

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе,
доктор технических наук, доцент


Брованов Сергей Викторович

« 21 »

2022 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на диссертацию Ширяева Бориса Владимировича на тему «Программно-аппаратный комплекс автоматизированного визуального контроля при производстве монолитных интегральных схем» по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» на соискание ученой степени кандидата технических наук

На отзыв представлены: диссертация на 132 страницах машинописного текста, включая 109 рисунков и 5 таблиц; автореферат диссертации на 16 страницах, включая список публикаций автора по теме диссертации, в том числе 3 статьи в журналах рекомендованных ВАК, 2 статьи индексируемые в Web of Science и 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ в Роспатенте.

1. Актуальность темы выполненной работы

Визуальный контроль в условиях мелкосерийного производства проводится вручную, т.к. стоимость готовых установок для данного вида контроля высока, и они предназначены для серийного производства. Ручной визуальный контроль предполагает напряжённую работу за микроскопом, что приводит к чрезмерной утомляемости оператора и как следствие к снижению качества контроля.

На текущий момент с учётом существования многочисленных санкций на импорт высокотехнологичного оборудования и программного обеспечения и существования приказов об импортозамещении программного обеспечения и оборудования диссертационная работа Ширяева Б.В., посвящённая созданию программно-аппаратного комплекса автоматизированного визуального контроля с использованием созданных соискателем программного обеспечения и аппаратной части, востребована основными отечественными производителями электронной компонентной базы.

2. Краткий обзор содержания работы

Во *введении* изложена актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи исследования, представлена научная новизна, основные положения, выносимые на защиту, практическая значимость и структура диссертационной работы.

В первой главе определено место и значимость визуального контроля МИС в общем технологическом маршруте изготовления, осуществлён обзор современных систем, методов и подходов визуального контроля: специализированных станций автоматизированного визуального контроля, полуавтоматических зондовых станций, программного обеспечения: специализированного для МИС и общего назначения для проведения автоматизированного визуального контроля.

Вторая глава посвящена разработке алгоритма автоматизированного визуального контроля. Подробно описаны структура алгоритма, каждый шаг алгоритма и особенности реализации. Кратко описано разработанное программное обеспечение. Подробно описаны особенности реализации каждого сложного шага алгоритма автоматизированного визуального контроля в программном обеспечении. Оценена вычислительная сложность разработанного алгоритма и выявлены критические места реализации в программном обеспечении, оптимизация которых может повысить скорость автоматизированного визуального контроля.

Третья глава посвящена разработке установки автоматизированного визуального контроля и полуавтоматической зондовой станции, описаны применённые конструкторские решения, приведена упрощённая структура

разработанного программно-аппаратного комплекса. Решена проблема компенсации линейного расширения узлов полуавтоматической зондовой станции под воздействием температуры.

В четвёртой главе приведены результаты тестирования разработанного алгоритма и программного обеспечения автоматизированного визуального контроля на топологиях МИС различной сложности, продемонстрирована эффективность работы: высокая повторяемость ручного контроля до 98% и скорость (ускорение относительно ручного до 28 раз). Описана методика проведения тестирования и кратко описано программное обеспечение для ускорения тестирования.

В заключении приведены научные и практические результаты работы.

В приложении представлены расширенные результаты тестирования разработанного алгоритма из четвёртой главы.

3. Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Применённый метод выбора группы точек совмещения по критерию повторяемости геометрического взаиморасположения на микрофотографии МИС и фотошаблоне позволяет исключить точки совмещения, которые находятся в области допустимой дефектности.

2. Комбинация классификатора на основе искусственной нейронной сети и метода вычисления пиксельного расстояния позволяют определять дефекты топологии разнородных покрытий.

3. Разработанная специализированная система температурной компенсации «ухода» плоскости контакта полуавтоматической зондовой станции позволяет исключить влияние эффекта температурного расширения механических узлов под воздействием внешних факторов.

4. Алгоритм автоматизированного визуального контроля на основе метода сравнения микрофотографий МИС и фотошаблона позволяет повысить производительность ручного визуального контроля мелкосерийного производства.

Научная значимость работы заключается в применении новых методов обработки микрофотографий МИС для повышения качества определения дефектности МИС.

4. Практическая значимость работы

1. Разработан программно-аппаратный комплекс автоматизированного визуального контроля, который повышает эффективность визуального контроля в условиях мелкосерийного производства.

2. Разработана полуавтоматическая зондовая станция, которая может проводить автоматизированный визуальный контроль и контроль электрофизических параметров МИС.

3. Разработанные продукты внедрены в производственный процесс в АО «НИИПП», также налажен их мелкосерийный выпуск для ряда других предприятий.

5. Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведённых в диссертации

Полученные автором результаты прошли проверку и показали свою эффективность при выполнении визуального контроля МИС в АО «НИИПП» и ТУСУР. Результаты работы могут быть использованы на других производствах МИС, которые используют ручной визуальный контроль и нуждаются в ускорении данного вида контроля, таких как "НЗПП Восток", АО "НПП "Исток" и другие. Разработанная полуавтоматическая зондовая станция может стать заменой импортных полуавтоматических зондовых станций для электрофизического контроля МИС на неразделённых полупроводниковых пластинах, т.к. не уступает им по характеристикам.

6. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Положения, выносимые на защиту:

1. Использование системного подхода к выбору точек совмещения, отличающегося использованием изменяемой группы точек совмещения и метода наименьших квадратов, позволяет улучшить устойчивость работы алгоритма на монолитных интегральных схемах допустимой дефектности.

Положение подтверждается ожидаемыми результатами испытания данного подхода при тестировании его в условиях допустимой дефектности МИС.

2. Применение вычисления пиксельного расстояния совместно с классификатором на основе искусственной нейронной сети позволяет определить дефекты топологии разнородных покрытий.

Положение обосновано последовательным подробным описанием каждого шага алгоритма автоматизированного визуального контроля, в котором прослеживается логика преобразования данных для получения конечного результата.

3. Использование метода сравнения с фотошаблоном, отличающегося от метода сравнения с микрофотографией эталонной МИС исходным объектом сравнения, повышает производительность визуального контроля в условиях мелкосерийного производства.

Положение подтверждается сходимостью результатов тестирования эффективности разработанного алгоритма автоматизированного визуального контроля с результатами ручного визуального контроля.

4. Использование аппаратно-программной системы температурной компенсации держателя полупроводниковых пластин, отличающейся гибкостью программной настройки температурной зависимости, позволяет исключить уход фокусного расстояния и увеличить устойчивость алгоритма.

Положение подтверждается результатами измерения плоскостности держателя полупроводниковых пластин после введения коррекции плоскостности и температурной компенсации.

Защищаемые положения и выводы однозначно следуют из полученного в работе экспериментального материала. В целом они корректно сформулированы, адекватно отражают содержание диссертации и имеют хорошую доказательную базу.

Достоверность результатов обеспечивается согласованием экспериментальных результатов, полученных с применением разных методик.

Результаты, изложенные в диссертации, носят непротиворечивый характер и взаимно дополняют друг друга с получением целостного и законченного решения в виде программно-аппаратного комплекса.

Кроме того, достоверность результатов подтверждена апробацией на ряде научных семинаров, а также в процессе выступлений автора на российских и международных конференциях.

7. Соответствие содержания диссертации указанной специальности

Тема и содержание диссертационной работы, соответствуют паспорту научной специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами», ее формуле, а именно: «1. Автоматизация производства заготовок, изготовления деталей и сборки.», «7 Формализованные методы анализа, синтеза, исследования и оптимизация модульных структур систем сбора и обработки данных в АСУТП, АСУП, АСТПП и др.», «11. Методы контроля, обеспечения достоверности ...АСУТП, АСУП, АСТПП и др.».

8. Соответствие автореферата основным положениям диссертации. Текст автореферата полностью отражает содержание диссертации и защищаемые научные положения.

9. Личный вклад

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.

10. Основные замечания по диссертационной работе

В ходе ознакомления с диссертационной работой возникли следующие вопросы и замечания:

1. В тексте диссертации не приведены утвержденные акты, подтверждающие использование результатов диссертационного исследования в НИР, указанных на стр. 7,8 диссертации.

2. Метод наименьших квадратов не применим в случае, когда количество точек мало, а погрешность измерения каждой точки велика или имеет

преимущественно систематических характер. Поэтому необходимо обоснование правомерности его применения.

3. В работе основной целью является импортозамещение программно-аппаратной базы, однако аппаратная часть разработанных автором устройств в основном содержит иностранные комплектующие, с.69-71.

4. Недостаточно обосновано применение нейронной сети для трансформирования цвета.

5. Недостаточно полно описан процесс взаимодействия программного обеспечения и полуавтоматической зондовой станции. Следовало после описания алгоритма привести описание архитектуры аппаратно-программного комплекса и показать взаимодействие программного обеспечения и аппаратной части.

К замечаниям по оформлению диссертации можно отнести следующее:

Присутствуют стилистические и орфографические ошибки, несогласованность предложений, например, «...методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопией...» (стр. 20), «...для аппроксимирования...» (стр. 45), «...с исключенной точной совмещения...» (стр. 47), «...требуется высококачественные компоненты...» (стр. 69), «...копланарные линии...» (стр. 86), «...составило в ... раз...» (стр. 94, 100, 104, 110, 115) и т.д.

Указанные замечания не снижают ценности проделанной автором работы и ее положительной оценки. В целом диссертация Ширяева Б.В. выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченное научное исследование в области автоматизация и управления технологическими процессами и производствами, в ходе которого получены новые, оригинальные результаты.

Заключение

Таким образом, диссертация Ширяева Б.В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной научно-технической проблемы производства изделий электронной техники - автоматизация визуального контроля при производстве МИС, имеющей существенное значение для развития автоматизации и управления технологическими процессами и производствами. Диссертационная работа полностью отвечает п.п. 9 - 14

действующего «Положения о порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 (с изменениями от 21.04.2016 г.) предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Ширяев Борис Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Диссертация, автореферат и отзыв были обсуждены и одобрены на научном семинаре кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета «11» ноября 2022 г. (протокол №2 от 11.11.2022).

Отзыв составили:

Профессор кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета, доктор технических наук, (2.2.6 - «Оптические и оптикоэлектронные приборы и комплексы»), доцент

Ильиных Сергей Петрович

Доцент кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета, кандидат технических наук, (05.13.13 - «Телекоммуникационные системы и компьютерные сети»), доцент

Гаврилов Андрей Владимирович

630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20, НГТУ

+7 (383) 346 08 43

rector@nstu.ru

Подписи Ильиных С.П. и Гаврилова А.В. удостоверяю

Начальник ОК НГТУ



Костовалова Ольга Константиновна