

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения, технологии
и управления качеством

**СТАНДАРТИЗАЦИЯ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА В ОБЛАСТИ
НАНОТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ЛАЗЕРНЫХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студентки магистратуры 3 курса 3201 группы
направления 27.04.02 «Управление качеством»
профиль «Менеджмент качества в инженерной и образовательной
деятельности»
института физики

Гореловой Ольги Юрьевны

Научный руководитель,
доцент, к.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

С.В. Стецюра

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой,
д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

С.Б. Вениг

инициалы, фамилия

Саратов 2024

Введение. В современном мире все большее внимание уделяется разработкам с использованием последних достижений техники и технологии, что способствует развитию изготовления микро- и нанoeлектроники. Технология создания полупроводниковых изделий является важнейшей составляющей стремительно развивающихся нанотехнологий. Сегодня оптические полупроводниковые устройства находят применение во всех областях от энергетики и связи до медицины и записи информации. Тенденция к уменьшению размеров основных элементов микроэлектроники предопределяет специфику требований к изготовлению радиотехнических устройств.

Одна из наиболее распространенных групп полупроводниковых материалов в технологическом плане – группа полупроводниковых соединений $Al_xGa_{1-x}As-GaAs$, которая широко применяется для экономичного создания радиотехнических устройств нового поколения [1].

Стандартизация является одним из ключевых факторов, влияющих на модернизацию, технологическое и экономическое развитие инновационных продуктов, поскольку призвана обеспечивать выпуск и обращение инновационной и высокотехнологичной продукции, повышение уровня безопасности, охрану окружающей среды, жизни и здоровья людей, животных и растений. Все это в полной мере относится и к такой бурно развивающейся отрасли как нанотехнологии. В этом контексте стандартизация становится инструментом внедрения инноваций, присущих всем направлениям развития nanoиндустрии, целью которой является вывод современной продукции на отечественный рынок и, в конечном итоге – содействие интеграции Российской Федерации в мировую экономику [2].

Целью выпускной квалификационной работы (ВКР) является анализ стандартов в области нанотехнологий в целом и более подробное рассмотрение стандартизации и контроля качества на примере производства лазерных диодов на основе наноразмерных гетероструктур.

На основе поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ и классификацию стандартов, посвященных нанотехнологиям в целом и лазерам и лазерным гетероструктурам в частности;
- патентный поиск на тему технологии полупроводниковых гетероструктур и анализ перспективных направлений развития в этой области;
- проанализировать научную документацию по лазерным гетероструктурам;
- разработать и применить инструменты контроля качества для оценки производства лазерных гетероструктур.

Выпускная квалификационная работа занимает 61 страницу, имеет 14 рисунков и 5 таблиц, содержит 1 приложение. Обзор составлен по 64 информационным источникам.

Во введении рассматривается актуальность работы, устанавливается цель и выдвигаются задачи для достижения поставленной цели.

Первый раздел представляет собой анализ патентной, научной и нормативной документации в области нанотехнологий, полупроводниковых структур и лазерных диодов.

Во втором разделе работы проведено описание объекта исследования, применены инструменты управления качеством при производстве лазерных диодов, такие как контрольный листок, блок-схема, диаграмма Парето, диаграмма Исикавы и контрольная карта баллов качества.

Основное содержание работы

В первой части работы рассмотрена стандартизация параметров и свойств материалов, объектов, элементов и структур нанотехнологий, подлежащих измерениям, сделан вывод о востребованности аттестованных и стандартизованных методик выполнения измерений, методик калибровки и поверки средств измерений, применяемых в нанотехнологиях [3].

В международном масштабе для решения этих задач в 2005 году в рамках Международной организации по стандартизации (ISO, ИСО) был создан технический комитет ISO/TC229 «Нанотехнологии», а в 2006 году в Международной электротехнической комиссии (IEC, МЭК) был образован

технический комитет ИЕС/ТС113 «Стандартизация в области нанотехнологий для электрических и электронных изделий и систем» [4]. В России аналогичную функцию с 2009 г. выполняет ТК 441 "Нанотехнологии".

В период с 2005 по 2023 год было разработано и утверждено 107 международных стандартов. В стадии разработки на настоящий момент находятся 26 проектов, большая часть из которых является обновленными версиями действующих стандартов [5]. Проведена классификация по областям принятия (по категориям): международные, национальные, региональные, предварительные национальные.

Стандарты в области нанотехнологий классифицированы по двум основным категориям: общетехнические стандарты и прикладные стандарты отраслей по направлениям.

Прикладные стандарты по области применения сгруппированы по таким категориям: наноэлектроника, наноинженерия, нанобиотехнологии. Используя заданную стандартом иерархическую взаимосвязь нанообъектов, расширена классификация, создана классификацию по объекту исследования, а именно материалу, по его типам функциям, конструкционным особенностям. Также, используя заданную ГОСТом диаграмму, создана расширенная классификацию стандартов наноиндустрии по объекту.

Составлена таблица, в которой показано текущее положение актуальности межгосударственного и национального терминологического словаря в области нанотехнологий с международным стандартом серии ИСО/ТС 80004. Сделаны выводы, что все национальные и межгосударственные стандарты серии «Нанотехнологии. Термины и определения» требуют пересмотра и гармонизации с международными.

Поскольку экспериментальное исследование было проведено на лазерах и лазерных гетероструктурах, которые относятся к нанообъектам в соответствии с ГОСТ Р 57257-2016/ ISO/TS 80004-12:2016, то следующий раздел посвящен анализу нормативной и научной документации по лазерам и лазерным гетероструктурам.

В ходе исследования были проанализированы нормативные документы (межгосударственные и национальные стандарты) характеризующие лазеры и лазерные гетероструктуры. Проведен анализ следующих стандартов:

ГОСТ Р 58373-2019 (ИСО 11145:2018) «Оптика и фотоника. Лазеры и лазерное оборудование. Термины и определения».

ГОСТ 15093-90 «Лазеры и устройства управления лазерным излучением. Термины и определения».

ГОСТ Р 57436-2017 «Приборы полупроводниковые. Термины и определения».

ГОСТ 58568-2019 «Оптика и фотоника. Фотоника. Термины и определения».

ГОСТ Р 59740-2021 «Оптика и фотоника. Лазеры полупроводниковые для определения малых концентраций веществ. Методы измерений характеристик».

ГОСТ Р 57257-2016/ ISO/TS 80004-12:2016 «Нанотехнологии. Часть 12. Квантовые явления. Термины и определения».

В ГОСТ Р 59740-2021 дано определение полупроводникового лазера и полупроводникового лазера с двойной гетероструктурой.

Для определения актуальности данного направления был проведен поиск научных статей на тему лазерных гетероструктур в электронной научной библиотеке eLIBRARY.RU [6] за период с 2000 года по настоящее время. Было найдено порядка 3338 научных статей по данной тематике.

Анализ научных публикаций показал растущий интерес к лазерным гетероструктурам на протяжении последних 24 лет. Самый большой объем публикаций пришелся на 2018 год. За период с 2015 по 2022 год количество научных статей по теме было относительно стабильно и достаточно высоким. Данная тема по-прежнему интересна для исследования, однако наблюдается тенденция к его снижению.

Показано, что лазерные гетероструктуры, состоящие из арсенида галлия, являются одними из самых распространенных и имеют широкий диапазон применения при производстве оптоэлектронных устройств инфракрасного

диапазона, систем телекоммуникаций, термоэлектрических преобразователей. Для дальнейшего исследования были отобраны статьи, посвященные лазерным гетероструктурам на основе арсенида галлия. Так за период с 2000 по 2023 гг. была обнаружена 791 статья на русском языке.

Полученная в ходе анализа стратификация статей на тему лазерных гетероструктур на основе арсенида галлия коррелирует со стратификацией статей всех лазерных гетероструктур – так же наибольшее количество публикаций пришлось на 2018 год, а последние 2 года наблюдается некоторый спад научного интереса к изучению данной тематики. Тем не менее, производство и потребление продукции на основе полупроводниковых пластин GaAs, используемых в интегральных схемах и оптоэлектронных устройствах, которые включают лазерные диоды, светоизлучающие диоды (светодиоды), фотоприемники и солнечные элементы постоянно растёт.

В рамках выполнения работы был произведен поиск патентной документации мировых стран через базу данных портала Google Patents [7]. Так по запросу «semiconductor heterostructure» на ресурсе указано более 100 тысяч патентов. В данном перечне лидируют американские и японские компании, так же особый интерес представляет Тайваньская компания по производству полупроводников (TSMC).

По результатам поиска русскоязычной патентной документации в базе данных ФИПС и Яндекс.Патент за период с 1992 по 2023 год, по ключевым словам «Наноструктура», «Многослойная структура», «Диодная структура», «Гетероструктура», «Полупроводниковая структура» всего было найдено 58 420 документов [8, 9]. Пик регистрации патентной документации по полупроводниковым гетероструктурам пришёлся на 2013 год, после чего наблюдается постепенное снижение.

Были найдены патенты на разработку и проектирование различных полупроводниковых гетероструктур, патенты на технологии, оборудование, способы получения наноструктур, патенты на конструкции, для формирования наноструктур, в том числе патенты на полупроводниковые структуры для

определенных устройств (фотоприемной ячейки, лазер, полевого транзистора, фотопреобразователя, быстродействующих, высоковольтных, высокотемпературных кристаллов диодов, фотопроводящих антенн).

Во второй части работы показано применение простейших инструментов управления качеством при производстве лазерных диодов, которое поможет выявить основные типы брака и его причины и улучшить процент годных изделий при входном и выходном контроле.

Объектом исследования является не смонтированный полупроводниковый лазерный диод созданный на основе полупроводниковой гетероструктуры из арсенида галлия (GaAs), полученной на ООО «Научно-производственное предприятие «Инжект». Организация занимается разработкой и серийным производством оптоэлектронных компонентов – более 30 типов полупроводниковых лазеров, суперлюминесцентных диодов, фотодиодов, источников питания полупроводниковых лазеров, высокоомощных полупроводниковых лазеров для технологического применения [10].

Построение блок-схемы технологического процесса производства лазерного диода на предприятии «НПП «Инжект» начинается с формирования партии пластин и металлизации стороны пластины GaAs, имеющей дырочную проводимость. Созданная блок-схема показывает схематичное представление этапов производства производства полупроводникового лазера. Это контроль диода после пайки, а также приёмка и измерение параметров полупроводникового лазера.

Далее подробно рассматриваются результаты межоперационного контроля диодов после пайки. Для подсчёта и классификации диодов был составлен контрольный листок по видам дефектов, т.е. по альтернативному признаку, которые были найдены в процессе или после проведения операции пайки лазерного диода за рабочую смену. По окончании рабочей смены в контрольном листе были рассчитаны и заполнены данные и проценты по каждому типу дефектов от общего количества дефектов.

По результатам контроля лазерных диодов, для визуализации полученных

данных была построена диаграмма Парето. Проанализировав эту диаграмму, получим, что 80% процентов дефектов составляют: треск кристалла, разрыв кристалла и разрыв спейсера, развал диодного блока, количество кристаллов меньше нормы, отрыв золотой шины. Устранить данные дефекты необходимо в первую очередь.

Для дальнейшего устранения возможных причин возникновения дефектов и брака построим причинно-следственную диаграмму Исикавы, на которой отображены основные причины возникновения брака. Для более детального анализа рекомендуется рассмотреть каждую категорию отдельно.

Для контроля технологического процесса предусмотрены контрольные карты как по количественному признаку, так и по альтернативному.

Так как в ходе исследования анализируются альтернативные данные и не выделена одна доминирующая причина брака, то рекомендуется применить контрольную карту баллов качества. При анализе процесса производства лазерных диодов были выявлены несоответствия, которые влияют на качество выпускаемой продукции. В ходе проведения исследования проводился межоперационный контроль лазерных диодов после пайки. Несоответствия регистрировались с помощью контрольного листа) в течении 20 рабочих смен.

Все полученные данные обработаны и нанесены на контрольные карты контроля качества по методу, описанному в ГОСТ ISO 7870-5–2023. В результате анализа этих карт выявлены сбои в технологическом процессе. Был проведен комплекс мероприятий, направленный на стабилизацию выхода годной продукции, который принёс свои плоды, но требуется продолжить мониторинг и анализ производственного процесса, поэтому рекомендуется применение контрольных карт баллов качества и других инструментов контроля качества на постоянной основе и включение их в регламент работы.

Заключение. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен анализ патентной, научной и нормативной документации в области нанотехнологий, полупроводниковых гетероструктур и лазерных диодов, а также применены инструменты контроля качества на примере

производства лазерных диодов на основе наноразмерных гетероструктур.

Проведенный анализ показал, что разработка новых нанотехнологий происходит активно, однако для обеспечения их эффективного использования и внедрение в производство необходимы совершенствование терминологии и актуализация национальных и межгосударственных стандартов.

Важным выводом является то, что терминология в области нанотехнологий не полностью соответствует международным стандартам, что может привести к проблемам в коммуникации и взаимодействии специалистов. Тем не менее, в РФ существует достаточное количество стандартов по лазерам и лазерным гетероструктурам.

Изучение научных публикаций подтвердило высокий интерес к теме лазерных гетероструктур, особенно в период с 2002 по 2018 гг.

До 2013 г. росло число русскоязычных патентных заявок, касающихся полупроводниковых гетероструктур, после чего интерес к этой тематике стал снижаться. Патентный анализ показал, что в мире среди основных патентообладателей в области полупроводниковых гетероструктур лидируют американские и японские компании, но также стоит отметить Тайваньскую компанию по производству полупроводников (TSMC).

Объектом практического исследования был выбран не смонтированный полупроводниковый лазерный диод, созданный на основе полупроводниковой гетероструктуры из арсенида галлия (GaAs).

В исследовании качества сборки лазерных диодов на предприятии ООО «НПП «Инжект» впервые были применены инструменты контроля качества.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были получены следующие результаты:

- Построена блок-схема процесса производства лазерного диода.
- Применен контрольный листок для регистрации числа дефектов на этапе межоперационного контроля после сборки лазерных диодов.
- Построена диаграмма Парето дефектов лазерных диодов.
- Составлена диаграмма Исикавы для анализа причин брака сборки

лазерных диодов.

- Впервые составлена контрольная карта баллов качества сборки лазерных диодов.

В результате построения контрольной карты баллов качества были выявлены сбои в технологическом процессе. Был проведен комплекс мероприятий, направленный на стабилизацию выхода годной продукции, который принёс свои плоды, но требуется продолжить мониторинг и анализ производственного процесса, поэтому рекомендуется применение контрольных карт баллов качества и других инструментов контроля качества на постоянной основе и включение их в регламент работы.

Таким образом, результаты данной выпускной квалификационной работы свидетельствуют о необходимости дальнейшей работы в стандартизации нанотехнологий и совершенствованием терминологии в этой области. Это позволит обеспечить эффективное взаимодействие различных специалистов и повысить качество нанотехнологий.

Список использованных источников

1 Номан, М. А. А. Методы исследования полупроводниковых гетероструктур : учеб. пособие / М. А. А. Номан, К. С. Хорьков, П. Ю. Шамин. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2014. – 80 с.

2 Грабарь, А. Г. Развитие стандартизации в области нанотехнологий / А. Г. Грабарь // Метрологическое обеспечение инновационных технологий : сборник статей V Международного форума / Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. – СПб., 2023. – С. 214-215.

3 Батурин, А. С. Нанометрология и стандартизация в нанотехнологиях / А. С. Батурин // Законодательная и прикладная метрология. – 2019. – №. 3. – С. 19-25.

4 Плоmodityяло, Р. Л. Нанотехнологии. Получение, методы контроля и международная стандартизация наноматериалов : учебное пособие / Р. Л. Плоmodityяло. – Краснодар : КубГТУ, 2018. – 135 с.

5 ISO/TC 229 Nanotechnologies [Электронный ресурс] // International Organization for Standardization [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <https://www.iso.org/ru/committee/381983.html> (дата обращения: 12.02.2024). – Загл. с экрана. – Яз. англ.

6 Стартовая страница [Электронный ресурс] // eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <https://www.elibrary.ru> (дата обращения: 25.12.2023). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

7 База данных Google.Patents [Электронный ресурс] // Google.Patents [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <https://patents.google.com> (дата обращения: 03.12.2023). – Загл. с экрана. – Яз. англ.

8 База данных ФИПС [Электронный ресурс] // Федеральный институт промышленной собственности [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <https://www1.fips.ru> (дата обращения: 12.12.2023). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

9 База данных Яндекс.Патенты [Электронный ресурс] // Яндекс.Патенты [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <https://yandex.ru/patents> (дата обращения: 23.12.2023). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

10 Главная [Электронный ресурс] // Научно-производственное предприятие «Инжект» [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <https://nppinject.ru> (дата обращения: 30.12.2023). – Загл. с экрана. – Яз. рус.