



13.09.2024 № МС-21/8055

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор,

председатель Ученого совета,

доктор технических наук, профессор

Г.И. Андреев



« 2 » 05 2024 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Ефимова Александра Сергеевича на тему: «Интеграция кристаллов полупроводниковых СВЧ приборов с применением метода перевернутого монтажа на основе тонкопленочной системы металлов Au-Sn», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена необходимостью разработки полупроводниковой электронной компонентной базы миллиметрового диапазона длин волн для радиоэлектронной аппаратуры как гражданского, так и специального назначения. Современные конструктивно-технологические способы реализации электронной компонентной базы имеют существенное ограничение как по частотным, так и по массо-габаритным характеристикам.

Целью работы является исследование и разработка конструктивно-технологических способов интеграции кристаллов СВЧ методом перевернутого монтажа с применением системы металлов Au-Sn для улучшения характеристик гибридно-монокристаллических интегральных схем СВЧ, в том числе расширения частотного диапазона.

Научную новизну представляют следующие результаты работы:

Предложен и реализован метод формирования соединяющего слоя на основе тонкопленочной системы Au-Sn для монтажа методом взаимной

переходной диффузии для применения в микроэлектронике СВЧ с минимальным топологическим размером до 10 мкм. Средняя прочность соединения на сдвиг составила 32,2 МПа.

Предложена оригинальная конструкция гибридно-монокристаллической интегральной схемы СВЧ, в которой кристаллы транзисторов и МИС СВЧ лицевой стороной интегрируются на диэлектрическую подложку посредством соединяющего слоя из тонкоплёночной системы Au-Sn, обеспечивающего монтаж методом взаимной переходной диффузии.

Предложена оригинальная конструкция гибридно-монокристаллической интегральной схемы СВЧ для поверхностного монтажа, в которой кристаллы транзисторов и МИС СВЧ лицевой стороной интегрируются на диэлектрическую подложку посредством соединяющего слоя Au-Sn, обеспечивающего монтаж методом взаимной переходной диффузии, а выводы ГМИС СВЧ расположены на обратной стороне диэлектрической подложки, соединённые с лицевой стороной сквозными металлизированными отверстиями.

Научная новизна работы подтверждена тем, что на предложенные конструкции ГМИС СВЧ получены два патента РФ на изобретение.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты являются теоретической и практической базой для разработки перспективных устройств микроэлектроники СВЧ на основе гетерогенной интеграции.

Практическая ценность диссертации подтверждается актом использования результатов при выполнении ОКР по разработке гибридно-монокристаллических интегральных схем СВЧ усилителей мощности X- и Ku-диапазонов частот, проводимых в АО «НПП «Исток» им. Шокина». Предложенные и реализованные конструктивно-технологические решения интеграции кристаллов СВЧ методом перевернутого монтажа открывают перспективы создания отечественных ГМИС СВЧ миллиметрового диапазона длин волн. Результаты работы могут быть использованы при создании как однофункциональных, так и многофункциональных модулей СВЧ, в том числе в АО «НПП «Исток» им. Шокина».

Достоверность основных полученных результатов, выводов и предложений, сформулированных в диссертационном исследовании, подтверждается применением современных методов математического моделирования; использованием поверенного и аттестованного современного оборудования для получения экспериментальных данных; соответствием полученных расчётных результатов с экспериментальными данными.

По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, в том числе 6 статей в журналах из перечня ВАК, 3 патента на изобретение. Основные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на 8 международных и всероссийских научно-технических конференциях.

Оформление автореферата диссертации соответствует требованиям ГОСТ 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации».

Материалы изложены логично, технически грамотным языком и позволяют судить об основных направлениях проведенных исследований, которые соответствуют специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств.

Замечания и вопросы к автореферату:

1. Из автореферата непонятно, за счёт чего улучшены тепловые режимы предложенных конструкций.
2. Чем объясняется неравномерность потерь в тестовой конструкции с копланарной структурой?
3. Не раскрыты причины частотных ограничений предлагаемых конструкций ГМИС СВЧ.

Однако отмеченные недостатки не снижают научной и практической значимости диссертационной работы.

Диссертация Ефимова А.С. является завершённой научно-квалификационной работой, написанной лично автором, посвященной решению важной научно-технической задачи, выполненной на высоком уровне и имеющей серьезное теоретическое и практическое значение для разработки перспективной полупроводниковой электронной компонентной базы СВЧ.

Диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Ефимов Александр Сергеевич, достоин присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств».

Заместитель главного инженера по конструированию и технологии, начальник конструкторско-технологической службы, кандидат технических наук



Андрей Валентинович Волков

Место работы: АО «ЦНИРТИ им. Академика А.И. Берга».

Почтовый адрес: 107078, г. Москва, ул. Новая Басманная, д.20, стр. 9

Телефон: (499) 267-43-93, E-mail: post@cnirti.ru

Подпись заместителя главного инженера по конструированию и технологии, начальника конструкторско-технологической службы, кандидата технических наук, Андрея Валентиновича Волкова заверяю.

Ученый секретарь,
кандидат технических наук




Виктор Викторович Карев