

В результате работы была спроектирована конструкция гребенчатого актюатора, обеспечивающая ход ш-образной части на величину 180 мкм при напряжении срабатывания 100 В.

Расхождение результатов моделирования величин хода и напряжения срабатывания с расчетными данными составило не более 15%.

## НАНОТЕХНОЛОГИИ И МИКРОСИСТЕМЫ

### Технические науки

#### ПРИМЕНЕНИЕ МЭМС ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СВЧ МИКРОРЕЛЕ

**М.И. Бичурин, Г.А. Семенов,**

**И.А. Афиногенов, А.В. Конькин**

В работе проведено исследование и разработано микрореле на основе МЭМС технологий. Рассмотрен ряд конструкторско-технологических решений при создании радиочастотных компонентов.

В результате поиска инженерно-технических решений по созданию высокочастотного микрореле были отобраны основные конструкции таких изделий и проведен анализ механических свойств. Были смоделированы высокочастотные характеристики различных конструкций (передаточные характеристики, изоляция во СВЧ сигналу и т.д.). В ходе экспериментальных исследований разработано широкополосное микрореле СВЧ диапазона: диапазон коммутируемых частот – от 0 до 6 ГГц; напряжение срабатывания - 60В; затухание (контакты замкнуты) < 1 дБ; затухание (контакты разомкнуты) > 15дБ; КСВн < 2; масса < 0,6 г.

Конструкция разрабатываемого МЭМС СВЧ реле основана на электростатическом принципе управления и представляет собой следующее: на поликоровой подложке сформирована конструкция микрореле с консолью из

золота, начальный зазор составил 2 мкм. Реле изготовлено в керамическом корпусе с планарными выводами (диаметр корпуса 5 мм), а также в BGA корпусе с шариковыми выводами (3X4X1.5 мм).

Для формирования структуры микрореле и подвижной его части применялись классические технологические операции, такие как: термовакuumное, магнетронное и гальваническое нанесение слоев золота, хрома, ванадия, меди и никеля; плазмохимическое осаждение оксида и нитрида кремния; жидкостное травление структурных слоев. В работе приведено моделирование МЭМС СВЧ реле.

#### ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЭМС МИКРОРЕЛЕ СВЧ ДИАПАЗОНА

**М.И. Бичурин, Г.А. Семенов,**

**И.А. Афиногенов**

Микросистемная техника является в настоящее время одним из наиболее динамично развивающихся научно-технических направлений. В данной работе разработано микроминиатюрное реле СВЧ диапазона микроминиатюрное реле СВЧ диапазона.

На базе программного комплекса CST STUDIO в ходе проектирования конструкции

СВЧ микрореле было проведено моделирование высокочастотных характеристик устройства.

Для экспериментальных измерений были спроектированы и изготовлены подключающие измерительные устройства, также разработанные с применением компьютерного моделирования.

В ходе работы построена модель, позволяющая производить расчеты с точностью 75-80%. Работы с моделью позволили расширить частотный диапазон СВЧ микрореле с 0 - 6 ГГц до 0 - 9 ГГц. Измеренные значения S- параметров микрореле соответствуют расчетным в пределах указанной точности.

Расчетные модели, позволяют скорректировать конструкцию микрореле до ее фактического изготовления, а также ответить на вопрос, о влиянии величины и характера отклонения геометрических размеров от заданных, в процессе изготовления структуры. Такие результаты могут быть использованы при мелкосерийном и серийном изготовлении СВЧ компонентов по технологии МЭМС.

## **БЕСКОНТАКТНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ НАНОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ТУННЕЛЬНОЙ МИКРОСКОПИИ**

**А.В. Николаевский**

*Государственное научное учреждение  
«Научно-исследовательский институт  
перспективных материалов и  
технологий Московского института  
электроники и математики  
(технического университета)»  
(ГНУ «НИИ ПМТ»)  
Москва, Россия  
[niipmt@mail.ru](mailto:niipmt@mail.ru)*

Исследования показали, что на базе сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) воз-

можна разработка новой технологии, в основе которой лежит применение туннельного зонда как для визуализации объектов на подложке, так и для формирования их в нанометровых областях [1,2].

Основными факторами, определяющими процессы зондовой нанотехнологии, являются: локальные электрические поля, сравнимые с внутримолекулярными и атомными; сверхбольшие плотности токов до  $10^9$  А/см<sup>2</sup> и их электродинамическое воздействие, а также сверхплотные локальные потоки тепла, вызванные протекающими токами[3,4].

В работе исследовано влияние параметров туннельного зазора СТМ на поверхность тонких пленок Pt, проведена их оптимизация с целью осуществления бесконтактного формирования нанорельефа поверхности тонкой пленки Pt толщиной 50 нм на воздухе.

В качестве объекта исследования в работе использовалась тонкая пленка Pt, полученная распылением платиновой мишени ионами Ag<sup>+</sup> в вакууме  $2 \cdot 10^{-3}$  мм. рт. ст. на поликоровую подложку. Процесс сканирования топографии и электрополевая локальная деформация поверхности проводились в режиме сканирующей туннельной микроскопии. Рабочий инструмент для исследования и модификации поверхности – сканирующий зондовый микроскоп СММ-2000. В качестве зонда СТМ использовалась механически заточенная проволока сплава Pt с 10% Ir.

Недостатком методов бесконтактной модификации рельефа поверхности подложек является дальнедействующий характер электростатических сил, что определяет сложность контроля размерности модифицированной области и регулярности получаемых нанообъектов.

Поэтому в работе было проведено исследование и последовательное изменение режимов