

УТВЕРЖДАЮ

Проректор НГТУ

по научной работе, д.т.н., профессор

Вострецов А.Г.

2019 г.



официального оппонента

на диссертационную работу Федина Ивана Владимировича «Мощные быстродействующие диоды на основе гетероэпитаксиальных структур нитрида галлия», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 - Физическая электроника.

Изучение диссертации и публикаций в рецензируемых научных журналах подтверждает, что диссертация является научно-квалификационной работой и в полной мере соответствует требованиям и критериям, установленным действующим постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 «Положение о присуждении ученых степеней» (в последней ред. от 01.10.2018 г.).

Диссертация написана И.В. Фединым самостоятельно, содержит все необходимые положения для публичной защиты и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

В диссертации приводятся сведения о практическом использовании полученных автором научных результатов, которые отличаются от известных технических решений.

Целью диссертации являлась разработка технологии создания и исследование характеристик диодов Шоттки на основе гетероструктуры pGaN/AlGaN/GaN, выращенной на кремниевой подложке. Диссертация содержит новые научные, практические и технологические результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, которые опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Научная новизна работы состоит в том, что:

1) Впервые получены низкотемпературные омические контакты на основе металлизации Ta/Al к гетероструктуре AlGaN/GaN, выращенной на кремниевой подложке;

2) Установлено, что для диодов Шоттки, изготовленных на основе p-GaN/AlGaN/GaN гетероструктуры, применение анодного рецесса на глубину до 75% от толщины барьерного слоя на основе AlGaN перед формированием барьера Шоттки увеличивает прямой и обратный ток диода;

3) Предложен технологический маршрут создания мощных AlGaN/GaN диодов совместимый с технологией создания pGaN/AlGaN/GaN H3 транзисторов.

Четвертая глава посвящена разработке конструкции и технологии барьерного контакта к AlGaN. В ней рассмотрено использование различных материалов для создания барьеров Шоттки, влияние ремиссии анодной области и анодного полевого электрода на характеристики диодов. В этой главе представлены электрические характеристики разработанных AlGaN/GaN диодов.

Достоверность полученных результатов подтверждается систематическим характером исследований, применением независимых экспериментальных методик, сопоставлением результатов автора с признанными данными других исследователей. Апробация результатов исследований подтверждается успешными выступлениями на 17 международных и 1-й российской конференциях. Автором также был получен патент на изобретение.

Диссертация И.В. Федина соответствует всем требованиям, предъявляемым к научным работам, направляемым в печать, содержит совокупность новых результатов и научных положений, обоснованность и достоверность которых сомнений не вызывает.

К наиболее значимым результатам относятся:

Разработка технологического маршрута изготовления силовых AlGaN/GaN диодов, включающая в себя блоки формирования мезаизоляции, омических контактов, барьерных контактов, утолщения металлизации методом гальванического осаждения золота, утонения пластины методом шлифовки, корпусирование.

Отработана методика создания низкотемпературных омических контактов на основе металлизации Ta/Al с температурой вжигания 550°C контактным сопротивлением 0.4 Ом·мм изготовленные с применением рецесса барьерного слоя AlGaN.

Разработка барьеров Шоттки на основе использования металлов Ni, Pt, Pd, Ti, Ta, WSi, Mo, Hf. Исследованы характеристики диодов с данными барьерными контактами, и влияние рецесса AlGaN. Изготовлены корпусированные диоды с барьером Шоттки на основе Ni.

Изготовлены корпусированные мощные GaN диоды с шириной электродов 50 мм со следующими характеристиками: прямой ток $I_{пр} = 3,5$ А, максимальное обратное напряжение $U_{обр} = 250$ В, входная емкость при обратном смещении 40 В $C = 10$ пкФ, которые могут быть использованы для создания источников вторичного электропитания высокой эффективности.

Несмотря на общее позитивное восприятия работы, необходимо сделать несколько замечаний:

- обзор литературы занимает половину всего объема диссертации. Это неоправданно большой объем. Тем более, что многие вопросы, рассмотренные в обзоре, в дальнейшем не используются;

- таблица сравнений параметров кремния и GaN приводится дважды: во введении и в обзоре литературы;

- применяется поэтическая, но не совсем корректная терминология «мастодонту кремнию»;

Диссертационная работа имеет и важную практическую ценность, в частности:

- Создана технология изготовления низкотемпературных омических контактов к гетероструктуре AlGaIn/GaN, выращенной на кремниевой подложке, которая защищена патентом.

- Разработана технология создания AlGaIn/GaN диодов Шоттки на базе гетероструктуры pGaIn/AlGaIn/GaN. Предложенная технология позволяет объединить в монолитной интегральной схеме диоды и HZ транзисторы, что может быть использовано для снижения массо-габаритных показателей и улучшения характеристики высокоэффективных источников вторичного электропитания на основе GaN электронно-компонентной базы.

Разработанные в ходе выполнения диссертационной работы технологические режимы и процессы используются на производстве в НПК «Микроэлектроника», АО НПФ «Микран». Диссертационная работа Федина Ивана Владимировича выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (соглашение №14.577.21.0250 от 26.09.17). Уникальный идентификатор проекта RFMEFI57717X0250.

Актуальность темы диссертации обусловлена динамичным развитием силовой электроники. Ее решающая роль в экономике всех стран обусловлена необходимостью создания систем получения и преобразования электрической энергии. В настоящее время очень интенсивно идет процесс создания элементной базы силовой электроники на основе широкозонных полупроводников нитрида галлия и алюминия GaN и AlGaIn. Эти соединения обладают целым рядом преимуществ по сравнению с кремнием: большая ширина запрещенной зоны, значительно более высокая электрическая прочность, высокая подвижность электронов, высокие рабочие температуры, и высокая дрейфовая скорость насыщения электронов, позволяют создавать преобразователи мощности и другие электронные компоненты нового поколения.

Приборы, изготовленные на основе GaN и AlGaIn, могут работать при высоких температурах и уровнях радиации, они обладают низким сопротивлением в открытом состоянии, что снижает потери мощности в преобразователях. Они могут работать при существенно более высоких пробивных напряжениях.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав заключения и списка литературы.

Первая глава посвящена обзору литературы в котором представлены фундаментальные свойства нитрида галлия, а также преимущества его использования при изготовлении силовых диодов.

Во второй главе описана методика и техника эксперимента использованная при изготовлении и характеристизации силовых диодов.

Третья глава посвящена разработке низкотемпературных омических контактов на основе Ta/Al металлизации. В ней рассмотрено влияние толщин компонентов (слоев) металлизации температуры вжигания и процесса рецессии AlGaIn на характеристики омических контактов.

- во введении высокая радиационная стойкость, а на стр. 38 пишется, что об этом практически нет сведений. Приводятся ссылки на работы [74-78], в которых приводятся только отдельные данные об образовании радиационных дефектов;

- стр. 63: к сожалению, в диссертации отсутствуют данные о технологии выращивания транзисторной гетероструктуры pGaN/AlGaN/GaN;

- нет описания технологического процесса изготовления MOSFET транзистора. Должна быть расшифровка: какие операции являются стандартными в НПК «Микроэлектроника», АО НПФ «Микран» и используются как опорные, а какие являются результатом разработок автора диссертации;

- желательно ввести лист с расшифровкой терминов и аббревиатур;

- поскольку при разработках использовалось стандартное технологическое оборудование, то неясно, что в перечне технологических операций является оригинальным решением автора;

- методика измерения контактного сопротивления методом TLM известна, её описание избыточно. Достаточно сослаться на первоисточник [112];

- в плане научных результатов: отсутствуют модели, объясняющие зависимости ОК от толщин слоев Al и Ta и температуры отжига;

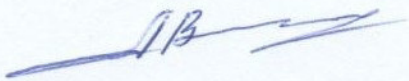
- стр. 107: не поясняется, каким образом структура буферного слоя AlGaN/GaN на кремнии влияет на напряжение пробоя. Каким образом необходимо оптимизировать структуру буферного слоя и возможно ли это? Ведь она задается при росте исходной транзисторной структуры pGaN/AlGaN/GaN.

Несмотря на приведенные замечания, и принимая во внимание наукометрические показатели Федина И.В., индекс Хирша 1, h-индекс (Scopus) 2,22, работы по теме диссертации, из них 5 работ в рецензируемых изданиях перечня ВАК, 6 работ индексированные в базе данных Scopus, а также учитывая апробацию результатов на 18 конференциях, считаю, что диссертационная работа Федина Ивана Владимировича «Мощные быстродействующие диоды на основе гетероэпитаксиальных структур нитрида галлия», на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 - Физическая электроника, полностью соответствует требованиям «Положение о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в последней ред. от 01.10.2018 г.), а ее автор Федин Иван Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 - Физическая электроника.

Официальный оппонент: профессор кафедры Полупроводниковых приборов и микроэлектроники Новосибирского государственного технического университета, доктор технических наук по специальности 01.04.10 - «Физика полупроводников», профессор Величко Александр Андреевич.

Адрес: 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ).

Телефон: 3460875, e-mail: velichko@corp.nstu.ru



Александр Андреевич Величко

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.



Александр Андреевич Величко

Учёный секретарь НГТУ,
д.т.н., профессор



Геннадий Михайлович Шумский