



ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА МЭМС И НЭМС

Л.Раткин / rathkeen@bk.ru

На научной сессии Отделения нанотехнологий и информационных технологий (ОНИТ) Российской академии наук (РАН), состоявшейся 29 февраля 2012 года, рассматривались технологии изготовления и перспективы развития МЭМС и НЭМС.

Выступление заместителя директора по научной работе Физико-технологического института РАН (ФТИАН), члена-корреспондента РАН, д.ф.-м.н. В.Лукичева было посвящено развитию технологии глубокого плазменного травления МЭМС-структур. Представлены методы реактивного ионного травления; обсуждались особенности циклического травления/осаждения; рассматривались также влияние углового распределения ионного потока на профиль канавки и структура материала после травления диоксида кремния. Отмечалось, что полученный трехмерный профиль применим при создании изолирующих структур для актюаторов. Особое внимание уделялось синергетическому действию ионов и УФ-излучения при плазменном травлении фоторезиста, совместному влиянию ионов и нейтральных частиц при травлении полупроводников.

Проблема разработки виброакустических микромеханических систем с волоконно-оптическим информационным каналом затрагивалась в докладе В.Лучинина и А.Сергушичева (ЛЭТИ). Среди достоинств таких систем отмечались их повышенная взрыво- и пожаробезопасность, устойчивость к электромагнитным воздействиям оптоволоконного канала и микрооптомеханического модуля, его миниатюрность, радиационная стойкость, малые потери при распространении сигнала и высокая чувствительность.

В выступлении были представлены схемы и методы оптимизации оптико-механических параметров

волоконно-оптических систем для интерферометрии, основные конструкционные особенности и внешний вид микромембран: плоские из Si_3N_4 , композиционные плоские, деформированные из $\text{AlN}/\text{Si}_3\text{N}_4$, из $\text{SiC}/\text{Si}_3\text{N}_4$ с металлическим зеркалом, гофрированные из Si_3N_4 с металлическим зеркалом, с искусственными концентрическими гофрами (ИКГ) и с самоорганизующимися радиальными гофрами.

Формирование гофрированных структур включает сухое вертикальное или жидкостное изотропное травление кремния с химической полировкой его поверхности на глубину гофра (более 20 мкм) и последующее создание металлизированной области в центре мембраны нанесением "взрывной" литографией пленки нитрида кремния с низким уровнем механических напряжений, глубокое сухое или жидкостное травление подложки до гофрированной пленки Si_3N_4 с разделением пластины на кристаллы. Сообщалось о разработке методики измерения механических характеристик мембран, расчете параметров активной композиционной мембраны с управлением механическим напряжением.

В докладе рассматривались различные модели акустомеханических, микрооптомеханических и комбинированных преобразователей. В разработанных совмещенных оптоволоконных системах аудио- и видеоконтроля устойчивость к электромагнитным воздействиям сочетается с удобством и простотой конструкции и миниатюрностью.

В докладе акад. РАН А.Орликовского и А.Цуканова (ФТИАН) рассматривалось



применение НЭМС в квантовой информатике. В качестве примеров были представлены, в частности, электрод кантилевера и система полосковых SiC-резонаторов с собственными частотами 2-134 МГц, детекторы механического смещения на базе одноэлектронного транзистора или квантового точечного контакта, масс-спектрометры на основе углеродной нанотрубки (вес до 10-24 г) или НЭМС-мостика (вес до 10-21 г).

Для гибридных квантовых систем на базе НЭМС возможно активное и пассивное охлаждение. При охлаждении таких изделий предполагается наличие не только низких температур (19-50 мК), но и высоких частот НЭМС (порядка 1-10 ГГц).

Примером применения НЭМС в квантовом режиме служит измерение состояния кубита с помощью НЭМС-резонатора. Частота НЭМС зависит от состояния кубита, а частотный сдвиг в них рассматривается как функция приложенных полей [1-2]. При взаимодействии НЭМС-резонаторов и кубитов важный компонент системы - дилатационный пьезоэлектрический резонатор (quantum drum) с частотой 6,1 ГГц [3].

Во ФТИАН, отмечающем в 2013 году 25-летие, проводится широкий спектр исследований по созданию на основе субмикронной литографии сверхбольших и сверхскоростных интегральных схем (ИС), математического моделирования технологических процессов, разработки плазменных и вакуумных методов формирования тонких пленок и их микроструктурирования, а также по изучению микроэлектронных приборов субмикронного диапазона.

На научных сессиях ОНИТ РАН рассматриваются различные аспекты развития микро- и нанoeлектронной индустрии. В частности, в докладе акад. А.Орликовского и В.Вьюркова были представлены новые материалы в кремниевых ИС будущих поколений.

СВЧ-системы на кристалле с элементами МЭМС на наногетероструктурах арсенида галлия были темой выступления директора Института сверхвысоко-частотной полупроводниковой электроники РАН, д.т.н., профессора П.Мальцева.

В результате выполнения в соответствии с Федеральной целевой программой "Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на 2008-2015 годы" ряда научно-исследовательских работ для производства систем на кристалле (СнК) в составе антенн, усилителей мощности, МЭМС-коммутатора и фазовращателя осваивались диапазоны 30-40, 71-76 и 90-100 ГГц. Разработаны методы и технологии проектирования СнК (излучатель и усилитель мощности, излучатель и малошумящий усилитель) и МЭМС-переключателей на основе арсенида галлия.

Схема с индивидуальной встроенной антенной для малошумящего усилителя (МШУ) и усилителя мощности (УМ) обеспечивает переход к индивидуальным встроенным антеннам для приемного и передающего трактов. Реализация изделия в виде одной или нескольких монолитных интегральных микросхем способствует снижению потерь между антенной и МШУ, что сокращает шум в приемном тракте и повышает мощность тракта передающего.

В докладе представлены рНЕМТ-структуры для МШУ (одностороннее легирование) и для УМ (двустороннее легирование). Рассматривалась структурная схема МШУ для расчета в САПР фирмы AWR и топологический проект МШУ для электродинамического расчета в САПР фирмы Agilent Technologies. Особое внимание уделялось топологии СнК (МШУ + антенна) размерами 9,5×6,5 мм² для диапазона 5 ГГц и 5,4×6,5 мм² - для 10-12 ГГц. Сообщено о расчете СВЧ - параметров СнК с включением МШУ на 5 ГГц и антенного элемента, об анализе поперечного сечения пластины для пассивных и активных элементов СнК. Представлены установки для построения диаграммы направленности и результаты измерений СВЧ-параметров



В.Лукичев



В.Вьюрков



П.Мальцев



для диапазона 5 ГГц. Согласно полученным данным, потери отражения для рассмотренного диапазона составляют 13 дБ при 5,5 ГГц.

При традиционном методе машинного проектирования СнК, помимо неустойчивой работы схемы на ряде участков полосы частот, в САПР отсутствует возможность численной оптимизации. Предлагаемый метод позволяет анализировать характеристики и оптимизировать работу схемы, в т.ч., посредством введения дополнительной шлейфовой цепи согласования между усилителем и антенной, причем введение диссипативной цепи обеспечивает эффективную работу усилителя.

Современные технологии формирования МЭМС-устройств в виде воздушного моста (ВМ) включают подготовку подложки, формирование нижнего электрода и опор ВМ, пассивацию нижнего электрода, формирование ВМ и "жертвенного" слоя с последующим удалением его и лишнего металла.

В целом в докладах подчеркивалось:

- применение апертурного эффекта обеспечивает формирование МЭМС-структур с заданным трехмерным профилем, также допустимо создание

изолирующих блоков окислением с последующим травлением оксида;

- НЭМС-резонаторы могут применяться в квантовых вычислениях в качестве дополнительных компонентов ряда гибридных систем;
- для повышения характеристик НЭМС и подбора оптимальных конфигураций необходимо исследование свойств и создание новых материалов;
- возможна разработка российских СВЧ СнК на базе арсенида галлия, обеспечивающих передачу сигнала с высоким уровнем мощности.

Литература:

1. **М.Д.КаНайе** et al. Nanomechanical measurements of a superconducting qubit. – Nature, 2009, v.459, p.960.
2. **С.А.Regal** et al. Measuring nanomechanical motion with a microwave cavity interferometer. – Nature Physics, 2008, v.4, p.555.
3. **А.Д.О'Connell** et al. Quantum ground state and single-phonon control of a mechanical resonator. – Nature, 2010, v.464, p.697.

Фото: Л.Раткин

НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ (В 2-х ТОМАХ)

Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М.

Рассмотрены катодный и анодный нагрев токопроводящих материалов в водных растворах электролитов, локальное вскипание электролитов в окрестности электрода с малой поверхностью, формирование сплошной и устойчивой парогазовой оболочки, электрическая проводимость в парогазовой среде, теплофизические и электрохимические аспекты анодного варианта нагрева. Дан критический обзор результатов применения анодного нагрева с целью закалки, нитрозакалки среднеуглеродистых или инструментальных сталей, цементации и нитроцементации конструкционных сталей или железуглеродистых, оксидированию стальных или титановых сплавов. Описаны фазовый состав, структура и эксплуатационные свойства упрочненных материалов. Изложены способы нагрева металлов и сплавов в электролите, режимы обработки, составы электролитов и результаты их практического использования. Предназначены для научных работников, инженеров, а также преподавателей, аспирантов и студентов физических, химических и технических специальностей.

МОСКВА: ТЕХНОСФЕРА,
2011. – ТОМ 1, 2
464 С. + 512 С.
ISBN: 978-5-94836-266-3

1 том:

Цена: 517 р.

2 том:

Цена: 583 р.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

☎ 125319, Москва, а/я 91; ☎ (495) 956-3346, 234-0110; knigi@technosfera.ru, sales@technosfera.ru