

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»

Сверхвысокочастотная (СВЧ) полупроводниковая электронная компонентная база (ЭКБ) является основой для построения радиоэлектронной аппаратуры для систем связи, радиолокации и других областей современной техники. Гибридно-монокристалльные интегральные схемы (ГМИС) СВЧ являются важной частью современной отечественной ЭКБ. ГМИС основаны на интеграции кристаллов активных элементов (диодов, транзисторов и монокристалльных интегральных схем (МИС)) с пассивными элементами на специализированных платах. Традиционный способ гибридно-монокристалльной интеграции подразумевает монтаж кристаллов активных и пассивных элементов на плату, уже имеющую элементы разводки, а также последующее электрическое соединение активных элементов с платой с помощью разварки проволокой. Актуальность беспроводной интеграции в ГМИС СВЧ обусловлена необходимостью расширения рабочего диапазона частот изделий, снижения потерь СВЧ и значений реактивных паразитных составляющих эквивалентной схемы переходных соединений, а также снижения массогабаритных характеристик ГИМС.

Диссертационная работа Ефимова А.С. посвящена вопросам разработки конструктивно-технологических способов интеграции кристаллов методом перевернутого монтажа с применением системы металлов Au-Sn. В результате проведённых работ получен ряд новых научных результатов:

- предложен метод формирования тонкоплёночной системы Au-Sn для монтажа кристаллов СВЧ МИС методом взаимной диффузии с минимальным топологическим размером кристаллов МИС 10 мкм;
- предложена оригинальная конструкция ГМИС СВЧ для поверхностного монтажа, в которой кристаллы МИС лицевой стороной монтируются на диэлектрическую подложку и присоединяются к ней методом взаимной диффузии с использованием тонкоплёночной системы слоев Au-Sn;
- предложена оригинальная конструкция ГМИС СВЧ для поверхностного монтажа, в которой кристаллы транзисторов и МИС лицевой стороной монтируются на диэлектрическую подложку и присоединяются к

ней методом взаимной диффузии с использованием тонкоплёночной системы слоев Au-Sn, при этом выводы ГМИС СВЧ расположены на обратной стороне диэлектрической подложки и соединены с лицевой стороной сквозными металлизированными отверстиями.

Экспериментально исследованы морфологические и фазовые характеристики тонкоплёночной системы слоев Au-Sn. Показано, что монтаж кристаллов СВЧ МИС методом взаимной диффузии на основе тонкоплёночной системы слоев Au-Sn обеспечивает прочность соединения свыше 32 МПа.

Практически показано, что монтаж кристаллов СВЧ МИС методом взаимной диффузии на основе тонкоплёночной системы слоев Au-Sn обеспечивает повышенные частотные характеристики ГМИС СВЧ. Вносимые потери одного переходного соединения составляют менее 0,1 дБ на частотах до 50 ГГц.

Показано, что при оценке тепловых режимов предложенных конструкций ГМИС СВЧ максимальная температур схемы может быть снижена на 5 – 45 °С по сравнению с традиционным методом интеграции.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что предложенный способ присоединения кристаллов СВЧ МИС к диэлектрической подложке методом взаимной диффузии на основе тонкоплёночной системы слоев Au-Sn реализован в опытно-конструкторской работе по разработке ряда гибридно-монокристаллических интегральных схем СВЧ усилителей мощности X-диапазона частот, проводимой АО «НПП «Исток» им. Шокина». Разработаны конструкции гибридно-монокристаллических интегральных схем СВЧ, позволяющие существенно расширить диапазон рабочих частот изделий, снизить габаритные размеры и улучшить тепловые характеристики схем.

К недостаткам можно отнести следующее:

- в автореферате не определены границы применимости предложенных конструкций ГМИС СВЧ с точки зрения возможного диапазона величин площадей контактных площадок с тонкоплёночной системой Au-Sn;
- из автореферата не ясна эквивалентная схема межсоединений ГМИС СВЧ, а также значения её параметров, хотя и приводятся сравнительные данные для разных типов межсоединений;
- в автореферате не приведена эквивалентная тепловая модель гибридно-монокристаллической интегральной схемы СВЧ.

Несмотря на отмеченные замечания, диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» ВАК РФ. По своей актуальности, степени научной новизны и

практической значимости, а также по уровню публикаций результатов исследований, работа представляет собой завершённую диссертационную работу, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2 – «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств»

Первый заместитель директора
по развитию и науке НПК Томское
АО «НПП «Радар ммс»
д. ф.-м. н, профессор



Кагадей В. А.

02 сентября 2024 года

Сведения о составителе отзыва:

Кагадей Валерий Алексеевич,
первый заместитель директора по развитию и науке
научно-производственного комплекса Томское
Акционерного общества «Научно-производственное
предприятие «Радар ммс» (АО «НПП «Радар ммс»)

Почтовый адрес:

634040, г. Томск, ул. Владимира Высоцкого, 28, стр. 3

Тел.: +7 (3822) 61-40-00

e-mail: kagadey_va@radar-mms.com

Подпись Кагадея В.А. **ЗАВЕРЯЮ**
Начальник административной группы
НПК Томское АО «НПП «Радар ммс»

Маклакова Н. В.

02 сентября 2024 года