

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.415.02,
СОЗАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 22 декабря 2022 г. № 12

О присуждении Ширяеву Борису Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Программно-аппаратный комплекс автоматизированного визуального контроля при производстве монолитных интегральных схем» по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» принята к защите 14 октября 2022 г. (протокол № 9) диссертационным советом 24.2.415.02, созданным на базе ТУСУРа (634050, г. Томск, пр. Ленина, 40; приказ № 561/нк от 03.06.2021 г.).

Соискатель Ширяев Борис Владимирович, 08.01.1993 года рождения, в 2017 г. окончил ТУСУР. В 2021 г. окончил аспирантуру ТУСУРа, работает инженером-программистом в Акционерном обществе «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов» (АО «НИИПП»), г. Томск.

Диссертация выполнена на кафедре компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП) ТУСУРа и в АО «НИИПП». Научный руководитель – **Шурыгин Юрий Алексеевич**, д.т.н., проф., директор департамента управления и стратегического развития, зав. кафедрой КСУП ТУСУРа.

Официальные оппоненты: **Горюнов Алексей Германович**, д.т.н., доц., руководитель отделения ядерно-топливного цикла инженерной школы ядерных технологий Национального исследовательского Томского политехнического университета; **Титов Виталий Семёнович**, д.т.н., проф., профессор кафедры вычислительной техники Юго-западного государственного университета,

г. Курск, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», в своём положительном отзыве, подписанном Ильиных С.П., д.т.н., доц., профессором кафедры вычислительной техники и Гавриловым А.В., к.т.н., доц., доцентом кафедры вычислительной техники, утверждённом проректором по научной работе д.т.н. доц. Бровановым С.В. указала, что диссертация Ширяева Б.В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной научно-технической задачи производства изделий электронной техники – автоматизация визуального контроля при производстве монокристаллических интегральных схем (МИС), имеющей существенное значение для развития автоматизации и управления технологическими процессами и производствами.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, все по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК опубликовано 3 работы, 2 статьи в базе данных Web of Science. Получено 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Ширяев Б.В. Алгоритм автоматизированного визуального контроля монокристаллических интегральных схем с использованием искусственных нейронных сетей / Б.В. Ширяев, А.Ю. Ющенко, А.В. Безрук // Доклады ТУСУРа. – 2019. – Т. 22, № 2. – С. 72-76.

2. Шурыгин Ю.А. Изготовление электрооптических модуляторов на основе InP для ВОЛС и проведение автоматизированного визуального контроля их поверхности на предмет наличия дефектов / Ю.А. Шурыгин, С.В. Ишуткин, Б.В. Ширяев, Ю.С. Жидик // Доклады ТУСУРа. – 2022. – Т. 25, № 3.

3. Ширяев Б.В. Повышение эффективности алгоритма автоматизированного визуального контроля монокристаллических интегральных схем / Б.В. Ширяев, Д.П. Аргунов // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). – 2022. – № 4. – С. 56-62.

4. Shiryayev B.V. Algorithm for automated visual inspection of MMIC using

a classifier based on neural networks [Электронный ресурс] / B.V. Shiryayev, A.V. Bezruk, D.P. Argunov, A.Yu. Yushenko // ITM Web of Conferences 30, 04012 (2019). – Режим доступа: https://www.itmconferences.org/articles/itmconf/pdf/2019/07/itmconf_crimico2019_04012.pdf (дата обращения: 22.09.2021).

5. Argunov D.P. Design ICCreatech semiconductor wafer accounting and probe measurement automatization software [Электронный ресурс] / D.P. Argunov, B.V. Shiryayev, A.V. Bezruk, A.Yu. Yushenko // ITM Web of Conferences 30, 04012 (2019). – Режим доступа: https://www.itmconferences.org/articles/itmconf/pdf/2019/07/itmconf_crimico2019_04009.pdf (дата обращения: 22.09.2021).

На диссертацию и автореферат поступило 5 положительных отзывов. Отзывы предоставили: **Ковалев И.В.**, д.т.н., проф., профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск; **Мышляев Л.П.**, д.т.н., проф., директор ООО «Научно-исследовательский центр систем управления» и **Грачев В.В.**, к.т.н., доц. ведущий научный сотрудник этого центра; **Юрьев Ю.Н.**, к.т.н., зав. лабораторией научно-образовательного центра Б.П. Вейнберга Инженерной школы ядерных технологий Томского политехнического университета; **Ульянов А.Д.**, к.т.н., доцент кафедры «Управления в технических системах» Братского государственного университета; **Ерофеев Е.В.**, к.т.н., главный конструктор НПК «Микроэлектроника» АО «НПФ «Микран», г. Томск.

В отзывах на диссертацию и автореферат указаны следующие основные замечания: в автореферате отсутствует блок-схема алгоритма автоматизированного визуального контроля, приведённое текстовое описание шагов алгоритма уступает структурированному описанию блок-схемы; недостаточно обосновано применение нейронной сети для трансформирования цвета; не приведены характеристики разработанных станций и сравнение их с существующими импортными аналогами; не обоснован выбор большого количества комплектующих зарубежного производства, входящих в состав разрабо-

таных станций; в списке публикаций не отмечены статьи в журналах, рекомендованных ВАК; необоснованное заключение о том, что разработан системный подход выбора точек совмещения.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что д.т.н. доц. Горюнов А.Г. является признанным специалистом в области автоматизации технологических процессов, микропроцессорной техники и её применения в АСУ ТП; д.т.н., проф. Титов В.С. является специалистом в области создания и разработки автоматизированных систем управления.

Выбор Новосибирского государственного технического университета в качестве ведущей организации обоснован тем, что в нем имеются квалифицированные специалисты в области автоматизации технологических процессов, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов, вычислительных машин, комплексов, систем и сетей.

Официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации имеют достаточный объем публикаций по тематике диссертации в ведущих изданиях и способны аргументированно оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **предложен** оригинальный алгоритм автоматизированного визуального контроля МИС, отличающийся от известных способом сравнения микрофотографий МИС с фотошаблоном, и позволяющий повысить производительность визуального контроля МИС мелкосерийного производства;

- **разработано** программное обеспечение, реализующее предложенный алгоритм автоматизированного визуального контроля МИС, позволяющее повысить производительность визуального контроля МИС в 28 раз;

- **показана** эффективность использования разработанного алгоритма и программного обеспечения в задачах автоматизации визуального контроля МИС при мелкосерийном производстве;

- **разработана** полуавтоматическая зондовая станция, которая может проводить автоматизированный визуальный контроль МИС и контроль электрофизических параметров МИС на неразделённых полупроводниковых пластинах.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **результативно** использованы математические основы обработки изображений и машинного зрения, методы проектирования программного и аппаратного обеспечения для получения результата в виде программно-аппаратного комплекса автоматизированного визуального контроля МИС;

- **изложены** способы последовательного преобразования микрофотографий МИС для получения карты дефектности, по которой можно однозначно судить о степени дефектности МИС на микрофотографии.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- **разработан** программно-аппаратный комплекс автоматизированного визуального контроля. Программная часть комплекса работает по принципу повторно используемых проектов визуального контроля, включающих в себя настроенный алгоритм визуального контроля для оценки степени дефектности группы МИС. Аппаратная часть комплекса представляет собой установку визуального контроля с ЧПУ;

- результаты диссертации **использованы** при проведении автоматизированного контроля внешнего вида поверхности СВЧ и фотонных МИС;

- **разработана** полуавтоматическая зондовая станция для проведения контроля электрофизических параметров и визуального контроля;

- результаты диссертационного исследования **использованы** в научно-исследовательских работах: комплексный проект расширения измерительной базы АО «НИИШП» «Разработка базовой технологии производства комплексов программно-аппаратных для измерения параметров монолитных интегральных схем на пластине с использованием зондовых станций в диапазоне до 67 ГГц с возможностью расширения диапазона частот до 650 ГГц» и научный проект «Теоретические и экспериментальные исследования сверхширокополосных

оптоэлектронных устройств волоконно-оптических систем передачи информации и радиофотоники на основе фотонных интегральных схем собственной разработки», выполняемый ТУСУРОм при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках соглашения № 1075-03-2020-237/1 от 05.03.2020, внутренний номер проекта FEWM-2020-0040.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– результаты экспериментов проверки предложенного алгоритма автоматизированного визуального контроля МИС совпадают с результатами, полученными при ручном визуальном контроле;

– результаты получены на сертифицированном оборудовании, поверенном в установленном порядке.

Личный вклад соискателя состоит в выполнении основного объёма теоретических и экспериментальных исследований, включая разработку и отладку алгоритма и программного обеспечения автоматизированного визуального контроля МИС, постановку методики и проведение проверки эффективности разработанного алгоритма, конструирование, сборку и отладку работы полуавтоматической зондовой станции, проведение анализа разработанных частей программно-аппаратного комплекса.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Утверждается, что произведена оценка асимптотики алгоритма и предложены методы оптимизации, но не указаны методы и целевые функции.

2. Утверждается, что полуавтоматическая зондовая станция кроме визуального контроля может проводить контроль электрических параметров, но отсутствует перечень контролируемых параметров и измерительных средств.

3. Не обосновано количество нейронов в скрытом слое. Нет описания как формировались обучающий и тестовый наборы, сколько было примеров для обучения.

4. Нет оценки, почему на фотонных МИС алгоритм даёт всего 76% сходимости. Не предложены решения, улучшающие данные показатели.

5. Основным объектом исследования является алгоритм автоматизированной отбраковки микрофотографий. Не ясно, в чём состояло исследование данного алгоритма и в чём заключается его новизна.

6. Недостаточный объём статистики при проведении экспериментов по оценке эффективности работы программно-аппаратного комплекса автоматизированного визуального контроля.

Соискатель Ширяев Б.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

1. В тексте диссертационной работы были представлены методы реализации определённых шагов алгоритма, оценена скорость работы алгоритма и в том числе предложены методы по оптимизации программного обеспечения. На текущей стадии алгоритм успешно справляется с поставленной задачей с необходимой скоростью и эффективностью, и необходимость оптимизации программного обеспечения отсутствует, но предложены существующие методы, которые могут ещё повысить производительность.

2. Станция позволяет измерять вольтамперные, амплитудно-частотные характеристики и т.д. в зависимости от комплектации данной станции измерительными приборами: источники-измерители, векторные анализаторы цепей и другие.

3. Количество нейронов в скрытом слое подбирается экспериментальным методом для эффективной классификации цвета пикселя. На этапе настройки алгоритма выбирается микрофотография, по которой будет настраиваться алгоритм, выбираются области, по которым будет обучаться искусственная нейронная сеть. Они разделяются на обучающий и тестовый набор 80% и 20%.

4. В фотонных МИС присутствует оптический канал шириной до 1 мкм. Из-за недостаточного разрешения микрофотографии дефектоскопия его затруднена. Однако, оператор визуального контроля также производил визуальный контроль фотонной МИС по оптическому каналу. Для повышения сходимости ручного и автоматизированного визуального контролей

необходимы микрофотографии большего разрешения.

5. Исследовалась применимость алгоритма в условиях мелкосерийного производства, его эффективность. Новизна заключается в применённых подходах проведения автоматизированного визуального контроля, никто раньше не использовал классификаторы на основе искусственной нейронной сети для классифицирования цвета пикселя микрофотографии МИС, не вычислял пиксельное расстояние применимо к дефектоскопии МИС.

6. С замечанием согласен.

На заседании 22 декабря 2022 г. диссертационный совет постановил: за решение важной научно-технической задачи автоматизации визуального контроля при производстве МИС присудить Ширяеву Борису Владимировичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета

 Шелупанов Александр Александрович

Ученый секретарь
диссертационного совета

 Зайченко Татьяна Николаевна

23 декабря 2022 г.

