

МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING

УДК 004.942

Прохоров А. В.¹, Кузнецова Ю. А.²

¹Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры информационных управляющих систем Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

²Канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры инженерии программного обеспечения Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МУЛЬТИКЛАСТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НАНОЭЛЕКТРОННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Проведен анализ особенностей автоматизированных производственных процессов и кластерной компоновки технологических комплексов нанoeлектронных производств, предложен подход к повышению производительности автоматизированного кластерного оборудования в полупроводниковом производстве на основе управления потоками полуфабрикатов. Предложена имитационная модель анализа процессов управления потоками полуфабрикатов и расчета характеристик нанoeлектронных производств, которая позволяет производить поиск рациональных решений, связанных с управлением потоков полуфабрикатов в мультикластерных технологических комплексах любой архитектуры с учетом ресурсных ограничений и факторов риска. Модель основывается на мультиагентном подходе, что дает следующие преимущества: автономность и индивидуальное поведение элементов модели (агентов), агенты имеют возможность адаптироваться и менять свое поведение, иметь динамические связи с другими агентами, которые могут формироваться и исчезать в процессе моделирования и др. Разработанная агентная имитационная модель учитывает сложную динамику нанoeлектронного производства и обеспечивает моделирование мультикластерных технологических комплексов различной топологии и реализует различные стратегии и алгоритмы управления потоками полуфабрикатов. Сформированы постановки задач планирования перемещений полуфабрикатов в мультикластерных технологических комплексах, связанные с различными стратегиями и критериями эффективности для логистики нанoeлектронного производства.

Ключевые слова: нанoeлектронное производство, мультикластерный технологический комплекс, кластер, пластина, поток полуфабрикатов, агентная модель.

НОМЕНКЛАТУРА

МТК – мультикластерный технологический комплекс;
КМДП – комплементарная структура «металл-диэлектрик-полупроводник»;

S_j^T – стоимость перемещений транспортного модуля;

c_{ij} – стоимость потребляемой электроэнергии на один оборот/перемещение транспортного модуля;

f_{ij} – стоимость усредненного простоя транспортно-го модуля;

r_{ij} – усредненная стоимость ремонта транспортного модуля, отнесенная на один оборот/перемещение;

T_{o_j} – директивный срок прибытия пластины в заданный процессный модуль, который соответствует плано-

вому сроку начала работы основного технологического оборудования кластера;

T_{ϕ_j} – фактический (рассчитываемый) срок прибытия пластины, полученный путем имитационного моделирования;

M – количество полуфабрикатов, участвующих в тех-процессе на планируемый период работы МТК;

S_{ϕ} – фактическая стоимость перемещений;

S_3 – задаваемая (допустимая) стоимость перемещений;

T_{o_j} – допустимое запаздывание пластины, которое не приводит к срыву план-графика работы основного технологического оборудования МТК;

α, β – значимость критериев стоимости и времени перемещений соответственно.

ВВЕДЕНИЕ

Современные полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы представляют собой чрезвычайно сложные устройства, отдельные компоненты которых имеют размеры не более доли микрометра. Изготовление таких устройств осуществляется на монокристаллических пластинах из полупроводникового материала, которые. Таким образом, полупроводниковая пластина – полуфабрикат в технологическом процессе производства полупроводниковых приборов и микросхем. Производство полупроводниковых приборов осуществляется по многослойной технологии с одновременным изготовлением большого количества однотипных элементов. Производственный процесс состоит из нескольких этапов, число которых может варьироваться. Он включает комплекс подготовительных процессов, процессов групповой и индивидуальной обработки. Формирование самой структуры прибора происходит при групповой обработке, которая состоит из процессов окисления, диффузии примесей, эпитаксии, вакуумного напыления, фотолитографии и химической обработки.

Технологии нанозлектронного производства сегодня используют кластерное оборудование, в котором реализуется замкнутый технологический цикл без выгрузки изделий в атмосферную среду рабочего помещения, что позволяет проводить высокоточные многоступенчатые технологические обработки при обеспечении автоматического контроля техпроцессов, межоперационных испытаний и оперативного структурного анализа. Кластерное оборудование состоит из центрального модуля перемещения пластин (транспортной камеры), на которой смонтированы универсальные камеры загрузки-выгрузки пластин, набор процессных модулей, реализующих процессы ионно-плазменной обработки на пластинах, (последовательно в каждом из них, без развакуумирования и, следовательно, исключая контакт изделий с атмосферой), набор аналитических модулей, выполняющих метрологический контроль поточного производства полупроводниковой продукции, а также переходных модулей или шлюзов в случае, когда имеет место мультикластерный технологический комплекс (МТК). Каждый кластер электрически и механически независим и имеет отдельные вакуумные и управляющие системы. Однако кластеры объединяются в единую технологическую систему через модули передачи, переворота и складирования пластин. Важным является то, что оборудование должно быть согласовано друг с другом по производительности.

Таким образом, МТК характеризуются: сложной структурой объектов и процессов многоцелевого функционирования; многоуровневостью; множеством структурно-компоновочных решений; многообразием технологических процессов и инвариантностью технологических маршрутов обработки; вероятностным характером функционирования и поведения, связанным со сложным взаимодействием с изменяющейся внешней средой.

Многовариантность структур МТК приводит к проблеме выбора рациональной структуры путем проведения подробного анализа динамики функционирования

каждого варианта с целью оценки его гибкости и эффективности. Даже незначительные изменения в конфигурации МТК (например, времени обработки или стратегий планирования) могут иметь значительное влияние на его производительность. В этой ситуации наибольшие трудности вызывают: отсутствие полного детерминизма в ходе производства и сложность технологических процессов.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для создания такого сложного единого комплекса технологического оборудования требуется решение задач, связанных с эффективным взаимодействием технологических модулей между собой с целью обеспечения необходимых качественных характеристик технологического процесса, что в свою очередь обуславливает необходимость разработки методов планирования и оптимизации структурно-компоновочных решений и графика запуска полуфабрикатов. Поэтому актуальным является разработка математических методов и моделей, которые ориентированы на анализ новых схем организации и управления автоматизированным производством в нанозлектронике. Целью данного исследования является повышение производительности автоматизированного кластерного оборудования в полупроводниковом производстве на основе управления потоками полуфабрикатов.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Для решения системных задач планирования и управления сложными производственными системами [1] разработаны различные подходы, методы и модели. Среди аналитических методов моделирования МТК можно выделить: методы сетевого планирования и управления; методы линейного и динамического программирования; модели управления запасами; методы теории Марковских процессов; сети Петри и др. [2–4].

Совместное использование событийных графов и сетевых моделей для снижения размерности поиска при решении задач планирования в многокластерных технологических комплексах предложено в [5]. Авторы проводят анализ влияния процессов изменения потока пластин на общее время цикла, а также эффективность работы роботов.

В работе [6] продемонстрированы возможности, которые дает подход на основе имитации отжига для оптимизационного моделирования групп кластерного оборудования в полупроводниковом производстве, при этом авторы делают акцент на том, что требуется дальнейшее расширение алгоритмов и решение задач автоматизации их параметрической настройки для получения необходимых свойств адаптивности к динамике производственного процесса.

Генетический алгоритм для оптимизации времени производственного цикла при формировании последовательностей обработки пластин на кластерном оборудовании представлен в работе [7]. Развитие предложенного метода автор видит в двухэтапном применении генетического алгоритма: на первом – пластины распределяются между имеющимися кластерами, а на втором – формируется оптимальная последовательность их обработки.

В работе [8] разработана модель на основе цветных сетей Петри для анализа и повышения производительности кластерного оборудования для сухого травления. Результаты исследований позволили определить, что в условиях частой смены рецептов процессные камеры и шлюзы становятся узкими местами, а время производственного цикла может быть уменьшено за счет оптимизации рецептов.

Неотъемлемым элементом анализа сложных производственных систем, который позволяет наиболее гибко, полно и наглядно отражать динамические процессы, являются имитационные модели. На сегодняшний день сформировались и наиболее широко применяются три основных подхода: дискретно-событийное моделирование, модели системной динамики и агентное моделирование.

Работа [9] посвящена описанию имитационной модели автоматизированной поточной линии для производства интегральных микросхем. Рассмотрена возможность применения этой модели для составления расписания работы линии и задачи ее синтеза.

В работе [10] представлена простая имитационная модель, которая предназначена для прогнозирования времени производственного цикла в полупроводниковом производстве. В модели использованы две стратегии в обработке пластин – FIFO и на основе приоритетности партий, однако не рассматриваются вопросы моделирования сложных маршрутных процессов с параллельной обработкой пластин и балансировки загрузки технологического оборудования.

Дискретно-событийная модель технологического процесса обработки полупроводниковых пластин на кластерном оборудовании, разработанная в системе Anylogic, рассматривается в работе [11], однако в предложенной авторами реализации отсутствует учет стратегий планирования и диспетчеризации, а также не рассматриваются вопросы совместного моделирования технологических и контрольных операций.

Проведенный анализ показал, что существующие методы не в полной мере описывают различные компоновочные решения МТК, не учитывают сложную динамику технологических процессов и алгоритмов управления потоком полуфабрикатов.

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для построения агентной имитационной модели анализа процессов управления потоками полуфабрикатов

была выбрана среда моделирования AnyLogic, обладающая рядом преимуществ и поддерживающая различные парадигмы имитационного моделирования систем. Имитационная модель автоматизированного полупроводникового производства (рис. 1) состоит из компонент, каждый из которых отражает отдельный элемент динамики поведения МТК. В разработанной имитационной модели с помощью класса активных объектов (агентов) 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.

Агент входного буфера 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. Агент выходного буфера имеет параметры, которые отвечают за накопление информации о количестве обработанных пластин каждого типа и числа необработанных пластин.

Агент транспортного модуля имеет следующие параметры: длина, скорость перемещения, наличие пластины, место назначения и другие. Модель линейного транспортного модуля реализует алгоритмы управления потоками полуфабрикатов, связанные с поиском подходящих и свободных процессных модулей, анализом загрузки процессных модулей кластеров, обеспечивая перемещение пластин между имеющимися в МТК кластерами.

Агент кластера (рис. 2) служит для моделирования кластерного оборудования радиальной топологии и имеет следующие параметры: номер кластера, число, наличие и тип рабочих модулей, число лап робота, его скорость, наличие пластины на входе и выходе кластера, состояние модулей и робота и другие. Кроме того здесь присутствуют элементы сбора статистики по времени ожидания и времени пребывания пластин в кластере.

Имитационная модель 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.

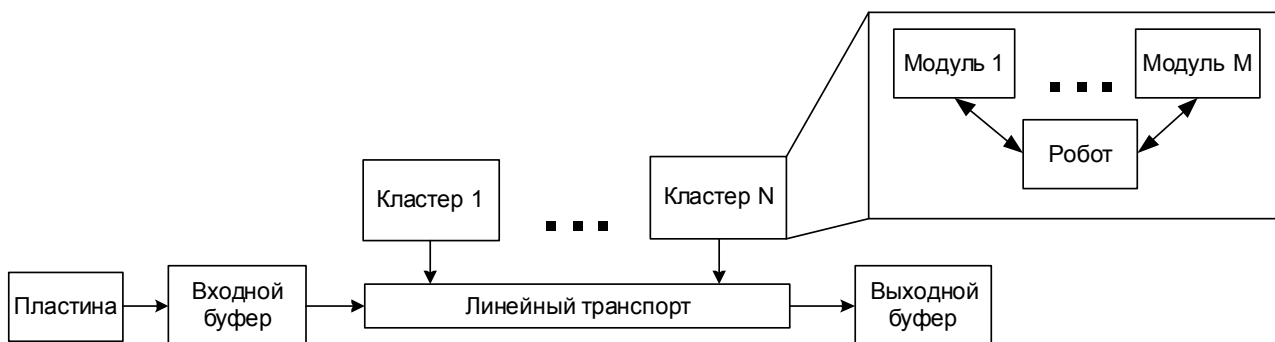


Рисунок 1 – Структура имитационной модели анализа процессов управления потоками полуфабрикатов в МТК

В модели реализуются алгоритмы поиска свободно-го оборудования (транспортных и процессных модулей) для выполнения технологических операций, в том числе анализируется возможность использования робота-манипулятора (двухлапного) в качестве буферного. Для этого в модель включены блоки принятия решения, которые в свою очередь основываются на целом ряде функций входящих в состав класса активного объекта агента кластера.

Необходимо отметить, что модель для задания различных стратегий управления потоками полуфабрикатов, обеспечивающих выполнение поставленных задач, может использовать специальный механизм, который предполагает организацию поиска среди множества альтернатив (модулей, очередей, пластин и др.). Так, например, альтернативными модулями являются такие, которые имеют условия, обеспечивающие возможность приема на обработку поступающих пластин данного типа. В качестве сценариев поиска могут быть заданы различные критерии: наименьшей стоимости, наименьшего коэффициента использования, наименьшего или наибольшего приоритета, кратчайшей очереди и др.

Основными стратегиями запуска пластин в производство являются следующие: больший приоритет имеет пластина, номер которой в партии меньше (FIFO – First In First Out); больший приоритет имеет пластина, номер которой в партии больше (LIFO – Last In First Out); больший приоритет имеет пластина, желаемый срок изготовления которой меньше (SD – Smaller Date); больший приоритет имеет пластина, время изготовления которой меньше (SPT – Short Processing Time); больший приоритет имеет пластина, количество партий запуска которой больше (LPQ – Large Parts Quantity); приоритеты выставляются в случайном порядке (R – Random). Решение о дальнейшем перемещении пластины может приниматься на основе вероятностных распределений (R – Random), значений параметров пластины, к первому свободному модулю (FF – First Free), к модулю с самой короткой очередью (SQ – Short Queue), последовательно (C – Cycle).

В качестве критериев эффективности работы транспортной системы обслуживания, используются два наиболее часто используемых в практике критерия: время доставки и условной стоимости перемещений. Критерий стоимости перемещений с учетом j -го, используемого в i -м маршруте транспортного модуля можно представить в виде:

$$S_j^T = \sum_i (c_{ij} + f_{ij} + r_{ij}). \quad (1)$$

Возможны следующие модели транспортного обслуживания МТК:

1. Обеспечить своевременное, без задержек, транспортное обслуживание МТК, с учетом ограничений на стоимость перемещений:

$$\Delta T_j = T_{\Delta j} - T_{\phi j} \geq 0, \quad j = \overline{1, M}, \quad (2)$$

$$S_{\phi} \leq S_3. \quad (3)$$

2. Минимизировать транспортные расходы в планируемый период работы МТК с учетом ограничений на сроки доставки пластин:

$$\min S_{\phi}, \quad S_{\phi} \leq S_3, \quad (4)$$

$$T_{\phi j} - T_{\Delta j} \leq T_{O_j}, \quad j = \overline{1, M}. \quad (5)$$

3. Обеспечить решение компромиссной задачи, минимизирующей стоимость перемещений и время доставки пластин с учетом ограничений на стоимость и время транспортного обслуживания:

$$\min(T_{\phi j}, S_{\phi j}), \quad (6)$$

$$T_{\phi j} - T_{\Delta j} \leq T_{O_j}, \quad (7)$$

$$S_{\phi} \leq S_3. \quad (8)$$

Для решения задачи 3 использован следующий компромиссный критерий в виде аддитивной свертки:

$$K_j = \alpha T_j + \beta S_j, \quad 0 \leq \alpha \leq 1, \quad 0 \leq \beta \leq 1, \quad \alpha + \beta = 1, \quad (9)$$

$$T_j = \frac{T_j}{T_{\Delta j}}; \quad S_j = \frac{S_j}{S_{3j}}. \quad (10)$$

Значения α и β задаются с учетом предпочтений исследователя.

Благодаря многовариантному расчету на имитационной модели транспортного обслуживания МТК выбираются рациональные маршруты движения полуфабрикатов в зависимости от постановок транспортных задач.

Итоговые результаты по модели в целом: общее число поступивших в систему пластин; число обслуженных пластин; среднее время нахождения пластины в системе; максимальное время нахождения пластины в системе; диаграмма Ганта (с указанием ранних и поздних сроков начала и окончания операций).

Результат по работе каждого модуля: число обслуженных пластин, среднее время обслуживания одной пластины, коэффициент загрузки устройства, дефицит ресурса времени модуля. Положительное значение дефицита ресурса говорит о несбалансированном характере внешней нагрузки и пропускной способности устройства обработки. В этом случае запускается сценарий перераспределения нагрузки между аналогичными модулями.

Результат по каждой из очередей: максимальная длина очереди, средняя длина очереди, длина очереди в конце моделирования, среднее время нахождения пластины в очереди, максимальное время ожидания пластины в очереди.

Испытательный стенд, где производится настройка параметров моделирования, представлен на рис. 3.

В качестве входных данных модели предусматриваются: число радиальных кластеров, число модулей у кластера (остальные считаются не задействованными), тип каждого процессного модуля, число лап у роботов, чис-

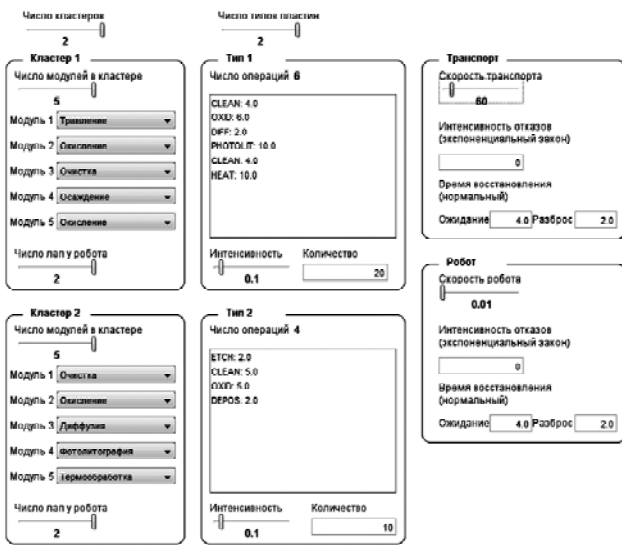
ло типов пластин, количество пластин каждого типа и их интенсивность поступления, маршрут обработки для каждого типа пластин (последовательность операций и время), скорость движения транспортных модулей линейной топологии, скорость вращения роботов центрального модуля перемещения пластин в радиальном кластере, интенсивность отказов для оборудования и др.

4 ЭКСПЕРИМЕНТЫ

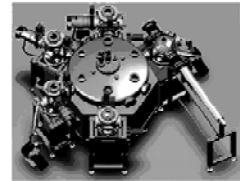
В качестве примера рассматривался МТК, предназначенный для изготовления полупроводниковых приборов с КМДП структурой.

На рис. 4 представлен эксперимент при моделировании с одним типом пластин на одном кластере. Визуальное представление позволяет наблюдать наличие пластин во входном и выходном буферах кластера, а также в процессных модулях, тип операций, которые производятся в каждом модуле, гистограмму процесса выполнения операции над пластиной, анимацию перемещения центрального транспортного модуля. Кроме того отображается собираемая статистика с помощью специальных объектов сбора данных: план график выполнения операций в кластере в виде диаграммы Ганта, на

Моделирование мультикластерного технологического комплекса
Настройка эксперимента



ЗАПУСТИТЬ МОДЕЛЬ



Модель имитирует процесс производства полупроводниковых изделий на мультикластерном технологическом комплексе, связанной с перемещением пластин с помощью транспортных модулей по технологическим операциям, выполняемым процессными модулями, организованными в кластеры. Процессные модули в модели характеризуются типом, состав которых определяется следующим набором технологических операций:

- фотолитография,
- нанесение покрытий,
- осаждение,
- диффузия,
- окисление,
- термообработка,
- травление,
- очистка,
- анализ.

Рисунок 3 – Настройка параметров моделирования МТК

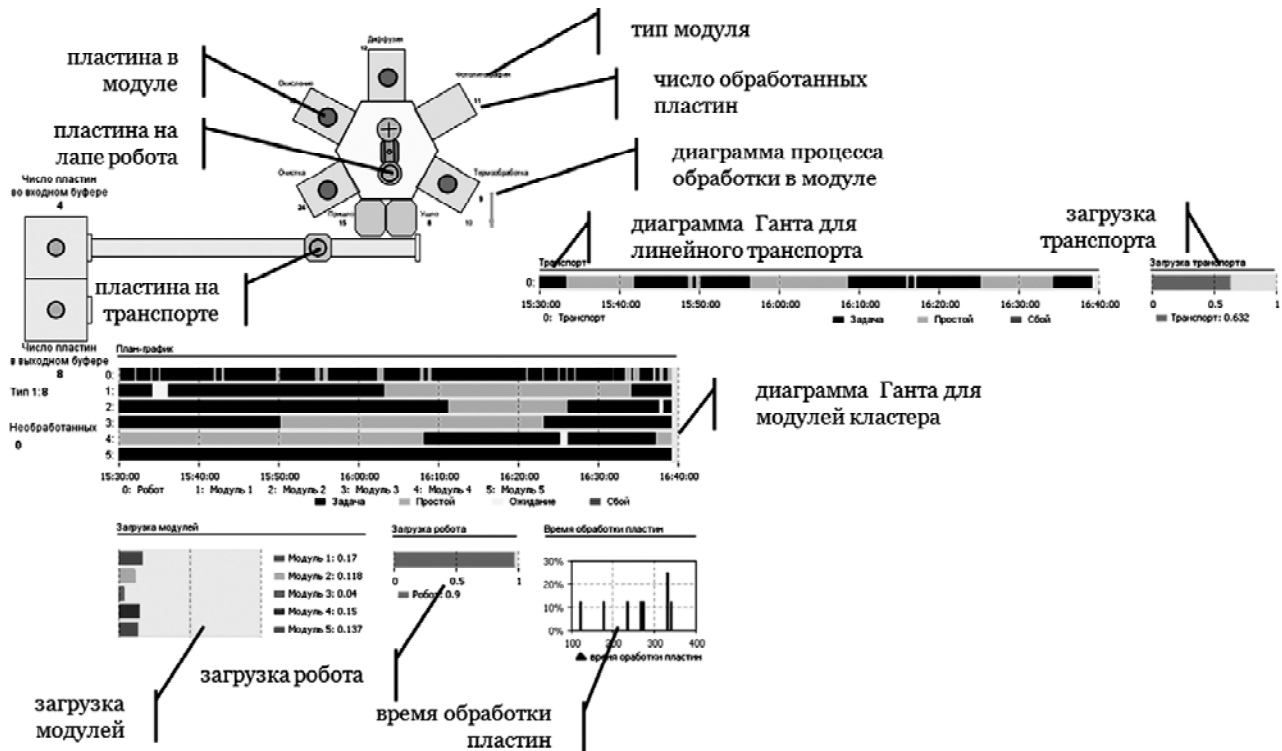


Рисунок 4 – Моделирование при одном типе пластин на одном кластере

которой цветом отображается выполнение операций, периоды ожидания, при отсутствии условий выполнения операций, простои и периоды блокирования работы как следствие имитации отказов оборудования; гистограммы занятости процессных модулей кластера и центрального транспортного робота; гистограмма распределения времени обработки пластин в кластере.

На рис. 5 представлен эксперимент при моделировании с одним типом пластин на двух кластерах.

На рис. 6 представлен эксперимент при моделировании с одним типом пластин на двух кластерах.

В ходе выполнения транспортных перемещений по-луфабрикатов могут возникнуть непредвиденные обстоятельства, которые приводят к появлению рисков. Это, например, отсутствие требуемых материалов на модуле, закрытие участков из-за сбоев (робот уронил пластину), поломка транспортных модулей и т. д.

В модели предусмотрена имитация отказов оборудования (транспортных и процессных модулей), которая производилась путем задания вероятностного закона распределения интенсивности и времени восстановления. Имитация производилась блокированием работы модуля (рис. 7).

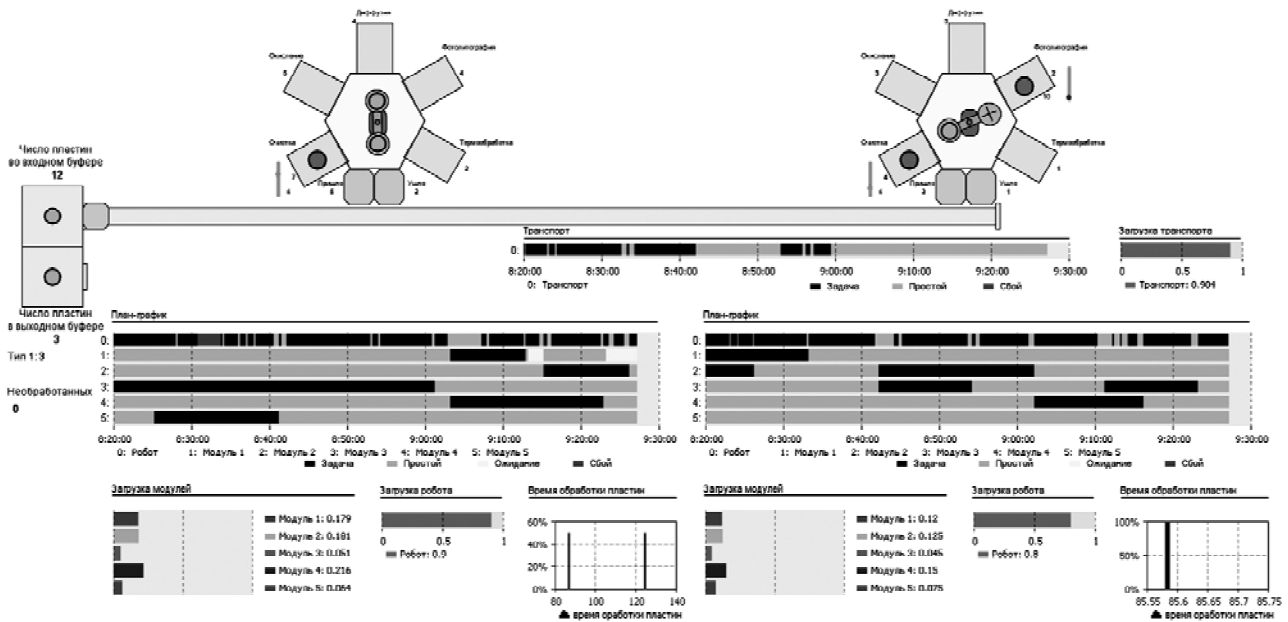


Рисунок 5 – Моделирование при одном типе пластин на двух кластерах

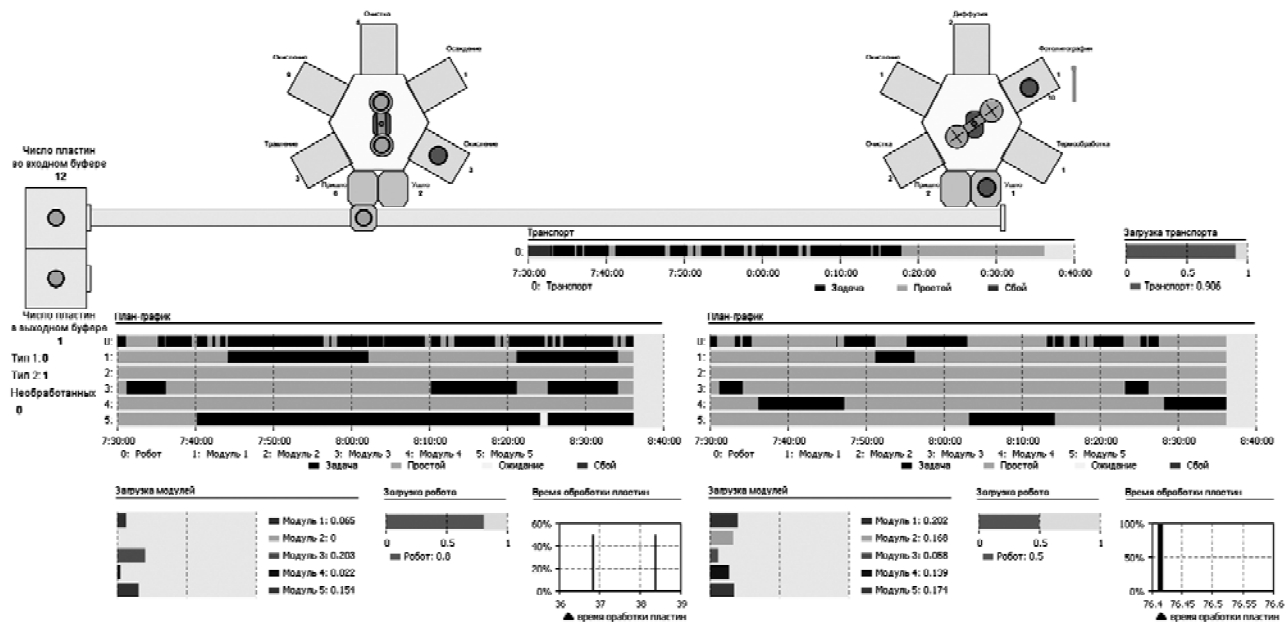


Рисунок 6 – Моделирование при двух типах пластин

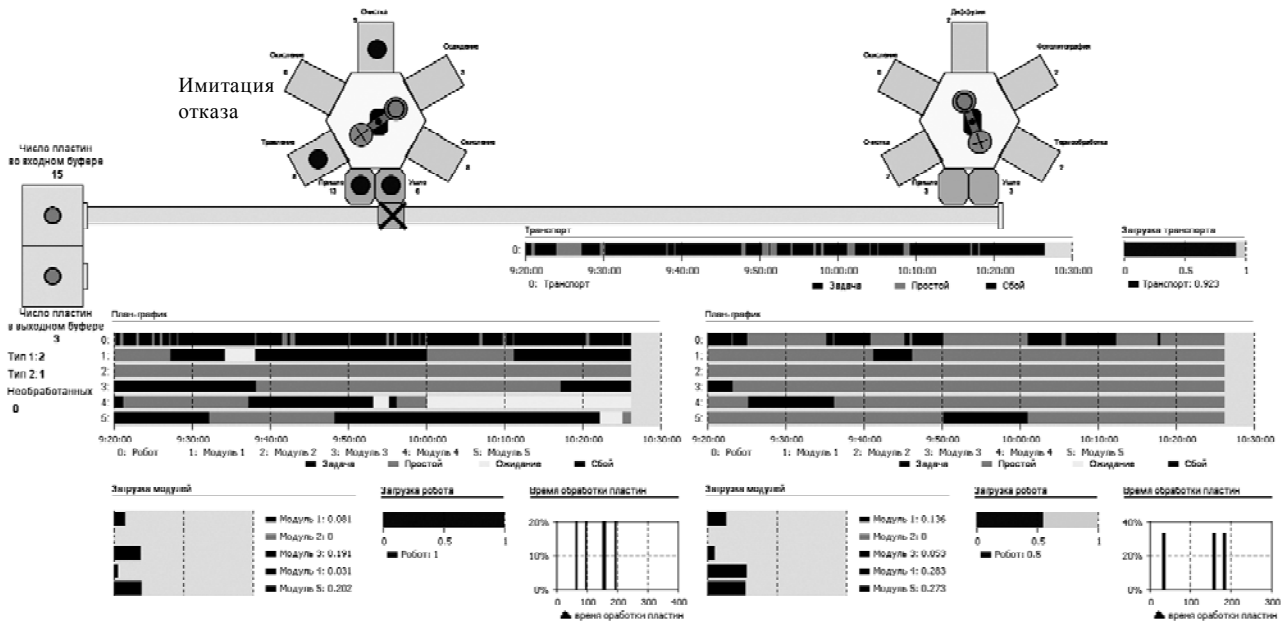


Рисунок 7 – Моделирование с отказами

5 РЕЗУЛЬТАТЫ

Таким образом, в процессе моделирования определяются:

- наиболее загруженные элементы производственной системы (узкие места – высокий процент загрузки, возникновение очередей);
- наиболее надежные элементы производственной системы;
- производительность системы (количество удовлетворенных заявок на производство продукции за заданный период времени);
- номенклатура и количество операций выполняемых на каждом модуле МТК и выявление несоответствий по их оснащенности и обеспеченности ресурсами;
- влияние транспортных операций на показатели работы системы полупроводникового производства;
- влияние «узких мест» на длительности технологических циклов.

Эта информация является исходной для решения задач автоматизированного управления мультикластерным технологическим комплексом нанoeлектронного производства.

6 ОБСУЖДЕНИЕ

Моделирование с одним кластером показало: большое среднее время пребывания пластин в системе; увеличение интенсивности поступления пластин всего лишь на 20 %, приводит к ухудшению значений характеристик эффективности МТК (среднее время пребывания пластин в МТК выросло в 1,5 раза, а число пластин, находящихся в очередях – почти в 2,5 раза (возникли простои в ожидании пластин в модулях, вследствие занятости транспортного робота). Добавление еще одного кластера в систему привело к значительному снижению времени пребывания пластин в системе, но при этом несколько возросла нагрузка на линейный транспорт. Был применен еще один способ разгрузки МТК, заключающийся в уменьшении вероятности передачи пластин к кластеру, являющемуся узким местом.

Добавление в обработку второго типа пластин потребовало включения в систему второго кластера. В этом случае увеличилась загрузка транспортных модулей системы, а с учетом того, что часть процессных модулей для выполнения технологических операций пластин обоих типов совпадает, то и загрузка процессных модулей. Также увеличилось число простоев из-за невозможности роботов принять уже обработанные пластины из процессных модулей (в случае, когда обе лапы робота заняты). В систему были заложены алгоритмы, которые были направлены на поиск свободного процессного модуля в имеющихся кластерах. Результаты моделирования показали, что удалось снизить время простоев, уменьшить время нахождения пластин в системе, однако, с сохранением высокой загруженности линейного транспорта.

Для улучшения характеристик обслуживания пластин в МТК необходимо разгрузить узкое место, которым является линейный транспорт. Для этого была увеличена скорость работы линейного транспорта в 1,5 раза, что согласуется с техническими возможностями оборудования. Анализ полученных результатов показал, что разгрузка узкого места позволила существенно уменьшить значения характеристик МТК: среднее время пребывания пластин в системе уменьшилось более чем в 2 раза, а число заявок, находящихся в очередях – почти в 3 раза.

Анализ пропускной способности основного технологического алгоритма показал, что наиболее существенное влияние на производительность МТК оказывает операция окисления, под которую выделены два процессных модуля. В соответствии с технологическим процессом, высокотемпературное окисление необходимо проводить на 5–10% пластин, обрабатываемых на МТК. Поэтому в модели было принято ограничение, что по этим техпроцессам возможно запускать пластины не чаще, чем каждую третью. Для сравнения была выполнена разгрузка этого узкого места путем добавления еще одного процессного модуля. За счет этого среднее вре-

мя ожидания пластин в МТК уменьшилось в 1,5 раза. В то же время, среднее время пребывания пластин в МТК увеличились более чем на 10%, что обусловлено большей длительностью обслуживания пластин.

При моделировании с отказами, как и следовало ожидать, результаты показали, что критичным по надежности элементом производственной системы является линейный транспорт.

В целом, реализация рассмотренных ранее алгоритмов управления потоком полуфабрикатов позволила снизить время простоев, уменьшить время нахождения пластин в системе, получить рациональные маршруты движения полуфабрикатов, а также сформировать рекомендации о структурно-компоновочных вариантах построения МТК.

ВЫВОДЫ

Таким образом, усовершенствована имитационная модель анализа процессов управления потоками полуфабрикатов и расчета характеристик нанoeлектронных производств, отличающаяся составом типовых блоков, необходимых и достаточных для построения имитационной модели мультикластерного технологического комплекса любой архитектуры, позволяющая производить поиск рациональных решений, связанных с управлением потоков полуфабрикатов с учетом ресурсных ограничений и факторов риска. Агентная имитационная модель обеспечивает моделирование МТК различной топологии и реализует разработанные стратегии и алгоритмы управления потоками полуфабрикатов.

Полученные результаты позволяют говорить о достижении поставленной цели исследования – повышение производительности автоматизированного кластерного оборудования в полупроводниковом производстве на основе управления потоками полуфабрикатов.

Практическая значимость исследования заключается в том, что разработанная модель позволяет производить поиск рациональных решений, связанных с управлением потоков полуфабрикатов с учетом ресурсных ограничений и отказов и может быть использована при проектировании и эксплуатации современных кластерных многофункциональных, высокопроизводительных установок, обладающих повышенной надежностью функционирования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Данная работа выполнялась в рамках госбюджетных научно-исследовательских работ Министерства образования и науки Украины «Разработка методологических принципов, методов и математических моделей логистического анализа и управления сложными технологическими комплексами» и «Разработка методологических основ, системных моделей и интеллектуальных информационных технологий логистического управления распределенными производствами и проектами по их созданию».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шишмарев В. Ю. Организация и планирование автоматизированных производств : учебник / В. Ю. Шишмарев. – М. : Академия, 2013. – 304 с.
2. Mohammad I. Handbook of sensor networks : compact wireless and wired sensing systems / edited by Mohammad Ilyas Mohammad and Imad Mahgoub. – Boca Raton, Florida : CRC Press LLC, 2005. – 776 p.
3. Lopez M. J. Systems of multiple cluster tools: configuration, reliability, and performance / M. J. Lopez, S. C. Wood // IEEE Trans. on Semiconductor Manufacturing. – 2003. – Vol. 16, № 2. – P. 170–178.
4. Акопов, А. С. Имитационное моделирование : учебник и практикум для академического бакалавриата / А. С. Акопов ; Высшая школа экономики (ВШЭ), Национальный исследовательский университет (НИУ). – Москва : Юрайт, 2015. – 389 с.
5. Challenges and Solution Approaches for the Online Simulation of Semiconductor Wafer Fabs / [D. Noack, M. Mosinski, O. Rose, P. Lendermann, and B. P. Gan] // Winter Simulation Conference : The premier international conference for simulation professionals in discrete and combined discrete-continuous simulation, AZ, USA, 11–14 December 2011 : proceedings. – Phoenix : WSC, 2011. – P. 1845–1856.
6. Uhlig T. Simulation-based optimization for groups of cluster tools in semiconductor manufacturing using simulated annealing / T. Uhlig, O. Rose // Winter Simulation Conference : The premier international conference for simulation professionals in discrete and combined discrete-continuous simulation, AZ, USA, 11–14 December 2011 : proceedings. – Phoenix : WSC, 2011. – P. 1857–1868.
7. Towards Realization of a High-Fidelity Simulation Model for Short-Term Horizon Forecasting in Wafer Fabrication Facilities / [W. Scholl, B. P. Gan, M. L. Peh and other] // Winter Simulation Conference : The premier international forum for disseminating recent advances in the field of system simulation, MD, USA, 05–08 December 2010 : proceedings. – Baltimore : WSC, 2010. – P. 2563–2574.
8. Zuberek W. M. Cluster tools with chamber revisiting – Modeling and analysis using timed Petri nets / W. M. Zuberek // IEEE Transactions on semiconductor manufacturing. – 2004. – Vol. 17, № 3. – P. 333–344.
9. Throughput Analysis of Linear Cluster Tools / [J. Yi, S. Ding, M. T. Zhang, V. D. Meulen] // IEEE International Conference on Automation Science and Engineering: International Conference, AZ, USA, 22–25 September 2007 : proceedings. – Scottsdale : IEEE, 2007. – P. 1063–1068.
10. Varadarajan A. A survey of dispatching rules for operational control in wafer Fabrication / A. Varadarajan, S. C. Sarin // Information Control Problems in Manufacturing: The 12th IFAC International Symposium, France, 17–19 May 2006 : proceedings. – Saint Etienne : ELSEVIER, 2006. – P. 709–720.
11. Wang P. Hybrid Model applied in the Semiconductor Production Planning / P. Wang, T. Murata // International MultiConference of Engineers and Computer Scientists: International MultiConference, China, 13–15 March 2013 : proceedings. – Hong Kong : Newswood Limited, 2013. – P. 964–968.

Статья поступила в редакцию 30.11.2015.

После доработки 14.12.2015.

Прохоров А. В.¹, Кузнецова Ю. А.²

¹Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інформаційних управляючих систем Національного аерокосмічного університету ім. М. С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

²Канд. техн. наук, ст. викладач кафедри інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університету ім. М. С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

АГЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МУЛЬТИКЛАСТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ НАНОЕЛЕКТРОННИХ ВИРОБНИЦТВ

Проведено аналіз особливостей автоматизованих виробничих процесів і кластерної компоновки технологічних комплексів напівелектронних виробництв, запропоновано підхід до підвищення продуктивності автоматизованого кластерного обладнання в напівпровідниковому виробництві на основі управління потоками напівфабрикатів. Запропоновано імітаційну модель аналізу процесів управління потоками напівфабрикатів і розрахунку характеристик напівелектронних виробництв, яка дозволяє проводити пошук раціональних рішень, пов'язаних з управлінням потоків напівфабрикатів у мультикластерних технологічних комплексах будь-якої архітектури з урахуванням ресурсних обмежень і факторів ризику. Модель ґрунтується на мультиагентному підході, що дає наступні переваги: автономність й індивідуальну поведінку елементів моделі (агентів), агенти мають можливість адаптуватися й змінювати свою поведінку, мати динамічні зв'язки з іншими агентами, які можуть формуватися і зникати у процесі моделювання та ін. Розроблена агентна імітаційна модель враховує складну динаміку напівелектронного виробництва і забезпечує моделювання мультикластерних технологічних комплексів різної топології й реалізує різні стратегії та алгоритми управління потоками напівфабрикатів. Сформовано постановки завдань планування переміщень напівфабрикатів у мультикластерних технологічних комплексах, що пов'язані з різними стратегіями і критеріями ефективності для логістики напівелектронних виробництв.

Ключові слова: напівелектронне виробництво, мультикластерний технологічний комплекс, кластер, пластина, потік напівфабрикатів, агентна модель.

Prokhorov A. V.¹, Kuznetsova Yu. A.²

¹PhD of Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor, Department of Information Control Systems of the National Aerospace University named after N. E. Zhukovsky «KhAI», Kharkiv, Ukraine

²PhD of Engineering Science, Senior Lecturer, Software Engineering Department of the National Aerospace University named after N. E. Zhukovsky «KhAI», Kharkiv, Ukraine

AGENT-BASED MODELING OF MULTICLUSTER TECHNOLOGICAL COMPLEXES OF NANOELECTRONIC MANUFACTURING

The analysis of the characteristics of automated production processes and the cluster layout of technological complexes of nanoelectronic manufacturing is carried out, an approach to improve the performance of automated cluster-based equipment in semiconductor manufacturing based on control flow of semi-finished products is proposed. A simulation model for the analysis of control flow processes of semi-finished products and calculation of nanoelectronic manufacturing characteristics, which allows you to search for rational decisions related to the control flows of semi-finished products in multicluster technological complexes of any architecture, taking into account resource constraints and risk factors also proposed in this article.

The model is based on multi-agent approach, which provides the following benefits: autonomy and individual behavior of model elements (agents), agents are able to adapt and change their behavior, have a dynamic relationship with other agents that can be configured to disappear in the process of modeling and other. The developed agent-based simulation model takes into account the complex dynamics of nanoelectronic manufacturing and provides a simulation multicluster technological complexes of different topologies and implements a variety of strategies and control algorithms by flows of semi-finished products. Formulations of the problems of movements planning of semi-finished products in multicluster technological complexes associated with the various strategies and performance criteria for nanoelectronic manufacturing logistics are formulated within the paper.

Keywords: nanoelectronic manufacturing, multi-cluster technological complex, cluster, plate, the flow of semi-finished products, agent model.

REFERENCES

- Shishmarev V. Y. Organization and planning of automated production : the textbook. Moscow, Academy 2013, 304.
- Mohammad I., Mahgoub I. Handbook of sensor networks : compact wireless and wired sensing systems. Boca Raton, Florida, CRC Press LLC, 2005, 776 p.
- Lopez M. J., Wood S. C. Systems of multiple cluster tools: configuration, reliability, and performance, *IEEE Trans. on Semiconductor Manufacturing*, 2003, Vol. 16, No. 2, pp. 170–178.
- Akopov A., Akopov S. Simulation : a tutorial and a workshop for the academic Bachelor., Higher School of Economics (HSE), National Research University (NRU). Moscow, Yurayt, 2015, 389 p.
- Noack D., Mosinski M., O. Rose, Lendermann P., and Gan B. P. Challenges and Solution Approaches for the Online Simulation of Semiconductor Wafer Fabs, *Winter Simulation Conference : The premier international conference for simulation professionals in discrete and combined discrete-continuous simulation*, AZ, USA, 11–14 December 2011 : proceedings, Phoenix : WSC, 2011, pp. 1845–1856.
- Uhlig T., Rose O. Simulation-based optimization for groups of cluster tools in semiconductor manufacturing using simulated annealing, *Winter Simulation Conference : The premier international conference for simulation professionals in discrete and combined discrete-continuous simulation*, AZ, USA, 11–14 December 2011 : proceedings. Phoenix, WSC, 2011, pp. 1857–1868.
- Scholl W., Gan B. P., Peh M. L., Lendermann P., Noack D., Rose O., and Preuss P. Towards Realization of a High-Fidelity Simulation Model for Short-Term Horizon Forecasting in Wafer Fabrication Facilities, *Winter Simulation Conference : The premier international forum for disseminating recent advances in the field of system simulation*, MD, USA, 05 – 08 December 2010 : proceedings. Baltimore, WSC, 2010, pp. 2563–2574.
- Zuberek, W. M. Cluster tools with chamber revisiting – Modeling and analysis using timed Petri nets, *IEEE Transactions on semiconductor manufacturing*, 2004, Vol. 17, No. 3, pp. 333–344.
- Yi J. Ding S., Zhang M. T., Meulen V. D. Throughput Analysis of Linear Cluster Tools, *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering: International Conference*, AZ, USA, 22 – 25 September 2007 : proceedings. Scottsdale, IEEE, 2007, pp. 1063–1068.
- Varadarajan A., Sarin S. C. A survey of dispatching rules for operational control in wafer Fabrication, *Information Control Problems in Manufacturing: The 12th IFAC International Symposium, France, 17–19 May 2006 : proceedings*. Saint Etienne: ELSEVIER, 2006, pp. 709–720.
- Wang P., Murata T. Hybrid Model applied in the Semiconductor Production Planning, *International MultiConference of Engineers and Computer Scientists: International MultiConference, China, 13–15 March 2013 : proceedings*. Hong Kong, Newswood Limited, 2013, pp. 964–968.