

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение  
 ООП/ОПОП Технологии космического материаловедения  
 Отделение школы (НОЦ) отделение машиностроения

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
Исследование оптически активных дефектов алмазов, используемых в силовой оптике для обработки твердых сред

УДК 621.921.34.019:621.373.826

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ1К	Колосов Никита Владимирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сорокова Светлана Николаевна	к. ф-м. н.		31.05.23

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов Магеррам Али оглы	д.э.н.		31.05.23

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		31.05.23

Нормоконтроль (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ	Сорокова С.Н.	к.ф-м.н.		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП**  
**Технологии космического материаловедения**

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
<b>УК(У)-2</b>	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
<b>УК(У)-3</b>	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
<b>УК(У)-4</b>	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
<b>УК(У)-5</b>	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
<b>УК(У)-6</b>	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследования
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен осуществлять экспертизу технической документации при реализации технологического процесса
<b>ОПК(У)-3</b>	Способен организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий и их элементов, разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
<b>ОПК(У)-4</b>	Способен разрабатывать методические и нормативные документы при реализации разработанных проектов и программ, направленных на создание узлов и деталей машин
<b>ОПК(У)-5</b>	Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов
<b>ОПК(У)-6</b>	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской деятельности
<b>ОПК(У)-7</b>	Способен проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
<b>ОПК(У)-8</b>	Способен подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
<b>ОПК(У)-9</b>	Способен подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
<b>ОПК(У)-10</b>	Способен разрабатывать методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий

<b>ОПК(У)-11</b>	Способен организовывать и осуществлять профессиональную подготовку по образовательным программам в области машиностроения
<b>ОПК(У)-12</b>	Способен разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые системы автоматизированного проектирования деталей и узлов машин и оборудования различной сложности на современном машиностроительном предприятии
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен разрабатывать технические задания на НИР и ОКР при исследовании, проектировании и изготовлении машин, приводов, оборудования, систем, нестандартного оборудования и средств технологического оснащения
<b>ПК(У)-2</b>	Способен разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
<b>ПК(У)-3</b>	Способен составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений в области профессиональной деятельности
<b>ПК(У)-4</b>	Способен производить автоматизированное проектирование технологических процессов изготовления деталей и сборочных единиц изделий высокой сложности
<b>ПК(У)-5</b>	Способен и готов использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки (ООП/ОПОП) 15.04.01 Машиностроение  
Отделение школы (НОЦ) отделение машиностроения

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП/ОПОП  
\_\_\_\_\_ Сорокова С.Н.  
(Подпись) (Дата) (ФИО)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
4АМ1К	Колосов Никита Владимирович

Тема работы:

Исследование оптически активных дефектов алмазов, используемых в силовой оптике для обработки твердых сред	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	34-105/с от 03.02.2023

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	01.06.2023
--	------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b> (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</p>	<p>Объект исследования – алмазы разных типов. В работе представлено исследование влияния оптически активных дефектов алмазов на работу оптических систем высокой мощности. Область применения – обработка твердых сред (металлы, композиционные материалы, наукоемкие материалы). Рабочая зона: <u>лаборатория</u> Размеры помещения климатическая зона*) 25 м<sup>2</sup> Количество и наименование оборудования рабочей зоны – волоконный лазер высокой мощности YLR-2000-U (1 шт), ПЭВМ (1 шт), ИК-Фурье спектрометр ФТ-801 (1 шт.), спектрофотометр (1 шт), спектрометр Ocean Optics (1 шт), измеритель мощности Ophir NOVA (1 шт), оптическое оборудование (зеркала, линзы, перископы и т.д.)</p>
<p><b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b> (аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор литературы по теме работы</li> <li>2. Исследование оптических характеристик образцов</li> <li>3. Сборка экспериментального стенда</li> </ol> <p>Проведения эксперимента с целью оценки возможности использования алмазов разных типов в силовой оптике</p>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация в MS PowerPoint
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	Антоневич О. А.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М. А.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>	
2. Методология исследования	
2.1 Создание спектрофотометра	
2.2 Характеристика образцов	
2.2.1 ИК-спектроскопия	
2.2.2 Спектрофотометрия	
2.2.3 Спектры люминесценции	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	30.11.2022
---	------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сорокова Светлана Николаевна	к. ф-м. н.		31.05.23

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ1К	Колосов Никита Владимирович		31.05.23

## РЕФЕРАТ

Ключевые слова: силовая оптика, лазер высокой мощности, алмаз, оптические дефекты алмаза, оптические центры алмаза

Объект исследования — CVD алмазы электронного качества

Цель работы — определение граничных значений примесных дефектов в алмазе, при которых алмаз все еще является пригодным для использования в силовой оптике.

В процессе работы проводились: ИК-спектроскопия алмазов, спектрофотометрия алмазов, исследование спектров люминесценции алмазов, подсчет концентрации примесных дефектов в алмазе на основании спектроскопии, испытание образцов на лазере высокой мощности с отслеживанием характеристик образцов.

В результате исследования были определены предельные значения примесных дефектов, при которых алмаз может быть использован в силовой оптике как оптический элемент. Был разработан и создан спектрофотометр на базе существующего монохроматора.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: CVD алмазы прозрачного цвета, разного примесного состава, кубическая огранка со стороной 0.5 см.

Степень внедрения: лабораторный макет.

Область применения: обрабатывающая промышленность, наука, медицина.

Экономическая эффективность/значимость работы выше среднего.

В будущем планируется проведение подобных исследований при различных условиях работы – длина волны излучения, мощность излучения, режим работы лазера.

## Оглавление

Введение.....	9
Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки.....	11
1. Обзор литературы .....	12
1.1 Физика твердого тела .....	12
1.2 Структура алмаза и его дефектов.....	21
1.3 Методы контроля и диагностики примесных структур алмазов.....	30
2. Методология исследования.....	34
2.1 Создание спектрофотометра.....	34
2.2 Характеристика образцов .....	37
2.2.1 ИК-спектроскопия.....	37
2.2.2 Спектрофотометрия .....	42
2.2.3 Спектры люминесценции .....	45
3. Эксперимент .....	49
3.1 Описание эксперимента .....	50
3.2 Результаты проведения исследования.....	53
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» .....	54
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	56
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	57
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений .....	58
4.1.3 SWOT – анализ .....	60
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	62
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	64
4.2 Инициация проекта.....	64
4.2.1 Цели и результаты проекта .....	65
4.2.2 Ограничения и допущения проекта.....	66
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	66
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта .....	66
4.3.2 План проекта.....	67
4.3.3 Бюджет научного исследования .....	70
4.3.4 Организационная структура проекта .....	75
4.3.5 План управления коммуникациями проекта .....	77

4.3.6 Реестр рисков проекта .....	77
4.4 Оценка абсолютной эффективности исследования .....	78
4.5 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	82
Выводы по разделу .....	85
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ» .....	87
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	90
5.1.1 Специальные нормы трудового законодательства .....	90
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	92
5.2 Производственная безопасность .....	92
5.2.1 Анализ вредных факторов производственной среды.....	94
5.2.2 Анализ опасных факторов производственной среды.....	98
5.2.3 Расчет системы искусственного освещения.....	101
5.3 Экологическая безопасность .....	103
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	104
Выводы по разделу.....	105
Список использованных источников .....	107
Выводы .....	113
Investigation of Optically Active Defects in Diamonds Used in Power Optics for Treatment of Solid Media .....	115



## **Введение**

В машиностроении используются самые разнообразные технологии обработки поверхностного слоя металлов и других материалов. От прошедшей проверки временем закалки и отпуска до новых и наукоемких напыления ионами, бомбардировки пучками электронов и лазерной обработки.

Лазерная обработка металлов давно зарекомендовала себя как надежный и эффективный способ изменения характеристик материалов. Как правило, для обработки металлов привлекаются лазеры сравнительно малых мощностей (менее 1 кВт), этой мощности вполне достаточно для выполнения базовых видов обработки металлов – закалки, резки, отжига, сварки и т. д., однако по мере увеличения массы и габаритов изделия появляется необходимость и в увеличении мощности лазера.

Силовая оптика – это раздел науки, изучающий взаимодействие электромагнитного излучения и вещества при таких мощностях, которые способны вызвать серьезные структурные изменения в веществе. Для работы таких установок необходимы лазеры высокой мощности. Это позволяет не только обрабатывать материалы большой массы и габаритов, но также обрабатывать материалы, ранее не поддающиеся обработке лазером (например, стекло). Вдобавок высокие мощности излучения помогают достичь новых эффектов – абляции, инициирование хим. реакций, формирование термонапряжений и т. д.

Однако по мере роста мощности лазерного излучения появляется большая проблема, связанная с тем, что оптические элементы самого лазера не являются идеальными. То есть, частично поглощают излучение и преобразуют в тепло, что не критично при низких мощностях, и способно привести к поломке и выходу из строя на высоких мощностях. Для решения этих проблем необходимы новые материалы, способные снизить поглощаемую энергию или выдержать большие тепловые нагрузки.

Одним из возможных оптических материалов является алмаз. Алмаз обладает рядом особенностей, которые делают его востребованным в ювелирном деле и обрабатывающей промышленности. Алмазное напыление способно значительно улучшить характеристики режущего инструмента. Однако алмаз также обладает интересными оптическими свойствами, одно из которых – его прозрачность.

Идеальная кристаллическая решетка алмаза прозрачна от жесткого УФ-излучения до далекого ИК, однако многие природные и искусственные алмазы имеют окраску, наиболее распространены желтый, синий и розовый цвета. Это происходит из-за наличия в них примесных дефектов, которые формируют центры окраски. Даже прозрачный алмаз обладает центрами, которые неактивны при слабом излучении и являются центрами поглощения и люминесценции при облучении лазером. Поэтому для силовой оптики выращивают особо чистые оптически нейтральные искусственные алмазы, которые весьма дороги в производстве и поэтому так важно изучить примесную структуру алмаза.

Цель работы – проведение исследования, направленного на выяснение качественной и экономической целесообразности использования более «грязных» алмазов в силовой оптике.

Объект исследования – синтетический CVD алмаз

Методы исследования – ИК-спектроскопия, исследование люминесценции, спектрофотометрия, исследование пропускания.

Научная новизна: была проведена оценка возможности использования оптически активных алмазов в силовой оптике, а также проведено сравнение характеристик лазера высокой мощности с элементами из оптически активных алмазов с аналогичными характеристиками с использованием оптически нейтральных алмазов

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

НРНТ – High Pressure High Temperature

CVD - Chemical Vapor Deposition

НРНТ/CVD алмаз – синтетический алмаз, выращенный методом НРНТ или CVD

БФЛ – бесфононная линия

Люминесценция – процесс излучения телом световой энергии под воздействием возбуждающего излучения. Подразумевает два процесса – фосфоресценцию и флуоресценцию, отличающихся между собой длительностью процесса

Оптический центр – дефект кристаллической решетки, приводящий к изменению оптических свойств тела

Алмаз электронного качества – алмаз, имеющий кристаллическую решетку, близкую к идеальной

Силовая оптика – раздел оптики, изучающий мощное световое излучение и его воздействие на вещество

Волновое число – внесистемная единица измерений энергии фотона. Показывает, сколько длин волн излучения вмещается в единицу длины. Исторически в оптике используются  $\text{см}^{-1}$

Плателеты – одна из разновидностей дефектов кристаллической решетки алмазов. Имеет значительно большие размеры по сравнению с другими, но точная природа этого дефекта не ясна.

## 1. Обзор литературы

### 1.1 Физика твердого тела

Если тело находится в твердом состоянии, то атомы, ионы и молекулы, входящие в состав этого тела, будут выстраиваться в кристаллическую решетку. Для простоты представим бесконечный кристалл без примесей или иных дефектов. Тогда его кристаллическая решетка будет обладать особенностями:

- 1) В данной решетке можно будет выделить минимальную часть, продолжая которую параллельным переносом можно будет получить весь кристалл. Такая часть называется *элементарной ячейкой*.
- 2) В данной решетке можно выделить точки, геометрические параметры которых относительно других точек будут совпадать. Для лучшего понимания говорится, что с данных точек открывается одинаковый вид на бесконечный идеальный кристалл. Такие точки называются *эквивалентными*.
- 3) Если соединить эквивалентные точки при помощи вектора, то мы получим *вектор трансляции*. Это такой вектор, переносом которым параллельно элементарную ячейку можно воспроизвести весь идеальный кристалл.
- 4) Операция параллельного переноса элементарной ячейки вектором трансляции называется *трансляцией*. [1]

Атомы, ионы или молекулы, входящие в состав кристаллической решетки, называются *узлами*.

Кристаллическую решетку можно описать набором элементарных (минимальных) трансляций, применяя которые можно построить всю бесконечную кристаллическую решетку. Набор таких трансляций называется *решеткой Браве*. [2]

*Базис* – это атомы, приходящиеся на элементарную ячейку. [3]

Всего существует 14 типов элементарных решеток Браве, которые характеризуются параметрами  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  (Рис. 1.1, Табл. 1.1) [4]

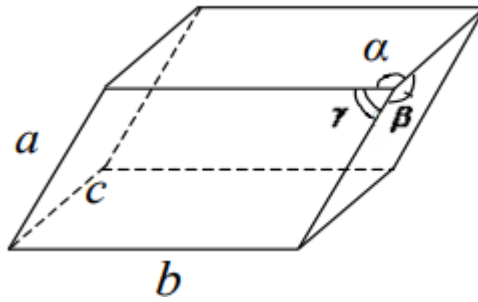


Рисунок 1.1 — Пример решетки Браве

Таблица 1.1 — Типы решеток Браве

Название	Число решеток	Символы	Параметры
Триклинная	1	П	$a \neq b \neq c,$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
Моноклинная	2	П, ОЦ	$a \neq b \neq c,$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$
Ромбическая	4	П, БЦ, ОЦ, ГЦ	$a \neq b \neq c,$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Тетрагональная	2	П, ОЦ	$a = b \neq c,$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Кубическая	3	П, ОЦ, ГЦ	$a = b = c,$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Тригональная	1	Р	$a = b = c,$ $120^\circ > \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
Гексагональная	1	П	$a = b \neq c,$ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$

Все кристаллические решетки так или иначе состоят либо из элементарных кристаллических решеток, либо из комбинаций нескольких решеток Браве.

Для описания свойств кристаллических решеток вводят понятие элементов симметрии. Для этого вводят обозначение преобразование симметрии.

Преобразование симметрии – это такие действия над бесконечной идеальной кристаллической решеткой, в результате которых решетка становится тождественна сама себе. Описание элементов симметрии играет значительную роль в описании свойств кристаллических решеток, поскольку значительно облегчает расчеты. Преобразования симметрии делятся на точечные и пространственные.

Точечным преобразованием называется такое преобразование симметрии, в результате которого существует как минимум один узел решетки, который не изменил своего положения.

Пространственным преобразованием соответственно называется такое преобразование, в результате которого абсолютно все узлы кристаллической решетки изменили свою позицию. [1]

К точечным элементам симметрии относятся:

- 1) Ось вращения  $n$ -го порядка. Если решетку можно развернуть вокруг такой оси на угол  $360/n$ , причем кристалл окажется тождественен самому себе, то говорят, что кристалл обладает осевой симметрией  $n$ -го порядка. Очевидно, что у любого кристалла есть ось 1-го порядка, однако обычно подразумевают наибольшее значение  $n$ , при котором решетка превращается в саму себя.
- 2) Плоскость зеркального отражения (Плоскость симметрии).
- 3) Центр инверсии. Если в случае плоскости симметрии, проходящей вдоль оси  $YZ$  для каждого  $i$ -го узла с координатами  $x = x_i, y = y_i, z = z_i$  существует узел с координатами  $x = -x_i, y = y_i, z = z_i$ , то в случае центра инверсии для каждого  $i$ -го узла с радиус-вектором  $r = r_i$  относительно центра инверсии существует узел с радиус-вектором  $r = -r_i$ .

К пространственным элементам относят:

- 1) Трансляция.
- 2) Винтовая ось. В отличие от оси симметрии при повороте на угол  $360/n$  у винтовой оси существует смещение по вектору, параллельному оси вращения, но отличному от любых векторов трансляции.

3) Плоскость скольжения. Аналогично винтовой оси у плоскости скольжения есть точечный аналог. В данном случае это ось симметрии, однако для плоскости скольжения необходимо смещение по вектору, параллельному плоскости скольжения, но не равному ни одному вектору трансляции. [1]

Для описания кристаллических решеток также нередко применяют понятия *кристаллографическая плоскость* и *индексы Миллера*. Кристаллографической плоскостью называется такая плоскость, которая проходит через 3 неколлинеарных узла решетки Браве. [4] Индексы Миллера – это индексы векторов, которыми описывается семейство кристаллографических плоскостей. Примеры индексов Миллера изображены на Рисунке 1.2.

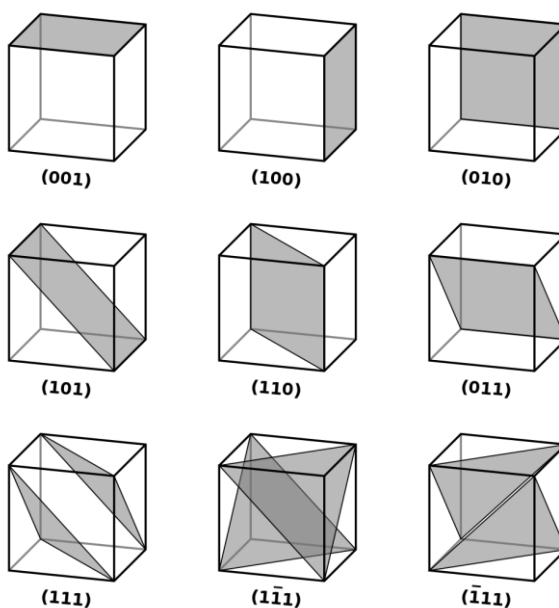


Рисунок 1.2 — Примеры индексов Миллера

Для записи индексов используются сокращенные числа, как в пропорциях. Неправильно использовать индексы (222), поскольку такая плоскость будет описывать ту же плоскость, которая описывает плоскость (111), как неверным будет писать соотношение 2:4, поскольку это эквивалент отношения 1:2. Также, если один из индексов является отрицательным, то его записывают с чертой сверху, например ( $\bar{2}31$ ). [4] Индексы Миллера играют важную роль в описании

формировании примесных структур алмаза, поскольку опытным путем установлено, что отдельные плоскости габитуса алмаза содержат разное количество примесей, о чем будет сказано подробно в следующих пунктах.

Теперь, когда обозначены все необходимые понятия, настало время поговорить о дефектах кристаллических решеток. Все дефекты можно разделить на 4 пространственные группы: точечные, линейные, плоские и объемные. [1]

*Точечные дефекты.* Точечные дефекты названы так, потому что ограничиваются одним атомом, ионом или молекулой, положение которого (-ой) можно задать точкой. Всего существуют 3 точечных дефекта: междоузельный атом, вакансия и примесь. (Рис. 1.3)

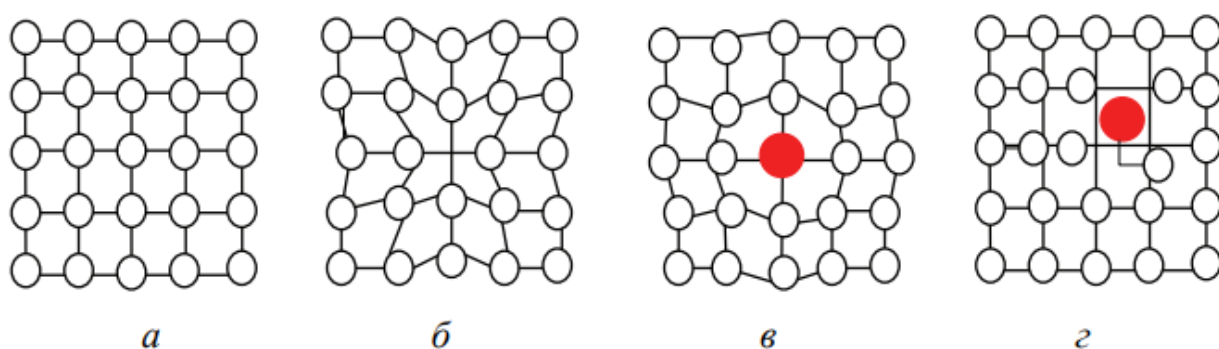


Рисунок 1.3 — Виды точечных дефектов. а) отсутствие дефектов, б) вакансия, в) примесный атом, г) междоузельный атом

Проще всего описать вакансию. Вакансия – это отсутствие атома иона или молекулы на месте, где в идеальном кристалле они должны находиться. Вакансия помимо точечного дефекта вызывает также деформацию решетки ввиду того, что оставшиеся атомы стремятся заполнить пустое пространство. Иногда случается так, что соседний атом встает на место вакансии, образуя вакансию на своем предыдущем месте. Тогда говорят, что вакансия диффундирует. Может случиться и так, что вакансию занимает междоузельный атом, тогда решетка приходит в идеальное состояние и говорят, что произошла аннигиляция дефектов. Другим способом исчезновения вакансии считается ее выход на поверхность кристалла в результате диффузии. [6]



Говоря об аннигиляции вакансии был упомянут междуузельный атом. Междуузельный атом – это атом, который встал в междуузельное пространство решетки. Междуузелье – это пространство, свободное от атомов идеальной решетки. Междуузельный атом может быть как собственным, так и примесным. Так или иначе, междуузельный атом также создает деформацию решетки за счет сил отталкивания на другие узлы. Междуузельный атом, как и вакансия может диффундировать в кристаллической решетке и может исчезнуть как вследствие аннигиляции, так и вследствие выхода на поверхность.

Существует процесс, обратный аннигиляции, когда под воздействием внешних возмущений – деформации, нагрева, облучении фотонами или быстрыми частицами, - атом выбивается из решетки в междуузелье, образуя 2 дефекта – вакансию и междуузельный атом. [1]

Примесный атом – это атом, который не входит в состав идеальной кристаллической решетки, но появился в ней во время формирования кристалла. Часто примесные атомы появляются в кристаллической решетке случайно, когда во время роста кристалла тело соприкасается с внешней средой, либо в результате впитывания газов поверхностью, либо в результате внешних воздействий. Однако нередко примеси добавляются человеком умышленно для придания определенных свойств материалу. Например, легирование стали или добавление углерода в железо для формирования стали или чугуна.

Примесные атомы, обладающие отличным от собственных атомов размерами, создают деформацию решетки в кристалле и, как было сказано ранее, могут также занимать междуузельное пространство. [6]

*Линейные дефекты.* Линейные дефекты лежат на линейной функции, что следует из их названия. В окрестности одной линии они создают дислокацию и оказывают негативное влияние на кристалл. Всего существует 2 линейных дефекта – краевая дислокация и винтовая дислокация. [1]

Краевая дислокация (Рис. 1.4) появляется в результате обрыва построения одной из плоскостей. В результате этого обрыва часть связей удлиняется из-за

необходимости протяжения через недостающие ряды, а часть сокращается из-за необходимости сглаживания перехода.

Математически описать краевую дислокацию можно при помощи вектора Бюргеса. На Рисунке 1.4 изображен четырехугольник ABCDE. В идеальном кристалле точки A и E должны совпасть, однако из-за обрыва одной из плоскостей расстояние AB составляет 5 атомов, а CD всего 4. В результате появляется вектор EA, перпендикулярный дислокации. [7]

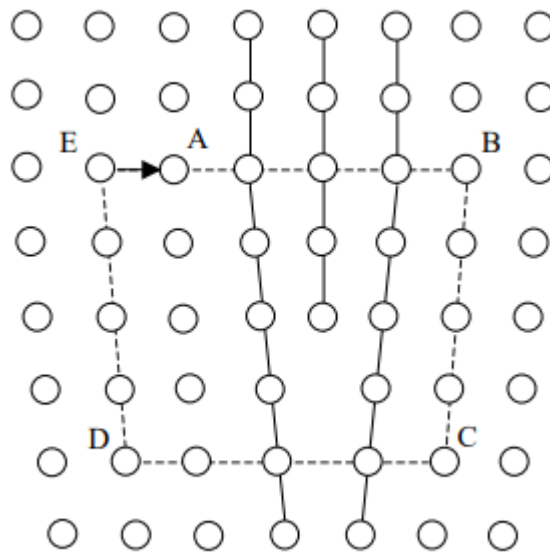


Рисунок 1.4 — Краевая дислокация.

Другой тип линейных дефектов – винтовая дислокация (Рис. 1.5). Винтовая дислокация образуется в результате сдвига на одно межатомное расстояние части плоскости. Линией винтовой дислокации будет называться граница этого сдвига. В результате, если пронумеровать плоскости кристалла, то часть плоскости 1 окажется соединена с плоскостью 2, часть плоскости 2 с плоскостью 3 и т.д. В случае построения вектора Бюргеса вектор смещения EA окажется параллелен линии винтовой дислокации. [8]

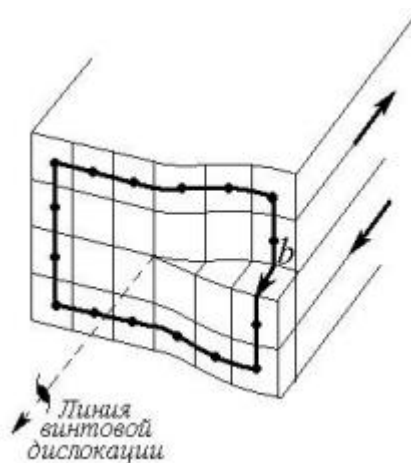


Рисунок 1.5 — Винтовая дислокация.

*Плоские дефекты.* Плоские дефекты включают в себя дефекты, связанные с поликристаллической структурой твердого тела. В металлургии известно понятие «зерно», которое описывает структуру роста твердой фазы. Для кристаллов применимо это же понятие. Так, например, из-за пластических деформаций природных алмазов, у них появляется анизотропия. (Рис. 1.6)



Рисунок 1.6 – Пластические деформации алмаза.

Кузнецы с момента изобретения обработки металлов бились над решением важных инженерных задач – придание металлу необходимых свойств и создание изделий с одинаковыми предсказуемыми свойствами во всех габаритах изделия. Немаловажную роль в этом играет условия роста кристаллов. На Рисунке 1.7 изображена ростовая структура зерен чугуна. Очевидно, что свойства металла вдоль столбчатых зерен будут отличаться от тех же свойств того же металла поперек столбчатых зерен, а характеристики мелкозернистой структуры отличаются от крупнозернистой.

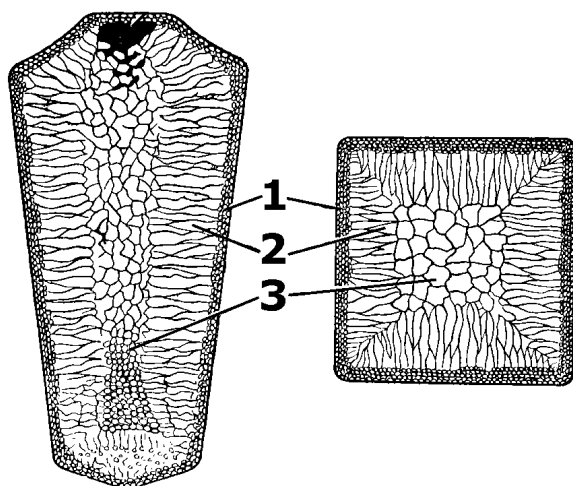


Рисунок 1.7 – Структура зерен чугуна. (1) – мелкие зерна из-за быстрого теплоотвода, (2) – столбчатые зерна из-за замедления теплоотвода, (3) – беспорядочная структура крупных зерен на последних этапах остывания.

Тем не менее, граница зерен – это тоже дефект, избавиться от которого можно только выращиванием монокристаллов, что возможно далеко не во всех условиях. (Рис. 1.8)

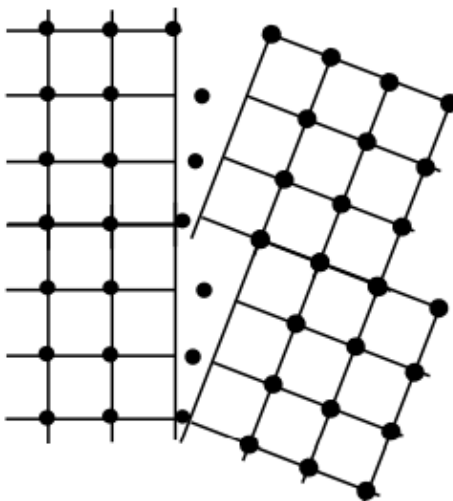


Рисунок 1.8 – Границы зерен

Интересным частным случаем такого дефекта является плоскость двойникования (Рис. 1.9). Важным аспектом является то, что плоскость двойник не должна являться плоскостью зеркальной симметрии, поскольку в таком случае мы получим ту же самую решетку без дефекта. [9]

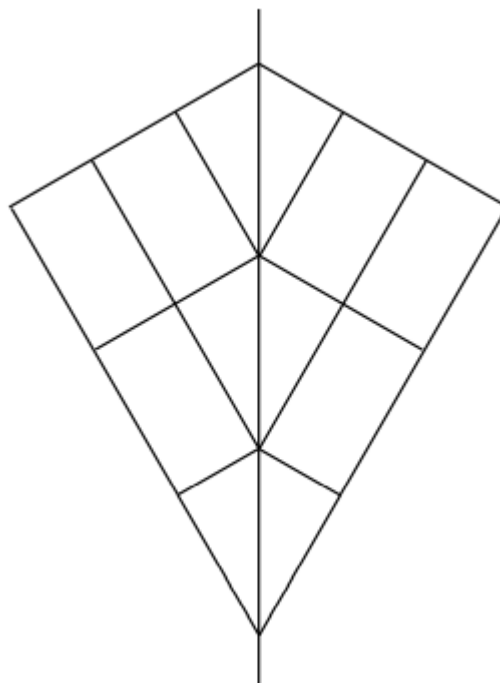


Рисунок 1.9 – Плоскость двойникования

*Объемные дефекты.* Такими дефектами являются разного рода поры, трещины, включения (например, образование графита внутри алмаза) и т.д. Существуют материалы, для которых подобные свойства являются полезными, например, фильтры, однако в большинстве случаев наличие пор, пустот и свищей является серьезным недостатком, способным забраковать изделие. Говоря об алмазах, тем более, учитывая, что в лазерах высокой мощности включение графита способно привести к термическому уширению графита и формированию трещин.

## **1.2 Структура алмаза и его дефектов**

Алмаз – это аллотропная структура углерода. В обычных условиях является метастабильной. Это означает, что существует более стабильная структура углерода – графит и фуллерен, которую углерод стремится принять в нормальных условиях, однако, приняв форму алмаза единожды, углерод при нормальных условиях способен длительное время ее сохранять (время распада алмаза до графита и фуллерена составляет тысячи лет). [10] Алмаз появляется при особых условиях сочетания высокого давления и высокой температуры,

которые в природе встречаются только в некоторых участках земной мантии, когда кубическая решетка Браве становится энергетически более выгодной (Рис. 1.10). Для роста алмазов необходимо сочетание высокого давления (~ 50 кбар), низкой по меркам земной мантии температуры (< 1400 °С) и наличия углерода в большом количестве. Такие уникальные условия создаются в областях, называемых кратонами. [11] Однако при добавлении катализаторов возможно получить алмазы и при более низких температурах и давлениях, что актуально в первую очередь для синтетических алмазов [12].

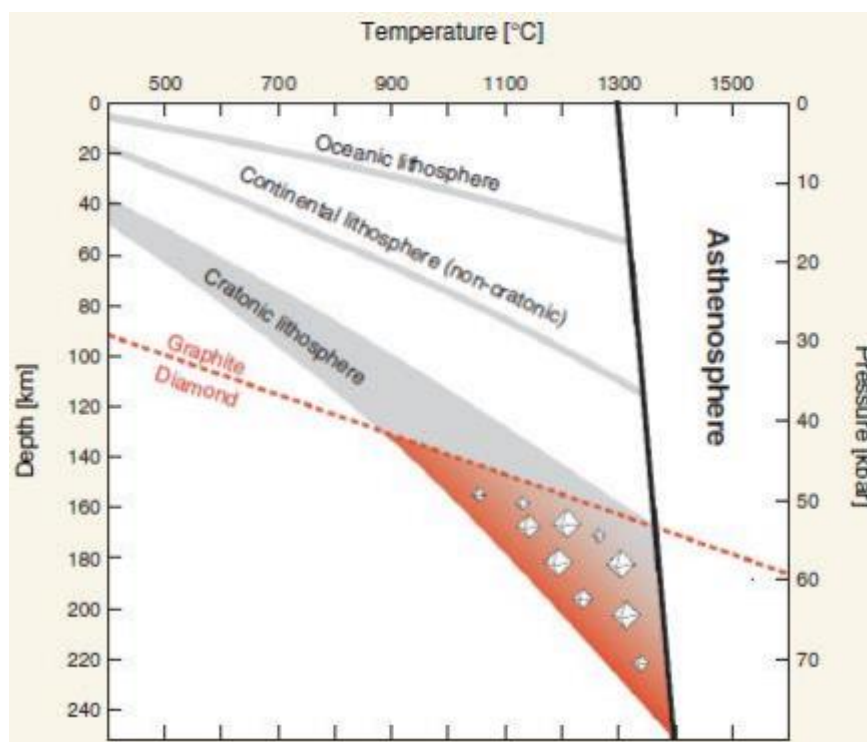


Рисунок 1.10 — Диаграмма, показывающая термодинамически стабильную область возникновения алмазов в земной мантии.

На Рисунке 1.11 изображена кристаллическая решетка алмаза. Несмотря на кажущуюся сложность, данная решетка является набором из двух кубических ГЦК решеток Браве, сдвинутых друг относительно друга по главной диагонали на  $\frac{1}{4}$  кубической ячейки. [1]

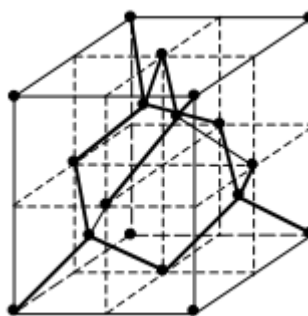


Рисунок 1.11 — Кристаллическая решетка алмаза

Несмотря на то, что алмаз обладает всеми видами кристаллических дефектов, наибольший интерес для нас представляют примесные структуры алмаза. Во-первых, от этих дефектов избавиться сложнее, чем от любых других при искусственном выращивании алмазов, во-вторых, любая классификация алмазов строится именно по их примесной структуре, в-третьих, примесные дефекты сильнее остальных влияют на оптические свойства алмазов и способны окрашивать их в различные цвета. Как правило, желтый, розовый и коричневый, реже, голубой, красный и оранжевый. [11]

В зависимости от преобладающего дефекта алмазы делятся на азот содержащие ( $>5$  ppm (частиц на миллион), тип I) и безазотные ( $<5$  ppm, тип II), (Рис 1.12). Данная граница весьма условна, и связана во многом с точностью прибора и метода, которым определяют концентрации, поскольку в алмазе будут присутствовать все виды дефектов в том или ином количестве. Более 90% природных алмазов содержат азотные примеси. В синтетические алмазы азот попадает из атмосферы во время синтеза. Алмазы, в которых азот отсутствует, делятся на содержащие бор (тип IIb) и алмазы без бора или азота (тип IIa). Несмотря на то, что алмазы типа IIa не содержат наиболее характерные примеси, далеко не все из этих алмазов являются лишенными примесей как таковых. [13] Алмазы первого типа также делятся на несколько типов в зависимости от формы, которую принимает азотная примесь. Одиночный азот (дефект C) – тип IIb, агрегаты азота – тип IIa. Агрегаты азота обладают набором возможных конфигураций, однако две наиболее энергетически выгодные [15] – пара азотов

(дефект А) - подтип IaA и 4 молекулы азота, захватившие вакансию (дефект В) – тип IaB.

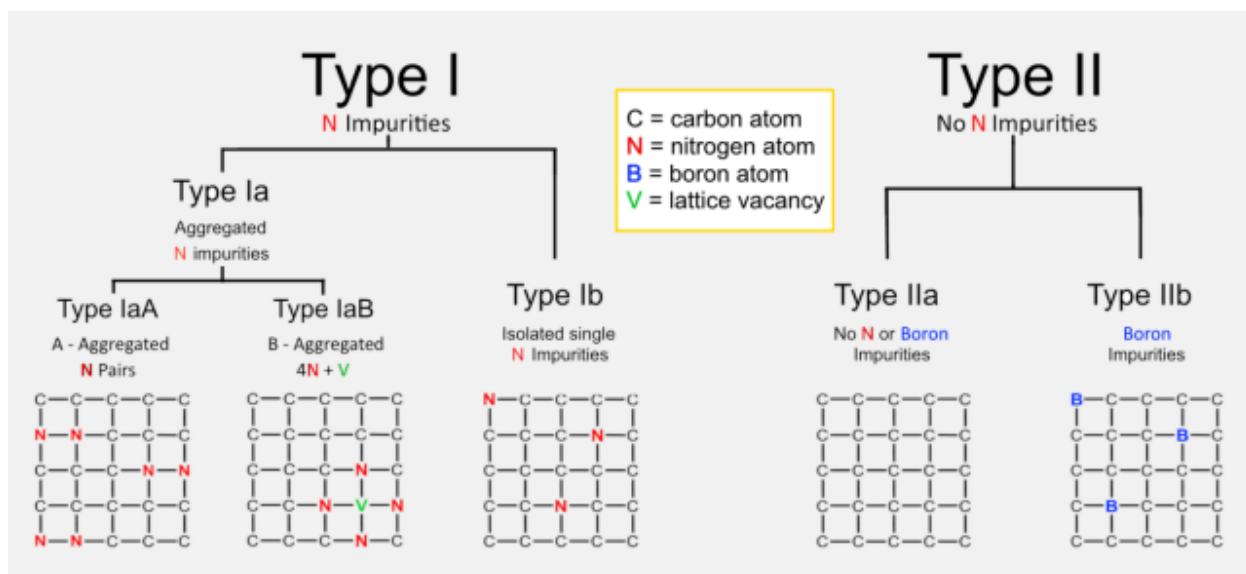


Рисунок 1.12 — Классификация алмазов

Рассмотрим основные виды дефектов в алмазах. *C-дефект* – одиночный атом азота в позиции замещения. [16] Преобладание этого дефекта в алмазе относит его к Ib типу. В процессе роста алмаз захватывает азот, который остается одиночным атомом, однако при достаточном отжиге температура превышает энергию активации, и азот начинает мигрировать, соединяясь в агрегаты. В лабораторных условиях отчетливо наблюдается миграция дефектов при температуре 2000 К, при температуре 2600 К происходит миграция простых агрегатов [15]. Это значит, что природный алмаз Ib типа – это молодой алмаз, вынесенный магмой на поверхность Земли сразу после образования до того, как произошла миграция азота, в этом плане анализ примесной структуры алмаза может служить дополнительным методом исследования мантии Земли в геологии. По этой причине большинство синтетических алмазов являются Ib-алмазами. Получение синтетического Ia алмаза возможно только при дальнейшем отжиге образца. Достаточно большое содержание C-дефектов способно окрасить алмаз в желтый или даже коричневый цвет. Из-за того, что углерод обладает валентностью 4, а азот валентностью 5, «лишний» электрон стремится занять разрыхляющую (антисвязывающую) орбиталь, что является



причиной относительно низкой энергии активации миграции.[16] При ИК-поглощении С-дефект проявляется в виде серии полос с волновыми числами 1344, 1282, 1130 и 1100 см<sup>-1</sup>. [17] Для алмазов Ib типа характерно поглощение на длине волны 270 нм, край этой полосы располагается в районе 300 нм. Зная коэффициент поглощения на волновом числе 1130 см<sup>-1</sup>, можно определить концентрацию С-дефектов в алмазе по формуле 1. [18-19]

$$N_C (ppm) = (25 \pm 2) \cdot \mu_{1130} \quad (1)$$

*А-дефект.* Как уже было отмечено, начиная с определенных температур, азот начинает миграцию. Как было продемонстрировано в статье [15], азоту энергетически выгодно образовывать агрегаты. Результатом миграции становится молекула N<sub>2</sub> в позиции замещения, которая называется А-дефектом. Образование парного азота дает выигрыш в энергии в 2 эВ, что связано с образованием дополнительной стабилизирующей связи «лишними» электронами от каждого атома. Преобладание этого дефекта в алмазе классифицирует его как алмаз IaA типа. Согласно расчетам [20], молекула N-N обладает удлинением химической связи относительно связей С-С на ~21%. Это, в свою очередь, смещает атомы на 1\3 от их нормального расположения в атоме. В ИК-спектроскопии А-дефект проявляет себя в виде серии полос с пиками 1282, 1215, 1100, а также 480 см<sup>-1</sup>. [21] Рассчитать концентрацию А-дефекта можно по формуле 2, зная поглощение в ИК на волновом числе 1282 см<sup>-1</sup>. [22]

$$N_A (ppm) = (16.2 \pm 1) \cdot \mu_{1282} \quad (2)$$

А-дефект прозрачен в видимом спектре, а потому алмазы IaA типа часто являются бесцветными и особенно ценятся в ювелирном деле.

*В1-дефект (в других источниках В-дефект).* Строение этого дефекта является предметом дискуссий, однако наиболее распространенная версия заключается в формировании агрегата из четырех атомов азота вокруг одной вакансии. В-дефект приводит к окраске алмаза от желтого до коричневого цвета. [23] Данный вид дефекта обладает выигрышем энергии в 8 эВ по сравнению с 4-мя С-дефектами и одной вакансией отдельно и в 4.6 эВ по сравнению с 2-мя А-дефектами и вакансией. В ИК-диапазоне обладает полосами поглощения 1332,

1175, 1010 и 780  $\text{cm}^{-1}$ . Наиболее сильной полосой является 1175  $\text{cm}^{-1}$ . Расчет концентрации В1-дефекта производится формуле 3. [11]

$$N_{B1} (ppm) = 35 \cdot \mu_{1175} \quad (3)$$

Преобладание этого дефекта в алмазе причисляет его к алмазам IaB типа, однако здесь стоит сделать ремарку, что классификация алмазов весьма условна, и сказать, где находится граница между IaA и IaB типами (как и между I и II) невозможно. Поэтому в геммологии принято говорить, что если у алмаза наблюдается сопоставимая концентрация А- и В1-дефектов, то алмаз обозначают как IaAB.

*В-дефект* (в литературе также встречается обозначение *В1-дефект*). В-дефект – это атом бора в позиции замещения. Преобладание этого дефекта причисляет алмаз к типу Ib. Алмазы Ib типа чрезвычайно редки в природе, обладают свойствами полупроводников и голубой окраской. В ИК-спектре обладает поглощением на 1290 и 2810  $\text{cm}^{-1}$ . Концентрацию В-дефектов можно определить по формуле 4.[11]

$$C_B = 0.7 \cdot 10^{16} \cdot \mu_{2810} = 1,6 \cdot 10^{17} \cdot \mu_{1290} \quad (4)$$

Помимо перечисленных дефектов в алмазе также наблюдаются дополнительные. Дополнительными эти дефекты считаются, потому что их описание строится на описании основных, и нередко их модель является моделью основного дефекта, не завершившего свою агрегацию.

*В2-дефект (В'-дефект)*. В2-дефект иногда также называют плателетами. Модель этого дефекта до сих пор является предметом споров и дискуссий. Нет точной модели, описывающей этот вид дефектов, однако наука склоняется к тому, что В2-дефект является макроскопической сегрегацией междоузельных атомов в плоскости (100), в состав которой входит как углерод, так и азот, на что указывает косвенно наличие этого дефекта только в алмазах IaA и IaB типа. Размер плателетов может достигать от нескольких нанометров до нескольких микрометров, что дает возможность наблюдения этого дефекта в микроскопе.

В ИК-спектре В2-дефект проявляет себя максимумами поглощения  $1370\text{ см}^{-1}$  и сателлитом  $1430\text{ см}^{-1}$ . Концентрация дефектов определяется по формуле 5. [24]

$$N_{B2}(\text{см}^{-3}) = 2 \cdot 10^{14} \mu_{1370} \quad (5)$$

*N2- и N3-дефекты (3NV)*. Является В1-дефектом, в котором отсутствует один из атомов азота. Это один из самых ярких дефектов, который можно обнаружить в спектре фотолюминесценции и поглощения. Обладает бесфоновой линией (БФЛ) на длине волны  $415.2\text{ нм}$ . В исследовании [25] наблюдается кубическая зависимость интенсивности фотолюминесценции БФЛ от интенсивности облучения, что является доказательством модели с участием трех атомов азота. N2-дефект обладает той же структурой, что и N3, однако имеет отрицательное зарядовое состояние. БФЛ –  $478\text{ нм}$ , однако N2 не проявляется в люминесценции, а только в поглощении. N3 и N2 не проявляют себя при ИК-спектроскопии, а большое содержание этих дефектов в алмазе придает ему желтую окраску.

*N2- и N3-дефекты (2NV)*. N2 и N3 являются переходной ступенью в образовании В1-дефекта и состоят из захватившего вакансию А-дефекта в нейтральном (N3) и отрицательном зарядовом состоянии (N2). Всего наблюдается 19 дефектов с маркировкой Н, однако в алмазах чаще всего встречаются только N2, N3 и N4. [11] N3 обладает БФЛ  $503.2\text{ нм}$  при фотолюминесценции. N2 –  $986.3\text{ нм}$ .

*N4-дефект (4N2V)*. Образуется в результате присоединения вакансии к В1-дефекту. [26] Обладает БФЛ  $495.8\text{ нм}$  в спектрах поглощения и люминесценции.

Последние 2 дефекта, стоящие внимания и связанные с азотом – это  $NV^0$  и  $NV^-$ . Аналогично N2 и N3 являются одним и тем же дефектом в нейтральном и отрицательном зарядовом состояниях. Исходя из названия, являются С-дефектом с захваченной вакансией. БФЛ  $NV^-$  –  $647.2\text{ нм}$ ,  $NV^0$  –  $575\text{ нм}$ . Большое содержание NV-дефектов приводит к появлению красной окраски. [26]

*S2-дефект.* Этот дефект проявляется в алмазах, имеющих примеси никеля. Его модель является агрегацией азота и никеля. Сам дефект является центром окраски на длинах волн 344-477 нм. [27]

*Водородные дефекты.* Водород участвует в агрегации многих дефектов. Будучи одним из основных элементов органической химии наравне с углеродом, способен образовывать в алмазе радикалы и органические молекулы в узлах кристаллической решетки –  $\text{CH}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$  –  $\text{C}=\text{CH}_2$  и т.д. Поэтому в ИК-спектре дает полосы поглощения, характерные для органических соединений или связи  $\text{NH}$ , а именно –  $3107 \text{ см}^{-1}$ ,  $1405 \text{ см}^{-1}$ ,  $2960 \text{ см}^{-1}$ ,  $2922 \text{ см}^{-1}$  и  $2853 \text{ см}^{-1}$ . Особый интерес представляет пик  $3107 \text{ см}^{-1}$ , поскольку он проявляет себя ярче всего в синтетических алмазах, будучи составной частью дефекта  $\text{N}_3\text{VH}$ , структура которого похожа на  $\text{V}$ -дефект, однако отличающаяся от него наличием водорода вместо одного из азотов. Концентрацию дефектов  $\text{N}_3\text{VH}$  можно рассчитать по формуле. [28]

$$C_{\text{N}_3\text{VH}} = (110 \pm 10) \mu_{3107} (\text{ppb}) \quad (6)$$

*Собственные дефекты.* Поскольку в силовой оптике используются алмазы повышенной чистоты, собственные дефекты – дислокации, вакансии и междоузлия – обладают большим влиянием на свои свойства алмаза и являются доминирующими дефектами. Многочисленные исследования показали, что неточечные дефекты в большинстве случаев являются следствием пластических деформаций. Пластические деформации придают алмазам розовый или коричневый окрас. Для большей информации рекомендуется обратиться к библиографии [29].

Вакансии и междоузлия образуются в основном при радиационном облучении алмаза высокими энергиями – сфокусированное жесткое УФ излучение, пучки электронов, рентгеновское излучение, гамма излучение, бомбардировка ионами и т.д. Образование вакансий и междоузлий приводит к формированию френкелевских пар, которые способны аннигилировать с выделением энергии под действием катализатора. Таким катализатором может выступать лазерное излучение. Аннигиляция пар вакансия-междоузлие

приводит к люминесценции, известной как А-полоса [30]. Поэтому для силовой оптики крайне важно не только создание алмаза без примесей, но и отсутствие собственных дефектов. Кроме того, необходимо не допускать образование дислокаций в процессе использования алмаза в силовой оптике. Для этого необходимо, чтобы плотность энергии и мощность пучка находились на уровне ниже некоторого порогового значения, при котором начинается образование вакансий.

Формирование радиационных дефектов приводит к появлению серии полос ИК поглощения 1332, 1190, 115, 1065, 1010  $\text{см}^{-1}$ . Для синтетических алмазов 1570, 1535 и 1420  $\text{см}^{-1}$ . [31]

Одиночная вакансия образует полосы поглощения и люминесценции, известные как GR-линии с максимумами БФЛ 741 и 744,5 нм. [32] В отрицательном зарядовом состоянии формирует систему ND1 с БФЛ 393,5 нм. Дефекты GR и ND1 могут проходить реакции взаимного превращения и в зависимости от внешних условий будет наблюдаться увеличение или ослабление интенсивности соответствующих дефектов. [33]

*Междоузельные атомы.* TR12 является одной из разновидностей междоузельных дефектов, обладающей БФЛ 470 нм и фононными повторениями TR14-16. Междоузельные атомы в фотолюминесценции проявляют себя слабо и, как правило, появляются в алмазах в результате сильного облучения электронными, ионными и сфокусированными лазерными пучками. [34] Поскольку алмазы в силовой оптике используются на этапах, предшествующих фокусировке, то влияние междоузлий, как правило, достаточно мало.

Другой класс междоузельных дефектов обозначается как 5RL (БФЛ 270.5 нм). Описывается моделью I-C-I, где I – собственный междоузельный атом. [35]

*3N-дефект.* 3N-дефект является агрегацией вакансионных дефектов. Обладает БФЛ 503.5 нм. Наиболее распространенная модель, описывающая этот дефект состоит из двух атомов углерода и двух вакансий VC=CV. [36]

На основании всего изложенного выше, мы можем сделать вывод о том, что для силовой оптики особый интерес представляют алмазы типа Па, обладающие

изначально малым количеством примесей. Именно примесные структуры являются причиной появления оптически активных центров и центров окраски. Даже в прозрачных кристаллах при воздействии лазерного пучка наблюдается люминесценция, обусловленная примесными структурами. Вакансии и междоузлия атома также могут инициировать фотолюминесценцию, однако эти дефекты, во-первых, являются слабыми оптическими центрами, во-вторых, появляются в результате радиационного воздействия. Чтобы предотвратить формирование этих дефектов достаточно использовать алмазы в нефокусированных лазерах и в непрерывных лазерах. Крайне недопустимо использование алмазов в оптике ультракоротких лазерных импульсов из-за невероятно высоких показателей напряженности электромагнитного поля, способного при небольших мощностях образовывать радиационные дефекты.

### 1.3 Методы контроля и диагностики примесных структур алмазов

*Спектрофотометрия.* Спектрофотометр – это устройство, которое сравнивает пропускание выбранного образца и холостой пробы на широком диапазоне длин волн от ближнего ИК до ближнего УФ. Спектрофотометр состоит из 4 основных блоков: источник света, кюветная камера, монохроматор и спектрометр. (Рис. 1.13) [37]

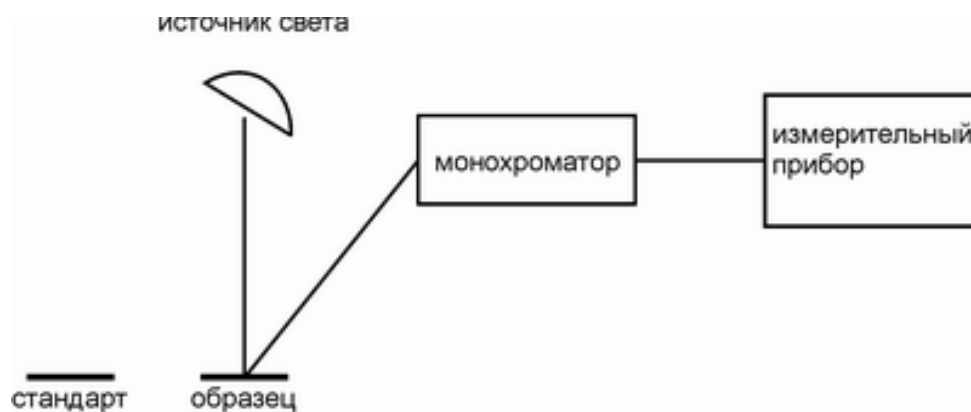


Рисунок 1.13 — Схема работы спектрофотометра

Данные, полученные при помощи спектрофотометра, позволяют получить спектры поглощения и пропускания образца, что дает нам представление об основных оптических свойствах алмаза. Более подробное описание работы спектрофотометра приведено в разделе 2.

*ИК-спектроскопия.* ИК-спектроскопия давно зарекомендовала себя как надежный и достаточно точный способ контроля и диагностики для многих сфер. При помощи данных ИК-спектроскопии (или ИК-Фурье спектроскопии) можно получить не только качественные характеристики, но и рассчитать количественно концентрации дефектов, а также понять, является ли образец природным, синтетическим, был ли он подвержен НРНТ облагораживанию (НРНТ – аббревиатура High Pressure High Temperature, дословно «высокое давление, высокая температура») и т. д.

Схема работы ИК-спектрометра представлена на Рисунке 1.14. Принцип его работы основан на эксперименте Майкельсона, опровергнувшего теорию эфира. Излучение из источника 1 разделяется светоделителем СД на два пучка, которые потом попадают на фотоприемник 2, где дают интерференционную картину. На пути следования этих пучков стоит исследуемый образец. После применения Фурье-преобразования можно получить спектр ИК-поглощения. [38]

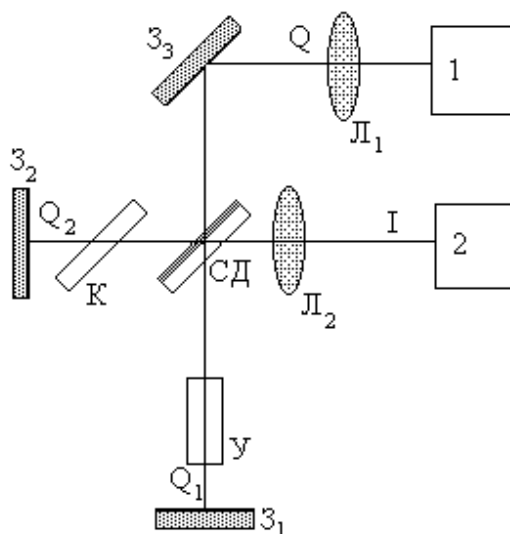


Рисунок 1.14 — Схема работы ИК-Фурье спектрометра. 1 – источник света, 2 – фотоприемник, 3 – зеркала, СД – светоделитель, К – компенсатор, У – устройство, изменяющее разность хода, Л – линзы.

В предыдущем разделе было много времени уделено описанию различных дефектов, и нередко говорилось о максимумах поглощения в ИК. Эти максимумы как раз получались при использовании ИК-спектрометров. На

рисунке 1.15 представлены спектры поглощения в ИК для алмазов, содержащих А, В или С-дефекты. По приведенным в предыдущем разделе формулам можно также рассчитать концентрацию дефектов в алмазе.

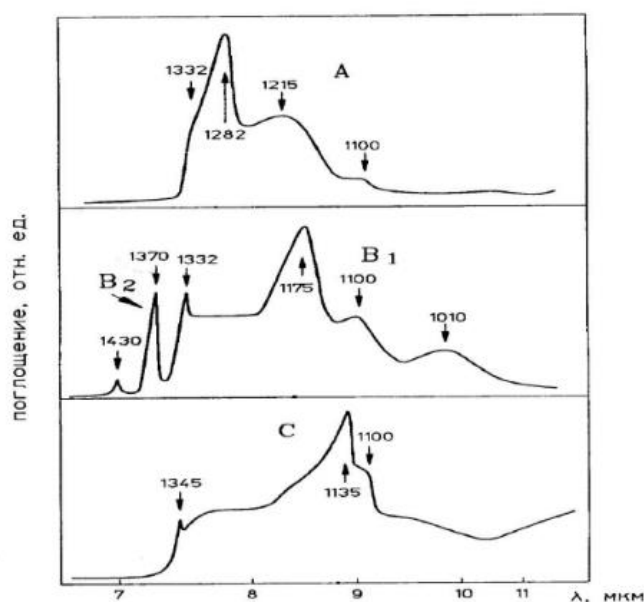


Рисунок 1.15 — ИК-спектры поглощения различных дефектов с характерными для них максимумами.

*Лазерная фотолюминесценция.* Лазерная фотолюминесценция исследована хуже всего из известных нам методов. Во многом потому, что еще не формализованы методы исследования, и каждый исследователь проводит свои опыты в тех условиях, в которых считает нужным сам. Обычно исследование лазерной фотолюминесценции строится по следующему алгоритму: алмазный образец помещают на пути следования лазера, а перпендикулярно ему ставят объектив спектрометра. Лазер индуцирует фотолюминесценцию, спектр которой позже анализируется. Если исследователь замечает какое-то примечательное свечение, то он ищет в специальном справочнике (самый популярный – справочник Зайцева), что могло вызвать это свечение, на основании чего строится вывод о наличии в алмазе тех или иных дефектов. При этом остальные аспекты проведения экспериментов у каждого исследователя свои. Температура образца, режим работы лазера, фокусировка пучка, длина волны излучения накачки, длительность импульса лазера, тип алмаза, наличие шлифовки образца и т.д.



Результатом всего описанного выше является то, что многие исследования и трактовки их результатов противоречат друг другу. Например, вот цитата из справочника Зайцева [39]:

«2.477 eV (500.5 nm); A; ZPL; a center observed in type Ib synthetic diamonds grown by the temperature gradient method using nickel-containing catalysts. The center can be generated in synthetic diamonds after HPHT treatment at temperatures above 1700°C. The annealing of the center can occur at a temperature of 1800°C (Yelisseyev et al. 1992b; Yelisseyev and Nadolinny 1995a; Lawson and Kanda 1993b).

2.478 eV (500.2 nm); CL; ZPL; the B-line; a center observed in natural brown diamonds exhibiting yellow PL when excited with a Hg lamp. The center has triclinic symmetry. The decay time of the center in CL at 77 K is 40 ns (Field 1992; Jorge et al. 1983; Mohammed et al. 1982a)»

Это практически одна и та же длина волны. Разница между первым и вторым лежит в пределах погрешности, но трактовки абсолютно разные – для одних это БФЛ, характерная для синтетических алмазов Ib типа, а для других – это БФЛ, характерная для природных коричневых алмазов. Поэтому при обнаружении в справочнике нужной длины волны необходимо ознакомиться с источником, чтобы убедиться, что условия эксперимента совпадают с вашими.

Все выше сказанное о фотолюминесценции алмаза, тем не менее, не уменьшает важность и значимость использования этого метода, поскольку тот же метод ИК-спектроскопии не может обнаружить дефект NV<sup>0</sup> или N3. Зато мы точно можем сказать, что резкий максимум в фотолюминесценции на длине волны 415 нм – это БФЛ N3-центра, а 575 нм – БФЛ NV<sup>0</sup>. Поэтому, несмотря на всю неоднозначность метода, несмотря на его относительно малую изученность – это все еще действенный метод обнаружения дефектов в алмазе.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4АМ0К	Колосов Никита Владимирович

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	Отдел машиностроения
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01 Машиностроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией из открытых источников о состоянии рынка на текущий момент относительно стоимости компонентов НИ.  Работа со знаниями, полученными в процессе прохождения практики на предприятиях.  Информация, представленная в нормативно-правовых документах (законах, указах, нормативах и т.д.).
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности определения отношений между пользователями социальной сети Twitter на основе анализа текста сообщений.

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

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

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	30.11.2022
---	------------

### Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор	Гасанов Магеррам Али оглы	д.э.н.		

### Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4АМ0К	Колосов Никита Владимирович		

**Тема:** «Исследование оптически активных дефектов алмазов, используемых в силовой оптике для обработки твердых сред»

**Краткое описание.**

Данная ВКР посвящена исследованию оптических свойств алмазов электронного качества, применяющихся в обрабатывающей промышленности и в силовой оптике. Основная проблема и преимущество силовой оптики – высокие мощности лазерного излучения. С одной стороны, высокая мощность позволяет обрабатывать твердые материалы, не поддающиеся иным видам обработки с точностью, которую может достичь лазер, с другой стороны, это предъявляет требования к материалам, используемым в силовой оптике. Материал должен выдерживать длительное воздействие лазерного излучения мощностью до десятков киловатт.

Перспективным в этом плане представляется алмаз электронного качества, не взаимодействующий с излучением. Обратная проблема заключается в высокой стоимости таких алмазов. В природе они не встречаются, а выращивание требует больших денег и привлечения наукоемких CVD установок. Как следствие, возникает потребность в выяснении граничных условий, при которых алмаз уже не является особо чистым, что снижает его стоимость, но все еще остается пригодным для использования в силовой оптике.

В данной ВКР проведено исследование граничных условий содержания азотных дефектов в синтетических алмазах, которые могут быть использованы в силовой оптике. Исследование воздействия алмаза с лазерным излучением является перспективным направлением и в науке. Так, например, в ФИАН (Москва) изучается возможность использования алмазов и других твердых сред в качестве носителя информации, на данный момент рассматривается возможность маркировки алмаза, в дальнейшем создание ROM-носителей.

Таким образом, данная ВКР обладает большим потенциалом для внедрения в обрабатывающую промышленность за счет прямого снижения цены на используемые в лазерных установках комплектующие.

#### **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

##### **Введение**

Невозможно переоценить влияние лазеров на современный мир. Нобелевскую премию за их изобретение выдали спустя всего 4 года после появления первого лазера, что, по меркам нобелевского комитета, почти мгновенная реакция. Лазеры используются повсюду: от медицины до розничной торговли. Отдельную категорию составляют лазеры для силовой оптики.

Силовая оптика используется для обработки твердых сред – металлы, композитные материалы, наукоемкие материалы и т.д. За счет высокой мощности излучения такие лазеры могут быть использованы даже в качестве оружия. Сегодня трудно представить себе промышленность без лазерной резки, сварки или отжига, все это — силовая оптика.

Для снижения стоимости лазерных установок имеет смысл обратить внимание на снижение стоимости комплектующих, используемых в силовой оптике. Один из часто используемых компонентов в силовой оптике – алмаз. Алмазы бывают разного качества, что приводит к мысли об использовании алмазов более низкого качества, если это не скажется критически на работе установки.

Основная цель данного раздела – оценить перспективность данного решения и планирование его финансовой и коммерческой ценности.

Коммерческая ценность определяется в данном случае более низкой ценой на комплектующие, производство которых уже налажено, что означает практически мгновенную возможность внедрения.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;

- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Для анализа потребителей результатов исследования рассмотрим целевой рынок и проведем его сегментирование. Области применения лазеров ширятся с каждым днем, захватывая все новые области в промышленности, науке, медицине и многих других областях. Силовая оптика специализируется на лазерах высоких мощностей, выше 1 кВт, что позволяет использовать лазеры в обрабатывающей промышленности.

Лазеры высокой мощности применяются для резки, пайки, сварки и закалки металлов, для микрообработки материалов, зачастую наукоемких материалов, которые невозможно или нерентабельно обрабатывать более традиционными методами. Широкие перспективы у лазерного оружия для перехвата воздушных целей. Лазерные противовоздушные установки уже используются в ВС таких стран, как Россия, США, Англия, Китай, Япония, Израиль и др.

Однако как сами лазеры, так и оборудование и материалы, используемые для обеспечения их работы (подвижки, призмы, линзы, зеркала и пр.) становятся многократно дороже при росте мощности, поскольку к материалам начинают предъявляться дополнительные требования устойчивости к лазерному излучению. Поэтому не менее важно снизить цену на оптические приборы, чем на сам лазер. Одним из универсальных материалов силовой оптики является алмаз электронного качества (практически идеальный алмаз без примесей, монокристалл), граничные характеристики которого не изучены.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка услуг по разработке интернет-ресурсов.

		Вид деятельности			
		Производство		Сфера услуг	Научно-исследовательские организации
		Промышленное оборудование	Системы контроля		
Размер компании	Мелкие				
	Средние				
	Крупные				

Фирма А
  Фирма Б
  Фирма В

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Среди материалов силовой оптики существует множество оптических стекол. Их преимущество состоит в низкой себестоимости, однако эти стекла не являются универсальными – у одних недостаточно высокий показатель оптической прочности, у других коэффициент пропускания на одних частотах выше, чем на других. Альтернативной является синтетический алмаз. Конечно, цена алмаза намного выше, однако алмаз долговечнее, прочнее как в оптическом, так и в механическом смысле.

В качестве примера конкурента из оптических стекол был взят LiF, а из алмазов CVD алмаз электронного качества, Па типа, монокристалл.

В своей ВКР я предлагаю брать CVD алмаз более низкого качества, который обладал бы преимуществом более приемлемой цены на рынке и в то же время оставался достаточно прочным как алмаз для силовой оптики.

С помощью Таблицы 4.2 проведем анализ ресурсоэффективности технологии.

Таблица 4.2 — анализ ресурсоэффективности

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Простота условий эксплуатации	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
2. Оптическая прочность	0,15	4	3	5	0,6	0,45	0,75
3. Механическая прочность	0,05	5	2	5	0,25	0,1	0,25
4. Спектр коэффициента пропускания	0,2	5	2	5	1	0,4	1
5. Универсальность	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
<b>Экономические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Стоимость изготовления	0,2	3	5	1	0,6	1	0,2
2. Конкурентоспособность	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
3. Послепродажное обслуживание	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
4. Стоимость эксплуатации	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
Итого	1	40	30	38	4,3	3,5	3,95

Анализ технических решений оценивается по формуле:

$$K_i = \sum V_i \cdot B_i \quad (4.1)$$

Где К – конкурентоспособность разработки

$V_i$  – Вес показателя (в долях)

$B_i$  – Балл  $i$ -го показателя

Из анализа технических решений отлично видно, что разработка является весьма перспективной, поскольку позволяет совместить основные преимущества двух конкурирующих конкурентных решений.

### 4.1.3 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT – анализ проводится в несколько этапов, первый из которых заключается в выявлении сильных и слабых сторон технологии, выявлении возможностей и угроз для реализации проекта. Результаты анализа сведены в Таблицу 4.3, матрицу SWOT

Таблица 4.3 — Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Высокая перспективность С2. Гос. Финансирование потребителей С3. Нет необходимости перестройки производства	Сл1. Сниженная универсальность Сл2. Наукоемкость технологии Сл3. Отсутствие большого количества производств, требующих данную технологию на территории РФ
Возможности: В1. Быстрое внедрение технологии на рынок В2. Снижение себестоимости В3. Спрос на результаты исследований		
Угрозы: У1. Возможные перебои финансирования, урезание финансирования. У2. Внешние экономические санкции		



Для второго этапа строится интерактивная матрица проекта (Таблица 4.4), чтобы выявить соответствие сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Таблица 4.4 — Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны				
		С1	С2	С3
Возможности проекта	В1	+	+	+
	В2	+	0	+
	В3	+	-	+
Угрозы проекта	У1	-	+	-
	У2	+	-	+
Слабые стороны				
		Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	В1	+	+	+
	В2	-	-	-
	В3	+	+	+
Угрозы проекта	У1	-	+	+
	У2	-	-	+

В таблице знак «+» означает сильное соответствие сильных сторон возможностям, знак «-» – слабое соответствие и «0» выражает сомнения в том, что поставить «+» или «-».

На третьем этапе строится итоговая матрица SWOT-анализа. (Таблица 4.5)

Таблица 4.5 — Заполнение матрицы SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Высокая перспективность</p> <p>С2. Гос. Финансирование потребителей</p> <p>С3. Нет необходимости перестройки производства</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Сниженная универсальность</p> <p>Сл2. Научоемкость технологии</p> <p>Сл3. Отсутствие большого количества производств, требующих данную технологию на территории РФ</p>
--	--	---

Возможности: В1. Быстрое внедрение технологии на рынок В2. Снижение себестоимости В3. Спрос на результаты исследований	Высокая перспективность, спрос на результат исследования, а также возможность старта производства на уже существующих производственных линиях позволяют моментально войти в рынок.	В РФ слабо развита индустрия производства синтетических алмазов для силовой оптики, что снижает степень внедрения технологии.
Угрозы: У1. Возможные перебои финансирования, урезание финансирования. У2. Внешние экономические санкции	Основной угрозой является несвоевременное финансирование – может возникнуть нехватка материалов для исследований.	Вследствие слабого развития производства в РФ в условиях санкций может возникнуть невозможность модернизации и расширения производства

#### 4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла ни находилась научная разработка, полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в Таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4

Продолжение таблицы 4.6

4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	4
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	4
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	4
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	3	3
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>52</b>	<b>55</b>

Поскольку суммарное количество баллов находится в пределах 44 – 59, то можно говорить о том, что перспективность проекта выше среднего. Имеется достаточно сведений об отраслях, а также о товарной форме. Кроме того, имеется сеть потенциальных потребителей не только в России, но и зарубежом. Также имеется команда разработчиков, обладающая достаточным объемом знаний, в том числе для консультации и технической поддержки. Однако по-прежнему

отсутствуют маркетинговые исследования и бизнес-план. Для составления вышеизложенных пунктов возможно привлечение компетентных в области планирования бизнес-стратегии людей.

#### **4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

В современном мире любая разработка оценивается с точки зрения потенциала к коммерциализации при реализации на рынке. Перспективность проекта, определенная в разделе 1.4.1 помогает нам в выборе способов коммерциализации. Поскольку перспективность оценена как «выше среднего», наиболее эффективными методами коммерциализации могут стать:

- Торговля патентными лицензиями;
- Передача ноу-хау;
- Инжиниринг.

Инжиниринг является наиболее вероятным, поскольку компонентная база НТИ весьма широка, и может варьироваться в зависимости от поставленных задач (источники питания различной топологии и мощности, различные конструкции лазеров на красителях и пр.).

С осторожностью можно попробовать организовать собственное предприятие, желательно совместное. Есть уже налаженная сеть потребителей продукции, с которыми можно работать, пока продумывается стратегия расширения рынков сбыта.

#### **4.2 Инициация проекта**

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

### 4.2.1 Цели и результаты проекта

Перед определением целей необходимо перечислить заинтересованные стороны проекта. Информация по заинтересованным сторонам представлена в Таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидание заинтересованных сторон</b>
Промышленность	Дешевые комплектующие для лазерной обработки
Производитель	Получение прибыли со своего продукта
Научный руководитель, студент	Выполненная выпускная квалификационная работа

Цели и результат проекта представлены в Таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Проанализировать научную литературу по теме</li><li>• Исследовать возможность удешевления комплектующих для промышленной отрасли за счет снижения чистоты синтетических алмазов</li><li>• Произвести расчет стоимости</li><li>• Произвести эксперименты, доказывающие эффективность разработки</li><li>• Реализовать производство</li><li>• Внедрить разработку</li></ul>
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Успешное внедрение разработки на рынок
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Определение граничных характеристик алмаза, который может быть использован в промышленности

<b>Требования к результату проекта:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Алмаз должен обладать меньшей себестоимостью</li> <li>• Характеристики алмаза должны удовлетворять требованиям рабочего режима установки</li> </ul>
---	--

#### 4.2.2 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Эта информация представлена в Таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения</b>
1.2.3.1 Бюджет проекта	1 322 726 рублей
1.2.3.1.1 Источник финансирования	НИИ ТПУ
1.2.3.2 Сроки проекта	01.01.2023 – 31.05.2023
1.2.3.2.1 Фактическая дата утверждения плана управления проектом	12.12.2022
1.2.3.2.2 Плановая дата завершения проекта	31.05.2023

#### 4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

##### 4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На Рисунке 4.1 представлен шаблон иерархической структуры.

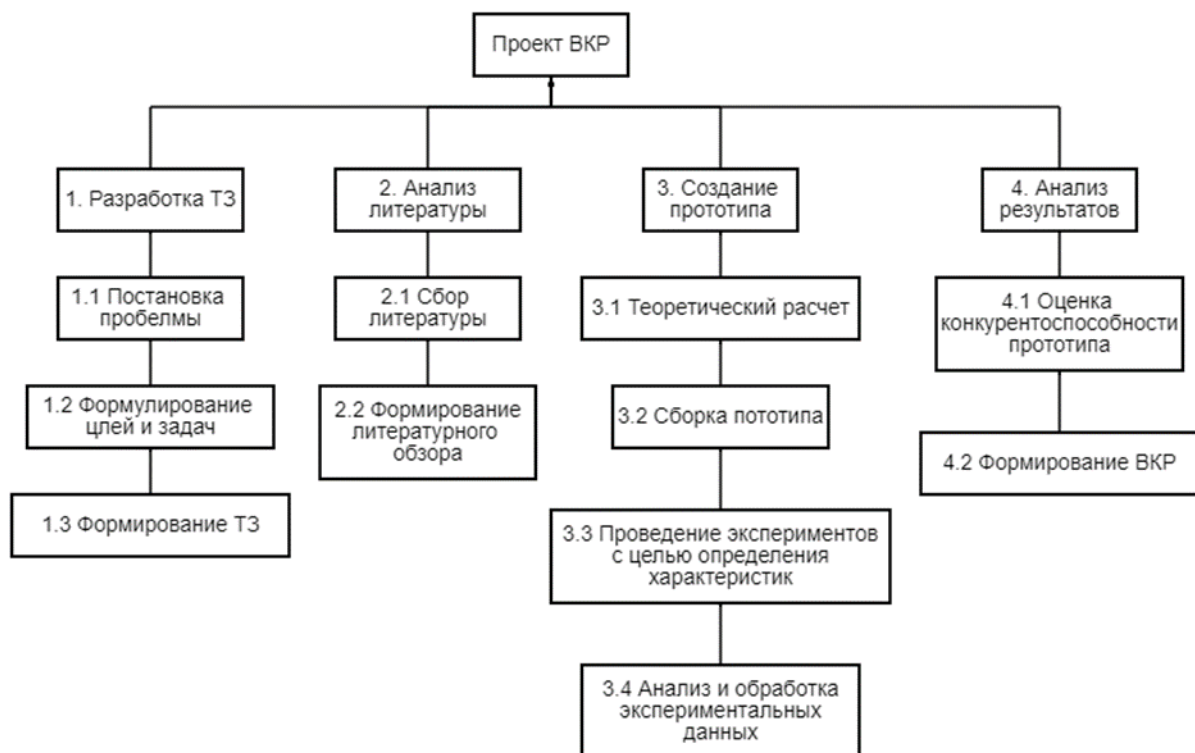


Рисунок 4.1 – Иерархическая структура по ВКР

### 4.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Таблица 4.10 – Календарный план проекта

Код работ ы (ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начал а работ	Дата окончан ия работ	Состав участник ов
1	Разработка ТЗ	2	01.02	02.02	Сорокова С.Н.
1.1	Постановка проблемы	0.5	01.02	01.02	
1.2	Формирование целей и задач	0.5	01.02	01.02	
1.3	Формирование ТЗ	1	02.02	02.02	

Продолжение таблицы 4.10

2	Анализ литературы	22	03.02	04.03	Колосов Н.В.
2.1	Сбор литературы	17	03.02	24.02	
2.2	Формирование литературного обзора	5	25.02	04.03	
3	Проведение исследования	43	07.03	06.05	Колосов Н.В.
3.1	Характеризация образцов	15	07.03	25.03	
3.2	Сборка установки	18	28.03	13.04	
3.3	Проведение экспериментов с целью определения характеристик	9	14.04	26.04	Колосов Н.В., Сорокова С.Н.
3.4	Анализ и обработка экспериментальных данных	6	27.04	06.05	Клосов Н.В.
4	Анализ результатов	15	11.05	31.05	Клосов Н.В.
4.1	Оценка конкурентоспособности прототипа	3	11.05	13.05	Клосов Н.В.
4.2	Формирование ВКР	12	16.05	31.05	Клосов Н.В., Сорокова С.Н.
Итого:		82	01.02	31.05	

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.



Таблица 4.11 – Диаграмма Ганта

Код работ	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> кал. дни	Сроки выполнения работ												
				Февраль			Март			Апрель			Май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Разработка ТЗ	Руководитель	2	■												
1.1	Постановка проблемы		0.5	■												
1.2	Формирование целей и задач		0.5	■												
1.3	Формирование ТЗ		1	■												
2	Анализ литературы	Инженер-Дипломник	22		■	■	■									
2.1	Сбор литературы		17		■	■	■									
2.2	Формирование литературного обзора		5													
3	Проведение исследования	Инженер-Дипломник	43													
3.1	Характеризация образцов		15													
3.2	Сборка установки		18													
3.3	Проведение экспериментов с целью определения характеристик	Инженер-Дипломник, Руководитель	9													
3.4	Анализ и обработка экспериментальных данных		6													
4	Анализ результатов	Инженер-Дипломник	15													
4.1	Оценка конкурентоспособности прототипа		3													
4.2	Формирование ВКР	Инженер-Дипломник, Руководитель	12													

■ - Руководитель

■ - Инженер-дипломник

График строится в виде Табл. 4.11 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

#### **4.3.3 Бюджет научного исследования**

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

#### **Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ**

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Для разработки нынешней системы требуется обычное оборудование в виде персонального компьютера и купленных серверов на время жизненного цикла программного продукта. Среда и средство разработки, программный софт и другие комплектующие, нужные для разработки, распространяются бесплатно и не требуют дополнительных затрат.

Таблица 4.12 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1.	Лазер YLR-2000-U	1	700 (договорная цена)	700

2.	ПЭВМ	1	30 (цена варьируется в зависимости от комплектации)	30
3.	ИК-Фурье спектрометр ФТ-801	1	100	100
4.	Спектрометр Ocean Optics (1 шт)	2	30	60
5.	Измеритель мощности Ophir NOVA	1	5	5
6.	Оптическое оборудование	-	3	3
7.	Образцы CVD алмазов	6	50	300
Итого:				1198

### Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда). Расчет основной заработной платы сводится в Таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1		Руководитель	23	1700	39100
2		Магистр	80	500	40000
Итого:				79100	

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.2)$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата  $Z_{осн}$  руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (4.3)$$

где  $T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн. (таблица 14);

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Значит, для руководителя:

$$Z_{осн} = 1700 \cdot 23 = 39100 \text{ рублей}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = (Z_m \cdot M) / F_d \quad (4.4)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб (в качестве месячного оклада магистра выступает стипендия, которая составляет 2650 руб);

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 28 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 5 - дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях) (табл.14). Тогда,

Для руководителя:

$$Z_{дн} = \frac{39100 \cdot 10,4}{254} = 1576,31 \text{ рублей}$$

Для дипломника:

$$Z_{дн} = \frac{500 \cdot 10,4}{217} = 23,6 \text{ рублей}$$

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52	82
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	45	52
- отпуск	–	–
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	254	217

Таблица 4.15 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	З <sub>б</sub> , руб.	k <sub>р</sub>	З <sub>м</sub> , руб	З <sub>дн</sub> , руб.	T <sub>р</sub> , раб. дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
Руководитель	1700	1.3	45000	1576,31	23	39100
Магистр	500		15000	23,6	80	40000
Итого по статье З <sub>осн</sub> :						79100

### Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} \quad (4.5)$$

где Z<sub>доп</sub> – дополнительная заработная плата, руб.;

k<sub>доп</sub> – коэффициент дополнительной зарплаты (k<sub>доп</sub> = 0,1);

Z<sub>осн</sub> – основная заработная плата, руб.

Для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 39100 * 0,1 = 3910 \text{ рублей}$$

В таблице 4.16 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.16 – Заработная плата исполнителей ВКР, руб

Заработная плата	Руководитель	Магистр
Основная зарплата	39100	40000
Дополнительная зарплата	3910	–
Зарплата исполнителя	43010	40000
Итого	83010	

### Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (43010 + 40000) = 24903 \text{ руб.} \quad (4.6)$$

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

### Накладные расходы

В эту статью относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (4.7)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot (39100 + 3910) = 12903 \text{ руб.}$$

### Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 4.17 – Бюджет затрат НТИ

№	Затраты по статьям						
	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1	300 000	898 000	83 010	3910	12 903	24 903	<b>1 322 726</b>
2	10 000	898 000	50 000	5000	16 500	16 500	<b>1 032 726</b>
3	420 000	898 000	50 000	5000	16 500	16 500	<b>1 442 726</b>

В результате было получено, что бюджет затрат НТИ составит **1 322 726** руб. При этом затраты у конкурентов составляют **1 032 726** и **1 442 726** рублей, основная часть стоимости которых составляет дорогой лазер высокой мощности и образцы алмазов или стекол. Наиболее дешевая стоимость НТИ составляет **1 032 726** рублей, однако этот вариант подразумевает использование стекол, которые не отличаются большой оптической прочностью, и в перспективе наше НТИ выигрывает очень быстро. Из вышеперечисленного можно сделать вывод о конкурентоспособности НТИ выше среднего.

#### 4.3.4 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная. Для выбора наиболее подходящей организационной структуры можно использовать Таблицу 4.18

Таблица 4.18 – Выбор организационной структуры научного проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

В данном случае выбор лежит к проектной структуре проекта из-за особенностей разработки. Проект разбивается на модули, которые осуществляют деятельность в связке с другими модулями. Кроме того, новизна технологии также является аргументом в пользу проектной структуры.



Рисунок 4.2 — Проектная структура



### 4.3.5 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. Пример плана управления коммуникациями приведен в Таблице. 4.19.

Таблица 4.19 – Пример плана управления коммуникациями

<b>№ п/п</b>	<b>Какая информация передается</b>	<b>Кто передает информацию</b>	<b>Кому передается информация</b>	<b>Когда передает информацию</b>
1.	Статус проекта	Руководитель проекта	Заказчику	Ежемесячно (в первую неделю)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Руководитель проекта	Команда разработки	Еженедельно (пятница)
3.	Документы и информация по проекту	Руководитель организации	Руководитель проекта	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Команда разработки	Руководителю проекта	Не позже дня контрольного события по плану управления

### 4.3.6 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу (Таблица 4.20).

Таблица 4.20 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Санкции	Потеря поставщиков и клиентов	4	4	Высокий	Диверсификация поставщиков и клиентов, поиск новых желательных в близких регионах из-за роста затрат на логистику	Принятие санкций в отношении РФ
2	Экономический кризис	Потеря поставщиков и клиентов	3	4	Высокий	Снижение себестоимости продукции, налаживание связей с наиболее сильными компаниями, субсидирование от гос.структур	Экономические кризисы случаются регулярно
3	Появление НТИ у конкурентов	Вызов необходимости вести конкурентную гонку	3	2	Средний	Создание долгосрочных договоров с компаниями, создание картелей	Рост популярности технологии

#### 4.4 Оценка абсолютной эффективности исследования

Чистым доходом (другие названия – ЧД, Net Value, NV) называется накопленный эффект (сальдо денежного потока) за расчетный период, где суммирование распространяется на все шаги расчетного периода. Важно четко различать окончательную эффективность проекта и затраты предприятия до даты, когда проект начнет приносить прибыль.

Другим важнейшим показателем эффективности проекта является чистый дисконтированный доход (другие названия - ЧДД, интегральный эффект, Net Present Value, NPV) - накопленный дисконтированный эффект за расчетный период. Дисконтирование представляет собой приведение доходов и расходов будущих периодов к текущему моменту с учетом временной стоимости денежных средств. Коэффициент дисконтирования (Кд) определяется по формуле:

$$K_o = \frac{1}{(1 + E)^t} \quad (4.8)$$

Где E - ставка дисконтирования за период, t - порядковый номер периода с начала реализации проекта.

Внутренняя норма доходности (другие названия - ВНД, Internal Rate of Return, IRR) характеризует внутреннюю норму рентабельности инвестиционного проекта. Внутренней нормой доходности называется такое положительное число  $E_{\text{внутр}}$ , при котором в случае установления нормы дисконта равняющейся  $E_{\text{внутр}}$ , чистый дисконтированный доход проекта обращается в 0, при всех больших значениях - отрицателен, при всех меньших значениях - положителен.

Таблица 4.21 — Определение ЧД и ЧДД

№	Показатель, млн. руб.	Номер шага (период = год) расчета (t)					
		0	1	2	3	4	5
Операционная деятельность							
1	Выручка без НДС	0	10	11,5	14	17	23
2	Полные издержки	0	-8,71	-10,96	-12,81	-14,75	-18,23
3	Прямые мат. затраты	0	-2,08	-2,36	-2,8	-3,22	-3,74

Продолжение таблицы 4.21

4	ФОТ рабочих, включая взносы во внебюджетные фонды	0	-2,49	-3,45	-4,2	-5,1	-6,9
5	Силовая энергия	0	-0,8	-0,83	-0,89	-0,95	-0,99
6	Производственные расходы	0	-1,24	-1,67	-1,82	-1,97	-2,34
7	Хозяйственные расходы	0	-1,15	-1,44	-1,75	-1,88	-2,01
8	Коммерческие расходы	0	-0,2	-0,22	-0,26	-0,29	-0,33
9	Логистические расходы	0	-0,66	-0,87	-0,92	-1,13	-1,64
10	Прочие расходы	0	-0,09	-0,12	-0,17	-0,21	-0,28
11	Денежный поток от производственной (операционной) деятельности	0	1,29	0,54	1,19	2,25	4,77
<b>Инвестиционная деятельность</b>							
12	Поступление инвестиций	2	1	1	0	0	0
13	Капиталовложения, обслуживание инвестиций	-5,71	-3,5	-1	0	0	0
14	Сальдо от инвестиционной деятельности	-3,71	-2,5	0	0	0	0

15	Сальдо суммарного потока	-3,71	-1,21	0,54	1,19	2,25	4,77
16	Сальдо накопленного потока	-3,71	-4,92	-4,38	-3,19	-0,94	3,83
17	Коэффициент дисконтирования при ставке дохода 10%	1	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621
18	Дисконтирование суммарного потока	-3,71	-1,099	0,446	0,894	1,537	2,962
19	Дисконтированные инвестиции	-5,71	-3,182	-0,446	0	0	0

Период окупаемости рассчитывается по формуле:

$$t = \frac{-C_{H4}}{C_{сум5}} = \frac{0,94}{4,77} = 0,2 \quad (4.9)$$

Где  $C_{H4}$  - сальдо накопленного потока за 4-й год (последнее отрицательное значение),  $C_{сум5}$  - Сальдо суммарного потока за пятый год (следующий за последним отрицательным)

Итого, срок окупаемости составляет 4,2 года.

Индекс доходности инвестиций (ИД) - отношение суммы доходов от производственной (операционной) деятельности к абсолютной величине капитальных вложений. Он равен увеличенному на единицу отношению ЧД к накопленному объему инвестиций. ИД определяется как с учетом, так и без учета дисконтирования;

$$ИД = 1 + \frac{ЧД}{К} = 1 + \frac{3,83}{10,21} = 1,37 \quad (4.10)$$

Для определения дисконтированного индекса доходности (ИДД) в нашем примере найдем сумму дисконтированных инвестиций (ДК).

$$ИДД = 1 + \frac{ЧДД}{ДК} = 1 + \frac{2,962}{9,338} = 1,32 \quad (4.11)$$

Для оценки социальной эффективности научного проекта магистранту необходимо выявить критерии социальной эффективности, на которые влияет реализация научного проекта и оценить степень их влияния.

Таблица 4.22 — Критерии социальной эффективности

Критерии социальной эффективности	
До	После
Производство алмазов – крайне дорогое и наукоемкое производство	Дороговизна производства алмазов снижена
Высокие энергозатраты загрязняют окружающую среду	Снижение энергозатрат на производства
Алмазы все еще остаются малоизученной структурой	Получены новые научные технические знания

#### 4.5 Оценка сравнительной эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (табл. 4.19). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} \quad (4.12)$$

Где  $\Phi_{pi}$  - стоимость  $i$ -го варианта исполнения,  $\Phi_{\max}$  - максимальная стоимость исполнения НТИ

$$\begin{aligned}
 I_{\phi}^{p1} &= \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\max}} = \frac{1322726}{1442726} = 0,92 \\
 I_{\phi}^{a1} &= \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\max}} = \frac{1032726}{1442726} = 0,7 \\
 I_{\phi}^{a2} &= \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{\max}} = \frac{1442726}{1442726} = 1
 \end{aligned}
 \tag{4.13}$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p
 \tag{4.14}$$

Где  $I_m$  интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов,  $a_i$  - весовой коэффициент  $i$ -го параметра,  $b_i^a, b_i^p$  - бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания,  $n$  – число параметров сравнения.

Таблица 4.23 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Оптические стекла	CVD кристаллы
Долговечность	0,3	5	2	5
Удобство эксплуатации	0,15	5	4	5
Универсальность	0,25	4	2	5
Цена	0,3	4	5	2
Итого:	1	18	13	17

$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p = 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 = 4,45$$

$$I_m^{a1} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i^{a1} = 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 2 + 0,3 \cdot 5 = 4,1 \quad (4.15)$$

$$I_m^{a2} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i^{a2} = 0,4 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 = 4,1$$

Интегральный показатель эффективности разработки и аналога определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{4,45}{0,92} = 4,84$$

$$I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_\phi^{a1}} = \frac{4,1}{0,7} = 5,86 \quad (4.16)$$

$$I_{\text{финр}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_\phi^{a2}} = \frac{4,1}{1} = 4,1$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^{a1}} = \frac{4,84}{5,86} = 0,83$$

$$\mathcal{E}_{cp2} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^{a2}} = \frac{4,84}{4,1} = 1,18 \quad (4.17)$$

Таблица 4.24 — Сравнительная эффективность разработки

№	Показатель	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,7	1	0,92
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,1	4,1	4,45



3	Интегральный показатель эффективности	5,86	4,1	4,84
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,83	1,18	-

Из сравнения значений интегральных показателей видно, что из-за высокой стоимости алмазов аналог 2 при паритете в ресурсоэффективности проигрывает разработке в интегральном параметре эффективности. В то же время оптические стекла предлагают дешевое решение с финансовым показателем несколько меньшим, чем разработка, однако проигрывает в показателе ресурсоэффективности. Таким образом, разработка является некой альтернативой, которая позволяет при некоторых потерях качества образцов добиться резкого улучшения финансовых показателей, что делает разработку крайне перспективной.

### **Выводы по разделу**

В данном модуле НТИ было подвергнуто анализу с точки зрения готовности к выходу на рынок и конкуренции с уже существующими аналогами. Несмотря на ряд несовершенств и слабых сторон, которыми обладает НТИ, разработка может стать достойной альтернативой качественному и удобному с точки зрения эксплуатации, но дорогому CVD алмазу электронного качества.

В результате анализа рынка были выявлены конкурентные преимущества разработки, ее слабые стороны и основные риски при попытке внедрения на рынок в ближайшее время. Грамотно оценив слабые стороны и угрозы и воспользовавшись сильными сторонами НТИ и открывшимися возможностями современных экономических реалий, можно говорить о развертывании производства.

Разработка обладает потенциалом ко внедрению на рынок и дальнейшего развития для увеличения ресурсоэффективности и снижения себестоимости, что делает ее сильным конкурентом наиболее популярных аналогов на сегодняшний день.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>		
4АМОК	Колосов Никита Владимирович		
<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	Отдел машиностроения
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01 Машиностроение

Тема ВКР:

<b>Исследование оптически активных дефектов алмазов, используемых в силовой оптике для обработки твердых сред</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p>Объект исследования – CVD алмаз электронного качества                  Область применения – Обрабатывающая промышленность, ВПК                  Рабочая зона: <u>лаборатория</u>                  Размеры помещения климатическая зона*) 25 м<sup>2</sup>                  Количество и наименование оборудования рабочей зоны:                  волоконный лазер высокой мощности YLR-2000-U (1 шт),                  ПЭВМ (1 шт), ИК-Фурье спектрометр ФТ-801 (1 шт.),                  спектрофотометр (1 шт), спектрометр Ocean Optics (1 шт),                  измеритель мощности Ophir NOVA (1 шт), оптическое оборудование (зеркала, линзы, перископы и т.д.)                  Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: исследование спектров люминесценции и поглощения алмаза под действием лазерного и немонохроматического излучения, регистрация характеристик работы образца при облучении лазером высокой мощности</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>СП 60.13330.2020 "Отопление, вентиляция и кондиционирование"                  СанПин СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда"                  СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания                  ТК РФ Статья 212. Государственные нормативные требования охраны труда и национальные стандарты безопасности труда                  ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя»                  СанПин СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда"                  Приказ Министерства здравоохранения РФ от 18 мая 2021 г. N 464н "Об утверждении Правил проведения лабораторных исследований"                  ФЗ от 30.03.199 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> </ul>	<p><b>Опасные факторы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека;</li> <li>– Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий,</li> <li>– Опасные и вредные производственные факторы, связанные с неионизирующими излучениями, такими как: <u>лазерное излучение;</u></li> </ul>

	<p><b>Вредные факторы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неионизирующими ткани тела человека: переменного характера, связанного с: <ul style="list-style-type: none"> <li>• наличием электромагнитных полей промышленных частот (порядка 50-60 Гц);</li> <li>• наличием электромагнитных полей радиочастотного диапазона;</li> </ul> </li> <li>- Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего: температурой и относительной влажностью воздуха, скоростью движения (подвижностью) воздуха относительно тела работающего</li> <li>- Опасные и вредные производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде и характеризующиеся повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума</li> </ul> <p>Для защиты от электропоражения используются резиновые коврики, барьеры и предупреждающие знаки. Для защиты органов зрения от лазерного излучения используются очки со специальным фильтром. Для контроля микроклимата используется вентиляция с вытяжкой. В качестве защиты от шума используются средства индивидуальной защиты.</p> <p>– Расчет производится по искусственному освещению</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</b></p>	<p>Воздействие на селитебную зону: <u>Некоторые виды лазеров могут работать с токсичными и опасными веществами (например, щелочные металлы или галогены), выброс которых возможен в случае ЧС</u></p> <p>Воздействие на литосферу: <u>Необходимость утилизации отбракованного алмаза</u></p> <p>Воздействие на гидросферу: <u>Использование дистиллированной воды в системе охлаждения приводит к безвозвратному потреблению водных ресурсов</u></p> <p>Воздействие на атмосферу: <u>выбросы вентиляционных систем, содержащие малые концентрации частиц алмазной пыли</u></p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b></p>	<p>Возможные ЧС: - пожар в результате короткого замыкания или поражения горючих объектов лазерным излучением</p> <p>Наиболее типичная ЧС – пожар</p>
<p><b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> <span style="float: right;">30.11.2022</span></p>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ0К	Колосов Никита Владимирович		

## **Введение**

Силовая оптика – важный раздел современной физики, нашедший применение в ряде сфер человеческой деятельности:

- Обрабатывающая промышленность
- Медицина
- Сфера науки
- Оборонная отрасль
- Опорные звезды
- Производство микроэлектроники
- Навигация
- Зондирование атмосферы [1]

Одной из основных проблем силовой оптики является устойчивость оптических элементов лазерных установок к лазерному воздействию. Обычное стекло ввиду слабой прочности быстро приходит в негодность, поэтому одной из альтернатив является использование алмаза. Обрабатывающая промышленность в первую очередь заинтересована в развитии и удешевлении этого материала. Лазеры также используются в таких областях медицины как: оториноларингология, гинекология, проктология, урология, - а также для внутрисосудистого разрушения участков с атеросклеротическими поражениями в нижних конечностях, сердце, головном мозге и других органах тела. [2]

Исследуемый объект – синтетический алмаз электронного качества, подверженный лазерному излучению высокой мощности (в моем исследовании использовалась номинальная мощность 2 кВт, однако мощность может достигать до сотен кВт). Алмаз отличается высокой оптической, термической и механической прочностью, что обуславливает его место в силовой оптике.

Лазерное излучение чрезвычайно опасно и может стать причиной ожогов, потери зрения, пожаров и других ЧП или несчастных случаев. Речь идет о лазерах, способных резать листовой металл и сверлить композитные материалы, что обеспечивает их использование во многих отраслях.

Лаборатория представляет из себя помещение 3x5 м, оснащенное оптическим оборудованием, таким как: лазер высокой мощности YLR-2000-U, измеритель мощности Ophir Nova, линзы, зеркала, перископы, штативы, оптический стол (стол с просверленными периодически отверстиями с резьбой), рабочий стол, ПЭВМ, спектрометр.

В ходе исследования лазер высокой мощности (до 2 кВт излучения) направляли на алмазный образец, чтобы проверить его оптические свойства. Такие, как пропускание, оптическая прочность, скорость нагревания и рабочая температура как алмаза, так и используемого оборудования, люминесценция алмаза и появление графитовой фазы.

При воздействии лазера на вещество возможны следующие процессы: возбуждение атомов, что приводит к люминесценции, нагрев и образование новых структур внутри образца (например, графит).

YLR-2000-U – волоконный лазер высокой мощности, волоконный, ближнего ИК диапазона (1070 нм). Питается от сети 220 В, имеет систему водяного охлаждения.

## **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **5.1.1 Специальные нормы трудового законодательства**

В соответствии с классификацией по ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя» [3] лаборатория имеет легкую категорию работ - работы, выполняемые сидя. В соответствии с этим ГОСТом работа должна быть организована таким образом, чтобы требуемые трудовые операции могли свободно выполняться в пределах моторного поля (Рис. 5.1).

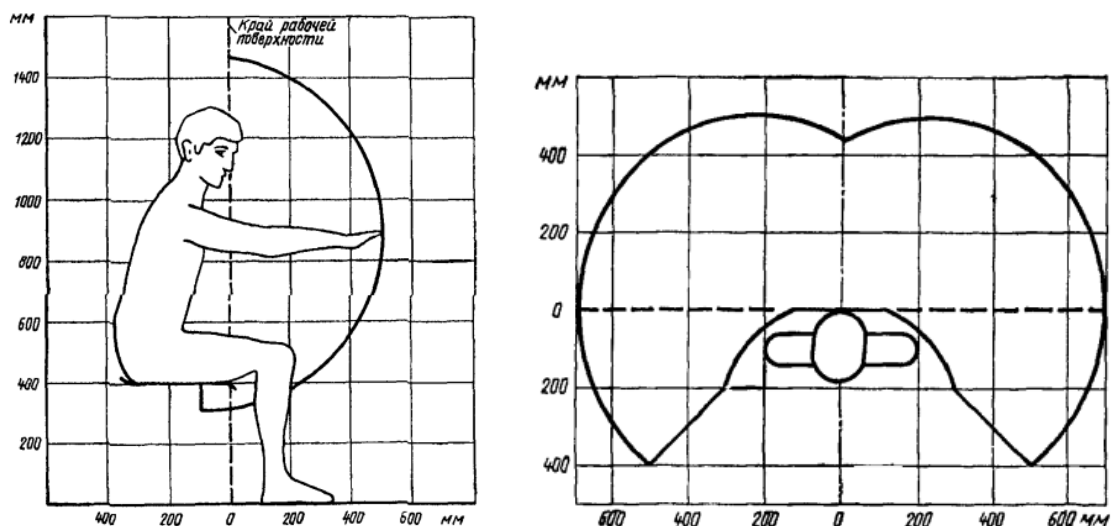


Рисунок 5.1 - Зона досягаемости моторного поля в вертикальной плоскости

В нашем случае это решается просто – после монтирования оптической схемы все управление ее работой осуществляется при помощи ПЭВМ. Так как работа предполагает возможность ее выполнения как мужчинами, так и женщинами, специальные антропометрические показатели не предусмотрены.

Трудовые нормы при работе с лазером регулируются ТК РФ Статья 351.6 [4], и ТК РФ Статья 212 [5]. Нормы предусматривают основные меры по снижению влияния вредных и опасных факторов.

По требованию ТК РФ [4-5] и [3] работа в лаборатории должна рационально организовать условия труда в течение смены:

- 1) Длительность рабочей смены не более 8 часов.
- 2) Установка двух перерывов (не менее 20 мин. после 1-2 часов работы и 30 минут после 2 часов)
- 3) Обеденный перерыв не менее 40 минут.
- 4) Обязательный медосмотр при приеме на работу и периодический медосмотр.
- 5) Регулярные инструктажи оп технике безопасности, электробезопасности.

### **5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.**

В соответствии с категорией работ рабочее место, предназначенное для работы сидя должно оснащаться столом и сиденьем. Стол обязан иметь высоту рабочей поверхности стола в районе 680 – 800 мм; Стол должен иметь пространство для ног не менее 600 мм и шириной не менее 500 мм. При этом ширина и глубина поверхности сиденья составляет не менее 400 мм, передний край сиденья должен быть закруглен. Сиденье должно иметь регулировку высоты поверхности 400 – 550 мм, а высота опорной поверхности спинки должна составлять 300 мм, ширина спинки не менее 380 мм.

Лаборатория оснащена ПЭВМ, что также вносит дополнительные требования. При работе с ПЭВМ норма площади с помещения с плазменными или ЖК экранами составляет не менее 4.5 м<sup>2</sup> в соответствии с СанПин СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда" [6], а общая освещенность не должна превышать гигиенические нормативы п.2 ст.38 ФЗ от 30.03.199 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» [7].

### **5.2 Производственная безопасность**

Неблагоприятные производственные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 [8] «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» по результирующему воздействию на организм работающего человека подразделяют на вредные и опасные. В Таблице 5.1 приведена оценка возможных отклонений, вредных и опасных факторов исследования на всех этапах работы



Таблица 5.1 — Оценка возможных отклонений, вредных и опасных факторов исследования на всех этапах работы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Опасные факторы	
– Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека;	ГОСТ 12.3.004-75 Термическая обработка металлов [9]
– Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий,	ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [10]
– Опасные и вредные производственные факторы, связанные с неионизирующими излучениями, такими как: <u>лазерное излучение</u> ;	ГОСТ 31581-2012 ЛАЗЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ [11]
Вредные факторы	
– Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неионизирующими ткани тела человека. <u>Электромагнитное поле радиочастотного диапазона</u>	СанПин 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [12]
– Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неионизирующими ткани тела человека: 2) переменного характера, связанного с: • <u>наличием электромагнитных полей промышленных частот (порядка 50-60 Гц)</u> ;	СанПин 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [13]

– Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего: температурой и относительной влажностью воздуха, скоростью движения (подвижностью) воздуха относительно тела работающего	СП 60.13330.2020 "Отопление, вентиляция и кондиционирование" [21]
– Опасные и вредные производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде и характеризующиеся повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума	СанПин 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [12]

### **5.2.1 Анализ вредных факторов производственной среды**

#### **5.2.1.1 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неионизирующими ткани тела человека. Электромагнитное поле радиочастотного диапазона**

Источником фактора является электроника лазера, которая производит электромагнитное поле в диапазоне десятков-сотен кГц.

Электромагнитные поля отрицательно влияют на сердечно-сосудистую и центральную нервную системы человека. Причиной появления электромагнитных полей является использование лазеров, использующих синхронизацию мод.

Синхронизация мод работает с частотой до нескольких десятков МГц с возможностью регулировки частоты. В соответствии с СанПин 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [12] допустимые значения облучения человека электрическим и магнитным полем нормируются

в зависимости от частоты электромагнитного поля. В таблице 5.2 представлены нормы облучения человека электрическим и магнитным полем высокой частоты.

Максимальные значения напряженности электрического и магнитного поля не должны превышать значения, изложенные в Таблице 5.2

Таблица 5.2 — Нормы облучения человека электрическим и магнитным полем высокой частоты

Параметр	ЭЭ <sub>ПДУ</sub> в диапазоне частот (МГц)				
	0,03-3,0	3-30	30-50	50-300	300-300 000
ЭЭ <sub>Е</sub> , $(\frac{В}{м})^2 \cdot ч$	20 000	7000	800	800	-
ЭЭ <sub>Н</sub> , $(\frac{А}{м})^2 \cdot ч$	200	-	0,72	-	-

Где ЭЭ<sub>ПДУ</sub> – предельно допустимый уровень энергетической экспозиции на рабочих местах в смену, ЭЭ<sub>Е</sub> – энергетическая экспозиция электрической составляющей поля, ЭЭ<sub>Н</sub> – энергетическая экспозиция магнитной составляющей поля.

Таблица 5.3 — Максимальные значения напряженности электрического и магнитного поля

Параметр	Максимально допустимые уровни в диапазоне частот (МГц)				
	0,03-3,0	3-30	30-50	50-300	300 – 300 000
Е, В/м	500	300	80	80	-
Н, А/м	30	-	3	-	-

**5.2.1.2 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неионизирующими ткани тела человека переменного характера, связанного с наличием электромагнитных полей промышленных частот (порядка 50-60 Гц);**

Источником фактора являются электрические розетки.

Согласно СанПин 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [12] ПДУ электромагнитного поля промышленной частоты не должно превышать 5 кВ/м, в противном случае предусмотрено снижение допустимого времени пребывания человека в таком поле.

В лаборатории промышленным диапазоном обладает электромагнитное поле розеток 220 В. При данных напряжениях напряженность поля 5 кВ/м будет достигаться на расстоянии 4.5 см от розетки. Дополнительные меры не предусмотрены

**5.2.1.2 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего: температурой и относительной влажностью воздуха, скоростью движения (подвижностью) воздуха относительно тела работающего**

Источник фактора – образец алмаза, подверженный излучению высокой мощности

ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [13] и СанПин 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [12]

устанавливают требования к таким параметрам, как: оптимальная и допустимая температура воздуха, скорость движения воздуха в рабочей зоне и относительная влажность.

В Таблице 5.4 представлены оптимальные и допустимые значения температуры, влажности и скорости движения воздуха в соответствии с категорией работы.

Таблица 5.4 — Оптимальные и допустимые значения температуры, влажности и скорости движения воздуха в соответствии с категорией работы

Период года	Категория работ	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
		Оптимальная	допустимая				Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
			Верхняя граница		Нижняя граница					
			На рабочих местах							
Постоянных	Непостоянных	Постоянных	Непостоянных							
Холодный	Легкая – Ia	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	0,1
	Легкая – Ib	21-23	24	25	20	17			0,1	0,2
	Средней тяжести – Pa	18-20	23	24	17	15			0,2	0,3
	Средней тяжести – Pb	17-19	21	23	15	13			0,2	0,4
	Тяжелая – П	16-18	19	20	13	12			0,3	0,5
Теплый	Легкая – Ia	23-25	28	30	22	20	46-60	55 (при 28 °С)	0,1	0,1-0,2
	Легкая – Ib	22-25	28	30	21	19		60 (при 28 °С)	0,2	0,1-0,3
	Средней тяжести – Pa	21-23	27	29	18	17		65 (при 28 °С)	0,3	0,2-0,4
	Средней тяжести – Pb	20-22	27	29	16	15		70 (при 28 °С)	0,3	0,2-0,5
	Тяжелая – П	18-20	26	28	15	13		75 (при 28 °С)	0,4	0,2-0,6

В соответствии с данной классификацией категория тяжести работа в лаборатории – Ib, поскольку, как показывает практика, естественная теплоизоляция образца способна обеспечить минимальные отклонения микроклимата в процессе работы несмотря на высокие температуры сердечника.

### **5.2.1.3 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде**

Источник шума – работа водяного охлаждения лазера и его электроники.

Согласно СанПин 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [12] Нормативным эквивалентным уровнем звука ( $L_{pAeqT}$ , дБА) является 80 дБА. Максимальными уровнями звука А, измеренными с временными коррекциями S и I, являются 110 дБА и 125 дБА соответственно. Пиковым скорректированным по С уровнем звука ( $L_{pC peak}$ ), дБС является 137 дБС. Предполагаемый уровень шума лазерной установки 35 – 50 дБ. Такой шум не способен повредить органы слуха, однако имеет неблагоприятное психическое воздействие. Одним из распространенных способов снизить влияние шума на организм человека является применение Средств Индивидуальной Защиты (СИЗ).

### **5.2.2 Анализ опасных факторов производственной среды**

#### **5.2.2.1 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий**

Источник фактора – токоведущие части элементов питания лазера, до которых может дотронуться рабочий.

Причиной поражения электрическим током может стать контакт человека с электрической установкой в двух местах, имеющих разность потенциалов. Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), необходимо соблюсти ряд мер для снижения опасности поражения электрическим током персонала.

Лаборатория ТПУ относится к категории помещений без повышенной опасности. Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; защитное заземление и защитное отключение. [14]

### **5.2.2.2 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с неионизирующими излучениями, такими как лазерное излучение**

Причина появления данного фактора – лазерное излучение YLR-2000-U или любых других лазерных установок высокой мощности.

Согласно ГОСТ 31581-2012 «Лазерная безопасность» [11] для лазеров любого класса опасности вводятся требования к помещению, в котором работает лазерная установка: для лазеров III и IV класса опасности помещение должно отвечать всем требованиям пожарной безопасности из-за риска возгорания при работе лазера, отделка помещения должна быть выполнена из негорючего материала с матовой поверхностью, установки должны находиться в специальном кабинете, оснащенный наружным табло, знаком лазерной опасности, внутренним запорным устройством. На данные кабинеты оформляется санитарный паспорт, персонал обязан использовать средства индивидуальной защиты.

В ГОСТ 31581-2012 «Лазерная безопасность» [11] также указано, что персонал, допускаемый к работе с лазерными изделиями, должен пройти инструктаж и специальное обучение безопасным приемам и методам работы. Инструктаж по охране труда и технике безопасности бывает различных видов и проводится с различной периодичностью (вводный, первичный, повторный, внеплановый). К работе с лазером с классом опасности выше II допускаются только лица старше 18 лет, ввод этих лазеров в эксплуатацию должна организовывать специальная комиссия, также назначается лицо, ответственное за безопасность эксплуатации лазеров.

### **5.2.2.3 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека;**

Воздействие излучения на вещество может оказывать различные эффекты, один из которых (в нашем случае основной) – термический.

Оптическое оборудование состоит из различных материалов, одним из которых являются металлы, подверженные наиболее быстрому нагреву.

Согласно ГОСТ 12.3.004-75 [9] при термической обработке металлов необходимо соблюдать следующие требования безопасности:

1. Блокировка и сигналы, предупреждающие о нарушении технологического процесса, способного привести к ЧС.
2. Нагретые в процессе термической обработки изделия и детали необходимо размещать в местах, оборудованных эффективной вытяжной вентиляцией, или специально оборудованных охлаждающих помещениях или устройствах.
3. Во всех случаях возникновения аварийных ситуаций при ведении технологического процесса (перегрев закалочной среды, обнаружение в воздухе цианистого водорода и других вредных веществ выше предельно допустимых концентраций, прекращение подачи воздуха к форсунке газовой горелки термической печи и т.п.) работу следует немедленно прекратить и принять меры к устранению аварийной ситуации. Ведение технологического процесса следует продолжать только после того, как будет выяснена причина, создавшая аварийную обстановку и будут приняты меры по ее устранению.
4. Помещения и воздуховоды от местных отсосов должны очищаться от пыли, чтобы количество взвешенной в воздухе и осевшей пыли не могло образовать взрывоопасную пылевоздушную смесь в объеме более 1% объема помещений.
5. Для нагревательных устройств должны применяться газообразное топливо и электрическая энергия. Применение твердого и жидкого топлива допускается в технически обоснованных случаях
6. При термической обработке металлов необходимо применять пожаробезопасные жидкости и материалы.



7. Ввиду особенностей работы из СИЗ (средств индивидуальной защиты) предусматриваются только рукавицы.

Остальные нормы не относятся к работам, проводимым в рамках данной ВКР, например, нормы, относящиеся к азотированию, поскольку данная операция не производится. Лаборатория ТПУ отвечает установленным нормам термической безопасности.

### 5.2.3 Расчет системы искусственного освещения

Выбор светильника: тип – ОД, 20 Вт, люминесцентный, 1200х300 мм.

Высота помещения – 4 м.

Свес светильников – 0.5 м.

Высота подвеса –  $h_n = 3.5 - 0.5 = 3.5$  м.

Высота рабочей поверхности –  $h_{pn} = 0.75$  м (высота стола).

Расчетная высота –  $h = h_n - h_{pn} = 3.5 - 0.75 = 2.75$  м

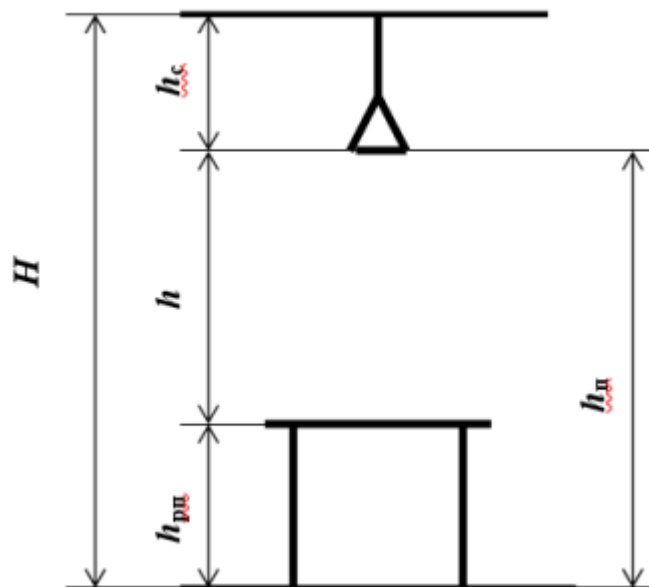


Рисунок 5.2 — Основные расчетные параметры

Расстояние между светильниками:  $L = \frac{\lambda}{h} = \frac{1.4}{2.75} = 0.51$  м

Где  $\lambda = 1.4$  для ОД.

Расстояние  $l$  от крайнего ряда до стены:  $l = \frac{L}{3} = \frac{0.51}{3} = 0.17\text{ м}$

Расстояние между светильниками в одном ряду равно расстоянию между рядами  $L$ .

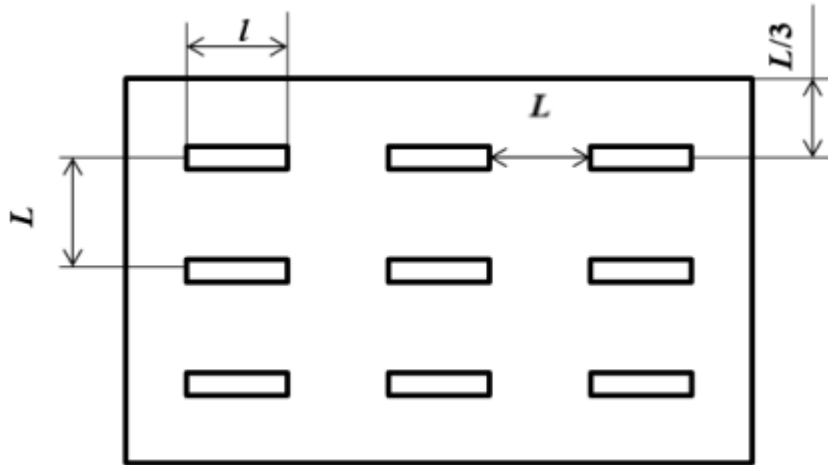


Рисунок 5.3 — Схема расположения светильников

Число рядов светильников:  $n_{\text{ряд}} = \frac{(B - \frac{2}{3}L)}{L} + 1 = \frac{(3 - \frac{2}{3} \cdot 0.51)}{0.51} + 1 = 6.22 \approx 6$

Где  $B$  – ширина помещения.

Число светильников в ряду:  $n_{\text{св}} = \frac{A - \frac{2}{3}L}{l_{\text{св}} + 0.5} = \frac{5 - \frac{2}{3} \cdot 0.51}{1.2 + 0.5} = 2.74 \approx 2$

Общее число ламп:  $n = n_{\text{св}} \cdot n_{\text{ряд}} = 2 \cdot 6 = 12$

$\eta$  зависит от индекса помещения, который рассчитывается по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{15}{2.75 \cdot (3 + 5)} = 0.68$$

Коэффициент использования светового потока:  $\eta = 0.37$

Значение бралось для  $\rho_n = 50\%$ ;  $\rho_c = 30\%$ . Так как  $i = 0.68$  в таблице не было, пришлось провести интерполяцию. Делается это при помощи уравнения для тангенса угла наклона.

$$\eta(i = 0.68) = (0.68 - 0.6) \frac{38 - 33}{0.8 - 0.7} + 33 = 37\%$$

Помещение относится к помещению со средним выделением пыли, коэффициент запаса  $K_3 = 1.8$ .

По СП 52.13330.2016 нормативная освещенность  $E_H = 200$ . Значение бралось для жилых помещений и общественных зданий для зрительных работ с различением объектов фиксированной и нефиксированной линии зрения средней точности.

$$\text{Световой поток: } \Phi = \frac{E_H \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N_{\text{л}} \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 15 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{12 \cdot 0.37} = 1114,86 \text{ лк}$$

Ближайшее нормированное значение: 1060 лк, 20 Вт.

$$\frac{\Phi_{\text{ст}} - \Phi}{\Phi_{\text{ст}}} \cdot 100\% = \frac{1060 - 1114,86}{1060} \cdot 100\% = -5,1\% - \text{Отклонение в пределах нормы.}$$

Номинальная мощность системы:  $P_{\text{сист.}} = P_{\text{лам.}} \cdot n = 20 \cdot 12 = 240 \text{ Вт}$

### 5.3 Экологическая безопасность

Экспериментальное исследование не несет значительных выбросов вредных веществ. Опасность для атмосферы, гидросферы, литосферы или биосферы лазер не несет. Выбросы соответствуют допустимым по ГОСТ 17.2.302–78 [15], поэтому их очистка не предусмотрена.

Воздействие на селитебную зону и литосферу: химическое загрязнение при ЧС активным веществом лазера (щелочные металлы). Щелочные металлы обладают особенностью моментально образовывать щелочные соединения с влагой воздуха, за что и получили свое название, поэтому ПДК имеет смысл считать не для чистого металла, а для его гидроксида.

В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 [12] гидроксиды обладают классом опасности 2 и имеет ПДК  $0.5 \text{ мг/м}^3$ .

Воздействие на гидросферу: использование дистиллированной воды в системе охлаждения приводит к безвозвратному потреблению водных ресурсов. Для снижения воздействия на гидросферу имеет смысл рационализировать габариты насосов и трубок, чтобы рассеиваемая теплота была достаточной для работы установки, но при этом требовала минимум жидкости.

Также существует риск выброса металлов в гидросферу. Класс опасности и ПДК для растворов гидроксида натрия в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 [12] такие же, как и для твердого вещества.

Воздействие на атмосферу: выбросы вентиляционных систем, содержащие малые концентрации частицы химических реагентов (щелочные металлы). Класс опасности и ПДК приведены выше.

Для снижения воздействия на окружающую среду следует утилизировать щелочные алмазную пыль, не допуская ее вредное воздействие. Дистиллированную воду можно ограничить, подобрав оптимальные габаритные параметры оборудования и расположив насос как можно ближе к охлаждаемым телам, чтобы уменьшить объем воды в трубках. Снизить выбросы в атмосферу можно путем обеспечения бóльшей герметичности кюветы лазера. Таким образом, для большей герметичности следует использовать хорошие резиновые прокладки и эпоксидную смолу.

#### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Самой распространенной и наиболее типичной чрезвычайной ситуацией является возгорание или пожар. Причиной его возникновения может быть короткое замыкание в токоведущих частях аппаратуры или возгорание в следствие нарушения правил пожарной безопасности. Согласно СП 12.13130.2009 [17] Свод правил, утв. Приказом МЧС РФ N 182, Все помещения делятся на 5 категорий: А, Б, В1-4, Г, Д. Согласно данной классификации, лаборатория ТПУ относится к категории Г умеренно опасных помещений из-за нагретых элементов лабораторной установки. Для снижения опасности пожара предусмотрены меры, приведенные в таблице 5.4. В лаборатории ТПУ возможны возгорания классов: А, Д и Е. Для тушения таких возгораний подходят углекислотные и порошковые огнетушители. [16]

При обнаружении пожара сотрудники должны немедленно сообщить о пожаре по телефону 01 в пожарную охрану, по возможности ликвидировать очаг возгорания самостоятельно, начать эвакуацию пострадавших и остального персонала, пострадавшим обеспечивается первая помощь. [17]

Таблица 5.4 — Меры для снижения пожарной опасности

Требование пожарной безопасности	Нормативное обоснование
Расстояние от возможного очага пожара до места расположения переносного огнетушителя с учетом возможных препятствий, заграждений и дверных проемов не должно превышать 40 метров для помещений категории Г	Пункт 474 ППР Пункт 4.2.4 СП 9.13130.2009
Для помещений и наружных технологических установок категорий Г и Д по взрывопожарной и пожарной опасности - не менее 0,5 куб. метра на каждые 1000 кв. метров защищаемой площади.	Пункт 484. ППР
Необходимо использование автоматических установок независимо от площади и степени пожарной опасности	Пункт А4 приложения А СП 5.13130.2009
Продолжительность работы пенных автоматических установок пожаротушения (АУП) с пеной низкой и средней кратности на этапе проектирования принимается равным 15 минутам.	Сноска 2 таблицы 5.1 СП 5.13130.2009 и примечание 7 к той же таблице

### Выводы по разделу

Согласно ПУЭ, помещение лаборатории относится к категории помещений без повышенной опасности, поскольку помещение классифицируется как сухое, не жаркое и не пыльное. [18]

Группа допуска для персонала – не ниже II. Это связано с наличием электроустановок с напряжением ниже 1000 В. [19]

Большая часть работы выполняется сидя, категория тяжести труда – Iб. [12]

Согласно СП 9.13130.2009 «Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации» [17] лабораторию можно отнести к помещению с умеренной пожароопасностью (категория Г), поскольку в помещении присутствуют раскаленные негорючие материалы (сердечник кюветы).

По воздействию на экологию лаборатория, будучи частью НИ ТПУ, относится к помещению IV категории, согласно Критериям отнесения объектов,

оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, поскольку масса загрязняющих веществ в выбросах в атмосферный воздух не превышает 10 тонн в год [20].

По сумме факторов лаборатория соответствует нормативным требованиям и является подготовленной к чрезвычайным ситуациям.

## Список использованных источников

Основной раздел:

1. А.И. Морозов ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА Кристаллическая структура. Фононы. - 1-е изд. - М: МГТУ МИРЭА, 2014
2. Mois I Aroyo, Ulrich Müller, Hans Wondratschek Historical Introduction // International Tables for Crystallography. - 2006. - №1. - С. 2-5.
3. Киттель Ч.З. Введение в физику твердого тела: Учебное пособие по физике / Киттель Чарльз – М.: Книга по Требованию, 2012. – 789 с. ISBN 978-5-458-33656-7
4. Theo Hahn International Tables for Crystallography. - Vol. A изд. - Berlin: Springer-Verlag, 2002. - 515 с.
5. Блинов Ю.Ф., Серба П.В., Московченко Н.Н. ПОСОБИЕ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ ПО КУРСУ "КРИСТАЛЛОГРАФИЯ". – 1-е изд. – Таганрог: Кафедра «Технологии микро- и нанoeлектронной аппаратуры», 2005
6. Герасимова Н. С. Кристаллические решетки и их дефекты : учебное пособие по курсу «Материаловедение». — Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. — 72 с.
7. Трушин Ю.В. Физические основы материаловедения. Издание второе (переработанное и дополненное): учеб. пособие. СПб. : Изд-во Академ. ун-та, 2015. – 356 с.
8. Теория обработки металлов давлением: учебник для вузов / В.А. Голенков, С.П. Яковлев, С.А. Головин, С.С. Яковлев, В.Д. Кухарь; под ред. В.А. Голенкова, С.П. Яковлева. – М.: Машиностроение, 2009. – 442 с.: ил.
9. Козлова О. Г. «Рост и морфология кристаллов», Изд-во Московского Университета, 1972, 304 с
10. Bundy F.P. Melting of Graphite at Very High Pressure // The Journal of chemical physics. - 1963. - №35. - С. 618-630.

11. Khmelnsky R.A. Introduction to diamond gemology. - 1 изд. - Moscow: Good Reads, 2021. - 110 с.
12. Козьменко О.А., Вине В.Г. и др. Способ обработки алмазосодержащих концентратов. Патент РФ 2316472 (приоритет от 08.02.2006).
13. Robertson R., Fox J.J., Martin A.E. Two types of diamond. - 719 изд. - London: Springer, 1934. - 83 с.
14. Е.В. Соболев, В.К. Аксенов, М.С. Медведева и др. В кн. «Оптическая спектроскопия и ЭПР примесей и дефектов в алмазе». - Киев: ИСМ АН УССР, 1986, с.3.
15. Mainwood A. Nitrogen and nitrogen-vacancy complexes and their formation in diamond // Physical Review B. - 1994. - №12. - С. 7934-7940.
16. Безруков Г.Н., Бокий Г.Б., Ключев Ю.А., Налетов А.М., Непша В.И. Природные и синтетические алмазы. - 4 изд. - М.: Наука, 1986. - 221 с.
17. В. И. Непша, В. Р. Гринберг, Ю. А. Ключев, А. М. Налетов, А. Е. Литинский, Г. Б. Бокий, Особенности рассеяния фононов на границах образца моноизотопного алмаза, Докл. РАН, 332:1 (1993), 37–39 R.G. Fairer. Ibid 7 (1969) 685.
18. Walker J., Vermeulen L. A., Camille D Clark Electronic Transitions at the Diamond Vacancy // Proceedings of the Royal Society A. - 1994. - №341. - С. 253-266.
19. М. Я. Щербакова, Е. В. Соболев, В. А. Надолинный, В. К. Аксенов, “Дефекты в пластически деформированных алмазах по оптическим и э.п.р. спектрам”, Докл. АН СССР, 225:3 (1975), 566–569
20. В. И. Лисойван, Е. В. Соболев, Изменения параметра решетки природных алмазов, Докл. АН СССР, 214:6 (1974), 1311–1314
21. Boyd S., Kiflawi I., Woods G. The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond // Philosophical Magazine. - 1994. - №69. - С. 1149-1153.



22. Loubser J. H. N., Wright A. C. J. A singly ionized N-C-N centre in diamond // *Journal of Physics D Applied Physics*. - 2002. - №9. - С. 1129-1138.
23. Е. В. Соколов, В. И. Лисойван, С. В. Ленская, “О связи экстрарефлексов типа “шипов” в лауэграммах природных алмазов с оптическими свойствами”, Докл. АН СССР, 175:3 (1967), 582–585
24. A. V. Khomich, R. A. Khmel'nitsky, N. A. Poklonski, N. M. Lapchuk, A. A. Khomich, V. A. Dravin, O. N. Poklonskaya, E. E. Ashkinazi, I. I. Vlasov, E. V. Zavedeev & V. G. Ralchenko Optical and paramagnetic properties of polycrystalline CVD-diamonds implanted with deuterium ions // *Journal of Applied Spectroscopy*. - 2012. - №79. - С. 600–609.
25. Seal M. Graphitization and Plastic Deformation of Diamond // *Nature*. - 1958. - №182. - С. 1264-1267.
26. Felix V. Kaminsky *Diamond in the Lower Mantle*. - 1 изд. - London: SPRINGERGEOL, 2017. - 257 с.
27. Woods G.S., Collins A.T. Infrared absorption spectra of hydrogen complexes in type I diamonds // *Infrared absorption spectra of hydrogen complexes in type I diamonds*. - 1983. - №10. - С. 218-226.
28. Phaal C. Plastic deformation and “work-hardening” of diamond // *Materials Research Bulletin*. - 1975. - №11. - С. 1193-1199.
29. Kudryashov S. I. et al. Signatures of ultrafast electronic and atomistic dynamics in bulk photoluminescence of CVD and natural diamonds excited by ultrashort laser pulses of variable pulsewidth // *Applied Surface Science*. - 2022. - Т. 575. - С. 151736.
30. Mita Y., Nisida Y, Okada M. Formation of the nitrogen aggregates in annealed diamond by neutron irradiation // *AIP Advances*. - 2018. - №8. - С. 1234-1237.
31. Davies G. Aggregation of Nitrogen in Diamond // *Nature*. - 1970. - №758. - С. 228-248.
32. Винс В.Г., Елисеев А.П., Жильцов А.Н., Кунгуров А.И., Рылов Г.М., Уланов Н.Е., Федорова Е.Н., Фейгельсон Б.Н., Шарапов А.П.

Особенности дефектного состава и механической обработки крупных монокристаллов синтетического алмаза. - Новосибирск: СО РАН НИЦ ОИГГМ, 1992. - 29 с.

33. Васильев В.А. Дефектообразование алмаза на разных этапах кристаллогенеза: дис. ... д-р. геол-мин. наук: 25.00.05. - СПб., 2021. - 335 с.
34. Iakoubovskii K., Kiflawi I., Johnston K., Collins A., Davies G., Stesmans A. Annealing of vacancies and interstitials in diamond // *Physica B*. - 2003. - №340. - С. 67-75.
35. В.А. Надолинный. Изучение дефектов в алмазах методом ЭПР. Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук, Н-ск.: ИНХ СО АН СССР, 1978, 25 с
36. Оптические методы в фармацевтическом анализе: лаборатор. практикум: [учеб.-метод. пособие] / [Ю. А. Глазырина, С. Ю. Сараева, А. Н. Козицина, Е. Л. Герасимова, А. И. Матерн] ; под общ. ред. С. Ю. Сараевой ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург: Издательство Урал. ун-та, 2015. — 96 с.
37. Инфракрасная Фурье-спектроскопия Егоров А.С. Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 40 с.
38. Zaitsev A.M. *Optical properties of diamond: a data handbook*. (Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2001)

Социальная ответственность:

- 1) Активный элемент лазера на парах металлов и способ его изготовления: пат. 2644985 Российская Федерация: МПК H01S 3/227/ Гликин Л.С.; Заявитель и патентообладатель: Гликин Л.С. — № 2016146731: заявл. 29.11.2016; опубл. 15.02.18
- 2) Лазерные системы на основе паров металлов для применений в медицине / А.А. Асратян, М.А. Казарян, Н.А. Лябин, И.В. Пономарев, - 1 изд. - М.: Российская академия наук, 2017. - 42 с.

- 3) ГОСТ 12.2.032-78 РАБОЧЕЕ МЕСТО ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ СИДЯ
- 4) ТК РФ Статья 351.6 Особенности регулирования труда работников в сфере электроэнергетики, сфере теплоснабжения, в области промышленной безопасности, области безопасности гидротехнических сооружений.
- 5) ТК РФ Статья 212 Государственные нормативные требования охраны труда.
- 6) СанПин СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда"
- 7) ФЗ от 30.03.199 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»
- 8) ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы
- 9) ГОСТ 12.3.004-75 Термическая обработка металлов
- 10) ГОСТ 12.1.019-2017 СИСТЕМА СТАНДАРТОВ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ И НОМЕНКЛАТУРА ВИДОВ ЗАЩИТЫ
- 11) ГОСТ 31581-2012 ЛАЗЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
- 12) СанПин 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"
- 13) ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
- 14) Б.А. Тихонов, А.Г. Дашковский, Расчет устройства защитного заземления. Методические указания к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей. Томск, изд. ТПУ, 2005. - 12 с.
- 15) ГОСТ 17.2.302–78 Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями

- 16) Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.:Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
- 17) СП 9.13130.2009 «Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации»
- 18) Правила устройство электроустановок. Седьмое издание
- 19) Приказ от 15.12.2020 № 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»
- 20) Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. N 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категориям».
- 21) СП 60.13330.2020 "Отопление, вентиляция и кондиционирование"

## **Выводы**

В данной работе было проведено исследование с целью определения предельных концентраций оптически активных дефектов алмаза для его использования в силовой оптике. Исследование проводилось при накачке ИК лазером мощностью 2000 Вт. Облучению подверглись 6 образцов разного качества от образцов электронного качества до промышленных образцов.

Предварительная характеристика проводилась при помощи спектрофотометрии, исследования люминесценции, ИК-Фурье спектроскопии. На основе данных предварительной характеристики образцы были разбиты на 3 категории, были выявлены их основные дефекты и рассчитана их концентрация.

В исследовании были получены данные о пропускной способности алмазов в ближнем ИК диапазоне, динамика нагрева образцов и интенсивность их люминесценции.

В процессе работы был создан собственный спектрофотометр.

Были проведены эксперименты: исследование скорости нагрева образцов в зависимости от концентрации их дефектов, исследование пропускной способности образцов в зависимости от концентрации дефектов

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» можно сделать следующие выводы:

1. Из всех рассмотренных вариантов реализации научно-исследовательской работы наиболее перспективным является текущий вариант исследования.

2. Был разработан график работы для руководителя и инженера. Общее время работы составляет 82 дней. Общее количество дней, которое работал инженер составляет 80 дней, общее количество дней, которое работал руководитель составляет 23 дней

3. Проектный бюджет составляет **1 322 726** рублей

4. Результат оценки эффективности исследования показал:

В сравнении с конкурентными аналогами исследование является выгодным, поскольку его интегральный финансовый показатель равен 0,92.

Показатель ресурсоэффективности оставляет желать лучшего 4,3 на фоне конкурента 3,5. Несмотря на это, отставание не является критическим.

Интегральный показатель эффективности также оставляет конкурентов позади и составляет 5,86. Показатели конкурентов: 4.1.

После анализа раздела «Социальная ответственность» можно прийти к выводам о том, что наибольшую опасность представляет лазерное излучение, которое может повредить глаза и кожу персонала. Меры по предотвращению воздействия лазерного излучения на тело человека носят как организационный, так и технический характер. Электромагнитное излучение снижается при помощи экранирования источника поля.

Для профилактики возгорания применяют как организационные мероприятия, так и технические: персонал проходит инструктаж, в помещении есть средства автоматического пожаротушения, оповещения, а также ручные огнетушители.

Лаборатория отвечает требованиям безопасности.

Приложение II (справочное)

**Investigation of Optically Active Defects in Diamonds Used in Power Optics for Treatment of Solid Media**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ1К	Колосов Н.В.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сорокова С.Н.	к. ф-м. н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Южакова М.А.	Специалист по учебно-методической работе		

## **Research methodology**

Six electron-band synthetic cubic cut diamond samples, crafted using CVD technology were used in this study. Two of them passed quality control for work in power optics. Four left were rejected. To characterize the samples, each was analyzed by IR spectroscopy, spectrophotometry and luminescence analysis. The study consists of monitoring some parameters under the high powered fiber laser load. During the laser working diamond temperature and laser beam power before and after the sample will be tracked. After the radiation test, diamonds will be visually inspected for the presence of graphite inclusions which appearance is due to laser radiation. The absence of graphite inclusion is immensely important. When graphite appears, we will assume that this sample is not suitable for operation in high-power lasers under any conditions.

## **Spectrophotometer crafting**

One of the main devices for characterizing diamond samples is a spectrophotometer, the principle of operation of which was described above. To conduct the study, the question arose of creating our own spectrophotometer.

We used the frame of monochromator MDR-12 as a base for our further spectrophotometer. Monochromator used to be used in work but with time became out of order. The choice of using monochromator as bonding construction is based on following points: first, this is optic craft by its purpose, which means it fits numerous optical standards; second, monochromator is a part of spectrophotometer, which means layout and alignment are already done even though it demands significant modifications for spectrophotometer crafting, still this is modification not creation from the beginning, third, we have all the documentation for this monochromator which makes our work easier.

Figure 2.1 shows optical scheme for spectrophotometer.



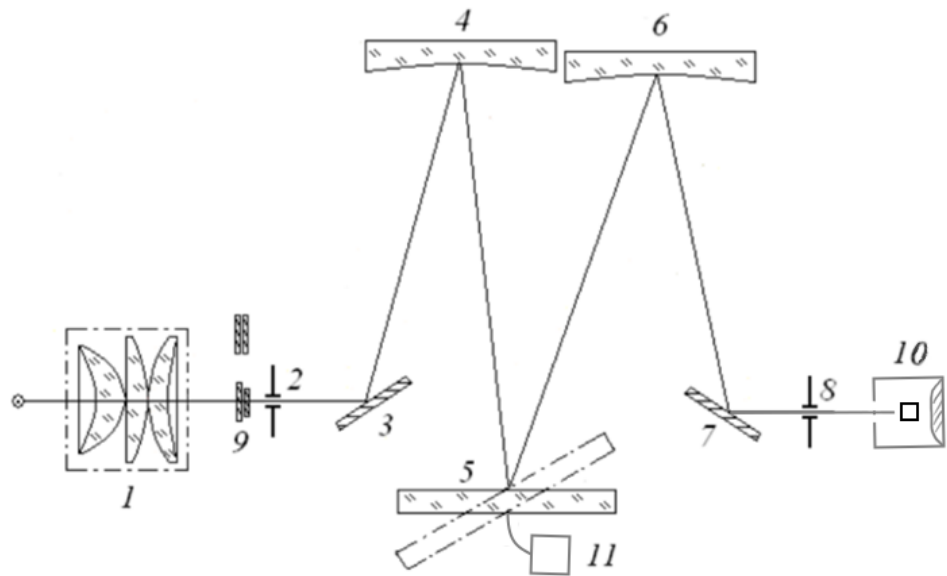


Fig. 2.1 — Optical scheme for spectrophotometer

Light source 1 lights enter diaphragm 2. Rotating mirror 3 directs beam to parabolic lens 4. Scattered light reaches grating 5. Dispersed light is directed onto a parabolic lens 6. Lens 4 and 6 are at optical distance of their focuses that forms parallel dispersed beam directed to mirror 7 and exit diaphragm 8. Passed light is directed to cell 9 containing sample which transmission is registered by spectrometer 10. The angle of grating rotation is adjustable by stepper motor 11 ShDR-711 and microprocessor 12 ARM SAM9N/CN series programmed for our purposes. All the data we get from the spectrometer 10 are formed as digital signal which passes to PC for for further processing.

Halogen lamp is the light source 1. Fig. 2.2 shows its spectrum.

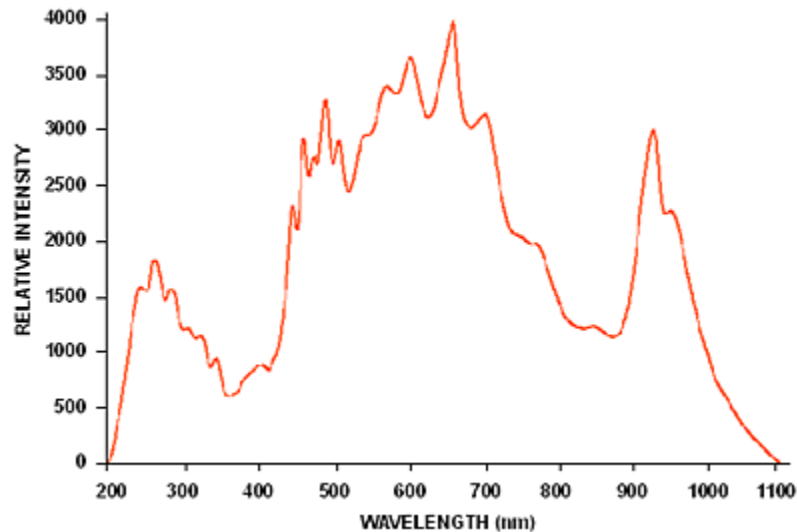


Fig. 2.2 — Halogen lamp radiation spectrum

The monochromator construction was changed in some ways due to inception some new components. For example, it is necessary to add a sell camera for sample and adjust ray tracing for it. Both of parabolic lenses were changed due to space limits. Focus distance became shorter. On one hand, it has negative consequences for accuracy of our craft, on another, we managed to insert new necessary components. Ray tracing is changed as well. New cells make beam exit by the 90 degrees angle to enter direction and exit mirror 7 was changed to 3 mirrors system. Initially, the design of the monochromator did not imply the presence of a source of illumination - the light had to come from outside. To avoid the complication of ray tracing the light source cell is situated from outside and welded to main construction.

Electric component had considerable changing as well. If the original design was aimed at manually determining the wavelength to be chosen, then the work of the new design is to detect radiation at all wavelengths. For this aim, standard circuits were chosen which excluded any manual grating rotation control. New circuit obeys PC signals only and their input comes from USB B. The power circuit of the electronic component and the light source are combined.

In general, with the exception of the software part, the modernization of the monochromator design cost relatively simple operations - drilling, threading, soldering and welding of sheet materials.

### **Samples characterization.**

6 examples of cubic cut 0.5 x 0.5 x 0.5 cm, synthesized with chemical vapor deposition (CVD) technology using. Two first samples are electron-band quality have extremely low impurity defect concentration, transparent in visual range. Second pair are transparent as well but contain some impurities. Third pair are light pink colored, recognized as defected. Grown from hydrocarbons (methane, butane, propane), they have hydrogen and nitrogen as the main impurities, which appeared unintentionally in the vacuum chamber. For characterization, the samples were subjected to IR spectroscopy, spectrophotometry, laser beam irradiation, followed by the study of the photoluminescence graph.

### **IR-spectroscopy**

Any diamond spectrum can be split speculatively in 2 areas: one-phonon absorption (lower  $1400\text{ cm}^{-1}$ ) and two- or more phonon absorption (higher  $1400\text{ cm}^{-1}$ ). This splitting is important as most of the impurity defects that are observed in IR are in the one-phonon region and spectrum we observe in two-phonon region is via carbon absorption peculiarity. The maxima  $3107\text{ cm}^{-1}$  is the exception which is CH- radical absorption in compound of N3VH defect. Using the above formulas, we can calculate nitrogen and hydrogen defects.

IR-absorption spectra are demonstrated at figures 2.3 – 2.10. Measured by using IF-Fourier spectrometer FT-801.

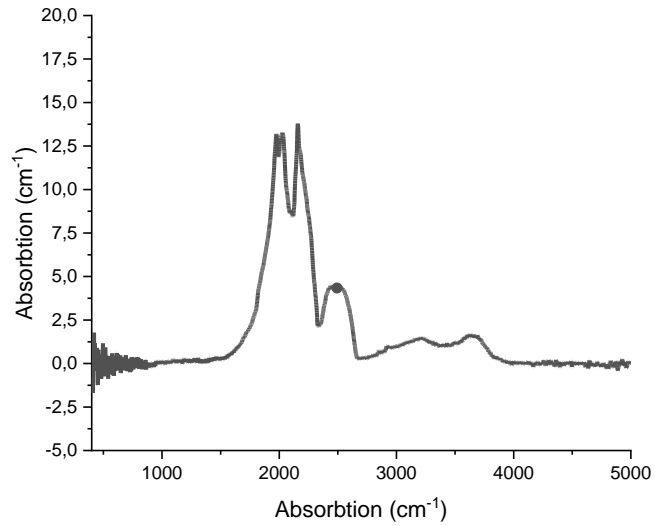


Fig. 2.3 — Sample 1 IR absorption

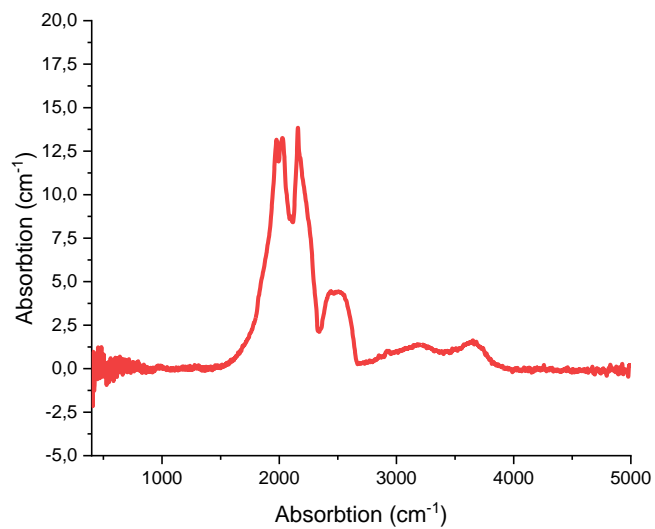


Fig. 2.4 — Sample 2 IR absorption

Samples 1 and 2 are used as control group. These samples were recognized as fitting for using in laser technique optical elements purposes. As it is shown, there is an absence of absorption in one-phonon region and that what makes us to a conclusion of a very little containing of nitrogen, which classifies them as type IIa. Diamond cubic cut let us achieve outstanding figure of ratio signal\noise and at the same time big relatively to wavelength samples size let us avoid unpleasant phenomena such as interferences that appear only at the boundaries of measurements.

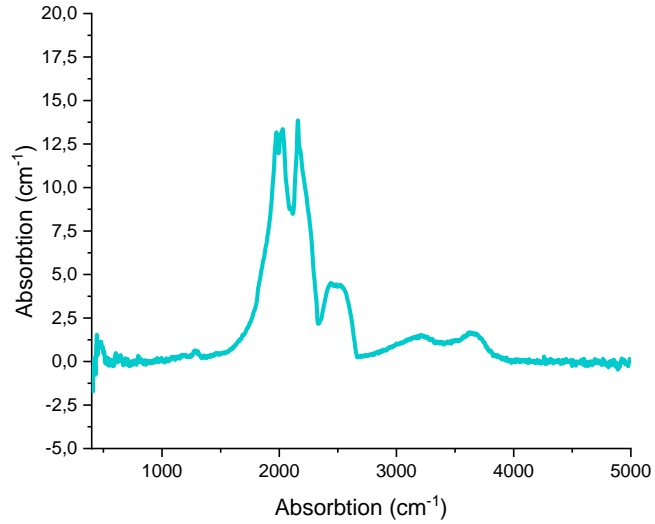


Fig 2.5 — Sample 3 IR absorption

Sample 3 has pretty low absorption in one-phonon region but its value is that low so it is hard to calculate defect concentration which let us classify this sample as IIa also.

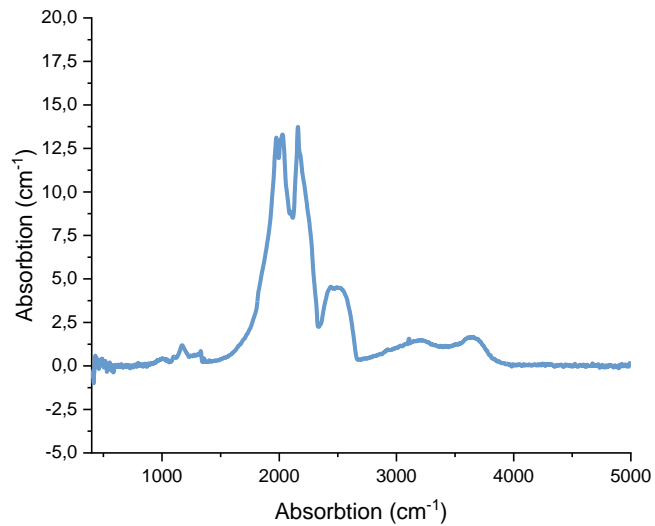


Fig 2.6 — Sample 4 IR absorption

In this sample (Fig. 2.6) and subsequent ones, bright N3VH peaks (Fig. 2.7) and absorption characteristic of IaB type crystals in the one-phonon region are already observed (Fig. 2.9). The concentrations of all defects in samples 1-6 were calculated and summarized in Table 2.1.

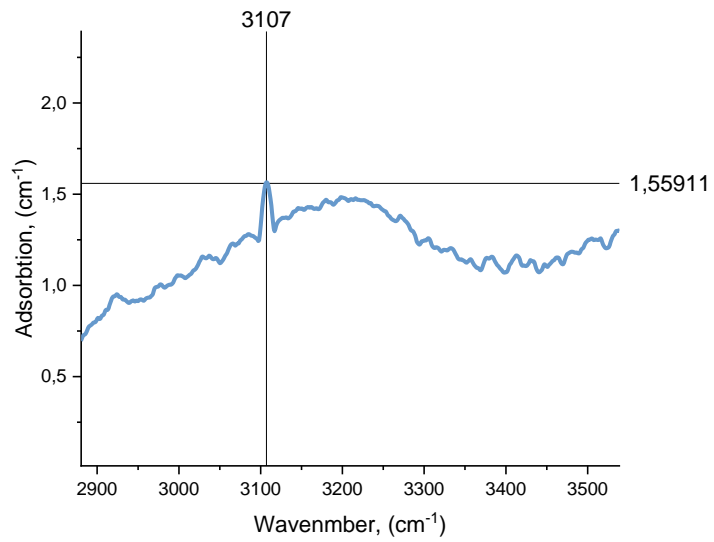


Fig 2.7 — Sample's 4 N3VH absorption peak

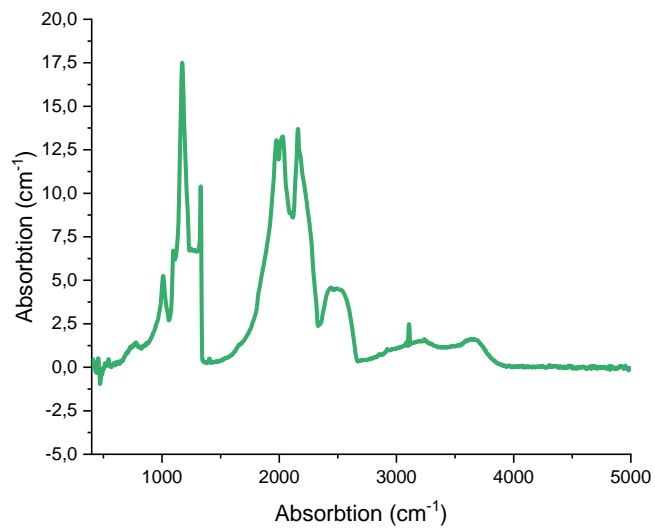


Fig 2.8 — Sample 5 IR absorption

Huge enough defects containing is detected by comparing self and interstitial defect's absorption where second one is bigger in this sample. Judging by typical form of the absorption curve spectrum (fig. 2.9), this is IaB type diamond.

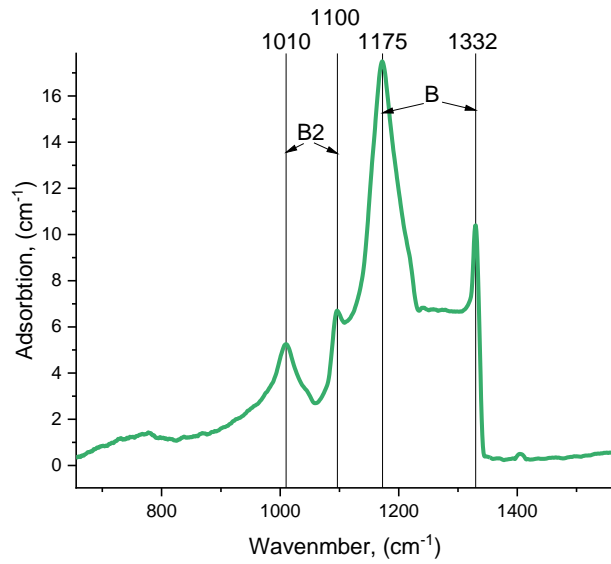


Fig 2.9 — One-phonon absorption of sample 5

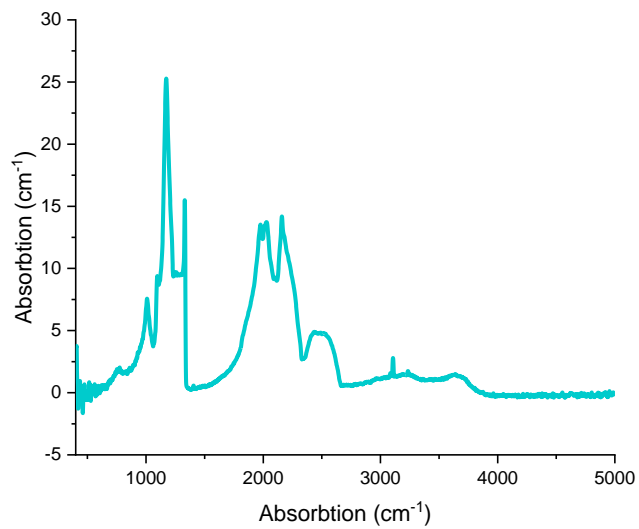


Fig 2.10 — Sample 6 IR absorption

Table 2.1 — Defects concentration

Sample №	Type	C(B1), ppm	$\mu$ (B2, 1010), $\text{cm}^{-1}$	C(N3VH), ppb
1	IIa	0	0	0
2	IIa	0	0	0
3	IIa	35	0	0
4	IaB	56.1	0	171.5
5	IaB	146	3.2	271.5
6	IaB	274	7.5	303.6

## Spectrophotometry

Using crafted my me setup, I did spectrophotometry for all samples (Figs. 2.11 – 2.16)

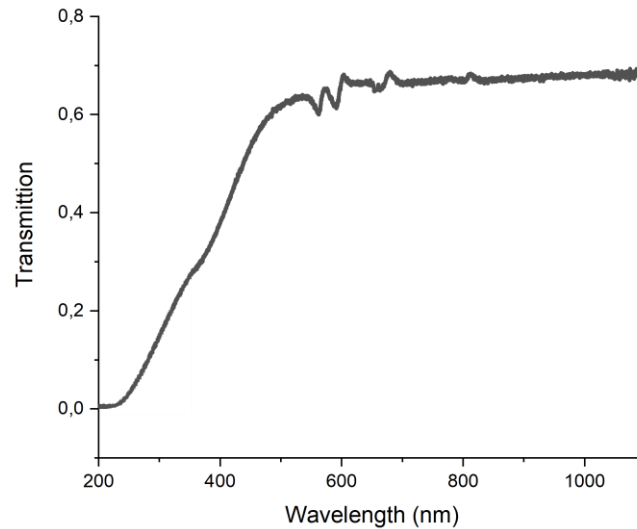


Figure 2.11 — Sample 1 spectrophotometry

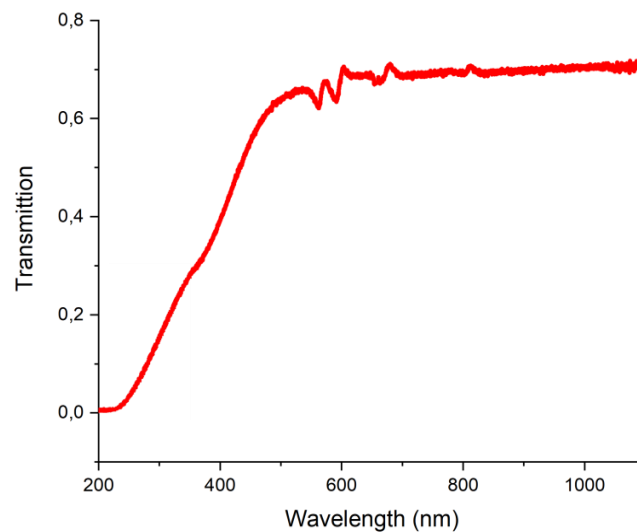


Figure 2.12 — Sample 2 spectrophotometry

As can be seen from the presented figures, the samples have complete absorption only at wavelengths less than 225 nm, which corresponds to the energy of direct electronic transitions from the valence band to the conduction band.



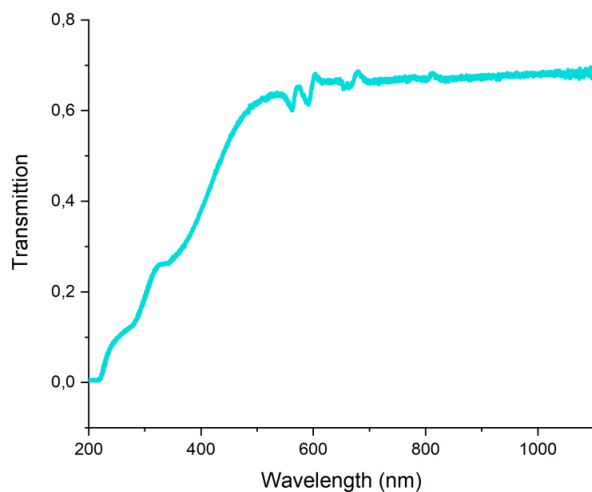
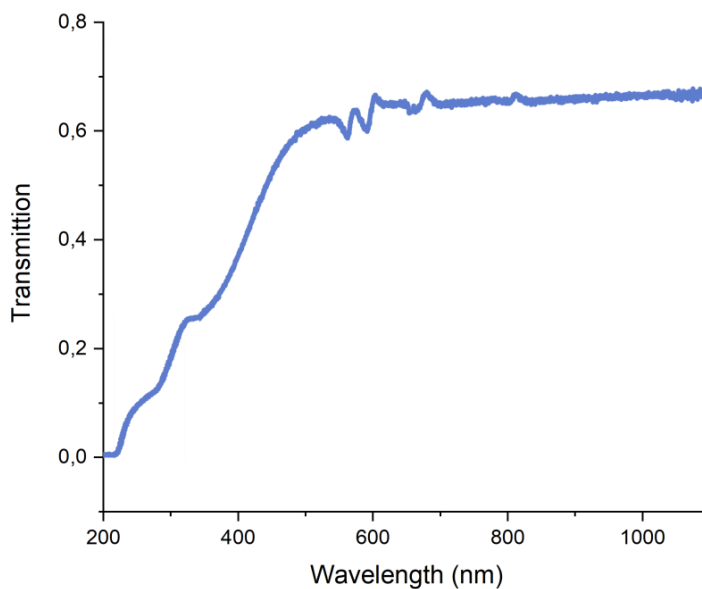
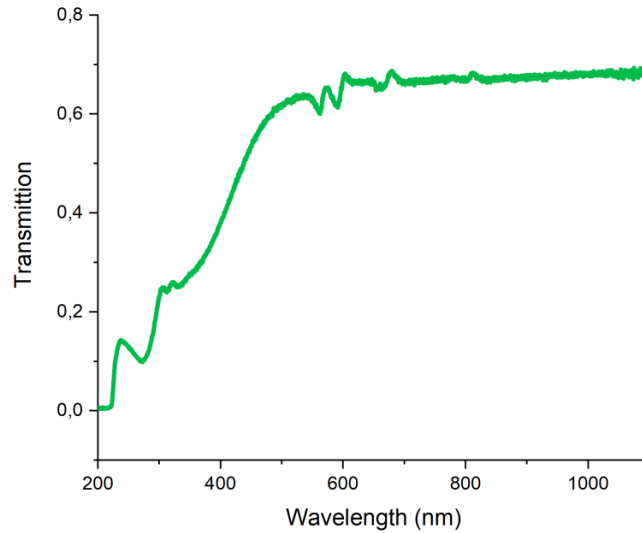


Figure 2.12 — Sample 3 spectrophotometry

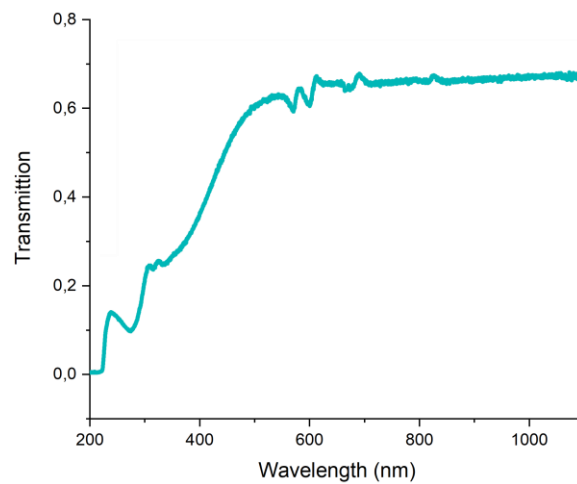


Sample 2.14 — Sample 4 spectrophotometry

In samples 3 and 4, a change in the transmission spectrum is observed. There is a curvature of a linearly increasing section in the range up to 500 nm.



Sample 2.15 — Sample 5 spectrophotometry



Sample 2.16 — Sample 6 spectrophotometry

From spectrophotometry, I can make a conclusion of big purity and optical neutrality for all the samples. Transmission spectra are different for range 225-500 nm only. Transmission about 0.6 – 0.7 for 5 mm length diamond is good index which is not disturbed by the impurity presence.

### **Luminescence spectra**

Dealing with high purity samples, we face the problem related to sample's optical neutrality. Luminescence intensity is that low it becomes impossible to make difference between it and noises. An image of the electron quality of the

photoluminescence spectrum typical for diamond can be seen in Figure 2.17. This spectrum belongs to sample 4, smoothed in Origin software. Spectra for samples 1-3 are alike, the difference is in ratio signal/noise only.

Despite this difficulty, it is good sign because diamond is going to glow lightly only.

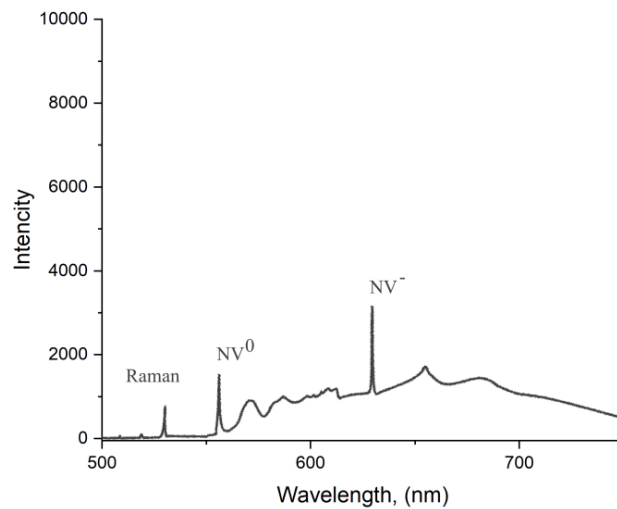


Figure 2.17 — Luminescence spectra for samples 1 – 4

With samples 5-6, the opposite situation was found - the luminescence turned out to be very bright and easily detectable, which is obviously due to the rather higher availability of nitrogen impurities and a large degree of scattering. The luminescence spectrum of the detected samples in the image 2.18.

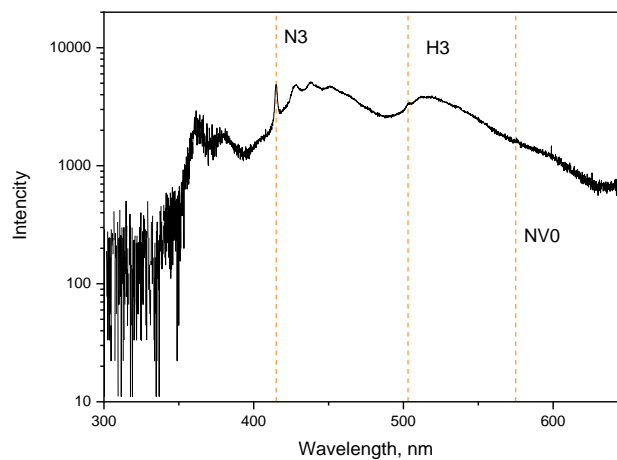


Figure 2.18 — Luminescence spectra for samples 5-6

N3 luminescence is the brightest but it is also possible to observe tracks of ZPLs of NV<sup>0</sup> and H3 (Fig. 2.19).

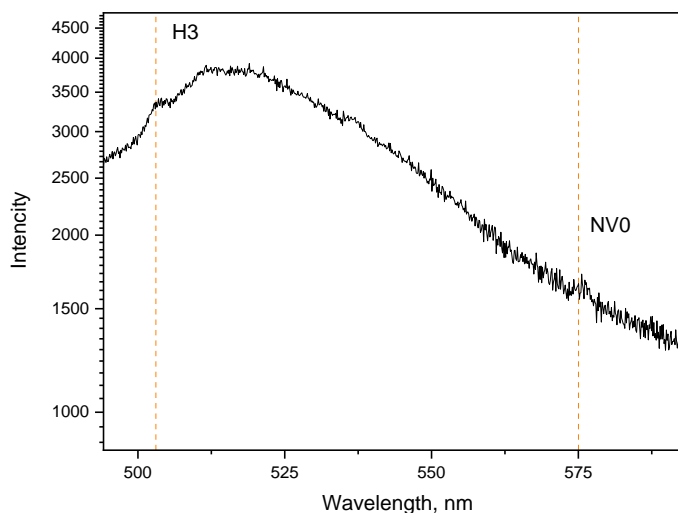


Figure 2.19 — Luminescence of H3 and NV<sup>0</sup> defects

There you can point at the contradiction of figures 2.17 and 2.18. Why does NC<sup>0</sup> defect reveals itself much brighter in more pure samples than in 5-6 ones? The reason is covered in the nature of nitrogen defects themselves and their glowing. First, there are practically no nitrogen defects in type II diamonds, except for the simplest ones C defects and NV defects and their glowing reveals in ZPL only when defects of diamonds I type migrate vividly and fuse to more complicated aggregates – B defects, N3, H4 etc. The result is decreasing of NV defects concentration. Second, complicated interstitial structures lead to fully unexplored mechanisms of ZPL smoothing to wide structureless band and ZPL redistributes against the background of general luminescence and phonon backgrounds. Low nitrogen diamonds at the same time are deprived of such mechanisms and they got nothing to glow but ZPL.

The results of the analysis of the luminescence spectra of diamonds are summarized in Table 2.2.

Table 2.2 - Defects in samples

Sample	Defect
1	$NV^0$
	$NV^-$
2	$NV^0$
	$NV^-$
3	$NV^0$
	$NV^-$
4	$NV^0$
	$NV^-$
5	$NV^0$
	N3
	H3
6	$NV^0$
	N3
	H3

Generally, we can divide all samples in 3 groups: samples 1-2 are samples we are going to base in our further experiments, pure crystals electron quality, samples 3-4 are samples having relatively low containing of nitrogen defects and their concentration is not huge. Sample 4 has hydrogen interstitials also. Samples 5-6 are samples in which nitrogen is present in amounts close to or even greater than those of natural diamonds.