

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ

Гейфман Е.М., Сурин Б.П., Зинкин С.Д.
ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск
ЗАО НПК «Электровыпрямитель», Саранск
Тел.: +7(834-2) 290669. E-mail: surin_bp@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты моделирования в САПР сопротивления тела высокотемпературного нагревателя для отжига карбида кремния после ионного легирования.

Ключевые слова: моделирование, сопротивление, нагреватель.

Annotation. The results of modeling body resistance of high-temperature heater for silicon carbide.

Keywords: simulation, resistance, heater.

Постановка задачи

В настоящее время на ОАО «Электровыпрямитель» идет подготовительная работа к началу производства силовых полупроводниковых приборов на основе нового полупроводникового материала – карбида кремния. Этот полупроводник имеет большую ширину запрещенной зоны, высокую подвижность электронов, большое напряжение пробоя, высокую теплопроводность, и поэтому замечательно подходит для созданию на его основе силовых приборов, как правило, работающих при высоких температурах и больших приложенных напряжениях [1].

Недостатком материала, с точки зрения технологии изготовления приборов, является то, что из большой энергии связи между атомами в нем практически не происходит диффузия примесей. Так что практически единственными технологическими приемами становятся наращивание эпитаксиальных пленок и ионное легирование. На ОАО «Электровыпрямитель» создается полный цикл производства приборов от получения монокристаллического карбида кремния до изготовления силовых модулей для конкретных потребителей.

Поскольку в мире нет еще общеупотребительной (и, естественно, общеизвестной) оснастки для производства, многие задачи приходится решать самостоятельно. Одна из таких задач является следствием того, что ионное легирование полностью разрушает кристаллическую решетку материала в приповерхностном слое, внедренные атомы примеси находятся в случайных положениях и являются электрически неактивными. Для активации имплантированной примеси и восстановления кристаллическости решетки используется отжиг, который в случае карбида кремния должен производиться при температурах до 1800⁰С.

Для проведения отжига карбида кремния создается высокотемпературная печь, в которой будет использован прямой нагрев посредством пропускания тока через графитовый нагреватель. Естественно, появляется задача определить геометрию нагревателя, а затем и определить его сопротивление для выбора системы питания.

В качестве геометрии нагревателя выбран цилиндр с вырезами для обеспечения равномерного протекания тока по всей площади цилиндра. На рис.1 показан вид нагревателя.

Его сопротивление можно определить с помощью аналитических формул, однако точность такого расчета будет невысокой из-за того, что ток не идет равномерно по всей площади нагревателя. В «углах» конструкции плотность тока будет ниже, чем в «плоской» части. Мы оцениваем погрешность аналитического расчета как не ниже 20%. Мы попытались точнее рассчитать сопротивление моделированием протекания тока.

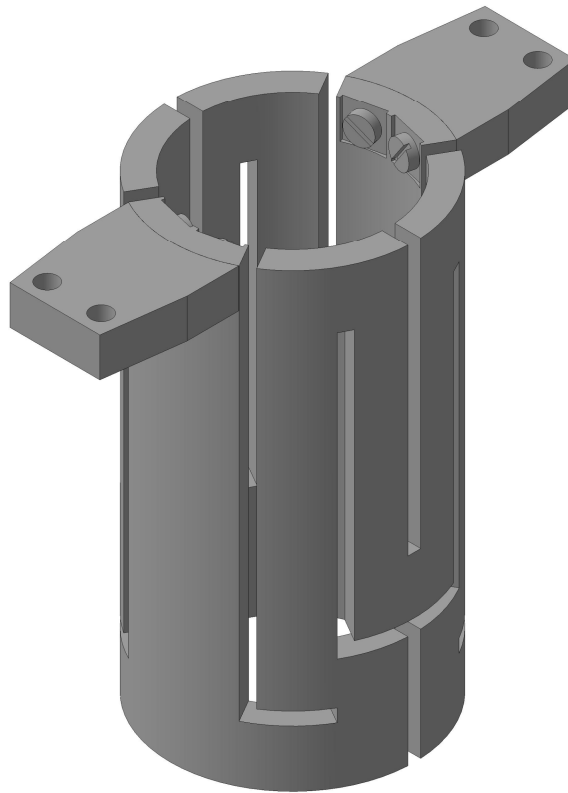


Рис. 1. Чертеж нагревателя.

Построение модели геометрии нагревателя

Для создания модели геометрии нагревателя был использован такой инструмент системы как DEVISE, который, среди всего прочего позволяет разрабатывать трехмерные модели приборов и обладает для этого удобным набором команд и интерфейсом.

Собственно, для создания модели были использованы три команды из всего набора имеющихся. Это:

- создание плоского прямоугольника заданного материала. Кстати, в программе возможно создание прямоугольников только в плоскости XY. Размеры прямоугольников задавались вручную, равными сечению создаваемой части прибора. При создании прямоугольника мы получаем идентификатор его;
- операции поворота. Они могут производиться для любого элемента модели. Мы уже отмечали, что прямоугольники создаются только в одной плоскости. Поворотами добивались перемещения в заданное место конструкции;
- операция **sweep**. Это слово можно перевести как «гнуть в дугу; изгибать» или «изгиб; поворот». Мы еще не решили, какое слово точнее отражает суть операции. Пример такой операции:

(isegeo:sweep (entity 23) (position 0 0 0) (gvector 0 1 0) (sweep:options "solid" #t "sweep_angle" -60 "rigid" #f "miter_type" "default"))

- здесь **isegeo** – подсистема команд для создания областей модели;
- **entity 23** – частица с индексом 23;
- **position 0 0 0** задает пространственное положение начала системы координат;
- **gvector 0 1 0** определяет вектор оси поворота;
- **"solid" #t** определяет, что в результате поворота создается сплошное тело. Параметр **#t** имеет смысл «ИСТИНА»;
- **sweep_angle** – естественно, угол разворота в градусах;

- `rigid` определяет возможность изменения поперечного сечения в процессе изгиба, разворота. Нам нужны области постоянного сечения. По этой причине этот параметр установлен равным «ЛОЖЬ»;
- `miter_tipe` – определяет режим сглаживания. Для проведения моделирования нужно будет построить сетку узлов. Это значит, что замена дуг системой отрезков неизбежна. Мы выбрали параметр «по умолчанию».

В результате была создана модель показанная на рис.2а. Штриховкой показаны контакты. Однако из-за большого объема конструкции генератор сеток MESH не смог создать сетку узлов в такой области. Мы решили проблему разбив конструкцию на три составные части (рис.2б – г).

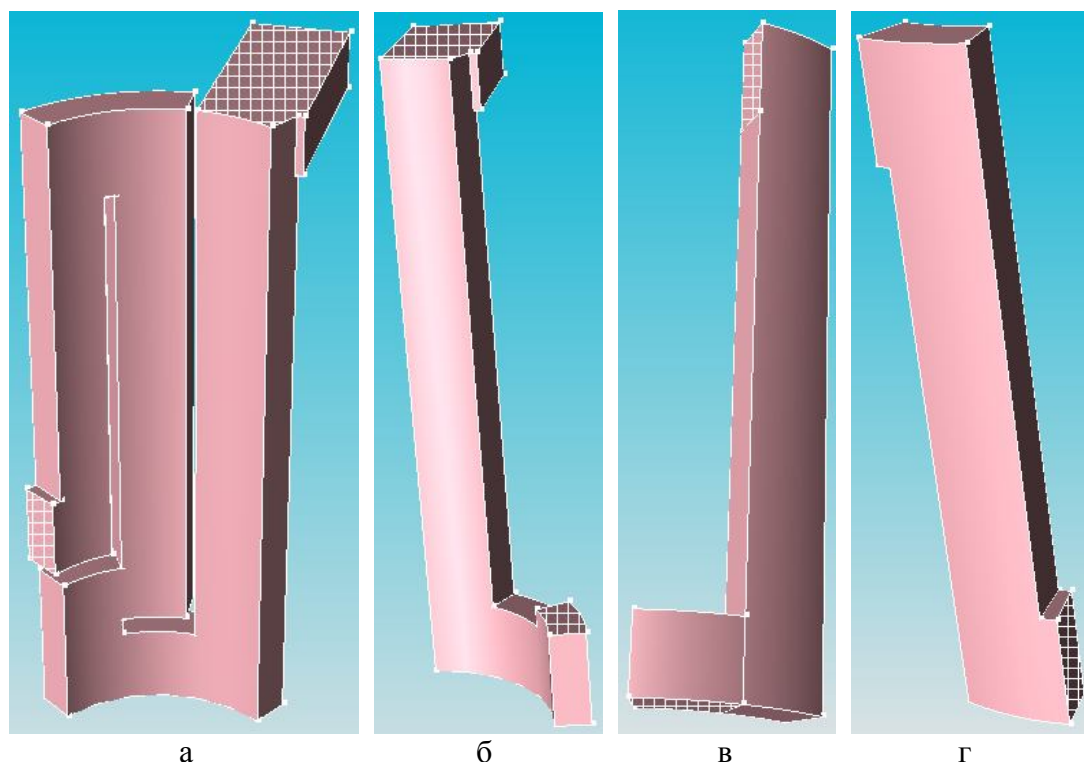


Рис. 2. Модель геометрии нагревателя (а) и разбиение ее на три составные части (б – г)

В результате было рассчитано электрическое сопротивление нагревателя, которое оказалось равным 18 мОм.

Выводы

Система физико-топологического моделирования TCAD позволила рассчитать сопротивление нагревателя. Результаты моделирования были использованы для создания чертежей конструкции. Пока нагреватель не изготовлен, так что у нас нет возможности проверить результаты расчетов.

В настоящее время мы проводим моделирование температурного поля в нагревателе с учетом всей конструкции с учетом тепловой изоляции, стенок и подводящих проводов. Результаты будут опубликованы в следующем выпуске этого электронного журнала.

Авторы статьи благодарны инженеру ЗАО НПК «Электровыпрямитель» Сульдину Василию Петровичу за помощь в подготовке чертежей и разрешение использовать свои результаты в этой статье.

Литература

1. Jayant Baliga. Fundamentals of Power Semiconductor Devices. Springer. – 1069 p.

Сведения об авторах

Гейфман Евгений Моисеевич – доктор технических наук, профессор кафедры микроэлектроники ГОУВПО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, технический директор ЗАО НПК «Электровыпрямитель», г. Саранск., e-mail: ovbp@mail.ru

Сури́н Борис Павлович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры микроэлектроники ГОУВПО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск, зам. декана факультета электронной техники по научной работе, заведующий лабораторией моделирования ЗАО НПК «Электровыпрямитель», г. Саранск, e-mail: surin_bp@mail.ru

Зинкин Сергей Дмитриевич – студент 3 курса факультета электронной техники ГОУВПО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск.