

УТВЕРЖДАЮ

И.о. генерального директора АО «НИИПП»


А.В. Токарев

«11» февраля 2019 г.



О Т З Ы В

ведущей организации Акционерного общества «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов»
на диссертационную работу Сима Павла Евгеньевича
«Исследование омических контактов НЕМТ транзисторов на основе GaN»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Актуальность темы. Полевые транзисторы на основе GaN не имеют альтернативы среди СВЧ и КВЧ транзисторов по уровню удельной выходной мощности. Диссертация П.Е. Сима посвящена исследованиям по созданию технологии формирования омических контактов к таким транзисторам. Автор поставил цель разработать технологию создания контактов с предельно низким контактным сопротивлением и хорошей морфологией, что является обязательным условием для реализации интегральных схем. Анализ научно-технической литературы показывает, что решение этой задачи не является тривиальным. Работы в этом направлении проводились на многих зарубежных фирмах. При этом тонкости промышленных технологий и их особенности не раскрываются в литературных источниках. Таким образом, тема диссертационной работы П.Е. Сима представляется актуальной в плане работ по импортозамещению и созданию отечественной элементной базы СВЧ электроники.

Структура и содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов. Список цитируемой литературы включает 71 источник и содержит публикации соискателя по теме диссертации.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, обоснована новизна исследований и их практическая значимость, сформулированы защищаемые положения, представлены сведения об апробации результатов работы.

В первой главе автор проводит обзор и анализ научно-технической литературы по особенностям формирования низкоомных омических и выпрямляющих контактов к НЕМТ транзисторам на основе нитридных гетероструктур AlGaN/GaN и InAlN/GaN.

Во второй главе приводятся результаты моделирования параметров омических контактов НЕМТ транзисторов на базе GaN, формирование рабочих и тестовых структур и маршрутов технологических операций изготовления НЕМТ, выбор режимов термического отжига контактов, отработка конструкции реактора отжига. Рассматриваются различные методики измерения контактного сопротивления гетероструктур.

Третья глава посвящена химической и плазмохимической обработке поверхности полупроводника перед металлизацией. Приводятся результаты исследований автора по характеристикам контактов на основе металлизации Ti/Al/Mo/Au в зависимости от условий и режимов отжига на различных гетероструктурах. Приводятся полученные профили элементного состава металлизации Ti/Al/Mo/Au после отжига контактов.

В четвертой главе рассмотрены особенности изготовления однородных омических контактов на базе металлизации Ti/Al/Mo/Au к гетероструктурам AlGaN/GaN и InAlN/GaN, выращенных на пластинах 4H-4H-SiC, Al₂O₃, Si, диаметром 100 мм, и их использованию при изготовлении СВЧ НЕМТ на базе гетероструктур AlGaN/GaN и InAlN/GaN.

В заключении обобщены и сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна. Впервые проведены систематические исследования по созданию омических контактов на структурах AlGaN/GaN и InAlN/GaN покрытых нанометровыми слоями SiN. Показано, что для таких структур выбором соответствующих условий отжига контактов на основе металлизации Ti/Al/Mo/Au можно получить величину контактного сопротивления около 0,25 - 0,3 Ом•мм с шероховатостью поверхности контакта менее 14 нм.

Показано, что деформация краев омического контакта и увеличение его геометрических размеров в ходе отжига могут быть уменьшены при увеличении скорости нагрева при сплавлении контактов и их остывании.

Определены условия отжига в атмосфере гелия омических контактов Ti/Al/Mo/Au для гетероструктур AlGaN/GaN и InAlN/GaN, выращенных на подложках Al₂O₃ и SiC диаметром до 100 мм, позволяющие получать по всей площади пластины однородные значения контактного сопротивления со среднеквадратичным отклонением менее 10%.

Показано, что изготовленные НЕМТ транзисторы AlGaN/GaN и InAlN/GaN с токами насыщения 1,1 А/мм и 2,4 А/мм при крутизне

характеристик 250 мСм/мм и 565 мСм/мм не деградируют при выдержке при $T=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 500 часов.

Обоснованность и достоверность результатов. Научные положения и выводы, сформулированные в работе, их достоверность и научная новизна аргументированы и обоснованы результатами экспериментальных исследований, выполненных на современном научном оборудовании. По результатам диссертации опубликовано 12 работ, из которых 3 статьи в журналах, входящих в Перечень ВАК РФ, результаты диссертации докладывались на Российских и международных конференциях.

Практическая значимость результатов работы заключается в том, что все результаты диссертационной работы внедрены в производственный процесс в АО «НПФ «Микран».

Замечания по диссертационной работе. По результатам обсуждения на семинаре в АО «НИИПП» можно сформулировать следующие замечания к диссертационной работе П.Е. Сима.

1. Недостаточно аргументированы условия для моделирования характеристик омического контакта для НЕМТ на GaN.
2. В работе утверждается, что предложенная автором методика определения контактного сопротивления по точности превосходит стандартную методику длинных линий (TLM), однако в работе нет доказательств этого утверждения.
3. В работе не делается попытка объяснить природу формирования омических контактов в GaN. Механизмы протекания тока в изготовленных омических контактах требуют более глубокого анализа.

Заключение. Диссертация Сима Павла Евгеньевича «Исследование омических контактов НЕМТ транзисторов на основе GaN» является завершенной самостоятельной научно-квалификационной работой, выполненной на достаточно высоком уровне. Диссертация полностью соответствует паспорту специальности 01.04.04 – физическая электроника, технические науки. Автором самостоятельно проведена трудоемкая работа по разработке технологии, адаптированной на отечественном предприятии. Представленные в работе результаты исследований достоверны, обоснованы, публикации полно отражают основные положения и результаты работы. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертация соответствует критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней, а её автор П.Е. Сим, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Доклад П.Е. Сима заслушан, отзыв на диссертацию и автореферат
обсужден и утвержден на семинаре в АО «НИИПП» 11 февраля 2019 года.

Отзыв подготовил:

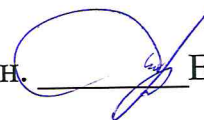
начальник лаборатории АО «НИИПП», д.т.н



Г.И. Айзенштат

Председатель научного семинара,

старший научный сотрудник АО «НИИПП», к.ф.-м.н.



Е.В. Емельянов

Адрес ведущей организации: 634034, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 99а,
Тел. (382-2) 288-288, E-mail: niipp@niipp.ru