

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

На правах рукописи

УДК 621.38.53

ПИСАРЕНКО
Никита Сергеевич

ДЕГРАДАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МОП-ТРАНЗИСТОРОВ В УСЛОВИЯХ СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

АВТОРЕФЕРАТ
магистерской диссертации 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
канд.техн.наук, доцент
Черных А. Г.

Минск 2019

ВВЕДЕНИЕ

Схемы на МОПТ составляют значительную часть изделий выпускаемых во многих отраслях электронного приборостроения (бытовая техника, компьютеры, ракеты, спутники) и робототехники. На их основе строится большинство современных интегральных схем, среди которых есть также и схемы с большой степенью интеграции. МОП ИМС обладают рядом преимуществ перед другими электронными приборами, при равных функциональных возможностях они имеют меньшие геометрические размеры, чем ИМС на биполярных транзисторах. А также процесс изготовления МОП ИМС проще, чем технология схем на биполярных приборах.

Значительным преимуществом также является и то, что их применение в устройствах позволяет обеспечить высокую надежность и высокую скорость работы цифровых микросхем.

С продолжением развития современной электроники размеры МОПТ уменьшились, но ученые столкнулись с ухудшением характеристик и параметров, а также последующим отказом транзисторов. Одним из основных видов отказа МОП-приборов является пробой подзатворного (обычно SiO_2) диэлектрика, на его долю приходится около 50% брака.

Срок службы МОПТ напрямую зависит от деградиационного воздействия горячих носителей и пробоя подзатворных оксидных слоев, которые приводят к недопустимому увеличению паразитного тока. Эти процессы обусловлены постепенно нарастающим накоплением дефектов и захватом зарядов на них. Однако в случае воздействия горячих носителей, происходит ухудшение параметров выходных характеристик МОПТ, обусловленное накоплением заряда с течением времени в объеме подзатворного диэлектрика и на границе раздела Si/SiO_2 . При возникновении пробоя подзатворных оксидных слоев рассматривается выход из строя МОПТ, который вызван в свою очередь процессом образования проводящих каналов в подзатворном оксиде в результате влияния эфффектов нейтральных и заряженных дефектов.

Особой чувствительностью к электрически активным дефектам обладают методы, использующие критические радиационные, термополевые и инжекционные воздействия. Целью работы является изучение физических механизмов деградации характеристик МОПТ, особенностей переноса заряда в областях зарядовых дефектов, устойчивость диэлектрических пленок к пробую, выявление природы дефектов, приводящих к ухудшению свойств диэлектрических пленок.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации. Деградация характеристик МОПТ под действием сильных электрических полей является одной из основных проблем современных ИМС. Уменьшение размеров МОПТ при масштабировании вызывает эффекты, которые связаны с изменением параметров физической структуры. В глубокосубмикронных МОПТ проявляются качественно новые закономерности переноса носителей в канале. Это вызвано значительным возрастанием напряженности как поперечного, так и продольного электрического поля. Решение этой проблемы обуславливает дальнейшую миниатюризацию и увеличение надежности микроэлектронных устройств.

Цели и задачи исследования. Основной целью настоящей работы является анализ деградации характеристик МОПТ с заданными параметрами на изготовленных тестовых элементах выполненных кремниевых подложках. Исходя из этого, конкретные задачи данной работы состояли в следующем:

- провести анализ ухудшения основных характеристик МОПТ под действием различных деградационных факторов;
- определить зависимость напряжения сток-исток от различных величин длины канала МОПТ;
- определить воздействие горячих носителей на стабильность подзатворного окисла с течением времени;

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующее основное положение:

Устойчивость диэлектрических пленок на основе SiO_2 к воздействию горячих носителей, в условиях применения различных режимов изготовления подзатворного диэлектрика, является критерием оценки стабильности работы МОПТ с длиной канала 1 мкм.

Практическая значимость полученных результатов. Практическая значимость проводимых научных исследований связана с необходимостью повышения надежности МОПТ субмикронных размеров на кремниевых подложках. Повышение качества подзатворного окисла в условиях изготовления отечественных ИМС позволяет значительно снизить количество брака связанного с пробоем подзатворного диэлектрика.

Личный вклад соискателя. Основные результаты, изложенные в работе, получены автором самостоятельно. Автор проводил анализ изменения основных характеристик МОПТ под действием различных деградационных факторов, разработал технологический маршрут изготовления тестовых элементов, провел эксперимент с инъекцией горячих носителей в оксид. Научному руководителю в совместных работах принадлежат предметные поста-

новки задач, выбор направлений исследования, руководства при проведении экспериментальных исследований и анализе полученных результатов.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения и списка использованных источников, включающего 31 наименование. Общий объем диссертации составляет 63 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние ИМС на МОПТ с подзатворным диэлектриком на основе SiO_2 , а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цели и задачи, обоснована актуальность темы магистерской диссертации, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, практической значимости полученных результатов, публикациях автора, а также структура и объем диссертации.

В **первой главе** приведен анализ деградационных процессов в короткоканальных МОПТ. Рассматривается дефектность и надежность тонких подзатворных окислов, полученных термическим окислением, проникновение бора через подзатворный окисел, влияние качества SiO_2 на параметры МОПТ. Показано влияние имплантационных нарушений на характеристики и параметры МОПТ, в частности рассмотрены остаточные имплантационные дефекты, радиационные нарушения в подзатворном оксиде, ток утечки в имплантированном окисле. Приведены особенности влияния носителей поликремниевого затвора и модель образования плазменных дефектов.

Во **второй главе** рассмотрены МОПТ в условиях сильных электрических полей. Проанализировано влияние короткоканальных эффектов на работу МОПТ. Установлена и обоснована зависимость порогового напряжения от длины канала. Рассмотрены узкоканальный и DIBL-эффекты. Установлены причины возникновения «горячих» носителей в МОПТ. Показаны эффекты обусловленные «горячими» носителями. Приведены особенности канала МОПТ.

В **третьей главе** приведены данные об основных этапах изготовления структуры МОПТ. Разработан технологический маршрут изготовления тестовой структуры с матрицей разноканальных транзисторов, приведены данные о параметрах выполненных подложек. Дается детальное описание методики проведения эксперимента. Представлены результаты измерений тестовых подложек с помощью измерителя характеристик полупроводникового прибора Л2-56. Полученные ВАХ показаны в виде таблиц и графиков.

В **выводах** кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, основные выводы теоретической части и приведены основные результаты исследований деградации характеристик МОПТ в условиях сильных электрических полей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках магистерской диссертации проведен анализ деградации характеристик МОПТ с заданными параметрами, разработан технологический маршрут и изготовлены тестовые элементы на кремниевых подложках, проведен эксперимент с анализом надежности подзатворного диэлектрика толщиной 120нм.

Деградация характеристик МОПТ под действием сильных электрических полей является одной из основных проблем современных ИМС. Уменьшение размеров МОПТ при масштабировании вызывает эффекты, которые связаны с изменением параметров физической структуры. В глубоко-субмикронных МОПТ проявляются качественно новые закономерности переноса носителей в канале. Это вызвано значительным возрастанием напряженности как поперечного, так и продольного электрического поля. Решение этой проблемы обуславливает дальнейшую миниатюризацию и увеличение надежности микроэлектронных устройств.

Срок службы МОПТ напрямую зависит от деградационного воздействия горячих носителей и пробоя подзатворных оксидных слоев, которые приводят к недопустимому увеличению паразитного тока. Одним из основных видов отказа МОП-приборов является пробой подзатворного (обычно SiO₂) диэлектрика, на его долю приходится около 50% брака.

На изготовленных тестовых образцах проведена оценка зависимости характеристик МОПТ при различной длине канала транзистора.

Исследована эффективность применения различных режимов окисления подзатворного диэлектрика на основе SiO₂.

В ходе эксперимента проводилось поддержание постоянной инъекции горячих носителей в оксид МОПТ транзистора вплоть до пробоя, на образцах с различными режимами изготовления подзатворного диэлектрика.

Полученные результаты исследований стабильности характеристик МОПТ найдут применение при изготовлении современных ИМС в условиях отечественных производств.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1-А] Писаренко Н. С., Кордимук Н. А. Твердотельные актюаторы в МЭМС и особенности изготовления интегральных микрозеркал с электростатической активацией на их основе / Н. С. Писаренко, Н. А. Кордимук // ФКС XXV: Материалы конференции. – Гродно: ГрГУ, 2017.

[2-А] Писаренко Н. С., Мир Д. В. Специфика технологического процесса изготовления подложек ГИС СВЧ-диапазона / Н. С. Писаренко, Д. В. Кордимук // ФКС XXV: Материалы конференции. – Гродно: ГрГУ, 2017.

[3-А] Писаренко Н. С. Гидроакустические преобразователи / Н. С. Писаренко // 53-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов: Материалы конференции. – Минск: БГУИР, 2017

[4-А] Писаренко Н. С., Мир Д. В., Саратокина В. И. Методы селективного осаждения меди для межсоединений в ИМС / В. И. Саратокина, Д. В. Мир, Н. С. Писаренко // ФКС XXVI: Материалы конференции. – Гродно: ГрГУ, 2018.

[5-А] Мир Д. В., Писаренко Н. С. Моделирование задержек сигнала в межуровневой структуре межсоединений интегральных микросхем / Д. В. Мир, Н. С. Писаренко // ФКС XXVII: Материалы конференции. – Гродно: ГрГУ, 2019.

[6-А] Писаренко Н. С., Мир Д. В. Исследование деградации характеристик МОПТ в условиях сильных электрических полей / Н. С. Писаренко, Д. В. Мир // ФКС XXVII: Материалы конференции. – Гродно: ГрГУ, 2019.