

абстракции современные компактные модели реализуются с использованием языка описания аппаратуры Verilog-A.

#### **Литература**

1. Денисенко, В. В. Компактные модели МОП-транзисторов для SPICE в микро- и нанoeлектронике / В. В. Денисенко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 408 с.

### **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СРЕДЫ НА РАДИОЭКРАНИРУЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ВЛАГОСОДЕРЖАЩЕГО КЕРАМЗИТА**

С.Э. Саванович, В.Б. Соколов, М.В. Русакович

Для снижения заметности наземных объектов в радиолокационном диапазоне длин волн применяются радиопоглощающие покрытия (РПП), на которые в процессе их эксплуатации воздействуют климатические факторы, поэтому актуальным является проведение испытаний радиопоглощающих покрытий на воздействие таких факторов.

Для проведения испытаний использовалось РПП (толщина 4 мм) на основе влагосодержащего керамзита с размерами фракций 1...2 мм, в поры которого введен 20% водный раствор хлорида натрия с натриевой солью карбоксиметилцеллюлозы.

Испытания радиопоглощающего покрытия проводили на воздействие пониженной температуры среды в диапазоне  $-50...-10^{\circ}\text{C}$ , при постепенном ее изменении в течение пяти циклов. Первый цикл испытаний проводился при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$ , время выдержки для каждого цикла составляло 2 ч, после каждого цикла испытаний выполнялись измерения коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения (ЭМИ) в диапазоне частот 2...17 ГГц. Испытания РПП проводились в камере тепла и холода в соответствии с ГОСТ 30630.2.1-2013 (метод 203-1). Временная нестабильность поддержания заданной температуры в установившемся режиме составляла  $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ , погрешность контроля заданной температуры  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .

В результате испытаний установлено, что коэффициенты отражения и передачи ЭМИ РПП при воздействии пониженной температуры среды в диапазоне  $-50...-10^{\circ}\text{C}$  снижаются на 2...3 дБ.

### **ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИМС С НАНОМЕТРОВЫМИ РАЗМЕРАМИ ЭЛЕМЕНТОВ**

В. Р. Стемпицкий, А. М. Боровик

Непрерывное уменьшение геометрических размеров элементов ИМС, применение новых конструктивных решений и материалов при их производстве сопровождается появлением новых физических эффектов, механизмов генерации и транспорта носителей заряда в приборах, изготовленных с нанометровыми проектными нормами, что должно быть учтено в процессе моделирования. Точность модели и эффективность вычислений являются двумя противоположными требованиями, приводящими к иерархии моделей. Существует, однако, общая тенденция предъявлять более жесткие требования к физической обоснованности моделей, которые должны корректно описывать новые физические эффекты, в том числе паразитные эффекты, взаимные влияния между соседними элементами ИМС, обладать достаточной предсказательной способностью и в меньшей степени нуждаться в калибровке при переходе к новым проектным нормам. Важное требование, необходимое в области компьютерного моделирования, состоит в интеграции, причем не только отдельных процессов, технологии, приборов, ИМС, топологии, но также и различных уровней описания. В связи с уменьшением размеров элементов ИМС значительным становится учет статистических параметров, разброса технологических параметров и приборных характеристик на локальном и глобальном уровне. Существует необходимость повышения быстродействия компактных моделей и улучшения сходимости итерационных процессов в инструментах моделирования [1]. Таким образом, актуальна задача создания новых и

адаптации уже существующих физико-математических моделей для применения их в стандартных средствах проектирования изделий микро- и нанoeлектроники при переходе к новым проектным нормам, конструктивным решениям и материалам.

#### **Литература**

1. International Technology Roadmap for Semiconductors: 2013 (ITRS) [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.itrs.net/reports.html>.

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И СОЗДАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ЭМИ**

В.А. Столер, Д.В. Столер

В последнее время все чаще при решении разнообразных задач используется трёхмерная графика — раздел компьютерной графики, рассматривающий совокупность приемов и инструментов, предназначенных для моделирования сложных объектов, например, защитных экранов ЭМИ и создания их реалистичных физических образов.

Компьютерных программ, позволяющих моделировать объекты виртуальной реальности с использованием трехмерной графики достаточно много. Среди наиболее известных можно назвать такие программные продукты как 3D Studio Max, Maxon Cinema 4D, Maya, ZBrush, Lightwave 3D, Creo Parametric.

Использование трёхмерных технологий является предпочтительным из-за реалистичности трёхмерных изображений и возможности создания на их основе физических объектов любой формы и сложности — как одного из важнейших факторов, оправдывающих их выбор на пути проектирования новых изделий. Для получения трёхмерного реалистичного изображения (образа) требуются определенные шаги: моделирование, рендеринг (визуализация), преобразование в специальный формат, вывод полученного изображения на принтере.

Для создания физических объектов перспективной в настоящее время можно назвать трехмерную технологию печати с использованием 3D принтеров. Предлагается использовать технологию послойного (100–500 мкм) изготовления с помощью принтера CubeX изделий сложной формы в виде матриц с набором гранных поверхностей в виде тетраэдров, октаэдров, икосаэдров для последующего создания на их основе многослойных композиционных защитных экранов ЭМИ. Максимальная площадка для печатания имеет размеры 27×27×27 см. Время получения изделий — от 2 до 15 ч.

Необходимо отметить, что уже сейчас трехмерные технологии с применением 3D принтеров становятся неотъемлемым атрибутом нашей жизни, когда изделия изготавливаются не на предприятиях, а «печатаются» почти в домашних условиях.

### **МАЛОГАБАРИТНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА**

А.А. Старовойтов, А.А. Тамело

Терагерцовое излучение занимает в шкале электромагнитных волн диапазон между инфракрасным излучением и радиочастотами гигагерцового диапазона, используемого в мобильной связи. До сих пор терагерцовое излучение не находило широкого применения.

Потребности развития беспроводной связи заставили ученых обратить внимание на этот диапазон спектра. В настоящее время проводятся работы по применению терагерцовых частот аналогичным технологиям на основе Bluetooth и для систем локальной беспроводной связи. В этой связи необходимо для защиты таких систем разработка экранов и источника электромагнитного излучения для их испытаний.

В докладе рассматриваются вопросы создания малогабаритной установки для испытания экранов электромагнитного излучения терагерцового диапазона. Приводится описание структурной схемы на основе уникальной элементной базы. Рассмотрены вопросы