

Внедрение новых технологий корпусирования микросхем

Визит на сборочное производство АО «ЗНТЦ»

Ю. Ковалевский



Сейчас в нашей стране микроэлектронике уделяется большое внимание, и этот сектор промышленности действительно активно развивается. За этим развитием стоят конкретные компании, и в их числе – АО «Зеленоградский нанотехнологический центр» (ЗНТЦ) – одно из ведущих предприятий отрасли, обладающее широким спектром микроэлектронных технологий, по которым осуществляется кристалльное производство и корпусирование ИС. Отличительной особенностью ЗНТЦ является плотное взаимодействие предприятия с одним из ведущих микроэлектронных вузов страны – НИУ МИЭТ, что формирует столь важную для успеха в высокотехнологичной сфере триаду науки, образования и производства.

В начале текущего года в компании был запущен обновленный сборочный участок, на котором выполняется корпусирование интегральных схем (ИС). Мы посетили это производство, где представители компании рассказали нам, в чем заключалась цель этой модернизации, какими возможностями по корпусированию ИС обладает предприятие в настоящее время и как организованы соответствующие техпроцессы. В начале нашего визита в компанию на наши вопросы ответил генеральный директор АО «ЗНТЦ» Анатолий Андреевич Ковалёв.

Анатолий Андреевич, в феврале этого года в ЗНТЦ был запущен обновленный участок по корпусированию ИС. В чем заключаются задачи, возлагаемые на данное производство?

Можно назвать две основные задачи, решаемые данным участком, которые напрямую вытекают из миссии нашего предприятия. Первая из них – это обеспечение технологической базы для собственных разработок, производства продукции, выводимой нами на рынок, оказание услуг контрактной сборки ИС российским микроэлектронным предприятиям и дизайн-центрам. Вторая – предоставление производственной инфраструктуры стартапам, которые мы создаем. На сегодняшний день это порядка трех десятков компаний, примерно половина из которых в той или иной мере пользуется нашими производственными мощностями, в том числе и сборочным участком.

Также хочу отметить, что наша технологическая линия аккредитована в «Сколково», и все его резиденты могут пользоваться нашей инфраструктурой наравне с инфраструктурой данного технопарка.

С какой целью было принято решение об обновлении участка?

Направление корпусирования ИС в настоящее время стремительно развивается, как, впрочем, и вся микроэлектроника. Меняются технологические тренды, меняются приемы, подходы. В данной области необходимо постоянно следить за текущим положением вещей и заглядывать вперед.

Обновление сборочного производства решает несколько задач. Во-первых, это расширение функционала производственно-технологической базы, с тем чтобы обеспечить возможность сборки современных изделий. На новом участке мы можем собирать ИС не только на основе проволочной разварки, но и с применением метода flip-chip, а также технологий гетерогенной 3D-интеграции и изготовления многокристальных систем в корпусе. Хотя проволочная разварка всё еще остается основным методом монтажа кристаллов, она постепенно уступает место новым технологиям, и на новом участке ряд таких технологий реализован.

Еще один важный шаг, который был сделан с приобретением и вводом в строй нового оборудования, – возможность работы с пластинами диаметром 300 мм. Чипы, корпусирование которых заказывают отечественные дизайн-центры, – это современные изделия с проектными нормами 65 нм и ниже, изготавливаемые, как правило, за рубежом на пластинах диаметром 300 мм. Применение в России 300-мм пластин – это тренд, который задан зарубежными производителями. По нашим оценкам использование пластин данного диаметра будет в ближайшее время превалировать, а сборка отечественных

процессоров и другой аналогичной микроэлектронной продукции будет возвращена в Россию.

Кроме того, на новом участке будет реализована сборка продукции, создаваемой в рамках развития новых технологических направлений. Одно из них – это интегральная фотоника. Здесь еще предстоит пройти большой путь, но этот путь очень интересный и перспективный.

Также я хотел бы отметить направление нитрида галлия на кремнии. Это тренд №1 в мире в области силовой и СВЧ ЭКБ. Данная технология также подразумевает специализированную сборку на основе flip-chip, и она может быть реализована на обновленном участке.



Анатолий Ковалёв

Выросла ли производительность у сборочного участка после его модернизации?

На самом деле определить производительность такого универсального производства достаточно сложно, потому что разные технологии обладают различной длительностью цикла, да и собрать восьмивыводный корпус – совсем не то же самое, что корпус более чем с тысячей выводов. Но в целом можно сказать, что производительность участка значительно выросла – в среднем более чем в два раза.

Данный проект финансировался из собственных средств или это государственные инвестиции?

Мы негосударственная компания, а модернизация участка – это инициативный проект, поэтому государственных денег здесь нет. Для финансирования проекта мы использовали заемные средства, а также средства, субсидированные нашими учредителями.

Сейчас мы обратились в правительство Москвы. У них есть программа частичной компенсации затрат на уже закупленное оборудование. Надеемся, что у нас получится таким образом вернуть часть инвестиций, но это очень небольшая доля – порядка 10–15%.

В то же время, согласно нашему плану, инвестиции в модернизацию участка должны с большой вероятностью окупиться, хотя это произойдет не мгновенно.

Предполагаете ли вы участие с обновленными мощностями в некоем сквозном проекте?

Конечно да. Сам по себе участок не привязан к какому-либо сквозному проекту. Собственно, в рамках сквозных

проектов не предусматривается капитальных затрат и финансирования содержания производственных мощностей. Но технология, которую мы ставим на этом участке, будет задействована в сквозном проекте, якорным заказчиком которого выступает ПАО «Ростелеком», а производителем аппаратуры – компания «Т8». Речь здесь идет об интегральной фотонике, о которой я упоминал ранее. Мы надеемся, что в рамках сквозного проекта будет субсидирование со стороны государства в отношении постановки технологий. Это помогло бы нам сократить сроки вывода соответствующих изделий на рынок.

Замечу, что данный сквозной проект стал первым среди утвержденных Общественным экспертным советом по использованию электроники в отраслях экономики при президиуме Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности.

Сейчас всё готово к его старту. Все ТЗ и объемы согласованы с конечным потребителем. Надо сказать, что впервые «Ростелеком» напрямую согласовал и утвердил ТЗ на ЭКБ. В прошлом было сложно даже представить, чтобы конечный потребитель такого уровня углублялся в вопросы компонентной базы.

А это хорошо, что конечный потребитель оказывается вовлечен в эти вопросы?

В нынешней ситуации это хорошо, потому что не секрет, что все инструменты, которые ранее использовались для поддержки применения отечественной ЭКБ, работали очень неэффективно. Порой в аппаратуре российской разработки, в том числе телекоммуникационной, не было ни одного отечественного компонента.

А сквозные проекты позволяют собрать на одной площадке и конечного потребителя, и разработчика аппаратуры, и производителя ЭКБ. Благодаря этому подходу весь процесс становится прозрачным. В результате конечные потребители смогут убедиться в том, что отечественная ЭКБ вполне применима, в том числе и в гражданской продукции.

Возвращаясь к обновленному сборочному производству, как бы вы охарактеризовали его специализацию в сравнении с другими предприятиями, занимающимися корпусированием ИС в нашей стране?

Поскольку, как я говорил ранее, корпусирование ИС в настоящее время активно развивается, не удивительно, что на нашем рынке существует несколько предприятий, освоивших данное направление. Все они хорошо нам известны, со многими из них мы сотрудничаем, с некоторыми – конкурируем.

Но в целом, действительно, у каждой из этих компаний есть свой профиль, своя специализация. Кто-то из них сосредоточен на корпусировании сравнительно простых ИС в пластик, кто-то – на сборке исключительно изделий собственной разработки.

Свою нишу мы видим прежде всего в сложных изделиях и в основном ориентируемся на металлокерамические корпуса, хотя на обновленном участке мы можем выполнять и корпусирование в пластик, и сборку по технологии flip-chip с последующей заливкой – этот метод, например, применяется при изготовлении микропроцессоров.

Нашим отличием от других компаний является то, что мы обладаем полным циклом производства микроэлектронных изделий, включая кристальное производство с большим набором технологий, в том числе МЭМС.

Кстати, в конце года мы планируем завершить модернизацию кристального производства, которая позволит начать выпуск кристаллов силовых и СВЧ НЕМТ-транзисторов на нитриде галлия на кремнии. Многие сейчас говорят об изготовлении электроники на GaN, но только мы занимаемся ее производством в России.

В то время как большинство отечественных компаний, обладающих технологиями корпусирования, преимущественно занимаются сборкой собственных изделий, мы работаем как контрактное производство, по так называемой модели OSAT (outsourced semiconductor assembly and test – сборка и тестирование полупроводниковых изделий на аутсорсинге), то есть выполняем корпусирование изделий заказчиков с открытого рынка. Это также одно из наших отличий.

Особенностью ЗНТЦ является то, что мы работаем в тесной кооперации с ведущим отечественным микроэлектронным вузом – НИУ МИЭТ. Это не только позволяет студентам университета проходить практику на современном предприятии, а нам получать новые высококвалифицированные кадры, но и дает нам возможность пользоваться уникальным исследовательским оборудованием МИЭТ, включающим установки растровой электронной и атомно-силовой микроскопии, спектроскопии, элементного анализа и др., а также специализированным программным обеспечением для моделирования физико-технологических процессов сборки и монтажа элементов ЭКБ. При подготовке к корпусированию новой партии микросхем осуществляется сборка тестовых образцов, на которых проводятся исследования и отработка для определения оптимальных режимов установки, разварки и герметизации кристаллов.

Одна из главных особенностей контрактной сборки в ЗНТЦ заключается в том, что наша плотная кооперация с МИЭТ позволяет проводить востребованные исследования отдельных технологических процессов в области корпусирования, изготовления 2D, 2,5D и 3D многокристалльных



Виталий Сидоренко

модулей, систем в корпусе и внедрять их на производстве.

В то же время мы выступаем площадкой для технической реализации результатов научных исследований и разработок университета с последующим трансфером технологий на крупные серийные заводы. Таким образом, ЗНТЦ играет роль своего рода мостика между академической наукой и бизнесом.

Обновленный сборочный участок нам показал начальник производства АО «ЗНТЦ» Виталий Николаевич Сидоренко.

Виталий Николаевич, с чего начинается маршрут корпусирования ИС?

Прежде чем будут выполняться какие-либо действия по корпусированию микросхем или сборке систем в корпусе, необходимо провести верификацию основных параметров кристаллов на уровне пластины для их разбраковки и сортировки на годные и негодные. Очевидно, что выявление брака должно происходить как можно раньше, чтобы не тратить ресурсы на корпусирование заведомо неисправных микросхем.

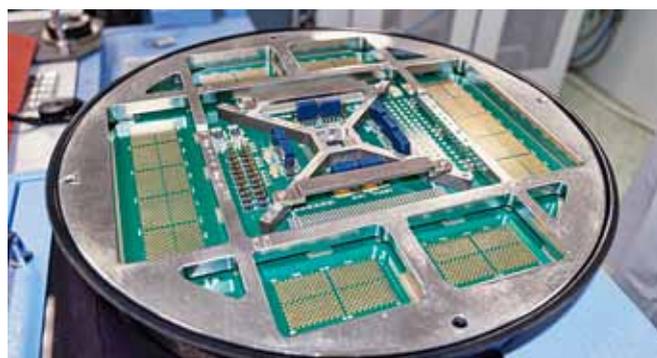
Поэтому первые операции, которые выполняют в рамках маршрута сборки ИС, – это функциональное и параметрическое тестирование. Для этого применяются измерительные программно-аппаратные комплексы, способные работать с пластинами диаметром от 100 до 300 мм и выполнять тестирование ИС различного функционального назначения, включая микропроцессоры, память, системы на кристалле, МЭМС, аналоговые устройства, такие как, например, маломощные усилители, синтезаторы частот, в том числе СВЧ-диапазона.

Для тестирования нужна оснастка?

Да, пластины устанавливаются в оснастку типа «ложе из гвоздей», причем это выполняется на специальных установках, осуществляющих точное совмещение по реперным знакам. Такая машина включена в состав каждого измерительного комплекса. Контактные



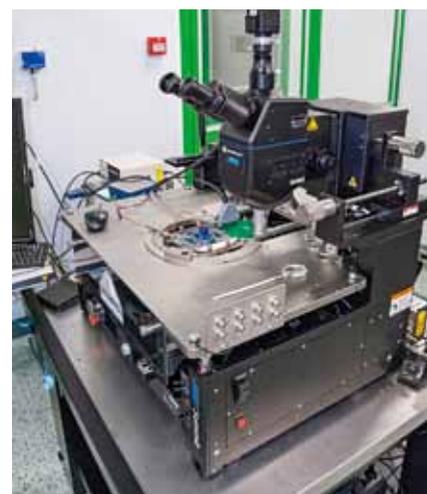
Измерительный стенд для контроля параметров микроэлектронных компонентов



Оснастка для тестирования



Комплекс функционального и параметрического тестирования кристаллов микросхем на уровне пластины и микросхем в корпусе



Установка ручного совмещения тестируемого устройства с оснасткой

площадки на кристалле имеют размеры в диапазоне от 100×100 до 30×30 мкм, поэтому точность совмещения игл оснастки с площадками кристаллов в данных установках составляет единицы микрометров.

Также в составе комплекса присутствует так называемая проходная камера, внутри которой создаются условия с повышенной или пониженной температурой от –60 до 150 °С, что позволяет выполнять тестирование при заданных климатических воздействиях. Управление температурой и тестирование осуществляются в автоматическом режиме.

Всего таких комплексов на нашем участке два: один автоматический и один полуавтоматический, который отличается размерами обрабатываемых пластин, а также тем, что совмещение пластины с оснасткой выполняется вручную с помощью микроскопа. Тестирование же производится автоматически. На полуавтомате мы в основном тестируем кристаллы силовых компонентов.

По результатам тестирования выполняется маркировка бракованных кристаллов на пластине и формирование карты годности, после чего пластина отправляется на утонение или сразу на разделение на отдельные кристаллы.

Какую толщину имеют пластины после утонения?

Это зависит от требований технического задания и технологии корпусирования, сборки и монтажа элементов ЭКБ. На данном оборудовании мы можем получить толщину 20 мкм. Пластины с такой толщиной могут

применяться при 3D-сборке нескольких пластин одна над другой.

Как осуществляется манипулирование столь тонкими пластинами?

Действительно, с такими пластинами нужно обращаться очень аккуратно. Чтобы упростить манипулирование и снизить вероятность повреждения пластин, перед следующей операцией – разделением на кристаллы – они закрепляются на ленте-носителе, представляющей собой липкую эластичную пленку. Для этого предназначена отдельная установка.

Каким способом на вашем производстве выполняется разделение пластин?

У нас имеется возможность разделять пластину на отдельные кристаллы тремя методами: дисковым, лазерным и плазмохимическим. Обычно применяются первые два способа. Плазмохимический метод – это в определенном смысле экзотика. Он используется только в особо прецизионных задачах, когда нужно выполнить разделение очень точно (ширина реза может быть менее 10 мкм) и с высоким качеством поверхностей, а также при использовании нестандартных форм кристаллов. По своей сути это Bosch-процесс – глубокое травление кремния с высоким аспектным соотношением, которое применяется при формировании подвижных структур чувствительных элементов МЭМС. В результате этого процесса образуются ровные вертикальные стенки, лишенные сколов



Установка утонения пластин



Оборудование для крепления пластин на ленту-носитель



Установка разделения пластин дисковой резкой

и других недостатков, характерных для дисковой или лазерной резки.

После разделения пластин кристаллы можно устанавливать в корпуса?

Да, только перед этим необходимо провести многоэтапную очистку, чтобы избавиться от различных загрязнений – микрочастиц материалов подложки и режущего диска, оставшихся после резки. В особых случаях применяется полимерная защита пластин перед резкой. Сборка и монтаж кристаллов выполняются в отдельном помещении. Здесь происходит идентификация кристалла по карте годности или по капельной маркировке, снятие его с ленты-носителя и размещение в пластиковой таре с ячейками, из которой его забирает сборочное оборудование, устанавливающее и закрепляющее кристалл в корпусе или на подложке.

Как именно крепится кристалл?

В случае реализации микропроволочного монтажа существует два основных способа закрепления кристалла в основании корпуса микросхемы: с помощью адгезива (клея или компаунда) и припоя. В первом случае необходимо правильно подобрать клей в зависимости от типа полупроводникового изделия и технических требований по таким характеристикам, как тепло- и электропроводность, адгезия, температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), механическая прочность, температурный диапазон, вязкость и т. п., а также обеспечить необходимую толщину клеевого соединения.

Существует альтернативный вариант фиксации кристаллов в основании корпуса – с использованием пленок типа DAF – двухсторонних клеящих пленок. Этот способ позволяет не задумываться о количестве наносимого клея и, соответственно, толщине соединения, потому что она полностью определяется толщиной пленки. DAF обеспечивает большую надежность и повторяемость приклеивания за счет постоянной толщины и гарантированной однородности клеевого слоя, отсутствия пустот или натекаций, которые трудно полностью исключить при нанесении клея дозатором. При этом наибольшую эффективность DAF-пленки показывают при этажерочной сборке нескольких кристаллов.

У нас реализованы оба способа приклейки кристалла – на клей и на DAF-пленку.

Закрепление кристаллов в корпусе с помощью припоя, паяльных паст осуществляется на универсальной, автоматической установке монтажа кристаллов. На ней за счет наличия ультразвуковой монтажной головки можно присоединять кристаллы эвтектическим методом.

Основное же назначение данной установки – это flip-chip-монтаж кристаллов.



Автоматическая установка монтажа кристаллов

На каком оборудовании выполняется проволочная разварка?

У нас на этом участке имеется четыре автомата для создания проволочных соединений, каждый из которых решает свою задачу. С золотой и алюминиевой проволокой работают разные установки. Также разные установки предназначены для выполнения соединений толстой и тонкой проволокой, а также с помощью ленточных перемычек. Минимальный диаметр проволоки, с которым мы можем работать, составляет 12,5 мкм. Возможность работы с проволокой разной толщины позволяет нам осуществлять корпусирование как цифровых ИС, например микроконтроллеров, так и кристаллов силовых компонентов, где нужна большая толщина проволоки или ленты, чтобы обеспечить протекание тока высокой плотности.

Помимо этих четырех машин, здесь находится полуавтомат проволочной разварки, который используется, когда точность выполнения операции не столь критична.

Представленные установки позволяют производить термокомпрессионный и ультразвуковой монтаж микропроволочных выводов с разными типами соединений «клин-клин», «шарик-клин», а также формирование шариковых выводов и stud-bumps.

В этой же части сборочного производства расположена установка, предназначенная для испытания полученных сварных соединений и монтажа кристаллов на прочность.

Каким образом осуществляется 3D-сборка? В чем особенность оборудования для этой технологии?

На нашем производстве базовой технологией для 3D-сборки изделий ЭКБ является технология flip-chip-монтажа в различных вариантах ее реализации. Данный



Автомат разварки выводов



Установка разварки толстой проволокой



Автоматическая установка разварки тонкой проволокой

процесс отличается повышенной точностью выполнения операций, поэтому для этих целей у нас организован отдельный участок.

Расположенный здесь установщик кристаллов обеспечивает постмонтажную точность $\pm 0,5$ мкм и точность выравнивания $\pm 1^\circ$. С его помощью могут монтироваться различные кристаллы по заданной программе как в корпус или на подложку, так и друг на друга. При выполнении термокомпрессионной пайки для нагрева и охлаждения сверху и снизу могут быть заданы разные температурные профили. Температура нагрева может достигать 450°C , а прижимное усилие – 4000 Н с дискретностью установки $0,01$ Н. Установка позволяет монтировать друг на друга как отдельные кристаллы, так и пластины диаметром до 300 мм.

Чтобы проиллюстрировать возможности данного участка, могу привести такой пример: здесь мы собирали фоточувствительные матрицы с выводами в виде микростолбиков из индия диаметром около 10 мкм, при этом каждая матрица содержала порядка 30 тыс. таких выводов на 1 см².

Сколько кристаллов может быть установлено друг на друга?

Это зависит от их толщины. Если пластины были утонены до 20 мкм, то количество кристаллов в этажерочной

сборке может быть порядка двух десятков. Но на практике такое количество кристаллов не требуется.

Также на этом участке реализована технология формирования на кристалле припойных шариковых выводов для последующего монтажа методом flip-chip. Для того чтобы создать такой вывод на алюминиевой площадке, сначала нужно нанести на него специализированное покрытие,



Установка испытания проволоочной разварки на прочность и крепления кристалла на сдвиг

называемое UBM – under bump metallization. Классическая структура UBM – цинк-никель-золото, хотя возможны и другие комбинации. На нашем оборудовании мы можем формировать шариковые выводы размером от 40 мкм.

Следует отметить, что обычно UBM формируется одновременно на всей пластине, но мы сейчас проводим исследования, по результатам которых, как мы надеемся, у нас появится возможность формирования UBM на отдельных кристаллах уже после разделения. Такая потребность иногда возникает в опытном и мелкосерийном производстве, когда нужно установить методом flip-chip сравнительно небольшую партию кристаллов. Однако за формирование финишного покрытия UBM на отдельных кристаллах никто не берется, так что такая возможность у нашего производства может стать практически уникальной.

Еще одна важная операция при прецизионной сборке, призванная повысить механическую прочность конструкции, снизить влияние различия ТКЛР кристалла и подложки, а также обеспечить дополнительную защиту от пыли и улучшить теплоотвод, – подзаливка материалом типа underfill. Пространство под кристаллом заливается специальным высокотекучим компаундом. Эта операция у нас также реализована на данном участке.

Имеющийся здесь комплекс оборудования позволяет работать с широким спектром типов подложек, включая металлокерамические корпуса, стеклотекстолит,

полиимид, нитрид алюминия и другие СВЧ-материалы. Также мы развиваем технологию монтажа кристаллов на кремниевые интерпозеры, применяемую при сборке изделий, как правило, с высокоинтегрированными ИС, насчитывающих несколько тысяч выводов. Эта технология требует особой точности при совмещении и выполнении соединений, поскольку здесь речь идет о технологических нормах (ширине проводников и величине зазора между ними), меньших, чем те, которые сейчас практически достижимы на стеклотекстолите.

Вы работаете с интерпозерами с переходными отверстиями в кремнии (TSV)?

Совместно с сотрудниками Института нано- и микросистемной техники МИЭТ проводятся исследования и отработка отдельных технологических процессов в области корпусирования, изготовления многокристальных модулей, микросборок и модулей уровня система в корпусе, как в 2,5D-, так и 3D-исполнениях, включая работы по созданию интерпозеров. В качестве основания используется кремний или полиимид. Технология TSV обеспечивает наибольшую плотность интеграции среди всех высокоплотных технологий. Но данную технологию можно применять только для кристаллов, имеющих заранее заложенную в топологию и выполненную на кристалльном производстве сквозную металлизацию выводов, то есть заранее изготовленных для



Прецизионный автомат монтажа кристаллов на участке 3D-сборки



Автоматическая установка формирования объемных (припойных шариковых) выводов

сборки этим способом. Учитывая это, мы развиваем направление по созданию микроэлектронной продукции с помощью технологии TSV на уровне интерпозеров. Это дает возможность снижения массогабаритных показателей устройства. Недостаток обычных планарных систем, проявляющий себя с увеличением интеграции, – высокое энергопотребление и тепловыделение на межсоединениях, из-за чего ухудшаются характеристики всей системы. Эту проблему можно эффективно преодолевать, используя технологию интерпозеров. Кроме того, при этом улучшаются электрические характеристики систем за счет уменьшения длин и количества связей: повышается быстродействие, увеличивается пропускная способность, расширяется функциональность устройства и повышается гетерогенная интеграция.

Итак, кристалл или даже несколько кристаллов закреплены в корпусе, и электрические межсоединения выполнены. Остается только закрыть корпус, и микросхема готова?

Почти. Действительно, последней сборочной операцией является герметизация. Правда перед этим может осуществляться еще плазменная обработка. Для металлокерамических корпусов у нас есть установка шовно-роликовой герметизации в инертной среде. Скоро появится еще одна машина для этой операции – более прецизионная. Она уже на подходе.

А совсем недавно, в рамках модернизации участка, мы приобрели оборудование для герметизации путем заливки пластиком, что позволяет нам выполнять

сборку интегральных схем общего применения, менее защищенных, чем в металлокерамических корпусах, но гораздо более дешевых и потому массово применяемых в тех устройствах, которые не подвергаются жестким воздействиям окружающей среды. Обладание такой технологией очень важно для создания продукции для гражданского рынка.

Что касается готовности микросхемы, после герметизации корпуса необходимо выполнить еще ряд операций. Это тестирование и испытания готовых изделий.

Прежде всего, необходимо проверить качество герметизации. Это испытание проводится масс-спектрометрическим методом с помощью гелиевого течеискателя на той же площадке, где выполняется герметизация корпуса, и его можно отнести к испытаниям в рамках технологического процесса аналогично испытанию проволочного соединения на отрыв и т. п. Данный подход пронизывает весь маршрут сборки ИС: выполнил операцию – сразу проверить качество ее выполнения.

По завершении сборки выполняются функциональное и параметрическое тестирования – на тех же установках, что и тестирование кристаллов на уровне пластины в начале маршрута. Таким образом, изделия возвращаются на испытательное оборудование, с которого мы начинали экскурсию.

Наконец, изделия поступают в испытательный центр, где подвергаются испытаниям на климатические, механические и другие виды воздействий.

Стоит отметить, что наличие испытательного центра – одно из ключевых преимуществ нашего пред-

приятия. При этом его возможности дополняются мощной исследовательской базой МИЭТ, с которым мы работаем в тесном взаимодействии. Это позволяет решать такие нетривиальные задачи, как, например, определение состава металлизации кристалла, когда кристалл был изготовлен за рубежом и этот состав производитель не указал, а знать его необходимо, допустим, для формирования шариковых выводов.

Это взаимодействие в сочетании с нашей производственной инфраструктурой, охватывающей весь цикл микроэлектронного производства от планарных технологий до 3D-сборки, делает наше предприятие во многом уникальным на российском рынке.



Оборудование для шовно-роликовой герметизации

Спасибо за интересный рассказ.



КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

СБИС и МЭМС

СПЕЦИАЛИЗАЦИИ

- МЭМС-магниторезистивные датчики и преобразователи
- МЭМС-датчики угловой скорости (гироскопы, акселерометры)
- Элементы интегральной фотоники
- Силовая электроника (GaN-HEMT, IGBT)
- Pin-диоды, NMOS

НОВЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

НЕСТАНДАРТНЫЕ
РЕШЕНИЯ

ОТ ИДЕИ
ДО РЕАЛИЗАЦИИ

