

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.382

Волчѣк
Владислав Сергеевич

Трехмерное моделирование технологических процессов и приборов
микроэлектроники

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные
компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Научный руководитель
Стемпичкий Виктор Романович
канд. техн. наук, доц.

Минск 2015

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Развитие полупроводниковой промышленности неразрывно связано с использованием программных средств компьютерного проектирования отдельных технологических процессов формирования приборных структур, а также всего маршрута изготовления ИМС.

Первые системы компьютерного проектирования микроэлектронной технологии вследствие ограниченности вычислительных ресурсов выполняли расчеты только в одном или двух измерениях. На функционирование же современных полупроводниковых приборов оказывают значительное влияние эффекты, для анализа которых недостаточно возможностей двумерного моделирования, а при существующих темпах развития микроэлектронной технологии их учет уже в ближайшем будущем должен играть определяющую роль. Кроме того, на передний план активно выходят методы трехмерной интеграции, которые, как считается, способны устранить существующие проблемы и поддержать развитие микроэлектроники до топологических норм менее 10 нм.

Решение задач, связанных с анализом тонких физических эффектов в полупроводниковых структурах, а также разработкой и совершенствованием технологий трехмерной интеграции, возможно только с применением современных средств трехмерного приборно-технологического проектирования.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами

Работа выполнялась в рамках обеспечения решения задач Государственных программ научных исследований (ГПНИ):

– грант БРФФИ: «Разработать математические методы и программное обеспечение для проведения статистической обработки результатов экспериментальных измерений», договор Ф13В-003 от 16.04.2013 г., сроки выполнения 2013 – 2015 гг., номер госрегистрации 20132290;

– ГПНИ «Электроника и фотоника», задание 1.1.16: «Разработка методов, алгоритмов и специального программного обеспечения для экстракции и идентификации Spice-параметров наноразмерных полупроводниковых приборов», сроки выполнения 2014 – 2015 гг., номер госрегистрации 20143445.

Цель и задачи исследования

Цель диссертационной работы – разработать и протестировать обобщенную методику приборно-технологического моделирования с учетом термических эффектов, возникающих в трехмерной структуре приборов микроэлектроники, в среде программного комплекса компании Silvaco.

Для достижения этой цели в работе решались следующие *задачи*:

- проанализировать современные подходы к реализации трехмерного моделирования ИМС в программных комплексах проектирования микроэлектронной технологии, в частности, моделирования технологического маршрута изготовления полупроводниковых приборов, а также моделирования электрических характеристик с учетом термических эффектов, возникающих в структуре полупроводниковых приборов;
- выполнить серию расчетов по трехмерному компьютерному проектированию полупроводниковых приборов в среде программного комплекса компании Silvaco;
- по результатам проведенных исследований сформулировать рекомендации по практическому использованию изученных методов трехмерного моделирования и программных средств компьютерного проектирования в реальном цикле разработки ИМС.

В качестве *объекта* исследования выбраны технологические процессы и приборные структуры микроэлектроники.

Предметом исследования являются эффекты, возникающие в структуре полупроводниковых приборов, требующие учета посредством трехмерного моделирования.

Положение, выносимое на защиту

Увеличение разницы работ выхода металл/кремний приводит к уменьшению токов утечки ($I_y = 1,7 \cdot 10^{-3}$ А при $U_{обр} = 100$ В для структуры с разницей работ выхода металл/кремний 0,1 эВ и $I_y = 9,1 \cdot 10^{-5}$ А при $U_{обр} = 100$ В для структуры с разницей работ выхода металл/кремний 0,2 эВ), не оказывая влияние на напряжение пробоя структуры диода Шоттки. Увеличение разницы работ выхода металл/кремний более 0,4 эВ приводит к уменьшению прямого тока ($I = 2,88 \cdot 10^{-3}$ А при $U_{пр} = 0,5$ В для структуры с разницей работ выходе металл/кремний 0,4 эВ и $I = 2,56 \cdot 10^{-4}$ А при $U_{пр} = 0,5$ В для структуры с разницей работ выхода металл/кремний 0,6 эВ), не оказывая влияние на токи утечки.

Апробация результатов диссертации

Результаты исследований, представленные в диссертации, докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях: Республиканской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Интеллектуальные и сенсорные системы» (БНТУ), 51-й научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, а также опубликованы в виде соответствующих тезисов и материалов конференций.

Опубликование результатов диссертации

По материалам диссертации опубликовано и подготовлено к опубликованию 4 работы. Из них 2 статьи в сборниках материалов научных конференций, 2 тезиса докладов.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из титульного листа, общей характеристики работы, введения, трех глав, заключения, списка использованных источников из 34 наименований, графического материала и двух приложений. Полный объем

диссертационной работы составляет 67 страниц, в том числе 5 таблиц и 12 рисунков.

Библиотека БГУИР

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** описана методика масштабирования приборов микроэлектроники, приведены основы приборного моделирования, а также особенности полупроводниковых приборов нанометрового масштаба.

Во **второй главе** рассмотрены особенности программных модулей и расширений системы компьютерного проектирования компании Silvaco, предоставляющих возможности для трехмерного моделирования приборов микроэлектроники.

В **третьей главе** представлены результаты моделирования процесса реактивного ионного травления с использованием встроенной в модуль VictoryProcess модели травления и приборно-технологического моделирования диода Шоттки. Выработаны рекомендации по оптимизации параметров реактивного ионного травления для формирования сквозных отверстий в кремнии, а также технологических параметров изготовления структуры диода Шоттки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведено математическое моделирование процесса реактивного ионного травления для формирования сквозных отверстий в кремнии. Физико-математическая модель реактивного ионного травления, содержащаяся в модуле VictoryProcess программного комплекса компании Silvaco, позволяет предсказывать профиль формируемой в кремнии канавки. Входные параметры – фокус F и отношение между количеством ионов и нейтральных частиц, достигающих каждую точку на плоской незатененной поверхности структуры, R_{flux} – являются эффективным инструментом оптимизации профиля получаемой в кремнии канавки.

2. Представлены результаты приборно-технологического моделирования и оптимизации технологического маршрута изготовления структуры диода Шоттки. Расхождение результатов моделирования структур ДШ с разными эпитаксиальными слоями от экспериментальных данных наблюдается только в областях низких обратных напряжений. В областях же близких к номинальному обратному напряжению расхождение результатов не больше 5 %. Установлено, что разница работ выхода металл/кремний не влияет на напряжение пробоя структуры, но при повышении этой разницы существенно снижаются токи утечки ($I_y = 1,7 \cdot 10^{-3}$ А при $U_{обр} = 100$ В для структуры с разницей работ выхода металл/кремний 0,1 эВ; $I_y = 9,1 \cdot 10^{-5}$ А при $U_{обр} = 100$ В для структуры с разницей работ выхода металл/кремний 0,2 эВ). Повышение разницы работ выхода более 0,4 эВ не эффективно, так как дальнейшее увеличение разницы работ выхода при температуре окружающей среды $T = 27^\circ\text{C}$ не снижает ток утечки ($I_y = 6,73 \cdot 10^{-8}$ А для материала с работой выхода 5,1 эВ; $I_y = 6,72 \cdot 10^{-8}$ А для материала с работой выхода 5,2 эВ; $I_y = 6,71 \cdot 10^{-8}$ А для материала с работой выхода 5,3 эВ), однако уменьшает прямой ток ($I_{пр} = 2,88 \cdot 10^{-3}$ А при $U_{пр} = 0,5$ В для структуры с разницей работ выхода металл/кремний 0,4 эВ; $I_{пр} = 2,56 \cdot 10^{-4}$ А при $U_{пр} = 0,5$ В для структуры с разницей работ выхода металл/кремний 0,6 эВ). Проведенная оптимизация технологических параметров изготовления структуры ДШ с эпитаксиальным слоем 4,5КЭФ0,6 позволила повысить напряжения пробоя на 18,6 % (со значения 46,69 В до значения 55,375 В). Установлено, что технологическими параметрами, оказывающими наибольшее влияние на напряжение пробоя, являются температура (чувствительность 170 %) и время отжига бора (8,5 %) при формировании охранного кольца.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

[1-А] Волчек, В. С. Оптимизация параметров реактивного ионного травления для формирования сквозных отверстий в кремнии / В. С. Волчек, И. Ю. Ловшенко // ФКС XXIII: материалы конференции. – Гродно: ГрГУ, 2015 – С. 104-105.

[2-А] Волчек В. С. Трехмерное моделирование технологических процессов и приборов микроэлектроники / В. С. Волчек // Сборник материалов 51-й научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов. – Минск : БГУИР, 2015.

[3-А] Volchek V. Reactive Ion Etching Parameters Optimization in Victory Process / V. Volchek // Сборник материалов 51-й научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов. – Минск : БГУИР, 2015.

[4-А] Волчек В. С. Оптимизация параметров реактивного ионного травления для формирования сквозных отверстий в кремнии / В. С. Волчек // Сборник материалов Республиканской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Интеллектуальные и сенсорные системы» (БНТУ). – Минск : БНТУ, 2015 (принято к опубликованию).