УДК 621.382.037.37/.049.77:538.953-405:53.07

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

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В КОНТАКТНОЙ СИСТЕМЕ «КРИСТАЛЛ-ВЫВОД» СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗНЫХ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ

Современные тенденции к расширению областей применения приборов твердотельной электроники обусловливают необходимость их эксплуатации в более жестких условиях (повышенные рабочие температуры, химически агрессивные среды, радиация, постоянно возрастающие требования к надежности и стабильности приборов). Полупроводниковый алмаз, обладающий уникальным набором физических свойств (наибольшая величина сил химической связи, широкая запрещенная зона, рекордные значения механических и оптических свойств, теплопроводности), является исключительно ценным материалом для создания элементной базы нового поколения, в том числе полупроводниковых терморезисторов с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления [1].

В Республике Беларусь разработкой и освоением серийного производства терморезисторов на основе монокристаллов синтетического полупроводникового алмаза занимается Частное научно-исследовательское унитарное предприятие «СКБ Запад». Конструкция разрабатываемых данным предприятием приборов предусматривает использование металлостеклянных корпусов типа КД-3 и КД-34 по ГОСТ 18742-88. Исходными данными для исследований явились: конструкторская документация на терморезисторы; технические спецификации на материалы деталей корпуса, общие характеристики технологического процесса, оборудования и оснастки для сборки приборов.

Цели работы – исследовать механические эффекты в контактной системе «кристалл-вывод» в условиях динамического теплового нагружения, разработать рекомендации по обеспечению стабильности контактов «кристалл-вывод» терморезисторов в металлостеклянных корпусах КД-3, КД-34. 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 [2].

В результате анализа конструкции приборов была в аналитическом виде разработана нестационарная тепловая модель терморезисторов в осесимметричных (цилиндрических) корпусах обоих типов. 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 [3, 4].

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. Это позволило добиться высокой точности решения, а также наглядно визуализировать результаты. Для исследования использован специализированный пакет компьютерного моделирования FEMLAB версии 3.5a, в котором созданы геометрические модели конструкций прибора, изображенные на рисунке 1, заданы граничные и краевые условия, определены теплофизические параметры материалов деталей корпуса [5].

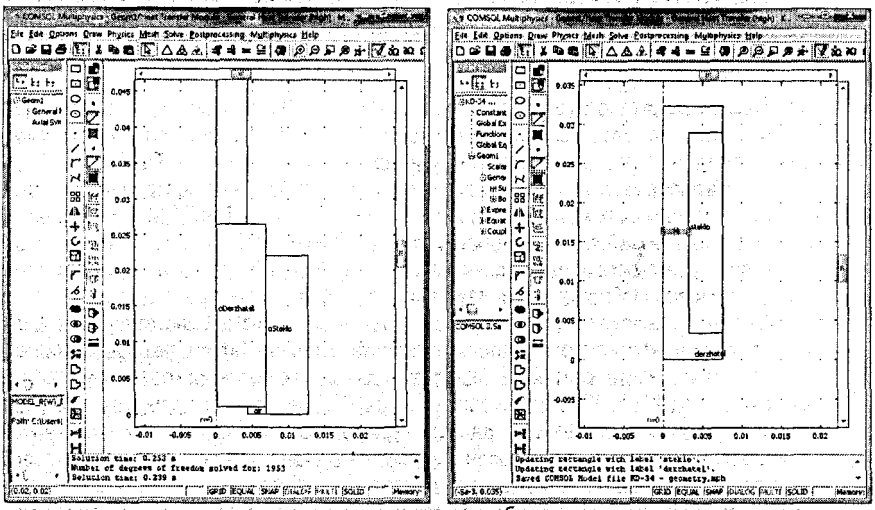

Рисунок 1 – Геометрические модели конструкции терморезистора в корпусе типа КД-3 (а) и КД-34 (б)

В результате анализа динамики нагрева (охлаждения) терморезистора найден параметр «тепловая постоянная корпус-кристалл», величина которого, при изменении температурного перепада в диапазоне от 10 °С до 150 °С, находится, соответственно, в пределах 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°С и минус 200°С 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. На основе полученных результатов были сформулированы конструкторско-технологические рекомендации по обеспечению стабильных термомеханических контактов «кристалл-вывод».

Список цитированных источников

1. Быстродействующие терморезисторы из синтетических монокристаллов алмазов / В.С. Бормашов [и др.] // Приборы и техника эксперимента. – 2009. – № 5. – С. 134–139.
2. 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.
3. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
4. Карташов, Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел / Э.М. Карташов. – М.: Высшая школа, 1985. – 480 с.
5. Support Knowlede Base [Electronic resource] / COMSOL, Inc. – 2007. – Mode of access: http://www.comsol.com/support/

УДК 004.94

Латий О.О.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Хведчук В.И.

ЭЛЕМЕНТЫ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ТОКА КРОВИ

Введение. При моделировании жидкости с помощью метода конечных элементов особое внимание уделяется трехмерным задачам, в том числе и с подвижными границами. Рассматриваются методы перестроения разбиения области для учета изменения области, занятой жидкостью. Среда описывается с помощью разбиения расчетной области на конечные элементы – носители базисных функций. Идея метода заключается в минимизации функционала вариационной задачи на совокупности аппроксимирующих функций, каждая из которых определена на своем носителе.

Обзор задачи. Одной из важных проблем современной медицины является лечение расстройств мозгового кровообращения. Данная патология является одной из основных причин смертности населения развитых стран. Смертность от инсульта составляет до 20% от общей летальности, уступая лишь смертности от заболеваний сердца и опухолей всех локализаций.

Исходя из вышеизложенного, представляется чрезвычайно актуальным создание компьютерной модели кровотока в русле артерии с последующим прогнозированием его изменений в естественном состоянии и в ходе возможного лечения.

Таким образом, целью данной работы является исследование тока крови в области разделения сонной артерии человека на две ветви одинакового калибра, отходящие в стороны под одинаковыми углами в предположении, что стенки артерии являются идеально жесткими. Место деления артерии является наиболее уязвимым местом для поражения. Строение сосуда представлено на рис. 1.

Модель. Для описания движения жидкости решаются уравнения Навье-Стокса для несжимаемой жидкости, они решаются совместно с линейно-упругой моделью стенок сосудов. Сложная форма расчетной области задается с помощью неструктурированной динамической сетки, подвижное окно с частично разнесенной подвижной сеткой позво-