



# МИНИМАЛИСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С МАКСИМАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

## MINIMALIST SYSTEMS WITH MAXIMUM CAPABILITIES

DOI: 10.22184/1993-8578.2017.75.4.6.12

*Д-р Широ Хара, главный научный сотрудник Института наноэлектроники Национального института передовых промышленных наук и технологий AIST (Япония), представитель Консорциума по исследованию системы Minimal Fab*

*Dr. Shiro Hara, Principal Research Scientist at Nanoelectronics Research Institute of National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Representative of Fab System Research Consortium*



Сенсацией выставок SEMICON Japan последних лет неизменно становится демонстрация действующего микроэлектронного производства на выставочном стенде японского консорциума Minimal Fab. Технологические модули Minimal Fab выглядят очень эффектно: они имеют типовой эргономичный дизайн и одинаковый размер – ниже среднего человеческого роста при ширине около 30 см. Главной же их особенностью является возможность работы вне чистых помещений. Это уникальное технологическое решение привлекло внимание российских специалистов микроэлектронной отрасли, и в конце 2016 года было объявлено о подписании соглашения о сотрудничестве между МИЭТ, Корпорацией развития Зеленограда и японскими компаниями Yokogawa и Tokyo Boeki, входящими в консорциум по развитию Minimal Fab. В начале июня в Россию прибыла представительная японская делегация, в состав которой вошел изобретатель концепции Minimal Fab д-р Широ Хара из Национального института передовых промышленных наук и технологий

AIST (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology). В офисе российского представительства компании Tokyo Boeki г-н Хара ответил на вопросы нашего журнала.

In recent years, the sensation of SEMICON Japan fairs has invariably been the demonstration of the operating microelectronic production at the exhibition booth of the Japanese Minimal Fab consortium. The Minimal Fab process modules look quite impressive, they have a typical ergonomic design and the same size, below average human height with a width of about 30 cm. The key feature of them is the ability to work outside cleanrooms. This unique process solution attracted the Russian specialists in the microelectronic industry; at the end of 2016, it was announced that a cooperation agreement had been signed between the National Research University of Electronic Technology (MIET), the Zelenograd Development Corporation and the Japanese Yokogawa and Tokyo Boeki companies, a members of the Fab System Research Consortium. In early June, a representative Japanese delegation, which included the inventor of the Minimal Fab concept, Dr. Shiro Hara from AIST (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), arrived in Russia. At the Russian representative office of the Tokyo Boeki, Mr. Hara answered the questions of our journal.



### Господин Хара, как возникла идея создания системы Minimal Fab?

В нанотехнологиях, в особенности в микро- и нанoeлектронике, существует большой разрыв между стадией исследований и разработок и внедрением новых решений в производство. Анализируя причины этой ситуации, я пришел к выводу, что главной проблемой является огромный размер инвестиций, которые необходимы для реализации новых технологических решений. Большие средства требуются не только для покупки собственно технологического оборудования, но и для создания и поддержания необходимой производственной инфраструктуры, в первую очередь – чистых помещений. Тогда у меня и возникла идея создания небольшой по размерам производственной системы, которая требовала бы минимальных капиталовложений и могла бы работать вне специально подготовленных чистых комнат. Одной из базовых технологий для реализации Minimal Fab стала разработанная мною в 1990-х годах концепция локализации чистой среды внутри технологического оборудования (Clean localized wafertransfer system) с транспортировкой пластины в специальном контейнере Minimal Shuttle, что исключило необходимость работы в чистых помещениях. Вторым принципиальным решением стала работа с пластинами диаметром полдюйма, благодаря чему оборудование является очень компактным.



Модуль системы Minimal Fab  
Module of Minimal Fab system

### Mr. Hara, how did the idea of creating the Minimal Fab system come about?

In nanotechnologies, especially in micro- and nanoelectronics, there is a big gap between the research and development stage and the introduction of new solutions into production. By analysing the reasons for that situation, I have come to the conclusion that the main problem is the huge amount of investments that are needed to implement new process solutions. Large funds are needed to not only purchase the process equipment but also create and maintain the necessary production

infrastructure, first of all, clean rooms. Then I had the idea of creating a small-scale production system that would require minimal investment and could operate outside of any specially constructed clean rooms. One of the basic technologies to implement Minimal Fab was the Clean Localised Wafertransfer System concept developed by me in the 1990s, with the wafer being transported in a special Minimal Shuttle container, which eliminated the need to operate in clean rooms. The second fundamental solution was the use of 0.5 inch wafers due to which the equipment became very compact.

In 2004, I received funding in the amount of 300 million yen from AIST for the development of Minimal Fab. Later, with the support of the Government of Japan, the Minimal Fab Development Association was created, which included leading companies developing and producing equipment for microelectronics as well as universities, R&D centres, manufacturers of consumables, system designers etc.

### How is the clean environment localised in Minimal Fab?

Each wafer is transported between process modules in a sealed container, where it is in a clean



Технологические модули Minimal Fab имеют типовой эргономичный дизайн и компактные размеры  
 Modules of Minimal Fab system have ergonomic design and compact size

В 2004 году я получил финансирование от AIST на разработку Minimal Fab в сумме 300 млн иен. Позднее, при поддержке правительства Японии был создан консорциум Minimal Fab Development Association, в который вошли ведущие компании, разрабатывающие и производящие оборудование для микроэлектроники, а также университеты, исследовательские центры,

производители расходных материалов, системные интеграторы и др.

#### Каким образом в Minimal Fab локализуется чистая среда?

Каждая пластина транспортируется между технологическими модулями в герметичном контейнере, где находится в чистой азотной среде. Таким

nitrogen atmosphere. Thus, its contact with air in the room and other "dirty" environments is prevented. Some studies have confirmed the reliability of the solution.

#### What are the Minimal Fab facilities for?

Minimal Fab can be used in research and development centres and for the industrial production of semiconductor devices. Due to lower cost compared to conventional equipment, Minimal Fab significantly reduces the investment threshold for entering the market. At the same time, there is the possibility of almost limitless

increasing in production capacity by adding new lines. Thus, our equipment can be effectively used for R&D, prototyping and manufacturing of any batches, from single devices to mass production.

In the production of small orders, the time spent to prepare and adjust the equipment is particularly important. At Minimal Fab it is minimal due to the quick achievement of operating conditions and high automation. As a result, production time is reduced while productivity is maximised.

#### What infrastructure is needed to install the equipment?

Infrastructure requirements are minimal, i.e. power sources, nitrogen supply, compressed air supply, and a system for extracting gaseous waste. Liquid chemical reagents and water are placed in the process modules in special exchangeable containers. The reserve of this capacity is enough for a long time since the consumption of liquids for processing one wafer is calculated by drops, i.e. tenths of a milliliter.

#### What are the wafer requirements?

From the standpoint of the technical requirements, the wafers for Minimal Fab are no different from



образом, ее контакт с воздухом в помещении и другими "грязными" средами полностью исключается. Исследования подтвердили надежность такого решения.

### Для каких задач предназначены комплексы Minimal Fab?

Minimal Fab могут использоваться как центрами исследований и разработок, так и для промышленного производства полупроводниковых приборов. Благодаря меньшей стоимости по сравнению с обычным оборудованием, Minimal Fab значительно снижают порог инвестиций для выхода на рынок. При этом есть возможность практически безграничного наращивания производственных мощностей путем добавления новых линий. Таким образом, наше оборудование может эффективно применяться для исследований, прототипирования и изготовления продукции любой серийности, от единичных экземпляров до массового выпуска.

При производстве малых заказов исключительно важно время подготовки к работе и настройки оборудования. У Minimal Fab оно минимально благодаря исключительной скорости выхода на рабочий режим и высокой автоматизации. Как результат, время производства сокращается, а производительность максимизируется.

### Какая инфраструктура необходима для установки оборудования?

Требования к инфраструктуре минимальны: источники электропитания, подача азота, подача

сжатого воздуха, а также система вытяжки газообразных отходов. Жидкие химические реактивы и вода помещаются в технологических модулях в специальные сменные емкости. Запаса такой емкости хватает надолго, поскольку расход жидкостей для обработки одной пластины исчисляется каплями – десятыми долями миллилитра.

### Каковы требования к пластинам?

С точки зрения предъявляемых технических требований, пластины для Minimal Fab ничем не отличаются от обычных пластин. Особо следует обратить внимание лишь на то, чтобы пластина имела закругленный край. Поскольку ее площадь мала, значение краевых эффектов резко возрастает. Острый, необработанный край может стать не только причиной механических повреждений держателей, но и также приводить к накоплению заряда во время плазменных процессов. Разработанное оборудование позволяет изготавливать интегральные схемы, МЭМС и изделия для фотоники на кремнии, арсениде галлия,  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ , сапфире, кварце, нитриде галлия на сапфире, алмазе.

### Возможно ли размещение на одной пластине нескольких приборов и как реализуется их разделение?

Как и при работе с обычными пластинами, число приборов зависит от их размера и необходимого количества. Для разделения чипов используется обычная механическая техно-

conventional wafers. Particular attention should be paid only to the fact that the wafer has a rounded edge. Since its area is small, the edge effects become increasingly important. A sharp and rough edge can become not only the cause of mechanical damage to the holders but also lead to accumulation of charge during plasma processes. The developed equipment makes it possible to produce integrated circuits, microelectromechanical systems (MEMS) and photonics devices on silicon, gallium arsenide,  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ , sapphire, quartz, gallium nitride on sapphire, diamond.

### Can several devices be placed on one wafer, and how are they separated?

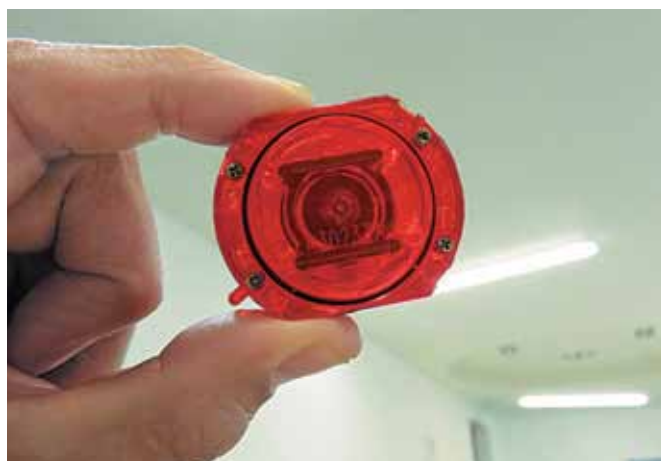
Just as with conventional wafer, the number of devices depends on their size and the required batch size. A common mechanical technology is used to separate chips. Our consortium includes DISCO Corporation, the world leader in the segment of equipment for grinding, polishing and cutting plates. It has developed a unique solution with regeneration and repeated use of water inside the process module thus making it possible to carry out mechanical processing without connection to

any centralised water preparation and supply system.

### Are there any typical Minimal Fab systems?

The minimum equipment package includes five modules for lithographic processes. It can be used in combination with the conventional equipment. A package of 25 machines will allow arranging for the manufacture of transistors. Approximately 30 machines are needed for the manufacture of MEMS. A versatile package for the commercial output of semiconductor devices includes about 50 machines.





Контейнер Minimal Shuttle  
Minimal Shuttle container

логия. В наш консорциум входит корпорация DISCO, мировой лидер в сегменте оборудования для шлифовки, полировки и резки пластин. Она разработала уникальное решение с регенерацией и многократным использованием воды внутри технологического модуля, что позволяет выполнять механическую обработку без подключения к централизованной системе подготовки и подачи воды.

#### Существуют ли типовые комплектации систем Minimal Fab?

Минимальный комплект оборудования включает пять модулей для литографических про-

цессов. Он может применяться в комбинации с обычным оборудованием. Комплекс из 25 модулей позволит организовать производство транзисторов. Примерно 30 модулей необходимо для изготовления МЭМС. Универсальный комплекс для коммерческого выпуска полупроводниковых приборов включает около 50 модулей.

#### Какие типы приборов уже сейчас можно производить на Minimal Fab?

По мере развития системы и появления новых модулей этот перечень расширяется. В 2012 году был изготовлен первый кантилевер, в 2013 году – р-канальный МОП-транзистор, в 2015 году – КМОП-микросхема, в 2016 году – микросхема в BGA-корпусе.

#### Позволяет ли использование Minimal Fab сократить сроки и стоимость разработки новых приборов?

При использовании для исследований и разработок обычного оборудования время создания коммерческого прибора составляет около трех лет. Применение Minimal Fab позволяет уменьшить этот период до полугода. По нашим прогнозам, в будущем, благодаря Minimal Fab, появится возможность разрабатывать полупроводниковые приборы в 10 раз быстрее, чем сейчас.

#### Разработаны ли решения для 3D-интеграции?

Мы, безусловно, будем способствовать развитию 3D-интеграции с использованием технологии

#### What types of devices can now be produced on Minimal Fab?

As the system develops and new modules appear, this list expands. In 2012, the first cantilever was manufactured, in 2013, the p-channel MOS transistor, in 2015, the CMOS chip, in 2016, the BGA chip.

#### Does using Minimal Fab make it possible to reduce the time and cost of developing new devices?

In using for research and development of conventional equipment, it takes about three years to create a commercial device. Using Minimal Fab allows you to

reduce this period to six months. According to our forecasts, in the future, thanks to Minimal Fab, it will be possible to develop semiconductor devices 10 times faster than now.

#### Are there any solutions for advanced packaging?

We will certainly promote the development of advanced packaging by using the TSV technology and other solutions, which allow to combine in one device, for example, logics with MEMS or power modules. Appropriate systems are about 90% complete. According to our estimates, in two years' time,

complete sets of modules for TSV will be available for sales. Practice shows that machines for Minimal Fab are developed very quickly. At the same time, the Minimal Fab concept is much more technologically feasible for implementing TSV than traditional systems for large wafers.

#### What is the return on investment time for Minimal Fab systems?

According to our estimates, it is about three years, that means, we are not inferior to the conventional equipment by this parameter at least. It should be noted that our machines are now about 100 times



TSV и других решений, чтобы в одном приборе можно было объединять, например, логические устройства с МЭМС или силовыми модулями. Соответствующие системы готовы примерно на 90%. По нашим оценкам, уже через два года будут доступны для коммерческой реализации полные комплекты модулей для TSV. Практика показывает, что модули для Minimal Fab разрабатываются очень быстро. При этом, концепция Minimal Fab значительно технологичнее для реализации TSV, чем традиционные системы с использованием больших пластин.

#### Каково время окупаемости систем Minimal Fab?

По нашей оценке, оно составляет около трех лет, то есть по этому параметру мы как минимум не уступаем традиционному оборудованию. Здесь следует заметить, что наши машины уже сейчас примерно в 100 раз дешевле традиционных, а с развитием серийного производства модулей Minimal Fab разница в цене может вырасти до 1 000 раз. При этом, как уже отмечалось, исключаются расходы на чистые помещения, минимальны затраты на расходные материалы и электроэнергию. Последнее обусловлено тем, что после окончания обработки пластины каждый модуль может быть выключен. В традиционном производстве это не практикуется, так как машине требуется несколько часов для стабилизации технологического режима. В Minimal Fab ввиду малого размера пластины режим стабилизируется за время порядка 10 мин. Таким

образом, основные затраты при использовании Minimal Fab – это зарплата обслуживающего персонала.

#### Какова стратегия продвижения Minimal Fab на рынке?

Наши маркетинговые исследования показали удивительную картину рынка. Например, сложно было предположить, что в Европе более 40 полупроводниковых производств используют пластины диаметром четыре дюйма. Множество фабрик выпускают приборы с проектными нормами 1 мкм и больше. В США небольшие предприятия специализируются на изготовлении дорогих приборов ценой в сотни и даже тысячи долларов, которые, тем не менее, востребованы на рынке. При этом у 20% американских фабрик годовой объем не превышает 100 пластин. Перечисленные предприятия – приоритетная целевая группа для Minimal Fab. Однако, наши планы далеко не исчерпываются работой с небольшими предприятиями. Средние компании также можно заинтересовать возможностью развития производства индивидуальных заказов, а большим компаниям Minimal Fab позволит повысить эффективность разработки и освоения изготовления новых приборов. Minimal Fab – универсальный инструмент, который оптимально отвечает тенденциям развития полупроводниковой отрасли.

*Интервью: Дмитрий Гудилин*

cheaper than traditional ones, and with the development of the serial production of Minimal Fab modules, the price difference can grow up to 1,000 times. At the same time, as already noted, the costs for clean rooms are excluded; the costs for consumables and electricity are minimal. The latter is due to the fact that after processing of the wafer, each module can be turned off. In the conventional production, this is not so common since it takes several hours for the machine to stabilise the process. In Minimal Fab, due to the small size of the wafer, the operational mode stabilises in about 10 minutes. Thus, the

main cost in using Minimal Fab is the salary of the staff.

#### What is the strategy for promoting Minimal Fab on the market?

Our marketing research has shown an amazing market picture. For example, it was difficult to imagine that in Europe more than 40 semiconductor production sites use 4 inch wafers. A lot of companies produce devices with node size of 1  $\mu\text{m}$  and more. In the USA, small enterprises specialise in the manufacture of high-value devices at a cost of hundreds or even thousands of dollars, which still are in demand on the market. At the same time,

at 20% of the American factories, the annual volume does not exceed 100 wafers. The said enterprises are the priority target group for Minimal Fab. However, our plans are far from being limited to dealing with small enterprises. Medium-sized companies can also be interested in the possibility of developing individual orders, and Minimal Fab will enable large companies to increase the efficiency of promoting and mastering the manufacture of new devices. Minimal Fab is a versatile tool that optimally meets the trends in the development of the semiconductor industry.

*Interview: Dmitry Gudilin*