

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

УДК 621.396

Молахов  
Виталий Сергеевич

Тонкопленочный полевой транзистор на основе InGaZnO – функциональный  
элемент оптоэлектроники

### **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  
Степанов Андрей Анатольевич  
кандидат технических наук

Минск 2019

## ВВЕДЕНИЕ

Полупроводниковые аморфные оксиды, одним из которых является оксид индия, галлия, цинка (InGaZnO или IGZO), с каждым днём всё больше и больше используются в активно-матричных жидкокристаллических дисплеях (АМ ЖКД), что подтверждает их статус как актуального и новаторского предмета для разработки и изучения.

Начиная с 2003 года, когда IGZO ТПТ были впервые разработаны, эта технология прозрачных полупроводников вызвала огромный интерес к дисплеям. В 2012 году первые продукты вышли на рынок, и с тех пор дисплеи с активной матрицей на оксидной основе добились впечатляющего прогресса, о чем свидетельствует демонстрация устройств с постоянно увеличивающимися размерами и сложностью. Устройства платы IGZO соответствовали, а затем превзошли возможности других тонкопленочных технологий особенно в области дисплеев с высоким разрешением. Между тем, оксидные дисплеи с активной матрицей достигли уникальных достижений в таких областях, как энергосбережение, благодаря низкой частоте обновления и улучшенному соотношению диафрагмы.

Актуальность диссертации связана с растущим распространением использования плёнок IGZO в качестве активного слоя в тонкопленочных транзисторах ввиду их очевидных преимуществ над устаревшими технологиями. Среди преимуществ можно выделить более высокую подвижность носителей заряда и апертурный коэффициент, что напрямую связано с увеличением разрешения экранов.

Целью диссертации является изучение формирования плёнок IGZO, возможность и целесообразность их использования в качестве активного слоя в тонкопленочных транзисторах. Задачами диссертации являются изучение действующих технологий для создания тонкопленочного транзистора на основе плёнок IGZO, получение данных о зависимостях токов, напряжений и сопротивлений, анализ экспериментальных данных.

В первой главе рассматриваются различные виды тонкопленочных транзисторов, а также приводится их краткая сравнительная характеристика. Во второй главе приведен подробный анализ современных требований для создания ТПТ на основе пленок IGZO для применения в активно-матричных жидкокристаллических дисплеях. Третья глава посвящена подробному технологическому маршруту и методикам создания тонкопленочного транзистора на основе плёнок IGZO, а также указаны примерные характеристики плёнки IGZO. В четвертой главе показан вариант улучшения характеристик путем создания новой морфологии кристалла, такой как выровненный по оси с

кристалл IGZO (СААС-IGZO). В заключении подводятся итоги диссертации и формируются окончательные выводы по рассматриваемой теме.

Магистерская диссертация выполнена самостоятельно и проверена в системе «Антиплагиат». Процент оригинальности соответствует норме, установленной кафедрой МНЭ.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы магистерской диссертации.** Актуальность диссертации связана с растущим распространением использования плёнок IGZO в качестве активного слоя в тонкоплёночных транзисторах ввиду их очевидных преимуществ над устаревшими технологиями. Среди преимуществ можно выделить более высокую подвижность носителей заряда и апертурный коэффициент, что напрямую связано с увеличением разрешения экранов.

### **Цель и задачи исследования**

Цель – изучить технологию формирования и электрические характеристики тонкоплёночного транзистора на основе InGaZnO (IGZO). В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Исследовать физико-химические процессы формирования IGZO структур
2. Изготовить комплект фотошаблонов и разработать технологию формирования ТПТ на основе IGZO
3. Установить зависимости электрических и электрофизических свойств ТПТ IGZO от структурных конфигураций и условий формирования
4. Провести исследования новых и перспективных IGZO структур

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования являются тонкоплёночные полевые транзисторы (ТПТ) на основе InGaZnO. Предметом исследования являются закономерности электрических характеристик, полученных при различных условиях формирования ТПТ на основе IGZO.

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

Установлено влияние последовательности операции термического отжига на подвижность,  $\mu_{FE}=18,1 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$  при проведении отжига до формирования исток/стоковых областей и  $\mu_{FE}=12,5 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$  при проведении отжига после формирования исток/стоковых областей, пороговое напряжение  $V_{th}=0,3 \text{ В}$  и  $V_{th}=3,23 \text{ В}$ , коэффициент спада  $S=222 \text{ мВ/порядок}$  и  $S=410 \text{ мВ/порядок}$ , а также влияние парциального давления кислорода ( $pO_2$ ) в камере, так при увеличении с 5% до 15% происходит снижение подвижности ( $\mu_{FE}$ ) с  $32 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$  до  $16,7 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ , и происходит увеличение порогового напряжения ( $V_{th}$ ) с  $-1,55 \text{ В}$  до  $1 \text{ В}$ , что

можно объяснить изменением размеров зерен, изменением заряда примеси, снижением концентрации носителей.

#### **Личный вклад соискателя**

Все основные результаты и выводы получены соискателем самостоятельно. Аналитическое исследование современных методов получения тонкопленочных транзисторов на основе InGaZnO проводилось соискателем лично. Во время работы над диссертацией соискателем были исследованы зависимости электрических характеристик от влияния последовательности операции термического отжига, парциального давления кислорода, а также геометрических размеров областей при формировании ТПТ и влияние пассивирующего слоя. Разработка технологии формирования тонкопленочных транзисторов на основе InGaZnO, а также комплекта фотошаблонов для технологического процесса проводилась совместно с научным руководителем кандидатом технических наук Степановым А.А.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения и результаты диссертации обсуждались на следующих научных конференциях: 54 и 55-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР.

**Публикации.** Основные положения работы и результаты диссертации изложены в 3 опубликованных работах, представленных в материалах международных научно-практических и научно-технических конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 106 наименований. Общий объем диссертации 58 страниц, в том числе 30 рисунков и 3 таблицы.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** проведено краткое знакомство с областью, в рамках которой проводилась научно-исследовательская работа. Раскрыта актуальность выбранной темы магистерской диссертации, сформулирована цель и поставлены конкретные задачи.

В **первой главе** рассматриваются различные виды тонкопленочных транзисторов, а также приводится их краткая сравнительная характеристика. Обозревается историческое прошлое тонкопленочных транзисторов, а также приводится подробная характеристика свойств  $\alpha$ -Si и InGaZnO.

**Вторая глава** посвящена обзору технологических требований для современной технологии активно-матричных жидкокристаллических дисплеев. Приводится обзор текущего состояния технологии жидкокристаллических дисплеев с активной матрицей сверхвысокой четкости, сравнение свойств

водородизированного аморфного кремния (a-Si:H) и низкотемпературного поликремния (LTPS), а потом и свойств IGZO. Также приведен анализ требований к технологии АМ-ЖКД сверхвысокой четкости. В конце главы приведен анализ текущего состояния аморфных ТПТ IGZO для АМ-ЖКД сверхвысокой четкости.

**Третья глава** посвящена подробному технологическому маршруту и методикам создания тонкоплёночного транзистора на основе плёнок IGZO, а также указаны примерные характеристики плёнки IGZO. Указано влияние термического отжига на электрические характеристики ТПТ IGZO. Установлено влияние последовательности операции термического отжига на подвижность,  $\mu_{FE}=18,1 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$  при проведении отжига до формирования исток/стоковых областей и  $\mu_{FE}=12,5 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$  при проведении отжига после формирования исток/стоковых областей, пороговое напряжение  $V_{th}=0,3 \text{ В}$  и  $V_{th}=3,23 \text{ В}$ , коэффициент спада  $S=222 \text{ мВ/порядок}$  и  $S=410 \text{ мВ/порядок}$ . Указано влияние парциального давления кислорода на электрические характеристики ТПТ IGZO. Так при увеличении с 5% до 15% происходит снижение подвижности ( $\mu_{FE}$ ) с  $32 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$  до  $16,7 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ , и происходит увеличение порогового напряжения ( $V_{th}$ ) с  $-1,55 \text{ В}$  до  $1 \text{ В}$ . Также приведено влияние геометрических размеров областей при формировании ТПТ и пассивирующего слоя. В конце главы приведена перспективная схема для ТПТ IGZO для управляющей схемы АМ-ЖКД.

В **четвертой главе** данной диссертационной работы приведен пример перспективного материала для использования его в технологии производства активно-матричных дисплеев сверхвысокого разрешения. Приведена физика работы для данной морфологии кристалла, его электрические свойства, а также сравнение a-Si и СААС-IGZO. В конце главы представлен обзор преимуществ СААС-IGZO морфологии кристалла в качестве материала для МОП-транзистора, таких как низкий ток утечки, слабые эффекты короткого канала и высокая подвижность.

В **выводах** кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, приведены результаты экспериментов по получению тонкоплёночного транзистора на основе InGaZnO.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день технология формирования плёнок IGZO, а также их дальнейшее использование в качестве активного слоя в тонкоплёночных транзисторах является крайне важным и актуальным вопросом для изучения.

При изучении действующих технологий для создания тонкоплёночного

транзистора на основе плёнок IGZO нами были использованы различные источники с данными не старше 10 лет. В ходе получения данных о зависимостях токов, напряжений и сопротивлений и анализа экспериментальных данных были использованы достоверные данные из проведённого эксперимента по напылению плёнки IGZO на ООО «Изовак». Ряд полученных значений был использован нами для описания примерных характеристик плёнки IGZO при её использовании в качестве активного слоя в тонкоплёночном транзисторе. Кроме того, нами были исследованы зависимости для порогового напряжения, напряжения на затворе, полного сопротивления транзистора, а также были выведены формулы для их возможного теоретического расчёта и сравнения полученных данных с экспериментальными.

Подводя итог исследованию, посвященному формированию плёнок IGZO и их дальнейшему использованию в качестве активного слоя в тонкоплёночном транзисторе, нами сделан вывод о том, что дальнейшее совершенствование технологий создания тонкоплёночных транзисторов на плёнках IGZO, а также снижение конечной себестоимости продукта является крайне важным вопросом для дальнейшего успешного использования данных плёнок и развития активно-матричных жидкокристаллических дисплеев.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1-А.] Молахов, В.С. Влияние термического отжига на электрические характеристики тонкопленочного транзистора на основе InGaZnO / В.С. Молахов, А.А. Степанов // 54 научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР – Минск, 2018.

[2-А.] Активно-матричные транзисторные структуры на основе полупроводникового соединения InGaZnO / В. С. Молахов и др. // I международная научно-техническая конференция «ОПТО-, МИКРО- И СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКА – 2018» с 22 по 26 октября 2018 года, г. Минск.

[3-А.] Молахов, В.С. Влияние парциального давления кислорода на электрические характеристики тонкопленочного транзистора на основе InGaZnO / В.С. Молахов, А.А. Степанов // 55 научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР – Минск, 2019.