

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

*На правах рукописи*

УДК 621.315.592.9

Тимофеев  
Константин Сергеевич

Интегральные датчики температуры с использованием элемента Брокау

### **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  
кандидат технических наук, доцент  
Бондаренко Виталий Парфирович

Минск 2019

Работа выполнена на кафедре микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **Бондаренко Виталий Парфирович**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **Завадский Сергей Михайлович**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры электронной техники и технологии учреждения образования «Белорусский государственный экономический университет»

Защита диссертации состоится «24» июня 2019 г. года в 9<sup>00</sup> часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, 1 уч. корп., ауд. 114, тел.: 293-89-26, e-mail: [kafme@bsuir.by](mailto:kafme@bsuir.by).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день для измерения температуры разработано большое количество специализированных приборов. Это ртутные и спиртовые термометры, термопары, резистивные датчики и термисторы. Для применения в технике удобно использовать небольшие и точные электронные температурные сенсоры.

Для этих целей широкое применение находят специализированные интегральные микросхемы – цифровые датчики температуры. Одним из таких устройств является микросхема, в которой чувствительный элемент построен на основе ячейки Брокау. Такие датчики отличаются широким температурным диапазоном работы, высокой степенью точности, возможностью питания пониженным напряжением. Принцип их работы основан на зависимости вольт-амперной характеристики *p-n*-перехода от температуры. Современные интегральные датчики температуры базируются на ячейках Брокау, чувствительный элемент которой представляет собой цепочки биполярных транзисторов в диодном включении. Такие транзисторы производятся по КМОП технологии на объемном кремнии, которая обладает рядом недостатков.

Альтернативой объемному кремнию является технология «кремний на изоляторе» (КНИ), приборы, изготовленные по которой, обладают более низким энергопотреблением, высокими пробивными напряжениями, большим быстродействием. Важным преимуществом является расширение температурного диапазона работы. Он увеличивается от 125 °С для объемного кремния до 225 °С, в некоторых выборках до 250 °С, отдельных приборов более 300 °С. Другим важным преимуществом является снижение паразитных емкостей, вследствие уменьшения площади *p-n*-переходов, что увеличивает быстродействие КНИ приборов.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования**

Измерение, мониторинг и обработка температурных данных используется во многих современных технических и промышленных системах. Для этих целей широкое применение находят специализированные интегральные микросхемы – цифровые датчики температуры, главными функциями которых являются измерение температуры при помощи внутреннего датчика и преобразования информации в цифровой код.

Необходимость усовершенствования характеристик таких датчиков температуры и расширение диапазонов их работы делает представленную тему диссертации актуальной.

### **Цель и задачи исследования**

Цель диссертации – исследование влияния температуры на электрофизические параметры датчика, построенного на ячейке Брокау в КНИ структуре.

Для достижения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

- выполнить сбор и анализ научно-технической литературы по теме диссертации;
- определить теоретическую модель зависимости поведения электрофизических параметров датчика температуры от температуры окружающей среды;
- разработать методику проведения измерения электрофизических параметров;
- провести измерение электрофизических параметров датчика температуры при изменении факторов окружающей среды;
- сопоставить полученные экспериментальные результаты с теоретической моделью.

**Объектом** исследования являются электрофизические параметры интегральных датчиков температуры на основе элемента Брокау в КНИ структуре.

**Предметом** работы выступает влияние температуры на электрофизические параметры и работу микросхемы датчика температуры.

### **Область исследования**

Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-41 80 01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

### **Основные положения, выносимые на защиту**

Разработанные структуры латеральных диодов по технологии «кремний на изоляторе» позволяют расширить температурный диапазон работы датчика температуры со 125 °С до 250 °С, увеличить быстродействие, вследствие снижения паразитных емкостей, добиться линейности выходной характеристики, вследствие постоянного температурного коэффициента напряжения, равного 1,4 мВ/°С. Параметры латеральных диодов, изготовленных по КНИ технологии, являются воспроизводимыми и не зависящими от ширины и количества диодов в цепочках, параллельно

соединенных приборов.

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в том, что в ней изучено температурное поведение характеристик латеральных биполярных транзисторов, изготовленных по технологии «кремний на изоляторе» в широком диапазоне температур. Показаны преимущества образцов транзисторов, изготовленных по технологии «кремний на изоляторе» в сравнении с образцами транзисторов, изготовленными на объемном кремнии.

**Практическая значимость** диссертации состоит в том, что на основе результатов исследования возможны инженерные расчеты по проектированию и производству датчиков температуры на основе ячеек Брокау, изготовленных по технологии «кремний на изоляторе».

#### **Апробация и внедрение результатов исследования**

Результаты исследования были представлены на 55-й юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР.

#### **Публикации**

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в двух опубликованных работах, включая один тезис конференции.

#### **Структура и объем работы**

Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, четырех глав и заключения, библиографического списка и приложения. Общий объем диссертации – 55 страниц. Работа содержит 2 таблицы, 36 рисунков. Библиографический список включает 41 наименование.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы ограничения существующих полупроводниковых датчиков температуры, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первая глава** представляет собой литературный обзор. В ней рассматривается принцип работы полупроводникового датчика температуры

в основе которого лежит ячейка Брокау, обсуждены основные параметры такого датчика. Также проведен обзор развития инженерной и научной мысли проектирования и разработки полупроводниковых датчиков температуры. Анализ литературных данных показал, что тема исследований является актуальной. Выявлены основные недостатки существующих датчиков температуры, такие как ограниченный температурный диапазон работы, нелинейность выходной характеристики, большую площадь топологии и невысокое быстродействие.

Во **второй главе** описаны образцы для проведения экспериментов. Изготовлены тестовые пластины по 0,35 мкм КНИ КМОП технологии. Они представляют собой 8 цепочек латеральных КНИ диодов (4 конструкции  $p^+-n$  и 4  $n^+-p$ ). Общая длина каждой цепочки составляет 600 мкм. В изучаемой выборке представлены как пластины для контактного измерения параметров, так и корпусированные кристаллы. Необходимо отметить, что представленные КНИ латеральные диоды занимают меньшую площадь топологии, чем биполярные транзисторы. В главе описана топологическое представление и технология изготовления образцов.

В **третьей главе** приведена методика измерения электрофизических параметров датчика температуры. Для измерения электрофизических параметров были собраны две установки. Для контактного измерения электрофизических параметров использовалась установка микронного зондирования и прибор для наблюдения характеристик полупроводниковых приборов. С помощью микрозондов установки производилось соединение с контактными площадками прибора для наблюдения характеристик полупроводниковых приборов и снимались вольт-амперные характеристики исследуемых цепочек латеральных КНИ диодов. Использовался режим постоянного тока величиной 20 мкА. При увеличении температуры до 150 °С нагревателя снималось значение прямого напряжения между контактными площадками.

Для корпусированных приборов собран специальный стенд, состоящий из термостата и компьютера. Стенд автоматически снимает вольт-амперные характеристики при увеличении температуры до 250 °С.

В **четвертой главе** представлены результаты измерения электрофизических параметров датчика температуры. Определено, что температурный коэффициент напряжения является постоянным и составляет 1,4 мВ/°С до температуры 125 °С. При дальнейшем повышении температуры температурный коэффициент возрастает до температуры 1,5 мВ/°С. Также установлено, температурный коэффициент напряжения не зависит от ширины диодов в цепочках и типа проводимости островков кремния. Токи

утечки латеральных диодных КНИ структур ниже, чем у аналогичных биполярных структур, изготовленных на объемном кремнии. Снижение токов утечки ведет к росту быстродействия датчиков температуры. Дано теоретическое обоснование полученных результатов и предложены рекомендации по использованию результатов в инженерной и научной деятельности.

В приложении приведен полный технологический процесс изготовления датчика температуры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведена систематизация развития инженерной и научной мысли в области разработки и проектирования полупроводниковых датчиков температуры построенных на основе ячейки Брокау. Определены важнейшие особенности и параметры датчиков температуры. Выявлены недостатки существующих на рынке датчиков температуры. Предложен способ устранения этих недостатков переходом на новую элементную базу.

2. Разработана методика измерения важнейших электрофизических параметров датчика температуры. Для определения параметров тестовых структур размещенных на подложке использована установка субмикронного зондирования и прибор для наблюдения характеристик полупроводниковых приборов. Для измерения параметров корпусированных приборов использован измерительный стенд и обработка с помощью компьютера.

3. По результатам экспериментальных измерений был проанализирован характер изменения температурного коэффициента в широком диапазоне температур. Выявлены зависимости температурного коэффициента от температуры, ширины и количества диодов в тестовых цепочках. Температурный коэффициент не претерпевает изменений и составляет  $1,5 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$  в широком диапазоне температур.

4. Проведено сравнение параметров и характеристик датчиков, изготовленных по технологии «кремний на изоляторе» с датчиками, изготовленными в объемном кремнии. Показано, что не происходит ухудшения характеристик в связи с изменением технологии изготовления датчика. Кроме того, появляются новые преимущества недоступные датчикам, изготовленным на объемном кремнии. К ним относятся расширение температурного диапазона работы, увеличение быстродействия, снижение паразитных емкостей.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1-А. Тимофеев, К. С. Применение КНИ диодов в качестве активных элементов ячейки Брокау/ К. С. Тимофеев // Радиотехника и электроника : материалы 55-й юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22 - 26 апреля 2019 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. - Минск, 2019. - С. 200.

2-А. Тимофеев, К. С. Исследование влияния температуры на электрические характеристики латеральных КНИ диодов / К.С. Тимофеев, В.П. Бондаренко // Журнал "Доклады БГУИР". – 2019. (представлена в редакцию журнала).