

Исследование влияния количества модулей многокластерного технологического комплекса и выполняемые ими операции на общую производительность установки с использованием имитационного моделирования

Игорь Н. Куликов¹ kulik19998@gmail.com
Леонид Л. Колесник¹ l.kolesnik@m-i.ru

¹ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., 5/1, Москва, 105005, Россия

Реферат. Вариативность компоновок кластерного оборудования обуславливает разработку методов, направленных на анализ и поиск возможных схем компоновок, которые отвечают заданным требованиям и критерию оптимальности производительности. Достаточно часто на производстве сталкиваются с задачей наиболее оптимальной утилизации кластерного оборудования. Для нахождения решений используют различные подходы, такие как: запуск в систему нескольких потоков полуфабрикатов, увеличение числа рабочих лап робота в транспортном модуле и т. д. В данной работе исследован многокластерный технологический комплекс, зависимость производительности МТК от количества выполняемых операций наименее загруженного модуля. Показано, что с помощью данного подхода можно существенно упростить нахождение решения задачи построения кластерной установки при наличии потоков пластин двух типов, а также нахождения графика запуска для максимальной и минимальной производительности. Актуальность работы обусловлена необходимостью нахождения наиболее оптимального варианта компоновки многокластерного комплекса и графика запуска полуфабрикатов (с учетом вариативности выполняемых операций в модулях) как на этапе проектирования установки, так и при эксплуатации уже существующих установок.

Ключевые слова: полупроводниковое производство; многокластерный технологический комплекс; структурные схемы полуфабрикатов, график запуска полуфабрикатов

Investigation of the influence of the number of modules of a multicluster technological complex and the operations performed by them on the overall performance of the installation using simulation simulations

Igor N. Kulikov¹ kulik19998@gmail.com
Leonid L. Kolesnik¹ l.kolesnik@m-i.ru

¹ Bauman Moscow State Technical University, Baumanskaya str., 5/1, Moscow, 105005, Russia

Summary. Variety of compositions of multicluster tools determines the development of methods aimed at analysis and search of feasible compositions, which meet the requirements and optimal performance (throughput) criteria. Very often in the industry, there is a task to find optimum utilization of the cluster tool. To find a solution various approaches are used, such as input in the system several flows of the semifinished products, increasing overall number of the arms of the robot, etc. In this article cluster tool and throughput dependence on quantity of performed operations of the least loaded module are investigated. It is shown, that with the help of this approach one can easily simplify both finding the solution of the task to composite cluster tool with flows of two different types of wafers and determining schedule of the wafers for maximum and minimum throughput. Relevance of the article is stipulated by substantive and complex choices of both finding optimal composition of the cluster tool and scheduling semifinished products flows (in accordance with variations of the operations in modules) at both the design and exploitation stage.

Keywords: semiconductor manufacturing; multicluster tools; structural schemes of semi-finished product, semifinished products' schedule

Введение

Многокластерная установка – изолированная система с единым вакуумным циклом, состоящая из модулей, образующие кластеры. Полуфабрикаты перемещаются из загрузочной камеры по заранее заданному маршруту посредством транспортных модулей.

Одним из важнейших критериев установки является ее производительность. Данный параметр является зависимым от множества исходных данных, включая наиболее очевидные, как длительности операций, маршруты полуфабрикатов, так и менее очевидные, как возможность выполнения нескольких операций одним модулем. Невозможно спроектировать идеальную установку, ввиду того, что, загружая ее новыми маршрутами, будут возникать задачи оптимизации

каждого конкретного варианта. Поэтому для каждого варианта требуется решение задачи нахождения наиболее оптимальной компоновки и управления потоком полуфабрикатов для большей загрузки установки.

Для решения проблемы нахождения наиболее оптимального варианта графика запуска полуфабрикатов, а также наиболее оптимальный вариант компоновки комплекса ввиду нетривиальности задачи предлагается использовать имитационное моделирование [2].

Для построения имитационной модели анализа процессов управления потоками полуфабрикатов была выбрана среда моделирования AnyLogic, которая обладает рядом преимуществ и поддерживает различные подходы к моделированию, в том числе и агентный [3].

Для цитирования

Куликов И.Н., Колесник Л.Л. Исследование влияния количества модулей многокластерного технологического комплекса и выполняемые ими операции на общую производительность установки с использованием имитационного моделирования // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 119–124. doi:10.20914/2310-1202-2018-2-119-124

For citation

Kulikov I.N., Kolesnik L.L. Investigation of the influence of the number of modules of a multicluster technological complex and the operations performed by them on the overall performance of the installation using simulation simulations. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 119–124. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-2-119-124

Результаты и обсуждение

В работе проведены четыре различных моделирования.

Общие параметры для всех моделирований, которые остаются постоянными величинами:

- Кол-во пластин 1 типа: 8.
- Кол-во пластин 2 типа: 7.

- Кол-во операций для пластин 1 типа: 10.
- Кол-во операций для пластин 2 типа: 6.
- Кол-во лап у роботов-манипуляторов: 2.
- Скорость робота-манипулятора: 0,35 пи рад/сек.
- Рецепт пластин 2 типа (номера модулей): 1 – 3 – 5 – 7 – 8 – 10.



Таблица 1

Различающиеся параметры моделирований

Table 1

Distinguishing modeling parameters

Операция Operation	Тип пластины Plate type	Модуль Module	Длительность, с Duration
1	1	1	30
2	1	2	49
3	1	3	17
4	1	4	30
5	1	5	60
6	1	6	25
7	1	7	32
8	1	8	15
9	1	9	82
10	1	10	61
11	2	1	30
12	2	3	41
13	2	5	48
14	2	7	20
15	2	8	42
16	2	10	61

	Пластины 1-го типа 1 type plate
	Пластины 2-го типа 2 type plate

Моделирование 1

Исходные параметры.

Рецепт пластин 1 типа (номера модулей): 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10.

Модули, выполняющие операции с пластинами обоих типов: 1, 3, 5, 7, 8, 10.

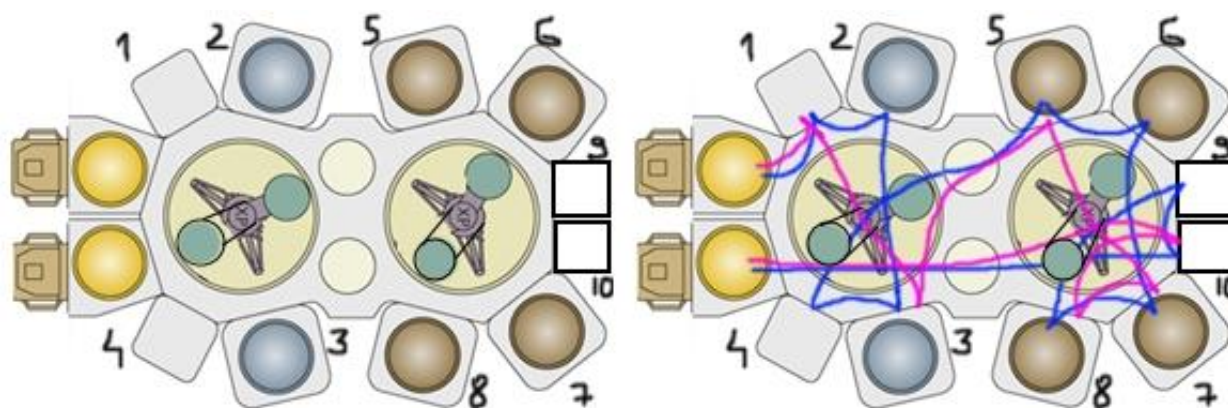


Рисунок 1. Расположение модулей в установке и графическое изображение рецептов и движения пластин (моделирование 1)

Figure 1. The location of the modules in the installation and graphical representation of recipes and the motion of the plates (simulation 1)

По результатам имитационного моделирования наименьшее время обработки по заданному маршруту составило 1311,94 с,

максимальное – 1508,14 с. График запуска можно увидеть в таблицах 2-5 ниже.

Таблица 2.

График запуска полуфабрикатов с максимальной и минимальной производительностью (моделирование 1)

Table 2.

Semi-finished products start-up schedule with maximum and minimum performance (1 simulation)

Максимальная производительность Maximum	Минимальная производительность Minimum		
2	2	2	2
1	2	2	2
2	2	2	2
1	1	2	2
1	2	1	2
1	2	2	1
2	1	1	1
1	1	1	1
2	1	1	1
2	1	1	1
2	1	1	1
2	2	2	2
1	2	2	2
1	1	1	1
1	1	1	1

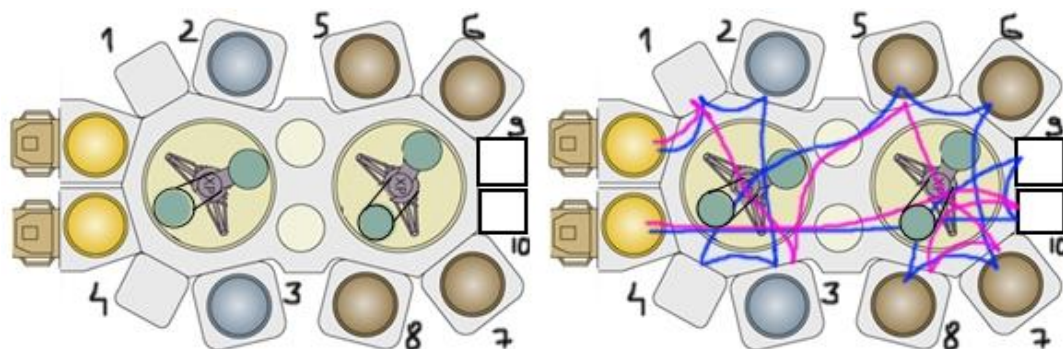


Рисунок 2. Расположение модулей в установке и графическое изображение рецептов и движение пластин (моделирование 2)

Figure 2. The location of the modules in the installation and graphical representation of recipes and the motion of the plates (simulation 2)

По результатам имитационного моделирования наименьшее время обработки по заданному маршруту составило 1260,17 с, максимальное – 1531,87 с. График запуска можно увидеть в таблицах ниже.

Моделирование 2

Исходные параметры.

Рецепт пластин 1 типа (номера модулей):
1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10.

Модули, выполняющие операции с пластинами обоих типов: 1, 3, 5, 6, 7, 8, 10.

В данном случае модуль 6, который выполнял наименьшую по длительности операцию номер 6 (суммарно по всем типам пластин), может выполнять также и операцию номер 9.

Таблица 3.

График запуска полуфабрикатов с максимальной и минимальной производительностью (моделирование 2)

Table 3.

Semi-finished products start-up schedule with maximum and minimum performance (simulation 2)

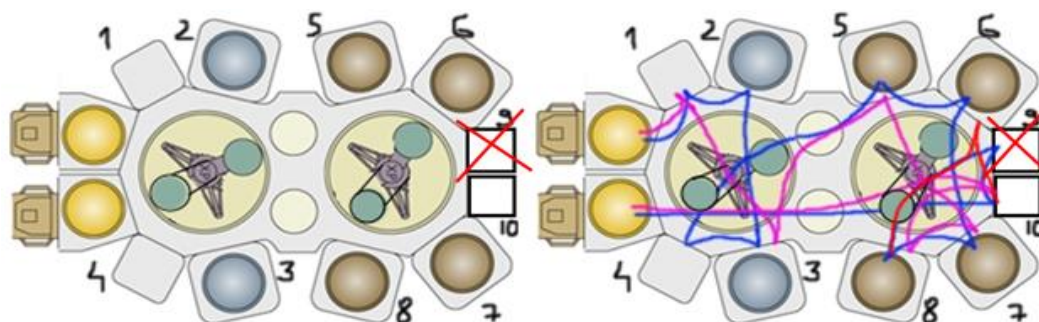
Максимальная производительность Maximum	Минимальная производительность Minimum
2	1
1	1
2	2
1	2
1	1
2	2
2	1
1	1
2	2
2	1
1	1
1	2
2	2
1	1
1	2

Моделирование 3

Исходные параметры.

Рецепт пластин 1 типа (номера модулей):

1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 6 – 10.



Модули, выполняющие операции с пластинами обоих типов: 1, 3, 5, 6, 7, 8, 10.

Уберем из системы модуль номер 9. Операции данного модуля теперь выполняет модуль 6.

Рисунок 3. Расположение модулей в установке и графическое изображение рецептов и движение пластин (моделирование 3)
Figure3. The location of the modules in the installation and graphical representation of recipes and the motion of the plates (simulation 3)

По результатам имитационного моделирования наименьшее время обработки по заданному маршруту составило 1367,22 с, максимальное – 1797,09 с. График запуска можно увидеть в таблицах ниже.

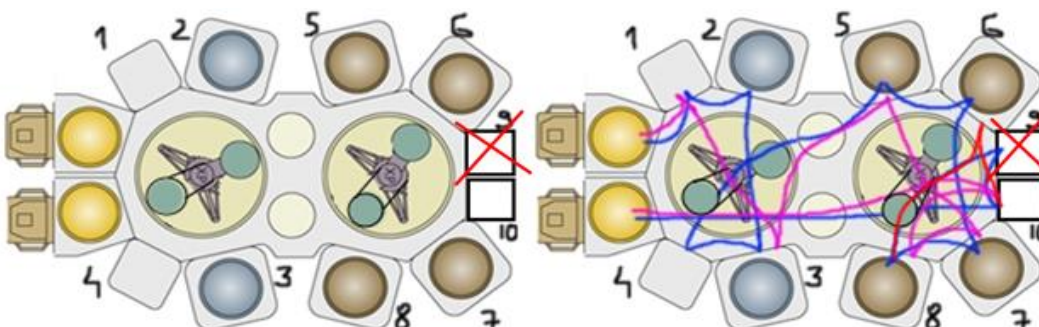
Таблица 4.

График запуска полуфабрикатов с максимальной и минимальной производительностью (моделирование 3)

Table 4.

Semi-finished product launch schedule with maximum and minimum performance (3 simulations)

Максимальная производительность Maximum	Минимальная производительность Minimum
2	1
1	1
1	2
1	2
2	1
2	2
2	1
1	2
2	2
1	1
1	1
2	1
2	2
1	2
1	1



Моделирование 4

Исходные параметры.

Рецепт пластин 1 типа (номера модулей):

1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 6 – 10.

Модули, выполняющие операции с пластинами обоих типов: 1, 3, 5, 6, 7, 8, 10.

В данном случае модуль 6, который выполнял наименьшую по длительности операцию номер 6 (суммарно по всем типам пластин), может выполнять также и операцию номер 9.

Уберем из системы модуль номер 9. Операции данного модуля теперь выполняет модуль 6.

Введем в систему дополнительное условие, а именно, модуль 2 сможет выполнять операции модуля 5 (как одного из наиболее нагруженных).

Рисунок 4. Расположение модулей в установке и графическое изображение рецептов и движение пластин (моделирование 4)
Figure4. The location of the modules in the installation and graphical representation of recipes, and the movement of the plates (simulation 4)

По результатам имитационного моделирования наименьшее время обработки по заданному маршруту составило 1350,07 с, максимальное – 1797,74 с. График запуска можно увидеть в таблицах ниже.

Таблица 5.
График запуска полуфабрикатов с максимальной и минимальной производительностью
(моделирование 4)

Table 5.
Semi-finished products start-up schedule with maximum and minimum performance (4 simulation)

Максимальная производительность Maximum	Минимальная производительность Minimum
2	1
1	1
1	2
1	2
1	1
2	2
2	1
2	2
1	2
2	1
2	1
1	1
2	2
1	2
1	1

Данные по всем моделированиям сведены в таблицу 6.

Результаты моделирования

Таблица 6.

Simulation result

Table 6.

Моделирование Model	Рецепт пластин 1 типа 1 type plate recipe	Минимальное время на обработку лота, с Minimal duration, s	Максимальное время на обработку лота, с Maximum duration, s
1	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10	1311,94	1508,14 с
2	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10	1260,17	1531,87
3	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 6 – 10	1367,22	1797,09
4	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 6 – 10	1350,07	1797,74

Заключение

Как можно видеть, в том случае, если наименее загруженный модуль будет выполнять наиболее длительную операцию, то это существенно влияет на общую производительность системы. В данном случае (среди проведенных моделирований) наиболее оптимальной¹ компоновкой является модифицированная исходная, в которой наименее загруженный модуль выполняет наиболее длительную операцию. Однако, для целей проектирования новых установок или модификации уже существующих целесообразно

пользоваться имитационным моделированием для расчета наиболее оптимального варианта при заданных условиях.

С помощью имитационного моделирования были реализованы различные сценарии компоновки многокластерной установки с 2 потоками полуфабрикатов в системе. Таким образом, при проектировании новой установки или при эксплуатации уже существующей целесообразно использовать имитационное моделирование для поиска наиболее оптимальной компоновки и графика запуска полуфабрикатов.

¹ В данной работе нет цели решить задачу нахождения оптимальной компоновки для максимальной производительности установки. Цель работы – показать, что при заданных условиях целесообразно проводить имитационное

моделирование, чтобы показать, что существует значительная разница между различными вариантами компоновок. Нахождение наиболее оптимальной компоновки для указанных рецептов – выходит за рамки данного исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1 Куликов И.Н. Автоматизированное формирование структур мультикластерных технологических комплексов // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2014. № 2–1. С. 63–73

2 Куликов И.Н., Рябов В.Т., Шубников А.В. Имитационное моделирование кластерного технологического оборудования в полупроводниковом производстве // Наноинженерия. 2013. № 9 (27). С. 3–6

3 Куликов И.Н. Имитационное моделирование управления потоками полуфабрикатов в многокластерном технологическом комплексе. образование // Наука. научные кадры. 2015. №: 5. С. 271–275

4 Perkinson T., McLarty P., Gyurcsik R., Cavin R. Single-Wafer Cluster Tool Performance: An Analysis of Throughput // IEEE Trans. Semiconduct. Manufact. 1994. V. 7. № 3. P. 369–373.

5 Pederson D., Trout C. Demonstrated Benefits of Cluster Tool Simulation // Proc. Int. Conf. Modeling and Analysis Semicond. Manuf. Tempe. AZ. 2002. P. 84–89.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Игорь Н. Куликов аспирант, кафедра электронных технологий в машиностроении, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., 5/1, Москва, 105005, Россия, kulik19998@gmail.com

Леонид Л. Колесник к.т.н., доцент, кафедра электронных технологий в машиностроении, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., 5/1, Москва, 105005, Россия, l.kolesnik@m-i.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Игорь Н. Куликов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат
Леонид Л. Колесник консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 01.03.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 02.04.2018

REFERENCES

1 Kulikov I. N. Automated formation of structures of multicluster technological complexes. *Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoj nauki* [Theoretical and applied aspects of modern science] 2014. no. 2–1. pp. 63–73. (in Russian)

2 Kulikov I. N., Ryabov V. T., Shubnikov A. V. Simulation modeling of cluster technological equipment in semiconductor production. *Nanoinzheneriya* [Nano-engineering] 2013. no. 9–27. pp. 3–6. (in Russian)

3 Kulikov I. N. Simulation modeling of flow control of semi-finished products in a multicluster technological complex. Education. *Nauka nauchnye kadry* [Science. scientific personnel] 2015. no. 5. pp. 271–275

4 Perkinson T., McLarty P., Gyurcsik R., Cavin R. Single-Wafer Cluster Tool Performance: An Analysis of Throughput. *IEEE Trans. Semiconduct. Manufact.* 1994. vol. 7. no. 3. pp. 369–373.

5 Pederson D., Trout C. Demonstrated Benefits of Cluster Tool Simulation. *Proc. Int. Conf. Modeling and Analysis Semicond. Manuf. Tempe. AZ.* 2002. pp. 84–89

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Igor N. Kulikov graduate student, electronic technologies in mechanical engineering department, Bauman Moscow State Technical University, Baumanskaya str., 5/1, Moscow, 105005, Russia, kulik19998@gmail.com

Leonid L. Kolesnik Cand. Sci. (Engin.), associate professor, electronic technologies in mechanical engineering department, Bauman Moscow State Technical University, Baumanskaya str., 5/1, Moscow, 105005, Russia, l.kolesnik@m-i.ru

CONTRIBUTION

Igor N. Kulikov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Leonid L. Kolesnik consultation during the study

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 3.1.2018

ACCEPTED 4.2.2018