

## **КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКИ**

В.В. Кузнецов

В некоторых системах технических средств защиты информации в качестве исполнительных узлов используются механизмы параллельной кинематики. Концепция построения их динамических моделей в настоящей работе основывается на алгоритмизации математических моделей прямой и обратной задач кинематики и реализации на их основе имитационного моделирования в среде MATLAB [1].

При построении динамических моделей механизма в среде MATLAB/Simulink реализованы следующие основные этапы: конфигурирование параметров кинематических звеньев (Body blocks) механизма, при котором для каждого кинематического звена задаются геометрические размеры, положение и ориентация в пространстве, массовые свойства (масса, тензор моментов инерции, координаты центра масс); конфигурирование параметров кинематических пар (Joint blocks), при котором каждая кинематическая пара в системе характеризуется числом степеней свободы, которые она может реализовать, расположением и ориентацией собственных базовых осей; определение функциональных элементов библиотеки пакета Simscape Multibody для представления механической структуры объекта в среде MATLAB/Simulink; разработка функциональной блочно структуры рассматриваемого механизма параллельной кинематики в соответствии с его кинематической топологией; анализ, выбор и включение в блок-схему модели функциональных элементов управления.

Разработанная компьютерная модель динамики позволяет выполнить решение прямой и обратной задач динамики с интерактивной визуализацией пространственных состояний всех подвижных звеньев при реализации прецизионных программируемых движений.

### **Литература**

1. Карпович, С.Е. Имитационное моделирование кинематики системы перемещений с интерактивной визуализацией результатов / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, М.М. Форулан // Докл. БГУИР – Минск, 2016. – №. 3. – С 22–28.

## **СВЧ-СВОЙСТВА ОДНОДОМЕННЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ, СОЕДИНЕННЫХ УГЛЕРОДНОЙ НАНОТРУБКОЙ**

А.В. Кухарев

В настоящее время большое внимание уделяется исследованиям радиопоглощающих и экранирующих свойств наноразмерных структур и нанокомпозитов, в особенности на основе углерода и ферромагнитных материалов (кобальт, железо, никель) [1]. Настоящий доклад посвящен СВЧ-свойствам структур на основе многостенных полупроводниковых углеродных нанотрубок с внешним диаметром 20–30 нм, с обоих концов которых осаждены магнитные наночастицы железа, либо внедрены во внутренний канал нанотрубки. Таким образом, размеры прикрепленных к нанотрубке ферромагнитных частиц не превышают 30 нм, и их состояние является однодоменным [2].

Поскольку длина нанотрубки составляет порядка сотни нанометров, то влияние дипольного момента одной ферромагнитной частицы на другую пренебрежимо мало. Между тем связь между частицами возможна за счет косвенного обменного взаимодействия через электроны проводимости нанотрубки. Расчеты на основе РККИ-модели показывают, что за счет большой величины спин-орбитального взаимодействия в полупроводниковой нанотрубке расстояние косвенного обменного взаимодействия может достигать 100 нм и выше.

Результаты моделирования намагниченности частиц железа в приближении «макроспина» показывают, что наличие косвенного обменного взаимодействия между частицами железа посредством электронов проводимости нанотрубки приводит к сдвигу частоты ферромагнитного резонанса. Поскольку энергия обменного взаимодействия осциллирует с увеличением расстояния, то сдвиг частоты зависит от длины нанотрубки, соединяющей ферромагнитные частицы, и может быть как в сторону увеличения, так и

уменьшения. В совокупности для массива рассматриваемых наноструктур характерно увеличение ширины полосы резонансного поглощения за счет вклада косвенного обменного взаимодействия между ферромагнитными частицами.

### **Литература**

1. Excellent microwave absorption property of Graphene-coated Fe nanocomposites / X. Zhao [et al.] // Scientific Reports. 2013. Vol. 3. P. 3421.
2. Impact of CNT medium on the interaction between ferromagnetic nanoparticles / A.L. Danilyuk [et al.] // EPL. 2017. Vol. 117. P. 27007.

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ИНИЦИИРОВАНИЕ РЕАКЦИЙ БЫСТРОГО ОКИСЛЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КРЕМНИЯ**

С.К. Лазарук, А.В. Долбик, А.С. Сычевич, В.А. Лабунов

В настоящее время большинство информации хранится в цифровом виде на электронных накопителях, представляющих собой микросистемы с чипами памяти. Одним из возможных вариантов защиты таких накопителей, является разрушение их микросхем при несанкционированном доступе. Для этих целей может применяться пористый кремний совместно со стандартной кремниевой К-МОП технологией изготовления ИС. Наноструктурированный пористый кремний, пропитанный твердотельным окислителем, демонстрирует процессы горения, что может быть использовано в саморазрушающихся системах.

Установлены закономерности инициирования реакций быстрого окисления наноструктурированного кремния при помощи электрического тока, протекающего через алюминиевые дорожки, контактирующие с исследуемым материалом. Установлены пороговые плотности электрического тока, обеспечивающие разогрев металлических дорожек до необходимых температур. Разработана микросистема электрического инициирования, обеспечивающая разрушение кремниевого чипа за счет реакции быстрого горения наноструктурированного кремния. Проведенные испытания показали, что для исследуемой системы необходимо использование пассивирующего покрытия пористого слоя, предотвращающего воздействие атмосферной влаги, что в конечном счете обеспечивает повторяемость полученных результатов.

Полученные результаты могут быть использованы при изготовлении саморазрушающихся кремниевых чипов и МЭМС, использующих энергию горения наноструктурированного кремния для перемещения в пространстве.

## **ЛАВИННЫЕ СВЕТОДИОДЫ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КРЕМНИЯ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ В ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ**

С.К. Лазарук, А.А. Лешок, Ле Динь Ви, А.С. Сычевич, В.И. Грицков

Оптические межсоединения обладают рядом преимуществ в сравнении с электрическими аналогами. Главные преимущества – это высокое быстродействие и высокая степень защиты при передаче информации за счет локализации информационного потока внутри световодов, соединяющих источники светового сигнала (светодиоды) и фотоприемника.

Нами разработана система оптических межсоединений на основе лавинных светодиодов, содержащих наноструктурированный кремний. Световой сигнал передается через планарные световоды из анодного оксида алюминия к фотоприемникам, чувствительным к оптическому сигналу видимого диапазона. Вся разработанная система изготовления по кремниевой технологии и может быть интегрирована в процесс изготовления кремниевых ИС.

Особое внимание уделено стабилизации оптических и электрических свойств наноструктурированного кремния, что позволило достичь 1000 часов непрерывного светоизлучения без заметного деградирования интенсивности оптического сигнала.

Разработанная система способна работать в гигагерцевом диапазоне, что открывает новые возможности для кремниевой интегральной электроники.