

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

---

Институт *физики высоких технологий*

Направление подготовки *Материаловедение и технологии материалов*

Кафедра *Наноматериалов и нанотехнологий*

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Влияние имплантируемого иона на физико-химические свойства поливинилового спирта и политетрафторэтилена

УДК 678.5.067:678.073

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б22	Лапуть Олеся Александровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Курзина Ирина Александровна	Д.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Елена Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко Ольга Брониславовна	Д.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Наноматериалов и нанотехнологий	Хасанов Олег Леонидович	Д.т.н.		

Томск – 2016 г.

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов

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

---

Институт *физики высоких технологий*

Направление подготовки *Материаловедение и технологии материалов*

Кафедра *Материаловедение в машиностроении*

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Хасанов О. Л.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4Б22	Лапуть Олеся Александровне

Тема работы:

Влияние имплантируемого иона на физико-химические свойства поливинилового спирта  
и политетрафторэтилена

Утверждена приказом директора ИФВТ

Приказ № 2598к от 05.04.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:

8.06.2016

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Цель работы – изучить влияние имплантации ионов различной природы (серебро, аргон, углерод) на поверхностные физико-химические и механические свойства поливинилового спирта и политетрафторэтилена.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Задачи исследования: 1. Проведение аналитического обзора литературных данных; 2. Получение образцов полимерных материалов (ПВС и ПТФЭ); 3. Обработка поверхности поливинилового спирта и политетрафторэтилена пучками ионов серебра, углерода и аргона с экспозиционными дозами $1 \cdot 10^{14}$ , $1 \cdot 10^{15}$ , $1 \cdot 10^{16}$ ион/см <sup>2</sup> с применением ионного источника Mevva 5.Ru; 4. Изучение поверхностных физико-химических свойств методами: <ul style="list-style-type: none"><li>• Атомно-силовой микроскопии (АСМ);</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Инфракрасной спектроскопии (ИКС);</li> <li>• Рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС);</li> <li>• Сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).</li> </ul> <p>5. Изучение поверхностных функциональных свойств образцов ПВС и ПТФЭ, модифицированных ионной имплантацией: микротвердость, электропроводность, смачиваемость и поверхностная энергия;</p> <p>6. Обработка результатов, анализ полученных данных.</p>
--	---

**Перечень графического материала**

*(с точным указанием обязательных чертежей)*

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	<i>Е. А. Грахова, ассистент, кафедра менеджмента ТПУ</i>
Социальная ответственность	<i>О. Б. Назаренко, профессор, кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности ТПУ</i>

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	28.03.2016
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Курзина Ирина Александровна	Д.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б22	Лапуть Олеся Александровна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 94 с., 15 рис., 21 табл., 55 источников.

Ключевые слова: полимер, поливиниловый спирт, политетрафторэтилен, ионная имплантация, модификация поверхностных свойств.

Объектом исследования являлись образцы полимерных материалов на основе поливинилового спирта и политетрафторэтилена, модифицированных методом ионной имплантации.

Цель работы – изучить влияние имплантации ионов различной природы (серебро, аргон, углерод) на поверхностные физико-химические и механические свойства поливинилового спирта и политетрафторэтилена.

Выявлено влияние ионной имплантации на физико-химические и механические свойства поливинилового спирта (ПВС) и политетрафторэтилена (ПТФЭ).

Проблема модификации поверхности полимеров, а так же вопрос об изменении физико-химических и механических свойств в настоящее время привлекает все больший интерес. Исследования являются весьма актуальными и представляют интерес для дальнейшего развития современного производства полимерных материалов.

## ABSTRACT

Graduation thesis 94 p., 15 fig., 21 tab., 55 source.

Key words: polymer, polyvinyl alcohol (PVA), polytetrafluoroethylene (PTFE), ion implantation, surface modification.

The object of the study is the samples of polyvinyl alcohol and polytetrafluoroethylene modified by ion implantation.

The aim is to study the effect of ion implantation, Ag, Ar, C on the physicochemical and mechanical properties of polyvinyl alcohol and polytetrafluoroethylene.

The effect of ion implantation on physical-chemical and mechanical properties of polyvinyl alcohol and polytetrafluoroethylene was observed.

The problems of surface modification of polymers, as well as the issue of changing physical-chemical and mechanical properties are now attracting growing interest. Studies are highly relevant and are of interest for further development of modern production of polymer materials.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

1. НТИ – научно – техническое исследование;
2. НИР – научно – исследовательская работа;
3. ВКР – выпускная квалификационная работа;
4. НИОКР – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;
5. ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;
6. ИСЭ СО РАН – Институт Сильноточной Электроники Сибирского отделения Российской академии наук;
7. ЧС – чрезвычайные ситуации;
8. СДЯВ – сильнодействующие ядовитые вещества;
9. ОВ – отравляющие вещества;
10. ГО – гражданская оборона;
11. ПВС – поливиниловый спирт;
12. ПТФЭ – политетрафторэтилен;
13. ПММА – полиметилметакрилат;
14. ПИ – полиимид;
15. ПЭТФ – полиэтилентерефталат;
16. АСМ – атомно-силовая микроскопия;
17. СЭМ – сканирующая электронная микроскопия;
18. РФЭ-спектрокопия – рентгеновская фотоэлектронная микроскопия;
19. ИК-спектрокопия – инфракрасная спектрокопия;
20. ПРМ – подкожно-расширяющийся материал.

## Оглавление

Введение .....	11
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	13
1.1 Структура, свойства и применение полимеров (поливиниловый спирт и политетрафторэтилен) .....	13
1.2 Особенности метода ионной имплантации для диэлектрических материалов .....	18
1.3 Модификация поверхности поливинилового спирта и политетрафторэтилена методом ионной имплантации .....	25
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	33
2.1. Получение полимерных образцов .....	33
2.2 Проведение ионной имплантации образцов ПВС и ПТФЭ .....	34
2.3 Методы исследования физико – химических свойств .....	36
3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ .....	39
3.1 Влияние ионной имплантации на физико-химические свойства ПВС ..	39
3.1.1 Химический состав поверхности ПВС до и после ионной имплантации .....	39
3.1.2 Влияние ионной имплантации на морфологию и краевой угол смачивания ПВС .....	41
3.1.3 Модификация функциональных свойств полимеров методом ионной имплантации .....	44
3.1.4 Краткие выводы по влиянию ионной имплантации на свойства поливинилового спирта .....	45
3.2 Модифицирование поверхностных свойств ПТФЭ методом ионной имплантации .....	46
3.2.1 Химический состав ПТФЭ до и после ионной имплантации .....	46
3.2.2 Морфология поверхности ПТФЭ .....	48
3.2.3 Функциональные свойства ПТФЭ .....	51
3.2.4 Краткие выводы по влиянию ионной имплантации на структуру и свойства ПТФЭ .....	53
Заключение .....	55
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	58
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования, выбор структурной схемы и оценка научно-технического потенциала .....	58
4.1.1 Техничко-экономическое обоснование научно-исследовательской работы .....	58
4.1.2 SWOT-анализ НТИ .....	60



4.1.3 Планирование работ по научно-техническому исследованию .....	61
4.1.4. Определение трудоемкости работ .....	63
4.2 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	66
4.2.1 Расчет материальных затрат НТИ .....	66
4.2.2 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы ...	68
4.2.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	69
4.2.4 Накладные расходы .....	70
4.3 Оценка научно-технического уровня НИР .....	71
<b>5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....</b>	<b>77</b>
5.1 Профессиональная социальная безопасность организации при ионной имплантации для поливинилового спирта и политетрафторэтилена .....	77
5.1.1 Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории плазменных источников ИСЭ СО РАН, обоснование мероприятий по их устранению .....	79
5.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению .....	82
5.2 Экологическая безопасность .....	83
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	84
5.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований и которые может инициировать объект исследования .....	85
5.3.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС .....	86
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	87
Список публикаций .....	89
Список используемой литературы .....	91

## **Введение**

В настоящее время повышен интерес к полимерным материалам, что обусловлено их широким применением в различных областях производства: от медицины до аэрокосмической отрасли. Наиболее перспективными с точки зрения применения являются полимерные материалы биомедицинского назначения [ 1, 2, 3, 4]. Обработка различных материалов ионными пучками, а также потоками плазмы и электронов приводит к модификации поверхностных и объемных свойств материалов и является одним из важнейших направлений передовых современных технологий [5]. Привлечение различного рода радиационных методов для улучшения свойств полимеров открывает новые возможности и перспективы использования методов для поверхностной модификации материалов.

Изменение структуры и свойств поверхности промышленно важных полимерных материалов с применением радиационных методов способствует модификации их функциональных свойств [6, 7]. Актуальным является изучение механизмов химических реакций макромолекул и изменений в надмолекулярных структурах полимеров в приповерхностном слое в условиях ионного облучения. В поверхностных слоях в процессе модифицирования происходят сложные физико-химические процессы, способные существенно изменить структуру и свойства поверхности материалов. Ионно-плазменная обработка широко используется для изменения структуры поверхности полимеров с целью изменения свойств: смачиваемости, микротвердости, проводимости и др. [8, 9].

Поливиниловый спирт относится к классу биоразлагаемых полимеров, которые широко применяются в современной медицине для производства саморассасывающихся хирургических нитей, иммунотолерантных имплантатов и штифтов. Политетрафторэтилен (иначе – тефлон или фторопласт) благодаря жаропрочности, антифрикционным свойствам и химической стойкости широко применяется в химической,

электротехнической, пищевой промышленности и в медицине. Применение ионной имплантации позволит значительно улучшить физико-химические и биологические свойства материалов с целью эффективного практического их применения.

Целью настоящего исследования является изучение влияния имплантации ионов различной природы (серебро, аргон, углерод) на поверхностные физико-химические и механические свойства ПВХ и ПТФЭ.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Проведение аналитического обзора литературных данных;
2. Получение образцов полимерных материалов (ПВХ и ПТФЭ);
3. Обработка поверхности поливинилового спирта и политетрафторэтилена пучками ионов серебра, углерода и аргона с экспозиционными дозами  $1 \cdot 10^{14}$ ,  $1 \cdot 10^{15}$ ,  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup> с применением ионного источника Mevva 5.Ru;
4. Изучение поверхностных физико-химических свойств методами:
  - Атомно-силовой микроскопии (АСМ);
  - Инфракрасной спектроскопии (ИКС);
  - Рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС);
  - Сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).
5. Изучение поверхностных функциональных свойств образцов ПВХ и ПТФЭ, модифицированных ионной имплантацией: микротвердость, электропроводность, смачиваемость и поверхностная энергия;
6. Обработка результатов, анализ полученных данных.

# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Структура, свойства и применение полимеров (поливиниловый спирт и политетрафторэтилен)

Полимеры — неорганические и органические, аморфные и кристаллические вещества, состоящие из «мономерных звеньев», соединённых в длинные макромолекулы химическими или координационными связями. Полимер — это высокомолекулярное соединение: количество мономерных звеньев в полимере (степень полимеризации) должно быть достаточно велико (в ином случае соединение будет называться олигомером). Во многих случаях количество звеньев может считаться достаточным, чтобы отнести молекулу к полимерам, если при добавлении очередного мономерного звена молекулярные свойства не изменяются [10]. Как правило, полимеры — вещества с молекулярной массой от нескольких тысяч до нескольких миллионов [11].

Полимер образуется из мономеров в результате реакций полимеризации или поликонденсации. К полимерам относятся многочисленные природные соединения: белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды, каучук и другие органические вещества. В большинстве случаев понятие относят к органическим соединениям, однако существует и множество неорганических полимеров. Большое число полимеров получают синтетическим путём на основе простейших соединений элементов природного происхождения путём реакций полимеризации, поликонденсации и химических превращений. Названия полимеров образуются из названия мономера с приставкой поли-: полиэтилен, политетрафторэтилен, поливинилацетат и т. п.

Наиболее перспективными в современной промышленности являются синтетические биополимеры. Биополимеры — класс полимеров,

встречающихся в природе в естественном виде и входящих в состав живых организмов: белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды, лигнин и пр.

Биоразлагаемые полимеры – это полимеры, которые обладают способностью разлагаться в окружающей среде за установленный срок (от полугода до нескольких лет). В животном мире в качестве опорного, структурообразующего полимера клеток обычно выступают волокнистые и фибриллярные белки (кератины, фиброины, коллагены) и пептиды, а в растительном мире и у части бактерий – полиэферы, полифенолы, полисахариды (целлюлоза, хитин-хитозан, крахмал, гликоген, лигнин, пектин). Из-за близости некоторых свойств веществ растительного и животного происхождения и отсутствия на них иммунных реакций человеческого организма, в медицине давно и успешно применяются продукты их переработки – полимолочная кислота, коллагены, целлюлозы, лигнины, пектины и пр.

Все полимеры по химическому составу делятся на органические, неорганические и элементоорганические. Рассмотрим все вышеперечисленные виды полимеров:

1. Органические полимеры – это многочисленные материалы, получаемые чаще всего из недорогого и доступного сырья. На их основе получают пластические массы (пластмассы) – это сложные композиции, в состав которых входят всевозможные добавки, придающие полимерам необходимые технические свойства.

2. Неорганические полимеры – это полимеры, которые отличаются очень важным свойством – термической и химической стойкостью. Наличие пространственной кристаллической структуры, дает понять, что неорганические полимеры обладают такими свойствами, как твердость и хрупкость. Они не содержат связей  $-C-C$  в повторяющемся звене, но способны содержать органические радикалы, как боковые заместители.

3. Элементоорганические полимеры – не существующий в природе полимер. Полимеры, которые содержат в основной цепи органических радикалов неорганические атомы (Si, Ti, Al), сочетающиеся с органическими радикалами.

По форме макромолекул полимеры подразделяют на:

- ленточные;
- плоские;
- линейные;
- разветвленные;
- полимерные сетки и т. д.

По полярности, которая влияет на растворимость во всевозможных жидкостях, полимеры подразделяют на:

- Полярные или иначе гидрофильные – полимеры, звенья которых обладают достаточной полярностью.
- Неполярные (гидрофобные) – полимеры, которые не содержат полярных звеньев.
- Амфифильные – полимеры, которые содержат и полярные и неполярные звенья.

Также полимеры делятся по отношению к нагреву:

- Термопластичные – полимеры, которые подвергаются обратимому процессу, где они при нагреве размягчаются, даже скорее плавятся, а при охлаждении затвердевают.
- Термореактивные – полимеры, которые подвергаются необратимой химической деструкции без плавления.

Первой и очень важной особенностью, являются механические свойства полимеров, такие как:

- Эластичность — это способность полимера к высоким обратимым деформациям при относительно небольшой нагрузке (каучуки);

- Низкая хрупкость кристаллических и стеклообразных полимеров (органическое стекло, пластмассы);
- Способность макромолекул к ориентации под действием направленного механического поля (изготовление волокон и плёнок).

Также полимеры отличаются от других материалов особыми химическими свойствами: способностью резко изменять свои физико-механические свойства под действием малых количеств реагента (вулканизация каучука, дубление кож и т. п.).

Особенности растворов полимеров:

- Высокая вязкость раствора при малой концентрации полимера;
- Растворение полимера происходит непосредственно через стадию набухания.

Особые свойства полимеров объясняются не только большой молекулярной массой, но и тем, что макромолекулы имеют цепное строение и обладают высокой гибкостью. В настоящее время, благодаря своим уникальным и ценным свойствам, полимеры применяются в машиностроении, текстильной промышленности, сельском хозяйстве, медицине, автомобиле- и судостроении, авиастроении и в быту (текстильные и кожаные изделия, посуда, клей и лаки, украшения и другие предметы). С помощью высокомолекулярных соединений изготавливают пластмассы, волокна, резины, пленки, а также лакокрасочные покрытия. Все ткани живых организмов представляют высокомолекулярные соединения. Широкое применение полимерные материалы получили в современной медицине. Изделия, изготовленные для медицинской техники, обладают более низкой стоимостью по сравнению с изделиями из металлов и сплавов [12].

**Поливиниловый спирт (ПВС)**( $[-\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})-]_n$ ) – водорастворимый, искусственный, термопластичный полимер. Поливиниловый спирт (ПВС) – твердый полимер белого цвета, который не имеет вкуса и запаха. ПВС является нетоксичным веществом, содержащим микрокристаллические

образования. Кристалличность ПВХ обусловлена тем, что в полимере наблюдается наличие большого количества гидроксильных групп. ПВХ является адгезионным, эмульгирующим и пленкообразующим полимером, который обладает высокой прочностью на разрыв, и как говорилось ранее, гибкостью. Эти свойства зависят от влажности воздуха, потому что полимер адсорбирует влагу. При большой влажности у поливинилового спирта уменьшается прочность на разрыв, но в то же время он становится более эластичным [13]. В настоящее время большое внимание в производстве уделяется получению биосовместимых, экологически чистых полимеров. ПВХ относится к классу биоразлагаемых полимеров, которые широко применяются в современном мире в качестве адгезионного агента и сгустителя в клеях и шампунях, как эмульгатор в пищевой промышленности, в растворах для контактных линз и глазных капель, как лубрикант, как волокно для арматуры в бетонах, и, конечно, в современной медицине для производства саморассасывающихся хирургических нитей и трубок сердечно-сосудистой системы.

**Политетрафторэтилен (ПТФЭ)**, иначе фторпласт или тефлон – полимер тетрафторэтилена, который представляет собой пластмассу, обладающую уникальными химическими и физическими свойствами. Тефлон – белое, в тонком слое прозрачное вещество, которое напоминает полиэтилен или парафин. Этот материал обладает высокой морозо- и теплостойкостью, и остается гибким при температурах от  $-70$  до  $+270^{\circ}\text{C}$ . Также тефлон является отличным изоляционным материалом. Тефлон обладает очень низкими адгезией и поверхностным натяжением, и не смачивается большинством жидкостями, такими как вода, жиры и многие органические растворители. Фторпласт – текучий и мягкий материал, который имеет ограниченное применение в нагруженных конструкциях, и обладает слишком низкой адгезией. По химической стойкости превосходит все известные благородные металлы и синтетические материалы. Деструкция



не наступает при воздействии щелочей, кислот и даже смеси соляной и азотной кислот, напротив как под влиянием расплавов щелочных металлов, фтора и трифторидом хлора, происходит полная деструкция.

Тефлон применяют в электротехнической, химической и пищевой промышленности, а также в медицине, в транспортных средствах, в военных целях, в основном в качестве покрытий. Высокую известность тефлон получил благодаря широкому применению в производстве посуды с антипригарным покрытием. Благодаря биологической совместимости с организмом человека ПТФЭ с высоким успехом применяется для изготовления имплантатов общей и сердечнососудистой хирургии, офтальмологии, стоматологии. Для производства искусственных сердечных стимуляторов и кровеносных сосудов, тефлон является наиболее пригодным материалом [14].

Ключевой проблемой улучшения функциональных свойств является модификация поверхности полимеров. В данной работе выбран метод ионной имплантации, который является одним из наиболее перспективных методов модификации поверхностных свойств диэлектрических материалов.

## **1.2 Особенности метода ионной имплантации для диэлектрических материалов**

Ионная имплантация (ионное внедрение, ионное легирование) — способ введения примесных атомов в твердое тело путем бомбардировки его поверхности пучком ускоренных ионов. При ионной бомбардировке мишени происходит проникновение ионов вглубь мишени. Внедрение ионов становится существенным при энергии ионов  $E > 1$  кэВ.

Движущиеся частицы в результате множественных столкновений постепенно теряют энергию, рассеиваются и в конечном итоге либо отражаются назад, либо останавливаются, распределяясь на глубине. Энергетические потери обусловлены как взаимодействием с электронами

мишени (неупругие столкновения), так и парными ядерными (упругими) столкновениями, при которых энергия передается атомам мишени в целом и резко изменяется направление движения частицы.

Процессы ионной имплантации были использованы впервые для моделирования процессов, протекающих в твердых телах при их радиационной обработке. Было установлено, что в результате внедрения 1 иона тяжелых элементов в поверхностный слой твердого тела число дефектов в  $10^6$  раз больше по сравнению с числом дефектов, образующихся в результате воздействия 1 нейтрона. Отсюда можно сделать вывод, что используя обработку поверхности ионами, можно в  $10^6$  раз снизить дозу облучения для получения такого же эффекта, значительно интенсифицировать процессы генерации радиационных повреждений и сократить, таким образом, продолжительность исследований по выбору радиационно-стойких материалов.

Ионная имплантация характеризуется следующими основными преимуществами:

- Возможность вводить (имплантировать) любую примесь, а также любой элемент Периодической таблицы Менделеева. Возможность легировать любой материал;
- Возможность вводить примесь при любой температуре подложки, от гелиевых температур до температур плавления включительно;
- Возможность вводить примесь в любой концентрации вне зависимости от ее растворимости в материале подложки;
- Высокая чистота процесса (процесс осуществляется в высоком вакууме); высокая автоматизация; широкие возможности в управлении ионным пучком, возможность локальной обработки;
- Возможность осуществления процесса при различных условиях и режимах, в том числе и при относительно низкой температуре поверхности;

— Возможность создания поверхностных слоев с высокими физико-механическими свойствами, которые трудно или даже невозможно получить другими методами обработки.

К основным недостаткам процесса ионной имплантации можно отнести:

- Образование в поверхностных слоях высокой концентрации дефектов. При высокой дозе облучения образуются даже аморфные слои. Для устранения дефектности проводят термическую обработку, в частности, кратковременный отжиг при температуре 400...700°C;
- Относительно сложное технологическое оборудование и низкая производительность процесса обработки [15].

Внедрение энергетических ионов в органические полимеры полностью изменяет их исходную высокомолекулярную структуру, что приводит к значительному изменению их механических и физико-химических свойств. В целом процесс модифицирования поверхностного слоя полимеров при ионной имплантации включает следующие основные стадии, соответствующие определенным дозам:

- Образование исходных структурных элементов для формирования карбонизированной фазы (углеродных кластеров малого размера, неопределенных соединений, макрорадикалов), протекающее на фоне радиационной сшивки полимера, выделения летучих компонентов и трансформации гетероатомных групп;
- Рост углеродных кластеров, сопровождающийся частичным включением гетероатомов в углеродные решетки;
- Образование связей между кластерами и их агрегация [16, 17].

Каждой из этих стадий соответствует определенное изменение состава поверхностного имплантированного слоя и его структурно-морфологических свойств. Электронно-микроскопическое исследование полимеров, имплантированных ионами, показало, что при высокой дозе

имплантации в полимерной мишени появляются углеродные образования, размер которых может достигать нескольких десятков нанометров. Установлено, что такие образования состоят из углеродных кластеров небольшого размера, причем для полимеров алифатического ряда характерен существенно меньший выход углеродных кластеров, чем для полимеров, содержащих сопряженные связи. Размер кластеров, образующихся при ионной имплантации умеренно энергетических ионов, не превышает нескольких нанометров. Образование развитой карбонизированной фазы при высоких дозах имплантации возможно за счет связывания отдельных углеродных кластеров. Образующиеся при ионной имплантации углеродсодержащие частицы армируют поверхность полимера вследствие чего значительно (в некоторых случаях в 50 – 70 раз) повышается микротвердость облученной поверхности [18, 19].

Микротвердость продуктов карбонизации определяется, прежде всего, характером связывания отдельных углеродных кластеров в агрегаты. Для достижения высоких значений микротвердости необходимо, чтобы бомбардирующие ионы теряли энергию преимущественно за счет электронных возбуждений (это обеспечивает формирование углеродных кластеров) при относительно небольших энергетических потерях в ядерных столкновениях. Изменение исходной структуры полимеров при ионной имплантации приводит к значительному изменению их плотности. Вследствие увеличения плотности полимера при ионной имплантации возрастает его коэффициент преломления  $n$ . В ряде случаев относительное увеличение коэффициента преломления может быть очень существенным. Так, для полиметилметакрилата (ПММА), теряющего при ионном облучении метоксильные группы и постепенно превращающегося в аналог сшитого полиэтилена, отношение  $\Delta n/n$  достигает 0,3 [20,21] при практически линейной зависимости коэффициента преломления от дозы имплантации, которая сохраняется вплоть до  $D \approx 10^{15}$  ион/см<sup>2</sup>, после чего полимер из-за

карбонизации начинает терять прозрачность. В случае оптически прозрачных полимерных пленок имплантация ведет к появлению наведенной окраски, которую можно наблюдать уже при дозе  $10^{13}$  ион/см<sup>2</sup>, причем с ростом дозы цвет образца меняется от бледно-желтого до темно-коричневого, а при высоких дозах имплантации ( $D > 5 \cdot 10^{14}$  ион/см<sup>2</sup>) полимерная поверхность приобретает характерный металлический блеск. Такому изменению окраски соответствует рост поглощения и постепенный сдвиг края поглощения в область длинных волн. Край полосы оптического поглощения ионно-имплантированного полимера сдвигается в длинноволновую область вследствие увеличения протяженности системы сопряжения в растущих углеродных кластерах. Это позволяет использовать данные оптических измерений для оценки размера  $\pi$ -углеродных кластеров, образующихся в ионно-имплантированном слое (точнее, наиболее крупных кластеров, участвующих в формировании длинноволнового края спектра поглощения). Таким образом, в спектрах оптического поглощения хорошо прослеживаются основные стадии формирования карбонизированной фазы при ионной имплантации.

Одно из наиболее серьезных последствий ионной имплантации – появление электропроводящих свойств у изначально диэлектрических полимеров. Электропроводность облученных ионами полимеров обусловлена образованием углеродсодержащих структур в ионно-имплантированном слое. По мере накопления дозы ионного облучения в имплантированном слое возникает система проводящих островков, разделенных потенциальными барьерами. Проводимость ионно-имплантированного слоя сильно зависит от деталей строения карбонизированной фазы (размера углеродных кластеров, характера их связывания в агрегаты, наличия гетероатомов). Поэтому электрическое сопротивление различных полимеров, подвергнутых ионной имплантации в одинаковых условиях, может отличаться на несколько порядков. Значение проводимости ионно-имплантированного слоя

определяется также условиями имплантации, в частности энергией имплантируемых ионов. Общей тенденцией является увеличение проводимости облученных полимеров с ростом энергии имплантируемых ионов, причем наибольшие значения проводимости наблюдаются при передаче энергии от бомбардирующих ионов преимущественно по «электронному» механизму. Таким образом, возможность инициирования при ионном облучении существенно различающихся радиационных и радиационно-пиролитических процессов (сшивка – деструкция полимерных цепей при низкой дозе имплантации и карбонизация полимера при высокой дозе имплантации) позволяет управлять механическими, оптическими и электропроводящими свойствами поверхности полимера или тонких полимерных пленок [22,23,24].

В настоящее время проявляется огромный интерес исследователей к методу ионной имплантации полимеров. Это связано с тем что, полимеры обладают особыми механическими свойствами, такими как, эластичность, малая хрупкость стеклообразных и кристаллических полимеров, способность макромолекул к ориентации под действием направленного механического поля. На некоторые свойства полимеров, такие, как стабильность, способность к вязкому течению и растворимость, можно легко влиять при помощи добавления примесей и добавок в небольшом количестве [25].

Большая часть работ посвящена такому полимеру (мишени), как полиэтилентерефталат (ПЭТФ). Для модификации свойств этого материала, методом ионной имплантации, используются различные ионы.

В работе Ю.А. Бумай и др. [26], в качестве мишени был выбран полиэтилентерефталат (ПЭТФ), а бомбардировка осуществлялась ионами серебра. Энергия ионного пучка была равной 30 кэВ в интервале доз  $D = 1 \cdot 10^{16} - 1,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  при плотности ионного тока  $j = 4,0 \text{ мкА/см}^2$ . В имплантированных образцах ПЭТФ коэффициент пропускания значительно уменьшается с 80 до 45% при  $\lambda = 620 \text{ нм}$  уже при наименьшей дозе

имплантации, что связано как с процессами карбонизации облученного полимера, так и с превышением предела растворимости имплантируемого металла, т.е. с формированием металлических включений.

В работе D. Finki др. [27] при высокой дозе облучения пленок ПЭТФ ионами  $V^+$  с энергией связи 50 мэВ в имплантированном слое формируются нанокластеры размером 6-7 нм, расположенные на расстоянии  $\sim 13$  нм друг от друга и объединенные в сферические агрегаты диаметром до 50 нм.

В работе С.А. Вабищевич и др. [28] изучено влияние имплантации ионов никеля на поверхностные свойства полиэтилентерефталата (ПЭТФ) и полиимида (ПИ). Имплантация проведена при условии: энергия ионного пучка 40 кэВ в интервале доз  $D = 1 \cdot 10^{16} - 1,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ . В результате исследования, установлено, что с ростом дозы имплантации происходит кардинальное изменение морфологии новообразований на поверхности полимера – наблюдается переход от отдельных конусообразных островков к сплошной лабиринтообразной структуре, резкое увеличение (в 5 – 8 раз) шероховатости поверхности, а также переход от пластичного к хрупкому поведению имплантированного полимерного материала.

Работа Д.В. Свиридова [29] посвящена исследованию имплантации низкоэнергетических ионов кремния, алюминия и иттрия в полиимид (ПИ). Имплантация ионов происходила с умеренной энергией ( $\sim 30$  кэВ и низкой дозы имплантации ( $D < 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ). Данные условия приводят к подавлению эрозии поверхности полиимида. Налетающие ионы передают полимерной матрице значительную энергию, однако наблюдающиеся при этом карбонизация полимерной поверхности не сводится к простой «графитизации» полимера в пределах трека тормозящегося иона.

### **1.3 Модификация поверхности поливинилового спирта и политетрафторэтилена методом ионной имплантации**

Интересной для практических целей является работа Praveena S. Dhola и др. [30], посвященная имплантации ионов натрия в поливиниловый спирт (ПВС). В ходе исследования была использована энергия ионного пучка 8 МэВ, в дозе до 300 кГр на воздухе при комнатной температуре. Как следует из результатов инфракрасной спектроскопии, появляется новый пик поглощения при 273 нм, а при дальнейшем увеличении дозы имплантации он достигает 279 нм. Также слегка уменьшается диэлектрическая проницаемость в дозе диапазона 0-50 кГр, а затем, постепенно увеличивается при более высоких дозах. Тем не менее, его значение остается почти постоянным.

В работе М. Ramakrishna Murthy и Е. Venkateshwar Rao [31], рассматривалась имплантация ионов гелия в поливиниловый спирт (ПВС). Условия имплантации: энергия ионного пучка 150 КэВ, ток 500 Ма и мощность дозы  $1 \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>, при комнатной температуре при сверхвысоком вакууме (10<sup>-8</sup> Мбар) в течение нескольких секунд. Из результатов видно, что происходит уменьшение поверхностной проводимости, а также происходит упорядоченное выравнивание макромолекул после облучения.

В работе V.N. Bhoraskar и др. [32] полимерной мишенью являлся поливиниловый спирт (ПВС), а имплантированным ионом – золото. Энергия ионного пучка была равной 30 кэВ, ток 100 мА, мощность дозы в диапазоне от 0 до  $2,4 \cdot 10^{15}$  ион/см<sup>2</sup>. Как следует из результатов инфракрасной спектроскопии, пик плазменного поглощения смещается от 539 нм до 530 нм. Золотые наночастицы образуют в ПВС матрице кратеры, которые имеют размеры до 60 нм.

В работе Колвелла Дж. М. и др. [33] проводили сравнительное исследование влияния имплантации ионов N<sub>2</sub><sup>+</sup>, Ar<sup>+</sup> и Ca<sup>+</sup> с дозами  $1 \cdot 10^{15}$  и



$1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup> и энергией 30 кэВ на химическую и физическую структуру подкожно-расширяющегося материала (ПРМ, микропористый ПТФЭ) и беспористого ПТФЭ. Методом РФА установлено протекание химических процессов разрыва и образования связей, сопровождающихся изменением структуры материалов. После имплантации значительно снижается атомное соотношение F/C в обоих типах материалов, причем эффект усиливается с увеличением дозы. В исходном состоянии это соотношение больше для пористого образца. Наименьшее значение соотношения F/C для беспористого образца ПТФЭ наблюдается после имплантации ионов кальция. Результаты исследования методом РФЭС показали, что после имплантации спектры обоих типов материалов претерпели значительные изменения. Количество связей -C-C больше в беспористом имплантированном образце, чем в пористом. При этом количество -C-C связей в структуре полимерного материала также увеличивается с увеличением дозы. Это объясняется тем, что формирование углерода начинается при дозе  $1 \cdot 10^{15}$  ион/см<sup>2</sup>, а графита – при дозах выше  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>. Кроме того, этот эффект может быть обусловлен увеличением плотности ионного тока при повышении дозы облучения, поскольку величина плотности ионного тока влияет на степень нагревания облучаемого материала, вплоть до возникновения процессов пиролиза. Результаты СЭМ показали, что произошли изменения в топографии поверхности образцов, эти изменения не зависят от природы имплантируемых ионов, однако усиливаются с повышением дозы облучения. Поверхность непористого ПТФЭ становится более развитой и шероховатой, что может способствовать лучшему его внедрению в кость при операции на живом организме. Краевой угол смачивания непористого материала уменьшается при дозе  $1 \cdot 10^{15}$  ион/см<sup>2</sup>, но увеличивается при дозе  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>. Смачиваемость пористого материала существенно не изменяется. Повышение шероховатости поверхности повышает гидрофобность материала. Химическая структура поверхности также оказывает влияние на

краевой угол смачивания. Однако доминирующим фактором изменения смачиваемости поверхности является шероховатость. Согласно данным спектроскопии резерфордовского рассеяния быстрых электронов, кальций сохраняется в непористом ПТФЭ после имплантации, тогда как аргон и азот не регистрируются данным методом.

В работе P. Sommani и др. [34] модифицировали поверхностные физические свойства ПТФЭ для улучшения процесса адгезии стволовых клеток. Ионы углерода внедряли в пластины ПТФЭ с дозами  $1 \cdot 10^{14}$ – $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup> и энергией 5-20 кэВ. Методами измерения краевого угла смачивания и РФЭС-анализа исследовали смачиваемость и энергию межатомного взаимодействия функциональных групп модифицированной поверхности. Краевой угол смачивания уменьшился с исходного значения 104° до 88° для имплантированного образца с дозой  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>, при этом пик энергии связи C1s спектра сместился с 292,5 эВ до 285 эВ с образованием длинного хвоста в левой стороне пика. Изменение положения пика в РФЭС спектрах связано с уменьшением -C-F<sub>2</sub> связей, увеличением связи -C-C и образованием гидрофильных кислородных функциональных групп -ОН и -C=О связей после имплантации. После культивирования мезенхимных стволовых клеток крысы в течение 4 дней, свойства клеточной адгезии имплантированных углеродом образцов ПТФЭ изучали с помощью флуоресцентного микроскопа с травлением клеточных ядер и актинических волокон (F-актинов). Четкий отпечаток клеточной адгезии на поверхности ПТФЭ наблюдался при имплантации с дозой  $1 \cdot 10^{15}$  ион/см<sup>2</sup> и энергией 5-10 кэВ. При более низких ( $3 \cdot 10^{14}$  ион/см<sup>2</sup>) и более высоких ( $3 \cdot 10^{15}$  ион/см<sup>2</sup>) дозах наблюдался редкий и неконтролируемо высокий рост клеток, соответственно. Таким образом, методом имплантации отрицательно заряженных ионов углерода удалось улучшить смачиваемость поверхности ПТФЭ для контролирования клеточной адгезии.

В работе Суи Ю.В. [35] объектом исследования был ПТФЭ, на который, после имплантации ионами никеля с разными энергиями и дозами, наносили металлическое покрытие путем селективного электролитического омеднения. Проводили измерения коэффициента трения полученных образцов (в зависимости от температуры отжига и прилагаемой нагрузки). Ионная имплантация в данном случае является подготовительной обработкой материала перед электролитическим нанесением медного покрытия. После всех обработок проводили отжиг, который способствовал улучшению плотности и единообразия покрытий и снижению пор. Таким образом, после имплантации наблюдалось повышение фрикционных характеристик медного покрытия. На ранней стадии электролитического омеднения была обнаружена плотная структура гомогенная зерен, средний размер которых составлял 426 нм. На последних стадиях омеднения размер зерен составлял 2-4 мкм, структура становилась более рыхлой, началось образование пор. Размер зерна и плотность медной пленки постепенно увеличивались с ростом температуры отжига. При отжиге с высокой температурой энергия атомов в пленке становится достаточно высокой для их перемещения, что вызывает рост зерна. Соответственно, сокращаются полости между зерен, точечные дефекты и межзеренные границы, таким образом, повышается плотность медной пленки.

В работе Ali Atta [36] пленки ПТФЭ подвергали облучению ионами аргона с энергией 3 кэВ в интервале доз  $0,5 \cdot 10^{18} \div 2 \cdot 10^{18}$  ион/см<sup>2</sup> в условиях вакуума. Исследование изменений структуры, морфологии и смачиваемости поверхности ПТФЭ проводили с помощью методов ИК-спектроскопии с Фурье-преобразованием (ИКСФП), сканирующей электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии и силовой спектроскопии, а также измерением краевого угла смачивания. ИКСФП анализ показал, что после ионно-лучевого воздействия происходит обесфторивание поверхности ПТФЭ вследствие разрыва -C-C и -C-F связей. Обнаружено, что краевой угол

смачивания постепенно уменьшается с увеличением дозы облучения, кроме того, установлено, что влажность окружающей среды влияет на измерения краевого угла. Результаты экспериментов показали, что химические связи, морфология и смачиваемость поверхности ПТФЭ зависят от дозы облучения ионами аргона.

В работе M. Adami [37] изучали влияние ионного пучка на образцы ПТФЭ путем изменения ионной плотности энергии при различных температурах образца. Фторопластовые подложки облучают ионами с энергией 160 кэВ в диапазоне доз от  $1 \cdot 10^{14}$  и  $4 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>. Обработанные образцы были исследованы посредством Рамановской спектроскопии (спектроскопия комбинационного рассеяния). При исследовании имплантированной поверхности ПТФЭ установлено, что Рамановские спектры сдвигаются с 579 до 597 см. Морфология, исходных и имплантированных образцов ПТФЭ наблюдалась с помощью СЭМ. Исследование показало, что необработанные образцы имеют гладкую поверхность, однако у имплантированных образцов топология поверхности существенно изменилась только при повышении дозы до  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>. Энергодисперсионный рентгеновский анализ свидетельствует об обесфторивании поверхности.

В работе Jizhong Zhanga [38] образцы политетрафторэтилена были имплантированы в вакууме ионами азота. Исследовано влияние параметров эксперимента различной энергии ионов от 2 до 20 кэВ с дозой облучения  $1,4 \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>. Показано, что увеличение энергии ионов значительно влияет на структуру поверхности, состав, микроструктуру и смачиваемость ПТФЭ. Содержание различных химических связей меняется с увеличением энергии имплантируемых ионов. Содержание элементарной углеродной связи достигло максимального значения 45,81% на поверхности образца, имплантированного с ионной энергией 5 кэВ. Краевой угол смачивания имплантированных образцов постепенно увеличивается с увеличением

энергии ионов, и достигает максимального значения  $117,48^\circ$  на поверхности образца, имплантированного с энергией ионов 20 кэВ.

Таким образом, проведенный литературный обзор показал, что физико-химические, морфологические и функциональные свойства поверхности полимерных материалов зависят, как от природы имплантируемых ионов, так и от дозы облучения ионами. Исследование таких полимеров, как ПВС и ПТФЭ, в области ионной имплантации в настоящий момент изучено не до конца. Имеющиеся данные по ионной имплантации имеют разрозненный характер; не проведены комплексные исследования по изучению структуры и различных свойств ПВС и ПТФЭ после ионной имплантации. Поэтому актуальным является изучение влияния имплантации ионов различной природы на процессы в условиях имплантации и поверхностные физико-химические и механические свойства поливинилового спирта и политетрафторэтилена.

Таблица 1.1 – Модификация полимерных материалов методом ионной имплантации.

Полимер	Ионы	Условия имплантации	Результаты	Источник
ПЭТФ	$Ag^+$	Энергия =30кэВ, $D = 1 \cdot 10^{16}$ - $1,5 \cdot 10^{17}$ $см^{-2}$ , $j = 4.0$ мкА/ $см^2$ .	Коэффициент пропускания значительно уменьшается с 80 до 45% при $\lambda = 620$ нм.	[26]
ПЭТФ	$B^+$	При высокой дозе облучения с энергией связи 50 Мэв.	Формируются нанокластеры размером 6-7 нм.	[27]
ПЭТФ и ПИ	$Ni^+$	Энергия =40 кэВ, $D = 1 \cdot 10^{16}$ - $1,5 \cdot 10^{17}$ $см^{-2}$ .	Резкое увеличение (в 5...8 раз) шероховатости поверхности.	[28]
ПИ	$Si^+$ , $Al^+$ , $Y^+$ , $Y^{+2}$ , $Y^{+3}$	Энергия ~30 кэВ, $D < 10^{15}$ $см^{-2}$ .	Приводит к подавлению эрозии поверхности полимида.	[29]
ПВС	$Na^+$	Энергия = 8 МэВ, $D < 300$ кГр, на воздухе при комнатной температуре.	В ИК-спектрах появляется новый пик поглощения при 273 нм, а при увеличении дозы облучения достигает 279 нм. Диэлектрическая проницаемость уменьшается в дозе диапазона 0-50 кГр, и увеличивается при более высоких дозах.	[30]
ПВС	$He^+$	Энергия =150 КэВ, $j =500$ Ма, $D=1 \cdot 10^{17}$ ион/ $см^2$ , при комнатной температуре при сверхвысоком вакууме 10-8 Мбар.	Уменьшение поверхностной проводимости. Выстраивается упорядоченное выравнивание макромолекул.	[31]
ПВС	$Au^+$	Энергия= 30 КэВ, ток 100 Ма, $D=0-24 \cdot 10^{15}$ ион/ $см^2$ .	Пик плазменного поглощения смещается от 539 нм до 530 нм.	[32]

Продолжение таблицы 1.1.

ПТФЭ	$N_2^+$ , $Ar^+$ , $Ca^+$	$D= 1 \cdot 10^{15}$ и $1 \cdot 10^{16}$ ион/см <sup>2</sup> с энергией 30 кэВ.	Снижается атомное соотношение F/C.	[33]
ПТФЭ	C-	$D=1 \cdot 10^{14} - 1 \cdot 10^{16}$ ион/см <sup>2</sup> с энергией 5-20 кэВ.	Уменьшение $-C-F_2$ связей, с одновременным увеличением связи $-C-C$ и образованием гидрофильных кислородных функциональных групп $-OH$ и $-C=O$ связей	[34]
ПТФЭ	$Ni^+$	После имплантации с разными энергиями и дозами, наносили металлическое покрытие путем селективного электролитического меднения	Повышение фрикционных характеристик медного покрытия.	[35]
ПТФЭ	$Ar^+$	$D= 0,5 \cdot 10^{18} \div 2 \cdot 10^{18}$ ион/см <sup>2</sup> , с энергией 3 кэВ в условиях вакуума.	Обесфторивание поверхности ПТФЭ вследствие разрыва $-C-C$ и $-C-F$ связей.	[36]
ПТФЭ		$D=1 \cdot 10^{14} \div 4 \cdot 10^{16}$ ион/см <sup>2</sup> с энергией 160 кэВ.	Рамановские спектры сдвигаются с 579 до 597 см. Обесфторивание поверхности.	[37]
ПТФЭ	$N^+$	Энергия ионов от 2 до 20 кэВ, $D=1,4 \cdot 10^{17}$ ион/см <sup>2</sup> .	Установлено протекание химических связей $-CF_3$ , $-CF_2$ , $-CF$ , $-C-O$ на поверхности всех имплантированных образцов.	[38]

## **2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **2.1. Получение полимерных образцов**

В ходе работы были исследованы полимерные материалы - поливиниловый спирт (ПВС) и политетрафторэтилен (ПТФЭ), что обусловлено перспективой их использования в первую очередь в медицинских целях благодаря их нетоксичным, биосовместимым, термопластичным свойствам.

На основании анализа литературных данных обоснован выбор имплантируемых ионов различной природы (металл - серебро, неметалл - углерод, газ - аргон). Для генерации ионов аргона была проведена модернизация источника ионов на основе вакуумного дугового разряда MEVVA-5.Ru и осуществлен переход к функционированию разрядной системы ионного источника в режиме тлеющего разряда с полым катодом. Имплантацию ионов Ag, Ag и C проводили до достижения экспозиционных доз  $1 \cdot 10^{14}$ ,  $1 \cdot 10^{15}$  и  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup> при ускоряющем напряжении 20 кВ.

Поливиниловый спирт (ПВС) ( $[-\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})-]_n$ ) молекулярной массы 85-124 т. гр/моль получали путем растворения гранул ПВС в воде при 90°С с образованием 10% раствора, из которого затем формировали пленки толщиной ~ 1 мм путем удаления растворителя просушиванием при комнатной температуре в чашке Петри.

Образцы ПТФЭ( $[-(\text{C}_2\text{F}_4)-]_n$ ) были изготовлены из листа фторопласта размером 1x1 см.

### **2.2 Проведение ионной имплантации образцов ПВС и ПТФЭ**

Исследования образцов ПВС и ПТФЭ производились с применением ионного источника Mevva 5.Ru на основе вакуумного дугового разряда [



39]. Ток вакуумной дуги не превышал 400 А при длительности импульса 250 мкс и частоте импульсов 10 Гц. Имплантацию ионами аргона, углерода и серебра осуществляли до достижения экспоненциальных доз  $1 \cdot 10^{14}$ ,  $1 \cdot 10^{15}$ ,  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup> при ускоряющем напряжении 20 кВ. Измерение зарядовых состояний ионов проводили при помощи времяпролетного масс-зарядного спектрометра [40]. С учётом средней зарядности ионов серебра  $\langle Q \rangle_{\text{Ag}}$  в плазме вакуумного дугового разряда равной 2, средняя энергия ионов Ag в пучке составляла 40 кэВ. В случае применения углерода в качестве материала катода вакуумного дугового разряда, средняя зарядность ионов углерода составляет  $Q_{\text{C}}=1$ . Таким образом, средняя энергия ионов углерода соответствовала значению 20 кэВ. Для проведения имплантации ионов аргона был осуществлен переход к функционированию разрядной системы ионного источника в режиме тлеющего разряда с полым катодом [41]. Средняя энергия ионов аргона с учетом их средней зарядности  $\langle Q \rangle_{\text{Ar}}=1$  составляла 20 кэВ. Скорость набора экспозиционной дозы и средняя плотность мощности регулировали током ионного пучка и частотой следования разрядных импульсов. Величины скорости набора дозы и средней плотности мощности составляли  $1 \cdot 10^{11}$  ион/(см<sup>2</sup>·с) и 0.5 мВт/см<sup>2</sup>, соответственно. В процессе обработки ионными пучками образцы фиксировались на поверхности водоохлаждаемого коллектора. Их температура не превышала 20 °С. Рабочее давление поддерживалось криогенным насосом на уровне  $1 \cdot 10^{-6}$  Торр. Фотографии экспериментальной установки и ионного источника представлены на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Фотографии экспериментальной установки (слева) и ионного источника (справа).

Таблица 2.1 – Условия ионной имплантации полимерных материалов

Полимерные материалы	Имплантируемые ионы	Экспозиционные дозы, $D_i$ , ион/см <sup>2</sup>	Ускоряющее напряжение, $U_{acc}$ , кВ	Длительность импульса, $\tau$ , мкс	Частота следования импульсов, $f$ , Гц	Ток вакуумной дуги, $I_d$ , А	Рабочее давление, $P$ , Торр	Скорость набора дозы, ион/(см <sup>2</sup> ·с)
ПВС 1	Ag	$1 \cdot 10^{14}$	20	250	1	200	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{11}$
ПВС 2		$1 \cdot 10^{15}$						
ПВС 3		$1 \cdot 10^{16}$						
ПВС 4	Ar	$1 \cdot 10^{14}$	20	250	1	200	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{11}$
ПВС 5		$1 \cdot 10^{15}$						
ПВС 6		$1 \cdot 10^{16}$						
ПВС 7	C	$1 \cdot 10^{14}$	20	250	1	200	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{11}$
ПВС 8		$1 \cdot 10^{15}$						
ПВС 9		$1 \cdot 10^{16}$						
ПТФЭ 1	Ag	$1 \cdot 10^{14}$	20	250	1	200	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{11}$
ПТФЭ 2		$1 \cdot 10^{15}$						
ПТФЭ 3		$1 \cdot 10^{16}$						
ПТФЭ 4	Ar	$1 \cdot 10^{14}$	20	250	1	200	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{11}$
ПТФЭ 5		$1 \cdot 10^{15}$						
ПТФЭ 6		$1 \cdot 10^{16}$						
ПТФЭ 7	C	$1 \cdot 10^{14}$	20	250	1	200	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{11}$
ПТФЭ 8		$1 \cdot 10^{15}$						
ПТФЭ 9		$1 \cdot 10^{16}$						

## 2.3 Методы исследования физико – химических свойств

Физико-химические свойства образцов ПВС и ПТФЭ до и после ионной имплантации исследовали путем изучения элементного и фазового состава, морфологии, смачиваемости и функциональных свойств имплантированных полимерных образцов.

Структурные характеристики ПВС и ПТФЭ изучали методом инфракрасной спектроскопии (ИК-спектроскопии) при помощи ИК-Фурье спектрометра Nicolet 5700 на приставке однократного НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения) разрешение  $4\text{см}^{-1}$ .

Элементный состав поверхности исследовался методом рентгеновской фотоэмиссионной спектроскопии (РФЭС) с помощью RНХ-tool automated XPS microprobe. Образцы устанавливали на держатель с помощью проводящей углеродной или медной ленты. Для РФЭС анализа использовали монохромный источник рентгеновского излучения с рентгеновским пятном размером 400 мкм. В процессе анализа использовали стандартную систему компенсации заряда с низкой энергией электронов и ионов ( $\approx 0,1$  эВ).

Фазовый состав образцов исследовали на рентгеновском дифрактометре XRD-7000S, Shimadzu в облучении  $K_{\alpha}\text{Cu}$ с длиной волны 1,54 Å.

Микротвердость измеряли при помощи нанотвердомера Nanotest 600 в режиме индентирования при нагрузке 0,5 мН и глубине проникновения индентора до 400 нм.

Поверхностное сопротивление измерялось при помощи тераомметра Е6-13А в диапазоне от 10<sup>6</sup> до 10<sup>14</sup> Ом с погрешностью измерений до  $\pm 10\%$ . Прибор позволяет проводить измерение сопротивления при относительно малом (не более 100 В) напряжении, прикладываемом к измерительным электродам. Минимизировалось влияние поляризации материала исследуемого образца, и, следовательно, абсорбционного тока, на процесс

измерения сопротивления. Схема измерения поверхностного сопротивления представлена на рисунке 2.2. В качестве контактов (электродов) использовался листовая вспененный графит в виде пластин, плотно прижатых к полимерному образцу. Значения удельного поверхностного сопротивления рассчитывались по формуле:

$$\rho = R \cdot \frac{b}{l}$$

где  $R$  – измеренное сопротивление,  $b$  – длина контактов,  $l$  – расстояние между контактами [42].

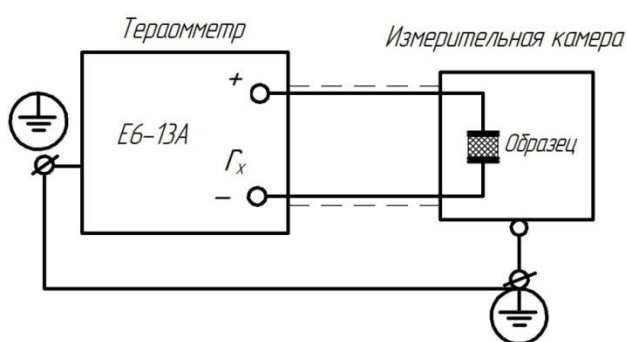


Рисунок 2.2 – Схема измерения поверхностного сопротивления с помощью тераомметра E6-13A

Для оценки смачивания поверхности ПВС и ПТФЭ проводили измерение краевых углов при контакте с этиленгликолем и глицерином методом лежащей капли и последующий расчет поверхностной энергии с помощью ПО DSA1 на приборе EasyDrop (KRUSS). Сначала измеряли краевые углы согласно уравнению Юнга:

$$\sigma_{тг} = \sigma_{гж} + \sigma_{жг} \cos\theta$$

где  $\theta$  – краевой угол,  $\sigma_{тг}$ ,  $\sigma_{гж}$ ,  $\sigma_{жг}$  – коэффициенты поверхностного натяжения на границах твердое тело-газ, твердое тело-жидкость, жидкость-газ, соответственно.

Затем проводился расчет поверхностной энергии согласно уравнению Оуэнса-Вендта:

$$\frac{\sigma_{\text{ж}} \cdot (\cos\theta + 1)}{2\sqrt{\sigma_{\text{ж}}^{\text{D}}}} = \frac{\sqrt{\sigma_{\text{ТВ}}^{\text{P}}} \cdot \sqrt{\sigma_{\text{ж}}^{\text{P}}}}{\sqrt{\sigma_{\text{ж}}^{\text{D}}}} + \sqrt{\sigma_{\text{ТВ}}^{\text{D}}},$$

где  $\theta$  – краевой угол,  $\sigma_{\text{ж}}^{\text{D}}$ ,  $\sigma_{\text{ТВ}}^{\text{D}}$ ,  $\sigma_{\text{ж}}^{\text{P}}$ ,  $\sigma_{\text{ТВ}}^{\text{P}}$  – дисперсионная и полярная составляющие для жидкости и твердого тела,  $\sigma_{\text{ж}}$  – полная поверхностная энергия для тестовой жидкости.

Морфологию поверхности образцов ПВС и ПТФЭ исследовали методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) с помощью зондовой нанолаборатории NTEGRA Aura.

Топографический анализ поверхности и анализ структуры образцов проводили методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с помощью системы с электронным и сфокусированными пучками Quanta 200 3D. Для осуществления компенсации заряда с поверхности образцов перед исследованием наносили токопроводящее графитовое покрытие методом магнетронного распыления.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Б22	Лапуть Олесе Александровне

<b>Институт</b>	<b>ИФВТ</b>	<b>Кафедра</b>	<b>НМНТ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	Материаловедение и технологии материалов

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

<b>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</b>	МТБ для проведения исследования является лаборатория ИСЭ СО РАН. Человеческие ресурсы НИР: сотрудники лаборатории (2 чел.)
<b>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</b>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
<b>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</b>	Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<b>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</b>	- Техничко-экономическое обоснование научно-исследовательской работы, - Swot-анализ НТИ - Определение потенциальных потребителей результатов исследования
<b>1. Планирование и формирование бюджета научных исследований</b>	- Определение трудоемкости выполнения работ, разработка графика проведения НИ, - Формирование бюджета НТИ
<b>2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</b>	- Оценка научно-технического уровня исследования

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Матрица SWOT 2. График проведения и бюджет НИ
---

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Елена Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4Б22	Лапуть Олеся Александровна		

## **4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕССУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

В данной научно-исследовательской работе проводится исследование влияния имплантированного иона на физико-химические свойства поливинилового спирта и политетрафторэтилена. Ионная имплантация является одним из наиболее перспективных методов модификации поверхностных свойств материалов. Необходимость и актуальность изучения этого явления диктуется, как требованиями практики, так и научной важностью проблемы.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности исследования, планирование процесса управления НИР, определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки НТИ;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет НТИ;
- определить научно-технический уровень НИР.

### **4.1 Потенциальные потребители результатов исследования, выбор структурной схемы и оценка научно-технического потенциала**

#### **4.1.1 Технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы**

В настоящее время в качестве потенциальных потребителей результатов исследования могут выступать научно-исследовательские институты и лаборатории, работающие с ионно-модифицированными

полимерами, также машиностроительные и авиастроительные предприятия, медицинские учреждения, использующие ПВХ и ПТФЭ в своем производстве.

Широкое применение данные материалы получили в современной медицине. Изделия, изготовленные для медицинской техники, обладают более низкой стоимостью по сравнению с изделиями из металлов и сплавов.

Большое внимание в производстве уделяется получению биосовместимых, экологически чистых полимеров. ПВХ относится к классу биоразлагаемых полимеров, которые широко применяются в современном мире в качестве адгезионного агента и сгустителя в клеях и шампунях, как эмульгатор в пищевой промышленности, в растворах для контактных линз и глазных капель, как лубрикант, как волокно для арматуры в бетонах, и конечно в современной медицине для производства саморассасывающихся хирургических нитей и трубок сердечно-сосудистой системы.

Политетрафторэтилен применяют в электротехнической, химической и пищевой промышленности, а также в медицине, в транспортных средствах, в военных целях, в основном в качестве покрытий. Благодаря биологической совместимости с организмом человека ПТФЭ с высоким успехом применяется для изготовления имплантатов общей и сердечнососудистой хирургии, офтальмологии, стоматологии. Для производства искусственных сердечных стимуляторов и кровеносных сосудов, ПТФЭ является наиболее пригодным материалом.

Ключевой проблемой является модификация поверхности полимеров, но в данной работе выбран метод ионной имплантации, потому что он является одним из наиболее перспективных методов модификации поверхностных свойств материалов.



#### 4.1.2 SWOT-анализ НТИ

SWOT – анализ позволяет оценить факторы и явления способствующие или препятствующие достижению успеха научного исследования. [43]

Сильные и слабые стороны исследования представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
<p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Простота использования метода.</p> <p>С3. Большой объем и доступность сырья (поливинилового спирта и политетрафторэтилена).</p> <p>С4. Есть спрос по разрабатываемой теме.</p> <p>С5. Экологичность технологии. Не несет каких-либо вредных воздействий на окружающую среду.</p> <p>С6. Невысокая стоимость исходного сырья.</p>	<p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2. Использование современного оборудования ИСЭ СО РАН.</p> <p>В3. Возможность выхода на рынок и начала поставок.</p> <p>В4. Возможность поддержания проекта РФФИ.</p>
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
<p>Сл1. Необходимо четко следовать инструкции.</p> <p>Сл2. Небольшое количество потенциальных потребителей.</p> <p>Сл3. Подготовка нескольких образцов.</p> <p>Сл4. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p>	<p>У1. Возможность создание более доступного в цене аналогового метода;</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У2. Производители с более развитыми технологиями и низкими издержками;</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства;</p> <p>У4. Изменения направления работы лаборатории.</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей

среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта							
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	B1	+	+	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+	+	+
	B3	+	-	+	+	+	-
	B4	+	+	+	+	+	+

Проведен комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Самое большое негативное влияние оказывает возможность создания более доступного в цене аналогового метода модификации полимеров, что на данном этапе не прогнозируется, поскольку данный метод – ионная имплантация, оснащен большим количеством решаемых задач и является наиболее удобным, целесообразным в использовании. Неотъемлемым плюсом считается, экологичность данной технологии, которая не несет каких-либо вредных воздействий на окружающую среду.

Что касаясь слабых сторон, то ионная имплантация имеет небольшое количество потенциальных потребителей, но с развитием технологий, данная слабая сторона регулируется сама собой. Так же данный метод модификации не исключает фактор человеческой ошибки, т.к. всю работу нужно проводить по инструкции. Для точности и подтверждения полученных данных и последующей верной интерпретации необходимо подготавливать несколько образцов, что делает процесс исследованием немного дольше.

#### 4.1.3 Планирование работ по научно-техническому исследованию

Планирование НТИ – это составление календарных планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а так же трудовых и материальных ресурсов.

Трудоемкость выполнения ВКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения трудоемкости выполнения проекта составим перечень основных этапов работы написания ВКР (таблица 4.3).

Работу выполняло 2 человека: руководитель, студент-дипломник.

Таблица 4.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

<b>Основные этапы</b>	<b>№ работы</b>	<b>Содержание работы</b>	<b>Должность исполнителя</b>
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение задания НИР	Руководитель, студент-дипломник
<b>Проведение НИР</b>			
Выбор направления исследования	2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Студент-дипломник
	3	Выбор моделей и способов анализа	Студент-дипломник, руководитель
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент-дипломник
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка моделей для исследования	Руководитель, студент-дипломник
	6	Поиск методов решения	Студент-дипломник
	7	Реализация моделей	Студент-дипломник,
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов, выводы	Студент-дипломник
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент-дипломник
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник

#### 4.1.4. Определение трудоемкости работ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле [44]:

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 4}{5} = 2,2 \approx 2,$$

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

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} = \frac{2}{1} = 2,$$

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.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k = 2 \cdot 1,5 = 3,$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

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

$k$  – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кГ}}{T_{кГ} - T_{вД} - T_{пД}},$$

где  $T_{кГ}$  – количество календарных дней в году;

$T_{вД}$  – количество выходных дней в году;

$T_{пД}$  – количество праздничных дней в году

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{кГ}}{T_{кГ} - T_{вД} - T_{пД}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45 \approx 1,5$$

Результаты сведем в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Временные показатели проведения ВКР

№ раб.	Исполнители	Продолжительность работ				
		$t_{\min}$ чел-дн.	$t_{\max}$ чел-дн	$t_{\text{ож}}$ чел-дн	$T_p$ раб.дн	$T_k$ кал.дн
1	Руководитель, студент-дипломник	1	4	2	2	3
2	Студент-дипломник	10	30	18	18	27
3	Студент-дипломник, руководитель	2	5	3,2	3,2	4,8
4	Руководитель, студент-дипломник	4	9	6	6	12,6
5	Руководитель, студент-дипломник	7	14	9,8	9,8	14,7
6	Студент-дипломник	4	12	7,2	7,2	10,8
7	Студент-дипломник,	3	10	5,8	5,8	8,7
8	Студент-дипломник	1	5	2,6	2,6	3,9

Продолжение таблицы 4.4

9	Руководитель, студент-дипломник	2	10	5,2	5,2	7,8
10	Студент-дипломник	2	7	4	4	6
Итого						99,3

В таблице 4.5 приведен календарный план разработки проект в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 4.5 – Календарный план-график проведения работ по теме ВКР

Этап	Вид работы	Исполнители	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение задания НИР	Руководитель, студент-дипломник					
2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Студент-дипломник					
3	Выбор моделей и способов анализа	Студент-дипломник, руководитель					
4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент-дипломник					
5	Разработка моделей для исследования	Руководитель, студент-дипломник					
6	Поиск методов решения	Студент-дипломник					
7	Реализация моделей	Студент-дипломник,					
8	Анализ	Студент-					

	полученных результатов, выводы	дипломник																		
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент-дипломник																		
10	Составление пояснительной записки, Сдача результатов НИР	Студент-дипломник																		

 - руководитель,  - студент-дипломник.

Для построения таблицы временных показателей проведения НИР был рассчитан коэффициент календарности. С помощью данных показателей был разработан календарный план - график проведения НИР по теме. Календарный план разработки проекта составлен с учетом всех выходных и праздничных дней. На разработку данного проекта потребуется 99 рабочих дней.

#### 4.2 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

##### 4.2.1 Расчет материальных затрат НТИ

Рассчитываем смету расходов, включая затраты на приобретение необходимого оборудования для разработки проекта и текущие расходы. Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам.компл.техн}} + I_{\text{з/плл}} + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}}$$

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции,

образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции.

Рассчитываем материальные затраты ( $I_{\text{мат}}$ ). Результаты расчета сведем в таблицу 4.6.

$$I_{\text{мат}} = K_{\text{ПВС}} + K_{\text{ПТФЭ}} + K_{\text{бум}} + K_{\text{ПК}} + K_{\text{принт}} + K_{\text{инт}} + K_{\text{перч}} + K_{\text{тет}} + K_{\text{карт}} = 140 + 600 + 1800 + 35500 + 5500 + 1250 + 25 + 400 + 800 + 40 = 46055 \text{ руб.}$$

Таблица 4.6 – Материальные затраты

Материалы и оборудование	Ед. изм	Кол-во материала, ед	Цена за ед, руб	Затраты, руб
		Исп1.	Исп1.	Исп1.
Поливиниловый спирт	кг	1	140	140
Политетрафторэтилен	кг	1	600	600
Бумага формата А4	лист	600	3	1800
Компьютер	шт	1	35500	35500
Принтер	шт	1	5500	5500
Интернет	М/бит (пакет)	5	250	1250
Перчатки	шт	1	25	25
Картридж ч/б	шт	1	400	400
Картридж цветной	шт	1	800	800
Тетрадь	шт	2	20	40
Итого:				46055

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году.

Рассчитаем амортизацию компьютерной техники ( $I_{\text{ам.комп.техн}}$ ).



Для расчета амортизации оборудования воспользуемся следующей формулой:

$$I_{\text{ам.комп.техн.}} = (T_{\text{исп.к.т.}}/365) \times K_{\text{комп.т.}} \times N_{\text{а}},$$

где  $T_{\text{исп.к.т.}} = 455$  дней – время использования компьютерной техники;

365 дней – число дней в году;

$K_{\text{комп.т.}}$  – стоимость компьютерной техники;

$N_{\text{а}}$  – норма амортизации.

$$K_{\text{комп.т.}} = K_{\text{комп.}} + K_{\text{принтера}}$$

где  $K_{\text{комп.}}$  – стоимость компьютера, руб.;

$K_{\text{принтера}}$  – стоимость принтера, руб.;

$$N_{\text{а}} = 1/T_{\text{сл.к.т.}},$$

где  $T_{\text{сл.к.т.}}$  – срок службы компьютерной техники, год.

$$I_{\text{ам.комп.}} = (T_{\text{исп.к.т.}}/365) \times K_{\text{комп.т.}} \times N_{\text{а}} = (455/365) \times 35500 \times (1/7) = 6304 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ам.прин.}} = (T_{\text{исп.к.т.}}/365) \times K_{\text{комп.т.}} \times N_{\text{а}} = (118/365) \times 7800 \times (1/5) = 502 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ам.комп.техн.}} = I_{\text{ам.комп.}} + I_{\text{ам.прин.}} = 6304 + 502 = 6806 \text{ руб.}$$

Результаты расчета сведем в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	$K_{\text{комп.т.}}$ руб.	$T_{\text{исп.к.т.}}$ , дней.	$I_{\text{ам.комп.техн.}}$ , руб
Компьютер	35500	455	6304
Принтер лазерный цветной	5500	455	502
Итого:			6806

#### 4.2.2 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 450 рублей, а студент 100 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где:  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

$$Z_{зрук} = 45000 + 5400 = 50400 \text{ рублей};$$

$$Z_{зст} = 20000 + 5400 = 22400 \text{ рублей}.$$

Максимальная основная заработная плата руководителя (доктора наук) равна примерно 48000 рублей, а студента 31700 рублей. Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

где:  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$Z_{допрук} = 0,12 \cdot 45000 = 5400 \text{ рублей},$$

$$Z_{допст} = 0,12 \cdot 20000 = 2400 \text{ рублей}.$$

Таблица 4.8 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Научный руководитель	Студент-дипломник
Основная зарплата	45000	20000
Дополнительная зарплата	5400	5400
Зарплата исполнителя	50400	22400

Таким образом, заработная плата руководителя равна 50400 рублей, студента – 22400 рублей.

#### 4.2.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где:  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 4.9 – Отчисления во внебюджетные нужды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб	Итого
Руководитель проекта	45000	5400	13658,4
Студент-дипломник	20000	2400	6070,4
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271		

#### 4.2.4 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = \left( \sum \text{статей} \right) \cdot k_{\text{нр}},$$

где:  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы при первом исполнении равны:

$$Z_{\text{накл}} = 329327,336 \cdot 0,16 = 52692,4 \text{ руб.}$$

Полный перечень затрат на проведение данной работы представлен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма	
	Руководитель	Студент-дипломник
Материальные затраты НИИ	46055	
Затраты по основной заработной плате	45000	20000
Затраты по дополнительной заработной плате	5400	2400
Затраты во внебюджетные фонды	13658,4	6070,4

#### Продолжение таблицы 4.10

Накладные расходы	52692,4
Бюджет затрат НИИ	131683,2

Рассчитаны расходы на материалы, специальное оборудование и фонд заработной платы участников проекта. Общая смета затрат на проектирование составила 131683,2 рублей (с учетом амортизации на оборудование).

### 4.3 Оценка научно-технического уровня НИР

Важнейшим результатом проведения НИР является его научно-технический уровень, который характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается ли научно-технический прогресс в данной области. В последнее время для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, получил распространение метод бальных оценок. Бальная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям или рассчитывают по формуле. На этой основе делается вывод о целесообразности НИР. Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле [45]:

$$N_T = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i$$

где  $N_T$  — показатель научно-технического уровня, определенный по трем признакам;

$R_i$  — весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта;  $n_i$  — количественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта, в баллах (таблица 4.11, 4.12).

Таблица 4.11 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Примерное значение весового коэффициента
1. Уровень новизны	0,5
2. Теоретический уровень	0,3
3. Возможность реализации	0,2

Таблица 4.12 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, способ	8-10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия, дополняют ранее полученные результаты	5-7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2-4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 4.13 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1. Установка закона, разработка новой теории	10
2. Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
3. Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
4. Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5. Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Результаты оценок признаков отображены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 - Количественная оценка признаков НИОКР

Признак научно-технического эффекта НИР	Характеристика признака НИОКР	$K_i$	$P_i$
1. Уровень новизны	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия	0,5	6
2. Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	0,3	7
3. Возможность реализации	Время реализации в течение первых лет	0,2	10
4. Масштабы реализации	Одно или несколько предприятий	0,2	2

Используя исходные данные по основным признакам научно-технической эффективности, определяем показатель научно - технического уровня:

$$H_m = 0,5 \times 6 + 0,3 \times 7 + 0,2 \times 12 = 7,5$$

Таблица 4.15 - Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень НТУ	Показатель НТУ
Низкий	1 - 4
Средний	4 - 7
Сравнительно высокий	7 - 10
Высокий	10 - 13

Таким образом, данная НИР имеет сравнительно высокий уровень НТУ, равный 7,5.

В данном разделе ВКР был составлен план и определены контрольные события научного исследования. Для построения таблицы временных показателей проведения НИ был рассчитан коэффициент календарности. Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта.

Рассчитан бюджет научного исследования. Как видно из проведенного анализа общая стоимость настоящего научного исследования 131683,2 рублей (с учетом амортизации на оборудование).

Проведена оценка коммерческого потенциала и эффективности проведения научного исследования на примере SWOT-анализа.

Определен показатель научно – технического уровня НИР, который является сравнительно высоким, что говорит о том, что выполненная работа обеспечивает научно-технический прогресс в области медицины.

Исходя из полученных результатов вышеприведенного экономического обоснования, ряд задач, поставленных для осуществления цели данного раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнены. В целом данное научное исследование является перспективным и целесообразным с точки зрения ресурсоэффективности.

## **Заключение**

Проведена ионная имплантация образцов поливинилового спирта и политетрафторэтилена при вариации природы имплантируемых ионов при экспозиционных дозах облучения  $1 \cdot 10^{14}$ ,  $1 \cdot 10^{15}$ ,  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>. Проведен комплекс исследований физико-химических свойств полимерных материалов до и после ионной имплантации.

По данным ИК-спектроскопии после облучения ПВС в спектрах наблюдаются полосы, характерные для валентных колебаний карбонильной группы (-C=O) и свидетельствующие о процессах окисления в поверхностных слоях ПВС.. Результаты РФЭС показали, что небольшое содержание -C=O группы в исходном состоянии образца ПВС может объясняться окислением поверхности в процессе приготовления образцов. После имплантации площадь полосы -C=O увеличивается, что свидетельствует о протекании процессов деструкции. В спектре C 1s после имплантации ионов серебра наблюдается появление новой полосы -O-C=O. Уменьшается площадь полосы -C-O и увеличивается площадь полосы -C-C. После имплантации ионов аргона и углерода соотношение площадей связей в

спектре C1s существенно не изменяется. В условиях ионной имплантации протекают процессы, связанные с деструкцией полимера, которая сопровождается выделением CO и/или CO<sub>2</sub>. Энергия связи электронов 3d-уровня Ag соответствует состоянию Ag<sup>0</sup>. Очевидно, что Ag не образует новых связей со структурными единицами матрицы и находится в металлическом состоянии.

Данные РФЭС для имплантированных образцов ПТФЭ показали, что изменяется соотношение связей -CF<sub>2</sub> и -C-C/-C-H; образуются новые химические связи -CF<sub>3</sub>, -CF, -C=O в поверхностном слое.

По данным АСМ образцов ПВС, после имплантации повышается шероховатость с 160 нм для исходного образца до 330÷800 нм для имплантированных, в то время, как для имплантированных образцов ПТФЭ шероховатость уменьшается с 320 нм для исходного состояния до 230 нм после имплантации.

Установлено, что краевой угол смачивания ПВС увеличивается после имплантации с увеличением дозы экспозиции (с 17° до 42° при контакте с этиленгликолем и с 22° до 62° при контакте с глицерином) с одновременным повышением поверхностной энергии (с 67 мН/м до 80 мН/м). Максимальные значения краевого угла и поверхностной энергии наблюдаются на образце, имплантированном аргоном. Образцы ПТФЭ после имплантации характеризуется уменьшением краевого угла смачивания (при контакте с водой со 107° для исходного образца до 55° для имплантированного ионами серебра с дозой  $1 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>, при контакте с глицерином с 93° до 76°) и увеличением свободной поверхностной энергии, что свидетельствует о повышении смачиваемости поверхности материала после ионной имплантации. Показано, что микротвердость ПВС уменьшается после энергетического воздействия ионным пучком до 5 раз, напротив, как микротвердость ПТФЭ после имплантации возросла в 2 раза.



Удельное поверхностное сопротивление ПВС и ПТФЭ изменяется незначительно, в пределах одного порядка.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ\_а 15-08-05496.

## Список публикаций

Тезисы докладов конференций:

1. Лапуть О. А., Годымчук А. Ю., Перспективы применения фуллеренов в строительстве. // Функциональные материалы: разработка, исследование, применение: сборник тезисов докладов III Всероссийского конкурса научных докладов студентов, Томск, 26-27 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 20.
2. Курзина И. А., Пухова И. В., Лапуть О. А., Давыдова Д. В., Савкин К. П., Влияние имплантации ионами Ag, С и Ar на поверхностные характеристики полилактида и политетрафторэтилена. // Актуальные проблемы прочности: сборник тезисов LVII международной конференции, 24-27 мая, 2016 г. / СевГУ. – Севастополь, 2016 – С. 216.

Труды и материалы конференций:

3. Лапуть О. А., Курзина И. А., Пухова И. В., Влияние природы имплантируемого иона на физико-химические свойства поливинилового спирта. // Перспективы развития фундаментальных наук (2016), ISBN 978-5-4387-0652-6, 26-29 апреля 2016. – Томск: ТПУ, 2016 – С. 250 – 252.
4. Лапуть О. А., Курзина И. А., Изменение свойств поливинилового спирта и полилактида в результате облучения электронным пучком. // Высокие технологии в современной науке и технике: сборник научных трудов IV Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 21-24 Апреля 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 38 – 40.
5. Лапуть О. А., Курзина И. А., Влияние природы имплантируемого иона на физико-химические свойства поливинилового спирта. // Наноматериалы и живые системы: сборник научных трудов молодых ученых IV Международной научно-практической конференции, Москва, 2–3 июня 2016. – Москва: МИСиС, 2016 – С. 53 – 54.

б. Лапуть О. А., Курзина И. А., Пухова И. В., Модификация поверхности поливинилового спирта и политетрафторэтилена методом ионной имплантации. // Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении: сборник трудов Международной конференции – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016 – С. 250 – 256.

## Список используемой литературы

1. Bee S.-T., Ratnam C.T., Sin L.T., Tee T.-T., Wong W.-K., Lee J.-X., Effects of electron beam irradiation on the structural properties of polylactic acid/polyethylene blends, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 334 (2014) 18–27.
2. Bee S.-T., Ratnam C.T., Sin L.T., Tee T.-T., Hui D., Kadhum A.A.H., Rahmat A.R., Lau J. Effects of electron beam irradiation on mechanical properties and nanostructural–morphology of montmorillonite added polyvinyl alcohol composite, *Composites: Part B* 63 (2014) 141–153.
3. Athanasiou K.A., Niederauer G.G., Agrawal C.M., Sterilization, toxicity, biocompatibility and clinical applications of polylactic acid-polyglycolic acid copolymers, *Biomaterials* 17 (1996) 93-102.
4. El-Saftawy A.A., Elfalaky A., Ragheb M.S., Zakhary S.G. Electron beam induced surface modifications of PET film // *Radiation Physics and Chemistry* 102 (2014) 96–102.
5. Gilding D.K., Reed A.M., Biodegradable polymers for use in surgery Polyglycolic-polyacetic acid homopolymers and copolymers: Part 1, *Polymer* 20 (1979) 1459-1464.
6. Sviridov D. V., Ion implantation in polymers: chemical aspects // *Chemical Problems of The Development of New Materials and Technologies*. 1, 88-106 (2003).
7. Popok V.N., Khaibullin R.I., Bazarov V.V., Valeev V.F., Hnatowicz V., Mackova A., Odzhaev V.B., Anomalous Depth Distribution of Fe and Co Atoms in Polyimide Implanted to High Fluence // *Nucl. Instr. Meth. B*. 191, 695-699 (2002).
8. Tóth A., Kereszturi K., Mohai M., Bertóti I. // *Suf. Coat. Technol.*: doi:10.1016/j.surfcoat.2009.12.004.

- 
9. Schiller T.L., Sheeja D., McKenzie D.R., McCulloch D.G., Lau D.S.P., Burn S., Tay B.K. // *Surf. Coat. Technol.*, 483, 177–178 (2004).
  10. Кабанова В.А.. Энциклопедия полимеров, Т.2. стр. 787-790. 1974 г.
  11. Тагер А. А. Физико-химия полимеров. – М.: Научный мир, 2007 – 573 с.
  12. Васнецова О. А., Медицинское и фармацевтическое товароведение, - 2-е изд., испр. и доп. – М.: ГЭОТАР. Медиа, 2009.
  13. Бойко В. В., Синтез поливинилового спирта в водно-спиртовых средах: Дис. канд. хим. наук: 02.00.06: Москва, 2004 112 с. РГБ ОД, 61:04 – 2/32.
  14. Паншин Ю. А., Малкевич С. Г., Дунаевская Ц. С., Фторопласты. Л., «Химия», 1978.
  15. Риссел Х., Руге И.. Ионная имплантация. – М.: Наука, 1983.
  16. Hnatowicz V. // *Appl. Phys. A*, 58, 349 p. (1994).
  17. Hnatowicz V. // *Nucl. Instrum. Methods B.*, P. 161 – 163. (2000).
  18. Lee E. H. // *Nucl. Instrum. Methods B.*, 74, P.326. (1993).
  19. Chen J. S. // *Surf. Coat. Technol.*, P.138. (2001).
  20. Zang L.J. // *Appl. Phys.*, 66, P.4547. (1989).
  21. Biersack J. P. // *Nucl. Instrum. Methods B*, 46, P.309. (1990).
  22. Sviridov D. V., Ion implantation in polymers: chemical aspects. // *Chemical Problems of the Development of New Materials and Tehnologies*. 1, P. 88 – 106. (2003).
  23. Sviridov D. V. // *In Electrical and Optical Polymer Systems*. Marcel Dekker, New Yourk, 1998. P. 387.
  24. Козлов И. П. // *Журнал прикладной спектроскопии*, 65, 377 (1998).
  25. Курзина И. А., Градиентные поверхностные слои на основе интерметаллидных частиц: синтез, структура, свойства/ - Томск: НТЛ, 2013. – 258 с.
  26. Бумай Ю. А., Волобуев В. С., Валеев В. Ф., Долгих Н. И., Лукашевич М. Г., Хайбуллин Р. И., Нуждин В. И., Оджаев В. Б. // *Журнал прикладной спектроскопии*. – 2012. – Т. 79, №5, - С. 781 – 787.

- 
27. Fink D. // Nucl. Instrum. Methods B, 46, P. 342 (1990).
28. Вабищевич С. А., Бринкевич Д. И., Волобуев В. С., Нажим Ф. А., Лукашевич М. Г., Оджаев В. Б., Валеев В. Ф., Хайбуллин Р. И. // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки: научно-теоритический журнал. – 2010. – №9. – С. 74-82.
29. Свиридов Д. В., Химические аспекты имплантации высокоэнергетических ионов в полимерные материалы. // Усп. хим., 71:4 (2002), 363 – 377.
30. Ismayil A., Impact of electron – beam irradiation on free – volume related microstructural properties of PVA:NaBr polymer composites. // Nucl. Instrum. Methods B, 29 – 38, 342 (2015).
31. Ramakrishna M., Ion – beam modification of the surface morphology and conductivity in some polymer thin films. // Bull. Mater. Sci., 25, 2002, P. 403 – 406.
32. Bhoraskar V. N., Low – energy electron irradiation lassisted diffusion of gold nanoparticles in polymer matrix. // Radiation Physics and Chemistry, 97 – 100, 96, 2014.
33. Colwell J. M., A study of the chemical and physical effects of ion implantation of micro – porous and nonporous PTFE. // Surface and Coatings Technology, 216 – 222, 168, 2003.
34. Sommani P., Irradiation effect of carbon negative – ion implantation on polytetrafluoroethylene for controlling cell – adhesion property. // Nucl. Instrum. Methods, 3231 – 3234, 19, 2010.
35. Sui Y. W., Sun Z., Wang X. H. and. Ren Y. J. Microstructure and friction performance of copper film fabricated by ion implantation assisted electroless plating on PTFE. // Materials Science and Technology, №11, (2011).
36. Ali Atta, Yasser H.A. Fawzy, AlpanBek, Hassan M. Abdel-Hamid, Mohamed M. El-Oker, Modulation of structure, morphology and wettability of

---

polytetrafluoroethylene surface by low energy ion beam irradiation. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 300 (2013) 46–53.

37. M. Adami, L. Guzman, B.Y. Man, A. Miotello, P.M. Ossi, High temperature ion beam erosion of polytetrafluoroethylene. // Thin Solid Films, 459 (2004) 318–322.

38. Jizhong Zhang, Xiaojun Yu, Hengde Li, Xianghuai Liu. Surface modification of polytetrafluoroethylene by nitrogen ion implantation. // Applied Surface Science, 185, (2002), P. 255 – 261.

39. Nikolaev A.G., Oks E.M., Savkin K.P., Yushkov G.Yu., Brown I.G. Upgraded vacuum arc ion source for metal ion implantation // The Review of scientific instruments, V.83, Iss. 2, P. 02A501.

40. Gushenets V.I., Nikolaev A.G., Oks E.M., Vintizenko L.G., Yushkov G.Yu. Simple and inexpensive time-of-flight charge-to-mass analyzer for ion beam source characterization // Review of scientific instruments. – 2006. – V. 77. – P.063301.

41. Yushkov G.Yu., MacGill R.A. and Brown I.G. Mevva ion source operated in purely gaseous mode. // Review of Scientific Instruments, 75(5), P. 1582-1584. (2004).

42. Павлов Л.П. // Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. – Москва: Высшая школа, 1987. – 239 с.

43. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

44. Попова С.Н. Управление проектами. Часть I: учебное пособие / С.Н. Попова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 121 с.

45. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г.

---

Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.