

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

УДК 53.085.332

Сербин  
Иван Николаевич

Метод контроля размеров микроэлектронных структур  
на основе микроскопии ГУФ диапазона

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра инженерных наук  
по специальности 1-39 80 03 «Электронный системы и технологии»

---

Научный руководитель  
Трапашко Алексей Георгиевич  
доцент, кандидат технических наук

---

Минск 2021

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных тенденций в микроэлектронике является уменьшение габаритов изделий при одновременном повышении их производительности и функциональности.

Кремниевая технология осваивает изготовление микросхем с минимальными размерами элементов в диапазоне нанометров, в связи с чем нарастает беспокойство о возможности сохранения существующих темпов развития полупроводниковой промышленности из-за постоянно возрастающей сложности формирования наноразмерных структур, выполнение контрольных операций и в результате роста стоимости производства.

Применение оптической микроскопии для контроля интегральных структур невозможно по причине недостаточного разрешения оптической системы. Увеличение разрешающей способности ограничено используемыми объективами и источниками света.

Использование микроскопа оснащенного источником света с длиной волны 248 нм, позволит рассмотреть объект размером 100 нм. Сейчас для этого используются электронные микроскопы.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Тема диссертационной работы утверждена Советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». Диссертационная работа выполнялась на ОАО «Оптоэлектронные системы» в ходящей в состав холдинга ОАО «Планар» в рамках следующей научной программы:

ГБ № 16-2020 «Материалы, технологические процессы и устройства электронно-оптических систем, электронных средств, биомедицинской и интегральной электроники».

### **Актуальность темы исследования**

Электронная промышленность заинтересована в создании устройств малых размеров с высокой степенью интеграции, широким набором функций и доступных по стоимости.

Созданный комплекс для контроля структур интегральных микросхем на полупроводниковых пластинах при производстве изделий электронной техники в котором, наряду с контролем элементов топологического рисунка в видимой области спектра, реализуется контроль в ультрафиолетовой области спектра ( $\lambda$  248 нм), что позволяет контролировать слабоконтрастные элементы с разрешающей способностью 5000 лин/мм.

### **Цель и задачи исследования**

Целью данной магистерской диссертации является разработка метода контроля размеров микроэлектронных структур с помощью ГУФ микроскопа.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Анализ оптических микроскопов работающих в видимой области спектра, а также микроскопов с источником света 248 нм.
2. Разработка методики и экспериментальное исследование процесса контроля топологии интегральных микросхем.
3. Разработка практических рекомендаций по использованию результатов исследований.

Объектом исследования является: слабоконтрастный элемент топологии интегральной микросхемы.

Предметом исследования являются контроль размеров при производстве электронной техники.

Область исследования: содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-39 80 03 «Электронные системы и технологии»

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Научная новизна полученных результатов обусловлена использованием оптического микроскопа ГУФ диапазона, исследование размеров электронной структуры слабой контрастности.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Методика повышения разрешающей способности оптического микроскопа в 2 раза использования УФ излучения ртутной лампы в диапазоне 150÷400 нм и оптического фильтра на длину волны 248 нм.
2. Экспериментально установленные закономерности контроля микроэлектронных структур с топологической нормой 100 нм.
3. Экспериментальное обеспечение метрологических характеристик оптического канала увеличения ГУФ диапазона на основе сопоставления результатов измерений, аттестованного тест-объекта оптическим и электронным микроскопами.

Теоретическая значимость работы заключается в моделировании и оптимизации технологических режимов процесса контроля размеров элементов, а также рассмотрены основные конструктивные сложности при разработке и использовании микроскопов ГУФ диапазона.

Практическая значимость – подтверждена возможностью контроля размеров помощью ГУФ микроскопа.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертация состоит из Введения, четырех глав, Заключение, списки цитируемой литературы из 47 наименований. Общий объем диссертации

55 страниц, в том числе 40 иллюстрации и 1 таблица.

Во введении приводится обоснование актуальности работы.

Первая глава носит обзорный характер. В ней рассматривается применение оптического микроскопа для контроля топологии микроэлектронных структур. Устройства простейшего оптического микроскопа и повышение эффективности контроля, путем применения ультрафиолетового осветителя.

Вторая глава посвящена анализу оптических микроскопов и его основных составных частей. Отмечено влияние оптической разрешающей способности (так же ее называют разрешающая сила), что она характеризует способность этих приборов давать отдельные изображения двух близких друг к другу точек объекта. Наименьшее линейное или угловое расстояние между двумя точками, начиная с которого их изображения сливаются, называется линейным или угловым пределом разрешения. Существование предела разрешающей способности влияет на выбор увеличений, которые мы получаем с помощью микроскопа. Увеличения до 1250 крат называют полезными, т. к. при них мы различаем все элементы структуры объекта. При этом возможности микроскопа по разрешающей способности исчерпываются. Это увеличение получаем при использовании объектива 100 крат, работающего с масляной иммерсией, и окуляра 12,5 крат (полезное увеличение окуляров лежит от 7,5 до 12,5 крат). При увеличениях свыше 1250 крат не выявляются никакие новые детали структуры препарата. Однако иногда такие увеличения используют — в микрофотографии, при проектировании изображений на экран и в некоторых других случаях.

Когда необходимо существенно более высокое полезное увеличение, используют электронный микроскоп. Этот микроскоп обладает существенно более высокой разрешающей способностью, нежели оптический микроскоп. Электронный микроскоп – это прибор для наблюдения и фотографирования многократно (до 10<sup>6</sup> раз) увеличенного изображения объектов, в котором вместо световых лучей используются пучки электронов, ускоренных до больших энергий (30—100 кэВ и более) в условиях глубокого вакуума.

По мере миниатюризации электронных изделий и компонентов возрастают и потребности в получении изображений с большим увеличением. Обычные микроскопы не обеспечивают необходимое разрешение для исследования мелких структур, для их визуализации требуются более мощные системы или же расширение возможностей обычного микроскопа путем использования УФ осветителя с оптическим фильтром на определенную длину волны. Ртутная лампа является отличным решением для работы в УФ области спектра, спектральная интенсивность приведена на рисунке 1.

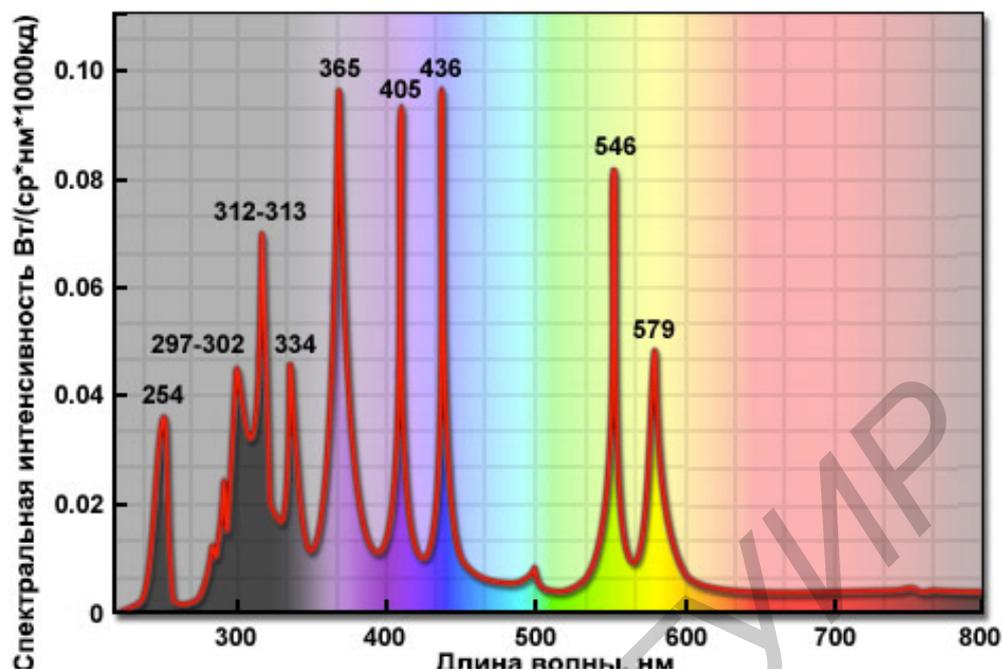


Рисунок 1 – Спектральная интенсивность ртутной лампы НВО 100

Для использования УФ осветителя в типовой конфигурации оптического микроскопа, ртутная лампа находится внутри специализированного осветителя, состоящего из корпуса лампы, вогнутого зеркального рефлектора, а также регулируемой системы линз коллектора для фокусировки дуги лампы.

В зависимости от конструкции, ртутный ламповый домик (это микроскопический термин, в английском языке lamphouse) (рисунок 2) может также содержать фильтры, блокирующие УФ излучение лампы, а также HotMirror фильтры для снижения теплового излучения, нагревающего внутренние линзы микроскопа и исследуемый образец.



Рисунок 2.8 – Ламповый домик ртутной лампы НВО 50. Имеются регулировочные винты настройки положения лампы, зеркала а также мощный радиатор, позволяющий отводить тепловое излучение.

В виду особенностей УФ осветителей, а конкретно отсутствие возможности наблюдать объект через окуляры, а объектив должен быть изготовлен с применением кварца, так как обычное стекло не пропускает лучи ультрафиолетовой области спектра, так же необходимо использовать специализированную цифровую камеру.

Третья глава содержит информацию о оптических системах ГУФ диапазона и влияние этой системы на возможности оптического микроскопа, а именно повышение разрешающей способности. Рассмотрены системообразующие элементы (рисунок 3) для исследования разрешающей способности ГУФ микроскопа. Приведено изображение полученное с помощью оптической системы ГУФ установленной на микроскоп МА300 производства ОАО «Оптоэлектронные системы» г. Минск входящее в холдинг Планар.



Рисунок 3 – Системообразующие элементы для исследования разрешающей способности ГУФ микроскопа

Четвертая глава содержит информацию о видеоизмерительных микроскопах и их возможностях, а также методах калибровки и методиках контроля размеров используя оптический микроскоп, источник света галогеновая лампа и ГУФ источник, длина волны 248 нм. Влияние длины волны на разрешающую способность и контроль слабоконтрастных элементов интегральной микросхемы на полупроводниковой пластине. Даны рекомендации, касающиеся использования ГУФ микроскопа и получения результатов измерений.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа литературных источников и используя поисковые материалы по данной теме в сети интернета, определена перспективность процессов контроля размеров слабоконтрастных элементов, а также элементов размером от 100 нм.

Результаты моделирования показывают, при использовании оптического микроскопа ГУФ диапазона для измерения объектов размером 100-120 нм можно сократить затраты при использовании электронных микроскопов.

Основной сложностью при использовании оптического микроскопа является человеческий фактор. Использование микроскопов, оснащенных системой автоматической фокусировки, позволит повысить срок службы объективов. Объективы для работы с ГУФ микроскопами сложны в изготовлении, стоимость их высока.

Использование ГУФ микроскопа позволяет сократить время для контроля размеров микроэлектронных структур, снизить себестоимость производимых элементов и позволяет повысить качество выпускаемой продукции.

Библиотека ВГУПР

## **Приложение 1**

Проверка на антиплагиат

Библиотека БГУИР