

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ТРАНЗИСТОРЕ ШОТТКИ С УЧЕТОМ КРАЕВЫХ ЭФФЕКТОВ В МЕСТЕ СТЫКА ЭЛЕКТРОДА И ИЗОЛЯТОРА

Багутдинов Р. А.

аспирант Томского Политехнического Университета, кафедра «ИГПД», Институт кибернетики

Научный руководитель: д.т.н. Захарова Алена Александровна

ravil_bagutdinov@yahoo.com

В данной работе рассматривался метод двумерного численного моделирования субмикронных GaAs полевых транзисторов с затвором Шоттки на основе решения дифференциальных уравнений в частных производных уравнения Пуассона и непрерывности тока для электронов. Используемая двумерная численная модель позволяет учитывать эффекты нестационарной динамики электронов и исследовать сложные явления переноса носителей в GaAs-ПТ с затвором Шоттки.

Полевой транзистор в работе схематично был представлен с прямоугольной активной областью из легированного арсенида галлия, с двух сторон ограниченной металлизированными контактами истока и стока. По третьей координате ПТ считался достаточно большим так, чтобы можно было не учитывать краевые эффекты. Затворы располагались симметрично вдоль широкой стороны области GaAs. Также представлены обедненные носителями заряда области, возникающие под затворами из-за эффекта Шоттки. Обедненные области расширяются по мере приближения к стоку, и при подаче больших смещений между стоком и истоком (или затвором и истоком) обедненные носителями заряда области смыкаются на стоковой стороне затвора, что приводит к увеличению скорости носителей и заряда тока в канале.

Анализ распределения потенциала и заряда в предыдущих исследованиях в этой области показал, что даже при низких потенциалах на затворе и стоке существует сильное поле вблизи стокового края затвора. [2] Неоднородное легирование активной области, учитывающее данные особенности, позволит повысить напряжение пробоя ПТ и представляет большой интерес в дальнейших исследованиях в этой области.

В данной работе расчетная область разбивалась прямоугольной сеткой с постоянным шагом h ($h_x = l_x / (n_x - 1)$, $h_y = l_y / (n_y - 1)$) и размером 80×26 . Точки стыка размещались в узлах сетки. В качестве расчетов брался транзистор 3П351А-2 с двумя затворами и условными размерами внутри расчетной сетки $L_x = 1.85$, $L_y = 0.6$. Дифференциальное уравнение аппроксимировались центральной разностной схемой типа «крест», и решение в них определялось итерационным методом Гаусса-

Зейделя. Верхняя и нижняя граница разбивались на три одинаковых отрезка. На середине отрезка верхней и нижней границе задавались параметры решения уравнения Лапласа. Граничные условия определялись из точного аналитического решения задачи о распределении электростатического поля в канале постоянного сечения [5]. Расчет производился на сетках 80×26 , что позволило определить влияние сгущения узлов сетки для более точного определения потенциала вблизи точек особенности.

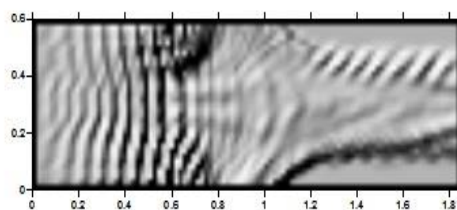


Рис. 1. Концентрация электронов при открытом транзисторе Шоттки

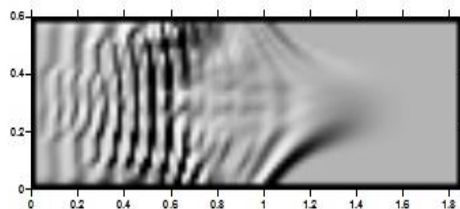


Рис. 2. Концентрация электронов в процессе закрытия транзистора Шоттки

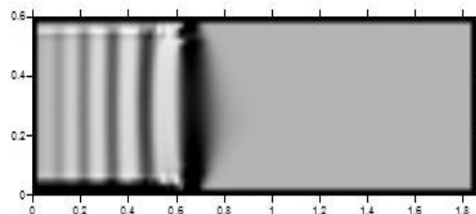


Рис. 3. Концентрация электронов при закрытом транзисторе Шоттки

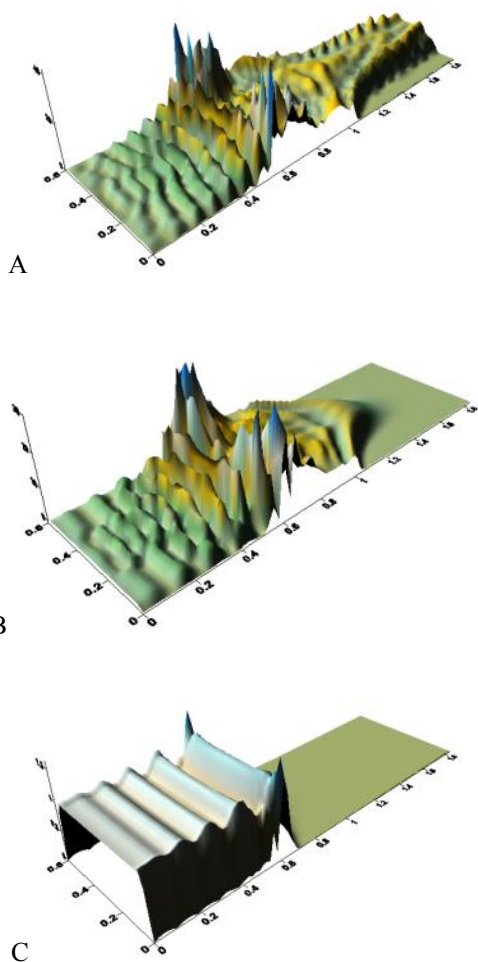


Рис 4. 3D-изображения концентрации частиц в транзисторе Шоттки (А – открытый транзистор; В – закрывающийся транзистор; С – закрытый транзистор)

Анализ распределения потенциала и заряда в области затвора и стока показал, что даже при низких потенциалах на затворе и стоке существует сильное поле вблизи стокового края затвора в области стыка электрода и изолятора. Для транзисторов с малыми геометрическими размерами традиционный подход приближения плавного канала, использующий уравнение Пуассона и условие непрерывности, становится непригодным.

Результаты исследований подтверждают значимость использование многомерного подхода к моделированию процессов в транзисторах. Показан нелинейный характер изменения проводимости канала в зависимости от приложенного напряжения на затворе, вызванный краевыми эффектами. Определены значения потенциалов запираения и влияние на величину пропускной способности канала длительности приложенного напряжения на затворе.

Показано, что для исследуемой модели транзистора определение с высокой точностью полей электрической напряженности в местах стыка электрода и изолятора большого значения не имеет, в связи с тем, что окончательное запираение канала происходит на центральной оси устройства и максимально удалено от мест особенности.

В результате работы можно прийти к выводу, что для устройств V-типа следует ожидать значительного влияния краевых эффектов на пропускную способность, предопределенную расположением основного потока вблизи мест стыковки.

Литература

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.:Наука, 1976.
2. Васенин И. М., Нариманов Р.К. Определение параметров магнитогидродинамического течения в канале МГД-генератора с учетом краевых эффектов электрического поля., г. Томск, 2006.
3. Вячистый Д.Ф., Нариманов Р.К. Гидродинамическая двумерная модель GaAs полевого транзистора Шоттки с учетом особенностей электрического поля., г. Томск, 2006.
4. Иващенко В. М., Митин В. В. Моделирование кинетических явлений в полупроводниках. Метод Монте-Карло. - К.: Наукова думка, 1990.- 192 с.
5. Кадничанский Я.О., Боцуло О. В. Субмикронные полевые транзисторы - Харьков, 2012.
6. Оболенский С.В., Китаев М.А. Полевой транзистор с 30-нм затвором //Письма в ЖТФ, 2000, Т.26, вып. 10, с.13.
7. Оболенский С.В., Китаев М.А. Исследование процессов генерации в баллистическом полевом транзисторе //Микроэлектроника, 2001, Т.30, вып.1, с.7–12.
8. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц.- М.: Мир 1987.- 640 с.
9. Флетчер К.. Вычислительные методы в динамики жидкостей 1-2 Тома- Мир, Москва, 1991.
10. Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия: Пер. с англ.-М.: Мир, 1991 -632 с.
11. Kohn E. V-shaped-gate GaAs MESFET for improved high frequency performance//Electronics Letters, 1975, V.11, № 8, p.160.
12. Wang Y.J., Lu S.S. Two-dimensional simulation for the GaAs V-groove gate MESFET's // Solid State Electronics, 1999, V.43, № 2, p.229.