

Полученные результаты позволяют говорить о возможности использования подслоя титана в качестве адгезионного слоя под материалы, которые используются при пайке компонентов (медь, олово-золото и др.).

Литература

1. Колесник Л.Л., Жулева Т.С., Предтеченский П.О., Мьо Чжо Хлаинг, Зао Пхо Аунг Обработка технологии металлизации алюмооксидной керамики для элементов электровакуумных приборов и устройств силовой электроники // Вакуумная техника и технологии – 2017: Труды 24-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. / под. Ред. д-ра техн. наук А.А. Лисенкова. – Спб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. с. 208-210.
2. Handbook of deposition technologies for films and coatings: science, applications and technology / ed. by P.M. Martin. - 3rd ed. – Burlington; Oxford: William Andrew / Elsevier, 2010. – xviii, 912 p.: ill. – Bibliogr. at the end of the chapters. ISBN 978-0-8155-2031-3
3. А. Г. Лучкин, Г. С. Лучкин, Очистка поверхности подложек для нанесения покрытий вакуумно-плазменными методами.

Построение агентной имитационной модели анализа процессов управления потоками полуфабрикатов в многокластерных установках

И.Н. Куликов, Л.Л. Колесник

Москва, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005,

Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

e-mail: kulik1998@gmail.com, kolesnik@bmstu.ru

В статье представлена имитационная модель многокластерного технологического комплекса (МТК), построенная на основе одного из трех основных подходов – агентного моделирования. Данный подход позволяет строить модели многокластерных комплексов практически любой сложности.

Construction of the agent imitation model for the analysis of the management processes of streams of semi-finished products in multicluster installations. I.N. Kulikov, L.L. Kolesnik. The article presents an imitation model of a multicluster technological complex built on the basis of agent modelling. This approach allows one to build models of complicated multicluster constructions.

Одним из самых массовых производств на сегодняшний день является полупроводниковое производство, оборудование для которого из года в год становится все более технологичным. Для осуществления операций в едином вакуумном цикле все чаще используется многокластерное вакуумное оборудование. Для создания такого сложного единого комплекса требуется решение задач, связанных с взаимодействием технологических модулей между собой с целью обеспечения необходимых качественных характеристик технологического процесса. Для решения таких целей целесообразно использовать методы, основанные на системных представлениях многокластерного оборудования и его имитационном моделировании.

Многокластерный технологический комплекс (МТК) – это установка, осуществляющая выполнение технологических процессов в дискретно-непрерывном режиме. Для анализа таких сложных систем недостаточно традиционных методов и моделей, ввиду того, что при введении новых факторов или изменения системной динамики зачастую требуется полностью перестраивать аналитическую модель.

Использование же многократного моделирования при процессе генерации новых вариантов компоновок существенно упрощает задачу анализа каждой конкретной компоновки по отдельности и задачу анализа полученных компоновок в совокупности.

К преимуществам имитационных моделей можно отнести [□]:

- динамический характер отображения системы;
- возможность учета случайных факторов и сложных зависимостей;
- сравнительную простоту введения модификаций в модель;
- возможность исследования системы на множестве модельных реализаций ее функционирования, т.е. проведения статистических экспериментов;
- практически неограниченные возможности детализации модели в зависимости от объема знаний исследователя;
- возможность получения характеристик и оценок в терминах разработчиков и технических заданий на проектируемую систему.

Недостатком имитационных моделей является процесс многократного моделирования, однако существующие программно-аппаратные комплексы позволяют избежать сложных процессов перестроения модели, потому что в имитационной модели МТК представляется в виде совокупности структурных элементов, каждый из которых может быть либо добавлен, либо исключен из системы, но логика функционирования при этом не меняется. Учитывая, что логические связи полностью определены в виде условий, то они полностью задают переходы между отдельными элементами МТК, создавая тем самым имитацию материальных и информационных потоков. Имитация имеет своей основной целью моделирование динамики МТК, т.е. изменение состояния системы во времени.

На сегодняшний день сформировались и наиболее широко применяются три основных подхода: дискретно-событийное моделирование, модели системной динамики и агентное моделирование. Возможности и недостатки этих подходов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Подходы к имитационному моделированию МТК.

Системная динамика	- моделирование непрерывных динамических систем; - производственные процессы представляются в терминах накопителей, потоков между этими накопителями и информации, которая определяет величину этих потоков; 1. описывается дифференциальными уравнениями	2. абстрагируется от отдельных объектов и событий и предполагает “агрегатный” взгляд на процессы, концентрируясь на политиках, управляющих этими процессами
Дискретно-событийное моделирование	3. концепция заявок (транзактов), ресурсов и потоковых диаграмм, определяющих потоки заявок и использование ресурсов; 4. наиболее полно отвечает объектно-ориентированной технологии моделирования; 5. универсальность и открытость при построении моделей различных систем	6. моделирование непрерывных систем требует расширения математического аппарата
Агентное моделирование	7. автономность различных частей моделирующей программы (агентов), совместно функционирующих в распределенной системе, где одновременно протекает множество взаимосвязанных процессов; 8. определяет поведение на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат деятельности многих агентов	9. необходимо создавать агентные модели под каждую конкретную задачу; 10. представляемая модель управляется рядом эвристик, которые не всегда можно доказать формально, но и предположить вплоть до этапа имитационного прогона

В разработанной имитационной модели с помощью класса активных объектов реализованы входной буфер, выходной буфер, кластер, линейный транспорт, что позволяет

использовать в модели любое число экземпляров этих классов по числу элементов, участвующих в МТК.

Кроме того, в модели созданы простые классы: модуль, пластина, транспорт, робот, операция.

Класс «модуль» используется для моделирования процессных модулей кластера и характеризуется типом, состоянием занятости и указателем на объект пластины, которая в этом модуле обрабатывается в текущий момент времени.

Тип процессных модулей также представлен классом, что позволяет расширять их состав при необходимости.

Базовый состав модулей определяется следующим набором технологических операций: фотолитография, нанесение покрытий, осаждение, диффузия, окисление, термообработка, травление, очистка, анализ. При этом предполагается наличие в составе МТК процессных модулей одного типа.

Класс «пластина» служит для моделирования потока полуфабрикатов в МТК и характеризуется типом пластины, уникальным идентификатором, массивом, содержащим последовательность операций и времен обработки, номером кластера, в котором находится пластина, текущей операцией в технологическом процессе обработки, параметрами для сбора статистики по времени нахождения в системе.

Класс «операция» служит для моделирования технологической операции обработки пластины в МТК и характеризуется типом и продолжительностью.

Классы «транспорт» и «робот» служат для моделирования линейных транспортных модулей и центральных транспортных роботов в кластерах соответственно.

Агент входного буфера (рис. 1) имеет параметры, которые отвечают за накопление информации о количестве пластин каждого типа. Модель, описывающая поведение этого агента включает объекты, которые используются для формирования потоков пластин каждого типа (генерация заявок типа «пластина» через заданный временной интервал, что определяется параметрами вероятностного закона распределения интенсивности поступления пластин каждого типа). После подготовки, пластина ожидает в очереди входного буфера и покидает ее через внешний порт.

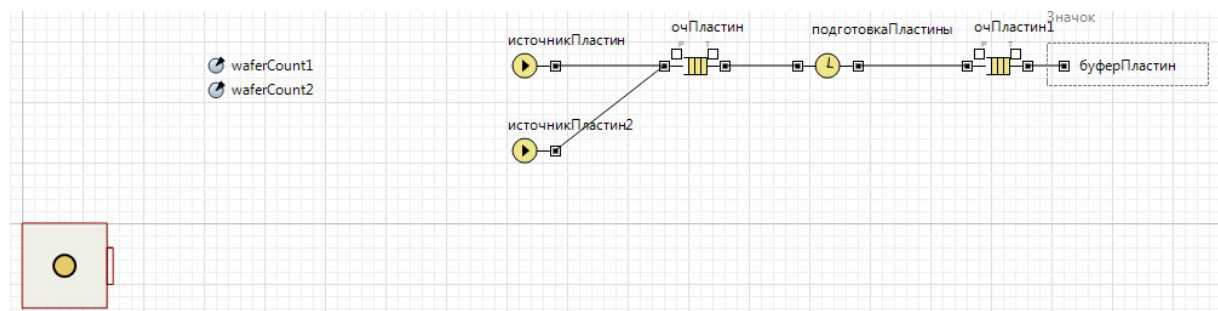


Рис. 1. Описание класса, визуальное представление и модель активного объекта агента входного буфера.

Имитационная модель (рис. 2) агента кластера отражает все основные технологические операции: занятие модуля пластиной; освобождение модуля; перемещение транспортного модуля к процессному модулю для последующего переноса пластины (холостой пробег); перенос пластины транспортным модулем из одного процессного модуля в другой модуль и др.

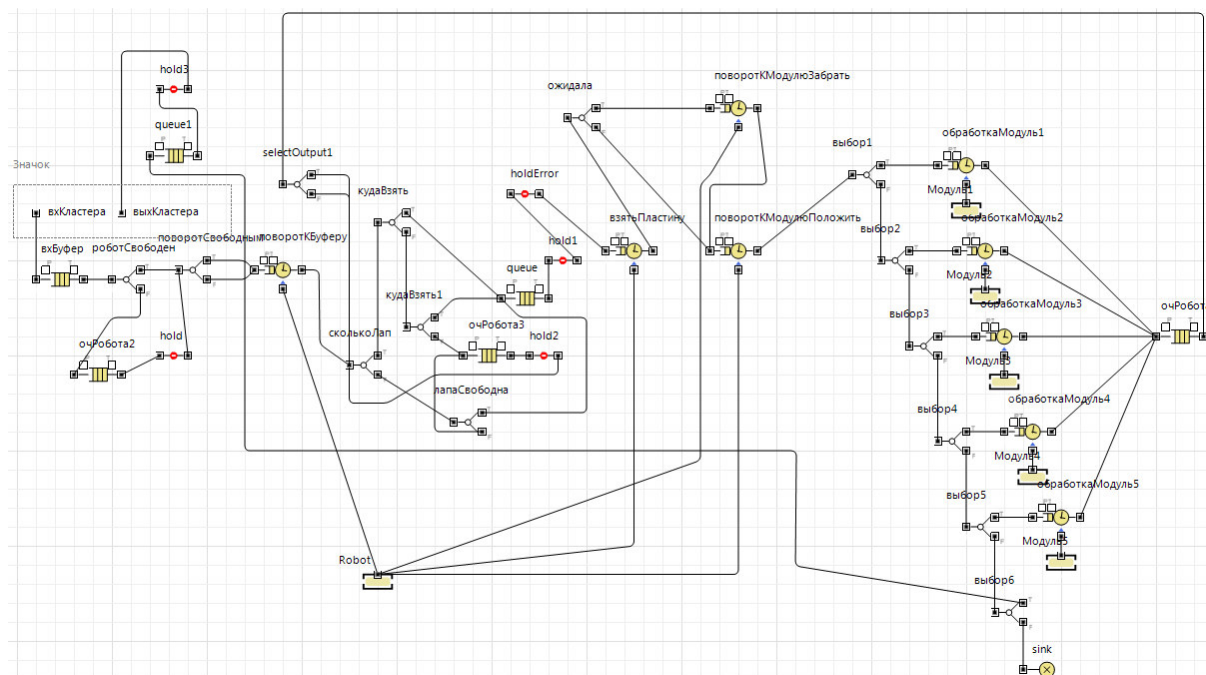


Рис. 2. Модель активного объекта агента кластера.

Заключение

Была разработана компьютерная имитационная модель анализа процессов управления потоками полуфабрикатов и расчета характеристик наноэлектронных производств на основе агентного моделирования. Имитационная модель обеспечивает моделирование МТК различной топологии и реализует разработанные алгоритмы управления потоками полуфабрикатов.

Литература

- Шенон Р.Е. Имитационное моделирование систем. Искусство и наука. М. Мир. 1978. – 418 с.
- Технология системного моделирования / Под ред. С.В. Емельянова и др. – М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1988. – 520с.
- Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем -М.: ВИСШ. ШК., 1998. -319с.
- Волчкевич Л.И. Автоматизация производства электронной техники. – М.: Высшая школа, 1988. – 287 с.
- Имитационное моделирование в оперативном управлении производством. / Н.А. Соломатин, Г.В. Беляев, В.Т. Петроченко.- М.: Машиностроение, 1984. – 208 с.
- Ланин В.Л. Формирование токопроводящих контактных соединений в изделиях электроники / В.Л. Ланин, А.П. Достанко, Е.В. Телеш.– Минск: Изд. центр БГУ, 2007. – 574 с.