



MINIMAL FAB – ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

MINIMAL FAB, LOOK INTO FUTURE OF SEMICONDUCTOR INDUSTRY

DOI: 10.22184/1993-8578.2017.76.5.14.18

Д.Гудилин / dmitrygudilin@yandex.ru
D.Gudlin

6 июня в Национальном исследовательском университете "МИЭТ" состоялся семинар, посвященный новой японской технологии minimal Fab. О предпосылках появления этой концепции, ее преимуществах, текущем состоянии работ и перспективах проекта рассказал изобретатель minimal Fab д-р Широ Хара из японского Национального института передовых промышленных наук и технологий AIST (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology). Материалы семинара дополняют и развиваются тему будущего полупроводниковых производств, начатую в интервью с д-ром Ш.Хара, которое было опубликовано в прошлом номере нашего журнала (НАНОИНДУСТРИЯ, 2017, № 4(75), с. 6–12).

June 6, a seminar on the new Japanese minimal Fab technology was held at the National Research University of Electronic Technology (MIET). The inventor of minimal Fab Dr. Shiro Hara from the Japanese National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) told about the prerequisites for the development of this concept, its advantages, current state of work and project prospects. This review supplements and develops the theme of the future of semiconductor productions, begun in an interview with Dr. Sh.Hara, which was published in the last issue of our journal (NANOINDUSTRY, 2017, No. 4 (75), p. 6–12).

Minimal Fab – концепция создания полупроводникового производства, в основу которой легли идеи о значительном сокращении затрат на оборудование, материалы и процессы. Для развития minimal Fab при поддержке правительства Японии создан консорциум, в который вошли ведущие технологические компании страны, в том числе 31 крупная корпорация и более 140 средних и малых предприятий.

ПРЕДПОСЫЛКИ

Последние десятилетия одной из тенденций развития полупроводниковой промышленности было увеличение размера пластин. В настоящее время стандартом для крупных предприятий являются пластины диаметром 300 мм, однако дальнейшее увеличение размера подложек столкнулось с рядом проблем. Среди них – резкий рост капиталовложений, снижение эффективности и рост рисков при разработке новых устройств. Исследования, проведенные группой д-ра Ш.Хары, показали, что в современных "мегафабах", являющихся символом прогресса в микроэлектронике, загрузка оборудования

составляет 10–50%, а доля полезных затрат не превышает 10%. При этом, до 90% затрат на проектирование ИС уходит на исправление ошибок. Таким образом, технологическое развитие отрасли достигло той стадии, когда назрела необходимость перехода к принципиально новым решениям. И одним из них может стать minimal Fab.

ПРИНЦИПЫ И ПРЕИМУЩЕСТВА

Для повышения эффективности разработки и производства полупроводниковых приборов необходимо добиться существенного снижения стоимости оборудования и инфраструктуры, а также эксплуатационных затрат при одновременном повышении гибкости технологических систем. В качестве решения создатели minimal Fab предложили уменьшить размер обрабатываемых пластин на два порядка – до 0,5 дюйма (12,5 мм). Благодаря этому уменьшаются габариты и стоимость технологического оборудования, облегчается его обслуживание, сокращаются производственные отходы. Если стоимость комплекса традиционного оборудования



для пластин 300 мм, по оценкам д-ра Ш.Хары, составляет около 5-10 млрд долл. США, то стоимость комплекта minimal Fab с той же функциональностью не превысит 5-10 млн долл. США, то есть будет в 1000 раз меньше.

Второй важной идеей, составившей основу minimal Fab, стала локализация чистой среды

внутри оборудования. Для этого пластина помещается в герметичный контейнер, в котором транспортируется между технологическими операциями, а само оборудование может эксплуатироваться вне чистых помещений, что резко уменьшает затраты на производственную инфраструктуру.

Minimal Fab is the concept of semiconductor production, which is based on the idea of a significant reduction in costs for equipment, materials and processes. For the development of minimal Fab with the support of the Japanese government, a consortium has been created, which includes leading technology companies of the country, including 31 large corporations and more than 140 medium and small enterprises.

BACKGROUND

Over the past decades, one of the trends in the development of the

semiconductor industry has been the increase in the size of the wafers. Currently, the standard for large fabs are 300 mm wafers, but a further increase in the size of the substrates has encountered a number of problems. Among them are a sharp increase in capital investment, a decrease in efficiency and increased risks in the development of new devices. Research conducted by Dr. Sh. Hara's team showed that in modern megafabs, which are a symbol of progress in microelectronics, the rate of operation is 10–50%, and the share of useful costs does not exceed 10%. At

the same time, up to 90% of the design cost is spent on correcting errors. Thus, the technological development of the industry has reached the stage when it is time to move to fundamentally new solutions. And minimal Fab can be one of them.

PRINCIPLES AND ADVANTAGES

To increase the efficiency of the development and production of semiconductor devices, it is necessary to achieve a significant reduction in the cost of equipment and infrastructure, as well as operating costs while increasing the flexibility of process systems.



minimal Fab опровергает сложившийся стереотип, согласно которому снижение расходов возможно только при крупномасштабном производстве. Если в прошлом минимальный размер партии приборов, которую было целесообразно запускать в производство, составлял около 10 тыс. шт., то в современных "мегафабах", по словам д-ра Ш.Хары, он достиг 100 тыс. шт. В результате, вывод на рынок новых разработок невероятно усложнился из-за высоких затрат и рисков. При использовании minimal Fab экономически целесообразны партии от 100 изделий, а затраты на НИОКР и коммерциализацию новых продуктов и технологий резко снижаются.

As a solution, the developers of minimal Fab offered to reduce the size of the processed wafers by two orders of magnitude – down to 0.5 inches (12.5 mm). This reduces the dimensions and cost of process equipment, facilitates its maintenance, reduces production waste. If the cost of a conventional fab for 300 mm wafers is estimated at about 5-10 billion USD, then the cost of minimal Fab with the same functionality will not exceed 5-10 million USD, that is, the difference will reach 1000 times.

The second important idea, which formed the basis of

minimal Fab, was the localization of a clean environment inside the equipment. To do this, the wafer is placed in a sealed container, in which it is transported between process operations, and the equipment itself can be operated outside cleanrooms, which drastically reduces the costs of the production infrastructure.

minimal Fab refutes the common stereotype, according to which the cost reduction is possible only with large-scale production. If in the past the minimum batch of devices, which it was expedient to launch into

Важными преимуществами minimal Fab являются высокий коэффициент использования оборудования и сокращение времени изготовления приборов. В традиционном производстве приходится постоянно ждать, пока оборудование освободится. В результате, в день каждая партия изделий проходит в среднем лишь два технологических этапа. В minimal Fab может реализовываться около 30 процессов в день. В неделю minimal Fab позволяет обрабатывать около 10 тыс. пластин.

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Консорциум по развитию minimal Fab разрабатывает весь комплекс необходимых технических решений, включая оборудование, технологии и материалы.

Система minimal Fab строится из компактных технологических модулей, выполненных в едином дизайне с одинаковым форм-фактором (высота – 1440 мм, ширина – 294 мм, глубина – 450 мм). Каждый модуль снабжен системой загрузки / выгрузки PLAD (Particle Lock Air-tight Docking system). Очистка загруженной пластины ламинарным потоком воздуха позволяет достигать внутри модуля класса чистоты ISO 4. Время загрузки / выгрузки пластин – около 30 с. Вне машины пластина находится в компактном герметичном и непроницаемом для УФ-излучения контейнере minimal Shuttle. Между технологическими модулями контейнер может переноситься вручную или с помощью роботизированной системы.

production, was about 10 thousand pieces, then in modern megafabs, according to Dr. Sh. Hara, it reached 100 thousand pieces. As a result, the launch of new developments has become incredibly complicated due to high costs and risks. With the use of minimal Fab, batches of 100 products are economically viable, and the costs of R&D and commercialization of new products and technologies are sharply reduced.

Important advantages of minimal Fab are the high operating ratio of equipment and the shortening of the manufacturing time



Помимо электропитания, установкам требуется только подача воздуха и азота, а также вытяжка. Химические реагенты помещаются в модули в контейнерах. Расход реагентов очень мал, например, для смычки требуется всего 0,5 см³ жидкости.

Пластины диаметром 12,5 мм вырезаются лазером из подложек стандартного размера. На пластине имеется не покрываемая фоторезистом кромка шириной 0,28 мм и краевой участок шириной 0,50 мм, на котором толщина резиста неравномерна. Остальная площадь пластины может использоваться для формирования структур.

По словам д-ра Ш.Хары, minimal Fab позволяет обрабатывать около 10 тыс. пластин в неделю.

Модули minimal Fab могут использоваться и в комбинации с традиционным оборудованием. При гибридном производстве контейнер minimal Shuttle переносится в чистое помещение, там пластина помещается в специальный держатель, который позволяет обрабатывать ее в обычных установках.

ПЕРСПЕКТИВЫ

Пока для minimal Fab доступны не все необходимые технологические модули, в частности, для литографии разработан только модуль на базе системы DLP, которая пригодна для топологических норм выше 500 нм. Однако вскоре ее планируется усовершенствовать, достигнув разрешения 350 нм. В дополнение, на базе уже

имеющегося модуля сканирующей электронной микроскопии разрабатывается система электронно-лучевой литографии с разрешением 100 нм, которое в дальнейшем будет улучшаться.

Возможности minimal Fab постоянно расширяются. В 2012 году с применением minimal Fab в составе гибридного комплекса был изготовлен кантелевер, в 2013 году на minimal Fab были получены PMOS-структуры, в 2015 году - CMOS-структуры и кольцевой осциллятор, в 2016 году - прибор в корпусе BGA. В 2016 году производство электронных компонентов демонстрировалось в реальном времени на выставке SEMICON Japan.

Д-р Ш.Хара отметил, что если в 20 веке тенденциями в микроэлектронике были увеличение масштабов производства, рост разрыва между НИОКР и промышленным внедрением, то теперь тенденцией становится кастомизация продуктов и снижение разрыва между НИОКР и производством. Эти процессы связаны с развитием локального потребления, и minimal Fab является оптимальным решением новых задач. Разработчики minimal Fab прогнозируют, что в будущем рынок будет поделен примерно поровну между системами для пластин размером около 0,5 дюйма и для 12-дюймовых пластин.

Начало коммерческого использования minimal Fab – вопрос ближайшего времени, причем не исключено, что первый масштабный проект будет реализован в России (см. новость на с. 24). ■

of devices. In conventional production, you must wait until the equipment is available. As a result, each batch of products passes on average only two process stages per day. In minimal Fab, about 30 processes per day can be implemented. In the week, minimal Fab allows processing about 10 thousand wafers.

TECHNICAL ASPECTS

The minimal Fab development association is developing the full range of necessary technical solutions, including equipment, technologies and materials.

The minimal Fab system consists of compact process units made in the same design with the same form factor (height - 1440 mm, width - 294 mm, depth - 450 mm). Each unit is equipped with the Particle Lock Air-tight Docking system (PLAD). The cleaning of the loaded wafer using a laminar flow of air makes it possible to achieve within the unit the ISO class 4 of cleanliness. Loading / unloading time is about 30 seconds. Outside the machine, the wafer is in a compact, sealed and impervious to UV radiation minimal Shuttle container. The container can be

transported between the process units manually or by means of a robotic system.

In addition to power supply, the machines require only air and nitrogen supply, as well as exhaust ventilation. Chemical reagents are placed in containers. Reagents consumption is very small, for example, only 0.5 cm³ of liquid is required for washing.

12.5 mm wafers are cut out by the laser from substrates of the standard size. The wafer has an edge not covered by the photoresist with a width of 0.28 mm and an edge area of 0.50 mm wide, on which the thickness of the resist



"РЫНКИ – ПРОДУКЦИЯ – ТЕХНОЛОГИИ" – СТРАТЕГИЧЕСКАЯ СЕССИЯ С ПРЕДСТАВИТЕЛЯМИ НТИ

12 июля в Зеленограде состоялось заседание научно-практической конференции "Рынки – Продукция – Технологии", посвященное вопросам интеграции электронной компонентной базы в перспективные продукты Национальной технологической инициативы (НТИ).

Организаторами конференции выступила "Корпорация развития Зеленограда" при участии "Агентства стратегических инициатив" и "Российской венчурной компании". Среди приглашенных участников были также представители Департамента науки, промышленной политики и предпринимательства г. Москвы и Департамента информационных ресурсов г. Москвы. Аналогичные встречи по отраслевым направлениям будут проходить в течение нескольких месяцев для выработки вектора технологического развития в рамках рыночных перспектив технологий и возможностей зеленоградских предприятий.

Участники конференции обсудили тенденции мировой науки и экономики, технологические вызовы и важнейшие приоритеты государственной политики России, возможности создания "цифровой экономики", ориентированной не только на внутренний, но и на внешний рынок.

Одним из ключевых критериев выбора отраслевых рынков является их ожидаемый объем, который должен составить не менее 100 млрд. долл. США к 2035 году. Немаловажными факторами были признаны приоритет рынков B2C над B2B и возможность их роста на базе компьютерных сетей, где посредники будут вытесняться управляющим программным обеспечением.

В качестве приглашенного спикера от компаний микроэлектроники, уже реализующих инновационные проекты, выступил генеральный директор

Зеленоградского нанотехнологического центра А.Ковалев, представивший компетенции ЗНТЦ в области разработки и производства систем управления и МЭМС-датчиков для гражданской электроники в свете расширения ее рынков ("умные" машины, промавтоматика, энергосберегающие системы). "МЭМС-сенсоры и системы обработки информации являются базовой платформой развития "Интернета вещей" (IoT), – отметил А.Ковалев. – На базе электронных компонентов выстраиваются последующие продуктивные модули и пользовательские решения. Рынок применения МЭМС широк: от использования в беспилотной навигации транспорта, системах промышленной автоматизации и построения цифровых фабрик будущего до биомедицины. Таким образом, современная микро- и наноэлектроника является базой развития всей аппаратуры растущих рынков".

Интеграция электронных компонентов востребована практически по всем развивающимся технологическим направлениям, и по сути служит платформой, обеспечивающей компонентами все рынки НТИ. Это не только МЭМС-сенсоры, но и микропроцессоры, RFID, модули памяти, СВЧ-электроника и пр.

На сегодняшний день ЗНТЦ уже реализует ряд проектов по программе "Развитие НТИ" и формирует новые проекты.

В завершение пленарной части было принято решение сформировать отдельное направление по интеграции электронных компонентов в программы НТИ, а также обсуждались перспективы использования Зеленограда в качестве производственной экосреды для современной "цифровой экономики".

ЗНТЦ

is uneven. The remaining area of the wafer can be used to form structures.

According to Dr. Sh. Hara, minimal Fab allows to process about 10 thousand wafers a week.

minimal Fab can also be used in combination with traditional equipment. In hybrid production, the minimal Shuttle container is transferred to a clean room, where the wafer is placed into a special holder, which allows it to be processed in conventional machines.

PROSPECTS

At present, not all the necessary process units are available for minimal Fab, in particular, only the DLP-based unit is developed for maskless lithography, which is suitable for design rules above

500 nm. However, it is planned to improve DLP, reaching a resolution of 350 nm. In addition, an electron-beam lithography with a resolution of 100 nm is being developed on the basis of the already available scanning electron microscopy system, which will be further improved.

The capabilities of minimal Fab are constantly expanding. In 2012, cantilever was manufactured in hybrid mode, in 2013, PMOS structures were obtained using only minimal Fab, in 2015 – CMOS structures and a ring oscillator, in 2016 – a device in the BGA package. In 2016, the production of electronic components was demonstrated in real time at SEMICON Japan.

Dr. Sh. Hara noted that if in the 20th century the trends in

microelectronics were associated with the increase in production scale and the growing gap between R&D and industrial implementation, now the trend is product customization and a narrowing of the gap between R&D and production. These processes are associated with the development of local consumption, and minimal Fab is the optimal solution to new problems. minimal Fab developers predict that in the future, the market will be divided roughly equally between the systems for 0.5 inches wafers and for 12-inch wafers.

The beginning of commercial use of minimal Fab is a matter of the near future, and it is possible that the first large-scale project will be implemented in Russia (see page 24). ■