

# МИНИ-ФАБРИКИ MINIMAL FAB – СНОВА ГВОЗДЬ ПРОГРАММЫ ВЫСТАВКИ SEMICON JAPAN 2018

**ДМИТРИЙ БОДНАРЬ**, к.т.н., генеральный директор АО «Синтез Микроэлектроника»

*12–14 декабря 2018 г. в Токио состоялась ежегодная выставка SEMICON Japan 2018, которую посетил автор этой статьи. В ней он делится своими впечатлениями.*

Ровно год назад при поддержке компании «Токио Бозэки (Рус)» нам удалось посетить выставку SEMICON Japan 2017 и очно ознакомиться с мини-фабрикой Minimal Fab для производства и сборки чипов. По результатам посещения была опубликована статья с оценкой состояния разработки и оборудования линии [1]. Как и во все предыдущие годы, экспозиция Minimal Fab являлась самой посещаемой на выставке SEMICON Japan 2018 (см. рис. 1). Основной задачей текущего посещения выставки являлась оценка изменений и достижений за прошедший год. За это время технологическая линия дополнилась некоторым оборудованием, оснасткой и сервисами.

## **Электронно-лучевая литография**

Создана и представлена установка безмасочной электронно-лучевой литографии по нормам 0,35 мкм. К сентябрю 2019 г. должна быть создана установка на 0,2 мкм, а к концу 2019 г. – на 0,1 мкм. Эти установки также могут быть встроены в комбинированный техпроцесс, состоящий из электронно-лучевой литографии для критических слоев (например, КМОП-затвора) и безмасочной литографии для остальных менее критичных

слоев с большими размерами. Оба этих процесса выполняются на оборудовании Minimal Fab.

**Установка для нанесения слоев SiN PECVD** с плазменной активацией и отсутствием энергетических и радиационных повреждений пластин, что особенно важно при нанесении этих диэлектрических слоев на поверхность кремния, а также для КМОП-структур с малой толщиной подзатворного диэлектрика.

**Установка электронно-лучевого напыления многослойных металлических покрытий** из трех источников в одном вакуумном процессе.

Многослойные пленки применяются в качестве межсоединений и барьерных металлов во всех типах ИС, полупроводниковых приборов, МЭМС.

## **Химический сервер**

Эта установка, предназначенная для автоматизированного приготовления и контроля состава с помощью компьютерной программы многочисленных химических растворов для травления и отмывки пластин. Процесс приготовления и контроля



Рис. 1. Экспозиция Minimal Fab – самая посещаемая на выставке SEMICON Japan 2018

исключает субъективный человеческий фактор, способный заметно ухудшить качество и воспроизводимость процессов. Это оборудование может не встраиваться в технологическую линию, а размещаться вне ее и практически исключает возможность случайных ошибок в приготовлении химреактивов.

#### **Установка химико-механической полировки CMP**

Это оборудование предназначено для планаризации поверхности диэлектрических слоев, в первую очередь при создании многоуровневых межсоединений.

#### **Эпитаксиальный реактор для Si**

С этим сложным процессом и оборудованием возникли сложности, т.к. один из разработчиков не справился с задачей и не выполнил ее в запланированные сроки. Соответственно, в AIST было принято решение о смене подрядчика. И это решение дает результаты.

#### **Эпитаксиальный реактор для GaN**

Задача создания реактора поручена новому руководителю этого направления – профессору из университета Нагои. Реактор должен быть создан к сентябрю 2019 г. Это оборудование осуществляет крайне важный техпроцесс и является установкой для изготовления текущих и перспективных изделий на основе новых материалов.

#### **Лазерная абляция (Laser Ablation)**

Лазерный аблятор с комбинацией коротко-импульсного лазера и высокоскоростного лучевого сканирования предназначен для формирования отверстий на поверхности разных материалов, а также для маркировки, копирования, мультиплицирования, деламинации поверхности, удаления припоев и поверхностных слоев.

#### **Тестер для пластин MOSFET**

Позволяет тестировать параметры чипов MOSFET на пластине с использованием зондовой мини-головки.

#### **Установка для укладки пластин в кассеты (Wafer Sorter)**

Это оборудование позволяет загружать пластины в групповые кассеты для транспортировки.

#### **Удаление фоторезиста**

Реализованы пять типов процессов удаления фоторезиста: три плазменных, включая процесс «мягкого» снятия без повреждений поверхности, и два процесса жидкостного химического удаления, включая снятие и обработку в растворе ацетона.

#### **3D-микроскоп-интерферометр высокого разрешения**

Этот прибор предназначен для определения толщины пленок, а также для выполнения 2D- и 3D-анализа поверхности с формированием цветного изображения рельефа.

#### **Установка монтажа и напайки пластины (Die Bonder)**

В одной установке реализованы процессы:

- загрузки пластин;
- загрузки подложек из сплава 42, на которые монтируются пластины;
- нанесение серебросодержащей пасты;
- нагрев, монтаж и напайка пластины;
- контроль качества напайки.

#### **Комплект из трех типов оборудования для процесса**

**DBG** (Dicing Before Grinding – резка перед утонением).

Процесс и оборудование созданы мировым лидером в процессах и оборудовании резки и шлифовки полупроводниковых пластин – компанией DISCO по ее классическому сценарию, идентичному тому, что применяется для пластин большого диаметра. Этот процесс состоит из трех этапов:

- дисковой резки (Blade Dicer) на половину толщины пластины;
- ламинирования с нанесением липкой ленты на пластину;
- утонения с обратной стороны (Back Grinding).

Процесс сопровождается промывкой в деионизованной воде с последующим удалением чипов с липкой ленты.

Все три установки размещаются последовательно в ряд.

#### **Линия гибридной пластмассовой сборки на уровне пластин FOWLP BGA**

Запущенная линия работает в компании PMT Corporation и включает не только оборудование монтажа чипов (пластин) и герметизацию пластмассой, но и оборудование для напыления металлических слоев UBM, литографии, монтажа припойных шариков (см. рис. 2). Это полная линия, позволяющая реализовать полный цикл сборки, включая многокристальную 2D-сборку, а также процессы 2,5D- и 3D-сборки. Часть этого оборудования разработана самой компанией PMT.

#### **Мишени для магнетронного распыления металлических слоев**

Разработана целая серия мишеней чистотой 3–5N для получения металлических слоев Al, Au, Cr, Cu, Ni, Pt, Ti, которые применяются в микроэлектронике. Мишень Ti также используется для реактивного напыления часто применяемых слоев TiN.

**Комплект оснастки (Docking System)** для быстрого монтажа и жесткой фиксации на полу оборудования Minimal Fab.

С помощью данной оснастки доставка на место монтажа, монтаж к точке подключения и жесткая фиксация на позиции размещения занимает меньше минуты. Казалось бы, это мало-значительный сервис и оснастка, но на самом деле они являются очень важными, особенно для прецизионных систем, не допускающих вибрации. Эта оснастка и сервис характеризуют подходы японцев, для которых мелочей не бывает.

**Разработка комплексного многоязычного программного обеспечения** для работы и управления оборудованием в составе технологической линии.

**Высоковакуумный тип кассет Minimal Shuttle** для полноценной работы с оборудованием Minimal Fab, которое функционирует в высоком вакууме с соответствующей системой загрузки подложки PLAD.

В настоящее время в Японии работают пять линий Minimal Fab. Нас особенно интересовали практические результаты и изделия, реализованные с помощью мини-фабрик. Наи-

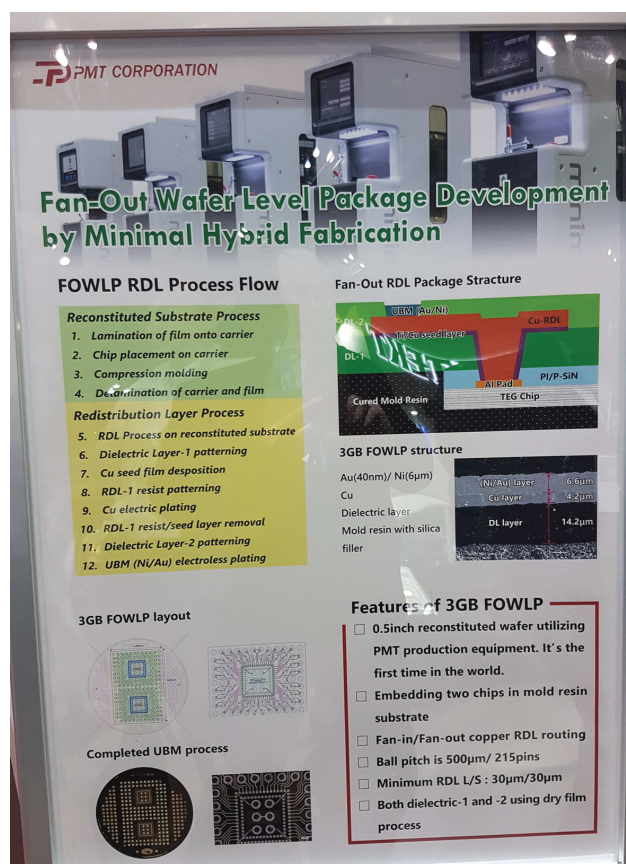


Рис. 2. Экспонат компании PMT Corporation, демонстрирующий особенности процесса сборки FOWLP





рис. 3. Экспонаты с демонстрацией изделий, изготовленных Японским агентством космических исследований (JAXA) с помощью линии Minimal Fab

большой интерес представляют собой результаты этой работы в Японском агентстве космических исследований (JAXA) (см. рис. 3). Под линию Minimal Fab было разработано несколько техпроцессов КМОП КНИ с Al- и TiN-затвором, *n*-MOSFET, *p*-MOSFET, МЭМС. Полностью на данной линии, а для некоторых изделий и с использованием гибридного процесса (т. е. частичного использования оборудования под большой диаметр пластин), была разработана и изготовлена целая серия приборов: логические микросхемы, MOSFET-транзисторные матрицы *n*- и *p*-типов, кольцевые генераторы, датчики давления и т. д. Очевидно, что некоторые из этих изделий, учитывая особенности технологии TiN CMOS SOI и специфику продукции агентства, реализованы в радиационно-стойком исполнении. Однако эту информацию нам никто не смог ни подтвердить, ни опровергнуть. Некоторые изделия реализованы в двухчиповом исполнении в едином корпусе. Пожалуй, этот результат является наиболее весомым подтверждением практической результативности идеологии мини-фабрик.

Отдельно следует отметить новые факты, полученные по неподтвержденной инсайдерской информации. В прошлогодней статье автор рискнул сделать прогноз, что в ближайшие два-три года компания TSMC, лидер мирового фаундри-бизнеса, закупит линию Minimal Fab в качестве альтернативы своему сервису MPW на пластинах большого диаметра. Согласно этой инсайдерской информации, несколько месяцев назад одна из известных мировых фаундри-компаний обратилась в ассоциацию AIST для обсуждения вопросов закупки Minimal Fab. Согласно другим данным, известный мировой производитель мобильных гаджетов также проявил интерес к этой концепции мини-фабрик для некоторых сборочных процессов. Таким образом, линия Minimal Fab интересна не только университетским лабораториям, как это пытались представить некоторые эксперты.

И все-таки, в одном отношении имеющиеся сомнения еще не рассеяны: правильно ли выбран диаметр пластин 0,5 дюйма. Автору до сих пор кажется, что оптимальным для пользователей был бы диаметр 1 дюйм. В то же время автор регулярно заглядывает на веб-сайт виртуального конкурента Minimal Fab – американской компании FutrFab Inc., предложившей концепцию компактной фабрики для пластин на 2 дюйма. К сожалению, за последние два года никаких положительных сдвигов и результатов не видно, в отличие от Minimal Fab. Так что пока эти сомнения по диаметру пластин на практике подтвердить не удастся.

Среди отечественных специалистов, испытывающих сомнения в правильности идеологии мини-фабрик, больше всего специалистов из двух сфер полупроводников: фабрик

по производству чипов на пластинах большого диаметра, а также разработчиков и производителей оборудования для производства таких чипов. На наш взгляд, каждый из них боится себе признаться в том, что в основе их пессимизма лежит ревность к тем новым возможностям, которые открываются с помощью мини-фабрик, и ложное представление о появлении конкурента. На выставке к автору подошел один из наших соотечественников, много лет работающий в южнокорейской машиностроительной фирме, которая производит такое оборудование для пластин большого диаметра. Оказывается, он читал мои статьи, в т. ч. по мини-фабрикам. И автор попытался убедить его, что идеология мини-фабов никогда не перечеркнет и не заменит те возможности, которые дают фабрики и оборудование для пластин большого диаметра. Она только добавит больше возможностей выбора пользователям, подобно тому, как появление фотокамер в телефонах не отменило видеокамер и фотоаппаратов в виде отдельных устройств. Каждый из этих изделий и сервисов имеет свои сильные и слабые стороны, а также свои ниши применения.

Несколько слов о самой выставке SEMICON Japan 2018. Как и в прошлом году, самые большие экспозиции представили компании DISCO, ULVAC, TEL, т. е. машиностроительные компании. DISCO представила полный ряд оборудования для резки, шлифовки кремниевых и композитных пластин. Была представлена новая автоматическая линия KABRA для полного цикла обработки слитков SiC и разделения, полировки и получения 150-мм пластин (см. рис. 4). Максимальный диаметр пластин, который способна обрабатывать сама линия, составляет 200 мм. Торговая марка KABRA запатентована только в декабре 2017 г. Революционный процесс основан на формировании под действием освещения непрерывным лазерным лучом на поверхности слитка SiC легко адсорбирующего слоя разделения (слой KABRA). Глубина залегающего слоя определяется режимами лазерного облучения. Облучение сопровождается разделением SiC на Si и C в аморфном состоянии, когда активно поглощается излучение. После разделения пластина и слиток подвергаются шлифовке в этой же непрерывной линии. Процесс продолжается до полного разделения слитка на пластины. По сравнению с традиционной проволоочной резкой, в данном процессе значительно снижаются неэффективные потери материала слитка, а количество пластин с одного слитка в 1,4 раза больше в сравнении с проволоочной резкой.

Уже несколько лет основным сегментом применения оборудования компании ULVAC является солнечная энергетика и большие панели. Но сфера интегральной полупроводнико-

## KABRA! zen



Рис. 4. Автоматическая линия KABRA компании DISCO для разделения слитков SiC на пластины

вой микроэлектроники этой компанией не забыта, в чем автор имел возможность убедиться во время переговоров с ULVAC три года назад.

На выставке довольно широко были представлены исследования по широкозонным полупроводникам, в т. ч. SiC, GaN. Большого автор ожидал от компании FLOSFIA – стартапа Киотского университета. Об этой компании и ее продукции на основе нового материала  $Ga_2O_3$  автор писал в [2]. Но никаких новых результатов и приборов FLOSFIA не представила. Остается следить за ее дальнейшими шагами и достижениями. Toyota представила исследования и изделия на основе SiC, а также некоторые автомобильные блоки для электромобилей с их применением. Как обычно многолюдно было вокруг электромобиля Tesla. Отдельный большой сегмент выставки был отдан учебно-исследовательским университетам, представившим результаты своих исследований. Их главная цель – заинтересовать прикладные компании своими исследованиями в области новых материалов и технологий, чтобы быстро перейти в фазу стартапов или совместных проектов. Это сильно контрастирует с российскими выставками. Остановлюсь еще на нескольких различиях между российскими и японскими выставками по полупроводникам.

На российских выставках ExproElectronica и ChipEXPO главными участниками являются не отечественные производители ИЭТ, оборудования, материалов, а вторые поставщики, дистрибьюторы, поставщики импортных ИЭТ. В последние годы выросла доля не очень известных второстепенных китайских

поставщиков жгутов, пассивных компонентов и материалов. Таким образом, нашим производителям ИЭТ и оборудования особенно нечего предложить монопольному рынку и конкурировать не с кем. Для применения в военной аппаратуре их продукция является монопольной и безальтернативной, а значит, отсутствует необходимость конкурировать и бороться за клиентов. Отечественные выставки являются тем зеркалом, которое отражает сложившуюся ситуацию. В отличие от нескольких предыдущих лет, ни одна российская компания на SEMICON Japan 2018 представлена не была. Не состоялась в 2018 г. и поставка линии Minimal Fab в Россию. Все это лишний раз подтверждает усиливающуюся изоляцию нашей микроэлектроники и промышленности в мире. —

*Автор выражает признательность за поддержку и организацию визита в Японию руководителям и специалистам компании ООО «Токио Бозэки (Рус)» – генеральному директору Такигава Кэйдзи, заместителю генерального директора Дмитрию Юркову, менеджеру Виталию Тинькову.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитрий Боднар. Мини-фабрики Minimal Fab для производства и сборки чипов продолжают свою революцию. Электронные компоненты. 2018. № 1.
2. Дмитрий Боднар. Полупроводниковая микроэлектроника – 2017 г. Часть 3. Новые материалы для посткремниевой эпохи – уже настоящее, а не будущее. Электронные компоненты. 2018. № 1.