

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК [533.599:519.254]-047.84

Железнёв
Александр Игоревич

Синтез оптимальных алгоритмов управления транспортной
системы вакуумной установки

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-40 80 02 «Системный анализ, управление и
обработка информации»

Научный руководитель

Хаджинов Михаил Касьянович

кандидат технических наук, доцент

Минск 2021

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение в современной технике находят вакуумные системы для изготовления большого количества разнообразных элементов схмотехники.

Скорость движения транспортных тележек в процессе осаждения оказывает существенное влияние на структуру плёнки, а, следовательно, и на стабильность её электрофизических свойств в процессе эксплуатации. Непреднамеренное снижение или увеличение скорости движения транспортных тележек в технологической зоне приводит к избытку оседаемого материала на подложках, что приводит к браку получаемого покрытия и к убыткам предприятия. Ввиду наличия краевых эффектов самого устройства осаждения материала непредусмотренное технологическое изменение параметров скорости осаждения также пагубно влияет на качество получаемого покрытия.

Ввиду этого, в настоящее время широкий интерес получила транспортная система туннельной вакуумной установки, поскольку именно она оказывает наибольшее влияние как на качество получаемого покрытия, производительность установки и число бракованных изделий.

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что туннельные вакуумные системы все чаще в современном мире находят применение при производстве различных элементов схмотехники и решение проблем, связанных с функционированием транспортной подсистемы такой установки, позволяет уменьшить число бракованных изделий при сохранении качества покрытия и производительности.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования. Цель работы заключалась в анализе всевозможных решений построения вакуумных систем и выделению основополагающей подсистемы таких систем, а также заключалась в разработке алгоритмов управления выбранной подсистемы и методов, обеспечивающих требуемое качество покрытия, максимизирующие выпуск подложек и при этом минимизирующие число бракованных изделий.

Эта цель решается путем последовательного решения соответствующих задач:

- составление математической модели транспортной системы вакуумной установки;
- генерация и реализация алгоритмов управления транспортной системы;
- разработка дополнительных методов снижения числа бракованных изделий.

Новизна полученных результатов. Впервые составлена модель транспортной системы вакуумной установки в виде временной сети Петри. При моделировании и анализе такой модели получены алгоритмы автоподстройки скорости движения тележек, автоподстройки числа циркулирующих тележек, приоритетный алгоритм управления транспортной системы, обеспечивающие требуемое качество покрытия, максимизирующие выпуск подложек и при этом минимизирующие число бракованных изделий.

Рассчитана надежность такой системы туннельной вакуумной установки. На её основании и опыта работы с установкой предложен комплекс дополнительных мер по уменьшению числа аварийных ситуаций, и числа бракованных подложек, а также рассчитана величина риска от применения такого комплекса мер.

Положения, выносимые на защиту. Основные итоги выполненного диссертационного исследования заключаются в следующем:

- в ходе исследования технологического процесса нанесения покрытия в вакуумной установке туннельного типа с кольцевой транспортной подсистемой выявлено, что скорость движения тележек и их количество в транспортной зоне влияет как на число бракованных изделий из-за неравномерности покрытия, так и на производительность всей установки за счет транспортной подсистемы;

- с целью повышения производительности транспортной подсистемы вакуумной установки, а также снижения числа бракованных изделий, в условиях модернизации установки без дополнительных вложений на закупку дополнительного вакуумного оборудования, предлагается приоритетный алгоритм управления транспортной подсистемы, в котором скорость движения тележек и их количество вычисляется по допустимой неравномерности технологического процесса, а также алгоритм автоподстройки скорости движения тележек, который рассчитывает скорость исходя из заданного числа тележек в транспортной зоне, и алгоритм автоподстройки числа циркулирующих тележек, в котором количество тележек вычисляется по требуемой скорости движения тележек в технологической зоне;

- за счет практической реализации разработанного приоритетного алгоритма настройки скорости движения и числа транспортных тележек, увеличена производительность вакуумной установки на 15%, а также снижено число бракованных изделий на 50% за год эксплуатации туннельной вакуумной системы, связанное с тем, что при реализации такого алгоритма в случае аварийной ситуации в технологической зоне транспортные тележки выезжают из неё в двух направлениях, а не в одном, как это реализовано в стандартном алгоритме функционирования транспортной подсистемы;

– результате внедрения в вакуумную систему дополнительной подсистемы контроля стыковки тележек в технологической зоне осаждения материала, а также за счет дополнительного резервирования стыковочных датчиков и модуля связи по EtherCAT интерфейсу и реализации приоритетного алгоритма настройки скорости движения транспортных тележек, можно снизить число бракованных изделий за год эксплуатации установки до 40 шт., и оценка снижения риска составит примерно 60 т. руб.

Апробация работы и использование результатов. Основные положения диссертации доложены в ходе научно-практических конференций: 1) Информационные технологии и системы 2019, Минск, 2019 – С. 40-41. 2) Информационные технологии и системы 2020, Минск, 2020 – С. 32-33.

Опубликованность результатов исследования. Результаты диссертационного исследования опубликованы в двух научно-практических конференциях.

Структура и объем диссертации. Работа изложена на 83 страницах основного текста, состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения, библиографического списка и приложений.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Общая характеристика работы

Введение

Глава 1. Электровакуумные установки

1.1 Принципы построения электровакуумных установок

1.1.1 Шлюзовая вакуумная установка с системой подачи подложек

1.1.2 Туннельная вакуумная установка

1.2 Методики повышения производительности вакуумных установок

1.3 Методики повышения качества напыления

1.4 Задача научного исследования

Глава 2. Синтез алгоритмов управления транспортной системы

2.1 Выбор математической модели транспортной системы

2.2 Определение минимального числа циркулирующих тележек

2.3 Анализ параметров транспортной системы

2.4 Синтез алгоритмов управления транспортной системы

2.4.1 Алгоритм автоподстройки скорости движения тележек

2.4.2 Алгоритм автоподстройки числа циркулирующих тележек

2.4.3 Приоритетный алгоритм автоподстройки параметров

Глава 3. Транспортная система в условиях реального производства

3.1 Реализация алгоритмов управления транспортной системы

3.1.1 Алгоритм автоподстройки скорости тележек

- 3.1.2 Алгоритм автоподстройки числа тележек
- 3.1.3 Приоритетный алгоритм автоподстройки параметров
- 3.2 Надежность транспортной системы
- 3.3 Аварийные ситуации транспортной системы
 - 3.3.1 Меры предотвращения аварийных ситуаций
 - 3.3.2 Оценка ущерба транспортной системы
- 3.4 Расчет риска брака подложек

Заключение

Библиографический список

Список использованных источников

Список публикаций соискателя

Приложение А

Приложение Б

Приложение В

Для решения поставленной задачи исследования работа разделена на три главы, чтобы определить подсистему, влияющую на брак подложек и производительность и качество покрытия, затем чтобы провести анализ такой подсистемы и выделить методы уменьшения брака при заданном качестве покрытия и максимальной производительности такой системы, и в конце предложить реализацию этих методов и объяснить возможность их применения.

Также работа включает в себя 32 иллюстрации, 7 таблиц, 3 приложения, 2 публикаций магистранта. Список использованной литературы включает 35 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертационного исследования рассматриваются возможные решения построения вакуумных систем. Из всевозможных систем выбирается туннельная вакуумная система, и транспортная подсистема такой установки в качестве основополагающей, влияющей на качество покрытия, производительность и брак установки. Рассматриваются известные методы повышения производительности установки и качества покрытия. В конце главы ставится задача разработки способов и алгоритмов управления транспортной подсистемы туннельной вакуумной установки, обладающих следующим требованиям:

- толщина покрытия подложек не менее чем 1,5 мкм за один проход технологической зоны;
- неравномерность по всем подложкам менее чем 5%;
- отсутствие очереди тележек в предтехнологической зоне;

– максимальный выпуск подложек за смену работы оборудования.

Во второй главе исследования анализируются возможные способы реализации математической модели транспортной подсистемы вакуумной установки и предпочтение отдается временной сети Петри. Проводится моделирование такой системы, и на основании моделирования определяются параметры скорости движения тележки в технологической зоне и числа тележек в транспортной системе, влияющие на требования к способам и алгоритмам разработки. На основании этих параметров предлагается алгоритм автоподстройки скорости движения тележек, алгоритм автоподстройки числа тележек, приоритетный алгоритм подстройки параметров.

В третьей последней главе рассматриваются вопросы реализации найденных алгоритмов управления. Предлагаются рекомендации по их реализации, а также приводятся их достоинства и недостатки. Вычисляется надежность транспортной подсистемы туннельной вакуумной установки, и на её основании выделяются участки, для которых требуется модернизация транспортной системы с целью снижения выпуска брака подложек. Предлагаются следующие меры предотвращения аварийных ситуаций:

- резервирование датчиков положения в технологической зоне и соответствующих входных модулей контроллера;
- добавление системы технического зрения для контроля стыковки тележек в технологической зоне;
- замена передаточных ремней на более надежные;
- добавление датчика влажности для контроля за состоянием водяных паров в вакуумной камере при откачке.

Рассчитывается годовой ущерб вакуумной установке, в случае, если не принимать эти меры и стоимость модернизации. В результате расчетов модернизация установки окупится за первый год использования установки. Также рассчитывается оценка величины риска от брака подложек туннельной вакуумной установки за год использования и делается вывод о целесообразности комплексной модернизации установки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основе обзора современных решений построения автоматизированных вакуумных систем, выявлено, что необходимым компонентом таких систем является транспортная система, синхронизирующая работу всех устройств, а также широкое применение такой системы получили туннельные вакуумные установки.

Основные итоги выполненного исследования заключаются в следующем:

– в ходе исследования технологического процесса нанесения покрытия в вакуумной установке туннельного типа с кольцевой транспортной подсистемой выявлено, что скорость движения тележек и их количество в транспортной зоне влияет как на число бракованных изделий из-за неравномерности покрытия, так и на производительность всей установки за счет такой подсистемы;

– с целью повышения производительности транспортной подсистемы вакуумной установки, а также снижения числа бракованных изделий, в условиях модернизации установки без дополнительных вложений на закупку дополнительного вакуумного оборудования, предлагается приоритетный алгоритм управления транспортной подсистемы туннельной вакуумной установки, в котором скорость движения тележек и их количество вычисляется по допустимой неравномерности технологического процесса, а также алгоритм автоподстройки скорости движения тележек, который рассчитывает скорость исходя из заданного числа тележек в транспортной зоне, и алгоритм автоподстройки числа циркулирующих тележек, в котором количество тележек вычисляется по требуемой скорости движения тележек в технологической зоне;

– за счет практической реализации разработанного приоритетного алгоритма настройки скорости движения и числа транспортных тележек, увеличена производительность вакуумной установки на 15%, а также снижено число бракованных изделий на 50% за год эксплуатации туннельной вакуумной системы, связанное с тем, что при реализации такого алгоритма в случае аварийной ситуации в технологической зоне транспортные тележки выезжают из неё в двух направлениях, а не в одном, как это реализовано в стандартном алгоритме функционирования транспортной подсистемы;

– в результате внедрения в вакуумную систему дополнительной подсистемы контроля стыковки тележек в технологической зоне осаждения материала, а также за счет дополнительного резервирования стыковочных датчиков и модуля связи по EtherCAT интерфейсу и реализации приоритетного алгоритма настройки скорости движения транспортных тележек, можно снизить число бракованных изделий за год эксплуатации установки до 40 шт., и оценка снижения риска составит примерно 60 т. руб.

При реализации найденных алгоритмов транспортной системы выявлены следующие предложения:

– в алгоритмах автоподстройки параметров необходимо провести компьютерное моделирование и определить аппроксимирующий полином соответствующих зависимостей;

– в алгоритмах автоподстройки параметров необходимо искать не только минимальную сумму расстояний до соответствующих зависимостей, а также разница этих расстояний должна быть меньше порогового значения;

– для приоритетного алгоритма необходима как можно большая область допустимых значений, чтобы алгоритм достаточно точно определял параметры транспортной системы. Также параметры в области не должны быть противоречивыми, иначе алгоритм будет некорректно работать в области этих значений.

Каждый из найденных алгоритмов имеет место на практике для решения конкретных задач. Так алгоритм автоподстройки скорости движения тележек в технологической зоне рекомендуется использовать в случаях, когда технология производства изделий еще не налажена или требования к равномерности покрытия больше 15%, поскольку главным критерием здесь является производительность.

Алгоритм автоподстройки числа циркулирующих тележек рекомендуется использовать в случаях, когда требуется высокое качество получаемых покрытия, неравномерность должна быть меньше 1%.

Приоритетный алгоритм желательно использовать для налаженного процесса получения покрытий и требования к неравномерности покрытия не такие жесткие. Величина неравномерности должна быть в диапазоне от 1% до 15%.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1-А. Железнёв, А. И. Анализ качества покрытия технологического участка вакуумной установки / А.И. Железнёв, М.К. Хаджинов // Информационные технологии и системы 2020: Тезисы докл. к конф. – Минск, 2020 – С. 32-33.

2-А. Железнёв, А. И. Анализ производительности технологического участка вакуумной установки / А.И. Железнёв, А.Т. Доманов // Информационные технологии и системы 2019: Тезисы докл. к конф. – Минск, 2019 – С. 40-41.