

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

УДК 621.384.3

Ган
Никита Сергеевич

Неохлаждаемые тепловые детекторы болометрического типа

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра
по специальности 1-41 80 01 «Микро- и наноэлектроника»

Научный руководитель
кандидат технических наук, доцент
Стемпницкий В.Р.

Минск 2024

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

Научный руководитель: Стемпичкий Виктор Романвич,
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 университет информатики и
радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «25» января 2024 г. в 9:00 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.

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

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Неохлаждаемые тепловые детекторы болометрического типа – это датчики, которые используются для измерения инфракрасного излучения и теплового излучения объектов. Они отличаются от охлаждаемых болометров тем, что не требуют специального охлаждения до очень низких температур.

Эти детекторы работают на основе принципа изменения электрического сопротивления материала при поглощении инфракрасного излучения. Когда инфракрасное излучение попадает на поверхность детектора, происходит изменение температуры материала, что в свою очередь приводит к изменению его электрического сопротивления. Это изменение сопротивления затем измеряется и используется для определения интенсивности инфракрасного излучения.

Неохлаждаемые тепловые детекторы болометрического типа обладают рядом преимуществ, таких как более простая конструкция, отсутствие необходимости в сложных системах охлаждения и более низкая стоимость. Однако, их чувствительность и разрешающая способность могут быть ниже, чем у охлаждаемых детекторов. Тем не менее, они широко применяются в различных областях, включая медицинскую диагностику, автомобильную промышленность, безопасность и наблюдение за окружающей средой.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации. Неохлаждаемые тепловые детекторы болометрического типа имеют ряд преимуществ, которые делают их актуальными для различных приложений, где требуется надежное и эффективное обнаружение тепловых излучений:

1. Низкая стоимость и простота эксплуатации: неохлаждаемые болометрические детекторы не требуют сложных систем охлаждения, что снижает стоимость устройства и упрощает его обслуживание.

2. Широкий спектр применений: неохлаждаемые болометрические детекторы могут быть использованы в различных областях, таких как медицина, безопасность и другие.

3. Высокая чувствительность: современные неохлаждаемые болометрические детекторы обладают высокой чувствительностью к инфракрасному излучению, что делает их эффективными для обнаружения тепловых излучений в различных условиях.

4. Маленький размер: благодаря технологическим достижениям, неохлаждаемые болометрические детекторы могут быть изготовлены в миниатюрных размерах, что позволяет интегрировать их в различные устройства и системы.

Цель и задача исследования. Цель исследования: оптимизация неохлаждаемого теплового детектора болометрического типа для повышения его чувствительности, временного отклика, разрешающей способности и уменьшения уровня шумов.

Для достижения поставленной цели требуется выполнить следующие задачи:

1 выполнить анализ научно-технической литературы по теме диссертационной работы.

2 рассмотреть возможности программного комплекса компании *Coventor* для моделирования приборов микро- и наноэлектроники (в том числе МЭМС).

3 обосновать выбор конструктивного решения тепловых детекторов болометрического типа.

4 провести моделирование основных эксплуатационных характеристик в нормальных условиях

5 выполнить оптимизацию конструктивных и технологических параметров приборной структуры.

6 разработать и реализовать на языке описания аппаратуры *Verilog-A* компактную модель приборной структуры тепловых детекторов

болومترического типа, учитывающую влияние конструктивно-технологических параметров.

Научная новизна. Научная новизна данной работы заключается в разработке комплексного подхода к оптимизации неохлаждаемого теплового детектора болومترического типа. Этот подход включает в себя не только изучение физических принципов работы и анализ существующих материалов и конструкций, но и разработку новых методов улучшения чувствительности, временного отклика, разрешающей способности и уменьшения уровня шумов.

Кроме того, данная работа предполагает проведение экспериментальных исследований для верификации предложенных методов оптимизации и оценки полученных результатов, что позволит убедиться в эффективности разработанных подходов.

Таким образом, научная новизна данной работы заключается в создании новых методов оптимизации неохлаждаемого теплового детектора болومترического типа, которые могут привести к значительному улучшению его характеристик и расширению области его применения.

Объект исследования. Приборная структура теплового детектора болومترического типа с толщиной слоёв не более указанных значений в мкм: $Si - 5$; $Al - 0,6$; $Ti - 0,015$; $TiN - 0,085$; $PI - 2,5$; $Si_3N_4 - 0,03$; аморфный $Si - 0,1$.

Предмет исследования. Физические процессы, происходящие в приборной структуре теплового детектора болومترического типа.

Личный вклад соискателя ученой степени. В настоящую диссертационную работу вошли результаты как личных исследований автора, так и его совместной деятельности с научным руководителем Стемпицким В. Р.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. 59-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов (2023, Минск).

Публикации результатов диссертации. 59-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов (2023, Минск).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. В первой главе описываются виды, принцип работы и технология болометров. Во второй главе описан программный комплекс компании *Coventor*. В третьей главе представлено моделирование и оптимизация структуры и эксплуатационных характеристик болометра. В четвертой главе описывается разработка компактной модели приборной структуры тепловых детекторов болومترического типа на языке описания аппаратуры *Verilog-A*. В заключении кратко перечислены полученные результаты.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрено современное место применения неохлаждаемых тепловых детекторов болометрического типа, 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 первой главе приведен анализ научно-исследовательской литературы по теме диссертационной работы. Рассматриваются принцип работы, структура и технология изготовления МЭМС-болометра. Также рассматриваются различные типы неохлаждаемых тепловых детекторов, использующиеся в детектирующих системах гражданского или двойного назначения. По итогу главы выбран оптимальный тип разрабатываемой модели.

Во второй главе описан программный комплекс, используемый для физико-топологического моделирования в микроэлектронике.

В третьей главе представлены результаты моделирования. Определены параметры используемых материалов для моделирования микроболометра, задан технологический маршрут изготовления и расчетная сетка. Определены основные параметры для микроболометра: общая теплопроводность микроболометра, постоянная времени, электрическое сопротивление, механические деформации, проведено параметрическое исследование толщины термочувствительного слоя, чтобы выяснить его влияние на работу датчика

В четвертой главе с помощью инструментов *Electronic Design Automation (EDA)* смоделировано поведение схемы считывания. Определены источники входного напряжения, модели компонентов и параметры моделирования. Проанализированы результаты моделирования, чтобы проверить показатели производительности схемы считывания, такие как усиление, шум, линейность и энергопотребление.

В заключении кратко перечислены полученные результаты.

В приложении приведена проверка на антиплагиат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для достижения цели, были изучены теоретические сведения о принципе работы, классификации, основных эксплуатационных характеристиках и областях применения болометров.

Рассмотрен программный комплекс компании *Coventor*, основные возможности моделирования и последующего проведения анализов. моделирование МЭМС-болометра в программном продукте *CoventorMP*, а также проведен ряд анализов для изучения характеристик полученного устройства, таких как анализ общей теплопроводности устройства, постоянной времени, электрического сопротивления, механических деформаций. Была произведена оптимизации конструкции микроболометра и предсказано поведение основных параметров микроболометра в зависимости от толщины слоя *a-Si*.

Были изучены возможности оптимизации моделирования и вычислений в *CoventorMP* с помощью использования языка программирования *Python* и написание скриптов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1 – Ган Н. С., Корсак К. В., Чиеу Ч. В., Ловшенко И. Ю. Арсенид-галлиевый гетеропереходный биполярный транзистор // Радиотехника и электроника: сборник тезисов докладов 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, апрель 2023 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск: БГУИР, 2023 г. – С. 159.

2 – Ган Н.С., Корсак К.В., Чиеу Ч.В., Ловшенко И.Ю. Интегральная схема считывания данных с неохлаждаемых тепловых детекторов болометрического типа // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины (принято к опубликованию).