

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

ФГП

ский

гос

нический

уни

Д.Т.

уромцев

«02

2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Белоусовой Олеси Владимировны «Автоматизация технологического процесса нанесения фоторезиста на основе моделей и методов цифрового управления», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Актуальность темы исследования.

Указ Президента РФ «О национальных целях развития РФ на период до 2030 года» и Программа фундаментальных научных исследований в РФ на долгосрочный период (2021–2030 годы), принятая постановлением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 3684-р и утверждённая председателем правительства РФ М.В. Мишустиним, обозначают необходимость реализации задач по обеспечению темпа роста валового внутреннего продукта страны. К важным механизмам увеличения темпа роста относят автоматизацию промышленных объектов РФ. В свою очередь, автоматизированные системы управления (АСУ), автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП), автоматизированные системы управления производствами (АСУП), автоматизированные системы управления технической подготовкой производства (АСУТПП) представляют из себя совокупность АСУ промышленными объектами и являются одним из ключевых компонентов, обуславливающих эффективность производства, уровень качества продукции и её себестоимость.

Сегодня на российском рынке не заявлено отечественное оборудование для фотолитографии, соответствующее мировому уровню технологий, а универсальные процессоры Эльбрус-8С, Эльбрус-16С и конкурирующий с ними Байкал-Т, разработанные под нормы 28 нм, заказанные в Республике Корея (компания TSMC), подверглись санкциям. Поэтому в настоящее время для удовлетворения спроса потребителей является актуальной задача по созданию технологического оборудования, обеспечивающего нормы от 90 нм и ниже. Соответственно разработка такого

рода оборудования важна, практическая значимость и актуальность данной работы не вызывает сомнений.

Структура и содержание диссертации.

Представленная на отзыв диссертация Белоусовой О.В. имеет общий объем 194 страницы и включает в себя введение, четыре главы, заключение, список литературы, приложение. Список литературы достаточно обширен, содержит отечественные и зарубежные источники и включает 151 наименование. Диссертация содержит 88 рисунков и 21 таблицу.

В *первой главе* диссертационной работы выполнен общий анализ развития технологии и оборудования фотолитографии. Указаны основные недостатки отечественного оборудования нанесения фоторезиста, которые состоят в качественно низких характеристиках ряда важных технологических модулей: в первую очередь модулей центрифуги, дозирования, термообработки и термостабилизации. Обоснована актуальность задачи разработки автоматизированных установок.

Во *второй главе* определены требования к параметрам слоя фоторезиста и технологическим режимам для его формирования, предложены средства для их обеспечения. Сформулированы подробные рекомендации по проектированию автоматизированных установок нанесения фоторезиста данного типа, имеющих по мнению автора большую практическую ценность. Разработана новая модель системы управления технологическим процессом нанесения фоторезиста.

В *третьей главе* на основании современных методов системного анализа, математического и имитационного моделирования получены результаты, позволившие создать новую методику формирования адаптивного сигнала управления пуском привода центрифуги, обеспечивающая разгон привода с постоянным ускорением и поддержание установившейся скорости вращения. Эта методика позволяет решить проблему обеспечения требуемого вида переходного процесса разгона центрифуги.

В *четвертой главе* рассмотрены особенности микропроцессорного обеспечения. Дано описание программного обеспечения системы управления автоматизированной установки нанесения фоторезиста. Разработана библиотека технологических программ, которая представляет собой набор макросов, обеспечивающих автоматическую обработку подложек с заданными характеристиками, а также процедуру записи макросов как в режиме выполнения диагностических команд, так и автономно.

В *заключении* изложены основные результаты исследования и перспективы дальнейшей разработки, которые подтверждают достижение сформулированной цели и реализации поставленных задач.

Название диссертации отражает её содержание, материал изложен корректно. Содержание диссертации изложено последовательно и логично.

Научная новизна полученных результатов.

Следует отметить научные результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Разработана новая модель системы автоматического управления процессом нанесения фоторезиста, отличающаяся наличием обратной связи по скорости вращения центрифуги, а также обратными связями по температурным параметрам модулей контроля подогрева фоторезиста, термообработки и термостабилизации, определяющих температурные параметры рабочих поверхностей и сред, с целью обеспечения требуемой толщины пленки и её целостности.

2. Создана новая методика формирования адаптивного управления разгоном привода центрифуги, обеспечивающего линейный рост её скорости, что позволяет достичь требуемой равномерности плёнки фоторезиста.

3. Разработана новая модель системы автоматического управления центрифуги, отличающейся наличием обратной связи по скорости, обеспечивающей постоянство ускорения за счёт регулирования угла нагрузки путём опережения включения токов в статорной обмотке бесконтактного двигателя, то есть получение требуемых толщины и равномерности плёнки фоторезиста.

4. Созданы алгоритмы автоматизированной системы управления установкой нанесения фоторезиста и её функциональных модулей, имеющих отличительную черту в виде разработанных разрядных сеток обработки команд управления и сигналов с датчиков температуры и скорости вращения, обеспечивающие толщину пленки фоторезиста в интервале (10÷90) нм.

Значимость результатов исследования для науки и практики.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке: новых функциональных связей динамической модели автоматической системы управления, а также модулей стабилизации её температурных параметров; новой моделью динамического расчета электропривода центрифуги; алгоритмов управления отдельными модулями оборудования и комплексного алгоритма автоматизированной установки нанесения фоторезиста. Практическая значимость работы заключается в разработке библиотеки технологических программ, рекомендаций, которые подробно описывают все нюансы при разработке подобного оборудования, узла создания вакуума для удержания обрабатываемой пластины на вращающемся роторе центрифуги, отличающейся конструктивным расположением, формой и материалом вакуумного уплотнения.

Теоретические результаты диссертационной работы используются в учебном процессе АНОО ВО «Международный институт компьютерных технологий». Разработанный программный комплекс апробирован в Международном институте компьютерных технологий. Эффект от внедрения заключается в обеспечении требуемых технологических параметров и повышении эффективности управления разработанным оборудованием.

Обоснованность и достоверность научных результатов и выводов.

Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается выбором апробированных методов анализа, результатами численного моделирования и их совпадением с результатами проведённых в достаточном объеме испытаний, подкрепляется фундаментальными достижениями

технологических лидеров в области фотолитографии, отражёнными в обзоре научной литературы.

Основные положения и научные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Международной научно-технической конференции «Электроэнергетика и электротехника» (2017 - 2019), Международной научно-технической конференции «Энергетика XXI: проблемы, технологии, инновации» (2022). По теме исследования опубликовано 15 научных работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 4 работы в материалах международных и всероссийских конференций, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и 1 патент Российской Федерации на полезную модель.

Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования.

Разработанные методики, алгоритмы и программное обеспечение рекомендуется использовать в составе АСУ промышленных предприятий по производству микроэлектроники, а также в организациях высшего образования при обучении студентов по направлению «Автоматизация технологических процессов» и «Информатика и вычислительная техника». Также теоретический материал и созданные на их базе модели, методики, алгоритмы и программы рекомендуются к внедрению в учебный процесс при проведении практических занятий по дисциплинам «Основы автоматического управления», «Микропроцессорные системы», «Разработка и эксплуатация программно-аппаратных комплексов».

Замечания по диссертационной работе.

1. В диссертации утверждается, что модель системы автоматического управления процессом нанесения фоторезиста способна обеспечить слой фоторезиста в интервале (10÷90) нм, однако отсутствуют доказательства этого утверждения.

2. В первой главе диссертации не в полной мере представлено математическое описание закона управления динамическим режимом установки нанесения и закона управления температурным режимом установки нанесения.

3. Не совсем понятно почему объединены два алгоритма: программного управления модулем инструмента и модулем центрифуги на одном рисунке 4.15.

4. Глава 3 посвящена АСУ центрифуги, но структурная схема системы не приведена.

5. В автореферате не приведены диаметры и массы обрабатываемых пластин, диаметры и массы технологических столиков, на которых фиксируются пластины, моменты инерции центрифуги.

Сделанные замечания не снижают теоретической ценности и практической значимости диссертационного исследования.

Заключение.

Диссертация Белоусовой О.В. является законченным научным исследованием, имеющим существенное значение для российской

промышленности. Тема диссертации является актуальной, научные положения и выводы – достоверными, содержание опубликованных работ соответствует основным положениям диссертации и достаточно полно отражает их, в том числе в журналах из перечня ВАК. Автореферат соответствует содержанию диссертации, установленным стандартам и отражает основные положения исследования.

Диссертация соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, а её автор, Белоусова Олеся Владимировна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Диссертационная работа и отзыв доложены, обсуждены и единогласно одобрены на заседании кафедры «Информационные процессы и управление» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». (Протокол № 11 от 08 февраля 2023 г.)

Профессор кафедры «Информационные процессы и управление»
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

д.т.н., профессор



Дмитриевский Борис Сергеевич

08.02.23

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Тамбовский государственный
технический университет»

Адрес: 392000 г.Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, помещение 2.

Тел. (4752) 63-10-19.

E-mail: tstu@admin.tstu.ru

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
ЩИЙ СЕКРЕТАРЬ ТГТУ

 Г.В. Мозгова
» февраля 2023 г.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ