

ОТЗЫВ

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

Работа посвящена исследованию и разработке методов гетерогенной интеграции в СВЧ полупроводниковой электронике. Реализация СВЧ-устройств в виде монолитных интегральных схем (МИС) позволяет снизить массогабаритные показатели, обеспечить малые паразитные параметры, хорошую воспроизводимость характеристик. Однако применяемые для создания СВЧ МИС технологии сильно различаются по своим параметрам: кремниевые технологии позволяют интегрировать приемный тракт и цифровую обработку на одном кристалле, InP обеспечивает лучшие частотные и шумовые параметры, GaN — высокую выходную мощность, а GaAs компромиссный материал по мощности, шумовым параметрам и рабочей частоте. Кроме того, необходимо учитывать и экономическую сторону: микросхемы, изготовленные по Si технологии, имеют наименьшую себестоимость из перечисленных, GaN и InP — самую высокую, а GaAs занимает промежуточное положение. Перспективным выглядит подход к гетерогенной интеграции, при которой различные технологии объединяются в составе одного прибора. Это позволяет использовать сильные стороны каждой технологии, но ставит вопросы монтажа и его влияния на электрические характеристики, теплоотвод и повторяемость технологии. Таким образом, исследование новых методов гетерогенной интеграции является актуальным.

В результате обзора соискатель решил остановиться на методе перевернутого монтажа (flip-chip). В работе исследована технология формирования соединительных элементов методами фотолитографии на основе соединения металлов Au-Sn. Уделено внимание вопросам технологии изготовления, моделирования электрических характеристик и оценке теплоотвода предложенной конструкции. Кроме теоретических исследований, работа доведена до натурального эксперимента: получены и исследованы образцы устройств, объединяющие несколько технологических процессов в одном СВЧ-приборе.

Положительные стороны диссертационной работы:

1. Проведен обширный обзор методов интеграции полупроводниковых приборов, изготовленных в разных технологических процессах. В обзоре рассмотрено большое число методов, а список литературы включает современные публикации по теме.

2. Решается актуальная научно-техническая задача. Например, в международной технологической дорожной карте полупроводников трехмерная интеграция отмечается как одно из важных направлений дальнейшего развития. Также, интенсивное развитие систем связи миллиметрового диапазона с высокой вероятностью потребует интеграции кремния и материалов АЗВ5 в одной микросхеме.

3. Решаются производственные задачи конкретного крупного предприятия, практическая значимость результатов подтверждается актами внедрения. Научная новизна подтверждается получением патентов на изделия.

4. Проведен комплекс взаимосвязанных исследований из разных областей: материаловедение, технология изготовления СВЧ МИС, моделирование и измерение характеристик СВЧ-схем. Таким образом, решаемая задача рассмотрена с разных сторон, что обеспечивает положительный результат.

Научной новизной обладают следующие результаты:

1. Предложен метод формирования соединяющих элементов из комбинации слоев Au-Sn, с минимальным топологическим размером 10 мкм. Отмечается, что средняя прочность на сдвиг составляет 32,2 МПа.

2. Предложена оригинальная конструкция гибридно-монолитной интегральной схемы, в которой две схемы соединяются лицевой стороной через соединяющие элементы, формируемые предложенным в п. 1 новизны методов.

3. Предложена оригинальная конструкция гибридно-монолитной интегральной схемы с лицевой интеграцией, отличающаяся тем, что выводы вынесены на обратную сторону диэлектрической подложки-держателя, а сам кристалл закрыт крышкой из высоколегированного кремния.

Имеются следующие замечания:

1. В автореферате отсутствуют графики, на которых представлены одновременно результаты моделирования и измерения параметров полученной ГМИС для оценки корректности моделирования. Замечания касаются как СВЧ, так и тепловых характеристик.

2. Один из методов уменьшения влияния выводов — применение нескольких разварочных проволочек или разварочной ленты. В обзоре данный метод не рассмотрен, интересно его сравнение с остальными методами.

3. В автореферате имеются опечатки и огрехи оформления. Так, на стр. 13 встречается слово «преложеной», на стр. 16 — «соеднений», на рис. 3, 5, 6 подписи осей на английском языке.

Указанные замечания не снижают качества рассматриваемой работы. Из автореферата следует, что диссертационная работа является актуальным и законченным научным исследованием. Научные исследования соответствуют пунктам 1 и 5 паспорта специальности. Работа удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ефимов А.С. заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2 — «Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств».

Сальников Андрей Сергеевич

Кандидат технических наук по специальности 05.12.07 (2.2.14)


Ведущий научный сотрудник ООО «50ом Тех.»

634045, г. Томск, ул. Нефтяная, д. 5а, к. 161

Тел.: +79138664465

Адрес электронной почты: andrei.salnikov@50ohm.tech

Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации.

 / Сальников Андрей Сергеевич
05.09.2024 г.

Подпись Сальникова А.С. удостоверяю

Директор ООО «50ом Тех.»

 / Калентьев А.А.
