Список цитированных источников

1. Лебедев, К. Голосовое управление [Электронный ресурс] / К. Лебедев // Академик [сайт] – Электрон. текстов. дан. – 2010. – Режим доступа: http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/630511 – Дата доступа: 15.10.2015.
2. Arduino [Электронный ресурс] // Wikipedia [сайт] – Электрон. текстов. дан. – 2015. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Arduino – Дата доступа: 20.10.2015.
3. McLachlan, G. Finite Mixture Models [Текст]: учебное пособие / G. McLachlan, D. Peel – New York: John Wiley & Sons, 2000. – 456 с.

УДК 004.94

ПОДХОД К МЕТОДУ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОПОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Антоник И.А.

Брестский государственный технический университет, г. Брест

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

Введение

Для описания физических процессов в полупроводниковых структурах кремниевых интегральных схем используются уравнения непрерывности для дырок и электронов, уравнение Пуассона – для электростатического потенциала, уравнение Максвелла – для полной плотности тока, уравнение для плотностей электронного и дырочного тока. Механические свойства также описываются с помощью уравнения Пуассона.

Постановка задачи численного моделирования элементов интегральных схем

На нижнем структурно-физическом уровне объект моделирования, в общем случае являющийся трёхмерной полупроводниковой структурой, представляют множеством плоских сечений, нормальных и параллельных плоскости рабочей поверхности БИС.

Множество сечений для нормирования модельных объектов выбирают на основании качественного анализа физических процессов в интегральной структуре элементов БИС. Эти сечения должны совпадать с плоскостями, в которых развиваются основные физические процессы, характеризующие работу прибора. Число сечений зависит от требуемой детализации учитываемых факторов, процессов и эффектов. Конфигурации моделей областей определяют в пределах этих сечений. Рассмотрим поведение пластины с механической точки зрения.

Аппроксимация уравнения Пуассона

Рассмотрим непрерывные независимые переменные x, y, изменяющиеся в заданных пределах. Заменим их двумерной сеткой из точек.

$$i := 0..n \qquad j := 0..n \qquad \Delta := 2 \cdot \frac{a}{n} \qquad x_i := -a + \Delta \cdot i \qquad y_j := -a + \Delta \cdot j$$

Здесь Δ – шаг сетки; n количество узлов в измерениях x и y. Такая аппроксимация единственным образом распространяется и на диэлектрические области.

Геометрия двояковыпуклой поверхности описывается

$$z(x,y) = 2R - \sqrt{R^2 - x^2} - \sqrt{R^2 - y^2}\,, \tag{1}$$

где R=const параметр

и, переходя к относительным координатам:

$$\xi_{i,j} = \frac{x_i}{R}\,, \tag{2}$$

$$\eta_{i,j} = \frac{y_j}{R} \tag{3}$$

получаем следующие выражения для двумерной аппроксимации с использованием функции Эри

$$a_{0i,j} = \frac{1}{\left(1-(\eta_{i,j})^2\right)^{\frac{3}{2}}}, \tag{4}$$

$$b_{0i,j} = a_{0i,j}, \tag{5}$$

$$c_{0i,j} = \frac{1}{\left(1-(\xi_{i,j})^2\right)^{\frac{3}{2}}},\ d_{0i,j} = c_{0i,j}, \tag{6}$$

$$e_{0i,j} = \frac{-2}{\left(1-(\eta_{i,j})^2\right)^{\frac{3}{2}}} + \frac{-2}{\left(1-(\xi_{i,j})^2\right)^{\frac{3}{2}}}, \tag{7}$$

$$z_{i,j} = g_2(-\mathrm{R}\,\Delta^2)\sqrt{1+\frac{\left(\xi_{i,j}\right)^2}{1-\left(\xi_{i,j}\right)^2}+\frac{\left(\eta_{i,j}\right)^2}{1-\left(\eta_{i,j}\right)^2}}, \tag{8}$$

где g_2 – постоянное воздействие, $z_{i,j}$ – плотность воздействия.

В результате, используя функцию relax, математической системы Mathcad

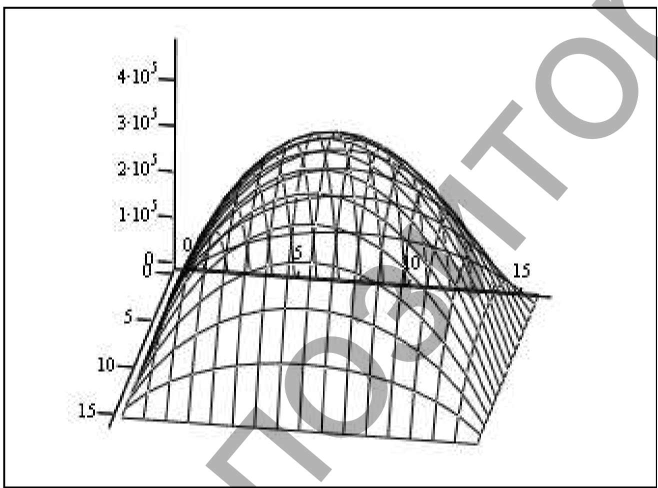
$$\mathrm{F} := \mathrm{relax}(\mathrm{a0}, \mathrm{b0}, \mathrm{c0}, \mathrm{d0}, \mathrm{e0}, \mathrm{z}, \mathrm{F}, \mathrm{dil}). \tag{9}$$

Граничные условия

Для учета особенностей краевых эффектов на границах двояковыпуклой пластины определим сетку за ее пределами. Тогда функция Эри в виде (для одной четверти пластины)

$$F_{i,n+1} = -F_{i,n-1} + z_{i,n}\left(1-\left(\xi_{i,n}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}, \tag{10}$$

$$i = \frac{n}{2}\ldots n,\quad j = \frac{n}{2}\ldots n.$$



F

Угловые точки отличаются уникальностью определения усилий. Их величины определяются из условия равновесия вертикальных проекций активных и реактивных воздействий, причем из-за симметрии можно рассматривать равновесие четверти всей оболочки.

Переходя к квазиусилиям,

$$\mathrm{Nx}_{i,j} := \sqrt{\frac{1-\left(\eta_{i,j}\right)^2}{1-\left(\xi_{i,j}\right)^2}}\cdot \mathrm{nx}_{i,j}, \tag{11}$$

$$\mathrm{Ny}_{i,j} := \sqrt{\frac{1-\left(\xi_{i,j}\right)^2}{1-\left(\eta_{i,j}\right)^2}}\cdot \mathrm{ny}_{i,j}, \tag{12}$$

$$\mathrm{Ngmax}_{i,j} := \frac{\mathrm{El}_{i,j} + \sqrt{\left(\mathrm{El}_{i,j}\right)^2 - 4\cdot\left(\mathrm{sinj}_{i,j}\right)^2\cdot \mathrm{Nx}_{i,j}\cdot \mathrm{Ny}_{i,j} - \left(\mathrm{Nxy}_{i,j}\right)^2}}{2\cdot \mathrm{sinj}_{i,j}}, \tag{13}$$

$$\mathrm{Ngmin}_{i,j} := \frac{\mathrm{El}_{i,j} - \sqrt{\left(\mathrm{El}_{i,j}\right)^2 - 4\cdot\left(\mathrm{sinj}_{i,j}\right)^2\cdot \mathrm{Nx}_{i,j}\cdot \mathrm{Ny}_{i,j} - \left(\mathrm{Nxy}_{i,j}\right)^2}}{2\cdot \mathrm{sinj}_{i,j}}. \tag{14}$$

Заключение

На основании проведенных расчетов можно заметить, что при нарушении кривизны поверхности пластины возможны значительные концентрации усилий в угловых точках пластины. Нарушение кривизны может сказаться и на ее электрических свойствах. Использование метода конечных разностей налагает определенные ограничения на реальную применимость данной модели, но увеличение концентраций усилий обычно подтверждается и другими методами, например методом конечных элементов. Реализованные операции метода конечных разностей могут быть использованы для разработки инструментария для построения базовых моделей расчета уравнений, описывающих процессы в кремниевых структурах.

Важным приложением разработанных средств является использование для задач обучения. В целом, предложенные средства позволяют сократить время при подготовке тестирующего контента для системы обучения и контроля знаний.

Список цитированных источников

1. Абрамов, И.И. Численное моделирование элементов интегральных схем / И.И. Абрамов, В.В. Харитонов – Минск: Вышэйшая школа, 1990. – 224 с.
2. Mathcad 6.0. Руководство пользователя. – М.: Мир, 1996.

УДК 004.04

ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКОВЫХ СИСТЕМ

Деревянко Д.В., Абрамов Е.С., Гетиков Д.В., Ковалёв Д.П.
Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Гомель
Научный руководитель: Сукач Е.И., к.т.н., доцент

Рассматривается один из подходов к оценке вероятностных характеристик надёжности многоэлементных сложных систем, каждый компонент которой может иметь несколько состояний.

Актуальность

Для управления дорожным движением на транспортной сети городов повсеместно используются системы управления, алгоритмы которых основаны на моделях транспортных потоков. Моделирование транспортных систем необходимо для минимизация задержек по направлениям при условии, что интенсивность движения постоянно изменяется во времени и в пространстве.

Актуальной задачей является задача маршрутизации (нахождение кратчайшего маршрута следования) и о максимальном потоке (нахождение максимальной пропускной способности).

Если считать веса ребёр графа транспортной сети известными и не меняющимися со временем, то эта задача довольно эффективно решается. Но на практике далеко не всегда все нужные веса ребёр бывают известными. В зависимости от времени суток ситуация на дорогах может кардинально меняться, поэтому возникает необходимость вероятностного моделирования. Примером таких изменений служит образование заторов в часы пик – за короткий промежуток времени движение может быть практически парализовано даже на многополосных магистралях.