

В диссертационный совет Д 002.204.01
в Физико-технологический институт
Российской академии наук

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Щаврука Николая Васильевича на тему «Проектирование и изготовление микроэлектромеханических переключателей на подложках GaAs для СВЧ диапазона», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук, по специальности: 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Актуальность выбранной темы

Диссертационная работа Н.В. Щаврука посвящена решению актуальной задачи – расчету и созданию микроэлектромеханического (МЭМС) переключателя с емкостным контактом и электростатическим типом управления для СВЧ диапазона. СВЧ переключатели активно применяются в радиолокации, спутниковой связи многоканальных системах беспроводной связи и спутниковой навигации. Конкретно в этой работе рассматриваются вопросы расчета и технологии изготовления СВЧ МЭМС переключателя для стратегически важного и активно используемого диапазона частот 10-12 ГГц. Так же в работе Н.В. Щаврука решается проблема интеграции изготовления МЭМС компонентов совместно с изготовлением МИС на основе GaAs в единый технологический цикл.

Поэтому тематика диссертационной работы посвященной вопросам проектирования и изготовления МЭМС переключателей на основе GaAs является актуальной.

Степень обоснованности научных положений, выводов
и рекомендаций, сформулированных в диссертации

При решении задач, представленных в работе, автор опирался на ряд физических моделей, которые базируются на результатах многочисленных экспериментальных данных. Выводы и положения диссертации подтверждены теоретическим анализом, численным моделированием, сопоставлением экспериментальных данных с ранее известными результатами.

При разработке МЭМС переключателя были использованы методы вычислительной математики, моделирования в системах автоматизированного проектирования. Наряду с теоретическим, в работе проработан и прикладной аспект исследования, которые также являются актуальным и обладающим научной новизной. Основой, объединяющий все вышеперечисленные теории и методы, служит системный подход.

Достоверность и новизна

Достоверность научно-практических исследований, выполненных автором, обосновывается математическими моделями, а также совпадением теоретических и экспериментальных результатов, представленных в данной работе. Теоретические и практические результаты, приведенные в диссертации, не противоречат данным по вопросам проектирования и изготовления МЭМС переключателей для СВЧ диапазона, представленным в отечественной и зарубежной литературе.

Новизну диссертационной работы обеспечивают следующие результаты:

1. Предложен метод, позволяющий рассчитать основные параметры СВЧ МЭМС переключателей и выбрать оптимальную конструкцию МЭМС переключателя.
2. Разработан технологический маршрут изготовления СВЧ МЭМС переключателя совместно с полупроводниковыми приборами на основе GaAs, с применением оригинального метода удаления жертвенного слоя.

3. Показаны результаты измерений параметров образцов СВЧ МЭМС переключателей, изготовленных по разработанной технологии.

4. Показана совместимость предложенного технологического маршрута изготовления МЭМС устройств с изготовлением полупроводниковых приборов в едином цикле.

5. Определены параметры, возникающие в процессе изготовления СВЧ МЭМС переключателей и оказывающие влияние на характеристики изготовленных СВЧ МЭМС переключателей.

Диссертационная работа Н.В. Щаврука, в которой рассмотрены вопросы проектирования и изготовления МЭМС переключателей для СВЧ диапазона, представляет теоретический и практический интерес.

Соответствие автореферата диссертации

Автореферат соответствует основным положениям диссертационной работы.

Полнота опубликованных работ

За период проведения диссертационного исследования автором было опубликовано 13 печатных работ, в которых достаточно полно отражено содержание диссертации. Отдельно отмечу, что 4 работы изданы в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки Российской Федерации для публикации результатов научно-технической и научно-практической деятельности на соискание ученой степени кандидата и доктора наук. Технические предложения, представленные в диссертационной работе, подкреплены 4 свидетельствами о государственной регистрации топологии интегральных схем.

Краткий анализ содержания диссертации

Кандидатская диссертация Н.В. Щаврука содержит введение, четыре главы, общие выводы о проделанной работе, список литературы и серию приложений. В приложениях автором представлены: Фотошаблоны для

изготовления СВЧ МЭМС переключателей, последовательность технологических операций при изготовлении образцов СВЧ МЭМС переключателей и при изготовлении монолитных интегральных схем (МИС) малошумящих усилителей на основе GaAs, копии четырех свидетельств о государственной регистрации топологии интегральных схем и акт внедрения результатов диссертационной работы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и вытекающие из нее задачи исследований. Изложены научная новизна и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации проведен анализ состояния разработок в области СВЧ МЭМС переключателей сигналов по отечественным и зарубежным литературным источникам, рассмотрены основные типы переключателей сигналов как с различным механизмом управления, так и с различным типом СВЧ контакта. Проанализированы основные характеристики различных типов СВЧ МЭМС переключателей и предложен механизм управления и тип СВЧ контакта для реализации в проектируемом СВЧ МЭМС переключателе.

Вторая глава посвящена моделированию и расчету параметров СВЧ МЭМС переключателя для диапазона частот 10-12 ГГц и сформулирована задача по характеристикам СВЧ МЭМС переключателя. На основе расчета эквивалентной схемы было выбрано крепление мембраны, проведено электрофизическое моделирование прохождения СВЧ сигнала на основании топологии МЭМС переключателя, и на основании электромеханической модели с использованием метода малых отклонений определено управляющее напряжение СВЧ МЭМС переключателя.

Третья глава посвящена вопросам изготовления СВЧ МЭМС переключателя – подробно описан маршрут изготовления СВЧ МЭМС переключателя и рассмотрена совместимость предложенного маршрута с маршрутом изготовления МИС на основе GaAs, предложена оригинальная

методика удаления жертвенного слоя при помощи сублимационной сушки в циклогексане.

Четвертая глава посвящена измерениям характеристик полученных СВЧ МЭМС переключателей. Изготовленные МЭМС-переключатели в дальнейшем подвергались исследованию. Были измерены их вольт-фарадные характеристики. На основании полученных данных был оценен "воздушный зазор" между мембраной и управляющим электродом. На основании приведенных измерений был сделан вывод, что при удалении жертвенного слоя в кислородной плазме происходит коробление мембран - лучшие результаты даёт удаление жертвенного слоя методом сублимационной сушки в циклогексане. Были измерены АЧХ сигналов, проходящих через МЭМС-переключатели во включённом и выключенном состояниях. На основании полученных данных были вычислены ключевые параметры изготовленных МЭМС-переключателей (напряжение срабатывания 19 В, изоляция сигнала 45–50 дБ, вносимые потери 0,5 дБ), которые согласуются с ранее промоделированными параметрами. Воздушный зазор изготовленных переключателей полученных методом сублимационной сушки в среднем составил 11,4 нм, а воздушный зазор у слипшихся мембран составил 10,6 нм - это свидетельствует о том, что разработанная технология воспроизводима и позволяет полностью контролировать параметры изготавливаемых МЭМС переключателей. Также в четвертой главе показано отсутствие влияния процесса сублимационной сушки на активные полупроводниковые приборы на основе GaAs. Автореферат соответствует основному содержанию и выводам диссертации.

Замечания по диссертационной работе

Замечания по автореферату следующие.

1. Не все аббревиатуры расшифрованы (МИС, САПР).
2. Не ясно, чем отличаются рис. 1 и 2 с эквивалентными схемами МЭМС-переключателя.

3. Не ясно, откуда взята специфическая формула (7) для коэффициента упругости меандра.
4. На стр. 20 оцененные размеры зазора между мембраной и электродом даны без указания погрешности и разброса (ведь анализировалось несколько штук МЭМС-переключателей).
5. Не указан состав жертвенного слоя.

Замечания по диссертационной работе в целом.

1. В диссертации встречается произвольное использование сокращений МЭМС и MEMS
2. В четвертой главе диссертации приведены результаты измерения шероховатости поверхности фоторезиста зондовым профилометром. Общепринятым методом измерения шероховатости поверхности фоторезиста считается измерение методом атомно-силовой микроскопии.

Вышеуказанные замечания не следует рассматривать в качестве принципиальных возражений по диссертационной работе. Они не влияют на общее положительное впечатление о проделанной автором работе.

Заключение о соответствии диссертации критериям,
установленным положениям о присуждении ученых степеней

Рецензируемая диссертационная работа представляет собой завершенное научное исследование, выполненное на актуальную тематику, результаты которого достоверны и представляют ценность для науки и практики. Соискатель Н.В. Щаврук заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук, по специальности: 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Официальный оппонент:

Тимошенков Сергей Петрович

доктор технических наук, профессор, зав. каф. микроэлектроники,
Национальный исследовательский университет «Московский институт
электронной техники» (НИУ МИЭТ).

Адрес: 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1.

Электронная почта: spt@miee.ru

Телефон: (499) 720-87-68

«31» ноября 2015 г.



(Тимошенков С.П.)

*Подпись Тимошенкова С.П. заверена
отд. кадров НИУ МИЭТ / 21.12.2015*