

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

УДК 621.315.592.9

Фурсов
Дмитрий Юрьевич

Влияние температуры на электрические характеристики МОП транзисторов в
КНИ структурах

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 03 Нанотехнологии и наноматериалы (в электронике)

Научный руководитель

Бондаренко Виталий Парфирович

Кандидат техн. наук, доцент

Минск 2016

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время микроэлектроника является одной из наиболее динамично развивающихся и востребованных отраслей науки и техники. Современные ИМС представляют собой сложные структуры, в основу функционирования которых положены разнообразные физические эффекты. При этом с каждым годом увеличивается количество транзисторов на единицу площади кристалла, уменьшаются размеры транзисторов и увеличивается сложность ИМС. Традиционное развитие микроэлектроники в последние десятилетия происходит в направлении масштабирования КМОП-структур путем уменьшения их размеров. Однако в последние годы при переходе на более малые размеры каналов транзисторов производители натолкнулись на серьезные физические и технологические ограничения. На данный момент решение этих проблем идет по пути поиска новых материалов и структур. Соответствующие разработки активно ведутся всеми передовыми компаниями микроэлектроники. В ряду последних достижений стоят разработка технологий «кремний-на-изоляторе», «напряженного кремния», замена подзатворного диэлектрика на материалы на основе окисла гафния, использование медной разводки и др.

В современной полупроводниковой электронике одну из самых передовых и технологичных ниш занимают МОП транзисторы в структурах КНИ. Они используются в высокопроизводительных процессорах ведущих мировых производителей *Intel* и *AMD*. Прогресс технологии структур КНИ инициировал интенсивные исследования новых конструктивно-технологических вариантов создания наноразмерных полевых транзисторов. Уже в области субмикронных размеров за счет полной диэлектрической изоляции КНИ-транзисторы обладают рядом преимуществ перед их аналогами на объемном кремнии – более низким энергопотреблением, высокими пробивными напряжениями, большим быстродействием. В нанометровом диапазоне привлекательность КНИ обусловлена, прежде всего, возможностью решения ряда проблем, свойственных короткоканальным транзисторам, а также возможностью изготовления новых приборов, работающих на квантово-размерных эффектах.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации. В последние годы в США, Японии, Франции и ряде других стран проводится интенсивный целенаправленный научно-технический поиск в области разработки технологий изготовления высокопроизводительных многофункциональных систем на базе структур КНИ. КНИ-технология выбрана ведущими мировыми фирмами *IBM, AMD* и другими как генеральное направление развития кремниевой микроэлектроники, обеспечивающее наибольшие преимущества при создании сверхбыстрых транзисторов. На сегодняшний день можно приобрести интегральные схемы на основе кремния, которые способны работать при температурах до 175 °С. Тем не менее, недостаточно просто сохранить работоспособность при высокой температуре. Чтобы соответствовать требованиям конечных пользователей к точности, безопасности и воспроизводимости результатов, разработчикам необходима предсказуемая производительность, стабильность и надежность, что прекрасно обеспечивает КНИ технология.

Цель и задачи исследования.

Целью данной магистерской диссертации является получение температурных зависимостей электрических характеристик короткоканальных МОП транзисторов на основе технологии «кремний-на-изоляторе» (КНИ), изучение влияния температуры на характеристики *n*-канальных МОП транзисторов с конфигурацией затвора Н- и Т-типа и запиткой канала с двух сторон транзистора, а также выявления преимуществ КНИ технологии.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучить различные конфигурации МОП-транзисторов на КНИ структурах, их свойства, преимущества и недостатки;
- изучить методы и схемы измерения характеристик транзисторов;
- провести экспериментальные измерения характеристик *n*-канальных МОП транзисторов с 2Н- и 2Т-типом запитки при помощи специализированного измерительного стенда в диапазоне температур от 25 до 225 °С и определить конструкции, обеспечивающие работоспособность МОП транзисторов при высоких температурах;
- проанализировать полученные экспериментальные данные, сделать выводы о воздействии температуры на основные электрические характеристики КНИ МОП транзисторов;
- провести экстракцию *SPICE*-параметров.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования выбраны *n*-канальные КНИ МОП транзисторы, выполненные на пластинах диаметром 200 мм, изготовленные по 0,35 мкм КМОП-технологии ОАО «Интеграл». Предметом исследования являются зависимость выходных и проходных характеристик, крутизны, емкости исток-сток, остаточного тока, порогового напряжения и напряжения отсечки измеряемых транзисторов от температуры в диапазоне от 25 до 225 °С.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие основные результаты:

- проведение сравнения объемной технологии и технологии «кремний-на-изоляторе»;
- выявление преимуществ перехода на КНИ структуры;
- описание хода проведения измерений;
- измерение параметров *n*-канальных МОП транзисторов;
- анализ полученных экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя. Все основные результаты и выводы получены соискателем самостоятельно. Магистрантом был проведен качественный анализ научно-технической литературы по исследуемой теме магистерской диссертации. Экспериментальные исследования и расчеты, позволяющий сделать выводы о характеристиках, исследуемых КНИ МОП транзисторов и их зависимости от температуры, проводились магистрантом совместно с научным руководителем доцентом, кандидатом технических наук Бондаренко В. П. Магистрант принимал участие в моделировании *SPICE*-параметров, исследуемых КНИ МОП транзисторов.

Публикации. Результаты исследований по диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Fursau, D.Y. SOI MOSFETS as a Way to Increase the Operating Temperature / D.Y Fursau, V.P. Bondarenko // Open Readings 2015. 58th Scientific Conference for Students of Physics and Natural Sciences, 24 – 27 March 2015 / Vilnius, Lithuania – 2015. – P. 202.
2. Фурсов Д. Ю. Исследование влияния температуры на электрические характеристики NМОП транзисторов с конфигурацией затвора 2Н- и 2Т-типа / Д.Ю. Фурсов, В.П. Бондаренко, Л.Н. Долгий, Н.В. Алиева, С.А. Сорока // Журнал "Доклады БГУИР". – 2016. (представлена в редакцию журнала).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из титульного листа, оглавления, введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и графического материала. Общий объем магистерской диссертации составляет 83 страницы, включая 43 иллюстрации, 12 таблиц, библиографический список из 34 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрен вопрос актуальности и сфера применения высокотемпературных КНИ МОП ИМС.

В **первой главе** проведен анализ влияния температуры на электрические характеристики МОП транзисторов на объемном кремнии и в КНИ структурах, выявлены преимущества и недостатки данных технологий.

Вторая глава содержит методику проведения измерений высокотемпературных КНИ ИМС, а также способы обработки полученных результатов.

Третья глава посвящена измерениям *n*-канальных МОП транзисторов с 2Н- и 2Т-запиткой канала транзистора в широком диапазоне температур (от 25 до 225 °С).

В **выводах** кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, сделаны выводы о влиянии температуры на основные электрические характеристики КНИ МОП транзисторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были рассмотрены области применения высокотемпературных интегральных микросхем; изучено влияние температуры на параметры МОП транзисторов в объемном кремнии, а также проанализированы ограничения, присущие данной технологии. Наблюдалась деградация основных параметров МОП транзисторов при увеличении рабочей температуры, как-то пороговое напряжение, подвижность носителей заряда в канале, увеличение токов утечки. Рассмотрены различные конфигурации КНИ МОП транзисторов, проведено их сравнение, выявлены основные преимущества КНИ МОПТ над транзисторами объёмных: минимизация токов утечки и паразитных емкостей, отсутствие эффекта защелкивания и меньшая площадь на поверхности кристалла.

Была рассмотрена методика проведения измерений высокотемпературных КНИ ИМС, а также рассмотрен принцип работы измерительного стенда для проведения измерений параметров элементной базы КМОП БИС при температурах до 250 °С. Были изучены и описаны методы и схемы измерения характеристик транзисторов (остаточный и начальный токи стока, сопротивление сток-исток, пороговое напряжение, крутизна, активная составляющая выходной проводимости, входная, проходная и выходная емкости), а также способы обработки полученных результатов, произведено описание назначения контактных площадок для проведения эксперимента.

Были проведены измерения n -канальных МОПТ с 2Н- и 2Т-запиткой канала транзистора в широком диапазоне температур (от 25 до 225 °С). По результатам эксперимента были построены графики, на основе экспериментальных данных рассчитаны некоторые характеристики МОП транзисторов на КНИ структурах, сделаны выводы. Параметры всех измеренных элементов находятся в диапазоне схемотехнических и технологических допусков. Существенных отличий между исследованными 2Т- и 2Н-конструкциями n -канальных МОП транзисторов в отношении их температурной зависимости нет. С точки зрения минимизации токов утечки предпочтительнее использовать 2Н вариант конструкции. Это объясняется тем, что в этом варианте обеспечивается наиболее эффективный контроль за потенциалом и, соответственно, состоянием всего объема кармана транзистора.

Проведена экстракция *SPICE*-параметров КНИ n -канальных МОП транзисторов с Н- и Т-образной запиткой. Экстракцию *SPICE*-параметров проводили с использованием пакета программного обеспечения компании *MENTOR GRAPHICS*.