

## ОТЗЫВ

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

Переход от однофункциональных к многофункциональным СВЧ модулям с повышением требований к снижению их массогабаритных параметров, увеличением частотного диапазона, ведёт к необходимости интеграции отдельных монолитных интегральных схем СВЧ с минимальным влиянием межсоединений на электрические и эксплуатационные параметры модуля. Развитие технологий интеграции, обеспечивающих улучшенные электрические характеристики, тепловые режимы, снижение массогабаритных характеристик современной ЭКБ СВЧ является актуальной задачей.

В диссертации Ефимова А.С. целью работы является разработка конструктивно-технологических способов интеграции кристаллов СВЧ методом перевернутого монтажа с применением системы металлов Au-Sn. Основываясь на содержании автореферата, можно отметить, что наибольшую научную значимость представляют предложенные автором:

- метод формирования соединяющего слоя на основе тонкоплёночной системы Au-Sn для монтажа методом взаимной переходной диффузии для применения в микроэлектронике СВЧ с минимальным топологическим размером элементов до 10 мкм;

- оригинальная конструкция гибридно-монолитной интегральной схемы СВЧ для поверхностного монтажа, где кристаллы МИС СВЧ лицевой стороной интегрируются на диэлектрическую подложку посредством соединяющего слоя из тонкоплёночной системы Au-Sn, обеспечивающего

монтаж методом взаимной переходной диффузии, а выводы ГМИС СВЧ расположены на обратной стороне диэлектрической подложки, соединенные с лицевой стороной сквозными металлизированными отверстиями.

Автором экспериментально исследованы морфологические, фазовые и прочностные характеристики соединения на основе тонкоплёночной системы Au-Sn. Доказано, что тестовые конструкции ГМИС СВЧ на основе интеграции кристаллов СВЧ методом перевернутого монтажа с применением системы металлов Au-Sn обеспечивают повышенные частотные характеристики. Вносимые потери одного переходного соединения составляют менее 0,1 дБ на частотах до 50 ГГц.

Основные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на 8 всероссийских и международных научно-технических конференциях. Результаты опубликованы в 18 научных работах, в том числе 6 статей, опубликованных в журналах из перечня ВАК. Получено 3 патента на изобретение РФ.

Практическая значимость полученных результатов подтверждается актом об использовании при выполнении ОКР, выполняемых 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.

К недостаткам представленного автореферата можно отнести следующие:

- из автореферата не ясна эквивалентная схема межсоединений, значения её параметров, хотя и приводятся сравнительные данные по разным типам межсоединений;

- недостаточное количество представленных в автореферате характеристик гибридно-монокристаллических интегральных схем СВЧ (только

частоты и вносимые потери) для комплексной оценки достигаемых улучшений изделий за счет применения нового метода формирования соединяющего слоя для flip-chip монтажа кристаллов;

- недостаточно описаны технологические решения по интеграции кристаллов на основе тонкоплёночной системы металлов Au-Sn (например, какой использовался метод осаждения системы металлов, через какую маску осуществлялось осаждение металлов);

- наличие в некоторых рисунках наименований на английском языке (наименование осей на графиках, элементов конструкций ГМИС СВЧ).

Однако, указанные недостатки не снижают общей научной и практической значимости диссертационной работы по специальности 2.2.2.

Считаю, что диссертация Ефимова А.С. является самостоятельным завершённым научным исследованием и соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям положением «О порядке присуждения учёных степеней», а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2 – «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств».

Начальник НИЛ ТКПМ, доцент  
Института нано- и микросистемной  
техники НИУ МИЭТ, к.т.н.

Вертянов Денис Васильевич

«30» августа 2024 г.

Почтовый адрес: 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1  
Тел.: +7 (499) 720-87-68  
e-mail: [vdv.vertyanov@yandex.ru](mailto:vdv.vertyanov@yandex.ru)

Подпись Д.В. Вертянова удостоверяю:



*Моч. ерт* *Моч. ерт* *Вертянов Д. В.*