

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

УДК 621.3.049.774

Корсак
Кирилл Витальевич

Модуль управления матрицей микросветодиодных излучателей

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

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

Минск 2024

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

Научный руководитель: **Стемпицкий 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 9⁰⁰ 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».

ВВЕДЕНИЕ

Современные пользователи электронных устройств и специалисты достаточно хорошо понимают разницу между твердотельными и органическими светодиодами, знают области их применения, без труда пользуются информацией со светодиодных экранов или дисплеев для телефонов, а иногда и телевизоров. Уже больше десяти лет назад технологии светодиодов продвинулись дальше в микрометровом диапазоне размеров, достигнув от 20 до 50 мкм у твердотельных светодиодов и от 5 до 15 мкм – у органических.

Технология *microLED* появилась в 2000 году, ее разработали профессора Хонсин Чан (Hongxing Jiang) и Чинью Лин (Jingyu Lin) из Техасского технологического университета. И хотя на данный момент массовое производство таких дисплеев не налажено, разработчики считают эту технологию достойным конкурентом *OLED*.

Во многом *microLED* похожа на *OLED*, однако в качестве пикселей использует не органические светодиоды, а диоды на основе нитрида галлия. Благодаря чему из их массива на подложке можно организовать дисплей, в котором каждый диод будет отдельным пикселем.

Потребляемая мощность может быть на 90 % ниже, чем у ЖК-дисплея, и на 50 % ниже, чем у *OLED*. Потенциально это большое преимущество для мобильных устройств, поскольку это означает гораздо более продолжительное время работы, сохранив потребление, увеличить яркость панели по сравнению с имеющимися *OLED* и *LCD*, что приведёт к гораздо более различимой картинке в условиях дневного света. *microLED* дисплеи также обладают более длительным сроком службы, чем современные *OLED*-панели.

Маленькие размеры микросветодиодов делают реальной перспективу производства панелей с большим разрешением в компактном форм-факторе, таких как 4К или 8К смартфоны или дисплеи VR. Компании, разрабатывающие *microLED*, обещают повышенную контрастность, яркость, глубину черного, высокий отклик и низкое энергопотребление.

Технология *microLED* пытается решить проблему массового воспроизводства. В краткосрочной перспективе, по-видимому, закрепление массивов светодиодов на пластине является наиболее жизнеспособным процессом. Однако в настоящее время он подходит только для панелей с низкой концентрацией пикселей.

Целью магистерской диссертации является разработка и апробация комплексного подхода к проектированию схем матриц транзисторов, управляющих массивом микросветодиодов (МСИД), сформированных по кремниевой КМОП-технологии с проектными нормами 0,18 мкм.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучение научно-технической литературы для определения основных способов построения физико-топологической модели СИД и ИМС модуля управления матрицей;

- посредством компьютерного моделирования провести настройку методов и моделей, описывающих физические процессы, протекающие в приборных структурах МСИД;

- выполнить компьютерное моделирование эксплуатационных характеристик приборных структур МСИД;

- разработать физико-топологическую модель МСИД;

- разработать электрические структурную и принципиальную модуля управления матрицей МСИД;

- моделирование эксплуатационных характеристик разработанного модуля управления матрицей МСИД;

- разработка и оптимизация топологического решения, моделирование с учетом влияния паразитных элементов.

Диссертационная работа выполнена самостоятельно, проверена в системе «Антиплагиат». Процент оригинальности составляет 88,9%. Цитирования обозначены ссылками на публикации, указанными в «Списке использованных источников». Отчет приведен в приложении А. Общий объем диссертации составляет 68 страниц.

Общая характеристика работы

Актуальность темы магистерской диссертации. Актуальность темы заключается в разработке компактной (электрической) модели микросветодиодного излучателя, учитывающей физические процессы, происходящие в приборных структурах, а также в решении задачи проектирования схемотехнического и топологического решений микродисплеев с высоким разрешением, быстродействием и яркостью, низкой стоимостью на их основе. Данная особенность приведет к существенному сокращению сроков разработки новых изделий и позволит провести модернизацию (повысить эксплуатационные характеристики) уже существующих приборных и схемотехнических решений.

Цель и задачи исследования. Целью магистерской диссертации является разработка и апробация комплексного подхода к проектированию схем матриц транзисторов, управляющих массивом микросветодиодов (МСИД), сформированных по кремниевой КМОП-технологии с проектными нормами 0,18 мкм.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

– изучение научно-технической литературы для определения основных способов построения физико-топологической модели СИД и ИМС модуля управления матрицей;

– посредством компьютерного моделирования провести настройку методов и моделей, описывающих физические процессы, протекающие в приборных структурах МСИД;

– выполнить компьютерное моделирование эксплуатационных характеристик приборных структур МСИД;

– разработать физико-топологическую модель МСИД;

– разработать схемы электрические структурную и принципиальную модуля управления матрицей МСИД;

– моделирование эксплуатационных характеристик разработанного модуля управления матрицей МСИД;

– разработка и оптимизация топологического решения, моделирование с учетом влияния паразитных элементов.

Объект и предмет исследования. В качестве объекта исследования выступает модуль управления матрицей микросветодиодных излучателей. Предметом исследования являются физические процессы, происходящие в приборных структурах микросветодиодных излучателей.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Комплексный подход, включающий в себя этапы приборно-технологического и схемотехнического моделирования и топологического проектирования, обеспечивает проектирование матриц транзисторов управления массивом МСИД, сформированных по кремниевой КМОП-технологии с проектными нормами 0,18 мкм, обладающих повышенными эксплуатационными характеристиками.

Личный вклад соискателя. 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. Основные положения диссертационной работы докладывались на следующих научных конференциях: 58-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов (2023, Минск); 59-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов (2023, Минск); Международная научно-техническая конференция «Инженерная наука: проблемы, идеи, перспективы (ENGINEER-2022)»; Международная научно-техническая конференция «Цифровые технологии: проблемы и решения для практического внедрения в промышленности» (2023, Ташкент).

Публикации результатов диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в сборниках материалов; 19-м томе Докладов БГУИР; 58-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов; 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов; Международной научно-технической конференции «Инженерная наука: проблемы, идеи, перспективы (ENGINEER-2022)»; Международной научно-технической конференции «Цифровые технологии: проблемы и решения для практического внедрения в промышленности».

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа выполнена самостоятельно, проверена в системе «Антиплагиат». Процент оригинальности составляет 88,9%. Цитирования обозначены ссылками на публикации, указанными в «Списке использованных источников». Отчет приведен в приложении А. Общий объем диссертации составляет 68 страниц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы построения микродисплейных устройств, 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 публикации, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** приведен анализ научно-исследовательской литературы по теме диссертационной работы. Рассматриваются принцип работы и структура схем управления яркостью. По итогу главы выбран оптимальный тип построения схемотехнического решения модуля управления матрицей микросветодиодных излучателей.

Во **второй главе** описаны программные комплексы компаний *Silvaco* и *Cadence*, используемые для моделирования в микроэлектронике.

В **третьей главе** представлены результаты моделирования микросветодиодного излучателя. Приведено описание структур, полученных в программном комплексе компании *Silvaco*, описаны эксплуатационные характеристики.

В **четвертой главе** представлены результаты оптимизационного расчета структуры *pnp*-ГБТ. Для определения наиболее значимых факторов был проведен отсеивающий эксперимент по плану Плакетта-Бермана, к изменению которых исследуемые функции (коэффициент усиления, граничная и предельная частота) наиболее чувствительны. В качестве конструктивных параметров использовалась толщина и ширина регионов структуры.

В **заключении** представлена оценка полученных результатов.

В **приложениях** приведены проверка на антиплагиат, топологическое решение всех блоков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для достижения цели магистерской диссертации, был проведен анализ и изучение научно-технической литературы, современные журналы и статьи, связанные, непосредственно с современными микросветодиодными структурами. Были изучены основные параметры и характеристики микроразмерного светоизлучающего диода, его достоинства и недостатки. Была рассмотрена технология изготовления *microLED*, описаны перечислены основные преимущества и недостатки данной технологии.

Проведено моделирование приборной структуры микросветодиода в программном комплексе *Silvaco* с начальными параметрами. Использовался пакет *Atlas* и *Victory Mesh*.

Проведено моделирование эксплуатационных характеристик приборной структуры. Была продемонстрировано, как влияет изменение температуры, была получена оптимизированная сетка, которая показывает более точные результаты, также была сохранена скорость моделирования. Представлены результаты распределения разных параметров при увеличении напряжения на аноде.

Проведена разработка электрической (компактной) модели МСИД; разработка схем электрических структурной и принципиальной модуля управления матрицей МСИД по кремниевой технологии с проектными нормами 180 нм; проведено моделирование эксплуатационных характеристик модуля управления матрицей МСИД; разработано и оптимизировано топологическое решения, а так же проведено моделирование с учетом влияния паразитных элементов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

[А.1] Применение систем автоматизированного проектирования для учета механических напряжений при разработке неохлаждаемых тепловых детекторов болометрического типа / К. В. Корсак [и др.] // Цифровая трансформация. – 2023. – Т. 29. – № 1. – С. 72–80.

[А.2] Design and Performance of Amorphous Silicon Based on Uncooled Bolometer-Type Infrared Focal Plane Arrays / Korsak K. V. [et. al.] // Doklady BGUIR. – 2023. – Vol. 21. – №. 2. – pp. 77-85.

[А.3] Расчет оптических параметров тонких пленок конструкционных материалов теплового неохлаждаемого детектора болометрического типа / К. В. Корсак [и др.] // Доклады БГУИР. – 2023. – Т. 21. – № 5. – С. 73–80.

[А.4] Микроболометры на основе пленок аморфного кремния и оксида ванадия / К. В. Корсак [и др.] // 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. – С. 159-160.

[А.5] Корсак, К. В. Базовый логический элемент программируемой логической интегральной схемы / К. В. Корсак, П. Э. Новиков, И. Ю. Ловшенко // Радиотехника и электроника : сборник материалов 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, апрель 2023 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск: БГУИР, 2023. – С. 161–162.

[А.6] Корсак, К. В. Разработка 8-битного микроконтроллера / К. В. Корсак, П. Э. Новиков, В. А. Иванчик // Инженерная наука: проблемы, идеи, перспективы : материалы Международной научно-технической конференции, Пермь, 08 апреля 2022 года / Федеральное гос. бюджет. учреждение высшего образ. «Пермский гос. аграрно-технологич. ун-т им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь: ИПЦ Прокрость, 2022. – С. 76-80.

[А.7] Корсак, К. В. Блок памяти 8-битного микроконтроллера с сокращенным набором команд / Корсак К. В. // Радиотехника и электроника : сборник тезисов докладов 58-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, апрель 2022 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск: БГУИР, 2022. – С. 35–36.

[А.8] Разработка методов определения параметров физико-топологической модели арсенид-галлиевого транзистора с высокой подвижностью электронов / П. С. Кратович [и др.] // International Scientific and

Technical Conference «Digital Technologies: Problems and Solutions of Practical Implementation in the Industry», Science and innovation, Tashkent, Uzbekistan, – vol. 2, – no. Special Issue 3. – pp. 935-939, April 2023.

[А.9] Чан В., Корсак К.В., Новиков П.Э., Ловшенко И.Ю., Завадский С.М., Голосов Д.А., Степанов А.А., Губаревич А.А., Колос В.В., Соловьёв Я.А., Левчук Д.С., Сتمпицкий В.Р. Оптические, механические и электрические характеристики теплового неохлаждаемого детектора болометрического типа на основе оксида ванадия. *Доклады БГУИР*. 2023;21(6):84-91.