Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Школа Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки Оптотехника

Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование физико-механических свойств покрытий AlSiN

УДК 539.216.2-048.3-02

Студент

Группа	**ФИО**	**Подпись**	**Дата**
4В41	Красникова Татьяна Александровна		

Руководитель

Должность	**ФИО**	**Ученая степень, звание**	**Подпись**	**Дата**
Профессор кафедры ЛИСТ	Гриценко Борис Петрович	д.т.н, с.н.с		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	**ФИО**	**Ученая степень, звание**	**Подпись**	**Дата**
Доцент	Калмыкова Елена Юрьевна	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	**ФИО**	**Ученая степень, звание**	**Подпись**	**Дата**
Профессор отделения контроля и диагностики	Назаренко Ольга Брониславовна	д.т.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	**ФИО**	**Ученая степень, звание**	**Подпись**	**Дата**
Доцент	Полисадова Елена Федоровна	к.ф.м.н		

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
Р1	Применять глубокие естественнонаучные, математические, гуманитарные, общепрофессиональные знания в области оптотехники
Р2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области световой, оптической и лазерной техники, оптического и светотехнического материаловедения и оптических и светотехнических технологий
Р3	Применять полученные знания для решения задач, возникающих при эксплуатации новой техники и технологий оптотехники
Р4	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования световой, оптической и лазерной техники, оптических и светотехнических материалов и технологий
Р5	Владеть методами проведения фотометрических и оптических измерений и исследований, включая применение готовых методик, технических средств и обработку полученных результатов
Р6	Владеть общими правилами и методами наладки, настройки и эксплуатации оптической, световой и лазерной техники для решения различных задач
Универсальные компетенции	
Р7	Проявлять творческий подход при решении конкретных научных, технологических и опытно-конструкторских задач в области оптотехники
Р8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной деятельности
Р9	Уметь эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
Р10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научной, педагогической и производственной деятельности
Р11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки 12.04.02 «Оптотехника»

Кафедра лазерной и световой техники

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. зав. кафедрой ЛИСТ

_____ _____ Е.Ф.Полисадова

(подпись) (дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4В41	Красникова Татьяна Александровна

Тема работы:

Исследование физико-механических свойств покрытий Al-Si-N	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Литературные источники, отчеты по исследованиям покрытий, техническое задание на проведение экспериментов, инструкции по проведению измерения. Установки для напыления покрытий и измерения оптических и физико-механических свойств покрытий.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Анализ литературных данных по оптическим покрытиям. Исследование физико-механических свойств покрытий Al-Si-N
Перечень графического материала	Графики зависимостей оптических и физико-механических свойств покрытий от их состава.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Калмыкова Елена Юрьевна
Социальная ответственность	Назаренко Ольга Брониславовна

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

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гриценко Б.П.	д.т.н, с.н.с.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В41	Красникова Татьяна Александровна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4В41	Красникова Татьяна Александровна

Школа	Новых производственных технологий	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Оптотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов для проведения научно-исследовательской работы: материально-технических, энергетических, финансовых и человеческих	1. В исследовании задействовано 3 человека: инженер, научный руководитель и студент-дипломник 2. Научно-исследовательская работа выполняется на оборудовании лаборатории №124 16б корпуса, отделения материаловедения
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
Планирование научно-исследовательской работы	1. Структура работ в рамках научного исследования 2. Определение трудоемкости выполнения работ 3. Разработка графика проведения научного исследования 4. Бюджет научно-технического исследования

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В41	Красникова Татьяна Александровна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4В41	Красникова Татьяна Александровна

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	ЛИСТ
Уровень образования	Бакалавр	**Направление/специальность**	12.03.02 Оптотехника/Лазерные и световые технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. *Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:*	– *вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)* – *опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)* – *негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)* *чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)*
2. *Перечень законодательных и нормативных документов по теме*	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:*	– *физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;* – *действие фактора на организм человека;* – *приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);* – *предлагаемые средства защиты*

	(сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)
2. *Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности*	– *механические опасности (источники, средства защиты;* – *термические опасности (источники, средства защиты);* – *электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);* *пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)*
3. *Охрана окружающей среды:*	– *защита селитебной зоны* – *анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);* – *анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);* – *анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);* *разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.*
4. *Защита в чрезвычайных ситуациях:*	– *перечень возможных ЧС на объекте;* – *выбор наиболее типичной ЧС;* – *разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;* – *разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;* *разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий*
5. *Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:*	– *специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;* *организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны*
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения контроля и диагностики	Назаренко Ольга Брониславовна	д.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В41	Красникова Татьяна Александровна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 68 страниц, 26 рисунков, 14 таблиц, 29 источников.

Ключевые слова: спектр, люминесценция, пленки Al-Si-N, микротвердость, спектроскопия, азот, стехиометрический состав, покрытия.

Объектом исследования являются физико-механические свойства покрытия Al-Si-N.

Цель работы: изучение влияния состава покрытия на их физико-механические свойства.

Проведены исследования физико-механических свойств покрытий состава Al-Si-N с разным содержанием азота. Исследовалось влияние содержания азота на катодолюминесценцию, твердость, адгезию покрытий.

Показано, что содержание азота в большей мере влияет на механические свойства и в меньшей степени на люминесцентные свойства.

Область применения: покрытие Al-Si-N можно использовать в качестве защитного оптического элемента для иллюминаторов космических кораблей, а также для защиты солнечных батареек от механических воздействий.

Оглавление

Введение…….12

1. Твердые нанокомпозитные покрытия……..13

1.1.1 Свойства и структура нанокомпозитных покрытий……..13

1.1.2 Механические свойства нанокомпозитных покрытий……..17

1.2 Нитрид кремния (Si_3N_4)…….…..17

1.3 Нитрид алюминия (AlN)…….…….22

2. Описание экспериментального оборудования и методик исследования свойств покрытий…….….27

2.1 Экспериментальное оборудование и методика нанесения покрытий…….……...27

2.2 Рентгеноструктурный анализ…….……27

2.3 Методика импульсной катодолюминесцентной спектрометрии с наносекундным временным разрешением……..28

2.4 Регистрация спектров ИКЛ на базе оптоволоконного спектрометра AvaSpec……...31

2.5 Определение прочности сцепления методом царапания……33

2.6 Определение микротвердости пленок Al-Si-N по Виккерсу……...…….…….35

3. Исследование физико-механических свойств полученных покрытий Al-Si-N.....37

3.1 Люминесценция покрытий Al-Si-N…….…..……....37

3.2 Микротвердость покрытий Al-Si-N…….…..……42

3.3 Адгезия покрытий Al-Si-N…….…....43

Выводы…….……44

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение……45

4.1 Предпроектный анализ……46

4.2 План проекта……46
4.3 Смета затрат научно-исследовательской работы…….49
4.3.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты…….49
4.3.2 Специальное оборудование для научных работ…….50
4.3.3 Основная заработная плата……..51
4.3.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала……53
4.3.5 Отчисления на социальные нужды…….54
4.3.6 Накладные расходы……..54
Вывод по главе 4……55
5. Социальная ответственность. Введение……..56
5.1 Производственная безопасность. Анализ вредных и опасных факторов…….56
5.1.1 Микроклимат……57
5.1.2 Шум……...…..…59
5.1.3 Электробезопасность……..……..…60
5.2 Экологическая безопасность…….……63
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях……..64
5.4 Организация рабочего места……...66
Заключение……67
Список используемой литературы……...68

Введение

В последнее время, интерес для исследователей представляют нанокомпозитные пленки, которые обладают высокой твердостью, термической стабильностью, а также высокой прочностью сцепления. Система AlN/Si_3N_4 является тому подтверждение. Эта структура интересна тем, что каждый компонент может быть использован для получения оптически прозрачных материалов. Высокая микротвердость позволяет покрытию защищать изделия от полома. Прозрачность вместе с высокой микротвердостью делает эту систему перспективной в качестве защитных оптически прозрачных покрытий. Покрытие Al-Si-N можно использовать в качестве оптического элемента защиты иллюминатора космического корабля, защиты солнечных батареек.

Исследование изменения механических свойств от содержания химических элементов в покрытиях, а также исследование оптических свойств покрытий Al-Si-N является достаточно интересным с научной и практической точек зрения. В данной работе было проведено исследование люминесцентных свойств покрытий разных составов для того, чтобы установить: 1. Влияние состава покрытия на изменение люминесцентных свойств; 2. Люминесцентные свойства в разных временных диапазонах.

Целью работы является исследование физико-механических свойств покрытий Al-Si-N с разным содержанием азота.

1. Твердые нанокомпозитные покрытия

1.1.1 Свойства и структура нанокомпозитных покрытий

Одним из приоритетных направлений в современной науке является разработка новых материалов, в частности, создание многокомпонентого нанокомпозитного покрытия с определенным размером зерна менее 100 нм. Основным достоинством нанотехнологий является их способность работать на атомном, молекулярном и наномолекулярном уровнях, в диапазоне размеров от 1 до 50 нм. Это необходимо, для создания, обработки и использования материалов, устройств и систем, которые имеют новые свойства и функции из-за малых размеров их структурных элементов [2-5].

Размерные эффекты наблюдаются тогда, когда средний размер зерна кристалла меньше, чем 50 нм, и наиболее отчетливо наблюдается, когда размер зерен находится в пределах 10 нм.

Нанокомпозитные покрытия представляют из себя новое поколение материалов. Они состоят как минимум из двух раздельных фаз с нанокристаллической, аморфной или комбинированной структурой. Нанокомпозитные материалы, благодаря очень малым размерам зерна (≈ 10 нм), а также благодаря граничным областям, окружающих зерна, демонстрируют совершенно новые свойства и ведут себя совершенно по-другому по сравнению с обычными материалами, состоящие из крупных зерен (≥ 100 нм). Вышеперечисленные факты являются основной движущей силой, стимулирующей развитие нанокомпозитных покрытий.

Главной особенностью данных нанокомпозитов является повышенная твердость. Повышенная твердость нанокомпозитного покрытия H_n может быть в два раза больше, чем у более сложного покрытия. Показания твердости зависят доминирующего процесса в данном интервале размеров зерен (рис. 1).

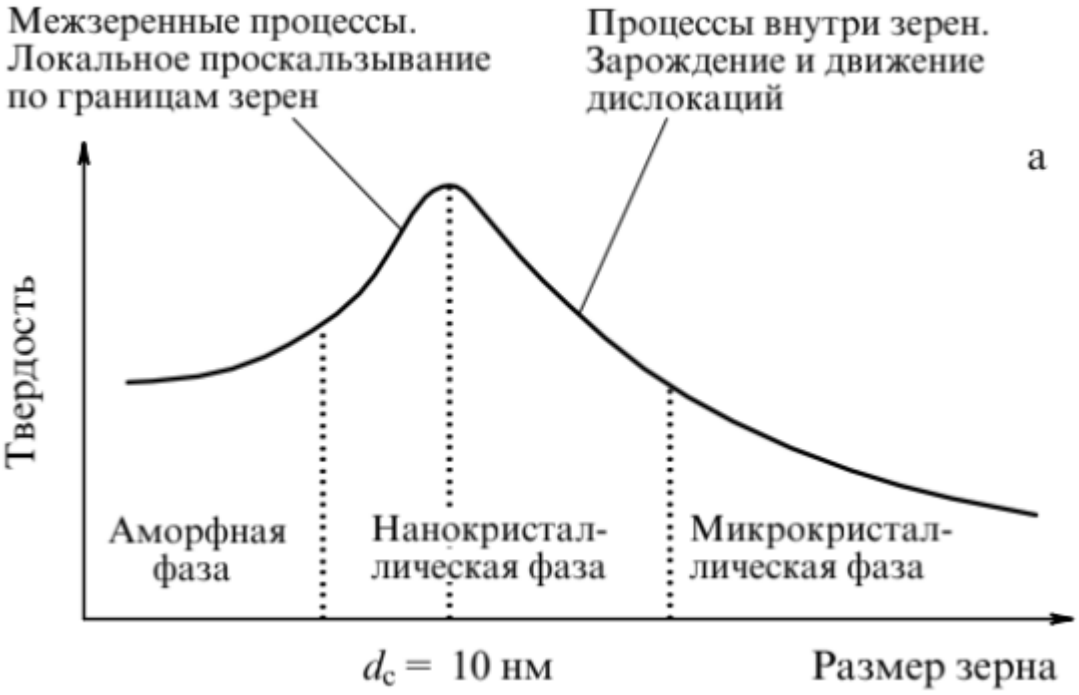

Рис. 1 Зависимость твердости покрытия от размера зерна [2]

Из рисунка 2 следует: существует критическое значение размера зерна, равное d_c ≈10 нм, при котором макисмальное значение твердости H_{max} достигает максимального значения. Область d вокруг H_{max}, достигнутая в d=d_c, соответствует непрерывному переходу от активности внутригранулярных процессов при d>d_c, в которых преобладают дислокации и описываются законом Холла-Петча (H~$d^{-1/2}$) [2,3]. Где H- это пластическая деформация. В материалах с размером зерна d≤ d_c дислокации не генерируются (размер зерна d меньше, чем длина дислокации), также процессы на границе зерна играют доминирующую роль по сравнению с внутренними зернами.

Описывающими параметрами для нанокристаллических пленок являются размытость, а также малоинтенсивность полос, отраженных рентгеновским излучением. Такие пленки создаются в переходных областях, в которых структура пленок меняется. В настоящее время, существует три группы переходных состояний: 1) переход кристаллической фазы в состояние

аморфного; 2) переход между двумя фазами различных материалов, 3) переход между двумя основными направления зерна из одного материала (рис. 2а, б)

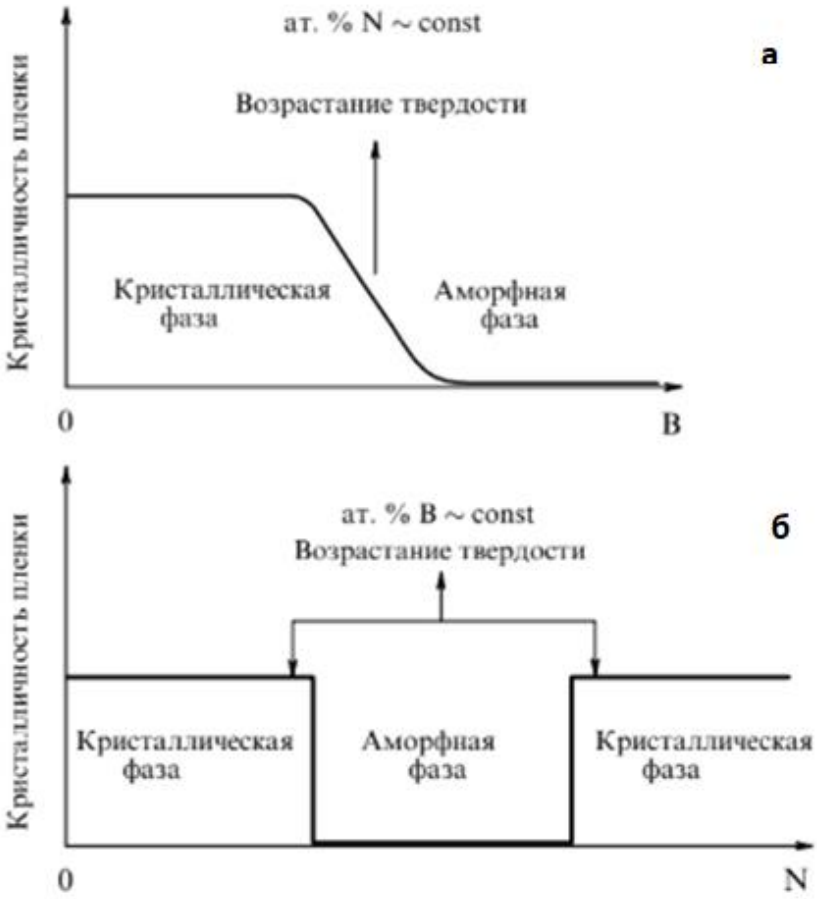

Рис 2. (а, б) Переходные области в соединении $Al_{1-x}B_xN$: область перехода из кристаллической в аморфную фазу (а) и область перехода между двумя кристаллическими фазами или двумя основными кристаллографическими ориентациями зерен.

Нанокомпозиты с наибольшим значением твердости имеют разную структуру (рис. 3). Все нанокомпозиты, принадлежащие к первой группе, состоят из столбчатых или нанокристаллических nc - зерен, которые окружены тонкими многослойными фазами, эквивалентными основному материалу. Столбчатые наноструктуры имеют нанокомпозиты 2-й и 3-й групп, которые точно сформированы по краям переходов (рис. 3б). В противоположность вышесказанному, существуют нанокомпозиты 2-й и 3-й групп, сформированных внутри такого перехода, которые состоят из смеси мелких

микрогранул и показывают плотное шаровидное скопление микроструктур (рис. 3в)

Можно разделить нанокомпозиты с наибольшей твердостью на три группы:

1. Все нанокомпозиты, которые формируются из зерен, принадлежащих к столбчатой структуре; количество вторичной фазы в основных материалах не является достаточным, чтобы полностью покрыть поверхность всех зерен (рис. 3а).

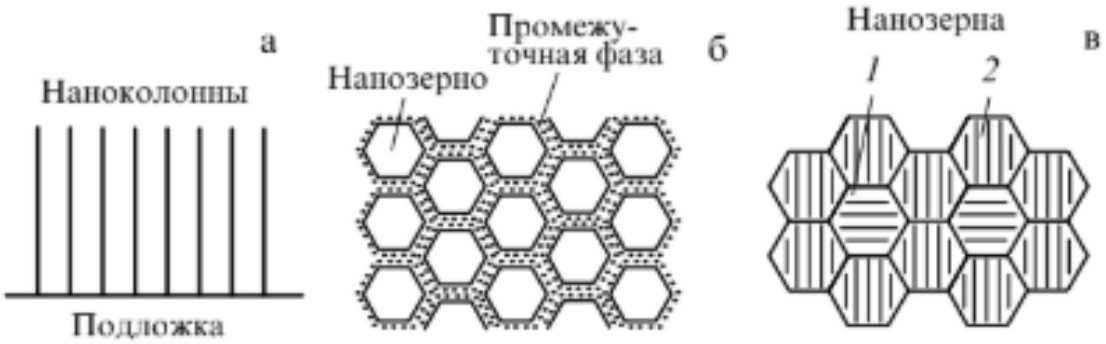

Рис. 3 Структуры нанокомпозитов с повышенной твердостью: а) колумнарные; б) нанозерна, окруженные фазой, эквивалентной основному материалу; в) смесь нанозерен.

2. Нанокомпозиты с плотным шаровидным скопление, которые состоят из нанозерен, полностью окруженных фазой основополагающего материала (рис. 3б).

3. Нанокомпозиты со структурой объемного шаровидного скопления, состоящие из наночастиц из различных материалов или наночастиц с различными ориентациями кристаллографических и/или решетчатой структуры формируется из того же материала (рис. 3в).

Данное разделение, подтверждено экспериментально, которое показывает, что образование повышенной твердости напрямую связано с размером и формой «строительных блоков», из которых состоят нанокомпозиты. Основополагающей характеристикой является геометрия этих зерен.

1.1.2 Механические свойства нанокомпозитных покрытий

Механические свойства нанокомпозитных покрытий описываются их показаниями твердости H, эффективным модулем Юнга $E^* = \frac{E}{(1-v^2)}$ и упругим последействием W_e; здесь E- модуль Юнга, v- коэффициент Пуассона. Данные величины можно рассчитать по кривым нагрузки/разгрузки, которые могут быть измерены микротвердомером.

Зависимость H=f (E*), H^3/E^{*2}=f (H), W_e=f (H)- это основные соотношения, описывающие механические свойства тонких пленок.

Механические свойства нанокомпозитных покрытий сильно зависят от элементов, которые формируют отдельные фазы, от относительного содержания фаз, химического взаимодействия между фазами и их микроструктурами.

1.2 Нитрид кремния (Si_3N_4)

Известно, что покрытие Al-Si-N состоит из двух фаз: AlN и Si_3N_4. В литературе не были найдены исследования люминесцентных свойств пленок Al-Si-N. Поэтому представляется интересным рассмотреть отдельно оптические свойства двух фаз, для дальнейшего сравнения полученных результатов.

Нитрид кремния является бинарным неорганическим химическим соединением, представляющее из себя соединение кремния и азота. Данное соединение обладает полезными механическими и физико-химическими свойствами. Нитридкремниевая связь способствует улучшению эксплуатационных свойств огнеупоров на основе карбида кремния, периклаза и т.д. А огнеупоры на нитридной связке, в свою очередь, обладают высокой термо- и износостойкостью, имеют хорошую стойкость к растрескиванию, а также воздействию агрессивных расплавов и паров металлов.

Нитрид кремния имеет три кристаллографические структуры, это α, β и γ.

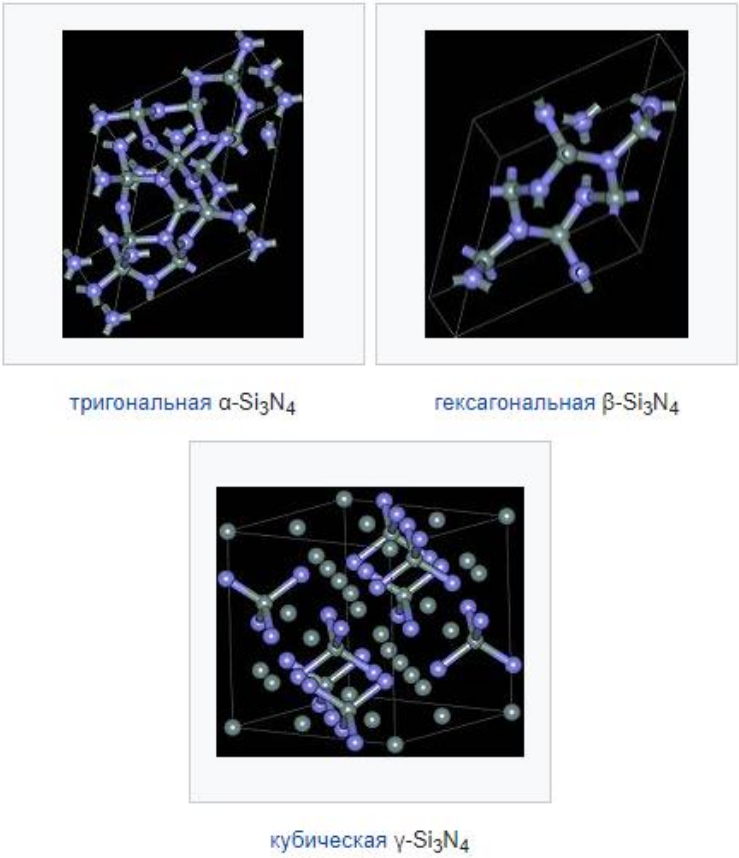

Рис. 4 Кристаллографические структуры нитрида кремния

Чаще всего встречаются фазы α и β, которые могут быть произведены при обычном давление. Фаза γ встречается реже и может быть синтезирована при высоких давлениях и температурах.

α и β формы нитрида кремния имеют тригональную сингонию и гексагольнальную структуры, которые построены по углам обмена тетраэдров Si_3N_4. Рассмотрение данных фаз, возможно, как структуру, состоящую из слоев кремния и атомов азота. Тетраэдры в Si_3N_4 в β форме соединены между собой таким образом, что тоннели формируются параллельно оси элементарной ячейки. γ форма является структурой «с модификацей». Гамма-форма нитрида кремния имеет структуру шпинели, в которой каждые два

атома кремния соединяются с шестью атомами азота, образуя октаэдр, и один атом кремния соединяет четыре атома азота, образуя тетраэдр.

В настоящее время интерес к данному материалу растет из-за его люминесцентных свойств: пленки данного состава в зависимости от стехиометрии, фазового состава, примесей и дефектов могут люминесцировать с высокой эффективностью от ближнего УФ- до ближнего ИК- диапазона. Одним из главных достоинств нитрида кремния является то, что с помощью его возможно создать светоизлучающую структуру на основе кремния.

Изменение спектра люминесценции возможно благодаря изменению дефектно-примесной и фазовой составов пленки [6, 7]. Введение примесей в результате ионной имплантации может быть одним из вариантов. Процесс ионного внедрения генерирует достаточно большое количество центров безызлучательной рекомбинации, чем гасит свечение. Из последующего отжига можно не только восстановить предыдущую версию спектра, но и выявить новые люминесцентные пики, т. е. новые излучающие центры. В случае имплантации кремния, можно ожидать, во-первых, включение его в матрицу нитрида, осуществив стехиометрический состав и увеличив плотность состояния в хвостах зон, а во-вторых, возможность появления нанокристаллов кремния.

В статье [8] была представлена фотолюминесценция пленок Si_3N_4, обогащенных кремнием, полученных с помощью метода ионной имплантации. В работе, перед возбуждением азотным лазером в исследуемых образцах наблюдалась широкая полоса ФЛ 400-600 нм (3,1-2,1 эВ), представленная на рисунке 6. Полученные на графике пики- это результат интерференции.

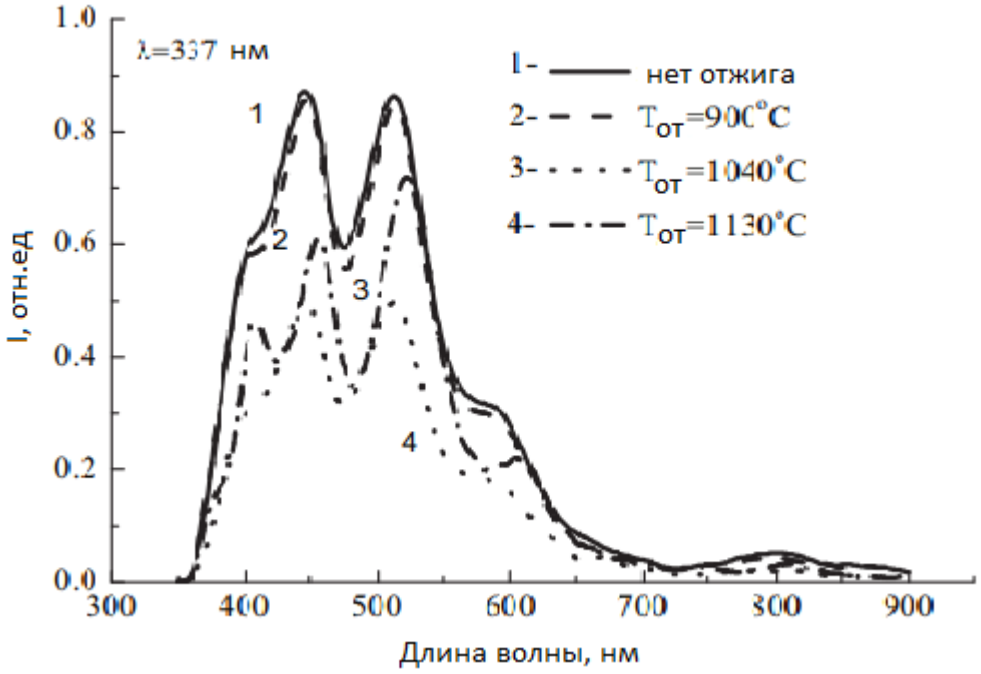

Рис. 6 Спектр ФЛ исходных пленок нитрида кремния при возбуждении азотным лазером. При регистрации спектра 3 образец был повернут на 30° относительно оси регистрирующей системы.

В данной работе [8] сумели промоделировать эффект интерференции. Это позволило описать спектр гауссианы с центром, примерно λ=480 нм (2,58 эВ) (см. рис. 7). Как пишут авторы, данный спектр был термически устойчивым к отжигу до 900°C.

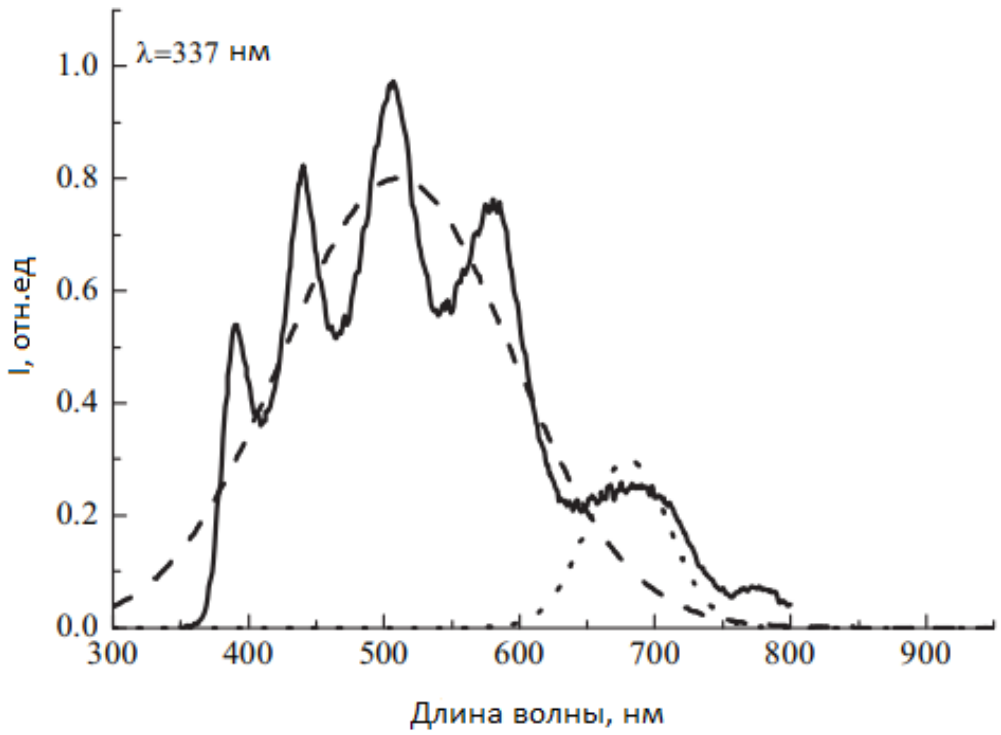

Рис. 7 Спектр ФЛ пленок нитрида кремния, облученных ионами SiH_2^+ с дозой 10^{16} $см^{-2}$, при возбуждении азотным лазером после отжига 600°С. Штриховой линией показана аппроксимация основной полосы гауссианой с центром λ=520 нм (2,38 эВ), пунктирной линией- дополнительный пик с λ=680 нм (1,82 эВ).

Исходя из литературных данных [1, 7, 8], авторы работы утверждают, что наблюдаемый спектр ФЛ был получен, благодаря электронным переходам между «хвостами» зоны проводимости и валентной зоны нитрида кремния. А ослабленную интенсивность после высокотемпературных отжигов они объясняют тем, что высокие температуры повышают структурный порядок в аморфном нитриде кремния, также снижается плотностное состояние в «хвостиках» зон и, следовательно, ослабевает и интенсивность излучательных переходов, отвечающих за полосу ФЛ 400-600 нм (3,1-2,1 эВ).

Для того, чтобы выяснить природу длинноволновых пиков, в данной работе провели серию экспериментов, в которых ФЛ возбуждалась аргоновым лазером с основной гармоникой на длине волны λ=488 нм (2,54 эВ). Полученные спектры показаны на рисунке 8. В работе отмечают, что

присутствуют красные сдвиги максимума интенсивности, который зависит от роста дозы внедренного кремния.

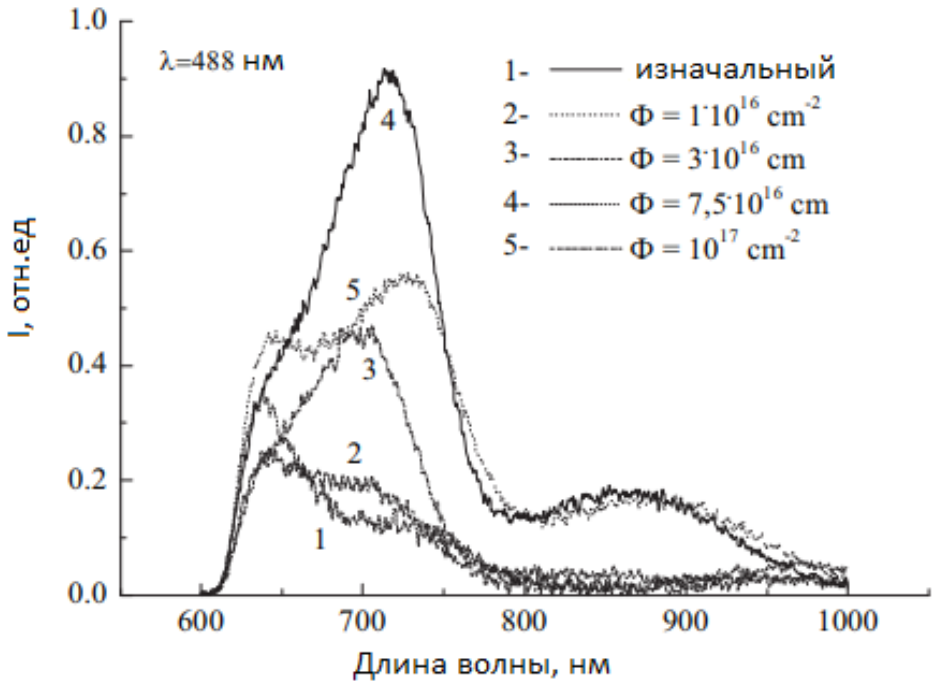

Рис. 8 Спектры ФЛ пленок нитрида кремния при возбуждении аргоновым лазером до и после облучения ионами SiH_2^+. На заключительной стадии подвергались отжигу при 600°C.

В работе [9] сделали следующий вывод: регулирование спектров собственной ФЛ аморфного нитрида кремния возможно при внедрении кремния и последующего отжига. Вместе с основной полосой ФЛ внедрение кремния приводит к появлению дополнительного люминесцентного пика на длине волны λ=700 нм (1,77 эВ), интенсивность которого зависит от дозы и температуры последующего отжига.

1.3 Нитрид алюминия (AlN)

Второй составляющей пленки Al-Si-N, является нитрид алюминия (AlN). Полезным будет рассмотреть оптические свойства данной фазы, для сравнения полученных результатов.

Ширина запрещенной зоны нитрида алюминия равна E_g=6,28 эВ, что намного больше по сравнению с Ge, Si, арсенидом галлия, карбидом кремния, нитридом галлия и твердыми растворами на основе нитридов алюминия и галлия. AIN имеет высокие значения критического (электрического) полевого пробоя, высокую стойкость, повышенное механическое сопротивление, хорошую термостойкость материала. На основе этого материала можно создавать приборы, излучающие свет в видимой области спектра. Для нитрида алюминия отсутствуют собственные подложки, и их рост осуществляется с помощью подложек из других материалов, включая кремний.

На основе литературных данных [9] можно более подробно описать оптические свойства пленок AlN/n-Si (100).

На рисунке 9 отображены спектры отражения R подложки n-Si (кривая 1) и пленки AlN/n-Si (кривая 2) в диапазоне длин волн λ=350-750 нм (3,54-1,65 эВ).

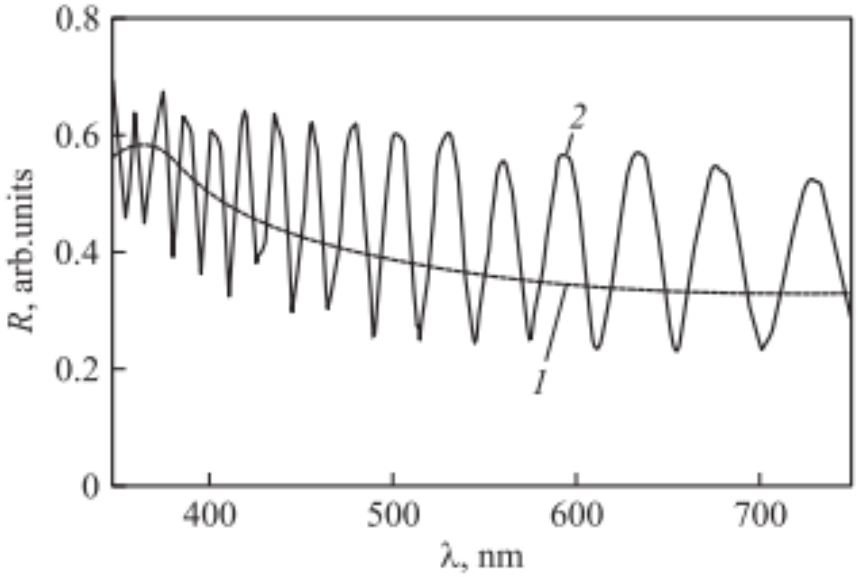

Рис. 9 Спектры отражения подложки n-Si (100) (1) и пленки AlN/n-Si (100) (2) в диапазоне длин волн 350-750 нм.

Стоит заметить, что на спектре отражения пленки AlN/n-Si можно наблюдать интерференционную картину. Согласно классической оптике [10],

интерференцию покрытий возможно описать с помощью следующих соотношений:

$$m\lambda_1 = 2n(\lambda_2)d, \quad (1)$$

$$(m+1)\lambda_1 = 2n(\lambda_2)d, \quad (2)$$

где m- порядок интерференционной картины, λ_1 и λ_2- длины волн, при которых наблюдаются соседние минимумы или максимумы, d- толщина пленки, $n(\lambda_2)$- показатель преломления пленки. Из соотношения (1) и (2) следует связь между толщиной пленки d и показателем преломления пленки n:

$$d = \frac{\lambda_1\lambda_2}{2[n(\lambda_2)\lambda_1 - n(\lambda_1)\lambda_2]}, \quad (3)$$

Пренебрегая дисперсией показателя преломления в интетрвале длин волн от R подложки n-Si (кривая 1) и пленки AlN/n-Si (кривая 2) в диапазоне длин волн λ_1 до λ_2, можно записать:

$$n = \frac{\lambda_1\lambda_2}{2d(\lambda_1 - \lambda_2)}, \quad (4)$$

В соответствии с эллипсометрическими исследованиями с различными углами падения света, показатель преломления пленки AlN/n-Si на длине волны 633 нм (1,96 эВ) имеет значение n=1.9. Мы получаем, что значение показателя преломления, полученное из спектров отражения с длиной волны 618-655 нм (2,01-1,89 эВ) и эллипсометрическими измерениями на длине волны 633 нм (1,96 эВ) близки.

На рисунке 5 представлены спектры отражения подложки n-Si (кривая 1) и пленки AlN/n-Si (кривая 2) в диапазоне длин волн λ=200-450 (6,2-2,76 эВ) нм. Значение показателя преломления пленки AlN/n-Si в диапазоне длин волн 292-300 нм (4,25-4,13 эВ), полученное по формуле (4) равно 1,921.

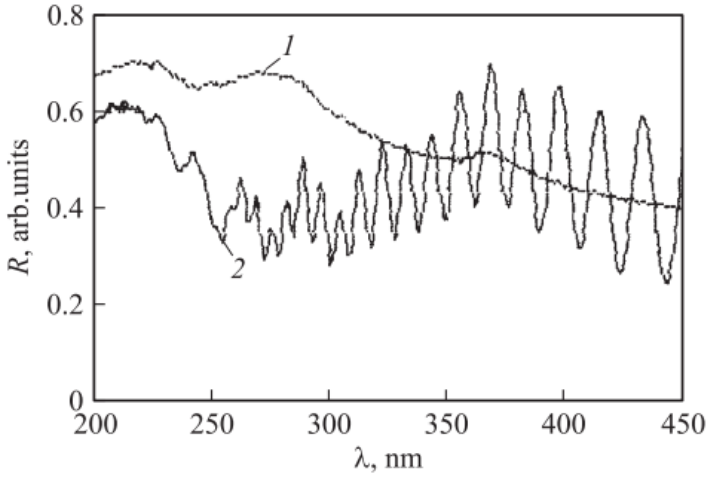

Рис. 10 Спектры отражения подложки n-Si (кривая 1) и пленки AlN/n-Si (кривая 2) в диапазоне длин волн λ=200-450 нм (6,2-2,76 эВ).

Из рисунка 10 можем наблюдать зависимость отражения R от длины волны на интервале 200-350 нм (6,2-3,54 эВ), в которой при длине волны равной 250 нм (4,96 эВ) сигнал имеет минимум.

В статье [9] делают вывод, что исследования поверхности и оптических свойств показывают высокую плотность и прозрачность пленок AlN/n-Si.

В статье [10] были получены спектры катодолюминесценции исследуемых образцов AlN.

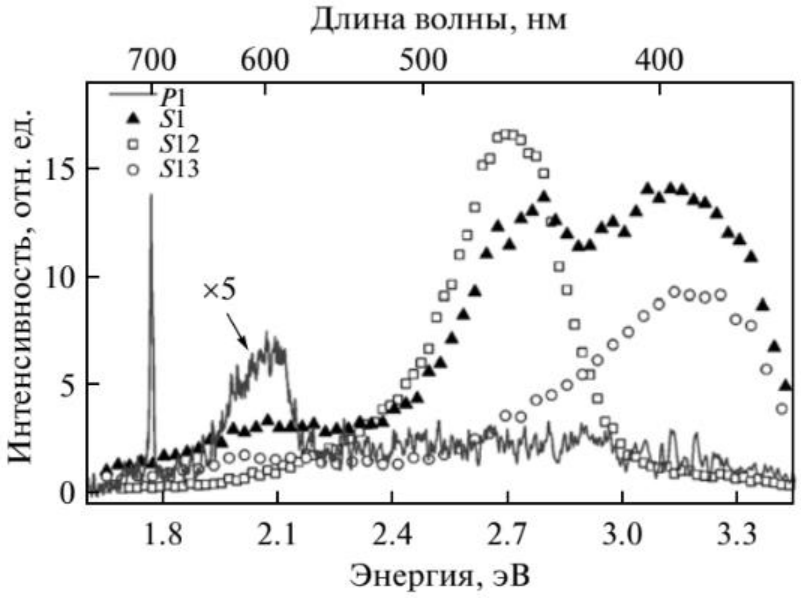

Рис 11. Экспериментальные спектры КЛ исследуемых образцов AlN.

На рисунке 1 представлено несколько экспериментальных спектров катодолюминесценции для исследуемых образцов нитрида алюминия. Видно, что для AlN характерны зависимости, представляющие собой широкие структурированные полосы с несколькими пиками в областях энергий E_{max}≈3,2; 2,7; 2,2-2,0 и 1,77 эВ (рис. 11).

В данной работе полученные спектры условно разделяют на три группы. Для образцов S1, S2, S11 и S12 (группа 1) характерно доминирование полосы свечения с E_{max}≈3,2 эВ (рис. 11).

К 3 группе, в данной работе, относят образец P1 с ярко выраженными полосами свечения с E_{max}≈2,7 и 1,77 эВ. Таким образом, для образца P1 в отличие от образцов S1-S13 полоса свечения с E_{max}≈2,1 эВ является доминирующей по сравнению с полосами с E_{max}≈3,2 и 2,7 эВ.

2. Описание экспериментального оборудования и методик исследования свойств покрытий

2.1 Методика нанесения покрытия

Исследуемые покрытия осаждали на вакуумной установке УВН-05 МД «КВАНТ» в аргоно-азотной смеси. Общее давление составляло 0,3 Па, отношение парциальных давлений Ar:N=3:1. Покрытия получали с помощью метода биполярного магнетронного распыления мозаичной мишени на основе алюминия с кремниевыми вставками. Мощность разряда магнетрона составляла 1,2 кВт, частота импульсов тока- 50 кГц. Нагрев подложек и поддержанием постоянной температуры их в процессе осаждения покрытий осуществляли с помощью резистивного молибденового нагревателя мощностью 10 кВт.

2.2 Рентгеноструктурный анализ

Благодаря рентгеноструктурному анализу установлено, что покрытия на основе системы Al-Si-N состоят из трех фаз: $\alpha -$ и $\beta -$ фаз Si_3N_4 с ГПУ-решетками P31c и $P6_3/m$, соответственно, с объемными долями по ~30% и фазы AlN с ГПУ-решеткой типа вюртцита $P6_3mc$ в количестве ~40 объем % (рис. 12).

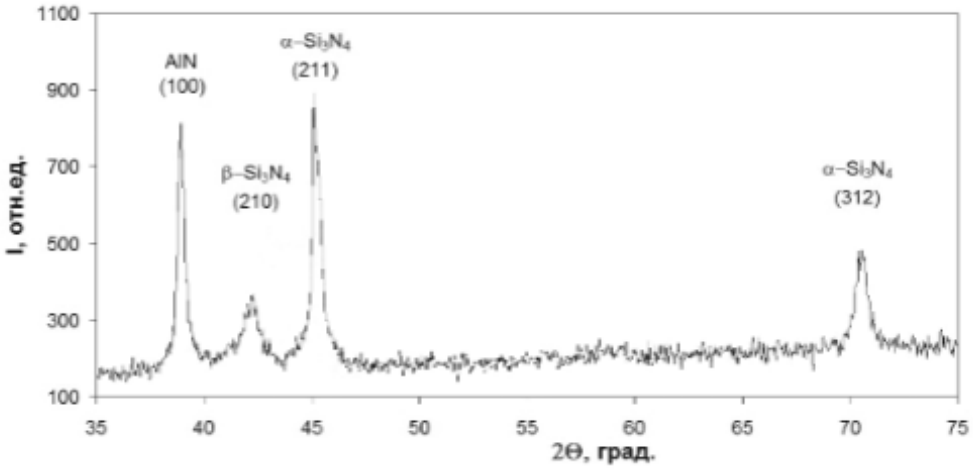

Рис. 12 Рентгенограмма покрытия Al-Si-N, характеризующая его фазовый состав.

Методом просвечивающей электронной микроскопии было установлено, что в зависимости от режимов нанесения в покрытиях Al-Si-N зерна имеют средний размер в интервале от 10 до 30 нм, т.е. имеют нанокристаллическую структуру.

2.3 Методика импульсной катодолюминесцентной спектрометрии с наносекундным временным разрешением

Катодолюминесценция изучаемых пленок измерялась на импульсном оптическом спектрометре, работа которого основана на ускорителе электронов ГИН-600. Импульсный спектрометр позволяет проводить измерения спектрально-кинетических параметров люминесценции оптических материалов после возбуждения сильноточным электронным пучком (СЭП).

Возбуждение материалов выполнялась в вакууме при давлении остаточных газов 10^{-4} Па. Технические особенности спектрометра: спектральный интервал измерений – 200…1200 нм; временной диапазон– ~7 нс; температурный диапазон измерений – 12,5…700 К; продолжительность импульса тока электронов – 2-10 нс; плотность тока пучка электронов –

0,1…1000 А/см^2; предельная энергия электронов – 400 кэВ, средняя – 0,25 МэВ.

В роли источника возбуждения выступал импульсный ускоритель электронов прямого действия. Ускоритель представляет из себя генератор импульсных напряжений (ГИНа), реализованного по схеме Аркадьева-Маркса, имеющего вакуумный диод, блок питания и пульт дистанционного управления. Ускоренные в промежутке катод-анод электроны, через сетку металла анода, попадают в криостат и облучают образец. Распространение электронов, необходимое для обеспечения равномерности облучения образцов, достигается размещением алюминиевой фольги толщиной ~30 мкм на пути движения пучка. Изменение флюенса электронов в широком диапазоне выполняется применением суммарно расположенных на пути пучка калиброванных диафрагм.

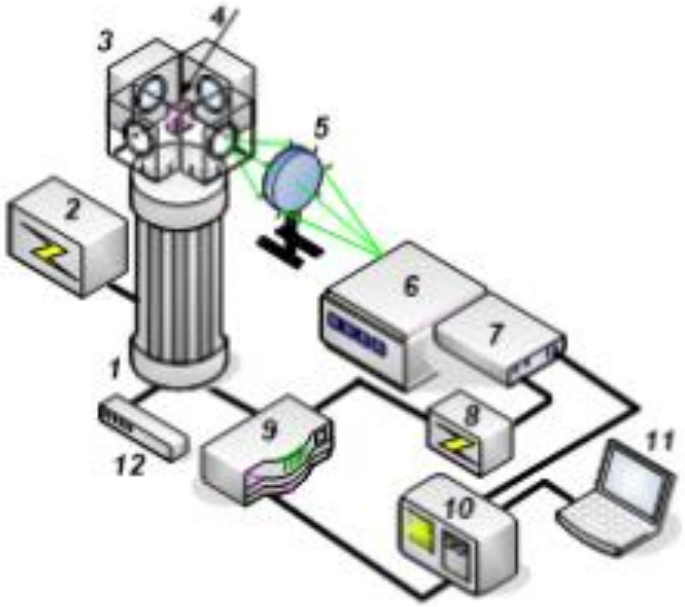

Рис. 13 Блок схема импульсного оптического спектрометра 1- импульсный наносекундный сильноточный ускоритель электронов; 2- блок питания ускорителя; 3- измерительная камера (не использовалась); 4- исследуемый образец; 5- линзовая система; 6- монохроматор; 7- фотоэлектронный умножитель; 8- блок питания фотоэлектронного умножителя; 9- генератор импульсов ГИ-1; 10- осциллограф; 11- ПК; 12- пульт управления.

Составляющие элементы спектрометра представлены на рисунке 13. Исследуемый образец (4), как правило, в виде плоской пластинки помещается в пазы медного кристаллодержателя и фиксируется полированной поверхностью. Испытуемый образец, облучается пучком электронов из ускорителя (1) через тонкую алюминиевую фольгу. Свет от исследуемого элемента (4) фокусируется на входной щели монохроматора (6) через систему линз из кварца (5). Излучение передается через монохроматор (6), регистрируемое ФЭУ (7). Сигнал с ФЭУ передается на цифровой осциллограф (10).

Работа спектрометра производится в следующем порядке. Блок питания ускорителя (2) подключен к панели управления (12). После достижения изначального зарядного напряжения на ступенях ГИНа с блока питания выходит импульс на запуск многоканального генератора Импульсов ГИ-1 (9). Генератор запускает ускоритель электронов (1). Контроль импульса задержки с ГИ-1 позволяет подключить все компоненты спектрометра в любой последовательности.

Катодолюминесцентные характеристики получали из осциллограмм изменения интенсивности свечения I(t) образцов в течении времени на разных длинах волн после облучения одним импульсом. В результате, кинетика затухания была оцифрована и проанализирована. Обработка экспериментальных данных была проведена в программе Origin Pro 8.0.

После регистрации сигналов с наносекундными фронтами, сопротивление входу устройства регистрации должно быть согласовано с волновыми сопротивлениями соединительных проводов и разъемов, т.е. необходимо использовать низкоомные согласующие сопротивления (≈50 Ом). Напряжение, подаваемое на ФЭУ регулируется в диапазоне от 1 до 2 кв. Линейность на ФЭУ была проверена изменением анодного тока в зависимости от освещенности катода.

Ошибка измерения люминесценции в значительной степени зависит от неизменяющихся характеристик пучка электронов, отклонение которых составляет 5% - 10%. Значительный эффект оказывают шумы высокой частоты измерительных аппаратов и ускорителя. Для снижения систематической ошибки, необходимо, во-первых, выбрать оптимальный режим облучения и регистрации, а во-вторых, использовать защитные пластинки.

Характеристики кинетики затухания получали из анализа зависимости I(t). Многокомпонентные кинетики разлагались на элементарные составляющие и определялись параметры затухания каждой.

2.4 Регистрация спектров ИКЛ на базе оптоволоконного спектрометра AvaSpec

Регистрация интегральных спектров свечения ИК лучей была выполнена AvaSpec-204. Спектрофотометр построен на основе AvaBench-75 платформы с симметричной Черни-Тернер оптической скамьи и 2048 элемент датчика CCD матрицы, работающего в спектральном диапазоне от 200-1100 нм с обратной линейной дисперсии 1,2 нм /мм.

Измерения интегральных спектров свечения в импульсном режиме электронного возбуждения были проведены в следующем порядке (рисунок 9):

1. После закрепления исследуемого образца (4) в держателе, происходит запуск ускорителя (1) из измерительной камеры (3).

2. Перед выходным окошком измерительной камеры на оптической оси, расположено кварцевое оптоволокно (5). Благодаря SMA, стандартного коннектора, кварцевое оптоволокно соединяется с входным разъемом спектрометра AvaSpec 2048.

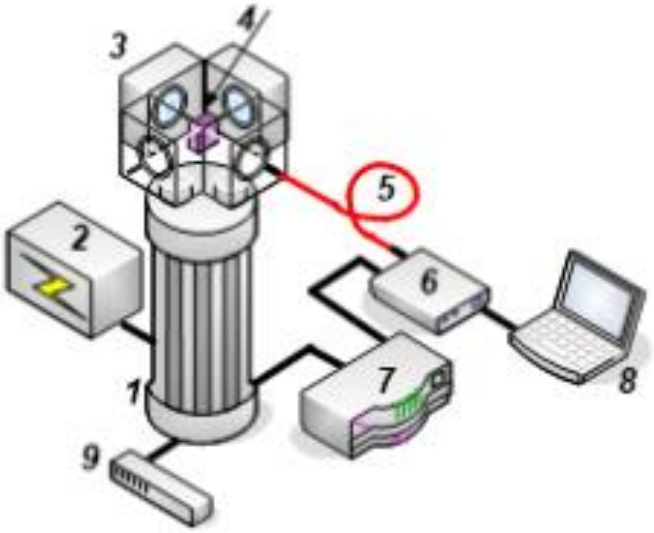

Рис. 14 Блок схема установки для измерений интегральных спектров «за один импульс»: 1- импульсный наносекундный сильноточный ускоритель электронов; 2- блок питания ускорителя; 3- измерительная камера; 4- исследуемый образец; 5- кварцевое оптоволокно; 6- спектрометр AVANTES AvaSpec 2048; 7- генератор импульсов ГИ-1; 8- ПК; 9- пульт управления.

3. Работа спектрофотометра начинается после запуска ускорителя. С помощью внешнего генератора импульсов ГИ-1 (7), происходит синхронизация: спектрометр ожидает импульс внешнего запуска, и начинает измерение после получения сигнала внешнего запуска, с временем задержки перед сканированием, величина которой определяется пользователем. В этом случае спектрометр будет ожидать новый импульс срабатывания для следующего измерения.

4. Исследуемый образец, облученный ускоренными электронами, дает свечение КЛ.

5. Свечение фиксируется с помощью программного обеспечения "временном окне" (от 1 мс до 60 с). В спектрометре AvaSpec на основе USB2 платформы, есть возможность регулировки времени задержки начала измерения Есть возможность устанавливать время задержки запуска измерений относительно внешнего сигнала.

6. 2048-ой элементный профиль распределения спектра с датчиком CCD матрицы снимает микропроцессорно, регулируемый электронной картой спектрофотометра и по интерфейсу USB передается в компьютер, непосредственно с помощью специального программного обеспечения. Записанные спектральные данные отображаются в режиме реального времени.

2.5 Определение прочности сцепления методом царапания

Прочность сцепления с подложкой является одной из важнейших характеристик покрытий. Метод царапания- один из самых простых и быстрых способов оценки адгезионных свойств покрытий. Данный метод основан на царапании индентором на определенном участке образца. В виде индентора обычно используются алмаз конической формы, который перемещают по поверхности образца с постоянной, возрастающей или прогрессивной нагрузкой. Разрушение покрытия происходит при определенной критической нагрузке, которую можно определить по нескольким регистрируемым сигналам: сила трения, глубине погружения индентора, акустической эмиссии.

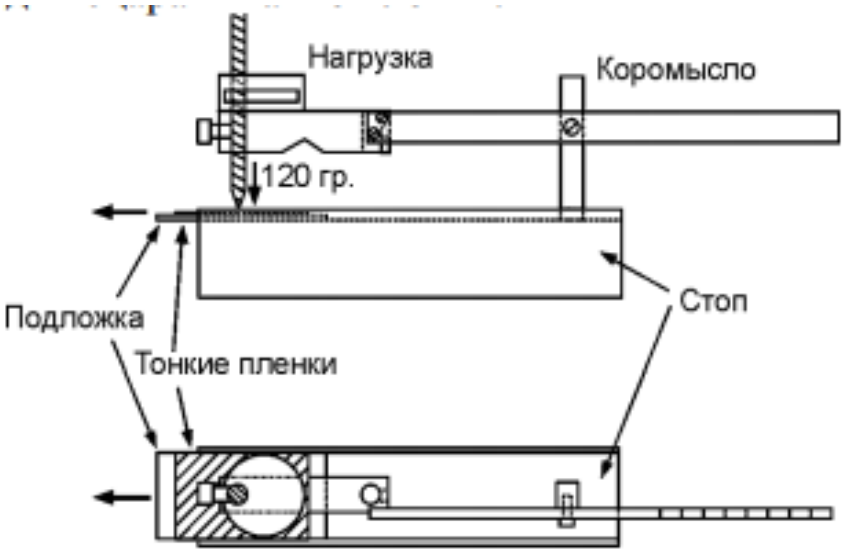

Рис. 15 Схема устройства измерения адгезионных характеристик покрытий методом царапания (Вид сбоку-верхний рисунок, вид сверху-нижний рисунок).

Адгезию определяли на скретч-тестере Revetest-RST (рис. 15). Максимальная нагрузка царапания составляет 200 Н, а максимальная глубина царапания- 1 мм.

Рис. 16 Общий вид скретч-тестера Revetest-RST.

Несмотря на то, что данный метод широко применяется, имеются трудности при количественной оценке прочности сцепления. В испытаниях царапанием, сопротивление адгезии характеризуется величиной критической нагрузки, которая приводит к выкорчевыванию пленки.

Во время испытания на адгезию образуются канавки (в зависимости от таких факторов, как твердость материала покрытия и подложки, толщина пленки, вертикальная нагрузка на наконечник и некоторые параметры, связанные с условиями испытания), которые возможно получить при:

- пластической деформации покрытия при неразрушающем испытании;
- пластической деформации, приводящей к образованию стружки;
- разрушении, практически отсутствующей пластической деформации.

2.6 Определение микротвердости по Виккерсу

Данный метод заключается в вдавливании алмазного наконечника, имеющего форму правильной четырехгранной пирамиды, в образец под действием нагрузки и измерении диагонали отпечатка d, оставшегося после снятия нагрузки (рис. 17)

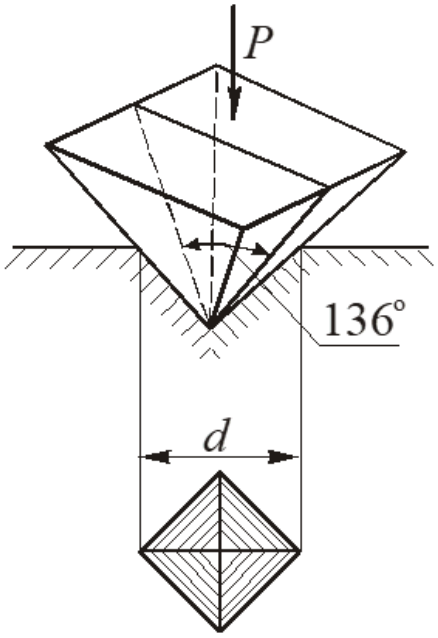

Рис. 17 Измерение микротвердости методом Виккерса.

Микротвердость определяется для тонких покрытий, отдельных структурных составляющих сплавов (рис. 18)

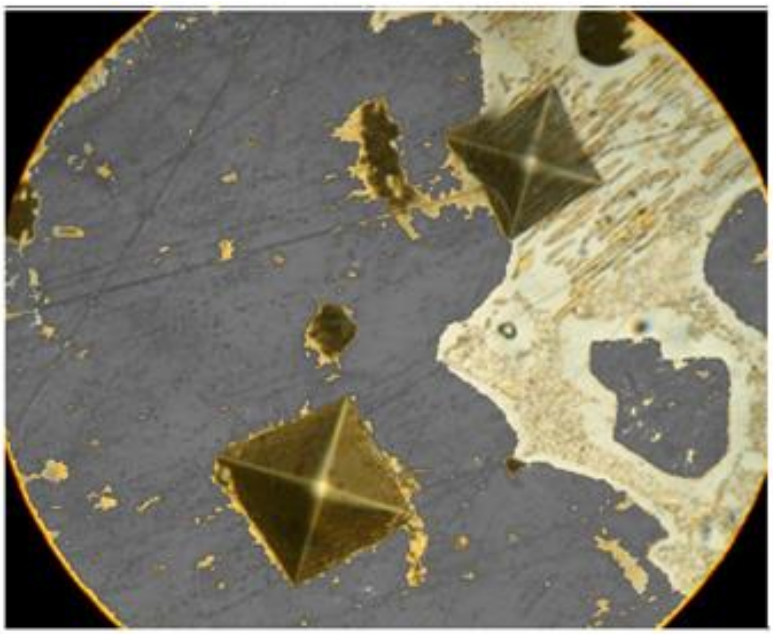

Рис. 18 Оставшиеся отпечатки алмазной пирамидки после вдавливания.

Прибор для определения микротвердости состоит из механизма для вдавливания алмазной пирамиды с небольшой нагрузкой и металлографического микроскопа. В испытываемую поверхность вдавливают алмазную пирамиду под нагрузкой 0,05…5,00 Н. Микротвердость определяется по формуле:

$$H = 0{,}189\frac{P}{d^2}$$

В данной работе микротвердость измеряли с помощью микротвердомера AFFRI.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Покрытия представляют собой наноразмерную тонкопленочную структуру, которую наносят на поверхность различных материалов. Основная функция которых заключается в повышении износостойкости и, как следствие, увеличение времени работы рабочего инструмента. В связи с этим, актуальным становится исследования факторов, влияющих на свойства покрытий. В данной работе исследовались физико-механические свойства покрытий с разным содержанием азота. Рассматривалась закономерность в механических свойствах и количества азота в покрытиях.

Целью данного раздела является экономическое обоснование научно-исследовательской работы. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. определение структуры работ в рамках научного исследования;
2. определение участников каждой работы;
3. установление продолжительности работ;
4. построение графика проведения научных исследований;
5. составление сметы затрат на проведение научного исследования.

4.1. Предпроектный анализ

Настоящая работа посвящена исследованию физико-механических свойств покрытий Al-Si-N. Можно сказать, что данные измерения впервые производились в временном интервале. Технология производства пленок достаточно дорогая, что доступна не всем, зато это может компенсироваться тем, что при магнетронном распылении возможно получить хорошие адгезионные показатели покрытий, а также их твердость.

Потребителями данной технологией могут быть: различные оптико-механические заводы, исследовательские предприятия, а также частные заказчики.

4.2 План проекта

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

Линейный график представляется в виде таблицы 1.

Таблица 1. Календарный план проекта.

№	Название	Длительность, дни	Участники
1	Составление технического задания	1	Руководитель
2	Изучение литературы	60	Студент
3	Подготовка установки к работе	4	Руководитель
4	Подготовка подложек	20	Инженер
	Подбор режимов нанесения покрытий	2	
	Получение покрытий	60	

Продолжение таблицы 1			
5	Исследование физических свойств покрытий	14	Студент
6	Исследования механических свойств покрытий	7	Инженер
7	Описание полученных результатов	30	Студент
8	Подготовка отчетов	70	Студент

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

График строится в виде таблицы с разбивкой по месяцам и промежутками в 15 дней за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделит различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 2. Календарный план-график проекта по теме.

№	Вид работ	Исполнители	$T_к$, кал.дни	Продолжительность выполнения работ								
				С.	О.	Н.	Д.	Я.	Ф.	М.	А.	М.
				1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
1	Составление тех. Задания	Руководитель	1									
2	Изучение лит.	Студент	60									

Продолжение таблицы 2

3	Подготовка установки к работе	Руководитель	4									
4	Подготовка подложек	Инженер	20									
5	Подбор режимов нанесения	Инженер	2									
6	Получение покрытий	Инженер	60									
7	Исследования физических свойств покрытий	Студент	14									
8	Исследование механических свойств покрытий	Инженер	7									
9	Описание полученных результатов	Студент	30									
10	Подготовка отчетов	Студент	70									

4.3 Смета затрат научно-исследовательской работы

Расчет сметы затрат необходим для определения себестоимости НТИ. В плановую себестоимость НТИ включаются все затраты, связанные с ее выполнением, независимо от источника их финансирования. Смета затрат является основным документом, исходя из которого производят планирование и учет затрат на выполнение НТИ.

Для формирования бюджета научного исследования необходимо представить затраты по статьям расходов.

4.3.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.

Расчет стоимости материальных затрат производился по действующим прейскурантам (таб. 3).

Таблица 3. Сырье и материалы.

№	Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, тыс. руб.	Сумма, тыс. руб.
1	Баллон	Ar	1	6	6
2	Баллон	N	1	5	5
3	Осциллограф	Lecroy 6030A	1	315	315
4	Спектрометр	AVANTES AvaSpec 2048	1	265	265
5	Фотоэлектронный умножитель: 84-6, 106	-	1	30	30

Продолжение таблицы 3					
6	Блок питания фотоэлектронного умножителя	-	1	15	15
7	Генератор импульсов ГИ-1	ГИ-1	1	25	25
8	Монохроматор МДР - 204	МДР - 204	1	600	600
9	Сильноточный ускоритель электронов с вакуумной ячейкой	-	1	300	300
10	Блок питания ускорителя	-	1	30	30
11	Персональный компьютер	-	1	30	30
12	Исследовательский стенд	-	1	100	100
13	Всего за материалы				1 721
	Транспортно-заготовительные расходы (3-5 %)				68,84
	Итого по статье				1 778,84

4.3.2 Специальное оборудования для научных работ

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

Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного научного проекта, учитывалось в виде амортизационных отчислений. Сумма амортизации за один год рассчитывается по формуле:

$$\text{А}_{\text{год}} = \frac{F_{\text{п}} \cdot \text{а}}{100\%}, \quad (1)$$

Где $F_{\text{п}}$- первоначальная стоимость оборудования, а- норма амортизации, рассчитываемая по формуле:

$$a = \frac{1}{t} \cdot 100\%, \quad (2)$$

Где t- срок полезного использования установки.

Стоимость установки для исследовательских работ составляет 1 710 тыс. руб., а срок полезного действия 50 лет, тогда годовая сумма амортизационных отчислений будет равняться $\text{А}_{\text{год}} = \frac{1710000 \cdot 2}{100\%} = 34{,}2$ тыс. руб.

В рамках данного исследования установка использовалась в течении 62 дней, получаем сумму амортизации за 62 дня:

$$\text{А}_{62} = \frac{34\,200 \cdot 14}{100\%} = 4\,788 \text{ руб.}$$

4.3.3 Основная заработная плата

В данной статье учитывается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоёмкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы. Баланс рабочего времени и расчет основной заработной платы представлены в таблице 4.

Таблица 4. Баланс рабочего времени.

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер	Студент
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней	118	118	118
Потери рабочего времени	28	28	52
Действительный годовой фонд рабочего времени	219	219	195

Месячный должностной оклад работника ($З_м$) равен:

$$З_м = З_б k_p$$

Где $З_б$- базовый оклад, руб.; k_p-районный коэффициент, равный 1 для Томска. При выполнении договорного плана в ТПУ предусмотрена система премирования, начисление доплат и надбавок.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_м \cdot М}{F_д}$$

Где $З_м$- месячный должностной оклад работника, руб.; М- количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 рабочих дня М=11,2 месяцев, 5- дневная неделя; $F_д$- действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней (таблица

Основная заработная плата ($З_{осн}$) на предприятии рассчитывается по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot Т_{раб}$$

Где $З_{осн}$- основная заработная плата одного работника, руб.; $З_{дн}$- среднедневная заработная плата работника, рассчитываемая по формуле, руб.; $Т_{раб}$- продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником.

Таблица 5. Расчет основной заработной платы.

Исполнители	$З_б$, руб.	k_p	$З_м$, руб.	$З_{дн}$, руб.	$Т_{раб}$, раб. дни	$З_{осн}$, тыс. руб.
Руководитель	25,29	1,3	32,87	1,49	5	7,47
Инженер	14,87	1,3	19,34	878	67	58,89
Студент	1,80	1,3	2,34	90	108	9,72

4.3.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 15% от основной заработной платы, работников, участвующих в выполнении работы (таб. 5). Получается, что сумма основной и дополнительной заработных плат будет составлять сумму затрат расходов на зарплату:

$$С_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

Где $З_{осн}$- основная заработная плата, руб.; $З_{доп}$- дополнительная заработная плата, которая рассчитывается по формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн},$$

Где $k_{доп}$- коэффициент дополнительной заработной платы.

Таблица 6. Заработная плата исполнителей НТИ.

Исполнители	Руководитель	Инженер	Студент
Основная зарплата, тыс. руб.	7,47	58,89	9,72
Дополнительная зарплата, тыс. руб.	1,12	8,82	-
Зарплата исполнителя, тыс. руб.	8,59	67,72	9,72
Итого по статье $C_{зп}$, тыс. руб.	86,03		

4.3.5 Отчисления на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды составляют 30% от статьи заработной платы. В нашем случае, отчисления получились равными 11,45 тыс. рублям.

4.3.6 Накладные расходы

В данные расходы включены затраты на управление и хозяйственное обслуживание, также расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. Накладные расходы составляют 16% от затрат на заработную плату всех участников исследования. Сумма накладных расходов составила 13,76 тыс. рублей.

Общая сумма исследования составила порядка 141,63 тыс рублей.

Таблица 7. Бюджет научного исследования.

Статья расходов	Сумма, тыс. руб.
Сырье, материалы	1 778,84
Зарплата	86
Отчисления на социальные нужды	11,45
Накладные расходы	13,77
Затраты на специальное оборудование	53,94
Итого	1 943,99

Получаем, что статья расходов на сырье материалов составила 1 778,84 тыс. руб. Затраты на специальное оборудование 53,94 тыс. руб. Общий бюджет заработной плат всех участников проекта 86,03 тыс. руб. Отчисления на социальные нужды- 11,45 тыс. руб. Накладные расходы, включающие в себя текущий ремонт и др., затрачено 13,76 тыс. руб. Общий бюджет с учетом всех статье расходов получился равным 180,93 тыс. руб.

Вывод по главе 4

В данном разделе ВКР проведено планирование научно-исследовательской работы и оценка сметы затрат на проведение исследования. Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости, продолжительность работ в календарных днях составила 93 дня. С учетом наихудшего варианта истечения обстоятельств продолжительность работ составляет 242 календарных дня. Проведение работ планируется начать в первой декаде сентября и закончить в третьей декаде мая. Наиболее продолжительным этапом исследования является подбор и изучения материалов по теме (61 кал. дн.). Анализ сметы затрат показал, что для проведения НТИ необходимо не менее 200 тыс. рублей.

5. Социальная ответственность

Важной и в то же время актуальной задачей современного материаловедения, безусловно, является разработка технологических и научных основ создания наноструктурированных материалов. На данный момент существует много нанокристаллических, нанокомпозиционных, многослойных материалов и др. Недостатком данных структур является то, что из-за избыточной поверхностной энергии на межфазных границах они находятся в неравновесном состоянии, а также их структурно-фазовое превращение при внешних воздействиях может существенно отличаться от соответствующих процессов в их объемных аналогах. Положительной стороной данных структур считается взаимосвязь их элементов, которые образуют прочную систему.

В данной работе рассматриваются физико-механические свойства покрытий Al-Si-N с разным содержанием азота. Покрытия были получены методом биполярного магнетронного распыления. Разрабатывалось по 2 образца каждого покрытия: на стекле марки К8 и алюминиевой фольге. На стекле измеряли механические свойства, на фольге фиксировали люминесценцию покрытий, т.к. стекло дало было ложные показания люминесценции. Микротвердость измерялась с помощью метода Виккерса, адгезионные свойства покрытий проверялись методом царапания.

Целью данного раздела ВКР является разработка и анализ вопросов производственной и экологической безопасности на рабочем месте студента, в лаборатории №124, 16Б корпуса.

5.1. Производственная безопасность. Анализ вредных и опасных факторов.

Экспериментальные исследования оптических свойств покрытий Al-Si-N проводились на импульсном оптическом спектрометре. Выявленные

опасные и вредные факторы при выполнении работ на данной установке приведены в таблице 1.

Таблица 1. Опасные и вредные факторы при выполнении работ по исследованию оптических свойств покрытий Al-Si-N.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы *(по ГОСТ 12.0.003-2015)*		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Полевые работы: 1) Измерения катодолюминесценции	1. Отклонение показателей микроклимата на рабочем месте; 2. Превышение уровней шума;	1. Поражение электрическом током 2. Пожарная безопасность	1. СанПиН 2.2.4.3359-16. 2. ГОСТ Р 12.1.019-2009 3. ПУЭ 4. ГОСТ 12.1.038–82

5.1.1 Микроклимат

В соответствии с СанПиНом 2.2.4.3359-16 устанавливается гигиенические требования к показателям микроклимата рабочих мест производственных помещений с учетом интенсивности энергозатрат работающих, времени выполнения работ и периодов года. Показателями, характеризующими микроклимат помещения, являются:

- температуре воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Данные показатели микроклимата должны обеспечивать сохранность теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого уровня теплового состояния организма. Оптимальные и допустимые параметры микроклимата представлены в таблицах 2, 3.

Таблица 2. Оптимальные величины показателей микроклимата.

Период года	Категория работ	Температура воздуха, ºС	Температура поверхностей, ºС	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха
Холодный	Iа	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	Iа	23-25	22-26	60-40	0,1

Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущении теплового комфорта в течении 8 часового рабочего дня, при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Таблица 3. Допустимые величины показателей микроклимата.

Период года	Категория работ	Температура воздуха, ºС		Температура поверхностей, ºС	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха	
		$T^{o}<T^{o}_{опт.}$	$T^{o}>T^{o}_{опт.}$			$T^{o}<T^{o}_{опт.}$	$T^{o}>T^{o}_{опт.}$
Холодный	Iа	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75	0,1	0,1
Теплый	Iа	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75	0,1	0,2

Допустимые микроклиматические условия не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Согласно паспорту лаборатории, относительная влажность в помещении 50-60 %, скорость движения воздуха 0,2 м/с. Температура в помещении поддерживается на уровне 20-25˚С. В приложении 1 санитарных правил и норм СанПиН 2.2.4.3359-16 для работ, производимых сидя и сопровождающихся незначительным физическим напряжением устанавливается категория работ Iа с интенсивностью энерготрат до 120 ккал/ч.. Следовательно, условия труда на рабочем месте соответствуют требуемым нормам, изложенным в таблицах 2,3.

5.1.2 Шум

В результате гигиенических исследований установлено, что шум ухудшает условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека. При длительном воздействии шума на организм человека происходят нежелательные изменения: снижается острота зрения и слуха, повышается кровяное давление, притупляется внимание. Сильный продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно-сосудистой и нервной системы.

В соответствии с СанПиНом 2.2.4.3359-16 нормируемыми показателями на рабочих местах являются:

- эквивалентный уровень звука за рабочую смену;
- максимальный уровень звука;
- пиковый уровень звука.

Нормативным эквивалентным уровнем звука на рабочих местах является 80 дБ. При значениях уровня шума выше допустимого необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

Средства коллективной защиты:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;

- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;

- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения.

Средства индивидуальной защиты:

- применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

В лаборатории уровень внутренних шумов до минимума и соответствует значению 75 дБА, не превышая предельно допустимого уровня в 80 дБ, регламентируемого СанПиН 2.2.4.3359-16. Для снижения шума при работе форвакуумного насоса применяется звукоизолирующий кожух, установленный на резиновые амортизаторы. Кроме того, здание, в котором находится лаборатория, удалено от сильных источников шума: центральных улиц, автомобильных и железных дорог, аэропортов и т.д.

5.1.3 Электробезопасность

Лаборатория №124 16Б корпуса оснащена электрическим оборудованием и установками, что обуславливает необходимость проведения мероприятий по предотвращению воздействия на человека такого опасного производственного фактора как электрический ток. Кроме того, неисправность электрооборудования и электропроводки может стать причиной термического поражения человека или возникновения пожара.

Поражающее действие электрического тока зависит от значения и длительности протекания тока через тело человека, рода и частоты тока, места протекания тока, индивидуальных свойств человека. Наиболее опасным для человека является переменный ток низкой частоты. Опасной величиной тока является ток, равный 0,001 А, а ток силой 0,09-0,1 А и выше является смертельным.

Помещение лаборатории по классу электробезопасности является помещением без повышенной опасности. Согласно требованиям «Правил устройства электроустановок» лаборатория оборудована следующим образом:

- на распределительном щитке имеется рубильник для отключения общей сети электропитания;

- во всех приборах имеются предохранители для защиты от перегрузок в общей сети питания и защиты сети при неисправности прибора.

Эксплуатация приборов должна соответствовать «Правилам технической эксплуатации» электроустановок промышленных предприятий. Согласно этим правилам необходимо исключить возможность прикосновения человека к токоведущим частям приборов. С целью устранение опасности поражения электрическим током, в помещении проведено контурное защитное заземление.

Повышенная электробезопасность при работе на установках в лаборатории обеспечивается применением защитного экрана, защитного заземления, средств коллективной защиты (СКЗ) и средств индивидуальной защиты (СИЗ).

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства:

- защитные оболочки;

- защитные ограждения (временные или стационарные);

- защитные барьеры;

- безопасное расположение токоведущих частей;

- изоляция токоведущих частей (основная, дополнительная, усиленная, двойная);

- изоляция рабочего места;

- малое напряжение;

- защитное отключение;

- электрическое разделение (см. ГОСТ Р МЭК 61140);

- предупредительная сигнализация, блокировки, знаки безопасности.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы:

- защитное заземление;

- зануление;

- выравнивание потенциалов;

- защитное экранирование;

- систему защитных проводов;

- защитное отключение;

- изоляцию нетоковедущих частей;

- электрическое разделение сети;

- простое и защитное разделения цепей (см. ГОСТ Р МЭК 61140);

- малое напряжение;

- контроль изоляции;

- компенсацию токов замыкания на землю;

- электроизоляционные средства;

Средства индивидуальной защиты

- электроизоляционные инструменты;

- резиновые перчатки, сапоги;

- резиновые коврики;

- лестницы из сухой древесины.

К средствам защиты от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты, заземляющие устройства, устройства для увлажнения воздуха, антиэлектростатические покрытия и пропитки, нейтрализаторы статического электричества.

5.2. Экологическая безопасность

Защита окружающей среды представляет собой комплекс мер, направленных на снижение влияние деятельности человека на окружающую среду. В работе исследуемые образцы алюмо-магниевой шпинели изготавливались безотходным методом из природных порошков оксидов магния и алюминия. В процессе изготовления исходные порошки перемешиваются в соответствующих весовых пропорциях, после чего спекаются при высокой температуре и давлении в течении нескольких часов. Нагрев до высоких температур осуществляется путем пропускания электрического тока через сам образец. Алюмо-магниевая шпинель представляет из себя редкий минерал кубической сингонии. Длительность процесса изготовления одного образца составляет 5,7 часа, энергопотребление установки 52 кВт/ч.. Следовательно, для получения одного образца необходимо порядка 300 кВт электроэнергии. Таким образом исследуемые образцы, а также процесс их изготовления оказывают лишь незначительное влияние на окружающую среду, что обусловлено относительно высокой длительностью процесса изготовления образцов.

5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Город Томск расположен в зоне континентально-циклонического климата. Природные явления такие как землетрясения, наводнения, засухи, ураганы в данном городе отсутствуют.

Чрезвычайными ситуациями на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы, пожар, взрыв. Среди которых наиболее вероятной ЧС является пожар. Согласно ГОСТ 12.1.033 – 81 понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей. Пожарная безопасность обеспечивается мерами противопожарной профилактики направленной на исключение возникновения и поддержания условий горения и включает комплекс мероприятий необходимых для предупреждения возникновения пожара, ограничения распространения огня, защиты людей и тушения пожара.

Лаборатория №124 16Б корпуса согласно технического регламента «О требованиях пожарной безопасности» от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ относится к категории В, т.е. это помещение, в котором находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

В целях снижения пожарной опасности проводятся технические, эксплуатационные и организационные мероприятия. Технические мероприятия обуславливают требования противопожарных норм при проектировании зданий, электрических установок системы отопления и т.д. Организационные меры требуют обучения персонала правилам пожарной безопасности. Также мерами предупреждения возникновения пожара являются исключения образования горючей смеси и источников возгорания или поддержанием параметров среды в пределах, исключающих горение.

На случай возникновения пожара, внутри здания имеются средства по тушению: противопожарные краны, огнетушители, ящики с песком. Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В.

Для организации эвакуации в коридорах вывешены схемы с указанием всех возможных путей, которыми можно покинуть здание (Рисунок 1).

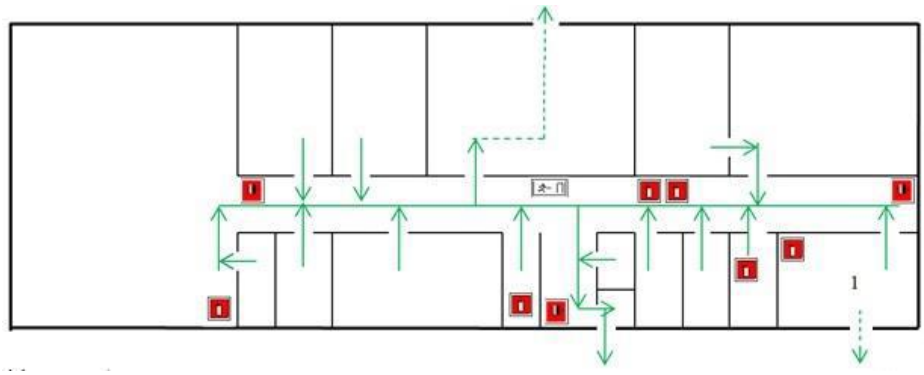

Рис. 1 План эвакуации

1 – расположение исследовательской установки

– огнетушитель

– пожарный кран

– указатель направление движения

– путь к основному эвакуационному выходу

– путь к запасному эвакуационному выходу

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

5.4. Организация рабочего места

Документом, устанавливающим наиболее общие требования к организации рабочего места при выполнении работ сидя, является ГОСТ 12.2.032-78. Согласно данному документу, рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т. д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы. Так, например, выполнение трудовых операций «часто» и «очень часто» должно быть обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости и оптимальной зоны моторного поля.

Лаборатория №124 разделена на две зоны:

- зона проведения экспериментов и подготовки образцов;
- зона, оборудованная компьютерами и другой офисной техникой.

Рабочее место в зоне проведения экспериментов оборудовано таким образом, чтобы все основные органы управления установкой находились в зоне вытянутой руки оператора. Как уже было отмечено ранее стенд имеет контурное защитное заземление. При этом рабочее место оператора удалено от элементов, работающих при повышенном напряжении на расстояние порядка 1,5 м.

Компоновка рабочих столов, стеллажей и другой мебели подобрана таким образом, чтобы не создавать заторов и препятствий при эвакуации людей из помещения во время возникновения чрезвычайных ситуаций.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе были исследованы физико-механические свойства покрытий Al-Si-N с разным содержанием азота. Исследовалось влияние азота на механические и адгезионные свойства покрытий. Показано, что содержание азота в большей мере влияет на механические свойства и в меньшей степени на люминесцентные свойства.

В выпускной квалификационной работе проведено планирование научно-исследовательской работы и оценка сметы затрат на проведение исследования.

Разработана и проанализирован вопросо производственной и экологической безопасности на рабочем месте студента, в лаборатории №124, 16Б корпуса.

Список используемой литературы

1. А.Д. Погребняк, А.П. Шпак, Н.А. Азаренков, В.М. Береснев. Структура и свойства твердых и сверхтвердых нанокомпозитных покрытий. - Том 179, № 1, стр. 35-65.

2. Gleiter H. Acta Mater. 48 1 (2000).

3. Андриевский Р.А., Глезер А.М. ФММ 88 (1) 50 (1999).

4. Cavalerto A., Dc. Hosson J. Th (Eds) Nanostructured Coatings (New York: Springer, 2006).

5. Mayorhofer P.H., et al. Prog. Mater. Sci. 51 1031 (2006).

6. Molinari M., Rinnert H. and Vergnat M. // J. Appl. Phys. 2007. V. 101. P. 123532.

7. Minghua Wang, Dongsheng Li, Zhizhong Yuan et al. // Appl. Phys. Lett. V. 90. P. 131903.

8. Е.С. Демидов, Н.А. Добычин, В.В. Карзанов, М.О. Марычев, В.В. Сдобняков, С.В. Хазанова Фотолюминесценция пленок Si_3N_4, обогащенных кремнием методом ионной имплантации// Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2010, №5 (2), с. 298-301.

9. Н.С. Заяц, В.Г. Бойко, П.А. Генцарь, О.С. Литвин, В.П. Папуша, Н.В. Сопинский Оптические исследования пленок AlN/n-Si (100), полученные методом высокочастотного магнетронного распыления// Физика и техника полупроводников, 2008, Том 42, № 2, стр. 195-199.

10. Д.М. Спиридонов, И.А. Вайнштейн, А.С. Вохминцев, А.Р. Бекетов Катодолюминесценция кислород-вакансионных центров в структурах нитрида алюминия// Известия ран. Серия физическая, 2015, Том 79, №2, стр. 234-237.

11. Т. Мосс, Г. Баррел, Б. Эллис. Полупроводниковая оптоэлектроника (М., Мир, 1976).

12. Егоров Ю.П., Лозинский Ю.М., Роот Р.В., Утьев О.М., Хворова И.А. Сборник методических указаний. – Изд. Томского политехнического университета, 2010.

13. McIntyre D. et al. // Journal of Applied Physics. 1990. Vol. 67. P. 1542-1553.

14. Kutschej K. et al. // Surface and Coatings Technology. 2005. V. 200. P. 2358-2365.

15. Musil J. et al. // Surface and Coatings Technology. 2008. V. 202. P. 3485-3493.

16. Агафонов А.И., Долгов М.В., Лохныгин В.Д. и др. // Письма в ЖТФ. 1986. Том 12, В 1, стр. 10–13.

17. Kwang Soo Seol, Tsuyoshi Futami, Takashi Watanabe et al. // J. Appl. Phys. 1999. V. 85. P. 9.

18. Zhizhong Yuan, Dongsheng Li, Minghua Wang et al. // J. Appl. Phys. 2006. V. 100. P. 083106.

19. Маслов Е.Н. Теоретические основы процесса царапания металлов. – М.: Наука, 1968. – С. 24-44.

20. Крепш Н.В. Безопасность жизнедеятельности: учебно-методическое пособие / Томск: Изд-во ТПУ, 2003. — 144 с.

21. С.В. Романенко, Ю.В. Анищенко. Социальная ответственность: методические указания / Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — 20 с.

22. СанПиН 2.2.4.3359-16 “Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах”.

23. ГОСТ Р 12.1.019-2009 (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

24. ПУЭ: Правила устройства электроустановок

25. ГОСТ 12.1.038-82 (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

26. ГОСТ 12.1.033-81 (ССБТ). Пожарная безопасность. Термины и определения.

27. ГОСТ 12.1.004-91 (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования.

28. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

29. ГОСТ Р 22.0.01-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения.