

имеет дело с образованием связанных объектов (кластеров) в неупорядоченных средах. Кластер, соединяющий две противоположные стороны системы, является бесконечным (или перколяционным). Доля заполнения модельного объема сферами, при котором вероятность возникновения перколяционного кластера равна 0.5, называется порогом перколяции. Ниже порога перколяции процесс ограничен конечной областью среды (существуют только кластеры конечного размера) [1].

Моделирование предлагается осуществлять в несколько этапов:

- синтез случайной структуры полидисперсной системы с использованием внеячейной модели случайного размещения частиц без перекрытия [2];
- идентификация кластерной структуры – распределение сферических частиц по кластерам по факту определения связности между отдельными частицами;
- определение характеристик кластеров и выявление перколяционного кластера, если он существует.

На базе имитационного моделирования по результатам достаточно большого количества вычислительных экспериментов при различных значениях исходных параметров – гранулометрического состава, толщины оболочки, процента заполнения модельного куба сферическими частицами – можно определить характеристики связности частиц и выявить зависимость этих характеристик от каждого из перечисленных параметров. Поскольку главной интегральной характеристикой связности, с точки зрения перколяции, является вероятность возникновения перколяционного кластера, имитационное моделирование позволит не только определить искомое значение максимально допустимого коэффициента заполнения (для заданного гранулометрического состава и конкретного значения толщины оболочки), но и выявить зависимость порога перколяции от: гранулометрического состава дисперсной фазы при неизменном значении толщины оболочки; толщины оболочки при неизменном гранулометрическом составе дисперсной фазы.

Вывод: Анализ связности оболочек в случайном размещении сферических частиц по-прежнему остается актуальной задачей, решение которой позволит определить максимально допустимый коэффициент заполнения полидисперсной системы, а применительно к задаче оптимизации состава бетонной смеси – исследовать проницаемость по транзитным зонам с позиции их конфигурационной связности, зависящей от количества и гранулометрического состава заполнителя.

Список цитированных источников

1. Федер, Е. Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 262 с.
2. Разумейчик, В.С. Стохастическая структурно-фазовая модель гидратирующих цементных систем: автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н.: 05.23.05. – Брест: БрГТУ, 2012. – 25 с.

УДК 621.382.037.37

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗНЫХ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ

Лапич С.В.

Брестский государственный технический университет, г. Брест

Научный руководитель: Дереченник С.С., к.т.н., доцент

Современные тенденции к расширению областей применения приборов твердотельной электроники обуславливают необходимость их эксплуатации в более жестких условиях: химически агрессивные среды, повышенные рабочие температуры, постоянно

возрастающие требования к надежности и стабильности приборов, радиация. Полупроводниковый алмаз, который обладает уникальным набором физических свойств, является исключительно ценным материалом для создания элементной базы нового поколения, в том числе полупроводниковых терморезисторов с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления.

Исходными данными для исследований полупроводниковых приборов явились: конструкторская документация на терморезисторы, предусматривающая использование металлокерамических корпусов типа КД-3 и КД-34 по ГОСТ 18742-88; технические спецификации на материалы деталей корпуса, общие характеристики технологического процесса. Цель работы – исследовать механические эффекты в контактной системе «кристалл-вывод» в условиях динамического теплового нагружения. Основные задачи исследования были обусловлены рядом принципиальных особенностей данных терморезисторов. Во-первых, электрическое соединение чувствительного элемента (кристалла синтетического алмаза) с выводами терморезистора осуществляется, как правило, методом сварки, т.к. непосредственная пайка металлических выводов к поверхности алмаза затруднена. Сварное соединение, по сравнению с паяным, обладает большей механической жесткостью, поэтому при эксплуатации прибора в широком диапазоне температур механические деформации конструкции могут нарушить целостность электрического контакта «кристалл-вывод». Поэтому помимо задачи теплопроводности, необходимо решить задачу термоупругости, с тем, чтобы определить механические напряжения и деформации в деталях конструкции терморезистора. Во-вторых, применение терморезисторов в качестве датчиков температуры, например в термоанемометрах, тесно связано с требованиями по быстродействию, т.е. снижению тепловой инерционности корпуса приборов. Следовательно, требовалось определить параметр тепловой постоянной в цепи корпус-кристалл, что достигается решением нестационарной задачи теплопроводности. Отраслевой стандарт определяет тепловую постоянную кристалл-корпус как время, в течение которого температура кристалла достигает 63.2% от установившегося значения при разогреве мощностью рассеяния с постоянной температурой корпуса [1].

В результате анализа конструкций приборов в аналитическом виде была разработана нестационарная тепловая модель терморезисторов в осесимметричных (цилиндрических) корпусах. Модель выражена в виде дифференциального уравнения теплопроводности в полярных координатах, а для анализа температурных деформаций конструкции – в виде связанного дифференциального уравнения теплопроводности в векторной форме [2, 3].

Решение нестационарной тепловой задачи (определение тепловой постоянной) и связанной квазистатической задачи термоупругости (определение механических деформаций и напряжений) эффективно выполнено численными методами с использованием компьютерного моделирования. Для исследования использован специализированный пакет компьютерного моделирования Comsol Multiphysics версии 3.5a, в котором созданы геометрические модели конструкций прибора, заданы граничные и краевые условия, определены теплофизические параметры материалов деталей корпуса. Это позволило добиться высокой точности решения, а также наглядно визуализировать результаты.

В результате анализа динамики нагрева (охлаждения) терморезистора найден параметр «тепловая постоянная корпус-кристалл», величина которого, при изменении температурного перепада в диапазоне от 10°C до 150°C, находится, соответственно, в пре-

делах 16,7...18,7 с (корпус КД-3) и 9,5...9,7 с (КД-34). Для анализа деформационных характеристик конструкции расчетная модель была модифицирована за счет исключения из рассмотрения несущественных элементов (внешних проволочных выводов, воздушного промежутка внутри корпуса), а также рассмотрения лишь аксиальных деформаций (смещений), наиболее существенных с точки зрения обеспечения контакта держателей с термочувствительным кристаллом. В результате численного моделирования определено, что при крайних температурах 300°C и минус 200°C величина промежутка между выводами-держателями корпуса КД-3 может увеличиваться на 0,012...0,014 мм (при нагреве корпуса) или уменьшаться примерно на 0,01 мм (при охлаждении корпуса). Для корпуса КД-34 аналогичные показатели составляют соответственно 0,0055 и минус 0,0045 мм. Показано, что быстрый (со скоростью 15 и более градусов в секунду) нагрев / охлаждение до крайних температур сопровождается возникновением в элементах корпуса недопустимо больших механических напряжений, которые с высокой вероятностью приведут к разрушению конструкции.

Работа выполнена в рамках научно исследовательской работы, которая является составной частью ОКР «Разработка и освоение серийного производства серии терморезисторов на основе монокристаллов синтетического полупроводникового алмаза».

Список цитированных источников

1. Микросхемы интегральные и приборы полупроводниковые. Методы расчета, измерения и контроля теплового сопротивления: Отраслевой стандарт: ОСТ 11 0944-96 / Государственное научно-производственное предприятие «Пульсар». – Введ. 01.01.1997. – Москва, 1997. – 110 с.
2. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
3. Карташов, Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел / Э.М. Карташов. – М.: Высшая школа, 1985. – 480 с.

УДК 681.3

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Максимук С.В.

*Брестский государственный технический университет, г. Брест
Научный руководитель: Муравьев Г.Л., к.т.н., доцент*

Целью работы является разработка элементов специализации системы имитационного моделирования GPSS World для обеспечения пользователям возможности проведения моделирования в рамках привычной предметной области и понятийного аппарата сетей массового обслуживания. При разработке использованы: методы имитационного моделирования дискретных систем; аппарат теории массового обслуживания; объектно-ориентированный подход, методы каркасного программирования и автоматической генерации программ.

При моделировании объектов стохастическими сетевыми моделями необходимо имитировать законы распределения случайных величин, описывающих как характер поступления заявок в сеть, так и параметры обслуживания заявок в сети. При этом могут использоваться как известные, аналитические, так и произвольные законы распределений. Кроме этого, в сети могут использоваться «управляемые» узлы (источники заявок, обслуживающие узлы с переменными законами функционирования); узлы функционирующие по «расписанию»; узлы, отличающиеся нестационарным поведением, и т.п.