

накоплением заряда. Выбор требуемого частотного канала крупной сетки частот обеспечивается коммутатором. Средняя сетка частот формируется путем деления частоты одной из спектральных составляющих крупной сетки частот. Мелкая сетка частот формируется синтезатором DDS. Требуемая частота выходного сигнала формируется путем суммирования одной из спектральных составляющих каждой сетки частот. Разработанный синтезатор частот позволяет обеспечить диапазон рабочих частот более 2 ГГц; время перестройки частоты выходного сигнала  $0.3 \cdot 10^{-6}$  секунды; шаг сетки частот менее 1 МГц; уровень побочных излучений, менее  $-70$  дБ; спектральную плотность мощности фазовых шумов выходного сигнала  $-105$  дБс/Гц @ 1кГц. Объем синтезатора частот при отсутствии средств виброзащиты не превышает  $1.5 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ СТРУКТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОНОСЛОЯ ГРАФЕНА**

В.В. Муравьев, В.Н. Мищенко

Рассмотрены вопросы моделирования основных параметров и характеристик транзисторных структур с использованием монослоя графена. Высокая подвижность носителей заряда (максимальная подвижность электронов среди всех известных материалов) и другие его свойства делают графен перспективным материалом для использования в самых различных приложениях, в частности, широкого применения в интегральных приборах и микросхемах. Разработан алгоритм моделирования, составлена и отлажена программа численного моделирования методом Монте-Карло. Для моделирования использовался многочастичный метод Монте-Карло совместно с решением уравнения Пуассона для трехмерной области приборной структуры. На основе метода статистического моделирования проведены исследования основных механизмов рассеяния при переносе носителей заряда в полупроводниковых приборах на основе графена. Получены зависимости частот рассеивания от энергии поля при рассеивании на полярных оптических фононах, на примесях, при акустическом рассеянии, при электрон-электронном рассеивании, а также суммарная зависимость по всем механизмам рассеивания. Установлено преобладание электрон-электронного рассеивания над другими видами рассеивания в области умеренных величин энергии поля. Исследованы закономерности физического процесса переноса носителей заряда в слое графена, а также в объемной области полупроводниковой структуры, для создания которой используются соединения группы карбида кремния, и в частности, типа 4H-SiC. Исходя из полученных результатов моделирования, выработаны рекомендации по формированию и совершенствованию технологии формирования приборов с улучшенными выходными параметрами в диапазонах СВЧ и КВЧ. Использование исследованных приборных структур со слоями графена позволит создать транзисторы, которые найдут применение в системах обнаружения сигналов и их обработки на крайне высоких частотах.

## **ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК TiO<sub>2</sub> И ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКРАНОВ ЭМИ НА ИХ ОСНОВЕ**

Дэйвис Исаиас Пеньялоса Овальес, М.В. Тумилович

Исследовались образцы экранирующих материалов на основе абразивного зерна электрокорунда, который представляет собой кристаллический оксид алюминия, искусственно получаемый в результате переплавки глинозема и глинозем-содержащего сырья непрерывным способом в дуговых печах с последующей кристаллизацией вещества. Электрокорунды принято подразделять в зависимости от процентного содержания глинозема в составе абразива и технологии производства. Чем больше в электрокорунде содержится окиси алюминия, тем тверже, прочнее и белее по цветовой характеристике получаемое корундовое абразивное зерно.

Для получения наполнителей с проводящими и диэлектрическими свойствами использовались дополнительные компоненты (30 % масс. содержания) в виде добавок диоксида титана (TiO<sub>2</sub>), характеризующегося диэлектрическими свойствами и технического углерода, представляющий собой высокодисперсный аморфный наноматериал с поглощающими свойствами. Для реализации поставленной цели были сформированы образцы экранов ЭМИ в виде сухих смесей толщиной 5 мм. Для исследования экранирующих характеристик

сформированных образцов для экранов ЭМИ использовались панорамные измерители КСВН и ослабления. Измерения проводились в диапазоне частот 8,0...11,5 ГГц после проведения стандартных калибровок на прохождение и отражение.

Результаты измерений показали, что образцы на основе электрокорунда обеспечивают ослабление ЭМИ в диапазоне 8...12 ГГц порядка 4...5,5 дБ при коэффициенте отражения порядка -6...-8 дБ (в режиме короткого замыкания порядка -8...-9 дБ). При добавлении диоксида титана в основной состав экранирующего материала ослабление ЭМИ составляет порядка 3...5 дБ при коэффициенте отражения в пределах -6...-7,5 дБ (-10 дБ в режиме короткого замыкания). Использование технического углерода в качестве проводящего компонента позволило увеличить значение ослабления до 8...9 дБ при коэффициенте отражения -3...-5 дБ (-5...-9 дБ в режиме короткого замыкания).

Полученные результаты позволяют рекомендовать разработанные порошковые композиты для электромагнитного экранирования СВЧ-источников, обеспечения экологической защиты пользователей ПК, обслуживающего персонала медицинских и промышленных установок.

## **ЭКРАНИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Т.М. Печень, А.М. Прудник

В настоящее время на рынке стройматериалов представлены различные виды утеплителей, которые кроме теплоизоляционной функции выполняют еще и декоративную. Термопанели из пенополиуретана с клинкерной плиткой являются достаточно популярными в своём классе. Ультрафиолетовое излучение является одним из факторов, который может не только изменять внешний вид таких материалов, но и ухудшать их свойства в процессе эксплуатации.

Для обеспечения защитных свойств от излучения в диапазоне длин волн 200...400 нм необходимо наносить дополнительный слой светопоглощающей краски толщиной 100...200 мкм [1]. Клинкерная плитка изготавливается из керамики, как правило, толщиной 7...15 мм. Для улучшения показателей надёжности, стойкости и прочности можно использовать каолин как связующий материал.

В качестве заменителя утеплителей из полипропилена с клинкерной плиткой может выступить зернистая декоративная штукатурка с акриловым связующим. Компонентами такой штукатурки являются цветной песок и прозрачная акриловая дисперсия (20%) в качестве связующего с некоторыми технологическими добавками.

Однако, пенополиуретан обладает хорошими клеящими свойствами [2]. Показана возможность исключения акрилового связующего и нанесения цветного декоративного наполнителя на внешний слой полиуретановой пены, что позволило существенно снизить стоимость материала.

### **Литература**

1. Qin J., Qu J., Song J.R., Song Z.N., Zhang W.D., Shi Y.X., Zhang T., Xue X., Zhang R.P., Zhang H.Q., Zhang Z.Y., Wu X. The optical properties of black coatings and their estimated cooling effect and cooling energy savings potential // Journal of Power and Energy Engineering. 2014. Vol. 2. P. 68–75.
2. Witkiewicz W., Zielinski A. Properties of The Polyurethane (PU) Light Foams. Advances in Materials Science, Vol. 6, No. 2 (10), October 2006.

## **ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ПРОВОДЯЩИХ КАНАЛОВ ПРИ ОБРАТИМОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПРОБОЕ НАНОСТРУКТУРЫ С ДИОКСИДОМ ГАФНИЯ**

Д.А. Подрябинкин

В настоящее время активно исследуются наноструктуры с оксидными диэлектриками для устройств резистивной памяти с произвольным доступом (RRAM). В настоящей работе анализируется механизм формирования метастабильного состояния диоксида гафния в проводящих токовых каналах (филаментах), состоящий в сильном разогреве вплоть до