

$0 < H < 1.5$  Т является отрицательным в области 2–2.7 К, а при  $T > 3$  К — положительным. В полях  $H > 1.5$  Т МС является положительным и подчиняется закономерности  $\rho(H) \sim H^2$ . Проведенный анализ полученных результатов показал, что проводимость кремния в области температур 5–25 К является прыжковой с переменной длиной прыжка (закон Мотта). Получены оценки плотности состояний, температуры Мотта и радиуса локализации, которые выявили зависимость радиуса локализации от температуры. Установлено, что в области 5–11 К превалирует спин-поляризованный перенос, а в области 11–20 К необходимо учитывать вклад спин-поляризованного переноса и механизма сжатия волновой функции. Проведенный анализ полученных результатов в области 2–5 К показал, что при  $T = 4.5$  К наблюдается температурный кроссовер от режима Мотта к режиму прыжковой проводимости через ближайших соседей (NNH), а при  $T < 2.5$  К — переход к режиму Шкловского–Эфроса. Предложена модель температурного кроссовера от режима Мотта к режиму прыжковой проводимости через ближайших соседей, основанная на упрощенном решении задачи протекания с использованием интерполяционного выражения для плотности состояний, справедливого как для режима Мотта, так и для режима NNH. Получены уравнения для критического значения показателя экспоненты в температурной зависимости прыжкового сопротивления.

## **ПЕРЕДАЮЩИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ**

МУРАВЬЁВ В.В., НАУМОВИЧ Н.М., КОРЕНЕВСКИЙ С.А., СТАНУЛЬ А.А.

Для обеспечения скрытности передачи информации произведена разработка широкополосного передающего модуля. Основой передающего модуля является формирователь широкополосных сигналов. Формирователь выполнен на микросхеме 1508ПЛ8Т. Сформированный широкополосный сигнал может быть сдвинут в диапазон частот 8–12,5 или 36–36,8 ГГц. Передающий модуль обеспечивает: выходную мощность 30 мВт; полосу частот выходного сигнала с линейной частотной модуляцией 200 МГц; уровень внеполосных излучений менее минус 50 дБс. Разработаны выходные усилители позволяющие увеличить мощность выходного сигнала до 20 Вт, в диапазоне частот 8–12,5 ГГц, и 2 Вт в диапазоне частот 30–36,8 ГГц. Объем передающего устройства в диапазоне частот 36–36,8 ГГц не более 150 см<sup>3</sup>, при выходной мощности 2 Вт. Большая полоса частот формируемого сигнала передающего модуля позволяет обеспечить работу системы связи при спектральной мощности принимаемого сигнала значительно меньше  $kT_0$ . Передающий модуль разработан для совместной работы с выпускаемой в России дисперсионной акустоэлектронной линией задержки в приемном устройстве. Линия задержки обеспечивает рабочую полосу частот 200 МГц, на частоте 700 МГц.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К МЕХАНИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ МЕМБРАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЭМС ИЗ АНОДИРОВАННОГО АЛЮМИНИЯ**

С.А. БИРАН, Д.А. КОРОТКЕВИЧ, А.В. КОРОТКЕВИЧ

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) широко используются в различных технических средствах защиты информации. Важным признаком МЭМС является наличие движущихся частей, предназначенных для активного взаимодействия с окружающей средой. От стандартных механических систем их отличает размер, вследствие чего, материалы применяемые для их изготовления ведут себя иначе, чем в объеме. Перспективным материалом для микроэлектромеханических систем является анодный оксид алюминия. На его основе могут быть изготовлены чувствительные элементы различных датчиков: ускорения, давления, магнитного поля и другие.

В данной работе приведены результаты по исследованию влияния условий получения анодных оксидных пленок и конструктивных параметров на чувствительность мембранных элементов из анодного оксида алюминия к механическим нагрузкам. Конструктивно образцы представляют собой инерционную массу круглой формы, подвешенную на консолях из  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . В качестве материала основания был выбран алюминий марки АОН, толщина которого составляла 0,4 мм. Образцы анодировали с 2-х сторон в 7%-ом растворе щавелевой кислоты в течении 2...4-х часов. После чего осуществляли травление алюминия для получения образцов заданной конфигурации. Конструктивно образцы отличались друг от друга количеством консолей: 2, 3, 4. Для определения чувствительности к механическим нагрузкам измеряли величину прогиба мембран. Максимальный вес нагрузки при измерениях составлял 20 мН. Толщина оксида консолей в полученных образцах варьировалась от 80 до 100 мкм. Установлено, что величина прогиба мембран линейно зависит от приложенной механической нагрузки. При увеличении количества консолей её значение уменьшается. При толщине оксида 90 мкм в конструкции с 2-мя консолями чувствительность составила 58,5 мкм/мН, 3-мя — 14 мкм/мН, 4-мя — 5,5 мкм/мН. Похожая зависимость наблюдается при увеличении толщины оксида. В конструкции с 3-мя консолями при толщине оксида 80 мкм величина прогиба составила 19,5 мкм/мН, при толщине оксида 90 мкм — 14 мкм/мН, при толщине оксида 100 мкм — 9 мкм/мН.

В результате проведения исследований показана возможность варьировать чувствительность консольных элементов к механическим воздействиям посредством изменения конструктивных параметров и режимов анодирования, что позволяет увеличить функциональные возможности изготавливаемых датчиков.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РЕАНОДИРОВАНИЯ НА ОБЪЕМНЫЙ РОСТ ОКСИДА ТАНТАЛА В ПОРЫ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ**

Д.А. КОРОТКЕВИЧ, С.А. БИРАН, О.М. КОМАР, А.В. КОРОТКЕВИЧ

Наноструктурированные слои на основе анодного оксида алюминия находят широкое применение в нано- и оптоэлектронике, оптике, технических средствах защиты информации и в ряде других областей техники. Рядом исследователей установлено, что при пористом анодировании композиции тугоплавкий вентильный металл (ТВМ) — алюминий оксид ТВМ за счет объемного роста проникает в поры  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , в результате чего формируется регулярная столбиковая структура, которую перспективно использовать при формировании наноструктурированных покрытий для устройств оптической обработки информации. Требуемая структура должна иметь большой диаметр столбиков и минимальное расстояние между ними.

В данной работе было исследовано влияние напряжения повторного анодирования на структуру многослойных пленок на основе алюминия и тантала. Для проведения эксперимента, на ситалловые подложки размером 60×48 мм методом вакуумного осаждения наносили многослойную структуру Ta–Al–Ta–Al. Анодирование проводили в две стадии. На первой стадии анодирование проводили в 4%-м растворе ортофосфорной кислоты при напряжении 120 В. После это подложки выдерживали в электролите при напряжении анодирования в течении 30 мин. Повторное анодирование проводили в 1%-м растворе лимонной кислоты при напряжениях от 160 до 240 В. Все образцы анодировали в потенциостатическом режиме. После анодирования проводили травление оксида алюминия в растворе хромового ангидрида и ортофосфорной кислоты в течении 20 мин при температуре 85°C. Исследование поверхности проводили с помощью атомно-силового микроскопа. Полученные образцы имеют столбиковую структуру с диаметрами столбиков