

## **Отзыв официального оппонента**

на диссертацию Аргунова Дмитрия Пантелеевича

«Программно-аппаратный комплекс автоматизации технологического процесса зондового контроля электрических параметров интегральных схем», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

В современных условиях разработка и производство интегральных схем (ИС) является одним из ключевых факторов, влияющих на технологическую и экономическую независимость страны. Недостаточное развитие собственного инструментального и алгоритмического обеспечения автоматизации процессов производства интегральных схем может привести к риску возникновения отраслевого кризиса. Разработка и производство собственного технологического оборудования и программно-аппаратных средств для обеспечения автоматизации технологических процессов производства полупроводниковых интегральных схем является одной из важных задач успешного развития отрасли.

Одной из составляющих технологического процесса производства интегральных схем является процесс зондового контроля, отвечающий за определение электрических характеристик изготавливаемых интегральных схем и полупроводниковых приборов как на финальных этапах производства, так и для контроля стабильности технологического процесса на промежуточных этапах.

На данный момент на многих отечественных предприятиях микроэлектронной промышленности для целей автоматизации контроля характеристик интегральных схем при исследовательском и мелкосерийном производстве наибольшее распространение получили ручные и полуавтоматические зондовые станции различных иностранных производителей. При этом совместно с оборудованием применяется программное обеспечение, поставляемое производителем оборудования, не всегда удовлетворяющее требованиям к спектру выполняемых задач, а его модернизация и расширение функционала в большинстве случаев сильно осложнена или невозможна из-за наличия юридических и/или коммуникационных затруднений. Так же обработка, анализ и систематизация результатов технологических процессов производства требует интеграции и применения специального программного обеспечения, создания собственных решений для хранения данных.

Таким образом, разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) зондового контроля электрических параметров ИС на неразделённых полупроводниковых пластинах и создание на её основе программно-аппаратного комплекса позволит обеспечить исследовательские лаборатории и производства необходимым оборудованием и технологиями, снижающими трудозатраты при проведении тестирования и



анализа изготавливаемых изделий. При этом исполнение программного обеспечения в виде расширяемого модульного программного комплекса позволит решать большинство исследовательских и производственных задач, связанных с автоматизацией процесса измерения характеристик ИС, используя единый инструмент, расширение функционала которого не потребует высоких трудозатрат.

Диссертация Аргунова Д.П. посвящена автоматизации технологического процесса зондового контроля электрических параметров интегральных схем. Диссертация раскрывает новые подходы к автоматизации процесса зондового контроля электрических параметров интегральных схем, а практическая значимость заключается в разработке программно-аппаратного зондового контроля электрических параметров интегральных схем нпа на разделенных пластинах. Таким образом, **актуальность диссертационной работы** Аргунова Дмитрия Пантелеевича не вызывает сомнений.

#### **Общая методология и методика исследования**

Автором диссертационной работы на основе литературного анализа определены цели, задачи и объект исследования. Проведен анализ существующих концепций, систем и алгоритмов технологического процесса зондового контроля электрических параметров интегральных схем. Предложена методика программной юстировки исполнительных механизмов системы перемещения полупроводниковой пластины в плоскости XY, отличающаяся от существующих тем, что корректировочные коэффициенты извлекаются из изображения эталонного фотошаблона при помощи алгоритмов цифровой обработки изображений. Предложен оригинальный язык математического преобразования результатов измерения электрических параметров, отличающийся применением принципов визуального программирования для задания алгоритма преобразования данных оператором зондовой станции. Разработана комплексная программная система, отличающаяся применённым комплексом оригинальных алгоритмов работы АСУТП зондового контроля электрических параметров интегральных схем, позволяющая обеспечить выполнение полного цикла автоматизированного технологического процесса зондового контроля электрических параметров ИС.

#### **Внутреннее единство и структура работы**

Диссертационная работа изложена на 120 страницах машинописного текста, содержит 65 рисунков. Работа состоит из введения, 4 глав, общих выводов и основных результатов, библиографического списка из 47 наименований и приложений.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, дана краткая характеристика направлений исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** содержится обзор научно-технической литературы по теме диссертационного исследования. Рассматриваются общие принципы организации процесса производства интегральных схем. Описаны основные



способы контроля электрических характеристик интегральных схем и используемое для этого технологическое оборудование. Описываются различные методы анализа массивов данных, полученных при контроле характеристик изделий. Приводится обзор существующего на сегодняшний день программного обеспечения для проведения зондового контроля электрических параметров интегральных схем и анализа измерений.

**Во второй главе** рассмотрены вопросы моделирования процессов и функционального поведения программного модуля АСУТП зондовых измерений электрических параметров интегральных схем. Предложена модель хранения данных результатов измерений и настроек оборудования в едином файле проекта. Предложен оригинальный метод автоматического выравнивания полупроводниковых пластин на столике станции с применением компьютерного зрения. Предложен метод программной коррекции искривления линейных направляющих системы перемещения держателя полупроводниковых пластин, с применением для составления корректировочной таблицы машинного зрения и эталонного оптического шаблона.

**В третьей главе** рассмотрены технические требования к программной системе сопровождения производства и зондового контроля полупроводниковых приборов и интегральных схем, архитектурные и структурные решения, а также практическая реализация программных модулей.

**В четвертой главе** рассмотрены вопросы практического применения разработанного комплекса программ и инструментов при производстве монолитных интегральных схем.

**В заключении и выводах** приведены основные результаты и выводы по работе.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Цель исследования отражает тематику диссертационной работы, и достигнута автором. Поставленные и решенные задачи соответствуют цели исследования, а их последовательность и реализация в комплексе определяют актуальность и научность тематики работы.

Результаты, полученные автором, являются новыми научными знаниями, достоверность которых обеспечивается использованием современных средств и методик проведения исследований, согласованностью теории и результатов экспериментальных исследований; корректным использованием методов вычислительной математики, теории математической статистики, теории автоматического управления и методов объектно-ориентированного программирования.

Автором проведен анализ современного состояния в области практических и теоретических исследований технологического процесса зондового контроля электрических параметров интегральных схем. Список использованной литературы состоит из 47 работ отечественных и зарубежных авторов, позволяя провести качественный анализ существующих систем и



концепций процесса зондового контроля электрических параметров интегральных схем.

Результаты работы автора подтверждены созданием автоматизированной системы управления технологическим процессом зондового контроля электрических параметров интегральных схем.

### **Научная новизна полученных результатов**

1. Предложена оригинальная методика программной юстировки исполнительных механизмов системы перемещения полупроводниковой пластины в плоскости XY, отличающаяся от существующих тем, что корректировочные коэффициенты извлекаются из изображения эталонного фотошаблона при помощи алгоритмов цифровой обработки изображений.

2. Предложен оригинальный язык математического преобразования результатов измерения электрических параметров, отличающийся применением принципов визуального программирования для задания алгоритма преобразования данных оператором зондовой станции.

3. Разработана комплексная программная система, отличающаяся применённым комплексом оригинальных алгоритмов работы АСУТП зондового контроля электрических параметров интегральных схем, позволяющая обеспечить выполнение полного цикла автоматизированного технологического процесса зондового контроля электрических параметров ИС.

### **Теоретическая и практическая значимость**

1. Разработан и реализован программно-аппаратный комплекс зондового контроля электрических параметров ИС на неразделённых пластинах. В основе комплекса лежит модульная архитектура построения АСУТП, позволяющая адаптировать функционал под специфические задачи широкого круга предприятий микроэлектронной промышленности;

2. Разработанный программно-аппаратный комплекс АСУТП зондового контроля электрических параметров интегральных схем испытан на полуавтоматической зондовой станции «Terra-200» в совокупности с программной частью, представляющей собой единый программно-аппаратный комплекс для решения задач зондового контроля электрических параметров в производственном цикле изготовления СВЧ монолитных интегральных схем в АО «НИИПП». г. Томск.

### **Соответствие содержания диссертации содержанию и качеству опубликованных работ**

Основные результаты диссертационного исследования, опубликованы автором в 11 (по автореферату) научных работах. Три из них представлены в ведущих рецензируемых научных изданиях, внесенных в Перечень журналов и изданий, утвержденных Высшей аттестационной комиссией. Две статьи опубликованы в рецензируемых зарубежных изданиях, включенных в международную базу цитирования Web of Science. Автором получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ по тематике диссертации.



Основные положения были доложены и обсуждены на 4 международных и всероссийских конференциях.

Содержание опубликованного материала соответствует направлению научных исследований, изложенному в тексте диссертационной работы.

### **Соответствие диссертационной работы заявленной научной специальности**

Диссертационная работа Аргунова Дмитрия Пантелеевича «Программно-аппаратный комплекс автоматизации технологического процесса зондового контроля электрических параметров интегральных схем» соответствует пунктам 2,10,11 паспорта специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

### **Замечания по работе**

Анализ диссертационной работы Аргунова Д.П. выявил некоторые замечания и вопросы дискуссионного характера:

1. Наличие опечаток на страницах 55,56.
2. Оформление формул на страницах 47, 51, 52, 98 не соответствует ГОСТ 7.32-2017.
3. Оформление алгоритмов на страницах 53, 75, 84, 98 не соответствует ГОСТ 19.701-90.
4. Выбранный набор технологий для реализации АСУТП обеспечивает работу системы только под управлением Microsoft Windows.
5. Сравнение снижения трудозатрат выполнено с ручным проведением выходного контроля готовых приборов. Следовало проводить сравнение с аналогичными системами импортного производства.

**Указанные замечания, в целом, не снижают ценность полученных результатов.** Диссертационная работа Аргунова Д.П. является самостоятельной, оригинальной и имеет значение для дальнейшего развития систем управления технологическим процессом зондового контроля электрических параметров интегральных схем.

### **Заключение по работе**

Диссертация Аргунова Дмитрия Пантелеевича «Программно-аппаратный комплекс автоматизации технологического процесса зондового контроля электрических параметров интегральных схем» представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложена новая научно-обоснованная разработка системы автоматизации технологического процесса зондового контроля электрических параметров интегральных схем.

Работа обладает актуальностью, результаты работы обладают научной новизной и практической значимостью, результаты и выводы обоснованы и достоверны. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертационной работы. Результаты диссертации соответствуют паспорту специальности 2.3.3.

Диссертационная работа отвечает требованиям положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Аргунов Дмитрий Пантелеевич заслуживает

присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

**Официальный оппонент**

кандидат технических наук,  
начальник отдела АСУП  
АО «НПП «Радиосвязь»

*M.A.*  
5.12.2024

Казанцев Михаил Александрович

660021, г. Красноярск, ул. Декабристов, д.19  
тел. 8-391-204-11-05  
e-mail: mkaz@mail.ru

**Подпись М.А. Казанцева заверяю**

Начальник отдела по работе с персоналом



М.В. Швацкая