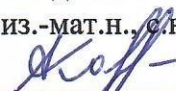


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Радиофизический факультет
Кафедра квантовой электроники и фотоники

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

к.физ.-мат.н., с.н.с.


_____ А.Г. Коротаев

подпись

« 8 » 06 20 23 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

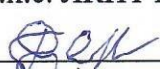
ТЕМПЕРАТУРНАЯ ДИНАМИКА СПЕКТРОВ ЛАЗЕРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА NV-
ЦЕНТРАХ В АЛМАЗЕ

по направлению подготовки 12.03.03 «Фотоника и Оптикоинформатика»,
направленность (профиль) «Материалы фотоники и оптикоинформатики»

Самолов Андрей Валерьевич

Руководитель ВКР

м.н.с. ЛКИТ РФФ ТГУ

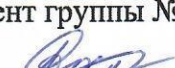

_____ Д. Е. Генин

подпись

« 08 » 06 20 23 г.

Автор работы

студент группы № 047905


_____ А. В. Самолов

подпись

« 08 » 06 20 23 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

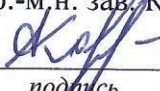
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет
Кафедра квантовой электроники и фотоники

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ООП

к.ф.-м.н. зав. Кафедрой

 А.Г. Коротаев

подпись

« 07 » 03 20 23 г.

ЗАДАНИЕ

по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра обучающегося

Самолову Андрею Валерьевичу

Фамилия Имя Отчество обучающегося

по направлению подготовки 12.03.03 – «Фотоника и Оптоинформатика», направленность (профиль) «Материалы фотоники и оптоинформатики»

1 Тема выпускной квалификационной работы

Температурная динамика спектров лазерной генерации на NV-центрах

в алмазе

2 Срок сдачи обучающимся выполненной выпускной квалификационной работы:

а) в учебный офис / деканат – 11.06.2023 б) в ГЭК – 11.06.2023

3 Исходные данные к работе:

Объект исследования – Алмазные образцы искусственного происхождения, содержащие NV-центры

Предмет исследования – Феноменологические модели описания люминесценции и лазерной генерации на NV-центрах в алмазе

Цель исследования – получение информации о температурной динамике спектров лазерной генерации на NV-центрах в алмазных образцах

Задачи:

Изучение литературы по темам «Люминесценция NV-центров в алмазе», «Оптические квантовые генераторы» 2) создание экспериментальной установки по регистрации спектров лазерной генерации алмазных образцов, содержащих NV-центры, при температурах от 77 до 300 К 3) Проведение экспериментов по регистрации и анализу спектров лазерной генерации алмазных образцов, содержащих NV-центры

Методы исследования:

Физический эксперимент

Организация или отрасль, по тематике которой выполняется работа, –

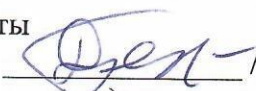
Национальный Исследовательский Томский Государственный университет

Краткое содержание работы

Проведение экспериментов по регистрации и анализу спектров лазерной генерации алмазных образцов, содержащих NV-центры, в диапазоне температур 77-300 К

Руководитель выпускной квалификационной работы
м.н.с. ЛКИТ РФФ

должность, место работы


подпись

Д.Е. Генин

И.О. Фамилия

Задание принял к исполнению

Студент РФФ


подпись

А.В. Самолов

АНОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа студента Самолова А. В.

41 с., 32 рис., 14 источников., 6 приложений.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ДИНАМИКА СПЕКТРОВ ЛАЗЕРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА NV-ЦЕНТРАХ В АЛМАЗЕ

Объектом исследования являются алмазные образцы искусственного происхождения, содержащие NV-центры.

Целью данной работы является получение информации о температурной динамике спектров лазерной генерации на NV-центрах в алмазных образцах.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- а) Изучение литературы по темам «люминесценция NV-центров в алмазе», «оптические квантовые генераторы».
- б) Создание экспериментальной установки по регистрации спектров лазерной генерации алмазных образцов, содержащих NV-центры, при температурах от 77 до 300К.
- в) Проведение экспериментов по регистрации и анализ спектров лазерной генерации алмазных образцов, содержащих NV-центры.

Лазерная генерация на NV-центрах в алмазе была получена недавно. В связи с этим данные об изменении спектра генерации с изменением температуры отсутствуют. С другой стороны, в некоторых возможных приложениях лазерах на NV-центрах в алмазе эти данные важны.

Решением данной проблемы является проведение экспериментов по регистрации спектров лазерной генерации на NV-центрах в алмазе при различной температуре.

На основе полученных спектров лазерной генерации на NV-центрах в алмазе будут получены зависимости спектров лазерной генерации на NV-центрах в алмазе от температуры и будут использованы в дальнейших исследованиях.

В результате работы были получены следующие основные результаты:

- 1) При температуре алмазного образца 188К и ниже можно наблюдать, что полоса генерации алмазного образца состоит из двух частей. Имеются коротковолновый и длинноволновый максимумы полосы генерации. Изменение значений коротковолнового

максимума полосы генерации с изменением температуры незначительно на большей части температурного промежутка.

2) При увеличении температуры алмазного образца от 84К до 296К происходит рост значений интенсивности максимума полосы генерации.

3) В температурном промежутке от 201К до 228К происходит резкое увеличение значений длинноволнового максимума полосы генерации. После 228К происходит резкое уменьшение значений длинноволнового максимума полосы генерации, причем их значения ниже минимального значения до данного промежутка.

4) В температурном промежутке от 147К до 161К происходит резкое увеличение коротковолнового максимума полосы генерации. После 161К происходит резкое уменьшение значений коротковолнового максимума полосы генерации.

5) При уменьшении температуры алмазного образца от 295К до 84К происходит смещение положения длинноволнового максимума полосы генерации с 714нм до 711нм.

6) Полученные результаты будут использованы в дальнейшем исследовании зависимости спектров лазерной генерации от температуры алмазного образца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Руководствуясь п.3.2 «Регламента размещения текстов научных докладов выпускных квалификационных работ в электронной библиотеке Научной библиотеки ТГУ» (приказ ректора №413/ОД от 24.05.2016), рекомендую разместить выпускную квалификационную работу Самолова А.В «Температурная динамика спектров лазерной генерации на NV-центрах в алмазе» в репозитории НБ НИ ТГУ с глав 3.1 и 3.2 в связи с содержанием в них производственных, технических, экономических, организационных и других сведений, в том числе о результатах интеллектуальной деятельности в научно-технической сфере, которые имеют действительную или потенциальную коммерческую ценность в силу неизвестности их третьим лицам.

Руководитель ООП 12.03.03

к.физ.-мат.н., с.н.с.,

декан РФФ НИ ТГУ



А.Г. Коротаев

Научный руководитель

м.н.с. ЛКИТ РФФ НИ ТГУ

Д.Е. Генин

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1 Общие сведения об алмазе.....	4
1.1 Что такое алмаз	4
1.2 NV-центры	7
Применение алмаза в электронике и фотонике.....	8
Глава 2 Общие сведения о лазере	9
2.1 Что такое лазер.....	9
2.2 Преимущества лазера на алмазе	11
Глава 3 Экспериментальная часть	12
3.1 Регистрация спектров лазерной генерации при различной температуре с выключенной подсветкой	12
3.2 Регистрация спектров лазерной генерации при различной температуре с включенной подсветкой	12
3.3 Улучшение экспериментальной установки.....	13
3.3.1 Необходимость модификации экспериментальной установки.....	13
3.3.2 Разработка камеры криостата	13
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	15
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....	16
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Чертеж основы камеры криостата.....	18
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Чертеж основы камеры криостата в изометрии	19
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Чертеж основы камеры криостата с разрезом.....	20
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Чертеж дна камеры криостата с разрезом.....	21
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Чертеж крепления KF-50 с разрезом.....	22
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Чертеж шайбы крепления стекол с разрезом	23

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время алмаз приобретает все больший интерес у людей для использования в создании электрических и фотонных приборов. Благодаря своим особым свойствам, алмаз является перспективным материалом для использования в качестве активной среды в лазере. Это позволит увеличить время работы такого устройства в условиях экстремальных сред. Большинство центров окраски алмаза (и NV-центр в том числе) являются центрами с сильным электрон-фононным взаимодействием, в связи с чем изменение температуры активной среды должно значительно влиять на спектр лазерной генерации этой среды, поэтому важно, знать какой именно характер зависимости между этими параметрами.

Исходя из изложенной актуальности, целью работы является получение информации об изменении спектров лазерной генерации алмазов, содержащих NV-центры.

Исходя из данной цели, были сформулированы следующие задачи:

- Изучить литературу, связанную с темой научной работы
- Провести эксперименты по определению характера зависимости спектров лазерной генерации алмазных образцов от температуры.

Глава 1 Общие сведения об алмазе

1.1 Что такое алмаз

Алмаз – минерал, кристаллическая модификация чистого углерода, наиболее твердое вещество из всех, встречающихся в природе и наиболее известный драгоценный камень.

Алмаз является широкозонным полупроводником с шириной запрещённой зоны около 5.5 эВ.

На рисунке 1 представлена кристаллическая решетка алмаза.

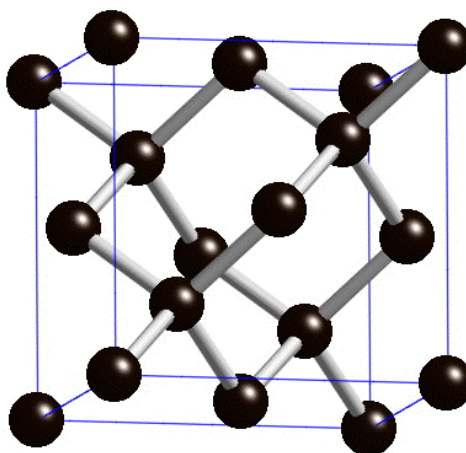


Рисунок 1 – Кристаллическая решетка алмаза

Уникальные свойства алмаза:

- Высокая механическая твердость (по шкале Мооса — 10)
- Широкая запрещенная зона (5.5 эВ)
- Высокая теплоемкость (502 Дж/(Кг*К))
- Высокая теплопроводность. При $T=25^{\circ}\text{C}$ она составляет 2100 Вт/(м*К). Это в 4 раза больше, чем у меди
- Радиационная стойкость. Энергия, необходимая для образования вакансии, порядка 80 мЭв в чистом алмазе.
- Оптическая прозрачность в широком спектральном диапазоне (от УФ до ИК)
- Высокая подвижность носителей заряда – порядка $4000 \text{ см}^2/\text{В*с}$.

Методы синтеза алмазов

1) ВДВТ (высокое давление высокая температура)

При данном методе в специальной установке размещают затравочные образцы алмаза, металл-катализатор и графитовую шихту (перечислено снизу вверх). После размещения материалов в камере, установка начинает усиливать давление с помощью

поршней и повышать температуру с помощью пропускания тока через камеру. В процессе металл плавится и графит, в котором под действием высокого давления и высокой температуры происходят изменения, а именно ковалентные пи-связи преобразуются в сигма-связи алмаза, после чего, графит оседает на затравочные образцы алмаза. Синтез таким методом длится от 4 до 13 дней. Пример схемы установки для синтеза алмазов методом ВДВТ представлен на рисунке 2.

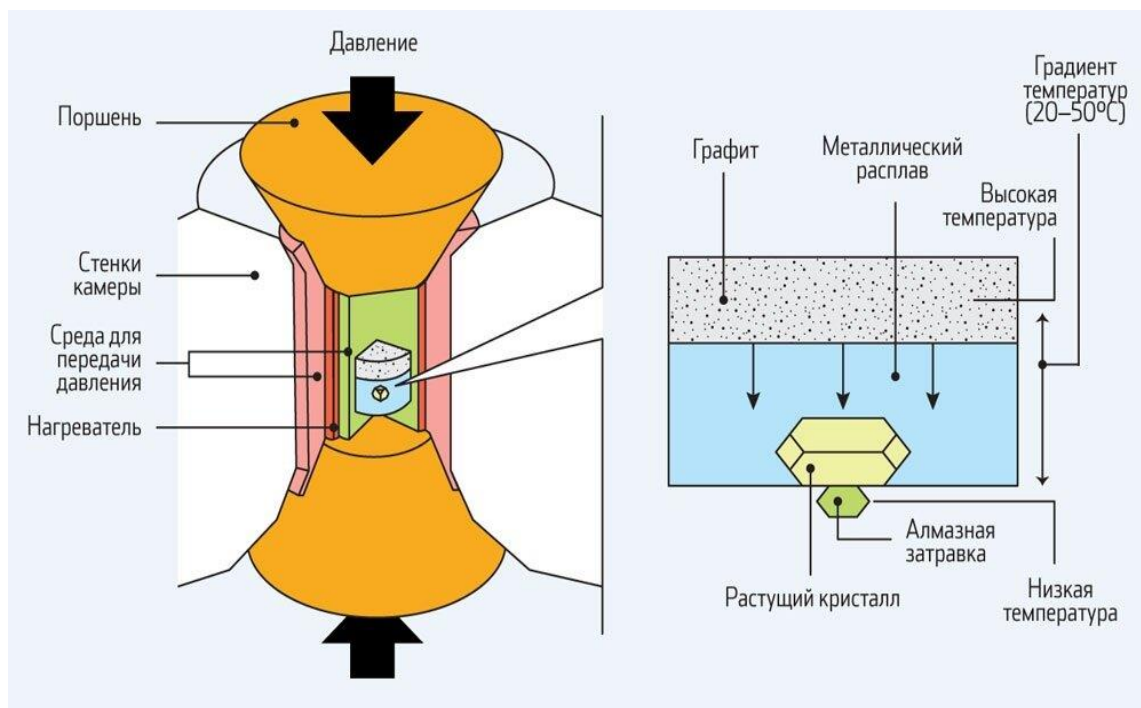


Рисунок 2 – Схема установки для синтеза алмазов методом ВДВТ

2) Детонация взрывчатки

В детонационном методе так же используется воздействие высокого давления и высокой температуры на углеродосодержащие материалы (графит, уголь), но в отличии от ВДВТ метода, воздействие происходит быстро, после чего полученный образец охлаждается. Используются взрывчатые вещества. Схема установки для синтеза алмазов детонационным методом представлена на рисунке 3.

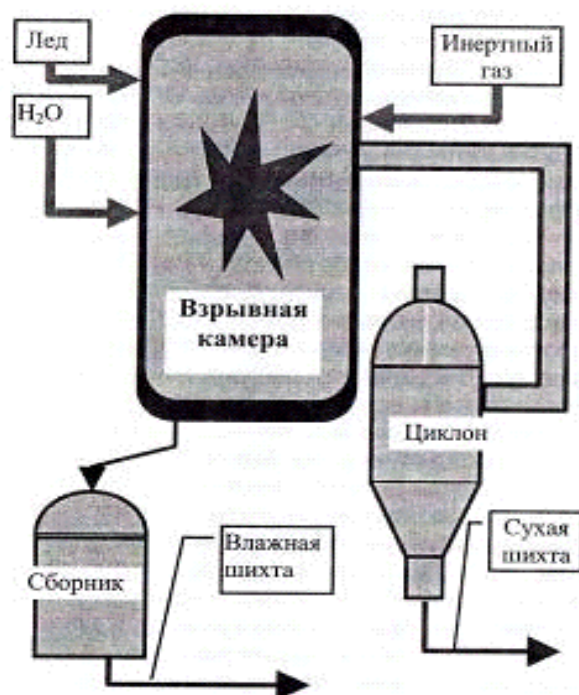


Рисунок 3 – Схема установки для синтеза алмазов детонационным методом

3) Химическое осаждение из газовой фазы (CVD – chemical vapor deposition)

При данном методе синтеза алмазная затравка размещается в камере. После чего, путем нагрева, в камере образуется высокотемпературная плазма, из-за чего углерод, находившийся в газе, начинает оседать на нагретую до 600-700°C подложку с затравкой. Скорость роста алмаза в данном методе варьируется от 0.1 до 100 мкм/ч.

На рисунке 4 представлена схема установки для синтеза алмазов CVD методом.

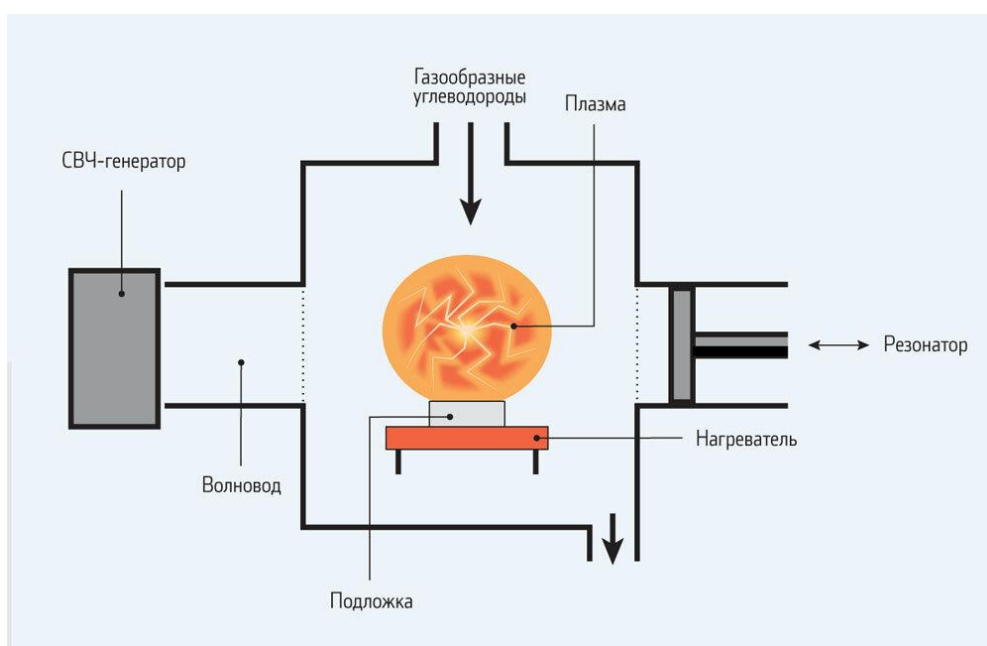


Рисунок 4 – Схема установки для синтеза алмазов CVD методом

1.2 NV-центры

Из литературы известно, что NV-центр (nitrogen-vacancy center) - точечный дефект алмаза, представляющий собой атом азота и вакансию, находящихся в соседних узлах кристаллической решётки. Они характеризуются высокой фотостабильностью, спектрами поглощения и люминесценции в видимом диапазоне, характеристическими временами люминесценции в масштабе десятков наносекунд. На рисунке 5 представлена кристаллическая решетка алмаза с содержанием NV-центра.

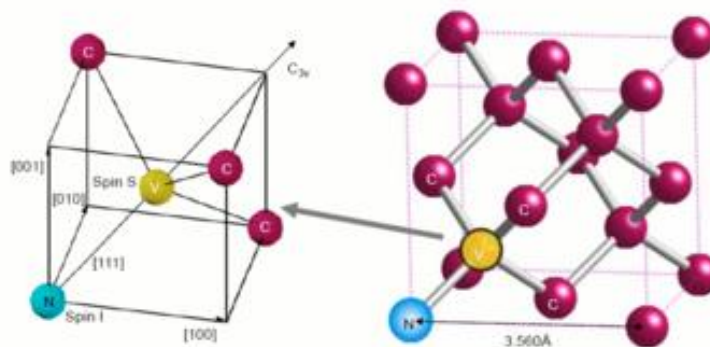


Рисунок 5 – NV-центр в кристаллической решетке алмаза

Эти дефекты часто встречаются как в природных, так и синтетических образцах алмаза из-за большого количества азота в окружающей среде. Также их концентрация может быть дополнительно повышена путем специальной обработки образца либо внедрением азота в процессе его роста. NV-центры могут существовать в нескольких зарядовых состояниях – NV^- , NV^0 , и возможно NV^+ . Но обычно (как и в рамках данной работы) под NV-центром подразумевается отрицательно зарядовое состояние дефекта NV^- , которое благодаря особым оптическим свойствам используется в магнитометрии и других приложениях. Эти дефекты являются центрами окраски, при большой концентрации придающими алмазу оттенки розового и фиолетового цвета.^{1 2}

Также возможно формирование центров типа N_2V , N_3V и N_4V . Все они определённым образом меняют оптические свойства алмазных образцов. Однако в настоящее время отсутствуют либо плохо развиты технологии их создания в лабораторных условиях, в связи с чем их практическое применение пока что малоперспективно.

1– Низов Владимир Алексеевич. Научный доклад об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (Диссертации) «Использование NV-центров в алмазе для реализации новых схем магнитометрии». С.3

2 – Липатов Е.И. «Сверхлюминесценция и лазерная генерация на nv центрах в алмазе». С.1

1.3 Применение алмаза в электронике и фотонике

- Создание лазеров на основе алмаза.
- Создание квантовых гироскопов и магнитометров.
- Использование примесно-дефектных центров алмаза в качестве кубитов для квантового компьютера.
- Алмазные транзисторы, детекторы ионизирующего излучения на алмазе, матричные УФ-фотоприемники.

Глава 2 Общие сведения о лазере

2.1 Что такое лазер

Лазер – это оптический квантовый генератор, работа которого основана на явлении вынужденного излучения света. Лазеры различаются по типам накачки и типам активной среды. На рисунке 6 представлена схема лазера.



Рисунок 6 – Схема лазера

Типы накачки:

- Оптическая накачка
- Электрическая накачка
- Химическая накачка

Типы активной среды:

- твёрдотельные;
- жидкостные;
- газовые;
- полупроводниковые.

Существует 3 схемы энергетических уровней, которые могут быть использованы для построения лазера: двухуровневая, трехуровневая и четырехуровневая. Исходя из проведенных экспериментов, наиболее вероятным для алмаза с NV-центром считается четырехуровневая модель. На рисунке 7 представлена модель энергетических уровней в алмазе с NV-центрами.

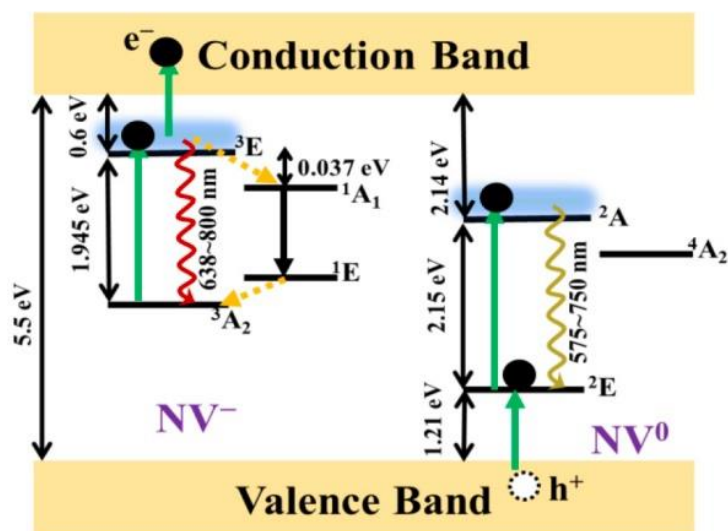


Рисунок 7 – Модель энергетических уровней в алмазе с NV-центрами

На рисунке 8 представлены спектры оптического поглощения и излучения NV-центра при комнатной температуре.

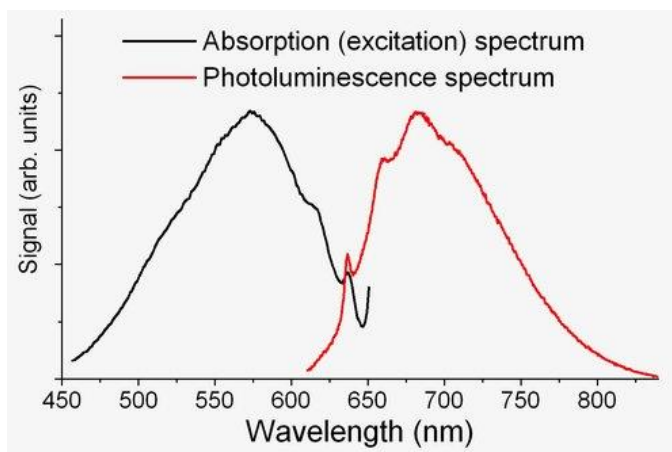


Рисунок 8 – Спектры оптического поглощения и излучения NV-центра при комнатной температуре

На рисунке 8 видно, что:

–При длине волны, равной 638нм происходит люминесценция на NV-центрах в алмазе

–При длине волны, меньшей 638нм происходит поглощение на NV-центрах

–При длине волны, большей 638нм поглощения на NV-центрах не происходит, теоретически во всём фоновом крыле возможно получение лазерной генерации.

2.2 Преимущества лазера на алмазе

К главным преимуществам алмаза как активной среды лазера, относятся:

–Высокая радиационная стойкость – энергия образования вакансии 30-80 эВ.

Данная характеристика говорит нам о том, что лазер на алмазе будет менее подвержен деградации под действием радиационного излучения. К примеру, данный показатель для кремния равен 7 эВ.

–Высокая теплопроводность (900—2300Вт/(м*К))

Данная характеристика говорит нам о том, что активный элемент лазера на алмазе будет более равномерно охлаждаться и это позволит работать при повышенных температурах или упростить систему охлаждения лазера. К примеру, теплопроводность сапфира (основы для изготовления активных элементов титан-сапфировых лазеров) равняется 23.1-25.2Вт/(м*К).

–Низкий коэффициент температурного расширения ($1.1 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$)

Данная характеристика говорит нам о том, что при повышении температуры алмаз будет испытывать существенно меньшее расширение. К примеру, для сапфира данный показатель равен $5-5.6 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

Также благодаря высокой теплопроводности и низкому коэффициенту температурного расширения, активная среда из алмаза будет меньше подвержена явлению тепловой линзы, когда из-за неравномерного охлаждения всего объема вещества, происходит расширение центральной его части, в результате чего торцы активного элемента изгибаются, формируя подобие линзы. Данное явление негативно влияет на энергетические и пространственные характеристики лазерного излучения.

Глава 3 Экспериментальная часть

3.1 Регистрация спектров лазерной генерации при различной температуре с выключенной подсветкой

Раздел посвящен регистрации и обработке спектров лазерной генерации на образце С104 с отключенной подсветкой. Данные закрыты согласно выписке из протокола заседания кафедры квант эл и фотоники от 8.06.2023.

3.2 Регистрация спектров лазерной генерации при различной температуре с включенной подсветкой

Раздел посвящен регистрации и обработке спектров лазерной генерации на образце С104 с включенной подсветкой. Данные закрыты согласно выписке из протокола заседания кафедры квант эл и фотоники от 8.06.2023.

3.3 Улучшение экспериментальной установки

3.3.1 Необходимость модификации экспериментальной установки

В ходе проведения эксперимента стало ясно, что экспериментальная установка требует модификации криостата. Для достижения этой цели была поставлена задача моделирования и производства новой камеры криостата.

Необходимость создания новой камеры криостата вызвана следующими факторами:

- Невозможность долговременно (на десятки секунд и более) стабилизировать температуру алмазного образца при её значении, отличном от минимального.

- В имеющемся криостате минимальная достигнутая температура достигла 102К. Желательно охлаждение до 77 или хотя бы 80 К.

- В имеющемся криостате неудачная конструкция крепления терморезистора.

3.3.2 Разработка камеры криостата

К новизне разрабатываемой камеры криостата можно отнести:

- Улучшение откачки воздуха из камеры путем улучшения герметичности (установка другого крепления).

- Добавление возможности стабилизации температуры алмазного образца.

- Увеличение окон на камере криостата.

На рисунке 28 представлен снимок экрана из программы SolidWorks. На нем можно увидеть, как будет выглядеть камера криостата без емкости для жидкого азота.

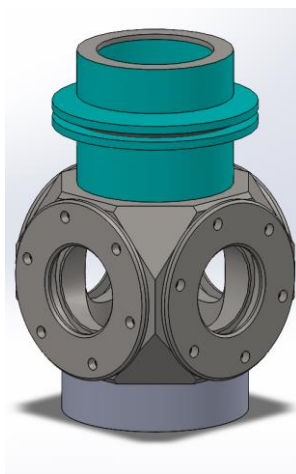


Рисунок 28 – Снимок экрана из программы SolidWorks

Камера криостата состоит из 4 частей.

Первой частью является основа камеры криостата. Чертеж камеры, камеры в разрезе и изометрический вид камеры приведены в приложении А, приложении Б и приложении В соответственно.

В основе камеры криостата имеется 4 места для крепления стекол. Одно из этих креплений будет служить для откачки воздуха из камеры криостата. Для измерения температуры образца будет использоваться терморезистор, провода от которого будут выводиться из камеры в верхней части крепления KF-50.

Второй частью является дно камеры криостата. Чертеж представлен в приложении Г. Присоединение дна к основе происходит путем сварки.

Дно служит для фиксации криостата на столе с помощью двух болтов М6.

Третьей частью является крепление KF-50. Его чертеж можно увидеть в приложении Д. Данное крепление состоит из верхней части, привариваемой к емкости для жидкого азота, нижнего крепления, привариваемого к основе криостата, и кольца с витонем 50. В верхней части крепления будет осуществляться вывод проводов от терморезистора и контакты для нагрева.

Четвертой частью являются 4 шайбы для крепления трех стекол и откачки к основе камеры криостата. Его чертеж можно увидеть в приложении Е. Крепление осуществляется шестью болтами М4 по кругу. При необходимости можно вместо одного из стекол поставить глухую заглушку для уменьшения попадающего внешнего излучения.

На текущий момент разработка камеры криостата практически завершена. Требуется внесение мелких изменений и финальная проверка, после чего чертежи отправятся на производство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы была изучена различная литература по темам: «Люминесценция NV-центров в алмазе», «Оптические квантовые генератор». Также были проведены эксперименты по регистрации спектров лазерной генерации на алмазном образце С104 при изменении температуры от 102К до 301К и был проведен предварительный анализ полученных результатов.

Были выявлены 3 неизвестных ранее явления, а именно:

—смещение положения максимума полосы генерации в коротковолновую область при охлаждении алмазного образца;

—факт, что полоса генерации алмазного образца, содержащего NV-центры, содержит два неравных по амплитуде пика;

—необычная зависимость значений максимума полосы генерации от температуры.

Полученные данные будут использованы в дальнейшей работе по изучению лазерной генерации, получаемой на NV-центрах в алмазе.

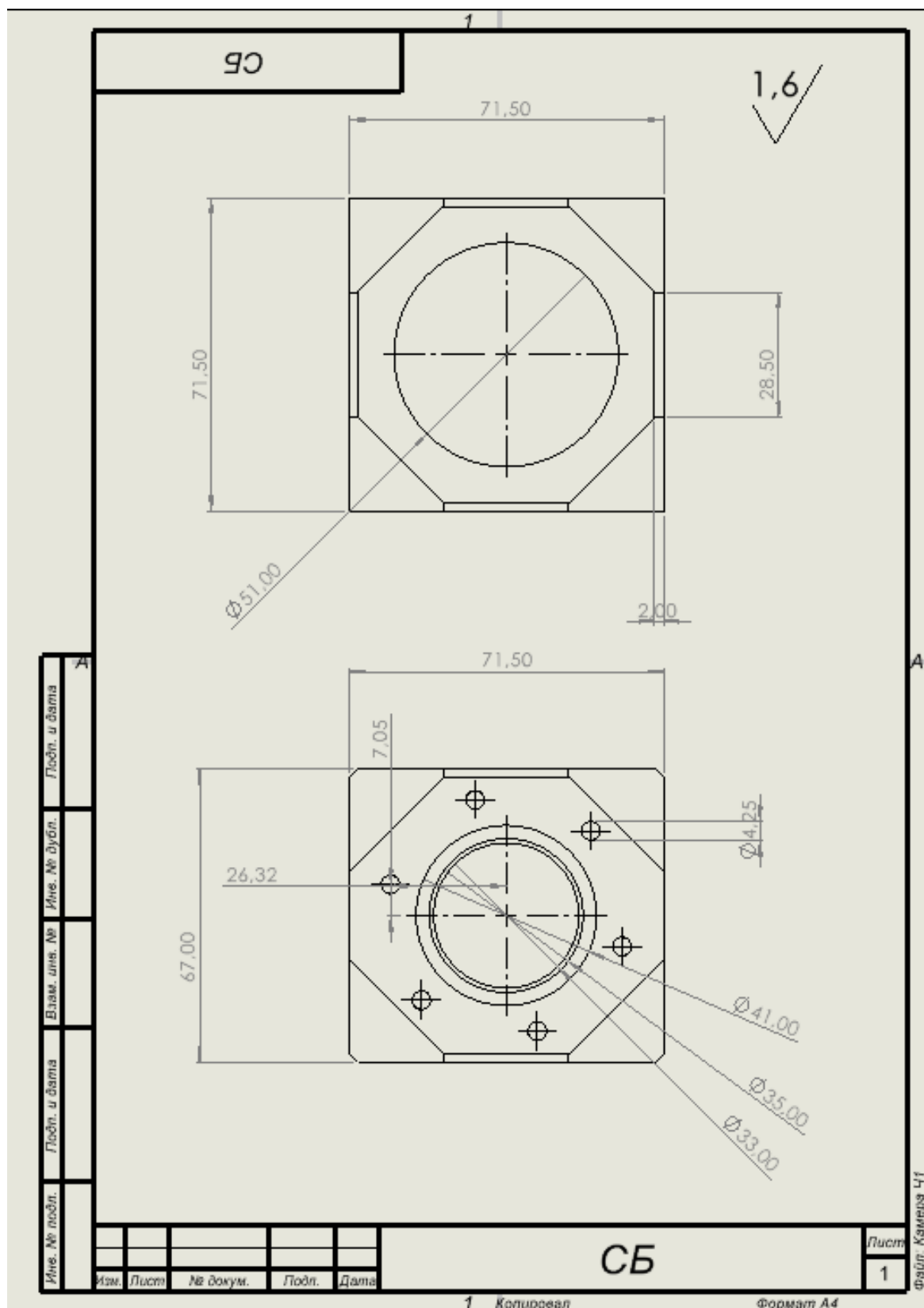
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Низов В. А. Научный доклад об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (Диссертации). Использование NV-центров в алмазе для реализации новых схем магнитометрии // Нижний Новгород. 2019. С. 1-13
2. Липатов Е.И. Сверхлюминесценция и лазерная генерация на NV центрах в алмазе // Фотон-экспресс. 2021. №6 (174). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sverhlyuminescentsiya-i-lazernaya-generatsiya-na-nv-tsentrakh-v-almazhe> (дата обращения: 05.06.2022). С. 1-2
3. Жимулев Е.И., Поверхностная графитизация алмаза в расплаве K₂CO₃ При Высоком Давлении // доклады академии наук, 2013, том 451, № 5, с. 556-559
4. Алмаз графитизация [Электронный ресурс] – URL: <https://www.chem21.info/info/553443/>. (дата обращения: 23.04.2022)
5. Кононенко В. В. Лазерно-стимулированные процессы на поверхности алмаза // Москва. 2019. С. 1-234
6. Kononenko, V.V. Correlation between surface etching and NV centre generation in laser-irradiated diamond // Appl. Phys. A 124, 226 (2018)
7. Новак Д. А. Влияние примеси азота на фотоэлектрические свойства синтетических монокристаллов алмаза // Минск : БГУ. 2008. С. 1-4
8. Николаева К.Н. Дефекты кристаллической решетки алмаза // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. №4-3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/defekty-kristallicheskoj-reshetki-almaz> (дата обращения: 14.04.2022)
9. Взаимодействие алмаза с кислотами и щелочами [Электронный источник] - URL: http://ecosystema.ru/08nature/min/1_6_1_6_7.htm. (дата обращения: 14.04.2022)
10. Алмаз. Описание, свойства, происхождение и применение камня [Электронный ресурс] – URL: <http://www.mining-portal.ru/topics/mineralogiya/almaz--opisanie--svoystva--proishojdenie-i-primenenie-kamnya/#:~:text=Алмаз%20—%20самый%20твёрдый%20минерал%2C%20кубическая,стабильный%20в%20этих%20условиях%20графит.> (дата обращения: 30.01.2023)
11. The Nitrogen-Vacancy Center in Diamond [Электронный ресурс] – URL: <https://pme.uchicago.edu/awschalom-group/nitrogen-vacancy-center-diamond>. (дата обращения: 15.02.2023)
12. Синтез алмазов [Электронный ресурс] – URL: <https://zygar.ru/mineraly/sintez-almazov.html>. (дата обращения: 16.02.2023)

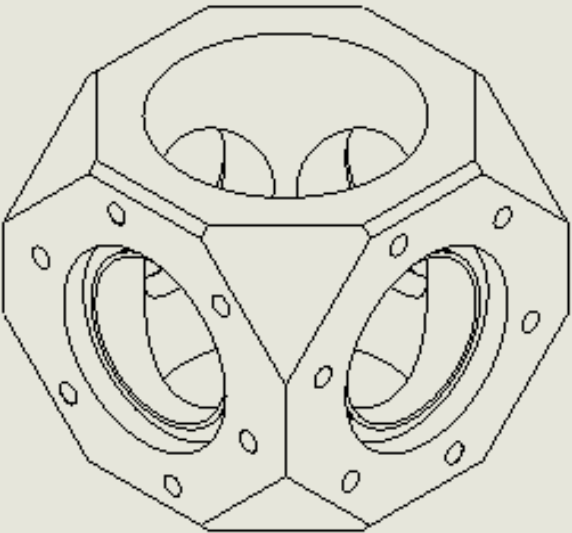
13. Детонационный синтез алмазов [Электронный ресурс] - URL: https://studopedia.ru/3_114038_detonatsionniy-sintez-almazov.html. (дата обращения: 12.03.2022)

14. Hanzawa, H. Measurement of decay time for the NV centre in Ib diamond with a picosecond laser pulse // Diamond and Related Materials. Volume 6. Issue 11. 1997. PP. 1595-1598

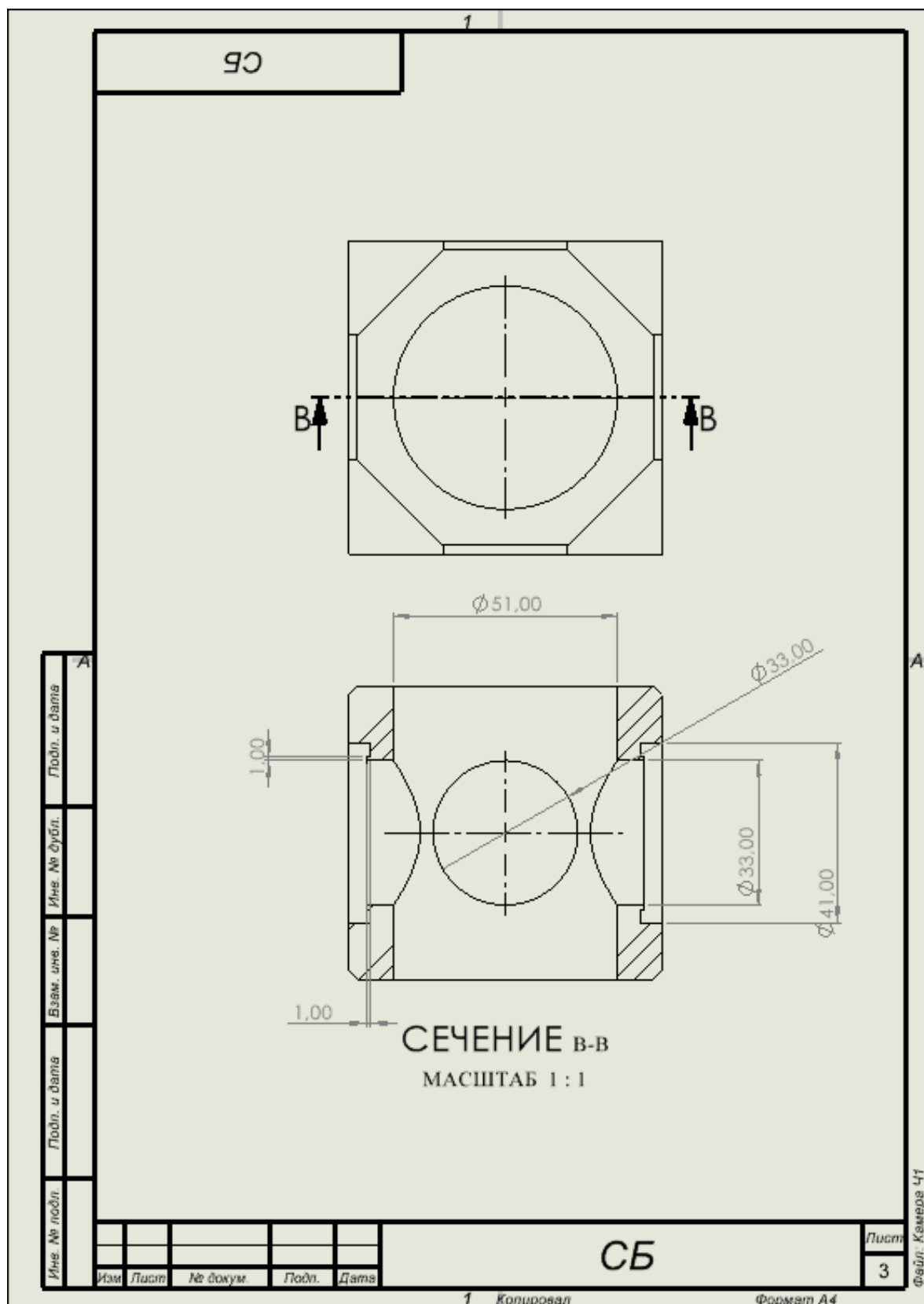
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Чертеж основы камеры криостата



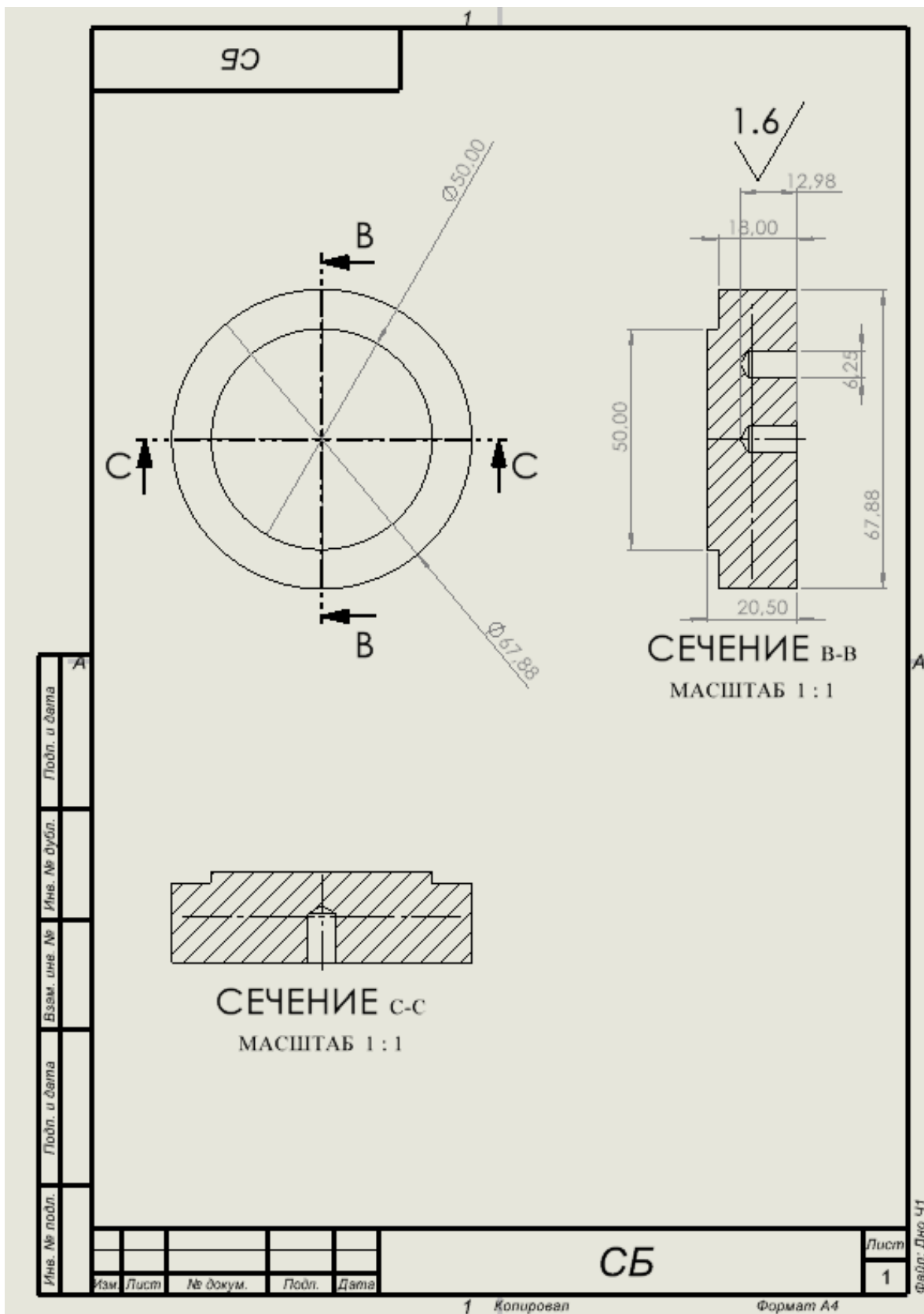
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Чертеж основы камеры криостата в изометрии

1				
СБ				
				
Изм. №	Подп.	Изм. №	Подп.	СБ
Изм. №	Подп.	Изм. №	Подп.	Лист
Изм. №	Подп.	Изм. №	Подп.	2
Изм. №	Подп.	Изм. №	Подп.	Дата
1 Копировал				Формат А4

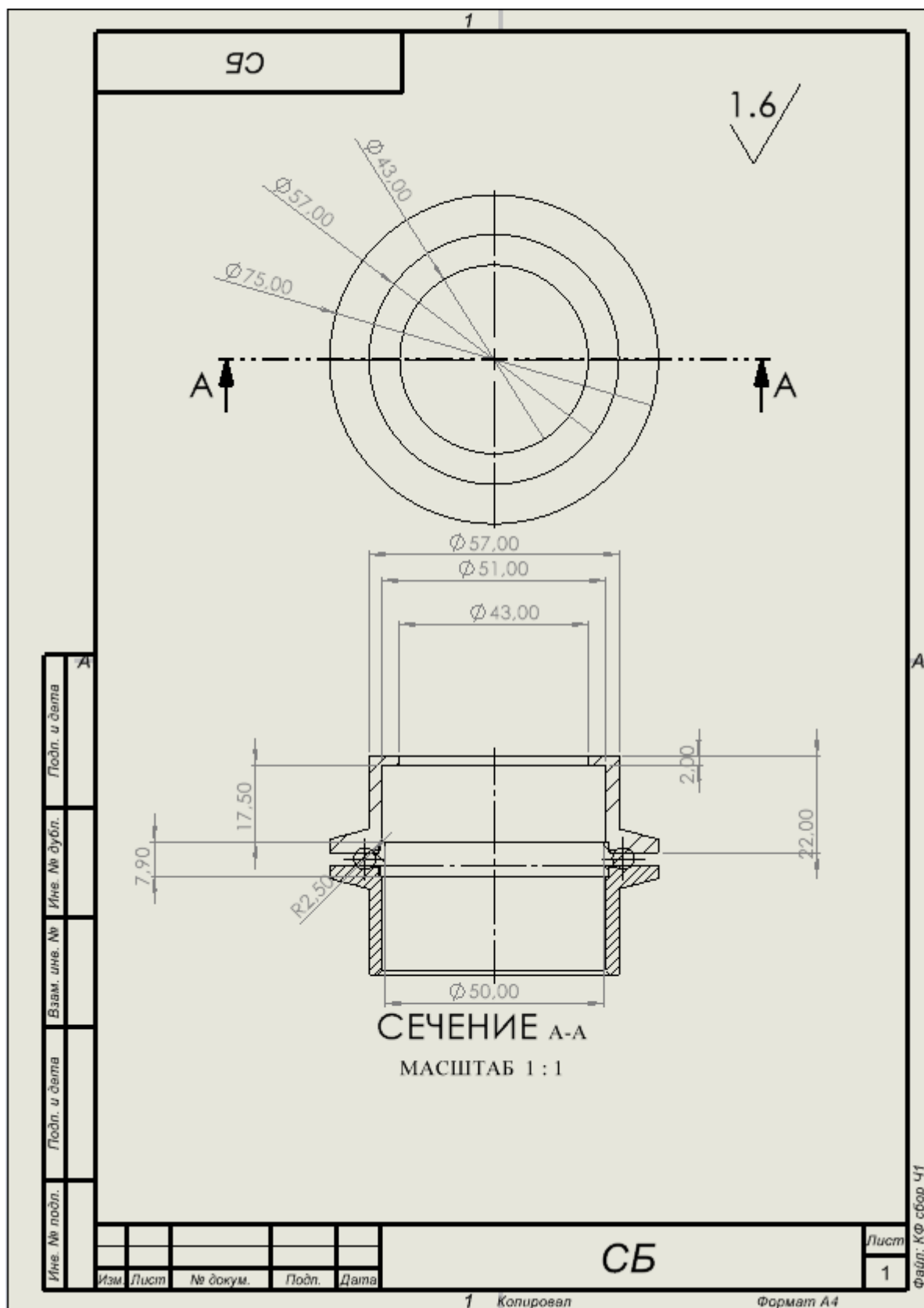
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Чертеж основы камеры криостата с разрезом



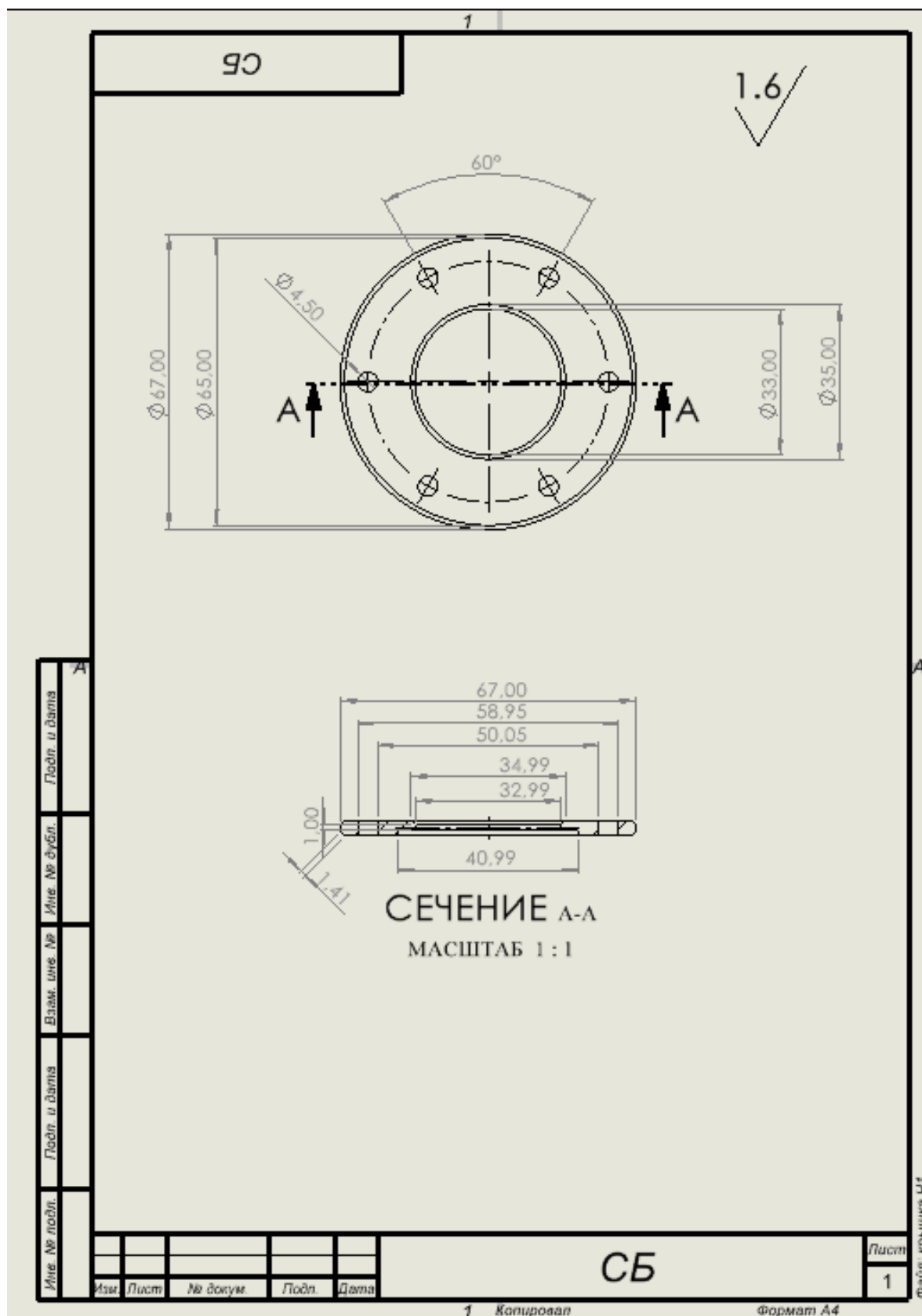
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Чертеж дна камеры криостата с разрезом



ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Чертеж крепления KF-50 с разрезом



ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Чертеж шайбы крепления стекол с разрезом





АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

Томский Государственный Университет

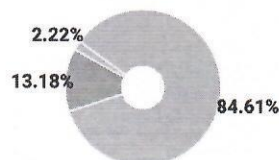
о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Самолов Андрей Валерьевич
Самоцитирование
рассчитано для: Самолов Андрей Валерьевич
Название работы: ТЕМПЕРАТУРНАЯ ДИНАМИКА СПЕКТРОВ ЛАЗЕРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА NV-ЦЕНТРАХ В АЛМАЗЕ
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Радиофизический факультет

РЕЗУЛЬТАТЫ

СОВПАДЕНИЯ	13.18%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	84.61%
ЦИТИРОВАНИЯ	2.22%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%



ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 13.06.2023

Структура документа: Проверенные разделы: титульный лист с.1, содержание с.2, основная часть с.3-15

Модули поиска: ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс*; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по коллекции

Работу проверил: Каширский Данила Евгеньевич

ФИО проверяющего

Дата подписи: 13 июня 2023

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.