

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

УДК 004.424.2, 004.624

Шепелевич  
Марина Александровна

Нейросетевая идентификация дефектов  
полупроводниковых пластин

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-40-80-03 Вычислительные машины и системы

---

Научный руководитель  
Дудкин Александр Арсеньевич  
Доктор технических наук, доцент

---

Минск 2015

## ВВЕДЕНИЕ

Из-за малых размеров элементов, технологический процесс становится чувствительным к дефектам, которые могут приводить к выходу из строя одного или нескольких кристаллов на пластине. Поэтому важной частью процесса производства ИМС является контроль качества топологических структур. В связи с большим количеством маленьких элементов на топологии современной ИМС, выполнить такой контроль эффективно возможно только с помощью оборудования для автоматического контроля ИМС.

Одной из основных задач контроля является анализ изображения топологии микросхем при помощи систем машинного зрения и цифровой обработки полученных изображений. Для решения данного типа задач хорошо подходит применение НС.

Основной целью работы является повышение точности распознавания объектов на изображениях топологических слоев ИМС на основе комбинирования нейросетевого подхода и НЛ для использования в системах технического зрения при проектировании и производстве ИМС. Для достижения этой цели поставлены задачи, связанные с разработкой НС для решения вопросов, связанных с автоматическим контролем топологии ИМС. В данной работе предлагается НС с использованием теории НЛ.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью работы является повышение точности распознавания объектов на изображениях топологических слоев интегральных микросхем (ИМС) на основе комбинирования нейросетевого подхода и нечеткой логики (НЛ) для использования в системах технического зрения при проектировании и производстве ИМС. Применение нейронных сетей (НС) в области автоматического контроля топологии ИМС позволит улучшить качество контроля при производстве ИМС. Для достижения поставленной цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработка дескрипторов объектов топологических слоев ИМС.
2. Разработка модели НС для идентификации топологических объектов с функциями активации на основе разработанных дескрипторов.
3. Разработка нейросетевого алгоритма идентификации на основе аппарата НЛ.
4. Разработка программных средств, реализующих вышеуказанные модель и алгоритм.

Научная значимость результатов работы состоит в разработке дескрипторов изображений топологических объектов с использованием нечеткой логики и нейросетевой идентификации на их основе.

Практическая значимость заключается в том, что применение нечетких нейросетевых технологий в системах технического зрения позволит существенно повысить достоверность распознавания на изображениях топологии интегральных схем и улучшить контроль качества топологии при проектировании и производстве интегральных микросхем.

Следующие результаты проведенной работы были представлены на конференциях и опубликованы в сборниках:

1. Алгоритм определения параметров функции принадлежности для идентификации объектов на изображениях на топологии ИМС был представлен на VIII республиканской научной конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы математики и вычислительной техники», которая проходила в городе Брест 21 – 23 ноября 2013 года. Был опубликован доклад в сборнике материалов конференции.

2. Доклад, посвященный принципам применения НЛ для контроля топологии ИМС, был представлен на XIII международной конференции «Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации – 2014», которая проходила 20 ноября 2014 года в городе Минск. Данный доклад также был опубликован в сборнике материалов конференции «РИНТИ – 2014».

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Исследование состоит из 6 глав.

В первой главе данной работы приводится краткий обзор использованной литературы, а также производится анализ применимости аппарата НЛ для идентификации объектов на изображениях ИМС. Изучаются вопросы, связанные с объединением технологий НС и НЛ, а также оценивается степень применимости нейросетевых технологий и аппарата НЛ для идентификации объектов на изображениях ИМС.

Вторая глава посвящена разработке способа построения нечетких множеств дескрипторов топологических объектов. Предложены правила определения параметров функций принадлежности для идентификации топологических объектов на изображениях топологических слоев ИМС, на основе которых спроектирована модель НС для идентификации объектов на топологии ИМС, представленная в данной работе. При этом предложенные параметры функции являются нечеткими и учитывают как возможные геометрические искажения типа смещение, так и возможные яркостные искажения исходного изображения.

В третьей главе приводится описание обобщенного алгоритма идентификации объектов на изображениях ИМС при помощи нечеткой НС на основе неокогнитрона.

В четвертой главе предлагается структура НС на основе неокогнитрона, которая включает в себя нечеткое представление яркостей пикселей и нечеткие нейроны. Предложенная структура НС основана на структуре НС типа неокогнитрон, однако в ней присутствуют некоторые изменения. В связи с модификацией структуры нейрона, в разрабатываемой сети присутствуют только S-слой. В связи с использованием нечеткого представления пикселей изображений, каждый подслой (группа) данной нейронной сети состоит из трех типов нейронов – для трех признаков «светлый», «темный» или «средний». Данные модификации позволяют уменьшить число слоев НС, а также повысить производительность и уровень распознавания изображений.

В пятой главе описана разработка метода обучения НС для идентификации объектов на основе нечетких правил принятия решений. НС обучается при помощи однослойных сетей-прототипов, которые в свою очередь обучаются при помощи алгоритма нечеткой кластеризации.

В шестой главе описываются программные методы и подходы для моделирования и тестирования представленной в данной работе НС и ее алгоритмов, а также производится непосредственно само тестирование и оценка результатов работы предложенной НС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе предлагается архитектура нечеткой НС для многоуровневой классификации объектов на полутоновых изображениях топологий ИМС.

В ходе проведения научной работы были достигнуты следующие результаты:

1. Разработан алгоритм построения нечетких множеств дескрипторов топологических объектов основе НЛ. Предложенный в данной работе алгоритм вычисления параметров функций принадлежности для идентификации топологических объектов на изображениях топологических слоев ИМС позволяет вычислить нечеткие параметры и сделать систему инвариантной к возможным геометрическим искажениям типа смещение, а также возможным яркостным искажениям исходного изображения.

2. Разработана модель НС для идентификации топологических объектов с функциями активации, на основе НЛ. Предложенная модель НС основана на структуре НС типа неоконитрон, однако в ней присутствуют некоторые значимые изменения. Во первых, была произведена модификация структуры нейронов сети, поэтому в разрабатываемой нечеткой НС, в отличие от неоконитрона присутствуют только S-слои, что позволяет снизить затраты машинной памяти при реализации алгоритма. Во вторых, в НС используется нечеткое представление пикселей изображений, при этом каждый подслой (группа) данной нейронной сети состоит из трех типов нейронов – для каждого из трех признаков яркости пикселей – «светлый», «темный» или «средний». Данная модификация, в свою очередь, позволяет уменьшить число слоев НС, а также повысить производительность и уровень идентификации изображений.

3. Разработан нейросетевой алгоритм идентификации на основе аппарата НЛ. В основе правила активации нейронов лежит новый метод нечеткого представления яркостей пикселей изображений топологии, который позволяет сравнивать изображения с присутствием выраженных яркостных искажений по набору изображений объекта. Особенностью данного метода является инвариантность результатов сравнения к локальным искажениям формы объекта.

4. Разработаны и запрограммированы ПС, реализующие вышеуказанные модель и алгоритмы.

5. Проведено тестирование разработанных алгоритмов и моделей на изображениях реальных топологий ИМС, которые показали высокую степень идентификации по сравнению с другими НС. Показано преимущество нейросетевого подхода при идентификации изображений по отношению к

методу корреляции в рамках увеличения точности идентификации. Средняя точность идентификации объектов ИМС для представленной нечеткой НС равняется 98,3%, что на 16.4% выше, чем у НС, реализующей корреляционный алгоритм, и на 9.5% выше, чем степень идентификации аналогичной четкой НС.

Также при тестировании были определены оптимальная структура НС, оптимальные параметры яркостных и геометрических искажений, а так же минимальный размер обучающей выборки.

6. Результаты проведенной работы были представлены на конференциях и опубликованы в научных сборниках.

Предложенные в данной работе методы и алгоритмы показали хорошие результаты при тестировании, проведенном с использованием изображений реальных топологий ИМС. Практическая значимость данной работы заключается в том, что применение нечетких нейросетевых технологий в системах технического зрения позволяет существенно повысить достоверность идентификации объектов на изображениях топологии ИМС и улучшить контроль качества топологии при проектировании и производстве ИМС.

Полученные результаты работы могут составить ядро системы обработки, анализа и автоматизированного контроля изображений топологических слоев полупроводниковых пластин, которая является составной частью системы компьютерного зрения для разработки топологии и изготовления ИМС. В качестве потенциальных потребителей результатов данных исследований выступают НИИ и предприятия, занимающиеся разработкой и производством оптико-электронного оборудования для производства интегральных микросхем.

Заметим, что сфера приложений предложенных в данной работе методов и алгоритмов не ограничивается лишь рассмотренной предметной областью – идентификации объектов на изображениях топологии ИМС. Описанная технология обработки может быть применена также при решении других практических задач, которые связаны с областью идентификации и идентификации изображений.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

[1–А.] Шепелевич М.А. Определение параметров функций принадлежности для идентификации объектов на изображениях интегральных микросхем / М.А. Шепелевич // Сборник материалов VIII Республиканской научной конференции молодых ученых и студентов, 21-23 ноября 2013 / Брест – 2013. – С.17–19.

[2–А.] Дудкин А.А. Применение нечеткой логики для контроля топологии интегральных микросхем / А.А. Дудкин, М.А. Шепелевич // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации: Доклады, 20 ноября 2014 / Минск – 2014. – С.219-222.

Библиотека БГУИР