

УТВЕРЖДАЮ

Проректор НГТУ по научной работе,
д.т.н., профессор

А.Г. Вострецов

2016 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Ишуткина Сергея Владимировича «Разработка технологии и создание монолитного GaAs СВЧ малошумящего усилителя с металлизацией на основе пленок Al и Cu», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника

Актуальность работы

Диссертационная работа Ишуткина С.В. посвящена разработке технологии изготовления GaAs СВЧ монолитных интегральных схем (СВЧ МИС) с металлизацией на основе пленок Al и Cu, а также оценке надежности МИС малошумящих усилителей, изготовленных по разработанной технологии. Актуальность темы диссертационной работы определяется растущими потребностями рынка СВЧ компонент и не вызывает сомнений. Выполненный в работе подробный анализ текущего состояния проблемы замены традиционной металлизации на основе пленок Au на металлизацию на основе пленок Al и Cu в стандартном технологическом маршруте изготовления СВЧ монолитных интегральных схем на основе GaAs позволяет сделать вывод, что обозначенная проблема до настоящего времени не имела полноценного решения. В диссертационной работе Ишуткина С.В. представлена разработка технологии изготовления GaAs СВЧ монолитных интегральных схем с металлизацией на основе пленок Al и Cu, позволяющей решить эту проблему. С практической стороны одним из ключевых элементов разработанной технологии является возможность организации производства интегральных схем с использованием действующих технологических линий по производству GaAs СВЧ МИС с металлизацией на основе пленок Au.

Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Объем работы составляет 207 страниц машинописного текста, включая 118 рисунков, 2 таблицы и списка литературы из 103 наименований.

Во введении обосновывается актуальность, формулируются цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы, формулируются научные положения, выносимые на защиту. Излагается краткое содержание диссертационной работы.

В первой главе выполнен литературный обзор. Представлено текущее состояние технологий изготовления GaAs СВЧ МИС с традиционной металлизацией на основе Au. Рассмотрена технология формирования Cu многоуровневой межэлементной металлизации в технологии Si интегральных схем с использованием дамасского и двойного дамасского процессов. Представлен обзор состояния разработок, посвященных приборам на GaAs и GaN с металлизацией на основе тонких пленок Al и Cu. На основании литературного обзора, сформированы цель и задачи исследования.

Во второй главе представлены сведения о технологическом и измерительном оборудовании, использованном в ходе изготовления структур и измерений. Описаны методики формирования тестовых элементов, технология изготовления GaAs СВЧ МИС малошумящего усилителя с металлизацией на основе пленок Al и Cu, а также методика ускоренных испытаний на долговечность.

Третья глава посвящена разработке конструкции транзистора с высокой подвижностью электронов и пассивных элементов GaAs СВЧ МИС с металлизацией на основе пленок Al и Cu. Сформулированы общие принципы построения конструкций элементов.

Четвертая глава посвящена разработке, технологии изготовления монолитного GaAs СВЧ малошумящего усилителя, с металлизацией на основе тонких пленок Al и Cu.

В пятой главе проведен сравнительный анализ электрических параметров GaAs СВЧ МИС МШУ с металлизацией на основе пленок Al и Cu, и МИС прототипа с традиционной металлизацией на основе Au. Представлены результаты ускоренных испытаний на долговечность МИС МШУ с металлизацией на основе пленок Al и Cu.

Научная новизна работы:

1. Разработаны конструкции псевдоморфных GaAs транзисторов с высокой подвижностью электронов с металлизациями омических контактов истока и стока на основе металлизационных систем Pd/Ge/Al/Mo и Pd/Ni/Ge/Mo/Cu/Mo, с субмикронными (с длиной основания 0,25 мкм) затворами Т-образной формы на основе металлизационной системы Ti/Al/Mo.

2. Разработаны конструкции и технологии изготовления микрополосковых линий, спиральных индуктивностей и межэлементных соединений МИС а также МДМ конденсаторов на основе металлизационных систем W/Cu/WN_x и Ti/Cu.

3. Разработаны конструкция и технология изготовления сквозных отверстий, выполняемых с обратной стороны кристалла МИС и предназначенных для обеспечения надежного заземления элементов МИС на лицевой стороне пластины по СВЧ на основе металлизаций Ni + W/Cu/W. Следует отметить, что этот конструктивный блок очень важен, особенно для МИС усилителей СВЧ мощности, для обеспечения надежного теплоотвода от мощных многштыревых транзисторов.

Практическая ценность полученных результатов заключается в разработке технологии изготовления GaAs СВЧ монолитных интегральных схем с металлизацией на основе пленок Al и Cu позволяющей использовать для производства интегральных схем действующие технологические линии, занятые в производстве GaAs МИС с традиционной металлизацией на основе пленок Au.

Достоверность и обоснованность результатов работы подтверждаются системным характером исследований, применением современных методов и приборов исследования, широким набором экспериментальных данных, а также практической реализацией результатов при создании и оценке GaAs СВЧ МИС малошумящего усилителя с металлизацией на основе пленок Al и Cu.

Проверка конструкции элементов и СВЧ МИС в целом выполнена на основе термических испытаний при повышенных температурах 250 и 125 °С, соответственно. Что особенно важно, проведены успешные испытания 3-х каскадного малошумящего монолитного усилителя в течение 1000 ч при 125 °С и показано, что разработанная конструкция по СВЧ параметрам (коэффициентам усиления и шума в диапазоне частот 8 – 10 ГГц) и надежности не уступает конструкции усилителя с применением Au, выполненной по стандартной технологии.

Выполнен большой объем работы, предложены оригинальные конструктивные и технологические решения, четко выделен личный вклад диссертанта. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Замечания по диссертационной работе

Однако, в представленной диссертации имеются недостатки и незначительные погрешности в оформлении, обусловленные недостаточной «вычитанностью» представленной работы:

1. Тестовые транзисторы с разными металлизациями (пп. 3.2.1-3.2.6) сравниваются только по параметрам термостойкости и термостабильности, при этом транзисторы имеют значительно отличающиеся параметры по постоянному току. В тексте диссертации отсутствует анализ причин их отличия.

2. Основными методами исследования при разработке конструкций активных и пассивных элементов МИС с металлизацией на основе пленок Al и Cu были сканирующая электронная микроскопия, оптическая микроскопия и контроль электрических пара-

метров. Эти методы в диссертации было бы целесообразно дополнить рентгеноспектральным микроанализом, который мог бы качественно показать наличие или отсутствие диффузии Si в другие слои.

3. Во введении при описании Si указаны свойства быстрой диффузии и слабой электродиффузии, но вероятно, в последнем случае имеется в виду слабая электромиграция.

4. На рис. 3.46 возможно имеется ошибка – слой металлизации затвора располагается на слое Si_xN_y , то есть имеется в виду MOS HEMT?

5. В диссертации отсутствуют данные позволяющие оценить верхнюю границу диапазона рабочих частот разработанной технологии. Возникающий на высоких частотах «скин-эффект» может вызывать значительные потери в подобных металлизациях содержащих высокоомные слои.

Заключение

Несмотря на указанные недостатки, работа в целом выполнена добротнo, результаты ее апробированы в достаточном количестве отечественных и зарубежных публикаций (26 шт.), обсуждены на российских и международных конференциях, защищены четырьмя патентами РФ.

Итогом диссертационной работы является разработанная технология изготовления GaAs СВЧ монолитных интегральных схем с металлизацией на основе пленок Al и Si.

Диссертационная работа С.В. Ишуткина представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Результаты работы имеют большое практическое значение для развития отечественной монолитной СВЧ техники. Выносимые на защиту научные положения и результаты достаточно обоснованы. Диссертационная работа полностью отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Ишуткин Сергей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Диссертационная работа и отзыв на нее обсуждены и одобрены на заседании научного семинара факультета Радиотехники и электроники Новосибирского государственного технического университета от 29 ноября 2016 г. протокол № 11.

Председатель семинара,
д.т.н, профессор кафедры Полупроводниковых приборов и микроэлектроники, Новосибирского государственного технического университета
заслуженный работник Высшей школы РФ



Гридчин Виктор Алексеевич

Адрес: 630073, Российская Федерация, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ), тел.: (383)346-08-77, адрес электронной почты: v.gridchin@amber.ref.nstu.ru

Ученый секретарь семинара, к.т.н., доцент

Д.И. Остертак

Ученый секретарь Новосибирского государственного технического университета,
д.т.н., профессор.....



Г.М. Шумский

Адрес: 630073, Российская Федерация, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».