

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

**«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»**

**(ТУСУР)**

**Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга**

**(РЭТЭМ)**

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий каф. РЭТЭМ

\_\_\_\_\_ В.И. Туев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ КРИСТАЛЛОВ**

Методические указания по самостоятельной работе  
работе магистрантов для направления подготовки  
11.04.03– Конструирование и технология электронных средств,

Разработали:

Доцент каф. РЭТЭМ

\_\_\_\_\_ В.С. Солдаткин

Магистрант каф. ЭП

\_\_\_\_\_ В.С. Каменкова

Ст. преподаватель каф. РЭТЭМ

\_\_\_\_\_ А.А. Иванов

Томск 2017

Солдаткин В.С., Каменкова В.С., Иванов А.А.. Технология изготовления светодиодных кристаллов: Методические указания по самостоятельной работе студентов. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2017. – 11 с.

Настоящее методическое указание по самостоятельной работе студентов составлены с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств. Методическое указание по самостоятельной работе предназначено для магистрантов, изучающих специальные дисциплины «Технология изготовления светодиодных кристаллов» и содержит список тем, отводимых на самостоятельное изучение. В изучении материалов данных методических указаний, магистранты должны расширить свои знания по изучаемым дисциплинам, а также данное методическое указание направлено на формирования у магистрантов следующих знаний, умений и навыков:

**знать** методы получения полупроводникового материала, методы формирования омических контактов и методы контроля параметров светодиодных кристаллов;

**уметь** осуществлять контроль параметров светодиодных кристаллов;

**владеть** навыками контроля параметров светодиодных кристаллов.

## Оглавление

1. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА, ОТВОДИМЫХ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ ПРОРАБОТКУ.....	4
1.1 Методы очистки материалов и готовых структур. ....	4
1.2 Молекулярная пучковая эпитаксия МПЭ (Molecular-Beam Epitaxy - МВЕ). ....	5
1.3 Газофазная эпитаксия из металло-органических соединений ГФЭ (MetalOrganics Compound Vapor Deposition - МОСVD).....	6
1.4 Формирование омических контактов.....	6
2. ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ КОНСПЕКТА САМОПОДГОТОВКИ.....	8
3. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	10

# **1. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА, ОТВОДИМЫХ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ ПРОРАБОТКУ**

## **1.1 Методы очистки материалов и готовых структур.**

Чистым веществом называют физически и химически однородное простое тело или химическое соединение, состоящее из одного определенного вида атомов, ионов или молекул и обладающее только ему присущим комплексом постоянных свойств.

Абсолютно чистым веществом можно назвать вещество, не имеющее физических и химических дефектов, т.е. не содержащее посторонних примесей и имеющее совершенную структуру.

Сорбционными в общем случае называют процессы, в которых поглощение вещества происходит на границе двух фаз: жидкой и газообразной, твердой и газообразной, твердой и жидкой.

Ионный обмен- это обратимый взаимообмен ионов с одноименными зарядами, протекающий между раствором и твердым нерастворимым веществом, находящимся в контакте с этим раствором.

Экстракция представляет собой процесс избирательного извлечения веществ в жидкую фазу.

Кристаллизационные методы очистки основаны на различии в растворимости примеси в жидкой и твердой фазах очищаемого вещества.

Сублимация, или возгонка,- простейший процесс испарения – конденсации, представляет собой процесс испарения вещества путем непосредственного перехода его из твердого состояния в парообразное.

Дистилляция, или перегонка, - это процесс испарения жидкости, позволяющий осуществить разделение раствора или расплава на его составные части, характеризующиеся различным давлением паров.

Электролитический метод разделения и очистки в основном применим к технологии получения чистых металлов.

Метод предварительного электролиза реализуется в потоке электролита при минимальной скорости потока, максимально возможной поверхности катода и на минимальной плотности тока, чтобы не обеднять электролит ионами основного металла.

Цементация представляет собой вытеснение из раствора ионов одного металла ионами другого, более электроотрицательного.

Электролитическое рафинирование, основано на использовании для очистки металлов анодного процесса совместного образования катионов.

Методы разделения диффузией и термодиффузией основаны на использовании различия в скоростях диффузии газов через пористые металлические перегородки, а также на различии состава газовой смеси в холодной и нагретой частях специальной разделительной колонны.

Обезжиривание – очистка поверхности от органических загрязнений растворителями, составляет замещение сорбированных агломеров или молекул примесей молекулами растворителей.

Ультразвуковая обработка – образование мощных гидродинамических воздействий на поверхность обрабатываемой детали вследствие явления кавитации.

## **1.2 Молекулярная пучковая эпитаксия МПЭ (Molecular-Beam Epitaxy - MBE).**

Метод эпитаксиального выращивания полупроводникового материала в условиях вакуума до  $10^{-8}$  Па, при котором атомарные или молекулярные пучки направляют на нагретую подложку из монокристаллического материала. Температура подложки составляет порядка 500-700 °С. Материалы эпитаксиальных слоёв помещаются в специальные кварцевые сосуды. Подложка помещается на определённом расстоянии между сосудами (до 0,5 м). Материалы в сосудах нагревают до высоких температур, вследствие чего они начинают испаряться. В вакууме при определённой конструкции

камеры большая вероятность столкновения частиц испарённых материалов, а нагретая подложка способствует эффективной диффузии материалов. Данный метод позволяет получать полупроводниковые гетероструктуры высокой чистоты, но при этом сам технологический процесс является сложным и дорогостоящим, и полупроводниковый материал имеет низкую скорость роста.

### **1.3 Газофазная эпитаксия из металло-органических соединений ГФЭ (MetalOrganics Compound Vapor Deposition - MOCVD)**

Метод эпитаксиального выращивания полупроводникового материала на монокристаллическую подложку осуществляется при низком давлении из металлоорганических соединений в специальном реакторе.

### **1.4 Формирование омических контактов**

Создание омических контактов к *n*- области диода не представляет значительных трудностей. Формирование же омических контактов к *p*-GaN с низким удельным сопротивлением и высокой прозрачностью в рабочей области спектра – достаточно сложная задача из-за отсутствия металла с высокой работой выхода и из-за ограничений в легировании *p*- области. Несмотря на то, что предельная растворимость Mg в GaN составляет  $\approx 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ , концентрация носителей заряда в поверхностном слое GaN обычно на два порядка ниже. Кроме того, к снижению концентрации носителей заряда может приводить остаточный водород, накапливающийся в поверхностном слое *p*-GaN в процессе эпитаксиального выращивания. В результате этого концентрация свободных носителей в поверхностном слое ниже, чем в объеме.

Для получения воспроизводимых омических контактов с требуемыми характеристиками исследовано множество схем металлизации. Были исследованы такие металлы как Au, Ni, Ti, Pd, Pt, Au/Ni, Au/Pt, Au/Cr, Au/Pd, Au/Mg/Au, Au/Pt/Pd, Au/Cr/Ni, Au/Pt/Ni, Au/Ni/Pt и др. Наиболее широко для

омических контактов к  $p$ -GaN используется система Au/Ni, причем не только в светоизлучающих диодах, но и в экспериментальных образцах лазерных диодов, в которых требования к омическим контактам еще более жесткие. Удельное контактное сопротивление для многих контактных систем обычно находится в пределах  $2,1 \cdot 10^{-2} - 9,6 \cdot 10^{-4}$  Ом·см<sup>2</sup>. При этом следует отметить, что результаты исследований омических контактов к  $p$ -GaN, часто весьма противоречивы. Расхождение в полученных результатах могут быть связаны с различиями в условиях эксперимента.

## 2. ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ КОНСПЕКТА САМОПОДГОТОВКИ

*Во введении* даётся краткая характеристика и текущее состояние рассматриваемых вопросов. Указываются цель и задачи работы, объект исследования, выполненные разработки и элементы новизны, привнесенные в процессе написания работы. Обосновывается актуальность выбранной темы.

*Основная часть* работы должна содержать вопросы по тематике. Вначале описываются теоретические положения, раскрывающие сущность рассматриваемой проблемы, анализируются собранные материалы, характеризующие практический аспект объекта исследования. Этот раздел работы следует сопровождать таблицами, схемами (диаграммами), рисунками, проспектами и другими материалами. В расчетной части допускаются формулы, нормативные и статистические материалы, необходимые для обоснования отдельных положений. При использовании материалов из других источников следует делать ссылки с указанием автора, названия и год издания книги или других материалов.

*Заключение* должно состоять из выводов и предложений, которые получены в результате работы. Их следует формулировать четко и по пунктам.

Список литературы содержит список учебной, научной литературы, научных статей, законодательных и нормативных актов и проч., (но не менее 10 источников литературы, из них не менее 5 на статьи в научных журналах, индексируемых РИНЦ, Scopus или Web of Science) использованных источников при выполнении конспекта самоподготовки.

Конспект самоподготовки должен включать в себя титульный лист, содержание, список используемой литературы и приложения. Объем работы должен составлять 15 страниц компьютерного текста, шрифт № 14 через 1,5 интервала, выровненный по ширине и в соответствии с ОС ТУСУР 01-2013 «Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля».

Пример обозначения заголовков в реферате:

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

**Анализ литературы**

*Методы и средства измерений*

### 3. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Светодиоды : Пер. с англ. / А. И. Берг, П. Дин; Ред. и предисл. А. Э. Юнович. - М. : Мир, 1973. - 98[2] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 4 экз.)
2. Технология сборки и монтажа мощных светоизлучающих изделий: Учебное пособие / Туев В. И., Солдаткин В. С., Вилисов А. А., Старосек Д. . - 2016. 48 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6600>, свободный.
3. Физика полупроводниковых приборов : пер. с англ.: В 2 кн. / С. М. Зи; Пер. В. А. Гергель, Пер. Н. В. Зыков, Пер. Р. З. Хафизов, Ред. Пер. Р. А. Сурис. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Мир, 1984 - Кн. 2. - М. : Мир, 1984. - 456 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 15 экз.)
4. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем: Учебное пособие / Смирнов С. В. - 2010. 115 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/publications/535>, свободный.
5. Матухин В.Л., Ермаков В.Л. Физика твердого тела: Учебные пособия. - СПб.: Издательство "Лань", 2010. - 224 с. [Электронный ресурс]. - <https://e.lanbook.com/reader/book/262/#4>
6. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника: Учебное пособие. - СПб.: Издательство "Лань", 2011. - 544 с. [Электронный ресурс]. - <https://e.lanbook.com/reader/book/684/#4>
7. Нанoeлектроника: Учебное пособие / Сахаров Ю. В., Троян П. Е. - 2010. 88 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/publications/537>, свободный.
8. Физические основы оптоэлектроники: Учебное пособие имеет гриф СибРУМЦ «Для межвузовского использования» / Давыдов В. Н. - 2016. 139 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/publications/5963>, свободный.

9. Технология сборки и монтажа мощных светоизлучающих изделий, технологии корпусирования светодиодов белого цвета: Методические указания по практической и самостоятельной работе / Солдаткин В. С., Туев В. И., Вилисов А. А., Каменкова В. С. - 2016. 19 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6616>, свободный.

10. Технология сборки и монтажа мощных светоизлучающих изделий: Учебно- методические указания для выполнения лабораторных работ для магистрантов / Солдаткин В. С., Вилисов А. А., Туев В. И. - 2016. 16 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6584>, свободный.