это будет разница в плотности состояний.

1.3 Изучение морфологии углеродных наноматериалов методом растровой электронной микроскопии

Растровая электронная микроскопия (РЭМ) – это один из видов электронной микроскопии применяемый для получения увеличенного изображения образца, вплоть до субнанометровых размеров, путем последовательного сканирования поверхности сфокусированным пучком электронов [12].

Под действием пушки в РЭМ выпускается пучок электронов, которые попадают на образец, в случае если толщина образца менее 200 нанометров, мы получим такие электроны как: нерассеянные, упруго-рассеянные и неупруго-рассеянные, они важны для просвечивающей электронной микроскопии. В случае растровой электронной микроскопии нас будет интересовать, то что отражается от образца, а именно: оже-электроны, обратно-отраженные (обратно-рассеянные) электроны, вторичные электроны, кванты рентгеновского излучения и фотоны с различной энергией. На рисунке 4 мы можем наблюдать графическое изображение оже-электрона. Под действием фотона, несущего энергию, у нас происходит выбивание электрона с внутренней оболочки атома (оболочка К), в результате электрон с соседней оболочки (оболочка L) будет переходить на внутреннюю (оболочка К), в ходе такого перехода данный электрон при передвижении будет излучать энергию, которая будет поглощаться электроном с крайней оболочки (оболочки М), который вследствие покинет оболочку атома. Электрон, который покидает оболочку атому в результате поглощения энергии и будет называться оже-электроном [13].

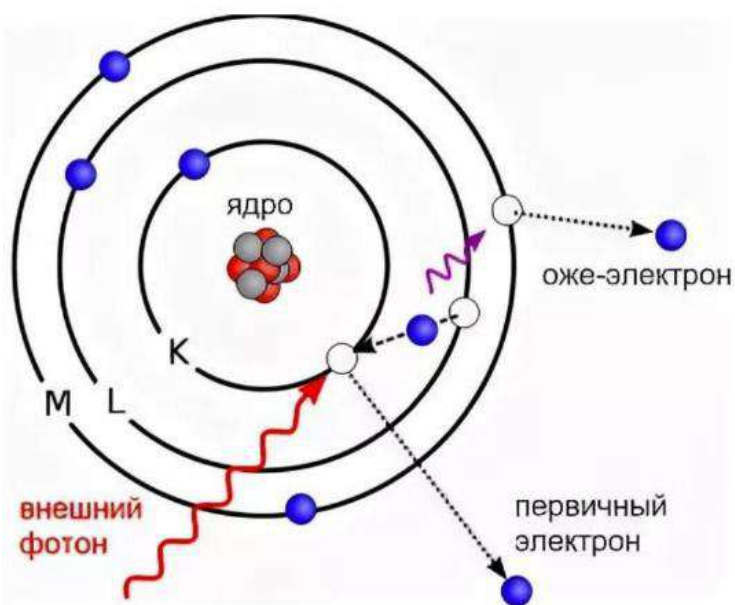


Рисунок 4 – Динамика оже-эффекта [14]

На рисунке 5 изображена область взаимодействия первичных электронов с образцом на различной глубине. На рисунке 5 мы видим, что с глубиной не более 1 нанометра мы можем регистрировать оже-электроны. Следующий слой отвечает за регистрацию вторичных электронов. Третий слой регистрирует отраженные электроны. Четвертый и пятый слой регистрируют рентгеновское излучение и тормозное рентгеновское излучение. Крайний слой отвечает за процесс флюоресценции. Следует отметить, что границы слоёв не жесткие и плавно переходят друг в друга.

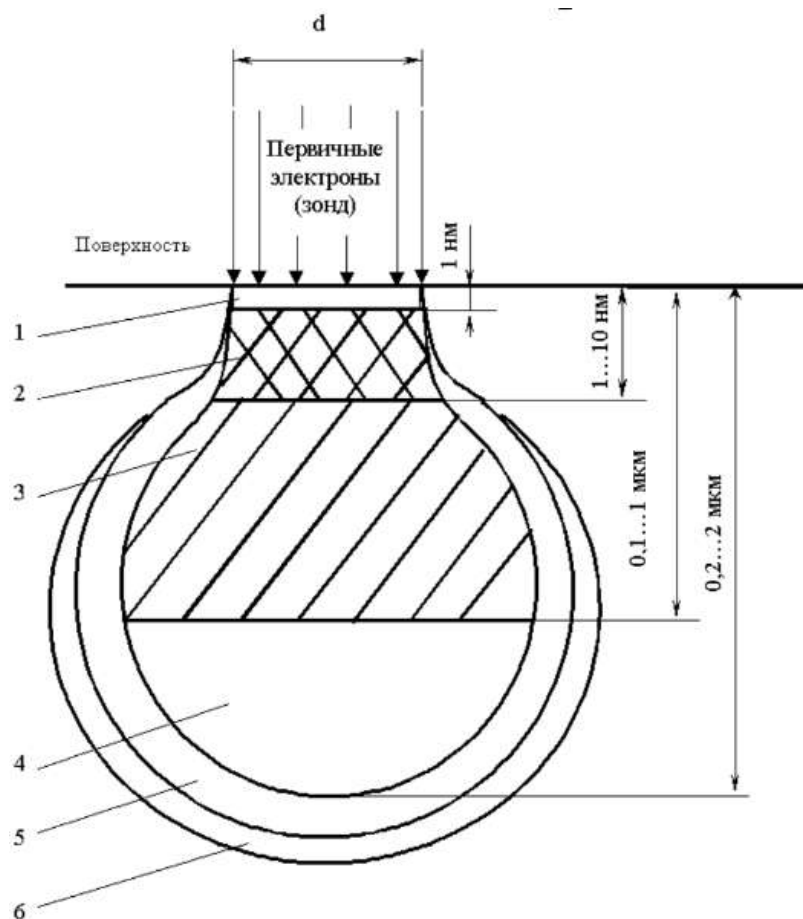


Рисунок 5 – Область взаимодействия первичных электронов с образцом.
 1) ожэ-электроны 2) вторичные электроны 3) отраженные электроны 4) характеристическое рентгеновское излучение 5) тормозное рентгеновское излучение 6) флюоресценция (катодолюминисценция) [14]

При проникновении первичных электронов в образец они рассеиваются во всех направлениях, следовательно, происходит расширения пучка электронов в образце. Область образца, где пучок первичных электронов приобретает нулевые значения энергии имеет грушевидную форму. Расширение пучка первичных электронов сбоку имеет размеры от 1 до 2 мкм, даже в случае, если зонд диаметром 10 нм. Рассеивание электронов внутри образца приводит к тому, что размеры выхода электронов обратно на поверхность образца будет больше фокуса электронного пучка. В связи с этими процессами рассеивания будет снижаться разрешение микроскопа.

Рассмотрим конструкцию растрового электронного микроскопа (рисунок б). Первый элемент в конструкции - это электронная пушка, следующим идет фокусирующая система, далее следует ускоряющая система магнитных конденсаторных линз, после идет объективная линза после которой электронный пучок проходит на образец, после этого мы видим три вида детекторов: кольцевой детектор, предназначенный для регистрации обратно отраженных электронов; детектор вторичных электронов; энергодисперсионная приставка, которая проводит рентгеноспектральный

анализ, который позволяет исследовать образец на те или иные химические элементы [15].

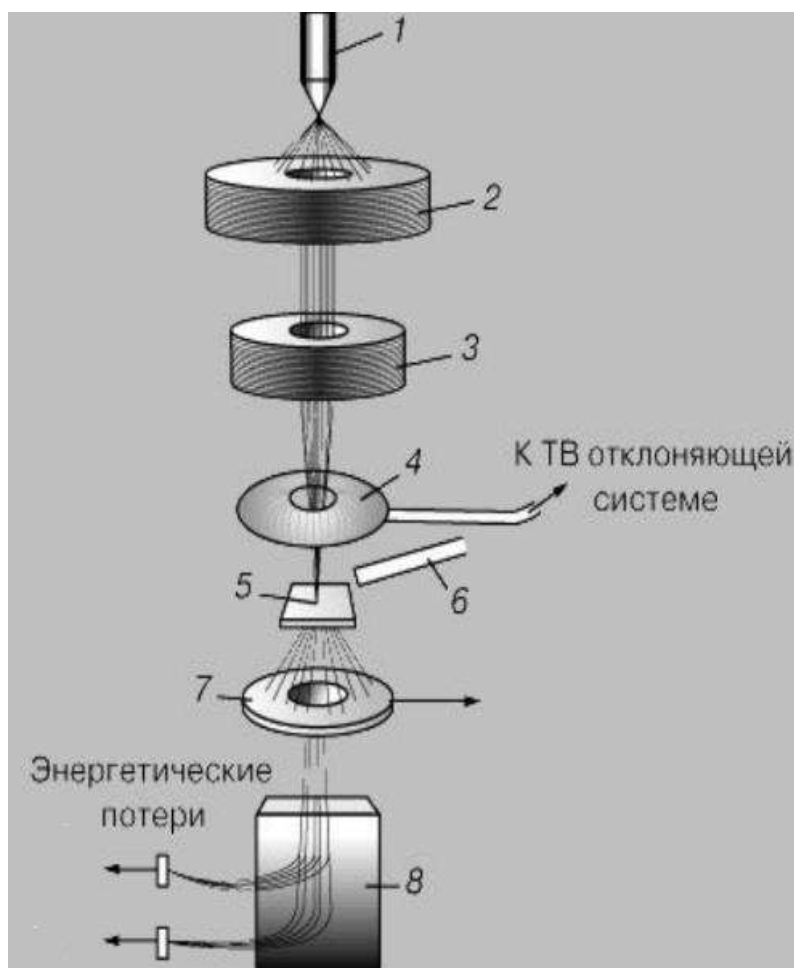


Рисунок 6 – Конструкция растрового электронного микроскопа 1- источник электронов; 2- ускоряющая система; 3- магнитная линза; 4- отклоняющие катушки; 5- образец; 6- детектор отраженных электронов; 7- кольцевой детектор; 8- анализатор [15]

Растровый электронный микроскоп требует наличие вакуума для работы. Изображение РЭМ строится с использованием телевизионного кинескопа (электронно-лучевая трубка, ЭЛТ). Развертка ЭЛТ синхронизирована с системой отклонения электронного пучка, что позволяет получать построчное (растровое) изображение объекта [15].

Недостатками растровой электронной микроскопии является следующее: для исследования необходим довольно глубокий вакуум; отсутствие возможности работы с большими образцами, в данном случае мы сможем просматривать только какие-то части образца; достижение атомарного разрешения в критических для поверхности условиях, чем легче образец, тем интенсивнее он будет разрушаться; трудности при работе с диэлектриками.

1.4 Изучение и интерпретация углеродных наноматериалов методом просвечивающей электронной микроскопии

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) – один из видов электронной микроскопии, предназначенная для изучения поверхности тонких образцов посредством электронного пучка электронов, которые проходят через образец, взаимодействуют с ним и фокусируются на флюоресцентном экране для формирования изображения [16].

Первый изобретенный просвечивающий электронный микроскоп был очень похож на просвечивающий световой микроскоп, только вместо фотонов были электроны, линза не стеклянная, а электромагнитная и работает он в условиях вакуума, а не на воздухе. Для электронных микроскопов характерна большая глубина резкости и огромный диапазон увеличений, перекрывающий оптический микроскоп [17].

Источником электронов в микроскопе является электронная пушка, где разогретый вольфрам в электрод помещен специальный цилиндр и между ними прикладывается ускоряющее напряжение, обеспечивающее ту самую энергию электронов в десятки КэВ. Часть электронов вылетают через отверстия, расположенное в торце цилиндра и дальше летят через отклоняемые электромагнитные линзы через образец. Проходя через систему электромагнитных линз электроны попадают на флюоресцентный экран, вызывая его свечение, таким образом формирую изображение образца [18].

Поток ускоренных электронов из пушки собирается системой конденсорных линз в узкий параллельный пучок, который попадает на образец. Прошедшие электроны собираются объективной линзой и формируют первое промежуточное изображение. Далее линза проецирует увеличенное промежуточное изображение на флюоресцентный экран. Простейшая схема работы просвечивающего электронного микроскопа требует применения трех линз: конденсорной, объективной и проекционной. Если требуется фокусировка луча электронного микроскопа в пятно меньшего диаметра, то применяются две конденсорные линзы. Если требуется большее увеличение изображения, чем достигается применением объективной, прожекторной линзы, то добавляются промежуточные линзы, тогда общее число линз в просвечивающем электронном микроскопе может достигать шести. Все вышеперечисленные элементы находятся внутри вакуумной колоны, внешний вид которой изображен на рисунке 7. Высоковольтный кабель под номером 1 подходит к электронной пушке 2, конденсорная линза под номером 4, образец располагается в плоскости под номером 12, проекционная линза под номером 8, под номером 10 расположен флюоресцентный экран, изображение мы можем наблюдать напрямую в бинокле под номером 9, или же оно будет регистрироваться на фотокарточки, которые будут помещаться под экран [19].

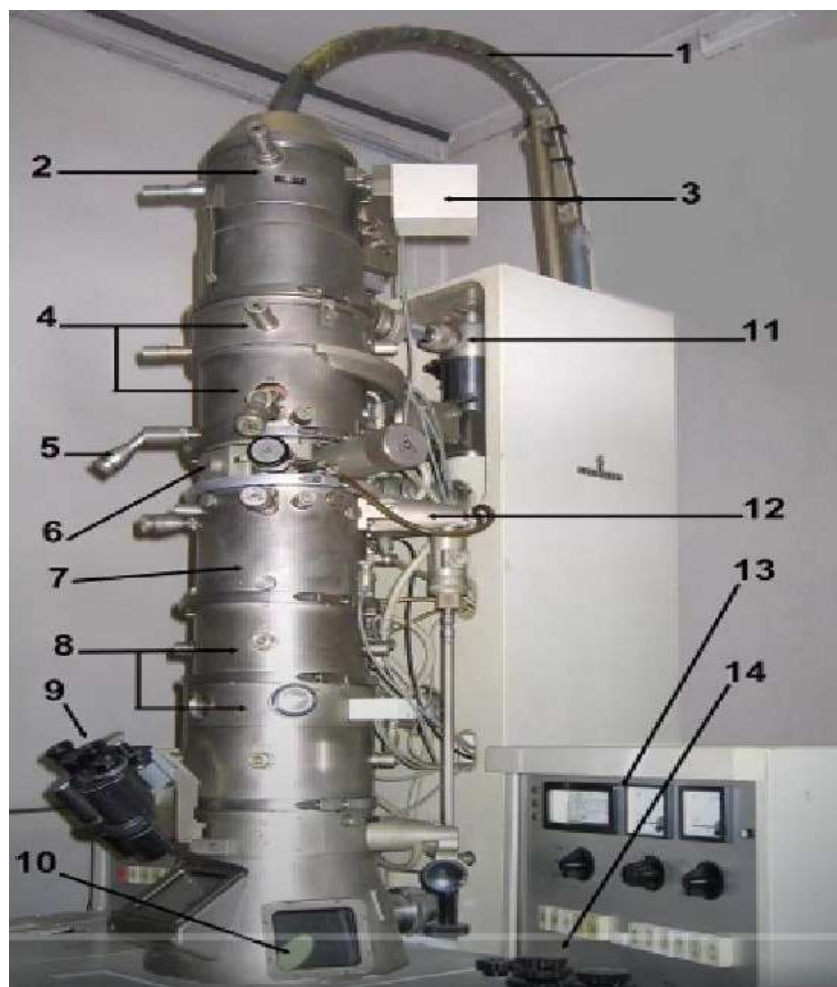


Рисунок 7 – Схема системы вакуумной колонны просвечивающего электронного микроскопа 1- кабель высокого напряжения; 2- электронная пушка; 3- двигатель; 4- конденсорная линза; 5- регулятор диафрагмы; 6- порт; 7- объектив; 8- проекционная линза; 9- бинокль; 10- флюоресцентный экран; 11- трубка; 12- столик для образца; 13, 14 – механизмы регулировки фокуса изображения [19]

Образцы для исследования в просвечивающем электронном микроскопе должны быть устойчивы к вакууму, к воздействию электронного пучка, должны быть прозрачными для электронов и при этом создавая контраст при прохождении электронов через них. Для биологических образцов на первое место вступает необходимость зафиксировать образец, обычно это замораживание или высушивание, также при окрашивании тяжелыми металлами можно усилить контраст изображения. В случае исследования порошком их достаточно диспергировать в растворе и нанести его на поверхность, либо внедрить частицы в какой-нибудь полимер и нанести его пленку. При исследовании толстых образцов, которые не прозрачны для электронов, то есть их величина более 100 нм, обычно применяется механическое обработка, химическая и электронно-лучевое травление для получения требуемой величины, либо микротомирование, когда образец

нарезается на слои толщиной десятки нанометров. Все эти тонкие образцы помещаются на поддерживающей сеточке – это металлические сетки покрытые углеродной или полимерной пленкой. Такая сеточка прозрачна для электронов, не дает рассеивание, обладает высокой стабильностью. Диаметр таких сеточек обычно 3 миллиметра, размер ячеек около 100 микрон [20].

Изображения, получаемые на электронном микроскопе принципиально черно-белые, потому что мы регистрируем только прохождение электронов.

При прохождении электронов через образец происходит масса процессов, но нас интересует только два вида электронов, которые можно выделить из прошедшего через образец потока. Первый вид – это электроны, которые прошли через образец и не испытали никакого взаимодействия, из направления движения не изменилось. Второй вид – это эластично рассеянные электроны, которые прошли вблизи ядра без взаимодействия с электронами атомов. Эти два вида электронов позволяют реализовать два режима работы микроскопа: режим светлого поля и режим темного поля. То в каком режиме работает микроскоп определяется апертурой, расположенной в задней фокальной плоскости объективной линзы, если апертура расположена по центру, то она пропускает только электронную траекторию тех, которые при прохождении через образец не были искажены, тем самым мы получаем изображение светлого поля. Если апертура расположена так что блокирует эти электроны, пропуская только эластично рассеянные, то формируется изображение темного поля. Также возможен вариант, когда изменение режима получения изображения достигается изменением режима работы конденсорных линз, тогда апертура остается на месте. Апертура объективной линзы позволяет выбрать область исследования образца, а апертура конденсорной линзы позволяет ограничить размер электронного пятна на образце. В режиме светлого поля, поскольку островки поглощают электроны они выглядят темнее, в то же время они рассеивают электроны, поэтому в режиме темного поля они выглядят светлее. Поскольку рассеивание на краях происходит иначе, чем вдали от них островки в режиме темного поля выглядят менее четко [21].

Если образец для исследования достаточно толстый, что невозможно зафиксировать прошедшие электроны, то для исследования поверхности применяют метод реплик. Для этого сначала под углом напыляется контрастное вещество, обычно это чистая платина или платина с углеродом, после чего со всех сторон напыляется несколько десятком нанометров углерода. Нанесенный слой отрывается от образца, либо образец растворяется и помещается в микроскоп. Кроме того, косое напыление металлов используют для оттенения и исследования рельефа поверхности прозрачных образцов. Принцип оттенения используется и для изготовления реплик. Если поверхность имеет рельеф, то при косом напылении будут возникать тени, на которые металл не упал. Зная размер тени и угол напыления можно вычислить высоту шероховатости. С помощью ПЭМ мы можем отслеживать рост тонких металлических пленок. Пленки при напылении растут неравномерно, сначала

на поверхности появляются отдельные атомы, потом они объединяются в капельки и потом капельки слипаются в большие капли, потом островки, и под конец они образуют слой сплошной проводимости. Анализ позволяет понять какая стадия наступает на каком этапе напыления. Следующим преимуществом ПЭМ является то, что с помощью него мы можем определить диаметр наночастиц. Наночастицы поглощают электроны лучше, чем углерод. Если мы будем исследовать пленку, состоящую из упорядоченных нанокристаллов, покрытых органической оболочкой из лигандов, то мы можем оценить не только диаметр нанокристаллов, но и двойную толщину оболочки, потому что лиганды как и вся органика прозрачна для электронов. Если позволяет микроскоп и образец, то можно рассмотреть формы частиц и внутреннюю структуру, и даже увидеть грани кристаллической решетки.

От ускоряющего напряжения зависит не только длина волны электронов и предельное разрешение, но и контраст изображения, потому что электроны низких энергий проникают слабее, чем электроны высоких. Таким образом меняя напряжение можно изменять контраст изображения и исследовать образцы разной толщины [22].

Благодаря ПЭМ можно исследовать трехмерную форму частиц. Исторически первый способ заключался в том, что мы берем много одинаковых частиц, помещаем их в какой-нибудь полимер, делаем пленку и получаем изображение множества случайно ориентированных частиц, далее проводим анализ изображения, классифицируем частицы, усредняем похожие и реконструируем их форму. Современный метод предполагает, что мы берем одну частицу, помещаем ее на специальный наклоняющийся столик и делаем изображения, записанные с разных углов, далее проводим математическую обработку двухмерных снимков и реконструируем объемное изображение. Этот метод называется томография [23].

2 Экспериментальная часть

2.1 Подготовка образца

Все образцы были получены с помощью одного метода с некоторыми отклонениями по параметрам. Монокристаллическая кремниевая пластина была очищена в ультразвуковой ванне. Процесс очистки кремниевой пластины показан на рисунке 8.



Рисунок 8 – Очистка пластины в ультразвуковой ванне

После ультразвуковой очистки пластину высушили на воздухе. Очищенная, высушенная кремниевая пластина была вставлена в ионно-лучевую установку, а на поверхность магнетронным методом был нанесен слой никеля (толщиной 70 нм) и железа (толщиной 10 нм). Распыление магнетронным методом осуществлялось с помощью ионно-лучевой установки. Эту установку можно увидеть на рисунке 9.



Рисунок 9 – Установка ионно-лучевого распыления

Морфология поверхности образца, осажденного никелем и железом, изучалась с помощью атомно-силового микроскопа. Исследование показывает наличие гранул на поверхности образца. Наличие гранул указывает на наличие никеля и железа. Это можно увидеть на рисунке 10.

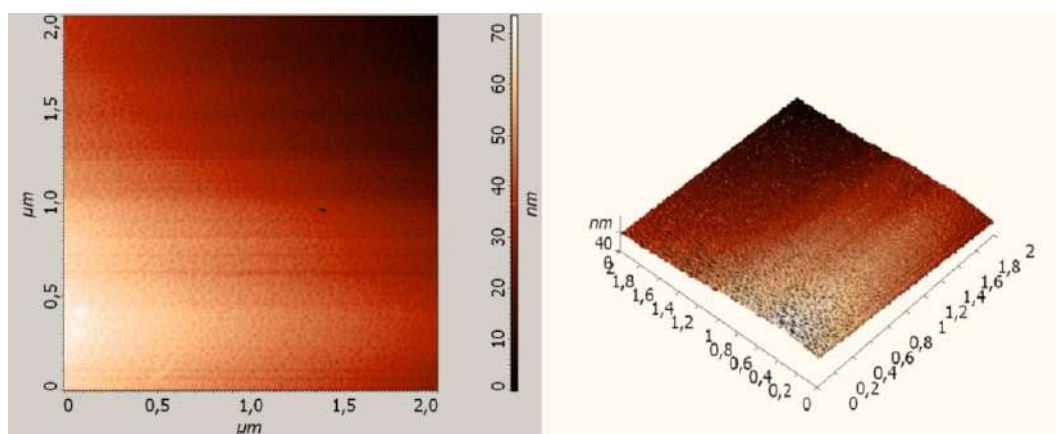


Рисунок 10 - Вид морфологии поверхности образца, сделанный с помощью атомно-силового микроскопа

Полученная пластина была разделена на необходимые части определенного размера. Пластина, разделенная на части, показаны на рисунке 11.

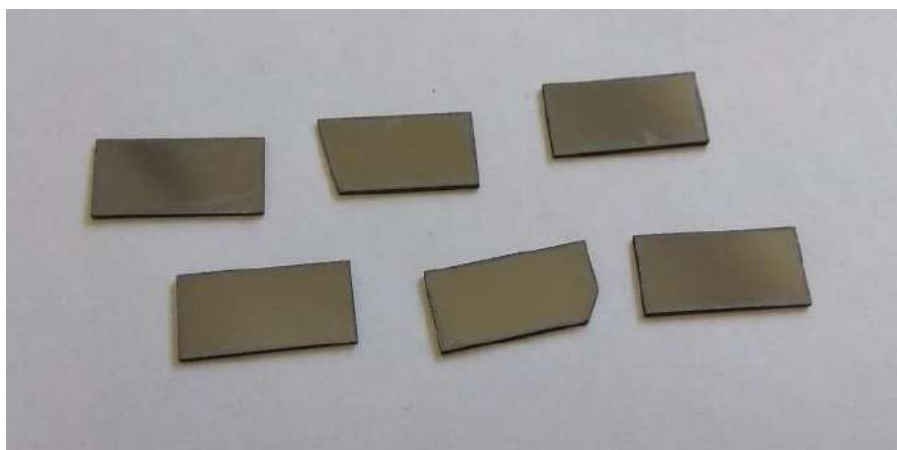


Рисунок 11 – Кремниевые пластины с покрытием никеля и железа

2.2 Процесс синтеза

Синтез углеродных нанотрубок осуществлялся в реакторе PECVD под названием SEKI AX5200S, максимальная мощность плазмы которого достигает 1,5 кВт. Это устройство предназначено для выращивания алмазных пленок и углеродных нанотрубок. Установка плазменно-химического осаждения из паровой фазы, модель AX5200-ECR, Seiki Technotron Corp.

производитель, Япония, используемые вещества - метан. Эта установка показана на рисунке 12.



Рисунок 12 – Общий вид установки плазмохимического осаждения

Установка состоит из двух основных частей: реактора и блока управления. В реактор задействованы система подачи газа и водяного охлаждения. Из блока управления можно отслеживать следующие параметры:

1. Количество подаваемых газов
2. Давление газов в реакторе
3. Насосы
4. Температура образца
5. Магнитные поля
6. Плазма

Получение вакуума осуществляется с помощью форвакуумных и турбомолекулярных насосов. Схема установки показана на рисунке 13.

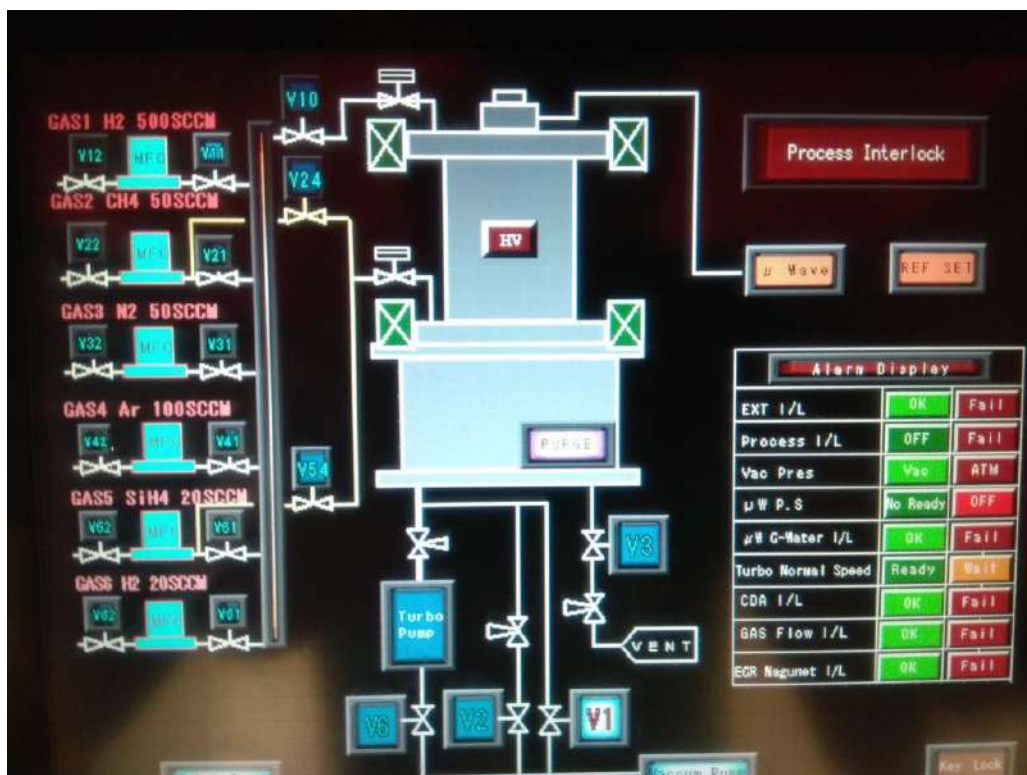


Рисунок 13 - Схема установки плазмохимического паро-фазного осаждения

Ход выполнения эксперимента:

- 1 Образцы кремния с никелевым и железным катализаторами на поверхности были помещены в реактор PECVD. Это показано на рисунке 14.



Рисунок 14 - Вид образца в установке PECVD

- 2 Внутри реактора с помощью форвакуумных турбомолекулярных насосов довели величину вакуума до давления 2×10^{-7} торр.

- 3 Поверхность образца обрабатывали водородом для восстановления. Для этого стол, на котором был установлен образец в реакторе, нагревали до 500°C. В этот момент реактору подали газ H_2 с током 80 см³.
- 4 Когда давление достигло 18 торр, плазма (мощность 500 Вт) была активирована, и процесс восстановления длился 5 минут.
- 5 После обработки плазма была отключена, и температура поднялась до 650°C. Позже в реактор был отправлен CH_4 (газ метан) с током 20 см³. Затем плазма снова включилась, и процесс синтеза продолжался 10 секунд. В этот момент на поверхности образцов начинают расти нанотрубки. Этот процесс показан на рисунке 15.

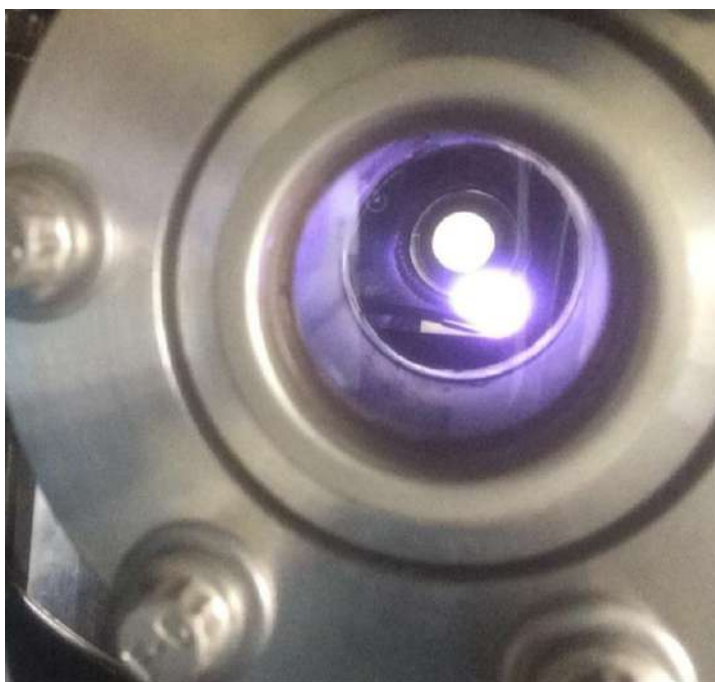


Рисунок 15 - Вид плазмы в реакторе во время роста нанотрубок

- 6 По окончании процесса поток газов был перекачан, а температура была понижена с помощью насосов с перекачкой внутри реактора. Такой процесс синтеза проводился в нескольких параметрах. В частности, путем изменения соотношений температуры, давления, времени и газов.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Обнаружение углеродных нанотрубок

Морфология углеродной нанотрубки изучалась на японском сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6490LA с видимостью 3 нм и максимальной мощностью 30 кВт. Эту установку можно посмотреть на рисунке 16.



Рисунок 16 - Сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM-6490LA

Синтез нанотрубок проводился в нескольких параметрах. Это параметры давление газа в реакторе, температура, время синтеза, толщина катализатора и поток газов. Синтез нанотрубок производился по параметрам, указанным в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры роста углеродных нанотрубок

Катализатор	Давление газа в реакторе (Торр)	Температура образца (°C)	Продолжительность синтеза (с)	Толщина катализатора (nm)	Поток газов (sccm)
Ni	18	650	10	70	H ₂ -80 CH ₄ -20
Fe	18	650	10	10	H ₂ -80 CH ₄ -20

Это оптимальный параметр для роста нанотрубок для установки PECVD [24]. Результаты, полученные с помощью электронного сканирующего микроскопа, показаны на рисунках 17,18,19,20 ниже.

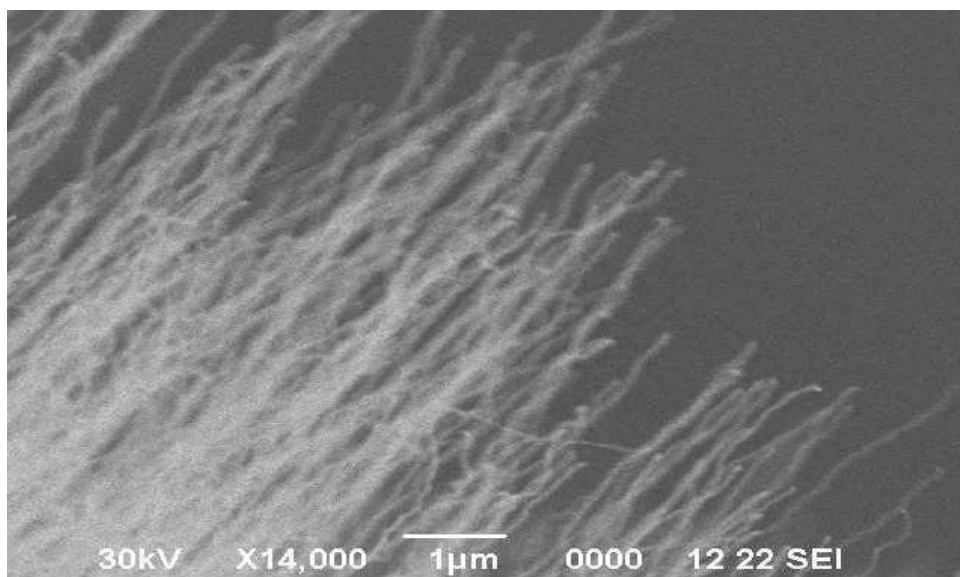


Рисунок 17 - Углеродные нанотрубки, выросшие на железном катализаторе

На этом изображении можно увидеть углеродную нанотрубку, которая выросла на поверхности железного катализатора. На этой картинке можно увидеть, как нанотрубка растет вертикально и хорошо видна.

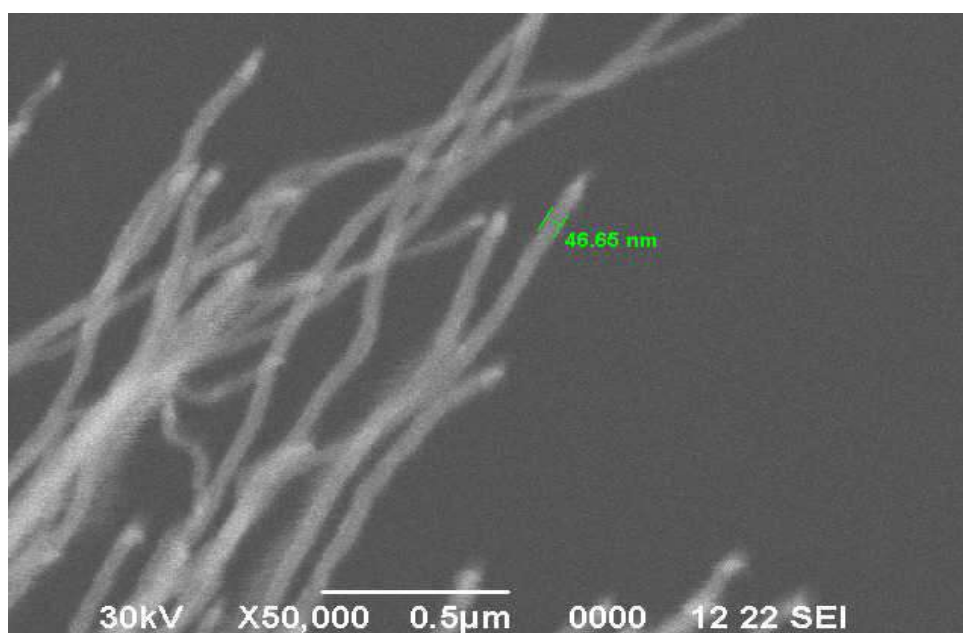


Рисунок 18 - Толщина углеродных нанотрубок, выросших на железном катализаторе

На этом изображении вы можете увидеть толщину углеродной нанотрубки, выращенной на пластине, покрытой железом, на поверхности кремния. Примерно толщина всех трубок оказалась в пределах 45-47 нм.

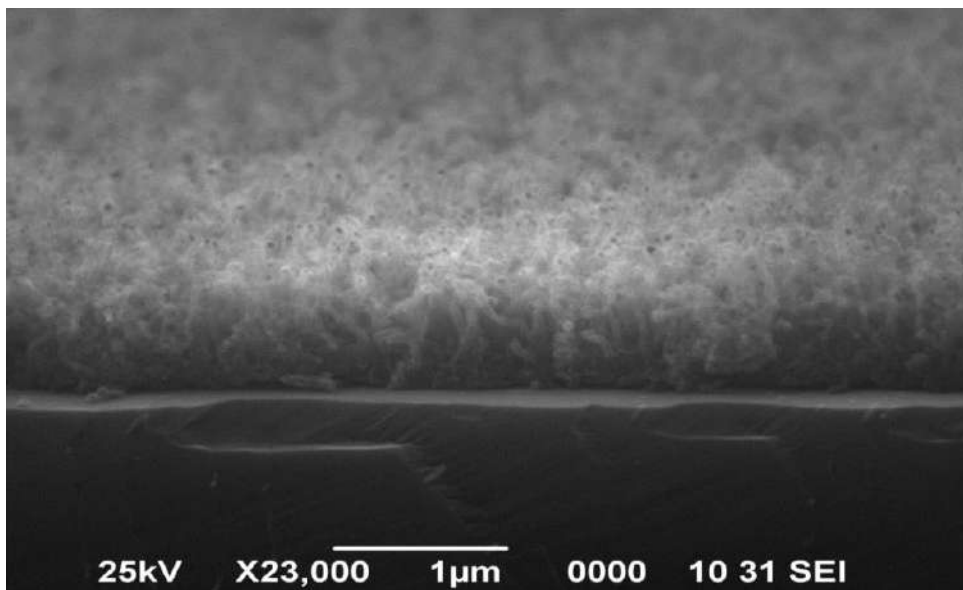


Рисунок 19 - Углеродные нанотрубки, выросшие на никелевом катализаторе

Вы можете наслаждаться расположением беспорядочной углеродной нанотрубки, выращенной поверх никелевого катализатора на приведенном рисунке 19. Как видно, никелевый катализатор выращивал нанотрубки не вертикально, а в виде пучков.

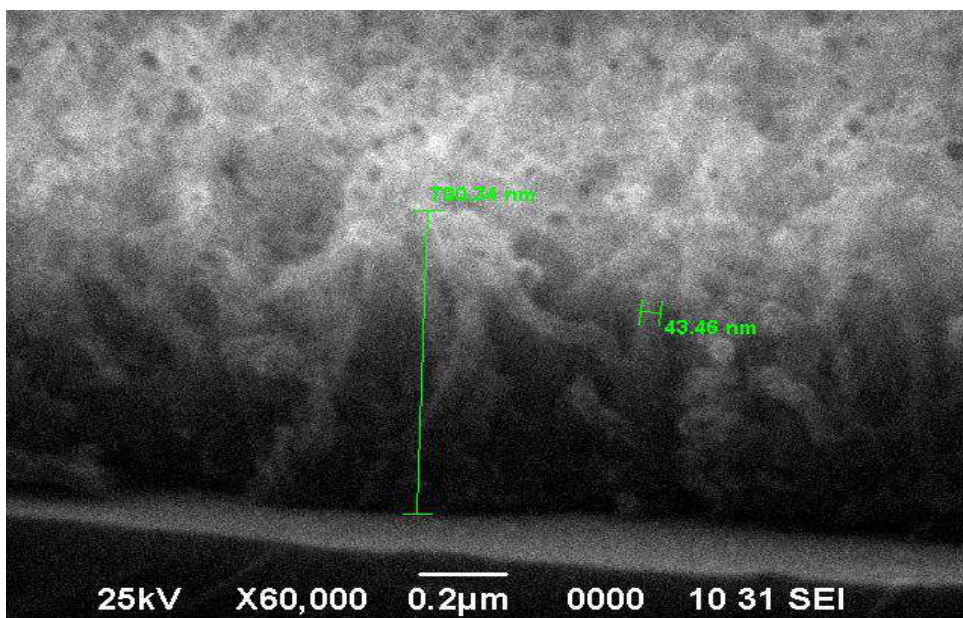


Рисунок 20 - Толщина и высота углеродных нанотрубок, выросших на никелевом катализаторе

Как видно из последнего изображения, здесь мы можем увидеть толщину трубок, в которых углеродные нанотрубки выросли на никелевом катализаторе, и высоту роста трубок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведенных исследований в рамках дипломной работы получены следующие результаты:

1 Морфология поверхности образца, осажденного никелем и железом, изучалась с помощью атомно-силового микроскопа. Исследование показывает наличие гранул на поверхности образца. Наличие гранул указывает на наличие никеля и железа.

2 Результаты исследования на электронно-сканирующим микроскопом показали, что нанотрубки, синтезированные в одинаковых условиях на поверхности никеля и железа, имеют разную структуру. В катализаторе никеля нанотрубки растут хаотично и плотно. А нанотрубка, выросшая на поверхности железного катализатора, растет регулируемым образом. В обоих случаях толщина или диаметр нанотрубок составляет 42-47 нм. Причина, по которой нанотрубки растут по - разному в катализаторах из железа и никеля, заключается в том, что слои катализатора различаются.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИИ

АСМ – Атомно-силовой микроскоп

СТМ – Сканирующий туннельный микроскоп

РЭМ – Растровый электронный микроскоп

ПЭМ – Просвечивающий электронный микроскоп

ЭЛТ – Электронно-лучевая трубка

CVD - Chemical vapor deposition (химическое парофазное осаждение)

IBM - International Business Machines Corporation

PECVD - Плазменно-химическое осаждение из газовой фазы

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Плескова С.Н. Атомно-силовая микроскопия в биологических и медицинских исследованиях. Учебное пособие. Электронная версия на сайте <https://urss.ru/cgi-bin/db.pl?lang=Ru&blang=ru&page=Book&id=123794>
- 2 <https://www.microsystemy.ru/info/articles/atomno-silovoy-mikroskop/>
- 3 Энциклопедия по машиностроению XXL. Электронная версия на сайте <https://mash-xxl.info/info/3848>
- 4 Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии.
- 5 Fundamentals Of Atomic Force Microscopy - Part I: Foundations. Электронная версия на сайте <https://www.amazon.com/Fundamentals-Atomic-Force-Microscopy-Foundations/dp/9814630357>
- 6 <https://www.youtube.com/watch?v=cCNKlhUNFy8&t=534s>
- 7 Методы обработки и интерпретация изображений сканирующей зондовой микроскопии. Электронная версия на сайте <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://physelec.phys.msu.ru/files/practice/Methody.pdf>.
- 8 Работнов Н. С. Ларчик можно не открывать: Квантовый туннельный эффект. Полвека загадок и открытий.
- 9 <https://sochisirius.ru/news/2254>
- 10 Чуприк А. А, Шешин Е. П. Сканирующая туннельная микроскопия: учебно-методическое пособие.
- 11 Bert Voigtländer. Atomic Force Microscopy.
- 12 <https://researchpark.spbu.ru/>
- 13 БИНОМ. Лаборатория знаний. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий.
- 14 E. H. S. Burhop. The Auger Effect and Other Radiationless Transitions.
- 15 Гоулдстейн Дж., Джой Д., Лифшин Э., Ньюбери Д., Фиори Ч., Эчлин П. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. Книга
- 16 <https://mipt.ru/upload/medialibrary>
- 17 <https://www.microsystemy.ru/info/articles/elektronnyy-mikroskop-elektronnaya-opticheskaya-skema/>
- 18 <http://www.cnshb.ru/AKDiL/0048/base/R3/060002.shtm>
- 19 Брент Фульц. Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов.
- 20 Требования к подготовке образцов для исследования на электронных сканирующих микроскопах в ЦКП МИИ СО РАН на базе ИГМ СО РАН. Электронная версия на сайте <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.igm.nsc.ru/images/data/samples-prep.pdf>
- 21 Покровский Я.Е. Взаимодействие электронов и дырок
- 22 Дэвис Эдвард Артур, Мотт Нэвилл Фрэнсис. Электронные процессы в некристаллических веществах
- 23 https://www.infran.ru/vovenko/60years_ww2/el_micro.htm

24 ESM Duraia, Z Mansurov, SZ Tokmoldin // Preparation of carbon nanotubes with different morphology by microwave plasma enhanced chemical vapour deposition // *Physica status solidi (c)* 7 (3-4), – C. 1222-12267

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу
(наименование вида работы)

Старцева София Валерьевна
(Ф.И.О. обучающегося)

6В07109 – «Инженерная физика и материаловедение»
(шифр и наименование ОП)

Тема: «Микроскопическое исследование поверхности углеродных наноматериалов»

В последние годы наблюдается устойчивое развитие физики наноразмерных материалов и прикладных аспектов их применения в различных сферах человеческой деятельности: материаловедение, электроника, энергетика, медицина, биология и множество других областей.

В представленной дипломной работе исследуются морфологии и локальные свойства нанокристаллических покрытий на подложках из железа и кремний высоким пространственным разрешением с помощью зондовых микроскопов. Изучены обработки изображений и сопутствующие информации.

В связи с этим, исследования, выполненные в дипломной работе Старцевой С.В., представляются весьма актуальными и перспективными как в научном плане, так и в плане практического применения и она успешно справилась с поставленной задачей. Работа в целом выполнена на высоком современном и научном уровне.

По объему выполненных исследований, их актуальности, научной значимости дипломная работа Старцевой С.В., удовлетворяет всем требованиям, и студент заслуживает высокой оценки.

Студент отнесся к порученной тематике добросовестно. В целом работа Старцевой С.В. удовлетворяет всем требованиям и заслуживает рейтинговой системе – 95 баллов (А) оценки «отлично».

Научный руководитель

канд. физ-мат. наук, ассоц. проф.

Байт Байтимбетова Б. А.
(подпись)

«25» мая 2023 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу
(наименование вида работы)

Старцева София Валерьевна
(Ф.И.О. обучающегося)

6В07109 – «Инженерная физика и материаловедение»

(шифр и наименование ОП)

На тему: «Микроскопическое исследование поверхности углеродных наноматериалов»

Выполнено:

- а) графическая часть на 15 листах
б) пояснительная записка на 35 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Расчеты и вводная часть в дипломной работе выполнены в полном размере. Все расчеты соответствуют теме дипломной работы. Работа представляет ценное, научное исследование микроскопического анализа поверхности углеродных наноматериалов. Автор представил хорошую методологию, представили данные и обсудили полученные результаты.

Замечания: можно расширить обсуждения, чтобы более подробно рассмотреть возможные факторы, влияющие на структуру и морфологию поверхности углеродных наноматериалов.

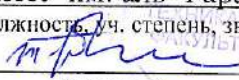
Оценка работы

Дипломная работа оценивается по рейтинговой системе – 95 баллов (А) оценки «отлично», а дипломант Старцева С.В. рекомендуется к присвоению квалификации бакалавра по специальности 6В07109 «Инженерная физика и материаловедение».

Рецензент

PhD, старший преподаватель кафедры
физики твердого тела и нелинейной физики

КазНУ им. аль-Фараби
(должность, уч. степень, звание)


(подпись)

Толепов Ж.К.

«30» мая 2023 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Старцева София Валерьевна

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Микроскопическое исследование поверхности углеродных наноматериалов

Научный руководитель: Байтимбетова Б. А.

Коэффициент Подобия 1: 1.9

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 2

Знаки из других алфавитов: 1

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата

29.05.2023



Заведующий кафедрой

Кудайбергенов К.К.