

ОТЗЫВ

научного руководителя

Стемпницкого Виктора Романовича

о диссертационной работе Чан Ван Чиеу

«Физико-технологические методы формирования интегральных
неохлаждаемых тепловых детекторов на кремнии»,
представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности

05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро и
наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах

Диссертационная работа Чан Ван Чиеу посвящена разработке методов компьютерного моделирования и оптимизации механических, тепловых, оптических и электрических характеристик неохлаждаемых тепловых детекторов болометрического типа в интегральном исполнении, изготовленных с применением кремниевой технологии с термочувствительным слоем на основе аморфного кремния и оксида ванадия, предназначенных для регистрации ИК-излучения в диапазоне длин волн от 8 до 14 мкм.

В диссертации представлены результаты исследования приборных структур микроболометров, сформированных по технологии микроэлектромеханических систем (МЭМС), обладающих рядом преимуществ перед другими реализациями аналогичных по функционалу и назначению приборов: малая потребляемая мощность, относительно низкая стоимость, возможность функционирования при комнатной температуре.

Исследование проводилось в рамках компьютерного моделирования с использованием специальных программных средств, реализующих методы конечных элементов и конечных разностей во временной области, а также позволяющие проектировать схемно-топологические решения, в том числе, на основе электрических (компактных) моделей приборных структур.

Основными инструментами являлись программные комплексы Coventor, ANSYS Lumerical и платформа Cadence Virtuoso, которые обеспечивают требуемый уровень достоверности полученных результатов. Кроме того, соискателем предложена и программно реализована методика определения значений оптических параметров материалов, входящих в состав термочувствительной мембраны пикселя микроболометра, основанная на решении нелинейных уравнений путем построения последовательных приближений с использованием метода Ньютона – Рафсона

В процессе работы над диссертацией соискатель Чан Ван Чиеу проявил себя как квалифицированный специалист, способный самостоятельно решать

научные задачи, выполнять теоретические исследования, анализировать полученные результаты, устанавливать зависимости и формировать рекомендации по практическому использованию результатов работы. Решены, в частности, следующие актуальные задачи:

1. Предложена и апробирована методика моделирования и оптимизации характеристик интегральных неохлаждаемых болометрических тепловых детекторов, которая может эффективно использоваться в процессе проектирования указанного типа устройств и приборов на их основе на этапах разработки типовой приборной структуры микроболометра, расчета тепловых, механических, оптических, динамических и электрических параметров, оптимизации состава и геометрических характеристик пленок мембраны пикселя микроболометра, а также разработки схемотехнических решений для приема, усиления и обработки данных микроболометров.

2. Предложена и программно реализована на языке программирования Python методика определения значений оптических параметров материалов, входящих в состав термочувствительной мембраны пикселя микроболометра, которая заключается в решении нелинейных уравнений путем построения последовательных приближений с использованием метода Ньютона – Рафсона. Предложенная методика позволяет рассчитывать отражение, пропускание и поглощение, состоящих из различных компонентов, важнейшими из которых являются значения действительной и мнимой части комплексного показателя преломления.

3. На языке описания аппаратуры Verilog-A реализованная электрическая (компактная) модель пикселя микроболометра, учитывающая особенности конструкции и используемых для его изготовления материалов, которая интегрирована в состав комплекса схемно-топологического моделирования ИМС, что позволяет обеспечить снижение временных затрат и повышение надежности разрабатываемых интегральных схем считывания данных с матрицы детекторов, расположенных в фокальной плоскости.

3. Разработанные подходы к построению конструкции и принципов функционирования микроболометров, а также методики приборно-технологического и схемно-топологического проектирования и оптимизации характеристик указанных устройств и систем использоваться для повышения уровня подготовки студентов учреждений высшего образования по дисциплине «Программные средства проектирования интегральных микросхем» за счет получения студентами теоретических знаний и практических навыков в области проектирования тепловизионных систем, а также изучения соответствующих программных средств при проведении научных исследований, выполнении курсовых работ и дипломных проектов.

4. Основные результаты диссертационной работы, в частности предложения по практическому использованию программного обеспечения для проектирования и оптимизации характеристик инфракрасных детекторов, переданы для использования в Ассоциацию радиоэлектроники Вьетнама для анализа, улучшения характеристик и производства измерительных систем на основе интегральных неохлаждаемых болометрических тепловых детекторов с целью расширения диапазона и повышения точности обнаружения объектов.

В ходе проведения диссертационных исследований Чан Ван Чиеу подготовил и опубликовал 10 научных работ, из них 4 статьи в рецензируемых научных журналах, 2 публикации в материалах и сборниках трудов научных конференций, 3 тезиса докладов на научных конференциях и 1 статья в других научных изданиях.

Результаты диссертационных исследований также внедрены в учебный процесс кафедры микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Считаю, что диссертационная работа «Физико-технологические методы формирования интегральных неохлаждаемых тепловых детекторов на кремнии» по уровню проведенных исследований и полученных результатов, их научной новизны и практической значимости отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических по специальности 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах, а ее автор, Чан Ван Чиеу, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук за новые научно обоснованные и практически значимые результаты, включающие:

- установленные в рамках термомеханического компьютерного моделирования характеристик неохлаждаемых тепловых детекторов болометрического типа в интегральном исполнении с термочувствительным слоем на основе аморфного кремния и оксида ванадия закономерности изменения механической прочности пикселя, улучшение которых может быть достигнуто путем определения в его конструкции оптимальных значений ширины и длины плеча, выбора толщины и типа материала термопоглощающего слоя, а также за счет учета остаточных механических напряжений в каждом из слоев.

- разработку методики расчета и калибровки оптических характеристик материалов теплового неохлаждаемого детектора болометрического типа – значение действительной и мнимой части комплексного показателя преломления, основанной на использовании метода Ньютона – Рафсона,

применение которой обеспечивает точность компьютерного моделирования с ошибкой, не превышающей 6 % для спектра пропускания и 3 % для спектра отражения по сравнению с данными натурных измерений в диапазоне длин волн от 8 до 14 мкм.

– разработку приборной структуры неохлаждаемого теплового детектора болометрического типа, содержащего мембрану, подвешенную на расстоянии 3 мкм над кремниевой пластиной типа КДБ-10, состоящую из последовательно осажденных пленок нитрида кремния, нихрома (термопоглощающий слой) оксида ванадия (термочувствительный слой), оптимальные толщины и порядок расположения которых определены в рамках компьютерного моделирования, используя рассчитанные с помощью предложенной методики значения комплексного показателя преломления, и составляют для нижнего слоя Si_3N_4 – 70 нм, слоя NiCr – 4 нм, среднего слоя Si_3N_4 – 200 нм, термочувствительного слоя VO_x – 250 нм и верхнего слоя Si_3N_4 – 150 нм, обеспечивает величины среднего и пикового коэффициента поглощения в диапазоне длин волн от 8 до 14 мкм, 0,86 и 0,99 о. е. соответственно.

– разработку и интеграцию в состав комплекса схемно-топологического проектирования интегральных микросхем базовой электрической модели, предназначенной для математического описания статических и динамических характеристик неохлаждаемого теплового детектора болометрического типа, которая отличается учетом влияния эффекта самонагрева и воздействия теплового потока, типа материала термопоглощающего слоя и обеспечивает возможность проведения схемотехнического моделирования данного типа устройств в программных комплексах проектирования интегральных микросхем с относительной погрешностью 1 и 2 % по сравнению с результатами приборного моделирования для статических и динамических характеристик соответственно.

Научный руководитель,
проректор по научной работе
учреждения образования «Белорусский
государственный университет
информатики и радиоэлектроники»,
кандидат технических наук, доцент

В.Р. Сتمپیцкий