



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Московский государственный университет  
информационных технологий,  
радиотехники и электроники»

МИРЭА

пр-т Вернадского, 78, Москва, 119454  
тел.: (495) 433 00 66, факс: (495) 434 92 87  
e-mail: mirea@mirea.ru, http://www.mirea.ru

24.11.2015 № 00-40/58.3.3.13

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

первый проректор МИРЭА,  
д.ф.-м.н, профессор  
В.В. Соколов



2015 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет информационных технологий, радиоэлектроники и электроники (МИРЭА) на диссертацию 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 темы.

Диссертационная работа Щаврука Николая Васильевича посвящена решению актуальной задачи – расчету и созданию микроэлектромеханического (МЭМС) переключателя с емкостным контактом и электростатическим типом управления переключателем. Несмотря на то, что СВЧ переключатели сигнала в настоящее время представлены электромеханическими и на полупроводниковых приборах, на

сегодняшний день существует необходимость оптимизации конструкции переключателей и поиска новых решений для улучшения характеристик переключателей. Из всего многообразия типов СВЧ МЭМС переключателей наиболее распространенным является электростатический тип. Это связано с тем, что для его создания можно использовать технологию изготовления интегральных схем, МЭМС переключатели электростатического типа обладают меньшими размерами, более высоким быстродействием и потребляемой мощностью, близкой к нулю.

#### **Оценка новизны и достоверности.**

Научная новизна работы Н.В. Щаврука состоит в разработке методики расчета МЭМС переключателя совместно с полупроводниковыми приборами на основе GaAs. В работе впервые разработана и применена технология удаления «жертвенного слоя» методом сублимационной сушки в циклогексане. Автором впервые разработан технологический маршрут изготовления МЭМС переключателей совместно с полупроводниковыми приборами на основе GaAs. Экспериментально установлено, что процесс сублимационной сушки в циклогексане не оказывает влияния на характеристики полупроводниковых приборов. При непосредственном участии Диссертанта изготовлены СВЧ МЭМС переключатели и проведены измерения их параметров.

Таким образом, диссертация Н.В. Щаврука обладает всеми признаками научной новизны, к которым относятся: расчет СВЧ МЭМС переключателей, разработка маршрута изготовления СВЧ МЭМС переключателей совместно с полупроводниковыми приборами на основе GaAs, применение оригинального метода удаления «жертвенного слоя».

Достоверность научных результатов обусловлена применением современных и общепризнанных экспериментальных методов: компьютерным моделированием при помощи САПР AWR и ADS, а также совпадением теоретических и экспериментальных результатов. Полученные в работе результаты и выводы не противоречат ранее известным данным, неоднократно апробированы на Международных и Российских конференциях и научных семинарах. По результатам

диссертации опубликовано 13 работ в научных журналах и сборниках трудов международных и российских конференций и семинаров, в том числе 4 работы в реферируемых журналах из перечня ВАК и получены 4 свидетельства о государственной регистрации топологии интегральных схем. Результаты диссертации использованы в отчетности в 2 НИР

### **Значение для науки и практики полученных результатов.**

Разработка метода сублимационной сушки мембран в циклогексане альтернативного методу сушки при критической точки, свидетельствуют о высокой научной и практической значимости работы.

Практическая ценность работы связана с тем, что предложенный технологический маршрут позволяет расширить возможности создания компонентной базы на подложках GaAs.

Разработанный в работе технологический маршрут позволяет изготавливать устройства на основе микроэлектромеханических систем с металлической мембраной совместно с полупроводниковыми приборами на подложке GaAs без привлечения дополнительного оборудования.

В работе успешно разработаны и изготовлены СВЧ МЭМС переключатели с высоким отношением собственных потерь к изоляции сигнала и низким управляющим напряжением. Данные переключатели могут быть использованы для разработки и создания приемо-передающих модулей для применения в системах беспроводной передачи данных, спутниковой связи и навигации. Автору рекомендуется продолжить работу как по совершенствованию предлагаемых переключателей, так и по решению задачи корпусировки СВЧ МЭМС переключателей и определению рабочего ресурса данных переключателей.

Данные переключатели и технологический маршрут их изготовления может применяться в: АО "НПП "Исток" им. Шокина, ФГУП НПП "Пульсар", ОАО «ОКБ-Планета», а так же в ряде научно-исследовательских организаций работающих над проблемами СВЧ микроэлектроники.

### **Степень обоснованности научных положений и выводов.**

Все научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, основаны на ряде физических моделей, которые базировались на результатах многочисленных экспериментальных данных. Выводы и положения диссертации подтверждены теоретическим анализом, численным моделированием, сопоставлением экспериментальных данных с ранее известными результатами.

Диссертация, автореферат, количество опубликованных по теме диссертации печатных работ соответствуют требованиям ВАК, предъявленным к кандидатским диссертациям.

Диссертация Н.В. Щаврука состоит из введения, четырех глав, выводов, списка цитируемой литературы из 218 наименований и приложений. Она изложена на 106 страницах, включая 67 рисунков и 11 таблиц.

Автореферат соответствует основному содержанию и выводам диссертации. Он изложен на 26 страницах, включая 12 рисунков, 2 таблицы и списка основных работ соискателя по теме диссертации.

### **Замечания к автореферату следующие.**

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

### **Замечания по диссертационной работе в целом.**

1. В диссертации есть нечеткое 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.

Представленные замечания нисколько не умаляют научную и практическую ценность диссертационной работы Н.В. Щаврука.

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».

Заведующий кафедрой КБ-7 Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет информационных технологий, радиоэлектроники и электроники (МИРЭА), кандидат технических наук.

Почтовый адрес:

Телефон:

Адрес электронной почты:

 В.К. Ильков

« 24 » 11 2015 г.

г. Москва, ул. Стромынка, д.20  
84992694488

pr-5.mgupi@mail.ru

