

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Новых Производственных Технологий
Отделение школы Материаловедения
Направление подготовки 12.03.02 Опототехника

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Интеграция плазмонных наночастиц в структуры изготовленные методом 3D – принтинга

УДК 004.356.2:004.925.84.057.538.9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В41	Сапунова Анастасия Алексеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Родригес Рауль Д.	PhD		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
«Опототехника»	Полисадова Е.Ф.	к.ф.-м.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические, гуманитарные, общепрофессиональные знания в области оплотехники
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области световой, оптической и лазерной техники, оптического и светотехнического материаловедения и оптических и светотехнических технологий
P3	Применять полученные знания для решения задач, возникающих при эксплуатации новой техники и технологий оплотехники
P4	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования световой, оптической и лазерной техники, оптических и светотехнических материалов и технологий
P5	Владеть методами проведения фотометрических и оптических измерений и исследований, включая применение готовых методик, технических средств и обработку полученных результатов
P6	Владеть общими правилами и методами наладки, настройки и эксплуатации оптической, световой и лазерной техники для решения различных задач
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Проявлять творческий подход при решении конкретных научных, технологических и опытно-конструкторских задач в области оплотехники
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной деятельности
P9	Уметь эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научной, педагогической и производственной деятельности
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий
 Направление подготовки 12.04.02 «ОпTOTехника»
 Кафедра лазерной и световой техники

УТВЕРЖДАЮ:
 И.о. зав. кафедрой ЛИСТ

 (подпись) _____ Е.Ф.Полисадова
 (дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы
<small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>

Студенту:

Группа	ФИО
4В41	Сапунова Анастасия Алексеевна

Тема работы:

утверждена приказом директора (дата, номер)	12.02.2018 г № 917/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Интеграция плазмонных наночастиц в полимеры для 3D-принтинга, характеризующая оптических свойств, применение структуры для усиления сигнала спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС)
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Анализ научной литературы Обучение работе с 3D-принтингом Подготовка материала для печати с плазмонными наночастицами Изготовление плазмонных 3D структур Характеризация оптических свойств структур Нанесение анализируемого вещества Измерение эффективности усиления сигнала

	КРС
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Калмыкова Екатерина Юрьевна
Социальная ответственность	Назаренко Ольга Брониславовна
Раздел ВКР на иностранном языке	29.09.2017

Названия разделов, которые должны быть выполнены русском и иностранном языках:

--

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Родригес Р.Д.	Dr.		29.09.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В41	Сапунова Анастасия Алексеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4В41	Сапунова Анастасия Алексеевна

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедение
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Оптотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Анализ литературы по теме исследования, внедрение плазмонных наночастиц в 3-D печать, исследование полученных структур на атомно- силовом микроскопе и рамановском спектрометре.
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты). 	<p>Выявление вредных, опасных и угрожающих жизни факторов и их влияние на организм</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Анализ воздействия научно- технического исследования на окружающую среду</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и 	<p>Анализ безопасности при возникновении</p>

эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	чрезвычайных ситуаций и мер предосторожности
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Соблюдение обеспечения требуемых условий труда и организации рабочего пространства и времени

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2018
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б.	Д.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В41	Сапунова Анастасия Алексеевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4В41	Сапуновой Анастасии Алексеевны

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Оптотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Материальные расходы 2338 руб. Зарботная плата 58 351 руб. Бюджет НИИ 100 488 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Тариф электроэнергии 5,8 руб., норма амортизации 20%</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды составляют 27,1 %, районный коэффициент для г.Томска равен 1,3</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ потенциальных потребителей научного исследования, оценка перспектив дальнейшего развития</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Расчет бюджета НИИ и затрат на его исполнение</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Оценка ресурсосберегающей эффективности исследования</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *Альтернативы проведения НИ*
4. *График проведения и бюджет НИ*
5. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е. Ю.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В41	Сапунова Анастасия Алексеевна		

Оглавление

Реферат.....	10
Введение.....	12
Глава 1 Обзор литературы по исследуемым вопросам.....	15
1.1 Плазмонные наночастицы	15
1.2 Плазмонный резонанс в детектирующих устройствах.....	17
1.3 Плазмонные наночастицы в технологии трехмерной печати.....	23
Глава 2 Теоретический анализ.....	28
2.1 Объект исследования.....	28
2.1.1 Плазмонные наночастицы.....	28
2.1.2 Полимеры для трехмерной печати.....	30
2.1.3 Детектируемые молекулы.....	32
2.2 Методы исследования и оборудование.....	33
Глава 3 Результаты проведенного исследования.....	41
3.1 Атомно-силовая и растровая электронная микроскопия.....	41
3.2 Поверхностно- усиленная рамановская спектроскопия.....	43
Вывод по главе 3.....	48
Глава 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	50
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	50
4.2 Планирование научно- исследовательских работ	51
4.2.1 Структура и порядок работ научного исследования.....	51
4.2.2 Определение трудоемкости работ.....	53
4.3 Бюджет научно-технического исследования.....	55
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ	55
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментов.....	56
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	57
4.3.4 Страховые отчисления во внебюджетные фонды.....	58

4.3.5 Накладные расходы.....	59
4.3.6 Формирование бюджета затрат научно- исследовательского проекта.....	59
4.4Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	60
Глава 5Социальная ответственность.....	63
5.1 Производственная безопасность.....	64
5.2 Микроклимат.....	65
5.3 Освещенность.....	66
5.4 Превышение уровня шумов и вибраций.....	67
5.5 Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	67
5.6 Электробезопасность.....	68
5.7 Психофизиологическая безопасность.....	70
5.8 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	70
5.9 Законодательное регулирование проектных решений.....	72
Заключение.....	74
Список использованной литературы.....	75

Реферат

Выпускная квалификационная работа 78 с., 41 рис., 14 табл., 33 источника.

Ключевые слова: плазмонные наночастицы, 3D печать, плазмонный резонанс, спектроскопия комбинационного рассеяния, гигантское комбинационное рассеяние

Объектом исследования являются плазмонные наночастицы.

Цель исследования: внедрение плазмонных золотых наночастиц в структуры, напечатанные 3D принтингом, анализ свойств полученных структур с помощью рамановской спектроскопии, атомно-силовой микроскопии и растровой электронной микроскопии.

Метод проведения работы: проводился литературный обзор схожих исследований, разрабатывалась методика для внедрения наночастиц в печать на 3D принтере, проводились измерения напечатанных структур с помощью рамановской спектроскопии, оценка полученных спектров; анализ поверхности с помощью атомно-силового микроскопа и растровой электронной микроскопии; проанализировался потенциал работы с точки зрения экономики, проводился анализ соблюдения техники безопасности и мер предосторожности в лаборатории.

Полученные результаты: в ходе научно-технического исследования сделан вывод о применимости данной методики, приведены рекомендации по улучшению данного метода внедрения наночастиц.

Степень внедрения: данная методика может найти практическое применение в качестве детектирующего устройства в таких отраслях, как биомедицина и охрана окружающей среды.

Определения

В выпускной квалификационной работе используются следующая терминология:

Плазмоны – это коллективные колебания поверхностной и объемной плотности заряда, которые возникают при прохождении света на границе металл-диэлектрик.

Поверхностно-усиленная рамановская спектроскопия – метод с использованием металлических наночастиц для увеличения интенсивности рамановского (гигантского комбинационного) рассеяния.

Обозначения и сокращения

PLA –polylacticacid или полилактид;

ABS –acrylonitrilebutadienestyrene или АБС пластик;

SERS –surface enhanced Raman spectroscopy (поверхностно-усиленная рамановская спектроскопия, гигантское комбинационное рассеяние света)

3D печать – трехмерная печать

АСМ –атомно-силовая микроскопия

РЭМ – растровая электронная микроскопия

Введение

В последнее время приоритетом научных исследований является не только миниатюризация электронных и преобразовательных устройств, но и сокращение времени получения и обработки сигналов. Удешевление сенсорных технологий приведет к их выходу на потребительский рынок. На данный момент разрабатываются различные устройства, выступающие в качестве сенсоров, основанные на химических, электрических и оптических способах получения сигналов. Особый интерес представляют собой оптические датчики, поскольку они позволяют проводить неразрушающий контроль сразу нескольких параметров в сложных многокомпонентных системах.

Чувствительность и селективность оптических сенсоров могут быть дополнительно улучшены с помощью плазмоники. Эта область науки изучает и исследует явления, связанные с колебаниями электронов на металлических поверхностях, а также взаимодействия этих колебаний с атомами, молекулами и, конечно же, светом. На таких колебаниях свободных электронов основаны явления поверхностного плазмонного резонанса и поверхностно-локализованного плазмонного резонанса. Их отличие состоит в том, что при поверхностном плазмонном резонансе используют тонкое покрытие благородных металлов (золото или серебро), а при локализованном резонанс происходит на отдельной металлической наночастице. Поверхностные плазмоны существенно отличаются от локализованных тем, что свойства локализованных напрямую зависят от размеров и формы самой наночастицы, а значит, эти параметры влияют на эффективность взаимодействия колебаний с молекулами и светом. Это позволяет улучшить эффективность оптических методов, например, в методе поверхностно-усиленной рамановской спектроскопии, где плазмоны способны усиливать интенсивность комбинационного рассеяния в $10^6 - 10^9$ раз, увеличивая чувствительность метода к малому количеству молекул.

Вопросы здравоохранения и охраны окружающей среды всегда стоят на первом месте и никогда не потеряют своей актуальности. Поэтому создание детектирующей технологии на основе плазмонного резонанса уже успешно используется во многих отраслях, таких как биомедицина или контроль безопасности. В сочетании с высокой чувствительностью к обнаружению молекул, тем самым расширяется возможность идентификации диагностики по сравнению с другими методами. При использовании еще одного передового способа быстрого производства объектов и структур такого как 3D печать, создание детектирующих устройств может быть в разы быстрее и дешевле. Предлагаемая технология подразумевает внедрение наночастиц в полимер для печати на 3D принтере, чтобы в готовой структуре возникал локализованный плазмонный резонанс.

Все это позволит создать принципиально новое простое в изготовлении и использовании устройство для детектирования различных молекул. На данном этапе проведена работа по целесообразности применения таких структур.

Объектом исследования являются плазмонные золотые наночастицы, *предметом*- исследование наночастиц в структурах, полученных при помощи 3D печати.

Целью исследования является внедрение плазмонных золотых наночастиц в структуры, напечатанные 3D принтингом, анализ свойств полученных структур с помощью рамановской спектроскопии, атомно-силового микроскопа и растровой электронной микроскопии.

Задачи, которые необходимо выполнить для достижения цели:

1. Литературный обзор источников по исследуемой теме.
2. Ознакомление с принципом работы использованного оборудования.
3. Анализ существующих схожих исследований.
4. 3D печать образцов.

5. Анализ с помощью рамановской спектроскопии, атомно-силовой микроскопии и растровой электронной микроскопии на успешное внедрение наночастиц.

6. Формирование выводов, теоретических заключений и рекомендаций по поводу данного исследования.

По итогу выполненной работы составлены рекомендации по использованию результатов данной ВКР на практике.

Данное научно-техническое исследование было представлено и опубликовано на двух научных конференциях:

- «Аддитивные технологии»;
- «ВНКСФ-24».

Глава 1 Обзор литературы по исследуемым вопросам

1.1 Плазмонные наночастицы

Наночастицами принято называть объекты, имеющие размеры от нескольких нанометров до нескольких сотен нанометров. Оптические свойства наночастиц зависят от их размера, материала и формы в соответствии с теорией Ми. Согласно этой теории, рассеяние на сферической наночастице можно описать суммой диполей и мультиполей, возбужденных облучающим светом. Для частиц, по размерам много меньшим длины волны, достаточно рассматривать рэлеевское рассеяние, или, другими словами, возбуждение только электрического диполя.

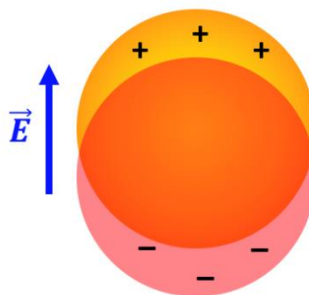


Рисунок 1- Локализованный плазмонный резонанс

Поле диполя для такого простого случая можно описать формулой

$$E_0 = 2 \frac{\varepsilon - \varepsilon_m}{\varepsilon + \varepsilon_m}, \quad (1)$$

где ε - диэлектрическая функция наночастицы;

ε_m - диэлектрическая функция окружающей среды;

E_0 - напряженность падающего поля.

Из данной формулы очевидно, что при условии $\varepsilon = -\varepsilon_m$ возникает резонанс, при котором электрическое поле диполя будет существенно сильнее, чем возбуждающее электромагнитное поле. Отрицательные значения диэлектрической функции возникают для металлических наночастиц за счет наличия свободных электронов. При освещении наночастицы светом, свободные электроны металлической наночастицы начинают осциллировать с частотой возбуждающего поля. Возникающие

осцилляции называются локализованными плазмонами, а металлические наночастицы, соответственно, плазмонными наночастицами.

В оптических спектрах наночастиц наличие плазмонного резонанса видно по увеличению коэффициента экстинкции в спектральном диапазоне, в котором выполняются условия резонанса. Также на форму и величину спектров поглощения наночастиц влияют их форма и размеры, поэтому контролируя эти параметры, можно сделать так, чтобы максимум интенсивности спектра попадал в нужную спектральную область.

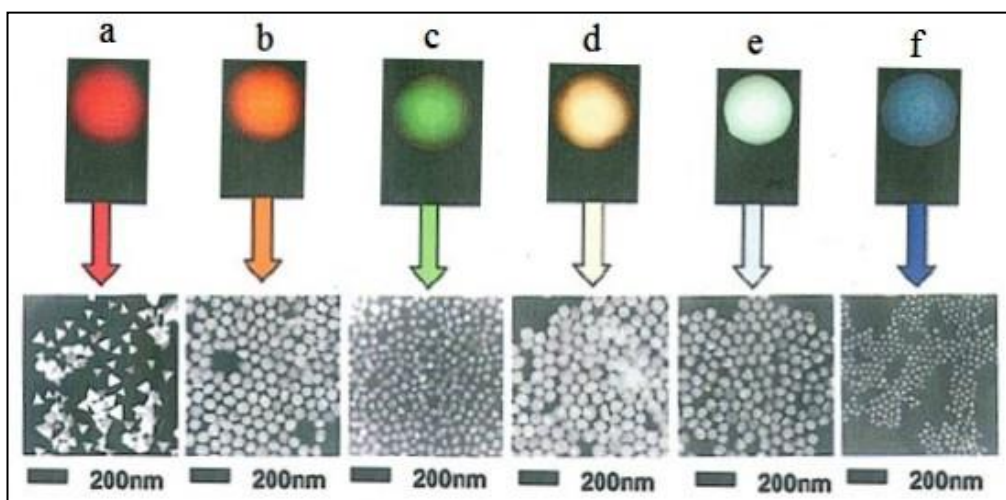


Рисунок 2- Максимумы в спектрах рассеяния для различных металлических наночастиц: а) серебряные нанопризмы; б) золотые шарики 100 нм; с) золотые шарики 50 нм; д) серебряные шарики 100 нм; ф) серебряные шарики 40 нм [1]

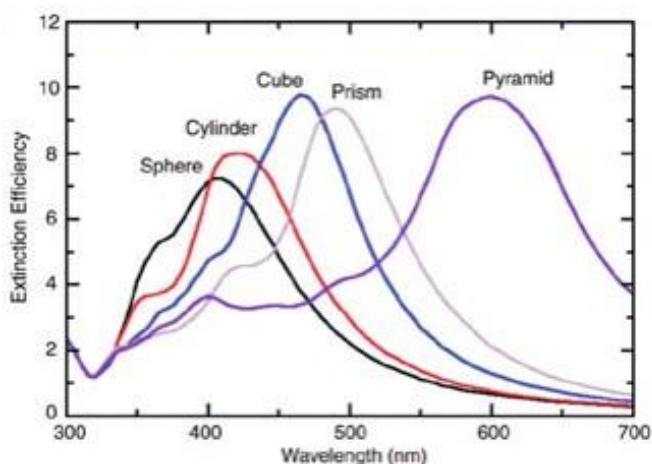


Рисунок 3- Зависимость спектра поглощения серебряной наночастицы от ее формы [1]

1.2 Плазмонный резонанс в детектирующих устройствах

Согласно формуле (1), резонансные условия изменятся и при изменении оптических свойств среды. Это будет отражено в смещении максимума экстинкции в оптических спектрах наночастиц. На этом принципе основано множество вариаций устройств, у которых детектирование основано на плазмонном резонансе. Данные сенсоры отличаются высокой чувствительностью и, при наличии функционализации поверхности к искомому аналиту, селективностью. Принципы работы таких сенсоров будут рассмотрены в этой работе для сравнения с исследуемой технологией

Важными характеристиками всех сенсоров являются:

- чувствительность;
- селективность;
- компактность и мобильность;
- короткое время отклика;
- простой интерфейс.

Уже нерационально рассматривать крупные системы, так как большие габариты требуют большего времени изготовления и, соответственно, больших затрат. Пользователю чрезвычайно важно не только удобство в пользовании, но и возможность использовать, что называется, «здесь и сейчас». В эпоху прорывных информационных технологий смартфон используется в самых различных целях, начиная от связи и заканчивая созданием документов. Поэтому логично предположить, что, например, биомедицинские исследования, такие как определение уровня сахара в крови и т.д. и т.п., удобно совершать с помощью смартфона.

Такие конфигурации приводят к улучшению качества устройства при минимальных затратах. Более того, подобные устройства можно использовать не только в стенах медицинского учреждения, но и на выездах бригады скорой помощи, и напрямую пациентами и здоровым населением самостоятельно в домашних условиях без затрат времени на ожидание в

больнице или поликлинике. Еще одним преимуществом сенсоров на смартфоне является то, что можно исследовать достаточно малые объемы жидкостей, то есть для получения результата понадобится совсем небольшое количество крови или другой анализируемой жидкости

Таким образом, создание сенсора на смартфоне и его массовое производство в будущем позволит более эффективно производить лечение пациентов, даст возможность контролировать вспышки многих заболеваний и инфекций, мониторинг населения будет более эффективным в отдаленных районах [2]. Также данная технология применима и для других отраслей, например, в обеспечении безопасности окружающей среды, где можно будет определять уровень содержания опасных и токсических веществ, а в области наркоконтроля производить быстрое исследование на наличие опасных и запрещенных веществ в организме человека. Все эти области отличаются высокой актуальностью и востребованностью на сегодняшний день. Таким образом, на рис.3 можем видеть потенциальные сферы диагностики с помощью сенсоров.



Рисунок 4- Возможные области применения сенсоров на смартфоне

Уже упоминалось, что плазмонный резонанс бывает поверхностным и поверхностно-локализованным, а данные методы активно используются для определения молекулярных взаимодействий. Так, в недавних разработках стало возможным определять количество поглощенного газа органическими веществами на поверхности металлической пленки [5]. А еще одно недавнее исследование показало, что возможна конфигурация поверхностного плазмонного резонанса в конструкции смартфона [3]. На рис. 5 показана схема такого устройства.

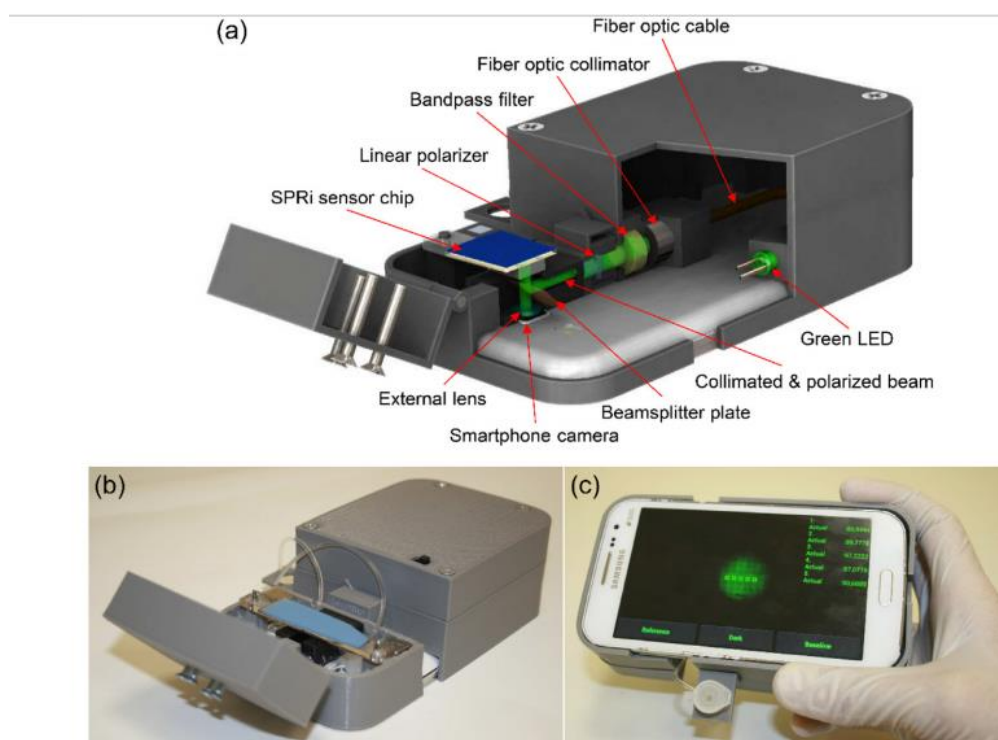


Рисунок 5- Сенсор на основе поверхностного плазмонного резонанса интегрированный со смартфоном. а) схематическое изображение и б) реальное изображение устройства; (с) специально разработанное приложение для смартфонов, предназначенное для мониторинга в режиме реального времени [4]

Изображенный на рис. 5 сенсор работает на основе поверхностного плазмонного резонанса. Оптическая система заключена в корпус, сделанный с помощью 3D принтера и легко крепящийся к смартфону. Плазмонный резонанс возникает при создании двухслойной системы Ag/Au от Blue-ray дисков, на которой расположен механизм контролирования подачи жидкости

на активный чувствительный элемент сенсора. Стоит отметить, что создание металлического покрытия или плазмонной поверхности иногда требует совсем не малых затрат, поэтому в приоритете стоит возможность осуществления простого способа синтеза плазмонов. В этом исследовании разработчики осуществили преобразование дисков в плазмонные поверхности, отслаивая тонкое защитное покрытие на диске пинцетом с дальнейшим вакуумным испарением оставшихся компонентов на поверхности, оставив только металлическое покрытие [6,7]. Для обработки полученного сигнала было разработано специальное программное обеспечение. В качестве примера детектируемых молекул выступал бычий сывороточный альбумин (BSA), так как известно, что он способен адсорбироваться на золотой поверхности с образованием тонкого слоя в 4-7 нм [8]. С помощью описанного сенсора на смартфоне измеряется изменение отражения на определенной длине волны, возникающее за счет смещения поверхностного плазмонного резонанса при формировании слоя BSA на поверхности (рис. 6).

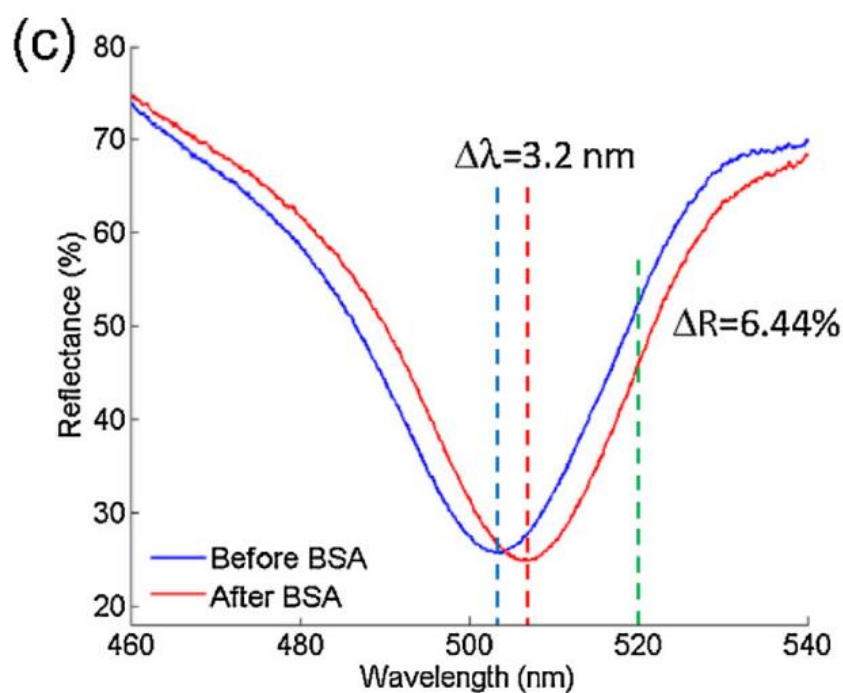


Рисунок 6- Спектры отражения, полученные до и после адсорбции BSA

[4]

Данные результаты наглядно демонстрирует возможности применимости плазмонного резонанса и смартфона в качестве сенсора. Для образования плазмонных наночастиц понадобился всего лишь Blu-ray диск, что делает производство не столь дорогостоящим и простым.

Еще одним аналогом подобного сенсора является устройство, изображенное на рис.7.

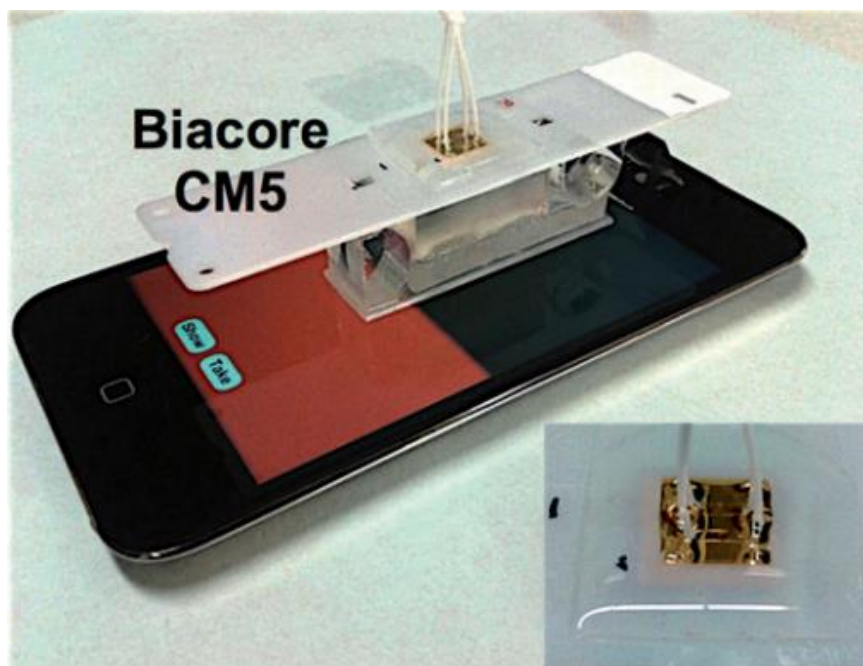


Рисунок 7- Смартфон с чипом “BiacoreCM5” для поверхностного плазмонного резонанса [9]

На экране смартфона можем видеть конструкцию с чипом, который крепится к телефону на время проведения измерений. После завершения измерений чип можно убрать, тем самым оставив телефон нетронутым. Обнаружение с помощью плазмонного резонанса продемонстрировано на примере β_2 М микроглобулина [10], который также известен в качестве маркера таких болезней, как рак, болезни почек и многих других воспалительных процессов. Для возникновения плазмонного резонанса используется свет от экрана смартфона, которого достаточно для возбуждения плазмонов. Изменение оптических свойств напрямую отразится на спектре отражения, поэтому можно будет сразу получить сигнал [11]. В отличие от флуоресцентных методов анализа, для плазмонного резонанса не

требуется интенсивных источников света, которые, более того, требуют дополнительных вспомогательных частей/креплений [12].

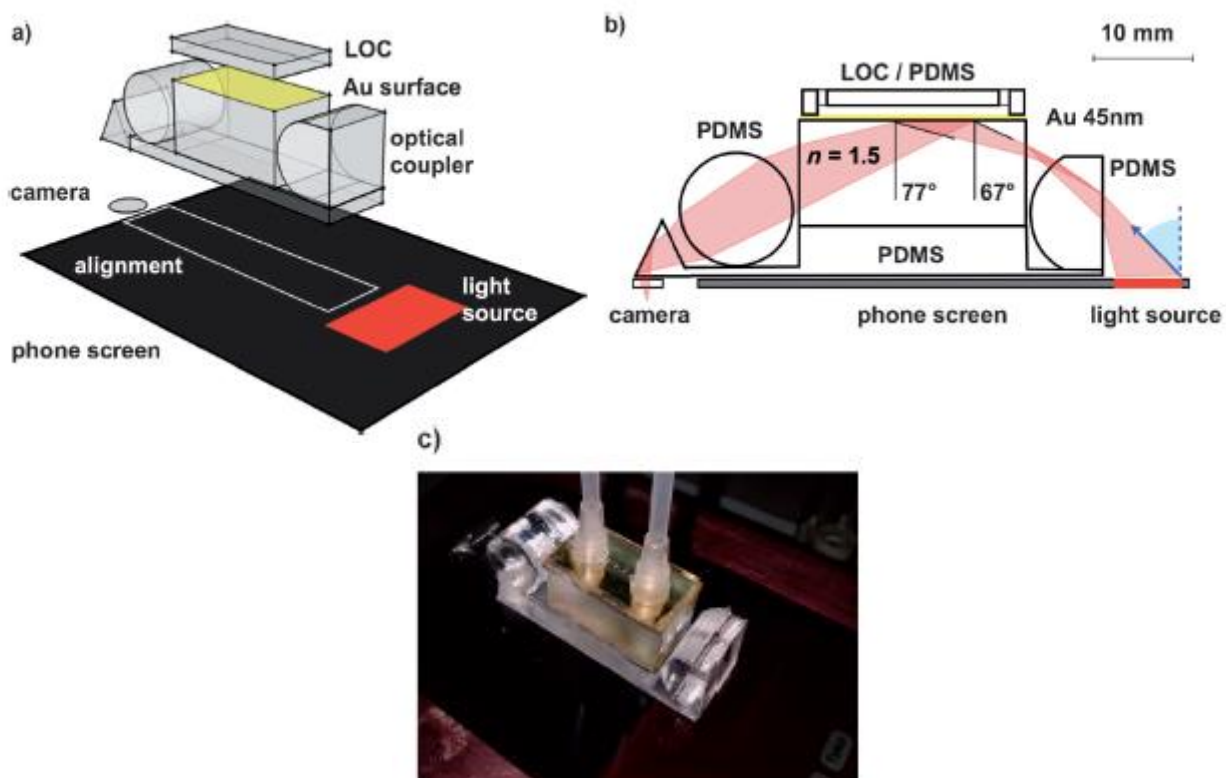


Рисунок-8 а) 3D изображение упрощенной схемы сенсора на смартфоне; б) оптический ход лучей света в системе; в) реальное изображение экспериментального устройства [9]

На рис. 8(б) полимер PDMS (polydimethylsiloxane) направляет свет, исходящий от экрана в зону чипа с золотым покрытием. Свет от дисплея, отраженный от этого покрытия, попадает во фронтальную камеру смартфона. Суть детектирования заключается в том, что при наличии искомой молекулы в жидкости произойдет изменение спектра отражения и на экране отобразится другой цвет. То есть, если от экрана смартфона поступал красный цвет, то после прохождения света через чип камера зафиксирует изменение цвета (рис. 9).

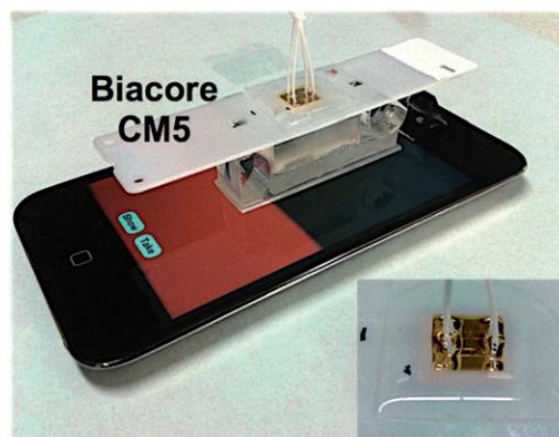
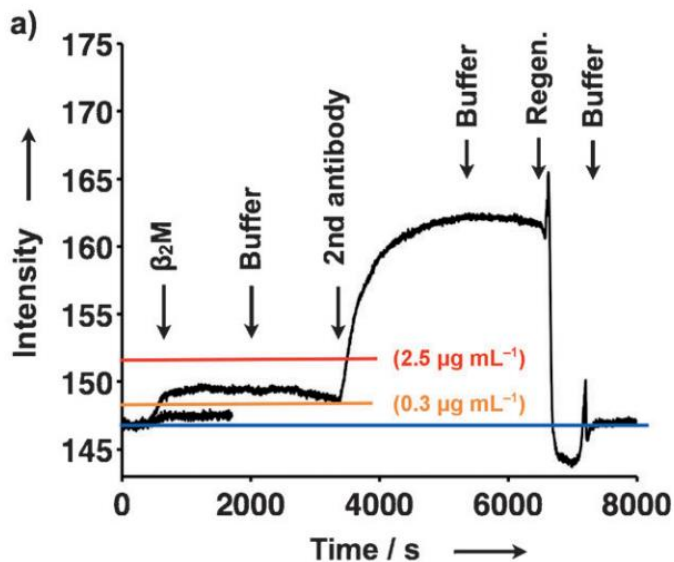


Рисунок 9- Обнаружение β_2M микроглобулина: оранжевый цвет - нормальный уровень содержания в моче, красный цвет - нормальный уровень в сыворотке [9]

Концентрация микроглобулина в жидкости составляла 0,132 мг/мл, то есть даже при самой низкой концентрации можно получить ответный сигнал без повышения количества антител на тот же самый объем жидкости.

Описанный выше способ конфигурации чипа “BiacoreCM5” и плазмонного резонанса подтвердил свою детектирующую способность, но является одноразовым. А используемый чип “Biacore 3000 GettingKit” является дорогим, соответственно, данным устройством смогут воспользоваться только очень обеспеченные слои населения.

Поэтому предлагаемая технология с внедрением плазмонных наночастиц в структуры, напечатанные с помощью 3D принтинга, предлагает быстрый и недорогой способ осуществления сенсора на основе плазмонного резонанса для возможности осуществления детектирования молекул.

1.3 Плазмонные наночастицы в технологии трехмерной печати

Популярность и развитие трехмерной печати растет в геометрической прогрессии, так как данная аддитивная технология обладает уникальными свойствами и практически безграничными возможностями производства, так как стало возможным воплощать в реальность объекты самых разных геометрических форм и конфигураций для применения в самых

разнообразных сферах жизни, и биомедицина и не является исключением. Популярно производство 3D объектов из силикагеля для хроматографии [13], также есть результаты изготовления биосенсоров и устройств биораспознавания в 3D печатных устройствах [14], где преобразование сигнала производится с помощью электрохимического метода.

Внедрение плазмонных наночастиц в 3D структуры представляет принципиально новый способ обработки плазмонных материалов и создание новых устройств. Так, аддитивная сборка наноматериалов в 3D объекты привела к созданию новых чернил для печати светоизлучающих диодов [15], добавление золотых наночастиц в чернила для печати использовалось для печати плазмонных капсул [16], а добавление серебряных для плазмонных антенн [17]. Также недавно были сделаны чернила для печати нанопроводов из восстановленного оксида графена [18].

Недавнее исследование привело к созданию 3D функционально-градиентных плазмонных структур [19]. Для этого смешивались восемь различных плазмонных чернил для печати, чтобы иметь возможность изменять свойства плазмонных серебряных наночастиц (рис. 10).

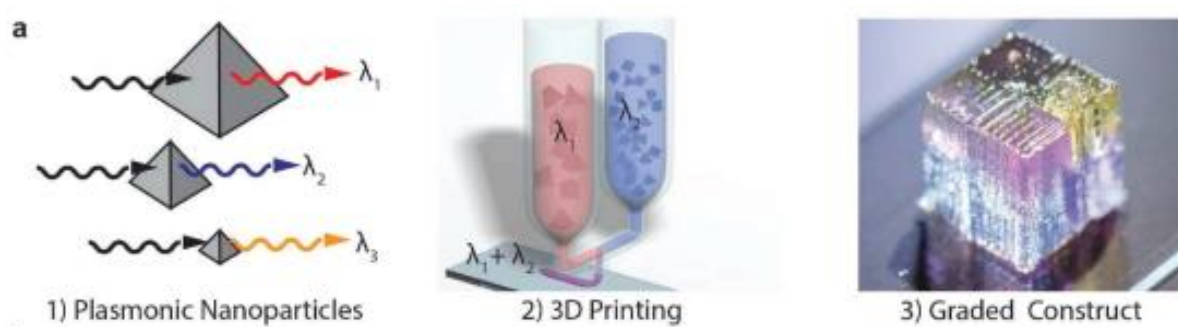


Рисунок 10- Способ создания функционально-градиентных плазмонных структур и устройств с использованием 3D-печати. Несколько чернил с различными плазмонными свойствами аддитивно собраны и соединены 3D печатью для формирования многокомпонентных конструкций [19]

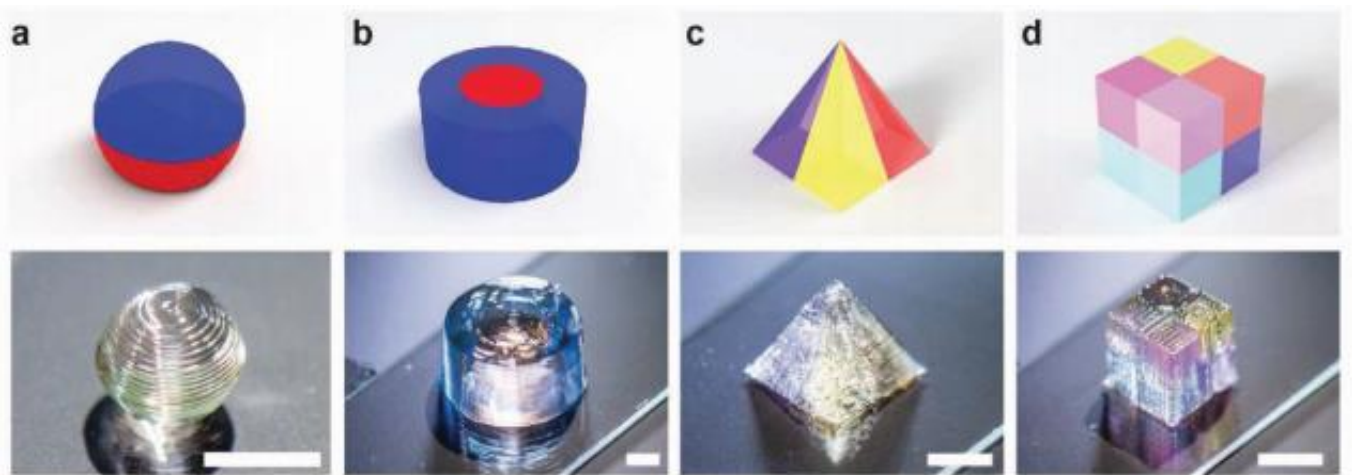


Рисунок 11- Получившиеся 3D структуры с возможностью изменения свойств: а) сфера; б) цилиндр; в) пирамида и д) куб [19]

Продемонстрированные оптические свойства получившихся объектов дали перспективы для создания 3D печатаемых контактных линз ночного видения. Известно, что красный цвет обеспечивает ночное видение путем достижения и сохранения темновой адаптации [20]. Исходя из этого свойства, были созданы плазмонные контактные линзы, выборочно фильтрующие падающий свет на глаз, то есть они осуществляют фильтрацию по всему спектру, кроме красного (рис. 12).

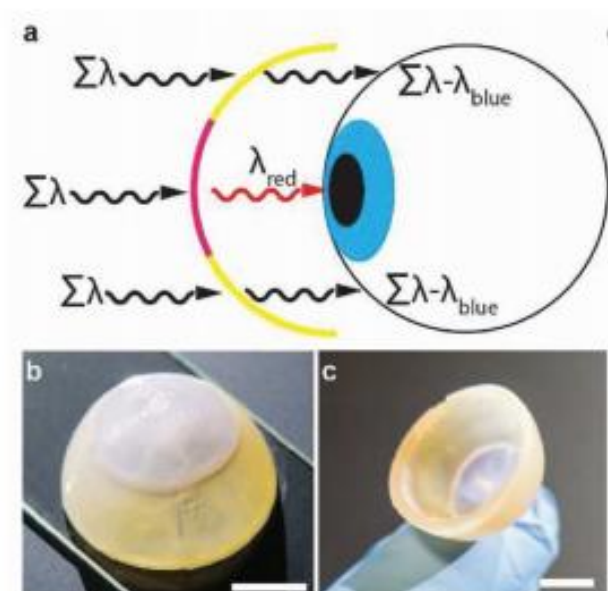


Рисунок 12- а) Плазмонная контактная линза ночного видения, фильтрующая все видимые длины волны за исключением красного света (650 нм); б) и в) изображения линз из плазмонных чернил [19]

Данный способ использования трехмерной печати и плазмонных наночастиц демонстрирует добавление наночастиц в чернила для печати. В сенсорах, где важно наличие наночастиц только на поверхности, такой метод означает существенный расход наночастиц из благородных металлов и, соответственно, есть потенциал для уменьшения стоимости технологии.

Другой подход заключается в нанесении пленки золота на призмы, напечатанные методом стереолитографии, в конфигурации Кречмана [21]. После печати модели полировались, образуя ровную и гладкую поверхность, на которую наносился слой золотых наночастиц [22].

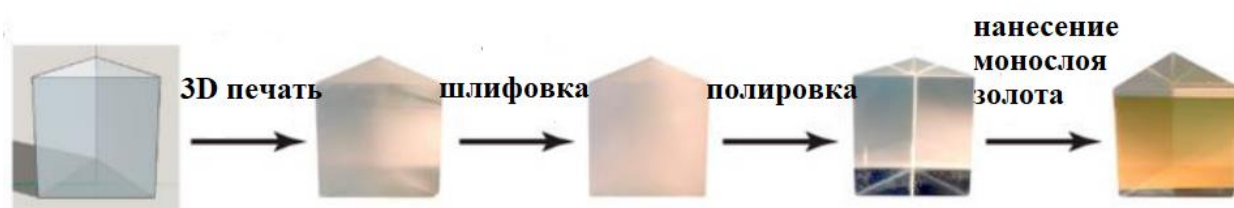


Рисунок 13- Схема изготовления 3D напечатанных поверхностных плазмонных устройств [22]

Такие призмы с нанесенным слоем наночастиц способны выступать в качестве биосенсоров, так как способны различать маркеры холеры. Для печати использовалась фотоактивная смола, состоящая из смеси олигомеров, мономеров и фотоинициатора [23]. Непосредственно обнаружение происходило с помощью поверхностного плазмонного резонанса, если быть точнее, то с помощью поверхностных плазмон-поляритонов, распространяющихся вдоль плоской очень тонкой пленки из золота и резонирующих с падающим светом [24]. Для осуществления биодетектирования призмы погружали в 3-меркаптопропанол для формирования монослоя на поверхности золотого слоя.

Такой способ внедрения золота не обеспечивает его адгезии и, особенно в случае наночастиц, ограничивает срок его службы за счет постепенного разрушения слоя золота потоком подаваемого аналита. В связи с этим необходима разработка надежного метода интеграции наночастиц в

приповерхностный слой полимерной призмы, что и стало целью данной работы.

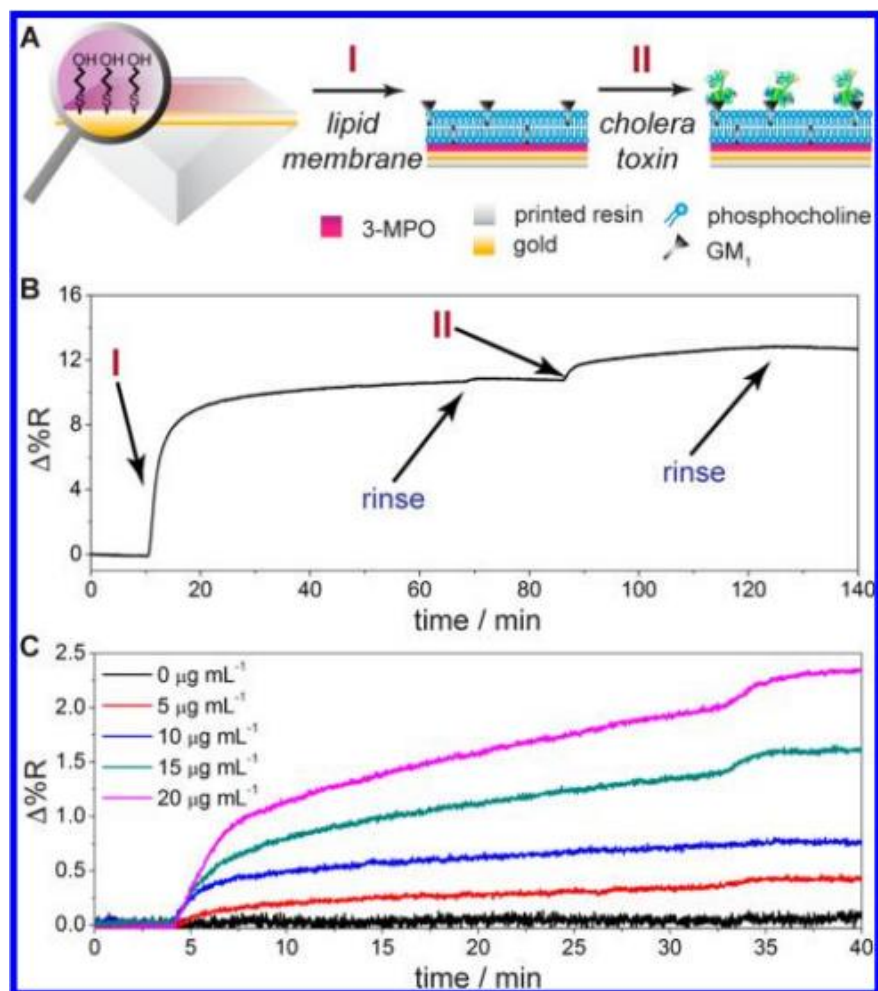


Рисунок 14- Обнаружение токсина холеры. А) Схема изготовления устройств с использованием поддерживаемой липидной мембраны на 3-меркаптопропанолe с последующей инкубацией токсина холеры. В) Распознавание холерного токсина (20 мкг/мл). С) в реальном времени связывание холерного токсина (0 – 20 мкг/мл) в мембранных рецепторов ганглиозида[22]

Глава 2 Теоретический анализ

2.1 Объект исследования

Объектом исследования являются плазмонные наночастицы, внедренные в полимер для 3D печати. Соответственно, чтобы перейти к непосредственному исследованию, следует подробнее ознакомиться с наночастицами, полимерами для печати и молекулами для обнаружения спомощью поверхностно-усиленной рамановской спектроскопии.

2.1.1 Плазмонные наночастицы

В данной работе использовалось два вида серебряных и золотых наночастиц, изготовленных коллегами из Саратова.



Рисунок 15- Серебряные наночастицы с золотым ядром “Rods 8”

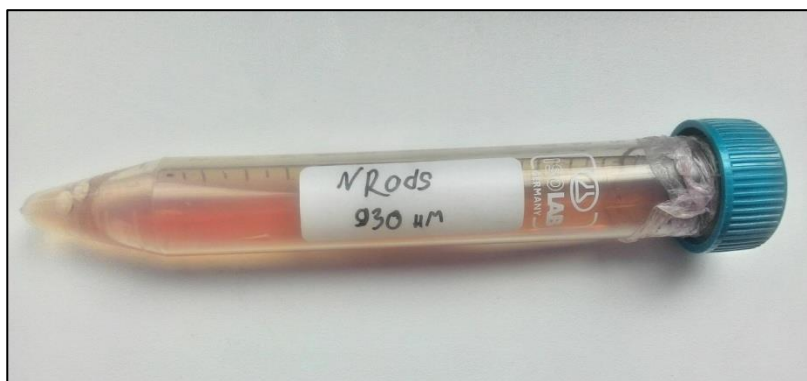


Рисунок 16- Золотые наночастицы “Rods”

Наночастицы были изготовлены следуя процедуре из работы [25], где для создания золотых наночастиц для начала синтезировали серебряные. Для этого смешивали 30 мл сульфида натрия в растворе этиленгликоля (0,35 мл; 3мм), растворе ПВП (7,5 мл; 20г/л) и растворе нитрата серебра в этиленгликоля (2,5 мл; 48 г/л) под потоком аргона при температуре 150 °С. Полученные наночастицы серебра промывали в этаноле, а потом преобразовывали в золотые с помощью гальванической реакции замещения. В раствор ПВП добавили 2мл подготовленного раствора наночастиц кубической формы. Далее раствор нагревали до температуры 100 °С с постепенным добавлением 10 мл HAuCl_4 . В итоге полученные наночастицы промывали центрифугированием и редиспергировали в 4 мл воды [26].

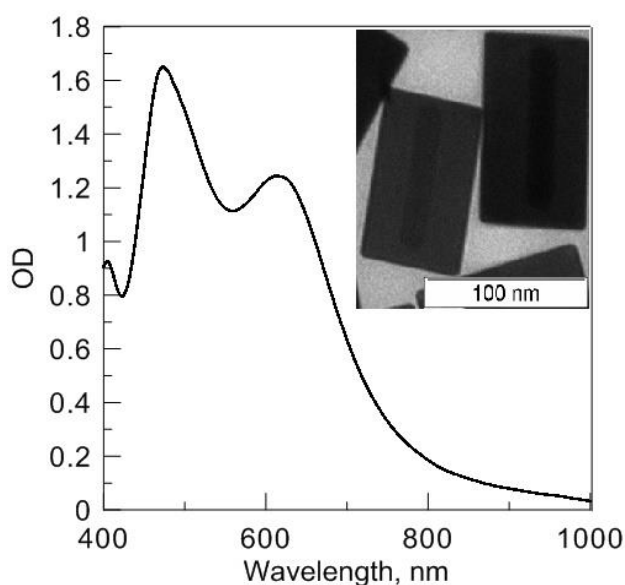
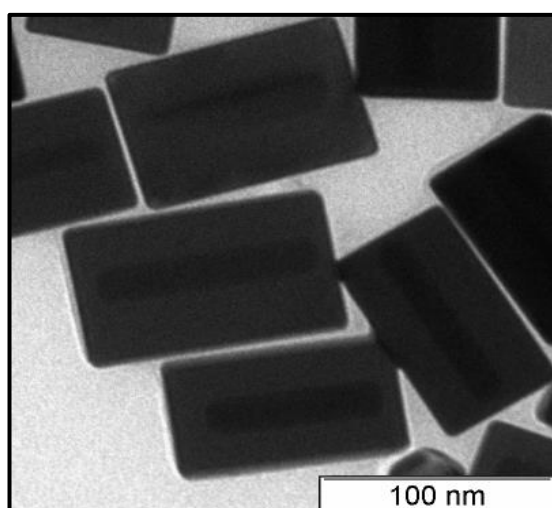


Рисунок 17- Форма наночастиц и спектры поглощения “Rods 8” [26]

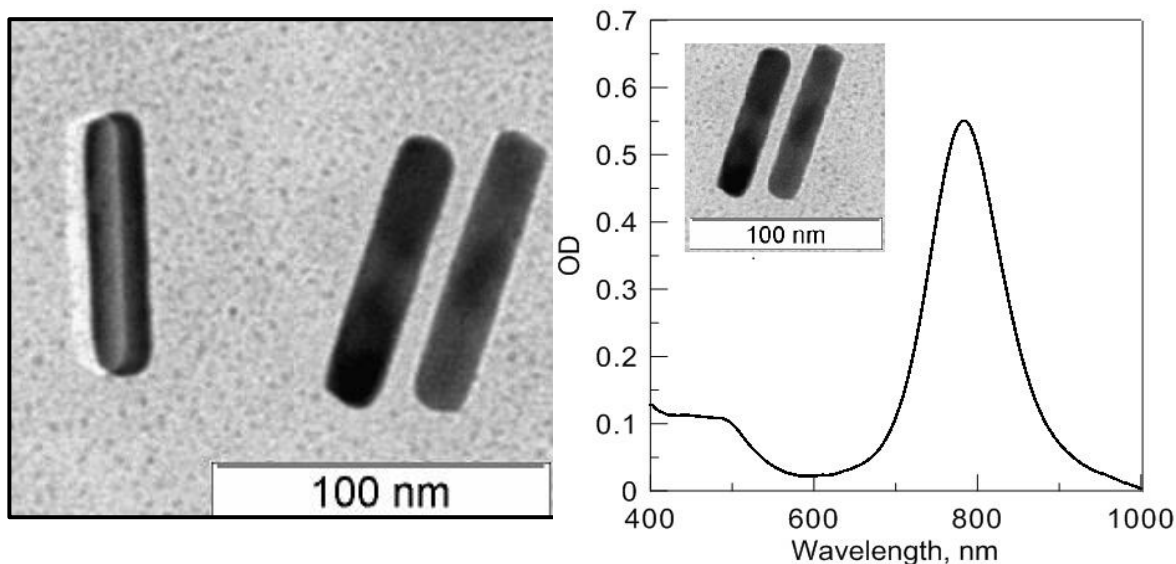


Рисунок 18- Форма наночастиц и спектры поглощения “Rods” [26]

Оптическое поглощение каждого типа наночастиц представлено на Рис. 17 и 18. Как можем видеть, серебряные частицы с золотым ядром поглощают свет на длинах волн около 480 и 620 нм, т.е. в них наблюдается два плазмонных резонанса. Золотые наночастицы на втором рисунке обладают плазмонным резонансом около 800 нм. Соответственно, “Rods” будут восприимчивы к ближнему ИК диапазону, а “Rods 8” к зеленому.

2.1.2 Полимеры для трехмерной печати

К полимерам имеются некоторые требования. Например, после печати полимер должен иметь гладкую поверхность, чтобы эффективно проводить дальнейшие исследования с помощью атомно-силовой микроскопии или рамановской спектроскопии. Также при выборе полимера необходимо учитывать его температуру плавления, чтобы нагрев не привел к деградации свойств наночастиц. Данными свойствами обладают самые распространенные полимеры для 3D печати: PLA и ABS.

PLA, или polylacticacid (полилактид), является экологичным и биоразлагаемым материалом, так как изготавливается из органических материалов (тростник, зерновые). При печати PLA быстро охлаждается и не требует нагрева рабочего стола до больших температур. Цветовая палитра не ограничена, но может быть и прозрачным. Физические свойства данного пластика представлены в таблице 1.

Таблица 1- Физические свойства полимера PLA [27]

Величина	Значение
Температура плавления	170-200°C
Температура размягчения	50°C
Твердость (по Роквеллу)	R70-R90
Прочность на изгиб	55.3 МПа
Температура стеклования	60-65°C
Плотность	1,23-1,25г/см ³
Влагопоглощение	0,5-50%

ABS или АБС-пластик (акрилонитрилбутадиенстирол), как видно из названия, не является биоразлагаемым, при печати способен выделять токсичные испарения. При контакте с этанолом вступает с ним в реакцию и выделяет стирол. В отличие от PLA-пластика является достаточно влагостойким и непрозрачным.

Таблица 2- Физические свойства полимера ABS [28]

Величина	Значение
Температура плавления	225-250°C
Температура размягчения	105°C
Твердость (по Роквеллу)	R105-R110
Прочность на изгиб	41МПа
Температура стеклования	103-115 °C
Плотность	1,02-1,06 г/см ³
Влагопоглощение	0,3-1,8%

2.1.3 Детектируемые молекулы

Сохранение плазмонных свойств наночастиц в готовой структуре может обеспечить поверхностно-усиленная рамановская спектроскопия. Этот метод основан на спектроскопии комбинационного рассеяния света (рамановской спектроскопии), который измеряет частоты колебаний в молекулах. Поскольку частоты колебаний определяются химической структурой молекулы, рамановский спектр используется для идентификации аналита. Поверхностно-усиленная рамановская спектроскопия увеличивает чувствительность метода вплоть до обнаружения единственной молекулы за счет усиления электромагнитного поля при условии плазмонного резонанса. Для этого необходимо осадить молекулу на поверхность наночастицы и исследовать с помощью спектроскопии. В результате, даже если сама по себе молекула не дает большого сигнала, и ее сложно обнаружить на поверхности полимера, но, если рядом есть металлическая наночастица, то ее электрическое поле при облучении лазером способно увеличить сигнал от молекулы в десятки и даже сотни раз.

4-NBT (химическая формула $C_6H_5NO_2S$) представляет собой мелкодисперсный порошок желтого цвета. Недавно стало известно, что при взаимодействии этой молекулы с наночастицей при облучении зеленым или красным лазером получается не только большой сигнал, но и преобразование 4-нитробензентиола в 4-аминобензентиол [26, 29].

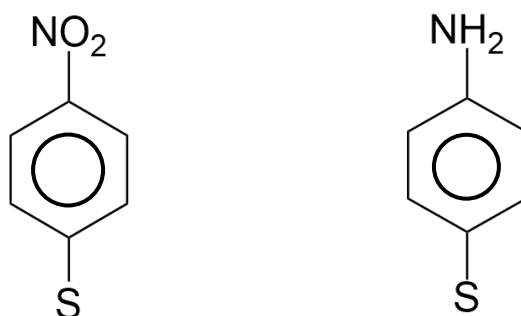


Рисунок 19- Химическое строение молекул 4-NBT (слева) и 4-ABT (справа)

Еще одним химическим соединением, которое легко обнаружить с помощью поверхностно-усиленной рамановской спектроскопии являются диазониевые соли. Более того, в перспективе их можно химически функционализировать для улучшения селективности сенсоров.

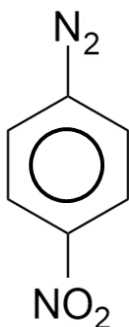


Рисунок 20- Химическое строение молекулы диазония

Так, уже известно, что данный метод для обнаружения 4-NBT поверхностно-усиленной рамановской спектроскопией дал результат [30]. Значит подобная схема может быть применена в технологии внедрения плазмонных наночастиц в структуры, напечатанные 3D принтингом.

2.2 Методы исследования и оборудование

Существует два доступных способа внедрить наночастицы. Первый состоит в том, чтобы химически растворить полимер, в полученный раствор добавить жидкий раствор наночастиц, затем с помощью экструдера сформировать так называемую «нить» для печати.

Данный способ имеет определенные риски, например, при формировании нити для печати с помощью экструдера свойства наночастиц могут деградировать, и сам по себе это очень долгий процесс. Более того, для растворения полимеров требуются токсичные вещества, и нет гарантии, что наночастицы останутся на поверхности полимера.

В работе использовался второй способ, который подразумевает печать полимера на стеклянной подложке, на которую предварительно осадили золотые наночастицы. Рассмотрим подробнее этот процесс.

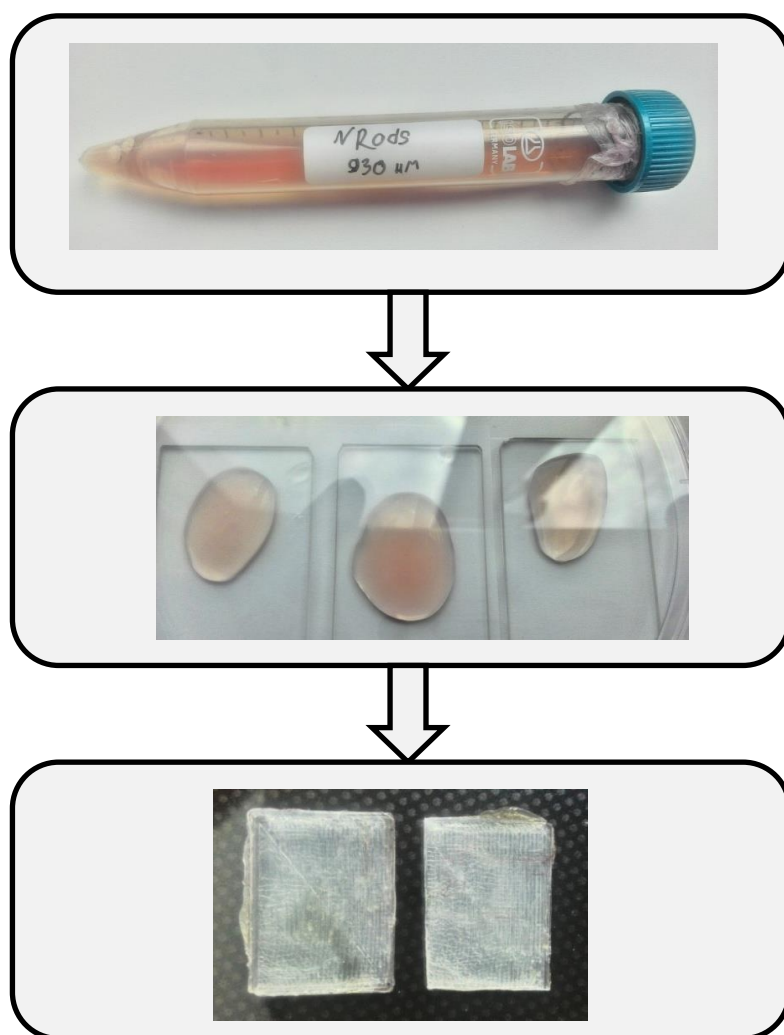


Рисунок 21- Процесс внедрения наночастиц в печать

Как видно из рис. 21, раствор жидких наночастиц капельным методом наносится на предварительно очищенное этанолом стекло. При комнатной температуре жидкость испаряется и остается слой из наночастиц на стекле.

Следующим этапом является непосредственно печать полимера непосредственно на стекле с наночастицами на 3D принтере “Printbox3D One”.



Рисунок 22- 3D принтер “Printbox3D One” [31]

После остывания, полученный образец отделялся от стекла. Размеры образца $15 \times 20 \times 1$ мм. В таблице 3 указаны параметры печати.

Таблица 3- Параметры печати

Толщина одного слоя, мм	0,2
Заполнение слоя	100%
Рисунок заполнения	Rectilinear
Диаметр входной нити, мм	1,75
Температура экструдера	200 °C (PLA) 240 °C (ABS)
Температура подложки для печати	55 °C (PLA) 120 °C (ABS)
Диаметр сопла, мм	0,4
Время печати	2 мин 46 сек

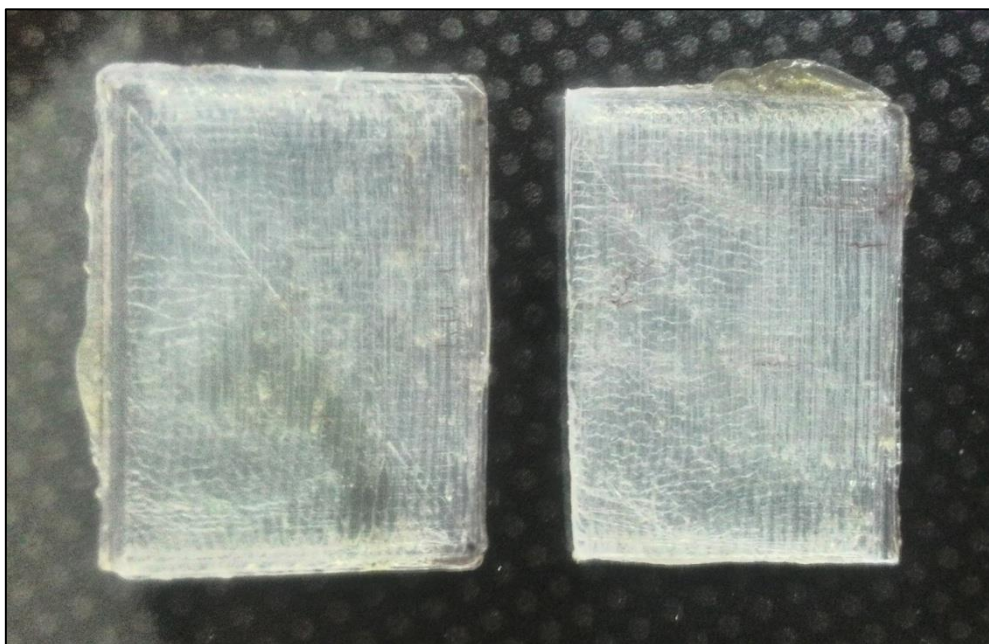


Рисунок 23- Напечатанные образцы из PLA $15 \times 20 \times 1$ мм

Проверить эффективность усиления сигнала можно методом поверхностно-усиленной рамановской спектроскопии (SERS). SERS успешно используется в качестве детектирующего метода в биомедицине, пищевой промышленности, охране окружающей среды. Комбинационное рассеяние света (эффект Рамана) является рассеянием оптического излучения на веществе из-за неупругого взаимодействия излучения с молекулами с изменением частоты излучения.

Рамановская спектроскопия позволяет получить информацию о строении молекул при регистрации спектров излучения, которые были рассеяны молекулами. Но рамановский эффект (или эффект гигантского комбинационного рассеяния) является относительно слабым. Поэтому для получения рамановских спектров важно иметь возможность усиливать получаемый сигнал. Сделать это возможно с помощью возбуждения поверхностных плазмонов. Когда частота падающего света совпадает с частотой плазмона, то можно наблюдать поверхностный плазмонный резонанс. Такое явление открыл Fleischmann M. [34] при размещении молекулы пиридина на серебряной поверхности. В этом случае наблюдалось

усиление рамановского сигнала в миллион раз, в отличие от сигнала, который был получен при размещении пиридина на стеклянной поверхности.

SERS-технология обладает очень большой чувствительностью к молекулам и не требует прямого контакта с образцом. Но следует понимать, что может произойти агрегация наночастиц, а детектируемые молекулы способны их «портить».

Для получения хорошего сигнала обычно используют металлические наночастицы (золотые или серебряные), на которые осаждаются детектируемые молекулы. Вблизи наночастиц при облучении лазером создается электрическое поле, которое способно усиливать сигнал от молекулы, и на выходном спектре можно видеть большой отклик в виде пиков, соответствующих молекуле. Усиление сигнала происходит во многие десятки и даже сотни раз. Прибором для осуществления рамановской спектроскопии был спектрометр, указанный на рис. 24.



Рисунок 24- Прибор «DXR2xi Raman» [32]

Еще одним способом, с помощью которого можно проверить наличие наночастиц на полимере это оптическая атомно-силовая микроскопия, которая является одной из более распространенных разновидностей сканирующей зондовой микроскопии.



Рисунок 25– Устройство атомно-силового микроскопа

В основе работы АСМ лежит силовое взаимодействие между зондом и поверхностью (рис. 25), для регистрации которого используются специальные зондовые датчики, представляющие собой упругую консоль с острым зондом на конце. Сила, действующая на зонд со стороны поверхности, приводит к изгибу консоли. Регистрируя величину изгиба, можно контролировать силу взаимодействия зонда с поверхностью. Получение АСМ изображений рельефа поверхности связано с регистрацией малых изгибов упругой консоли зондового датчика.



Рисунок 26- Атомно-силовой микроскоп «ИНТЕГРА Прима» [33]

Также исследование поверхности проводилось при помощи растровой электронной микроскопии (или Scanning Electron Microscope, SEM). Этот метод позволяет получить изображение поверхности объекта с разрешением до 0,4 нм. Также это позволяет еще получить информацию составе, строении и других свойствах слоев исследуемого вещества.

В качестве детектируемых молекул, как уже говорилось ранее, выступали молекулы 4-NBTи соли диазония.

Осаждение 4-NBT осуществлялось на три поверхности: полимер с наночастицами, чистый полимер, стекло. Данные поверхности выбраны, чтобы наглядно показать, как влияют на спектр молекул золотые наночастицы. Приготовление раствора для осаждения на поверхности осуществлялось следующим способом. Молекулы 4-NBT смешивались с водой и этанолом в соотношении 1:1. В полученный раствор помещались образцы из стекла с наночастицами и PLA, так как ABS- пластик известен выделением токсинов при взаимодействии с этанолом. Образцы находились в растворе около 12 часов с целью образования молекулярной «пленки» на

поверхностях (рис. 27). После 12 часов образцы вынимались, промывались в чистой воде и этаноле, просушивались при комнатной температуре.

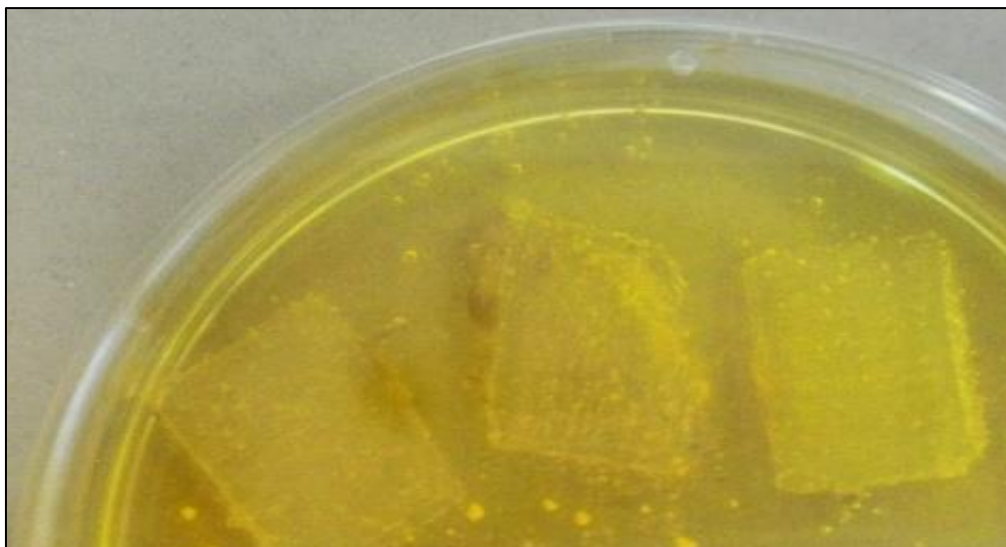


Рисунок 27- Образцы из PLA в растворе 4-NBT, воды и этанола

Аналогичным образом осуществлялся процесс осаждения молекул диазония. Сначала приготавливался раствор в соотношении 0,032 г вещества на 100 мл дистиллированной воды. Образцы с наночастицами из PLA и ABS помещались в раствор на 10 мин. Этого времени достаточно, чтобы на полимерах образовался монослой из молекул. Далее образцы вынимались, PLA промывался сначала этанолом, а затем водой. ABS же из-за способности выделять токсины при контакте с этанолом промывался в большом количестве воды. Образцы просушивались при комнатной температуре.

Следующим этапом были исследования полученных образцов с помощью SERS, атомно-силовой микроскопии и SEM.

Глава 3 Результаты проведенного исследования

Готовые образцы были исследованы с помощью SERS, атомно-силовой микроскопии и растровой электронной микроскопии.

3.1 Атомно-силовая и растровая электронная микроскопия

Как уже говорилось ранее в гл. 2, атомно-силовая микроскопия основана на ван-дер-ваальсовых взаимодействиях зонда с поверхностью исследуемого объекта. Существует 3 режима работы микроскопа: контактный, полуконтактный и бесконтактный. В данном случае использовался полуконтактный режим, то есть зонд лишь едва касался поверхности образца.

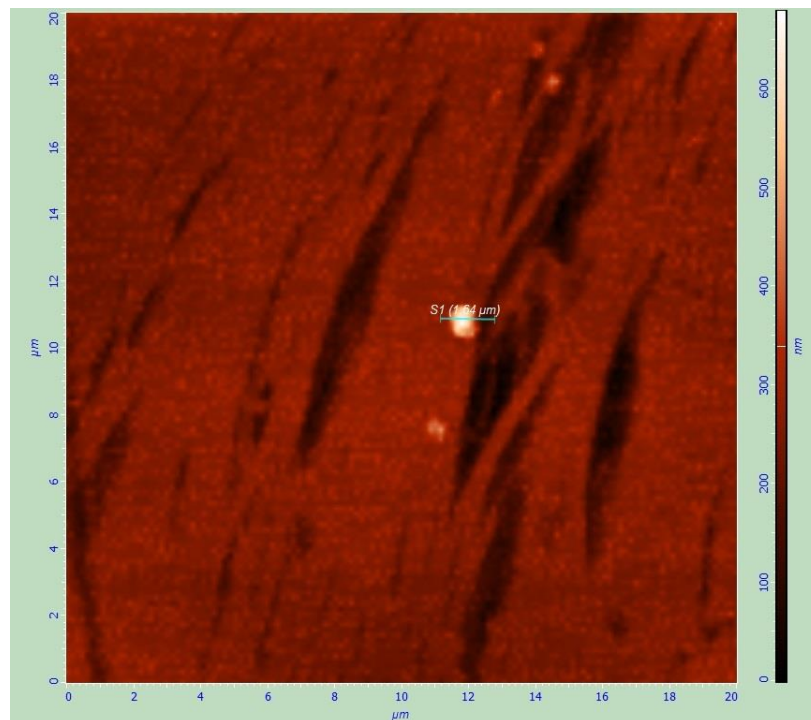


Рисунок 39- Изображение поверхности образца из PLA с наночастицами, полученное с помощью атомно-силовой микроскопии

Как видно из рисунка, с помощью атомно-силового микроскопа не удается получить такое качественное изображение поверхности ни PLA, ни ABS, при котором будут видны наночастицы, их форма и размер.

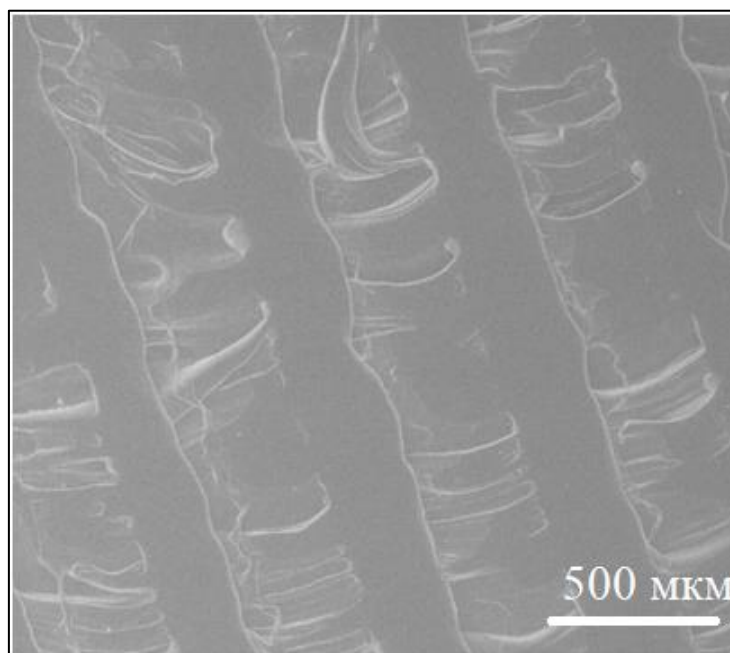


Рисунок 40 - Изображение поверхности ABS, полученное с помощью растровой электронной микроскопии (160x)

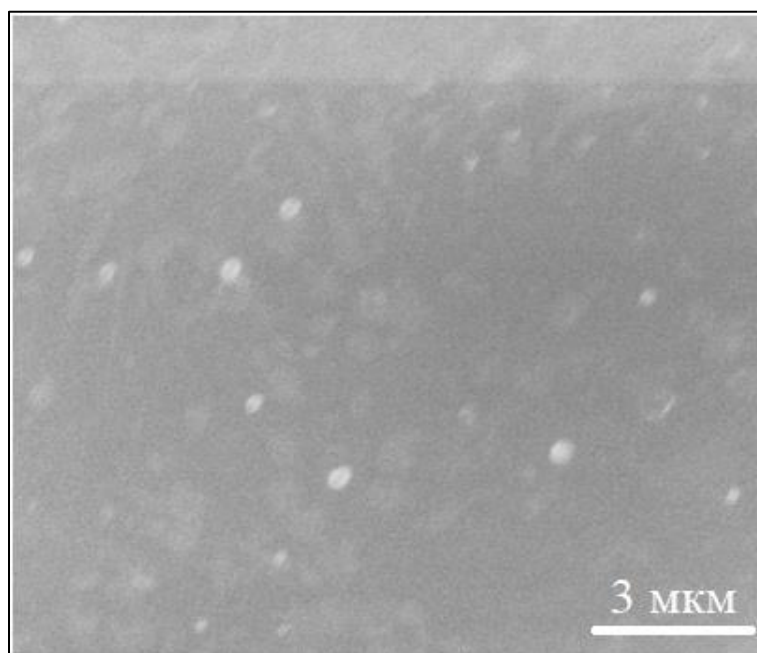


Рисунок 41- Изображение поверхности ABS, полученное с помощью растровой электронной микроскопии (31000x)

3.2 Поверхностно-усиленная рамановская спектроскопия

Рамановский спектрометр «DXR2xi Raman» в своей конструкции имеет микроскоп с объективами с увеличениями 10x, 50x и 100x. С помощью них были сделаны снимки исследуемых поверхностей, отображенные на рис. 28.

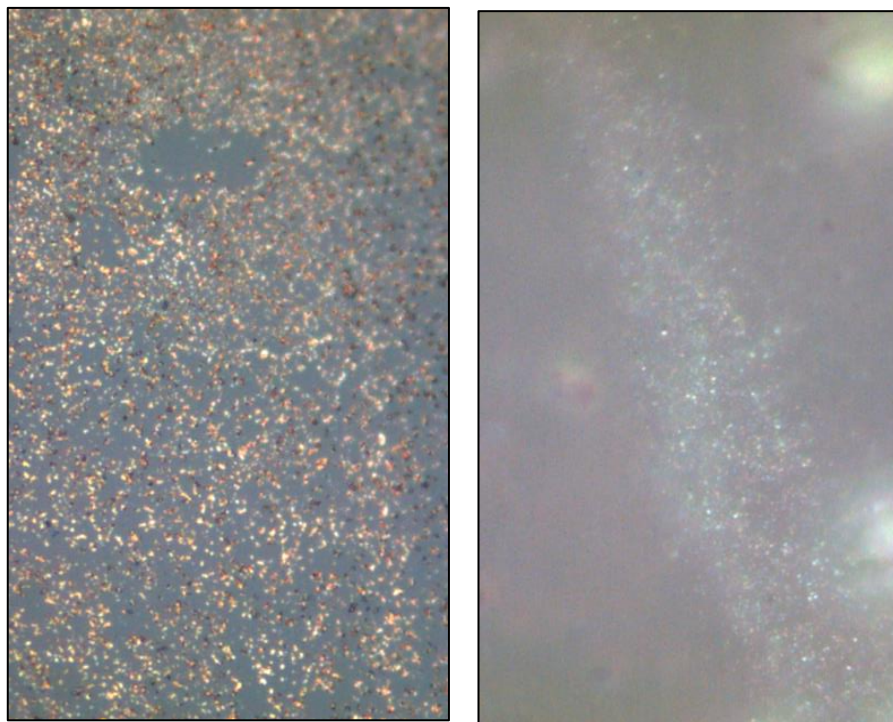


Рисунок 28- Слева: наночастицы “NPs 8” на стекле (50x); справа: наночастицы “NPs 8” на поверхности полимера PLA (50x)

Из рис. 28 можно видеть, как выглядит слой из наночастиц на стекле и на полимере. Наличие наночастиц на полимере говорит о том, что они были успешно внедрены в печать. Результаты поверхностно-усиленной рамановской спектроскопии с зеленым лазером представлены на рис. 29.

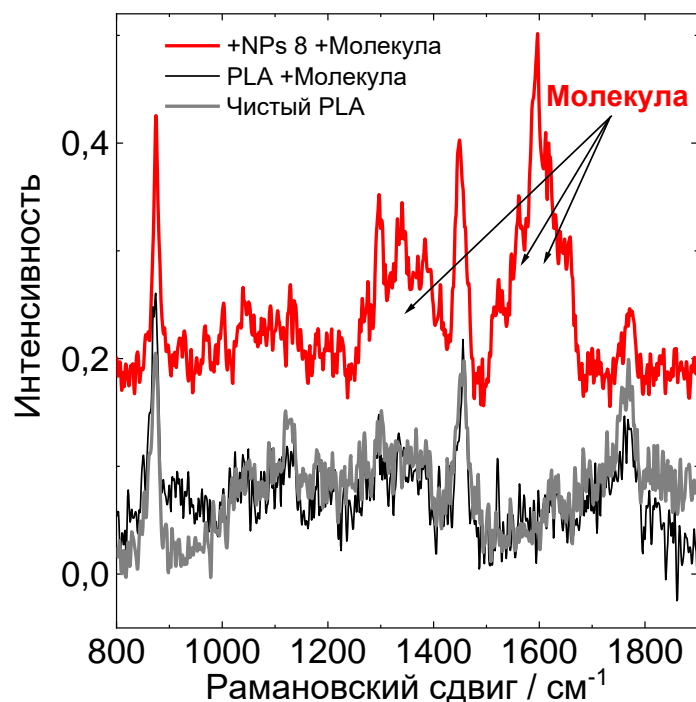


Рисунок 29- Спектр комбинационного рассеяния на PLA с 4-NBT (длина волны лазера 532 нм)

На рисунке показаны получившиеся спектры, где серым обозначен спектр чистой структуры из полимера PLA, черным – полимер PLA вместе с монослоем из 4-NBT, а красным- полимер PLA с молекулами и наночастицами. Можно видеть, что спектры имеют достаточное количество шумов, но имеется четкое различие между красным и остальными. Это объясняется тем, что сами по себе молекулы не дают большого сигнала, но благодаря явлению плазмонного резонанса, возникающему на отдельной наночастице, усиливается электрическое поле вблизи наночастицы и детектируемой молекулы. Благодаря этому явлению создается большой сигнал на уровнях, соответствующих молекуле 4-NBT. На примере 4-NBT можем судить о том, что таким же образом можно детектировать и другие виды молекул и использовать полимер с наночастицами как сенсорную подложку.

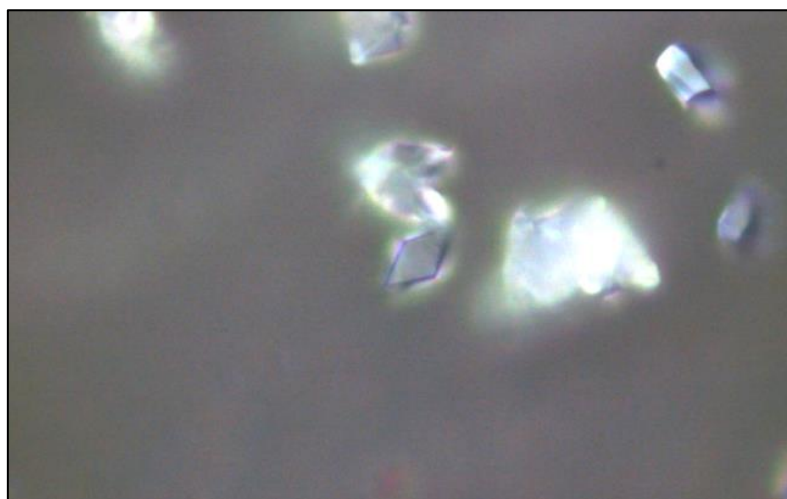


Рисунок 30- Молекулы 4-NBT на полимере PLAc "NPs 8" на стекле
(100x)

На рис. 24 видна область, где образовались «кристаллы». Это вызвано тем, что молекулы 4-NBT под воздействием зеленого и красного лазеров вступают в фотокаталитическую реакцию и происходит образование 4-АВТ (4-аминобензентиол). Такое явление объясняется нагревом наночастиц под воздействием усиленного электрического поля под действием лазерного излучения, которое служит усилителем фотокаталитической реакции.

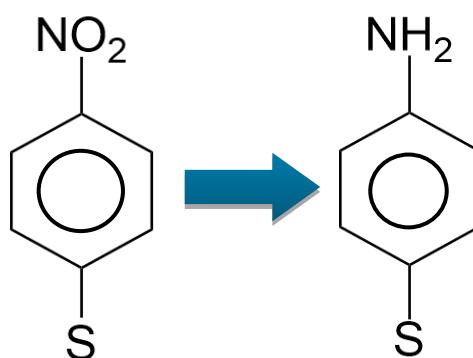


Рисунок 31- Преобразование 4-NBT в 4-АВТ вследствие фотокаталитической реакции

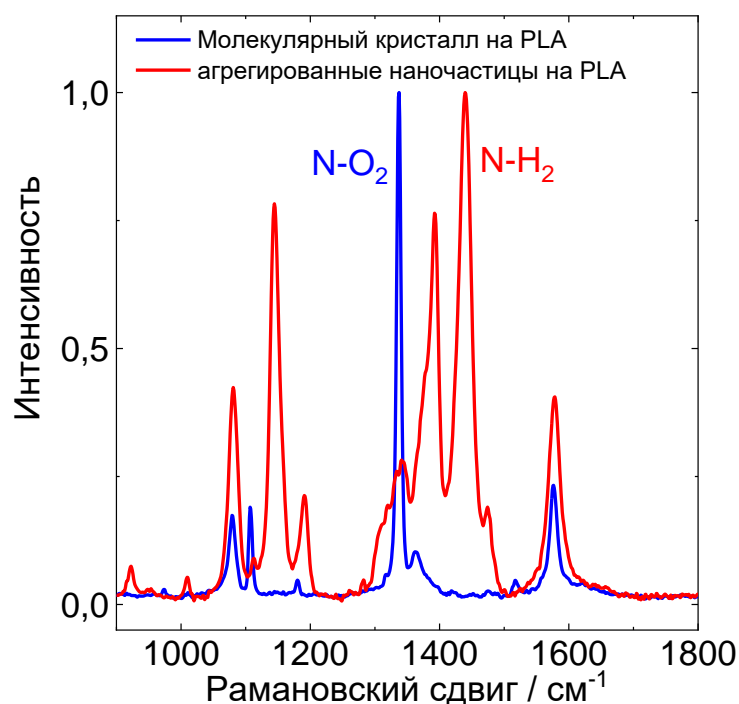


Рисунок 32- Спектры комбинационного рассеяния из молекул 4-NBT, сформированного на PLA (синий) и 4-ABT из молекулярного монослоя на группе наночастиц (красный) (длина волны лазера 532 нм)

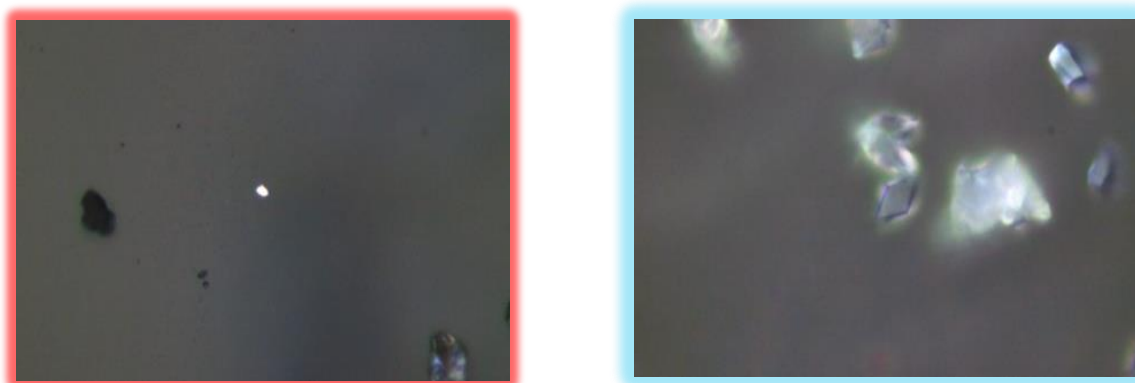


Рисунок 33- Вид молекулярного кристалла с увеличением 50х (слева); вид молекулярного кристалла с увеличением 100х (справа)

Далее были измерены спектры полимеров PLA и ABS наночастицами и молекулами диазония при помощи красного лазера.

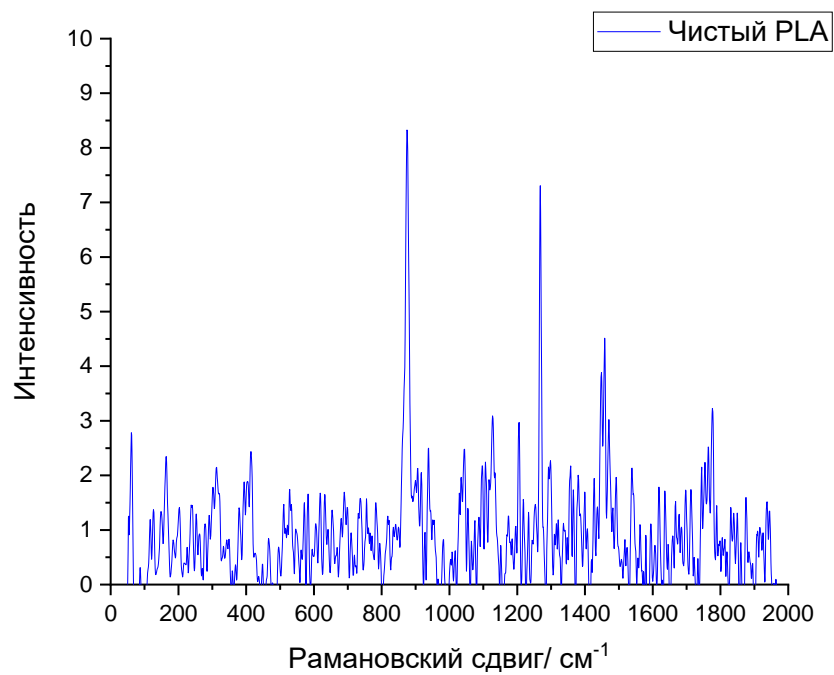


Рисунок 34- Рамановский спектр полимера PLA

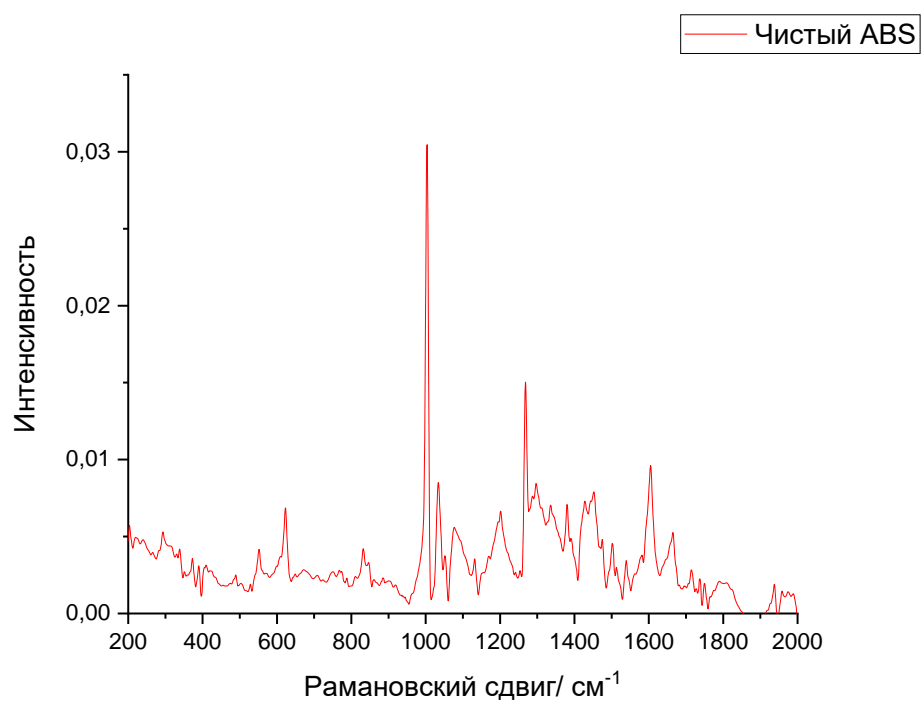


Рисунок 35- Рамановский спектр полимера ABS

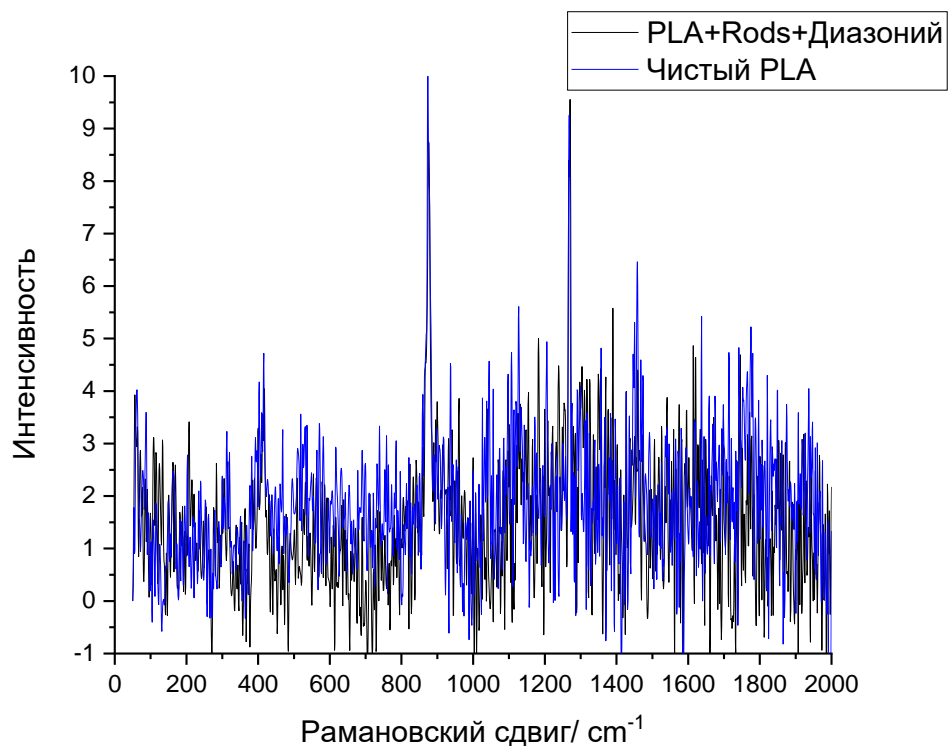


Рисунок 36- Спектр PLAc наночастицами и молекулами и чистого PLA

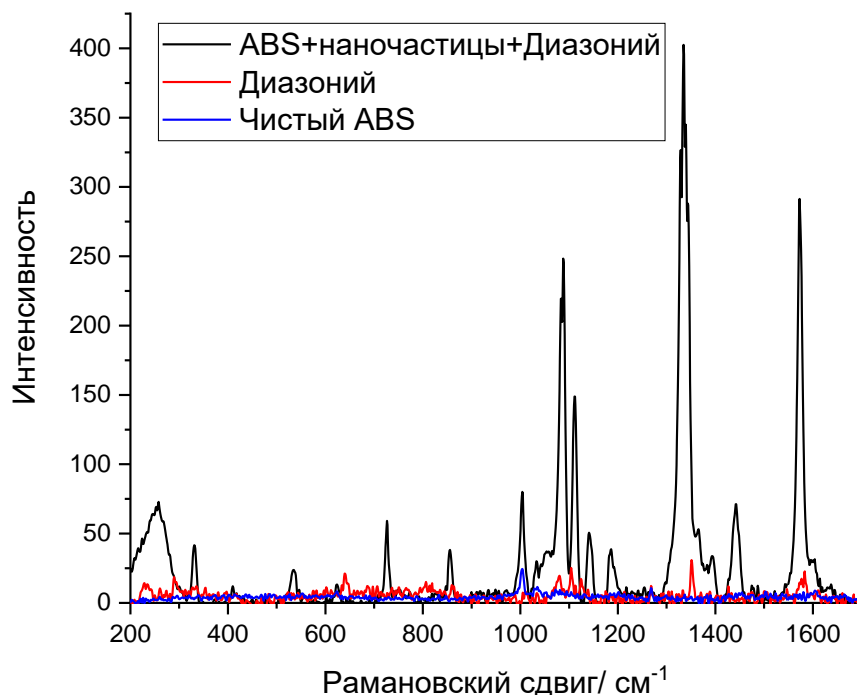


Рисунок 37- Рамановский спектр ABSc наночастицами и молекулами (черный), спектр диазония (красный), чистого ABS(зеленый)

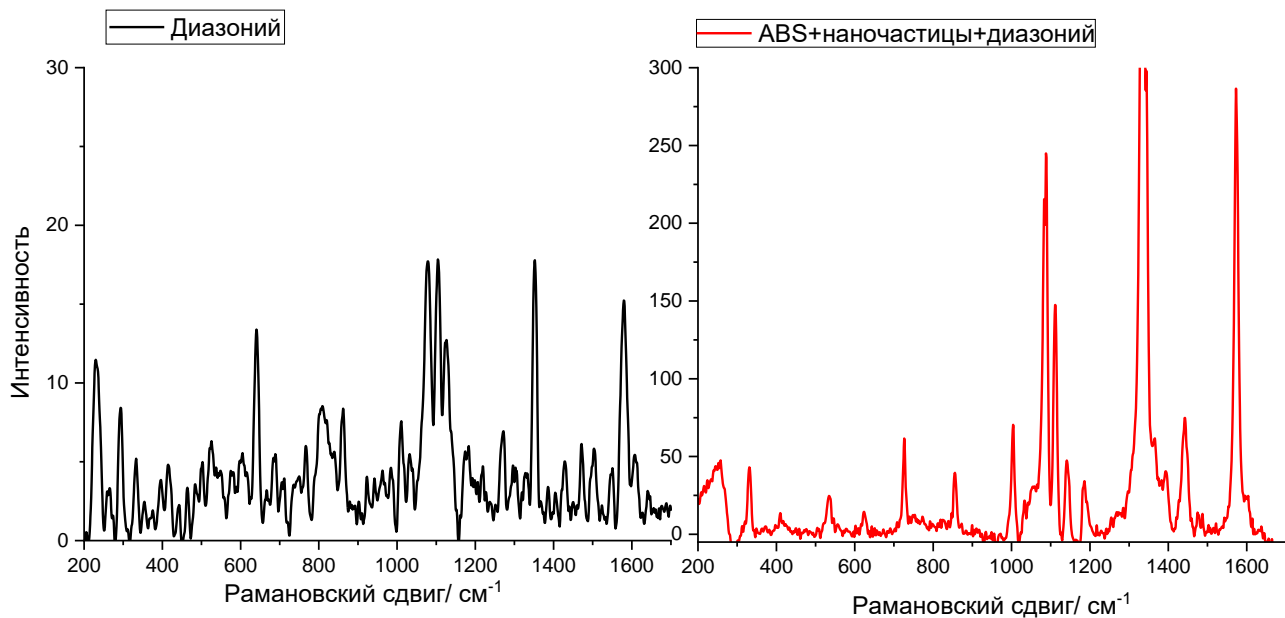


Рисунок 38 - Спектры диазония и полимера ABS молекулами
 диазония

На рисунке 38 видно четкое различие между спектром черного и красного цвета. Интенсивность полученного сигнала молекул с помощью наночастиц намного выше, чем интенсивность сигнала просто молекул диазония.

Глава 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данное научно-техническое исследование посвящено внедрению плазмонных наночастиц в структуры, напечатанных 3-Д принтером.

Целью данного экономического раздела- определить перспективы, успешность и целесообразность научно- исследовательской работы.

Чтобы достигнуть цель, необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий и инновационный потенциал исследования;
- составить календарный план и график работ;
- провести оценку стоимости материально- технических, человеческих и финансовых ресурсов исследования;
- разработать смету на организацию исследования;
- оценить ресурсосберегающую и экономическую эффективность.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для оценки потребителей результатов исследования необходимо подробнее рассмотреть целевой рынок, произвести его сегментирование.

Для исследуемой разработки целевым рынком являются коммерческие организации- предприятия и компании по производству биологических датчиков для определения маркеров болезней. Такие биологические датчики относительно недавно стали новыми доступными, но в то же время сверхчувствительными устройствами для определения маркеров болезней и не только. Особенным интересом является возможность сделать сенсоры компактнее, портативнее и с минимальными затратами на производство. Соответственно, актуально произвести расчет, с помощью которого можно обойти стороной потерю энергии, материалов и, конечно же, времени.

Сегментирование произведено по количеству работников на предприятии.

Таблица 4- Карта сегментирования рынка

Размер компании	Способ измерения		
	Электрохимический	Пьезоэлектрический	Оптический
Малые	Фирма А	Фирма Г	
Средние	Фирма Б	Фирма Д	Фирма Е
Крупные	Фирма В		

Из приведенной карты можем видеть, что оптический способ измерения еще не так широко используется в производстве детектирующих устройств, соответственно, уровень конкуренции в этой категории низок. Таким образом, получили, что:

- к основному сегменту данного рынка можно отнести средние компании;
- больше перспектив представляется малым компаниям, которые производят детектирующие устройства на основе оптического измерения;
- в будущем также перспективным и привлекательным является предложение производить датчики на основе оптического измерения средними компаниями.

4.2 Планирование научно- исследовательских работ

Предполагаемые работы планируются следующим образом:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ.

4.2.1 Структура и порядок работ научного исследования

Для начала необходимо определить участников проводимого исследования. Таковыми являются профессор отделения материаловедения (или руководитель), студент группы 4В41. Каждой выполняемой работе соответствует исполнитель, обладающей определенной должностью.

Таблица 5- Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка задания ВКР	1	Определение направления исследования	Руководитель
	2	Составление задания	Руководитель
	3	Согласование задания с исполнителем	Руководитель, студент
Выбор направления исследований	4	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических обоснований	Руководитель, студент
	7	Разработка технологии изготовления	Студент
	8	Изготовление	Студент
	9	Ознакомление с методами оптического анализа	Руководитель, студент
	10	Оптический анализ	Студент
	11	Оптимизация параметров	Студент
	12	Сравнение результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент
Обобщение и оценка результатов	13	Оценка эффективности полученных результатов	Студент, руководитель
Оформление отчета по НИР	14	Представление результатов для отчета по НИР	Студент
	15	Анализ результатов отчета, выводы	Студент

4.2.2 Определение трудоемкости работ

Так как трудовые затраты составляют основную часть стоимости разработки, трудоемкость определяется для каждого из участников исследования экспертным путем в человеко-днях по следующей формуле:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{минi} + 2t_{маxi}}{5}, (2)$$

где $t_{ожi}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{минi}$ - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{маxi}$ - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Работы руководителя и студента выполняются параллельно, тогда продолжительность одной работы будет равна:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, (3)$$

где T_{pi} - продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Переведем длительность каждого из этапов в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, (4)$$

где T_{ki} - продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;

T_{pi} - продолжительность одной работы, раб.дн.;

$k_{кал}$ - коэффициент календарности.

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кг} - T_{вг} - T_{пг}} = \frac{365}{365 - 57} = 1,19, (5)$$

где $T_{кг}$ - кол-во календарных дней в году;

$T_{вг}$ - кол-во выходных дней в году;

$T_{пг}$ - кол-во праздничных дней в году.

Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4- Временные показатели научного исследования

№ раб.	Содержание работ	t_{min} , дн.	t_{max} , дн.	$t_{ож}$, чел.-дн.	T_{pi} , раб. дн.	Продолжительность, календ. дн.
1	Определение направления исследования	1	3	1,8	0,9	1
2	Составление задания	2	3	2,4	1,2	1
3	Согласование задания с исполнителем	1	2	1,4	0,7	1
4	Подбор и изучение материалов по теме	5	7	5,8	2,9	3
5	Календарное планирование работ по теме	2	3	2,4	1,2	2
6	Проведение теоретических обоснований	3	5	3,8	1,9	3
7	Разработка технологии изготовления	9	13	10,6	5,3	6
8	Изготовление	2	4	2,8	1,4	2
9	Ознакомление с методами оптического анализа	3	5	3,8	1,9	3
10	Оптический анализ	2	3	2,4	1,2	2
11	Оптимизация параметров	4	6	4,8	2,4	3
12	Сравнение результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	2	3	2,4	1,2	2
13	Оценка эффективности полученных результатов	2	3	2,4	1,2	2
14	Представление результатов для отчета по НИР	14	20	16,4	8,2	10
15	Анализ результатов отчета, выводы	5	8	6,2	3,1	4
Итого						45

4.3 Бюджет научно- технического исследования

В этом разделе необходимо достоверно отобразить абсолютно все вид расходов, которые были произведены во время выполнения научно-технического исследования. Затраты группируются по следующим статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для экспериментов;
- основная зарплата исполнителей задания;
- дополнительная зарплата;
- страховые отчисления;
- накладные расходы.

4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

В этом разделе должны быть учтены все материалы, которые использовались при выполнении задания. Это может быть сырье и материалы, которые требуются для выполнения исследования, покупные материалы для полного функционального обеспечения процесса, запасные части и приспособления, а также считаются затраты на канцелярские принадлежности, картриджи и т.д.

В данной работе конкретно для исследования никаких затрат, кроме канцелярских, не осуществлялось, то есть все необходимое уже было в наличии.

Расчет материальных затрат производится по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх } i}, (6)$$

где m - количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх } i}$ - количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

C_i - цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T - коэффициент, который учитывает транспортно- заготовительные расходы.

Материальные затраты, произведенные для выполнения данного научно- технического исследования, представлены в таблице 4.

Таблица 6- Материальные затраты

Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Электроэнергия	кВт/ч	40	2,7	108
Канцелярские товары				330
Расходные материалы	Шт.	1	1000	1000
Связь			450	900
Итого:				2338

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментов

В данном разделе учитываются все затраты, которые связаны с приобретением оборудования, необходимого для проведения работ по исследовательской работе. Но для данного исследования оборудование отдельно не приобреталось, поэтому следует рассчитать амортизацию оборудования, которое уже было в наличии и использовалось для экспериментов.

Расчет амортизации производится по следующей формуле:

$$Z_{об} = \frac{(Ц \cdot F_{ф})}{(F_{н} \cdot F_{сс})}, \quad (7)$$

где Ц- цена оборудования, руб.;

$F_{н}$ - номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч.;

$F_{сс}$ - срок службы оборудования, год;

$F_{ф}$ - фактическое время занятости оборудования в ВКР, ч.

$$F_{н} = (365 - T_{вых}) \cdot t_{раб} = (365 - 118) \cdot 8 = 1976 \text{ ч.}$$

Амортизация использовавшегося оборудования представлена в таблице 7:

Таблица 7- Затраты на амортизацию оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Цена ед. оборудования, руб.	Срок службы, год	Время занятости, ч.	Затраты на амортизацию, руб.
1	3D принтер "Printbox3D One"	137 000	5,5	20	252
2	Спектрометр "DXR2xi Raman"	12 000 000	3	8	16 194
3	Компьютер	30 000	4	400	1012
Итого:					17 458

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается основная заработная плата всех участвующих в выполнении работы дипломной работы. Данные об окладе в зависимости от трудоемкости работ служат основой для расчета заработной платы.

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн.}} \cdot T_p, \quad (8)$$

где T_p - продолжительность работ, выполняемых научно- техническим сотрудником, раб. дн.; $Z_{\text{дн.}}$ - среднедневная заработная плата сотрудника, руб.

$$Z_{\text{дн.}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (9)$$

где Z_m - месячный оклад сотрудника, руб.; M - количество месяцев работы без отпуска в течение года; F_d - действительный годовой фонд времени научно- технического персонала, раб. дн.

Таблица 8- Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней -выходные дни; -праздничные дни	56	56
Потери рабочего времени -отпуск -невыходы по болезни	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	261	261

Месячный должностной оклад сотрудника рассчитывается следующим образом:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, (10)$$

где $Z_{тс}$ - заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ - премиальный коэффициент, равный 0,3; k_d - коэффициент доплат и надбавок в диапазоне от 0,2-0,5; k_p - районный коэффициент равный 1,3.

Таблица 9- Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	k_t	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m	$Z_{дн.}$	T_p	$Z_{осн}$
Руководитель	ППС 4	1	36800	0,3	0,2	1,3	71760	2162	15	32430
Студент	ППС 1	1	9893	0,3	0,2	1,3	19291	529	49	25921
Итого:										58351

4.3.4 Страховые отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления в этой статье производят согласно нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования.

Отчисления считаются следующим образом:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн}, (11)$$

где $k_{\text{внеб}}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Таблица 10- Отчисления во внебюджетные фонды каждого исполнителя работы

Исполнитель	Основная зарплата, руб.	$Z_{\text{внеб}}$, руб.
Руководитель	32 430	8 789
Студент	25 921	7025
Итого:		15 814

4.3.5 Накладные расходы

В этой статье учитываются все затраты, не вошедшие в предыдущие статьи расходов. Определим величину накладных расходов по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (12)$$

где $k_{\text{нр}}$ - коэффициент, учитывающий накладные расходы.

$$Z_{\text{накл}} = 19\,796 \cdot 0,16 = 6527 \text{ руб.}$$

4.3.6 Формирование бюджета затрат научно- исследовательского проекта

Все расчеты, произведенные в предыдущих статьях, являются основой для формирования бюджета научно- исследовательского проекта. Определение бюджета затрат на НТИ по каждой статье приведен в таблице 11.

Таблица 11- Смета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	2 338	
2. Амортизация на специальное оборудование	17 458	
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	58 351	Суммарная величина обоих исполнителей
4. Отчисления во внебюджетные фонды	15 814	Суммарная величина обоих исполнителей
5. Накладные расходы	6 527	
6. Смета затрат НТИ	100 488	

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Расчет интегрального показателя эффективности определяет искомую эффективность.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (13)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп } i}$ - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} - стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} - максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Так как в данной работе рассматривается только один вариант исполнения, то эффективность можно найти следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (14)$$

где I_{pi} - интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i - весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i - балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

В таблице 12 отображена сравнительная оценка вариантов исполнения проекта.

Таблица 12- Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исполнение 1
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5
3. Помехоустойчивость	0,15	4
4. Энергосбережение	0,2	4
5. Надежность	0,25	4
6. Материалоемкость	0,15	5
ИТОГО:	1	

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,3$$

По пятибалльной шкале значение показателя, соответствующего данной разработке, можно отнести к хорошему значению ресурсоэффективности, то есть, в целом, и эффективность разработки тоже на высоком уровне.

В данном разделе бакалаврской работы был проведен анализ потенциальных потребителей разработки, выполнено планирование исследовательских работ и бюджета НИИ, определена эффективность научно- технического исследования.

Планирование исследовательских работ показало, что для выполнения всего исследования необходимо затратить 45 дней. Следовательно, работа может быть выполнена менее чем за 3 месяца. Наиболее продолжительным этапом является написание отчета о работе.

Бюджет данного исследования составил 100488 рублей. Основные затраты составляют заработная плата и амортизация используемого оборудования.

Исследование довольно ресурсоэффективно , то есть с точки зрения ресурсопотребления экономически целесообразно.

Глава 5 Социальная ответственность

В любой сфере трудовой деятельности необходимо обязательно обеспечить безопасные условия труда, то есть сделать такую организацию рабочего места, при которой все опасные, вредные и угрожающие жизни факторы сводятся к минимуму.

Данный раздел подразумевает принятие проектных решений, которые исключают несчастные случаи в производстве, снижают вредное воздействие на окружающую среду, защита здоровья работников, экономичное использование невозобновимых природных ресурсов. Главная задача-идентифицирование основных опасностей в ходе выполнения темы научно-исследовательской работы и выбор комфортных условия труда как для лаборатории, так и для организации в целом.

Научно- исследовательская работа представляет собой процесс исследования внедрения плазмонныхметаллическихнаночастиц в структуры, напечатанные 3-Д принтингом. Такая инновационная методика при успешном внедрении наночастиц может стать новой в применении плазмонныхнаночастиц и поверхностно- усиленной рамановской спектроскопии. Потенциальное применение напечатанных структур снаночастицами- сверхчувствительное детектирование молекул, что может использоваться в медицине для обнаружения маркеров болезней, охране окружающей среды и т.д. Разработка ориентирована на непосредственное внедрение наночастиц, анализ полученных структур, оптимизацию параметров печати и используемых материалов. Работа выполнялась в научном парке в лаборатории 3-Д печати и лаборатории отделения материаловедения направления «Оптотехника». К приборам, используемым в ходе выполнения работы, относятся 3Д принтер “Printbox3D One”, Спектрометр “DXR2xi Raman” и персональный компьютер.

Согласно ГОСТ 12.1.005 – 88 работа относится к разряду легких, но имеет характер высокой умственной и нервно-психологической нагрузки.

5.1 Производственная безопасность

Идентификация опасных и вредных факторов

В этом разделе отображены все вредные и опасные факторы, способные возникнуть при разработке и эксплуатации проектируемого решения. В ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ (с измен. 1999 г.) выделяются опасные производственные факторы, которые имеют влияние на здоровье и работоспособность сотрудника.

Таблица 13- Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении научно-исследовательской работы

Наименование видов работ	Воздействующие факторы	Тип воздействия	Нормативные документы
1. Печать образцов на 3-Д принтере 2. Проведение измерений на спектрометре 3. Обработка измерений (ЭВМ)	Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов;	Опасные	ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ
	Отклонение показателей микроклимата	Вредные	СанПиН 2.2.4.548–96
	Повышенный уровень шума и вибраций на рабочем месте	Вредные	ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ
	Повышенный уровень электромагнитных излучений	Вредные	СанПиН 2.2.4.1191–03.
	Поражение электрическим током	Опасные	ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ
	Недостаточная освещенность рабочей зоны	Вредные	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03
	Психофизические факторы	Вредные	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03

Все перечисленные факторы приводят к нарушению нормальной жизнедеятельности и работоспособности человека. Это выражается в

нарушении целостности кожных покровов, утомлении, умственном перенапряжении, напряжении зрительного аппарата, усталости, болезненных ощущений.

Соответственно, высокая производительность труда напрямую зависит от грамотной организации рабочего места и обеспечения комфортных условий труда. Только при соблюдении этих условий работник будет иметь максимальную работоспособность и, как следствие, хороший результат выполненной работы. Микроклимат, освещенность, шум, ПЭВМ и электричество являются основными характеристиками условий труда.

5.2 Микроклимат

Микроклимат производственного помещения напрямую влияет на самочувствие и здоровье работника, так как от его показателей зависят процессы теплового обмена человека в организме. Основной задачей является обеспечение оптимальных показателей микроклимата, таких как температура воздуха, его относительная влажность, скорость движения и мощность теплового излучения. В таблице 14 отображены фактические и оптимальные значения всех характеристик микроклимата.

Таблица 14- Оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений и фактические параметры микроклимата в лаборатории

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, °С		Относит. влажность, %	Скорость движения воздуха, м/сек	
		Факт.	Оптим.		Факт.	Оптим.
Теплый	Іб	22...25	24,1...28	50	0,15	0,18
Холодный	Іб	23...26	26,1...27	40	0,1	0,1

Из таблицы видно, что данное помещение, регулируемое системой центрального отопления и естественной вентиляцией, имеет показатели, отличающиеся от нормы. Плохая вентиляция, низкая или, наоборот, высокая

температура вызывает дискомфорт трудящегося, как следствие, снижение производительности труда.

Площадь помещения, в котором выполнялась научно-исследовательская работа составляет 27 м^2 (ширина $a = 5,95 \text{ м}$; длина $b = 4,55 \text{ м}$), при высоте потолка $3,8 \text{ м}$, соответственно, объем равен $102,6 \text{ м}^3$. Помещение подразумевает 5 рабочих мест, а по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 на одного человека должны приходиться площадь в $4,5 \text{ м}^2$ и объем 15 м^3 . Судя по этим значениям, можно сказать, что размеры помещения и количество рабочих мест соответствуют нормам и стандартам.

Как упоминалось выше, вентиляция в помещении естественная при помощи оконных и дверного проемов. По нормам СП 60.13330.2012. объем воздуха, который требуется для одного человека без вспомогательной вентиляции, не должен быть более 40 м^3 , то есть необходимо сделать дополнительную вентиляцию для лучших и достаточных условий труда в данном помещении.

5.3 Освещенность

Освещение производственных помещений требует тщательного подхода, поскольку, например, при 3-Д печати крайне важно иметь достаточный уровень освещенности для хорошего результата и избегания аварийных ситуаций. Все требования к освещению производственного помещения изложены в СП 52.13330.2016. Грамотно спроектированное освещение поможет уменьшить нагрузку на органы зрения, не утомляет психологически человека, способствует высокой производительности труда.

Падающий световой поток должен быть равномерным, без пульсаций, также на уровень освещения влияет цвет и отражательная способность стен, потолков и полов. В данном помещении реализуется совместное освещение, то есть естественное, через окна и дверной проем, и искусственное. В дневное время весной и летом может быть достаточно только естественного освещения, но, учитывая географическое расположение лаборатории, в

холодное время года световой день достаточно короткий, поэтому нужно иметь такие источники света, которые обеспечат достаточный уровень освещенности.

Освещенность в помещении с работой средней точности должна быть 400 Лк на рабочей поверхности согласно СП 52.13330.2016. В качестве источников света выступают светодиодные источники света, которые обладают рядом преимуществ над другими типами ламп, например, они имеют высокую светоотдачу при малой мощности и большим сроком службы, а также не требуют теплового нагрева, обладают хорошим индексом цветопередачи, являются безопасными источниками света. Освещение должно обязательно обеспечивать безопасность эксплуатации, удобство и экономичность.

5.4 Превышение уровня шумов и вибраций

Согласно СП 51.13330.2011 уровень шума в помещениях не должен превышать 50 дБА. Шум создается не только непосредственно в помещении оборудованием и пусковой аппаратурой искусственного света, но и способен исходить снаружи. Шум раздражает, способствует головной боли, утомлению, усталости, снижению концентрации внимания, неспособности различать сторонние звуки и речь

В помещении основным источником шума являются 3-Д принтеры, находящиеся в аудитории. Исходящий уровень шума поднимается до 45 дБА и колеблется в пределах 5дБА, поэтому помещение соответствует нормам.

5.5 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Все электрические приборы, даже самые мелкие, характеризуются электромагнитным излучением. Большая часть такого излучения исходит от кабелей, системных блоков, блоков питания. К примеру, монитор компьютера включает в себя рентгеновское, ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, в том числе остальной диапазон электромагнитных волн других длин волн.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 содержит в себе предельно- допустимые значения напряженности электромагнитного поля: на расстоянии полуметра от установки с электромагнитным излучением напряженность не должна превышать 25 В/м от 5-2кГц и 2,5 В/м в диапазоне 2-400 кГц.

Основными организационными мероприятиями, которые направлены на предотвращение вредного воздействия электромагнитного излучения на организм человека, являются:

- размещение источников излучения так, чтобы минимизировалось воздействие излучения на человека и окружающую среду;
- ограниченное количество времени пребывания с излучающими приборами;
- ограничительные знаки, содержащие информацию о приборе;
- использование защитных экранов для монитора;
- регламентированные перерывы в 15 минут на каждый час работы;

В лаборатории каждый монитор и блок расположен на безопасном расстоянии от работника, так что можно сказать, что условия соответствуют требуемым нормам.

5.6 Электробезопасность

Повышенную опасность представляют электрические сети, силовые кабели, любая электро- и радиоаппаратура. Поражение электрическим током влечет за собой большую угрозу для жизни человека. Наличие в лаборатории оборудования напряжением 220В и частотой 50 Гц уже несет потенциальную угрозу.

Существует ряд факторов, которые могут усилить или, наоборот, ослабить, степень поражения электрическим током. К примеру, при таких условиях, как повышенная влажность (более 75% относительной влажности воздуха), высокая температура (более чем 35°C), токопроводящая мебель и остальные элементы интерьера, способные соприкасаться имеющим соединением с землей металлическим элементам и корпусам

электрооборудования возрастает возможность поражения электрическим током. В лаборатории, где проводилась научно-исследовательская работа, такие условия отсутствуют, поэтому нет повышенной опасности, а возможность поражения током способна возникнуть только при прямом соприкосновении с токоведущими частями электроприборов, с нетоковедущими частями, но под напряжением (а также полом и стенами), при возникновении короткого замыкания в блоках питания различной аппаратуры.

Так как помещение не относится к классу опасных и особо опасных, то следует соблюдать простые меры предосторожности, которые предотвратят возникновение чрезвычайных ситуаций:

- перед началом работы проверить устойчивость и целостность выключателей и розеток;
- убедиться в отсутствии открытых токоведущих частей в помещении;
- проверить заземляющий проводник и его целостность;
- обнаружив неисправности, не следует самостоятельно пытаться их исправить, а оповестить ответственных сотрудников лаборатории;
- не загромождать рабочее пространство лишними предметами, которые могут помешать.

Еще на стадии проектирования помещения должны предусматриваться защитные меры, такие как:

- токоизоляция;
- ограждение;
- блокировка;
- установка пониженных напряжений;
- наличие электрозащитных средств;
- сигнализация;
- знаки безопасности.

В обязательном порядке необходимо наличие защитного заземления, зануления и отключения.

5.7 Психофизиологическая безопасность

Как известно, на психическое здоровье человека влияют в равной степени как внешние условия, так и внутренние (межличностные отношения). В обязанности работодателя входит обеспечение комфортного рабочего места работника, при котором психическое напряжение сводится к минимуму. Вредными и опасными факторами являются:

- напряженность органов зрения и внимания;
- интеллектуальные и эмоциональные перегрузки;
- плохая организации рабочего места.

Таким образом, при организации плохого освещения с большой пульсацией светового потока или недостаточной освещенности может возникнуть переутомление зрительных органов, головная боль; при неудобном и неправильном рабочем месте возникает боли в теле, снижение концентрации внимания, усталость и утомляемость.

Во избежание психического переутомления необходимо установить регламентированные перерывы для отдыха органов зрения и просто смены физического положения.

5.8 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Лаборатория с 3-Д принтерами включает в себя опасность возникновения техногенной чрезвычайной ситуации, то есть ситуации, способной произойти вследствие производственной аварии или катастрофы а объектах, транспортных магистралях и продуктопроводах; пожаров и взрывов на объектах; загрязнения окружающей среды и атмосферы сильными ядовитыми, отравляющими, биологически опасными радиоактивными веществами. Подобные аварии могут сопровождаться обвалами и обрушениями сооружений, нарушениями коммунального жизнеобеспечения, авариями очистных сооружений и технологических линий и др.

В случае возникновения чрезвычайной ситуации, будь то наводнение, пожар, заражение химическими или радиоактивными веществами, необходимо заранее предусмотреть целый комплекс мероприятий, направленных на быструю эвакуацию и защиту людей. К таким мероприятиям относятся:

- эвакуация;
- наличие защитных сооружений для укрытия людей;
- наличие индивидуальных средств защиты;
- обеспечение профессиональной медицинской помощи.

При возникновении чрезвычайной ситуации очень важно провести быструю эвакуацию людей в безопасную зону. Существует комбинированный способ, при котором масштабный вывод или вывоз населения происходит по определенным категориям населения всеми имеющимися возможностями, например, транспортом и т.д.

Территориально- производственный принцип рассредотачивает эвакуацию комбинированным способом, то есть эвакуация происходит и организуется предприятиями, учреждениями, учебными заведениями, домоуправленческими компаниями.

Любая авария опасна в первую очередь тем, что может разрастись до больших катастрофических размеров. Чтобы этого не произошло, на место ЧС за короткое время должны прибыть спасательные службы и начать спасательные работы. Обеспечение общественного порядка способствует быстрой организации операции спасения без давок и загромождения прохода к аварийному объекту.

Как и при возникновении любой другой внештатной ситуации необходимо отключить электричество, чтобы не повредить еще не поврежденные сети коммуникации для своевременной локализации аварии.

Гражданская оборона обязана приступить к спасению так быстро, как это возможно. Чем больше организация медицинской и других служб, тем

меньше общество понесет ущерба человеческого здоровья и жизней, а также материального ущерба.

Здания и сооружения характеризуются степенями огнестойкости. Данная лаборатория относится к первому классу из пяти возможных.

По требованиям пожарной безопасности СНиП 2.01.02-85 в помещениях в обязательном порядке должны находиться средства пожаротушения. К ним относятся:

- огнетушитель ручной углекислотный ОУ- 5;
- пожарный кран с рукавом и песок;
- противопожарная сигнализация.

Успешная эвакуация с минимальными потерями обеспечивается, если:

- составлен план эвакуации;
- есть лицо, ответственное за эвакуацию, следящее за выполнением исправности приборов и соблюдением пожарной безопасности;
- знание работниками плана эвакуации и способов самозащиты в чрезвычайных ситуациях.

5.9 Законодательное регулирование проектных решений

При внутренней отделке помещения рабочих мест необходимо применять диффузно- отражающие материалы с коэффициентами отражения:

- 0,7- 0,8 для потолка;
- 0,5- 0,6 для стен;
- 0,3- 0,5 для пола.

Поверхности стен, пола и потолка обязана быть ровной, без ям, нескользкой, удобной для уборки. Помещения с электрооборудованием характеризуются пожароопасностью, то есть следует много внимания уделить этому явлению, так как есть большая вероятность материальных и человеческих потерь.

В работе с оборудованием с электромагнитным излучением, например, монитором компьютера, необходимо устанавливать перерывы для лучшей работоспособности. Данные перерывы по длительности регламентируются с

учетом времени рабочей смены. Продолжительность непрерывной работы с персональным компьютером не должна превышать более 1 часа.

Заключение

В ходе данного научного исследования были изучены свойства структур с плазмонными наночастицами, напечатанные из полимеров PLA и ABS на 3D-принтере. С помощью поверхностно-усиленной рамановской спектроскопии удалось добиться усиления сигнала от детектируемых молекул порядка 10 раз, тем самым подтвердив успешное внедрение наночастиц в полимеры. Следует отметить, что действие лазерного излучения на электрическое поле наночастиц привело к явлению фотокатализа и, как следствие, химической реакции преобразования молекулы 4-NBT в 4-ABT.

Исследования с помощью микроскопии показали, что наилучшего изображения поверхности таких структур для наблюдения наночастиц удалось добиться с помощью растровой электронной микроскопии. Большого увеличения добиться сложно, так как принцип работы электронной микроскопии предполагает использование проводящих материалов.

Агрегированные на поверхности полимера наночастицы при взаимодействии с детектируемыми молекулами привели к образованию кристаллов.

Так как технология с обнаружением молекул привела к положительному результату, то в будущем есть потенциал таких структур в использовании в датчиках для мониторинга.

Список использованной литературы

1. Оптические свойства наночастиц [Электронный ресурс]URL: http://mipt-krf.ru/index.php/science/presentation/presentation_optic_prop_nanopart/, свободный- Яз. рус. Дата обращения 24.10.2017 г.
2. M. Zarei, Portable biosensing devices for point-of-care diagnostics: Recent developments and applications, Trends in Analytical Chemistry 91 26-41 (2017)
3. D. Zhang, Q. Liu, Biosensors and bioelectronics on smartphone for portable biochemical detection, Biosensors and Bioelectronics 75 273–284(2016)
4. H. Guner, E. Ozgur, G. Kokturk, M. Celik, E. Esen, A. E. Topal, S. Ayas, Y. Uludag, C. Elbuken, A. Dana, A smartphone based surface plasmon resonance imaging (SPRi) platform for on-site biodetection, Sensors and Actuators B 239 571–577(2017)
5. B. Liedberg, C. Nylander, I. Lundstrom, Surface plasmon resonance for gas detection and biosensing, Sensors and Actuators, 4 299 – 304(1983)
6. VJ, Logeeswaran, N. Kobayashi, M. Islam, W. Wu, P. Chaturvedi, N. Fang, S. Wang, S. Williams, Ultrasmooth silver thin films deposited with a germanium nucleation layer, NANO LETTERS Vol. 9, No. 1 178-182 (2009)
7. W. Chen, M. Thoreson, S. Ishii, A. Kildishev, V. Shalaev, Ultra-thin ultra-smooth and low-loss silver films on a germanium wetting layer, 2010 Vol. 18, No. 5 / OPTICS EXPRESS 5134 (2010)
8. D. Carter, C. Carter, J. Ho, Structure of serum albumin, ADVANCES IN PROTEIN CHEMISTRY, Vol. 45 (1994)
9. P. Preechaburana, M.C. Gonzalez, A. Suska, D. Filippini, Surface plasmon resonance chemical sensing on cell phones, Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 51 11585–11588. (2012)
10. Biacore 3000 Getting Started Kit.

11. J. Homola, Surface plasmon resonance sensors for detection of chemical and biological species, *Chem. Rev.*, 108, 462–493 (2008)
12. D. Breslauer, R. Maamari, N. Switz, W. Lam, D. Fletcher, Mobile phone based clinical microscopy for global health applications, *PLoS ONE* 4(7): e6320, (2009)
13. D. Fichou, G. Morlock, Open-source-based 3D printing of thin silica gel layers in planar chromatography, *Anal. Chem.*, (2017)
14. C. Mandon, J. Blum, C. Marquette, Adding biomolecular recognition capability to 3D printed objects, *Anal. Chem.*, (2016)
15. Y.L. Kong, I. Tamargo, H. Kim, B. Johnson, M. Gupta, T. Koh, H. Chin, D. Steingart, B. Rand, M. McAlpin, 3D Printed Quantum Dot Light-Emitting Diodes, *Nano Lett.*, (2014)
16. M. Gupta, F. Meng, B. Johnson, Y.L. Kong, L. Tian, Y. Yeh, N. Masters, S. Singamaneni, M. McAlpin, 3D Printed Programmable Release Capsules, *Nano Lett.*, (2015)
17. J. Adams, E. Duoss, T. Malkowski, M. Motala, B. Y. Ahn, R. G. Nuzzo, J. Bernhard, J. A. Lewis, Conformal Printing of Electrically Small Antennas on Three-Dimensional Surfaces, *Adv. Mater.* 23, 1335–1340 (2011)
18. J. H. Kim, W. S. Chang, D. Kim, J. R. Yang, J. T. Han, G. Lee, J. T. Kim, S. K. Seol, 3D Printing of Reduced Graphene Oxide Nanowires, *Adv. Mater.* (2014)
19. A. Haring, A. U. Khan, G. Liu, B. N. Johnson, 3D Printed Functionally Graded Plasmonic Constructs, *Adv. Optical Mater.*, 5, 1700367 (2017)
20. S. Hecht, Y. Hsia, Dark Adaptation Following Light Adaptation to Red and White Lights, *Journal of the optical society of America*, vol. 35 (1945)
21. S. M. Uddin, S. S. Chowdhury, E. Kabir, A Theoretical Model for Determination of Optimum Metal Thickness in Kretschmann Configuration Based Surface Plasmon Resonance Biosensors, International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE), February 16-18, (2017)

- 22.S. S. Hinman, K. S. McKeating, Q. Cheng, Plasmonic Sensing with 3D Printed Optics, *Anal. Chem.*, 89, 12626–12630 (2017)
23. Clear Photoactive Resin for Form 1, Form 1+ and Form 2 Safety Data Sheet, 2017, https://formlabs.com/media/upload/ClearSDS_u324bsC.pdf (2017).
- 24.S. S. Hinman, K. S. McKeating, Q. Cheng, Surface Plasmon Resonance: Material and Interface Design for Universal Accessibility, *Anal. Chem.*, (2017)
- 25.S. S. Skrabalak, L. Au, X. Li, Y. Xia, Facile synthesis of Ag nanocubes and Au nanocages, *NATURE PROTOCOLS* | vol.2 no.9 | 2183 (2007)
- 26.A. Golubev, B. Khlebtsov, R. D. Rodriguez, Y. Chen, D. Zahn, Plasmonic Heating Plays a Dominant Role in the Plasmon-Induced Photocatalytic Reduction of 4-Nitrobenzenethiol, *J. Phys. Chem. C*, 122, 5657–5663 (2018)
27. Polylactic acid [Электронный ресурс] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Polylactic_acid, свободный доступ- Яз. англ. Дата обращения 05.02.2017 г.
28. ABS-пластик [Электронный ресурс] URL: http://3dtoday.ru/wiki/abs_plastic/, свободный доступ- Яз. рус. Дата обращения 19.04.2018 г.
- 29.K. S. Shin, H. S. Lee, S. W. Joo, K. Kim, Surface-Induced Photoreduction of 4-Nitrobenzenethiol on Cu Revealed by Surface-Enhanced Raman Scattering Spectroscopy, *J. Phys. Chem. C*, 111, 15223-15227 (2007)
- 30.O. Guselnikova, P. Postnikov, R. Elashnikov, M. Trusova, Y. Kalachyova, M. Libansky, J. Barek, Z. Kolska, V. Svorcik, O. Lyutakov, Surface modification of Au and Ag plasmonic thin films via diazonium chemistry: Evaluation of structure and properties, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 516 274–285(2017)

- 31.3. Принтер “Printbox3DOne” [Электронный ресурс] URL: <http://maxrobots.ru/products/printbox3d-one>, свободный доступ- Яз. рус. Дата обращения 5.12.2017 г.
32. Прибор «DXR2xiRaman» [Электронный ресурс] URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/70005-17-dxr2-smartraman-dxr2-raman-microscope-dxr2xi-raman-imaging-microscope-i-ixr-raman-79421>, свободный доступ- Яз. рус. Дата обращения 18.03.2018 г.
33. Атомно-силовой микроскоп «ИНТЕГРА Прима» [Электронный ресурс] URL: <https://www.ntmdt-si.ru/products/modular-afm/ntegra-ii>, свободный доступ- Яз. рус. Дата обращения 08.04.2018 г.