

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н. Кудинова Юрия Ивановича

на диссертацию Белоусовой Олеси Владимировны на тему:

«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 диссертационного исследования

Представленная диссертация направлена на создание конкурентоспособного технологического оборудования для нанесения на кремневые подложки тонких слоёв фоторезиста с высокими адгезионными свойствами.

Основной проблемой при формировании плёнки фоторезиста толщиной 70 нм и ниже является обеспечение её равномерности и точности стабилизации температурных параметров рабочих поверхностей технологических модулей и самого фоторезиста при работе фильтровентиляционного блока, расположенного в рабочей зоне с основным технологическим оборудованием.

Сложность управления технологическим оборудованием нанесения фоторезиста объясняется наличием и характером влияния большого числа возмущающих воздействий, что приводит к сложности определения состояния объектов.

Решение подобных задач возможно только на основе анализа теоретических и практических результатов экспериментальных исследований. Результаты данной работы вносят научный вклад в решение задачи управления подобными многокорреляционными объектами.

В целом решение задач управления объектами промышленных технологий для производства отечественной микроэлектроники, достигнутое в настоящее время, остро нуждается в дальнейшем развитии. Технологическое совершенствование подобного оборудования в нынешних условиях жизни страны является важной государственной задачей.

Диссертация выполнялась в рамках одного из приоритетных научных направлений Программы фундаментальных научных исследований в РФ на долгосрочный период (2021–2030 годы), принятой постановлением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 3684-р и утверждённой председателем правительства РФ М.В. Мишустиним по направлению фундаментальных и поисковых научных исследований 2.2.1. Автоматизированные системы управления.

Указанные обстоятельства определяют актуальность темы диссертации Белоусовой О.В., связанной с разработкой автоматизированной системы управления технологическим процессом нанесения фоторезиста для обеспечения выпуска продукции микроэлектроники с высоким качеством наносимого фоторезиста за счёт уменьшения толщины и повышения равномерности наносимого слоя, а также точности стабилизации температурных параметров технологических модулей и сред, а также комплекса алгоритмов работы модулей оборудования и установки в целом, включая разработку пакета программного обеспечения для управления технологическим процессом нанесения фоторезиста.

Степень обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций, их достоверность

Обоснованность сформулированных автором диссертации основных научных положений, выводов и рекомендаций обусловлена использованием системного подхода к решению поставленных задач, а также применением известных методов. Подходы соискателя к решению поставленных задач продемонстрированы на реальных данных, не противоречат инженерной практике и логично взаимосвязаны.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректностью постановки задач исследования, выбором апробированных методов анализа, совпадением результатов аналитических и экспериментальных исследований, результатами успешной апробации и внедрения разработанного теоретического подхода и математического аппарата на практике, а также сведениями и результатами технологического обслуживания широкого ряда конструктивных исполнений данного вида автоматизированных установок, подкрепляется фундаментальными достижениями технологических лидеров в

области фотолитографии, отражёнными в обзоре научной литературы. Также это подтверждают акты об использовании результатов диссертационной работы.

Достоверность новизны технических решений подтверждается 1 патентом РФ на изобретение и 1 свидетельством о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Объём, содержание и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и содержит 191 страницу основного машинописного текста, 88 рисунков, 21 таблицу, список литературы из 151 наименований и три приложения. Общий объем диссертации составляет 194 страницы.

Во введении обоснована актуальность диссертации, изложена цель и основные задачи исследований, их научная новизна и практическая значимость, отмечены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведён анализ тенденций развития технологического процесса фотолитографии; приведено описание конструкций технологического оборудования фотолитографии, подробно рассмотрен технологический процесс нанесения фоторезиста. Указаны главные проблемы при разработке данных установок. Перечислены основные параметры технологического процесса нанесения фоторезиста. Предложены законы управления температурным и динамическим режимами установки нанесения фоторезиста.

Во второй главе указан характер влияния различных факторов, влияющих на технологический процесс нанесения фоторезиста, а также рассмотрены способы оптимизации этих параметров для получения слоя фоторезиста требуемой толщины и качества, приведена конструкция модулей установки нанесения фоторезиста и узла создания вакуума для удержания обрабатываемой пластины на вращающемся роторе центрифуги, на который получен патент РФ.

В третьей главе изложены основы методики адаптивного управления разгоном центрифуги, обеспечивающей работу с постоянным ускорением,

приведена модель автоматической системы управления электропривода, а также выполнен анализ динамических характеристик центрифуги.

В четвертой главе приведены алгоритмы управления, разрядные сетки обработки команд и сигналов с датчиков, а также циклограммы работы всех технологических модулей автоматизированной установки нанесения фоторезиста. Дано описание программного обеспечения для управления технологическим процессом нанесения фоторезиста и разработан пакет программного обеспечения, на который получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

В заключении излагаются итоги выполненного исследования, рекомендации и направления дальнейших исследований.

В приложениях представлены дополнительные материалы и копии актов об использовании результатов работы.

Диссертация и автореферат полностью соответствует паспорту специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Основные научные результаты диссертации, их новизна и степень обоснованности

1. 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, обеспечивающая требуемую толщину слоя фоторезиста и его целостность.

2. Методика формирования адаптивного управления разгоном центрифуги, обеспечивающего линейный рост её скорости, что позволяет достичь требуемую толщину и равномерности слоя фоторезиста.

3. Модель системы автоматического управления центрифуги, отличающаяся наличием обратной связи по скорости, обеспечивающая постоянство ускорения за счёт регулирования угла нагрузки двигателя центрифуги путём опережения

включения токов в его обмотке, то есть также направленную на обеспечение требуемых толщины и равномерности слоя фоторезиста.

4. 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 заданную толщину слоя фоторезиста.

Защищаемые научные положения соответствуют паспорту специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Значимость для науки и практики выводов, рекомендаций и результатов

Автором разработана автоматизированная система управления технологическим процессом нанесения фоторезиста для обеспечения выпуска продукции микроэлектроники с более высокими технологическими нормами за счёт уменьшения толщины и повышения равномерности наносимого слоя, а также точности стабилизации температурных параметров технологических модулей и сред.

В работе сформулированы законы управления температурным и динамическим режимами технологических модулей установки нанесения фоторезиста, предложена модель системы управления для автоматизации технологического процесса нанесения фоторезиста на основе функциональных связей модулей стабилизации температурных параметров установки и динамического расчета электропривода центрифуги, определяющей постоянство ускорения за счёт регулирования угла нагрузки путём опережения включения токов в статорной обмотке, обеспечивающий толщину и равномерность нанесения плёнки фоторезиста в условиях постоянства температуры рабочих поверхностей основных технологических модулей, а также получены алгоритмы управления отдельными модулями оборудования и алгоритм управления всей установкой.

Таким образом, теоретическая значимость определяется новыми функциональными связями динамической модели автоматической системы

управления, а также модулей стабилизации её температурных параметров, определяющих толщину и равномерность нанесения плёнки фоторезиста, новой моделью динамического расчета электропривода центрифуги, отличающейся наличием обратной связи по скорости и функционально определяющей постоянство ускорения за счёт регулирования угла нагрузки двигателя центрифуги путём опережения включения токов его обмотки, а также алгоритмами управления отдельными модулями оборудования и общим алгоритмом работы автоматизированной установки нанесения фоторезиста.

Практическая значимость заключается в следующем:

- разработана библиотека технологических программ, в которую включен набор макросов, обеспечивающих автоматическую обработку подложек с заданными характеристиками, а также процедуру записи макросов в режиме выполнения диагностических команд и в автономном режиме;

- опираясь более чем на десятилетний опыт по разработке, обслуживанию, использованию и ремонту установок нанесения фоторезиста, приведены рекомендации, которые подробно описывают проблемы при проектировании и эксплуатации подобного оборудования.

Замечания и недостатки

Помимо изложенных выше достоинств можно отметить некоторые недостатки:

1. В работе нет оценок погрешностей измерения таких технологических переменных, как температуры рабочих поверхностей технологических модулей и скорости центрифуги, а также того, насколько они подвержены воздействию со стороны помех.

2. В диссертации отсутствуют оценки чувствительности используемых моделей, методик и алгоритмов управления к помехам и погрешностям измерения.

3. В работе не уделено достаточного внимания методам построения нечетких моделей и алгоритмов управления, именуемых нечеткими регуляторами, для решения задач прогнозирования и управления технологическим процессом нанесения фоторезиста в условиях неопределенности.

4. В работе отсутствует сравнение качества построенных моделей в главе 3 с другими, используемыми на практике для описания тех же объектов.

5. В работе нет пояснений, почему при использовании пакета PID-Tuner автоматический расчет параметров привел к неудовлетворительному результату (наличие перерегулирования), что привело к необходимости при окончательном выборе параметров регулятора использовать метод визуальной ручной коррекции.

Указанные недостатки, тем не менее, не снижают общую положительную оценку работы.

Вывод

Диссертация О.В. Белоусовой «Автоматизация технологического процесса нанесения фоторезиста на основе моделей и методов цифрового управления» является законченной научно-квалификационной работой. В работе изложены новые научно обоснованные результаты, имеющие существенное значение для развития оборудования, обеспечивающего производство отечественной микроэлектроники с более высокими топологическими нормами за счёт моделей и методов цифрового управления, имеются хорошие перспективы для дальнейших исследований.

Содержание автореферата соответствует тексту, основным положениям и выводам диссертации. Основное содержание диссертации изложено в 15 печатных работах. Из них 4 публикации в научных журналах, входящих в перечень ВАК, 1 патент РФ, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 4 статьи в материалах научно-технических конференциях международного и всероссийского уровня, 3 публикации в научно-технических конференциях ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», и 2 статьи в иных изданиях. Публикации полностью отражают научные положения, результаты и выводы, изложенные в диссертации и в автореферате.

Согласно критериям актуальности, научной новизны, практической значимости и достоверности полученных результатов диссертационная работа О.В. Белоусовой «Автоматизация технологического процесса нанесения фоторезиста на основе моделей и методов цифрового управления» соответствует требованиям

«Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (ред. 01.10.2018 г. с изменениями от 26.05.2020 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор - Олеся Владимировна Белоусова заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой информатики
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный
технический университет»



Ю.И. Кудинов

Контактная информация:

Кудинов Юрий Иванович,

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

Официальный сайт: <https://stu.lipetsk.ru/>

Адрес: 398055, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, ауд. 469 (II корпус)

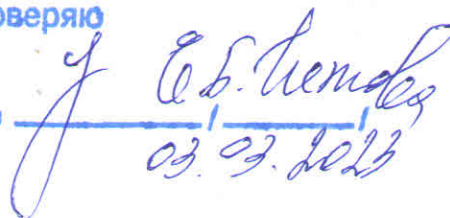
Тел.: 8 (4742) 32-80-53

E-mail: kaf-inf@stu.lipetsk.ru

«03» марта 2023 г.

Подпись удостоверяю

начальник отдела кадров



03.03.2023