

УТВЕРЖДАЮ:

Заместитель генерального директора
по научной работе АО «НИИПП»

А.В. Васильев

2022 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Акционерного общества «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов»

Диссертация «Программно-аппаратный комплекс автоматизированного визуального контроля при производстве монокристаллических интегральных схем» выполнена в АО «НИИПП».

В период подготовки диссертации соискатель Ширяев Борис Владимирович работал в акционерном обществе «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов» в должности инженера-программиста.

В 2015 году был принят на работу в АО «НИИПП» в 4 отдел. В 2017 году с отличием окончил Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники с присвоением степени магистра техники и технологии по направлению «Электроника и нанoeлектроника». В 2021 году получил диплом об окончании аспирантуры.

Научный руководитель – Шурьгин Юрий Алексеевич, доктор технических наук, профессор, директор департамента управления и стратегического развития ТУСУР, заведующий кафедрой компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП) ТУСУР.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы:

Диссертация Ширяева Бориса Владимировича является научно-квалификационной работой, в которой изложены результаты исследования и разработки системы автоматизированного визуального контроля.

Результаты, полученные в ходе исследования, имеют существенный практический интерес для предприятий, занимающихся производством полупроводниковых приборов и монокристаллических интегральных схем.

Актуальность диссертационной работой обусловлена потребностью автоматизации визуального контроля при условиях мелкосерийного производства без существенных денежных затрат.

Практическая значимость работы

Разработан программно-аппаратный комплекс автоматизированного визуального контроля. Программная часть комплекса позволяет на основе существующего технического оснащения предприятия проводить автоматизированный визуальный контроль МИС. Аппаратная часть комплекса, представляющая собой полуавтоматическую зондовую

станцию, позволяет проводить контроль электрофизических параметров монолитных интегральных схем на неразделённых полупроводниковых пластинах.

Научная новизна диссертационной работы

1. Разработан системный подход выбора группы точек совмещения, отличающийся критерием повторяемости геометрического взаиморасположения на микрофотографии МИС и фотошаблоне и позволяющий исключить дефектные точки совмещения.

2. Впервые применён классификатор на основе искусственной нейронной сети и метод вычисления пиксельного расстояния, позволяющие эффективно определять дефекты топологии разнородных покрытий.

3. Разработана специализированная аппаратно-программная система температурной компенсации, отличающаяся гибкостью программной настройки и позволяющая исключить влияние эффекта температурного расширения механических узлов под воздействием внешних факторов.

4. Предложен алгоритм автоматизированного визуального контроля, отличающийся методом сравнения микрофотографий МИС с фотошаблоном и позволяющий повысить производительность визуального контроля мелкосерийного производства.

Личный вклад автора заключается в разработке алгоритма и программного обеспечения автоматизированного визуального контроля, полный цикл разработки полуавтоматической зондовой станции Tetra-200COAX и станции автоматизированного визуального контроля.

Апробация, достоверность и обоснованность

Достоверность полученных результатов подтверждается совпадением экспериментальных результатов, полученных с применением разных методик. Результаты исследований изложены в 17 работах в том числе: в 3 статьях, входящих в Перечень ВАК РФ; в 2 статьях, индексируемых в базах данных научного цитирования Web of Science и Scopus; в 3 свидетельствах о государственной регистрации программы для ЭВМ. Основные результаты диссертационной работы представлялись и докладывались на международных и всероссийских конференциях, среди них: XII Российская конференция с международным участием «Новые информационные технологии в исследовании сложных структур», Алтай, 2018; XVI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», г. Томск, 2019; 29-я Международная конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», г. Севастополь, 2019; XV Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления», г. Томск, 2019.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

Статьи в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК РФ и международные реферативные базы данных цитирования Web of Science и Scopus:

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

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

3. **Ширяев Б.В.** Повышение эффективности алгоритма автоматизированного визуального контроля монолитных интегральных схем / **Б.В. Ширяев**, Д.П. Аргунов // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). – 2022.

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.itm-conferences.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.itm-conferences.org/articles/itmconf/pdf/2019/07/itmconf_crimico2019_04009.pdf (дата обращения: 22.09.2021).

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2022662082. Программа вычисления гистограмм области анализа автоматизированного визуального контроля «HisAV1» / **Б.В. Ширяев** – Заявка № 2022660326. Дата поступления 08.06.2022 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29.06.2022 г.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2022663754. Программное обеспечение «ProChar3» («ПроХар3») / **Б.В. Ширяев** – Заявка № 2022663218. Дата поступления 13.07.2022 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 19.07.2022 г.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2022667536. Программное обеспечение «ProMeas4» / Д.П. Аргунов, **Б.В. Ширяев** – Заявка № 2022666802. Дата поступления 14.09.2022 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 21.09.2022 г.

Публикации в сборниках статей и трудах конференций:

9. **Ширяев Б.В.** Алгоритм Брезенхэма для систем ЧПУ с N-мерным пространством // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2018. – Ч. 3. – С. 70-72.

10. **Ширяев Б.В.** Алгоритм автоматизированного визуального контроля при производстве МИС СВЧ с использованием искусственных нейронных сетей // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур. – 2018. – С. 102-103.

11. **Ширяев Б.В.** Алгоритм определения дефектов СВЧ МИС с использованием гистограмм участков микрофотографии / Б.В. Ширяев, А.Ю. Ющенко, А. В. Безрук // Наука. Технологии. Инновации. – 2018. – Ч. 2. – С. 118-120.

12. **Ширяев Б.В.** Алгоритм автоматизированного визуального контроля СВЧ МИС с использованием классификатора на основе многослойного персептрона / Б.В. Ширяев, А.В. Безрук // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов в 7 томах. – 2019. – Том 7. – С. 122-124.

13. **Ширяев Б.В.** Алгоритм определения годности СВЧ МИС с использованием классификатора на основе искусственных нейронных сетей // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУРа (Томск, 22–24 мая 2019 г.): в 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 2. – С. 81-83.

14. **Ширяев Б.В.** Алгоритм автоматизированного визуального контроля СВЧ МИС по микрофотографиям с использованием классификатора на основе искусственных нейронных

сетей / Б.В. Ширяев, А.В. Безрук, Д.П. Аргунов, А.Ю. Ющенко // 29-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2019). Севастополь, 8–14 сентября 2019 г. : тезисы д-дов. – Москва ; Минск ; Севастополь, 2019. – С. 72-73.

15. Аргунов Д.П. Программный комплекс ICCreatech для автоматизации учета полупроводниковых пластин, проведения измерений и анализа полученных данных / Д.П. Аргунов, А.В. Безрук, **Б.В. Ширяев**, А.Ю. Ющенко // 29-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2019). Севастополь, 8–14 сентября 2019 г. : тезисы д-дов. – Москва ; Минск ; Севастополь, 2019. – С. 69-70.

16. **Ширяев Б.В.** Алгоритм автоматизированного визуального контроля СВЧ МИС на основе искусственной нейронной сети с вычислением средневзвешенного пиксельного расстояния / Б.В. Ширяев, Д.П. Аргунов, А.В. Безрук // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XV Международной научно-практической конференции (20–22 ноября 2019 г.): в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2019. – 254 с.

17. **Ширяев Б.В.** Алгоритм совмещения векторного чертежа фотошаблона и микрофотографии СВЧ МИС с помощью метода наименьших квадратов / Б.В. Ширяев, Д.П. Аргунов, А.В. Безрук // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР, Томск, 13–30 мая 2020 г.: в 2 частях. – Томск: В-Спектр, 2020. – Ч. 2. – С. 41-43.

Соответствие диссертации научной специальности

Диссертационная работа Ширяева Бориса Владимировича «Программно-аппаратный комплекс автоматизированного визуального контроля при производстве монолитных интегральных схем» рекомендуется к защите на соискание степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Заключение принято на заседании научно-технического совета АО «НИИПП».

Присутствовало на заседании 12 чел., в том числе докторов наук – 2, кандидатов наук – 4. Результаты голосования: «за» – 12 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол №7/22 от 05 октября 2022 г.

Ученый секретарь НТС,
ведущий инженер НТО



С.О. Лунев



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по НИИ ТУСУР

канд. техн. наук, доцент

А.Г. Лощилев

«28» 09 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР) по результатам представления диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук

Диссертация «Программно-аппаратный комплекс автоматизированного визуального контроля при производстве монолитных интегральных схем» выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».

В период подготовки диссертации соискатель Ширяев Борис Владимирович очно обучался в аспирантуре ТУСУРа, работал в лаборатории интегральной оптики и радиофотоники (ЛИОР) кафедры ФЭ ТУСУР на должности младшего научного сотрудника.

В 2021г. окончил ТУСУР по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами». Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2021г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».

Научный руководитель – Шурыгин Юрий Алексеевич, доктор технических наук, профессор, директор департамента управления и стратегического развития ТУСУР, заведующий кафедрой компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП) ТУСУР.

По итогам обсуждения доклада по результатам научного исследования Б.В. Ширяева принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы:

Диссертация Ширяева Бориса Владимировича является завершённой научно-квалификационной работой, в которой изложены результаты экспериментальных исследований, направленных на решение научно-технической задачи автоматизации визуального контроля в условиях мелкосерийного производства. Результаты, полученные в ходе выполнения диссертационных исследований, имеют важное значение для развития производственных процессов производства МИС, изложены новые технические решения в области визуального контроля.

Актуальность диссертационной работы

Визуальный контроль – метод обнаружения и анализа внешних дефектов промышленных изделий, возникающих на различных этапах производства, осуществляемый оператором или специальным устройством с использованием оптических средств. Визуальный контроль является одним из этапов выходного контроля, позволяет отсортировать потенциально нерабочие монолитные интегральные схемы (МИС), снизить степень износа зондов посредством уменьшения числа касаний и оценить общий внешний вид выпускаемой продукции. Изготовленная МИС по визуальному признаку оценивается в нескольких категориях: качественный анализ поверхностей элементов МИС, отсутствие повреждений и загрязнений, точность повторения фотошаблона и другие.

Современные масштабы выпуска МИС и полупроводниковых приборов настолько огромны, что ручной визуальный контроль отнимает большое количество времени и требует значительных усилий со стороны контролирующего оператора. Длительная работа по осуществлению визуального контроля приводит к чрезмерной утомляемости зрения оператора и снижению качества контроля. Готовые решения в виде систем автоматизированного визуального контроля имеют высокую стоимость и являются импортной продукцией.

В соответствии с приказом №96 от 01.04.2015 Минкомсвязи России «Об утверждении плана импортозамещения программного обеспечения» разработка отечественного программно-аппаратного комплекса для автоматизации визуального контроля является актуальной задачей.

Научная новизна диссертационной работы

1. Разработан системный подход выбора группы точек совмещения, отличающийся критерием повторяемости геометрического взаиморасположения на микрофотографии МИС и фотошаблоне и позволяющий исключить дефектные точки совмещения.

2. Впервые применён классификатор на основе искусственной нейронной сети и метод вычисления пиксельного расстояния, позволяющие эффективно определять дефекты топологии разнородных покрытий.

3. Разработана специализированная аппаратно-программная система температурной компенсации, отличающаяся гибкостью программной настройки и позволяющая исключить влияние эффекта температурного расширения механических узлов под воздействием внешних факторов.

4. Предложен алгоритм автоматизированного визуального контроля, отличающийся методом сравнения микрофотографий МИС с фотошаблоном и позволяющий повысить производительность визуального контроля мелкосерийного производства.

Практическая значимость работы

1. 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 числовым программным управлением.

2. Разработана, собрана и испытана полуавтоматическая зондовая станция для проведения контроля электрофизических параметров и визуального контроля.

Личный вклад автора заключается в выполнении основного объема теоретических и экспериментальных исследований, изложенных в диссертационной работе, включая разработку и отладку алгоритма и программного обеспечения автоматизированного визуального контроля, конструирование, сборку и отладку работы полуавтоматической зондовой станции, проведение анализа разработанных частей программно-аппаратного комплекса, оформление полученных результатов исследований.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается: согласованием экспериментальных данных с результатами референтных методов; применением современного измерительного оборудования, поверенного в установленном порядке; совпадением экспериментальных результатов, полученных с применением разных методик; апробацией теоретических и экспериментальных результатов на конференциях, семинарах; публикацией статей в рецензируемых журналах; наличием свидетельств о регистрации программ для ЭВМ; внедрением результатов работы в производство.

Соответствие содержания диссертации избранной специальности

Диссертационная работа Ширяева Бориса Владимировича по своему содержанию соответствует п. 1 паспорта специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами «Автоматизация производства заготовок, изготовления деталей и сборки».

Полнота изложенных материалов диссертации в печатных работах, опубликованных автором

Публикации автора полностью отражают содержимое диссертационного исследования. Общее количество научных работ по теме исследования 17, в том числе 3 публикации в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 2 публикации в изданиях, индексируемых в базах данных научного цитирования Web of Science и Scopus, 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

1. **Ширяев Б.В.** Алгоритм автоматизированного визуального контроля монолитных интегральных схем с использованием искусственных нейронных сетей / Б.В. Ширяев, А.Ю. Ющенко, А.В. Безрук // Доклады ТУСУР. – 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 ТУСУР. – 2022. – Т. 25, № 3.

3. **Ширяев Б.В.** Повышение эффективности алгоритма автоматизированного визуального контроля монолитных интегральных схем / **Б.В. Ширяев**, Д.П. Аргунов // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). – 2022.

4. **Shiryaev B.V.** Algorithm for automated visual inspection of MMIC using a classifier based on neural networks [Электронный ресурс] / B.V. Shiryaev, A.V. Bezruk, D.P. Argunov, A.Yu. Yushenko // ITM Web of Conferences 30, 04012 (2019). – Режим доступа: https://www.itm-conferences.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.itm-conferences.org/articles/itmconf/pdf/2019/07/itmconf_crimico2019_04009.pdf (дата обращения: 22.09.2021).

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2022662082. Программа вычисления гистограмм области анализа автоматизированного визуального контроля «HisAVI» / **Б.В. Ширяев** – Заявка № 2022660326. Дата поступления 08.06.2022 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29.06.2022 г.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2022663754. Программное обеспечение «ProChar3» («ПроХар3») / **Б.В. Ширяев** – Заявка № 2022663218. Дата поступления 13.07.2022 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 19.07.2022 г.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2022667536. Программное обеспечение «ProMeas4» / Д.П. Аргунов, **Б.В. Ширяев** – Заявка № 2022666802. Дата поступления 14.09.2022 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 21.09.2022 г.

Публикации в сборниках статей и трудах конференций:

9. **Ширяев Б.В.** Алгоритм Брезенхэма для систем ЧПУ с N-мерным пространством // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2018. – Ч. 3. – С. 70-72.

10. **Ширяев Б.В.** Алгоритм автоматизированного визуального контроля при производстве МИС СВЧ с использованием искусственных нейронных сетей // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур. – 2018. – С. 102-103.

11. **Ширяев Б.В.** Алгоритм определения дефектов СВЧ МИС с использованием гистограмм участков микрофотографии / Б.В. Ширяев, А.Ю. Ющенко, А. В. Безрук // Наука. Технологии. Инновации. – 2018. – Ч. 2. – С. 118-120.

12. **Ширяев Б.В.** Алгоритм автоматизированного визуального контроля СВЧ МИС с использованием классификатора на основе многослойного персептрона / Б.В. Ширяев, А.В. Безрук // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов в 7 томах. – 2019. – Том 7. – С. 122-124.

13. **Ширяев Б.В.** Алгоритм определения годности СВЧ МИС с использованием классификатора на основе искусственных нейронных сетей // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУРа (Томск, 22–24 мая 2019 г.): в 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 2. – С. 81-83.

14. **Ширяев Б.В.** Алгоритм автоматизированного визуального контроля СВЧ МИС по микрофотографиям с использованием классификатора на основе искусственных нейронных сетей / Б.В. Ширяев, А.В. Безрук, Д.П. Аргунов, А.Ю. Ющенко // 29-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2019). Севастополь, 8–14 сентября 2019 г. : тезисы д-дов. – Москва ; Минск ; Севастополь, 2019. – С. 72-73.

15. Аргунов Д.П. Программный комплекс ICCreatech для автоматизации учета полупроводниковых пластин, проведения измерений и анализа полученных данных / Д.П. Аргунов, А.В. Безрук, **Б.В. Ширяев**, А.Ю. Ющенко // 29-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2019).

Севастополь, 8–14 сентября 2019 г. : тезисы д-дов. – Москва ; Минск ; Севастополь, 2019. – С. 69-70.

16. **Ширяев Б.В.** Алгоритм автоматизированного визуального контроля СВЧ МИС на основе искусственной нейронной сети с вычислением средневзвешенного пиксельного расстояния / Б.В. Ширяев, Д.П. Аргунов, А.В. Безрук // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XV Международной научно-практической конференции (20–22 ноября 2019 г.): в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2019. – 254 с.

17. **Ширяев Б.В.** Алгоритм совмещения векторного чертежа фотошаблона и микрофотографии СВЧ МИС с помощью метода наименьших квадратов / Б.В. Ширяев, Д.П. Аргунов, А.В. Безрук // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР, Томск, 13–30 мая 2020 г.: в 2 частях. – Томск: В-Спектр, 2020. – Ч. 2. – С. 41–43.

Диссертация «Программно-аппаратный комплекс автоматизированного визуального контроля при производстве монолитных интегральных схем» Ширяева Бориса Владимировича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Заключение принято на совместном научно-техническом семинаре кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП) и кафедры физической электроники (ФЭ) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР).

Присутствовало на заседании 9 чел. Результаты голосования: «за» – 9 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 39 от 27.09.2022 г.

Председатель семинара
Зав. каф. ФЭ ТУСУР
д.т.н., профессор


П.Е. Троян

Секретарь семинара
Профессор каф. КСУП ТУСУР
д.т.н., доцент


Т.В. Ганджа