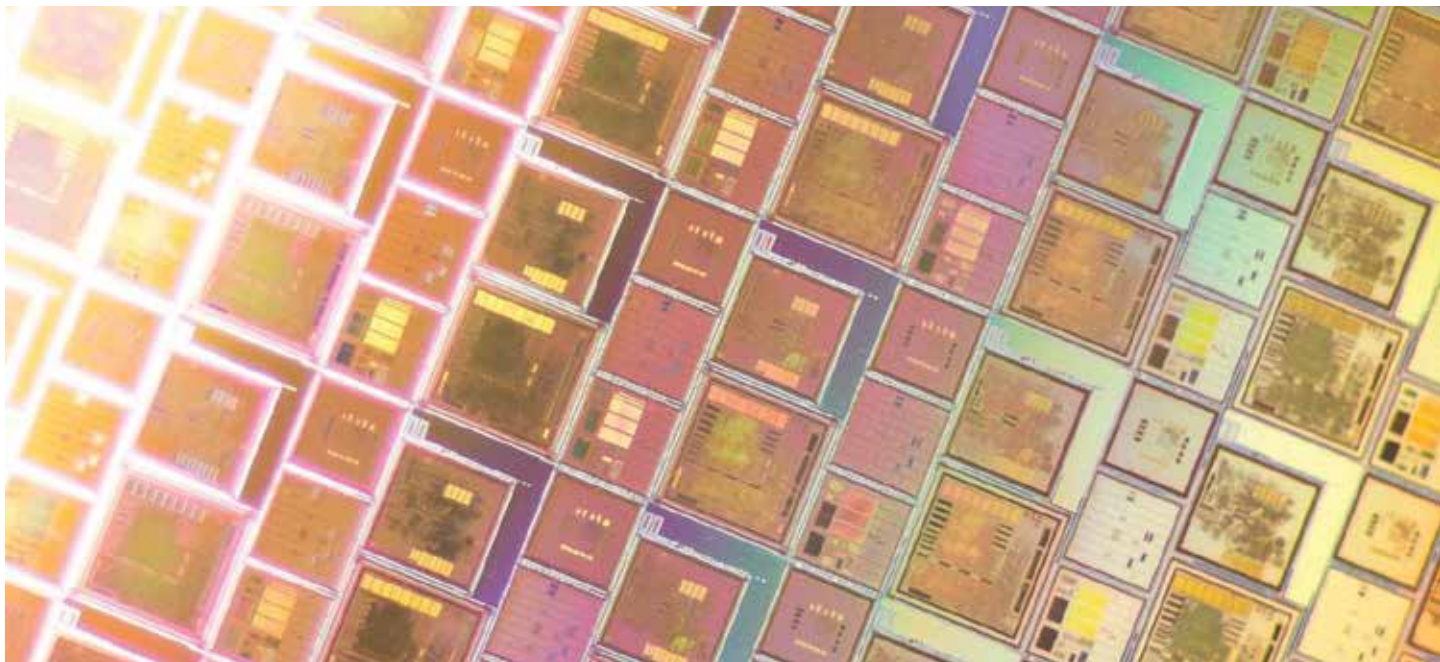


# Корпусирование многовыводных микромодулей в пластиковые корпуса с применением DAF

Текст: Владимир Мейлицев  
Владимир Тюльпанов



Установка полупроводниковых кристаллов в корпуса микросхем, или корпусирование, — завершающая стадия микроэлектронного производства. Это многоэтапный сложный процесс, в котором задействовано разнообразное оборудование, часто весьма сложное и точное, и целый ряд материалов, многие из которых специально разработаны для различных операций технологического маршрута корпусирования. Как и в случае любого другого производства, рынок оборудования для корпусирования предлагает потребителю машины и целые технологические линейки разных классов, прежде всего по производительности — от лабораторных установок до машин для массового выпуска. Правильный выбор оборудования, а также материалов, подходящих для применения с ним и соответствующих требованиям конкретного производственного процесса, во многом определяет как технологический, так и коммерческий успех предприятия, занимающегося корпусированием микросхем.



В апреле текущего года в головном офисе ГК Остек прошел семинар «Технологические решения для корпусирования многовыводных микромодулей» — совместное мероприятие Остека и центра разработки и производства микроэлектронной продукции GS Nanotech.

GS Nanotech — это высокотехнологичный центр в составе единственного в России частного инновационного кластера «Технополис GS» (инвестиционный проект холдинга GS Group в г. Гусеве Калининградской обл.). Предприятие сертифицировано по стандарту ISO 9001:2015. Сегодня GS Nanotech — единственное в России предприятие, которое разрабатывает и массово производит многокристальные микропроцессоры по технологии SiP (System-in-Package, «система-в-корпусе») для потребительской электроники и рынков гражданского применения, в том числе на контрактной основе. Годовой объем производства — до 20 млн микросхем в пластиковых корпусах BGA, LGA, QFN. Технологическое оснащение предприятия позволяет проводить сборку микросхем по технологии Wire Bond (микросварка золотой или медной проволокой); в среднесрочной перспективе — освоение технологий flip-chip и WLP, а также сборка металлокерамических корпусов.

История компании начинается в 2011 году, когда был дан старт строительству предприятия. Первым практическим результатом стало начало выпуска

в 2012 г. модулей оперативной памяти по технологии WBGA. За прошедшее после этого время область компетенций предприятия значительно увеличилась, был проведен ряд модернизаций производства, направленных на расширение продуктовой линейки за счет все более сложных типов изделий. Освоен выпуск микромодулей по технологии SiP, объединяющих в себе несколько кристаллов разного функционального назначения, запущен участок подготовки кремниевых пластин, введено в эксплуатацию оборудование для разварки медной проволокой. В планах — выход на массовый контрактный выпуск многокристальных модулей, а также развитие производства микромодулей по технологии SiP, переход на корпусирование по технологии flip-chip.

Сегодня поставщиками компании являются признанные мировые лидеры в области производства материалов и комплектующих для микроэлектроники. Российских предприятий в числе поставщиков пока очень мало, но работа в направлении импортозамещения и импортонезависимости постоянно ведется. На производстве уже проводились испытания отечественных образцов молд-компаунда, планируется проведение испытаний золотой и медной проволоки от российского производителя.

Проведенный в апреле семинар стал своего рода подведением итогов большой совместной работы GS Nanotech и ГК Остек. Последняя, в частности, поставила значительную часть оборудования для линии по корпусирова-

нию микромодулей, а также приняла активное участие в ее наладке и подготовке персонала к работе на технологических установках, входящих в линию. В ходе работы был получен большой практический опыт, который и стал предметом рассмотрения на семинаре.

На примере линии по корпусированию микромодулей эксперты GS Nanotech и ГК Остек рассказали о современных технико-технологических решениях для сборки и корпусирования многовыводных микромодулей, особенностях работы со сверхтонкими кристаллами, рассмотрели отдельные, наиболее интересные детали освоенного технологического процесса. Особенностью семинара стало то, что впервые за многолетнюю историю Остека о тонкостях технологии, о работе оборудования по большей части рассказывал не поставщик оборудования, а его заказчик.

Данная статья представляет собой краткое изложение основных вопросов, рассмотренных на прошедшем семинаре; технология корпусирования микросхем изложена в том варианте, в котором она реализована на производстве GS Nanotech.

## Обработка пластин — этап Pre-Assembly

Входным элементом для производственной линии по корпусированию микромодулей являются полупроводниковые пластины диаметром 200 и 300 мм. Процесс корпусирования состоит из нескольких этапов, каждый из которых включает ряд технологических операций. Обычная последовательность этапов выглядит следующим образом:

- резка пластины на отдельные кристаллы;
- монтаж кристаллов — установка их на подложки корпусов микросхем, микросборок;
- разварка выводов — соединение контактных площадок кристалла с контактными площадками подложки или корпуса;
- герметизация посредством формирования пластмассового корпуса либо приваркой крышки металлокерамического или металлоглазненного корпуса.

После каждого из этапов полученный полуфабрикат (а на выходе процесса — микросхема, микромодуль, микросборка) проходит процедуры контроля, соответствующие задачам этого этапа.

Для резки полупроводниковой пластины на кристаллы в настоящее время применяется целый ряд различных способов: резка алмазным диском с внешней режущей кромкой, резка проволокой с применением абразива, ультразвуковая и плазменная резка, скрайбирование алмазным резцом, либо лазером, либо электронным лучом с последующим разламыванием. Выбор конкретного способа определяется типом используе-

мого полупроводника, требованиями к производимым микросхемам, особенностями производственного процесса на данном предприятии.

Самым распространенным способом разделения пластин на сегодняшний день является дисковая резка; именно эта технология применена в GS Nanotech. В ее рамках возможны два варианта последовательности операций. Один из них принято обозначать аббревиатурой GBD (Grinding Before Dicing, утонение перед резкой); другой называется DBG (Dicing Before Grinding — резка перед утонением).

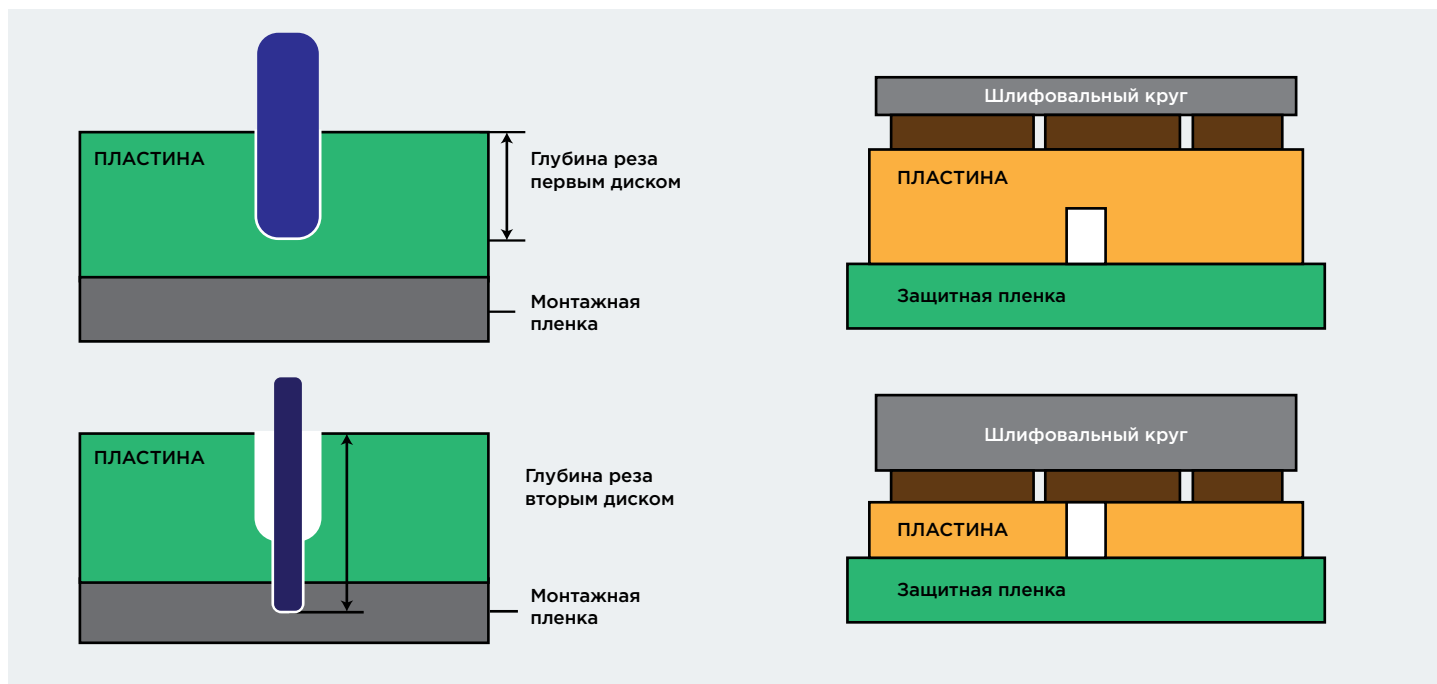
В первом варианте прежде всего производится ламинирование: на лицевую поверхность пластины наклеивается защитная пленка, которая предохраняет топологическую структуру от повреждений при последующих механических операциях и межоперационных перемещениях.

После ламинирования приступают к утонению пластины при помощи шлифовки и полировки ее обратной поверхности. Контроль достижения нужной толщины производится автоматически системой управления приводом шпинделя либо путем подбора длительности шлифовки при известной скорости снятия материала.

Утоненную пластину переносят на пленочный носитель с рамкой — на него она наклеивается своей обратной поверхностью.

Следующая операция — резка пластины на кристаллы. В установке, примененной GS Nanotech, резка производится двумя дисками, имеющими разную ширину рабочей части: сначала более широким на неполную глубину, затем более узким — до полного разделения кристаллов. Такое решение, с одной стороны, исключает образование опасных сколов на обратной поверхности кристаллов, с другой — повышает производительность процесса и предотвращает ускоренный износ тонкого диска и его поломку, возможные в том случае, если бы ему пришлось проходить через полную толщину кристалла. Для контроля качества разделения пластины при помощи встроенной в установку системы технического зрения проводят визуальную оценку величины полученных кристаллов, размеров сколов на них, а также смещения линий резки относительно нужного положения.

Последняя операция этого цикла — облучение пленки-носителя ультрафиолетом. В производстве GS Nanotech используется пленка, чувствительная к ультрафиолетовому излучению. Такая пленка позволяет при помощи облучения достичь контролируемого уменьшения адгезии, что снижает вероятность повреждения кристаллов при отклеивании от носителя на следующем этапе — при монтаже кристаллов на подложки. Это имеет важное значение при работе с кристаллами, величина отношения площади к толщине которых очень велика, что обуславливает высокий риск разлома при любом механическом воздействии.



1 Резка полупроводниковой пластины: **A** – вариант GBD; **B** – вариант DBG

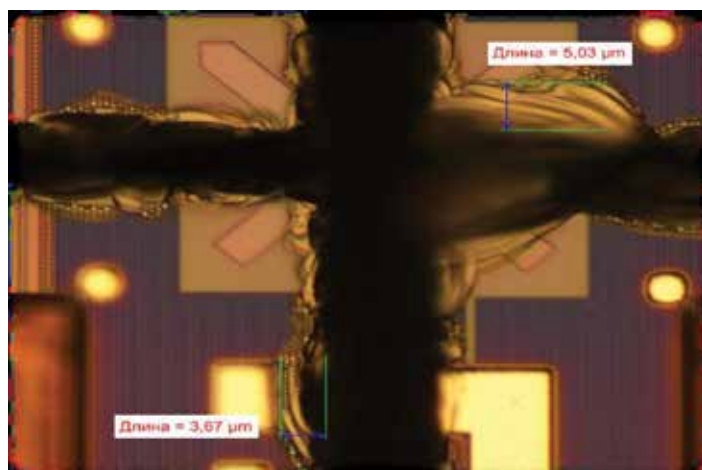
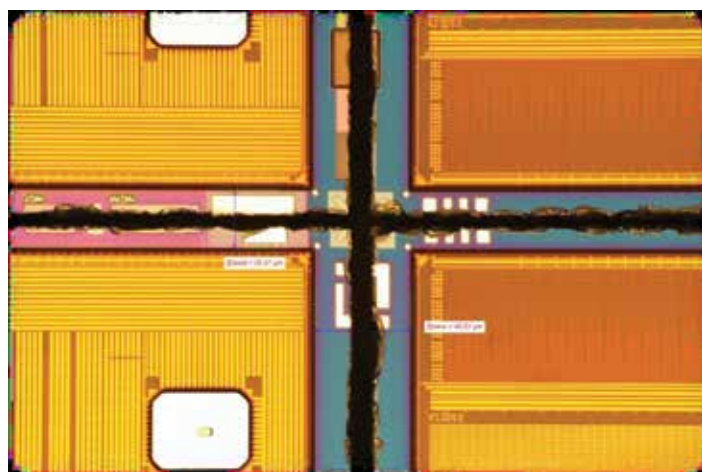
При работе по второму варианту пластина сначала разрезается с лицевой стороны на неполную толщину — глубина прореза незначительно превышает требуемую финальную толщину кристалла. Затем наклеивается защитная пленка; в данном случае она нужна не только для защиты лицевой стороны от повреждений, но и для удержания отдельных кристаллов после того, как пластина будет окончательно разделена. Далее пластину шлифуют с тыльной стороны, снимая весь оставшийся неразрезанным слой, и далее — до нужной толщины кристаллов; в результате получают разделенные кристаллы, приклеенные на защитную пленку.

Заключительные операции в цикле DBG — переклейка разделенной пластины на пленочный носитель с рамкой и УФ-облучение для снижения адгезии пленки.

Каждый из вариантов реализации этапа Pre-Assembly имеет свои преимущества и недостатки. Основным достоинством GBD является его относительная простота, обусловленная небольшим количеством параметров процесса, нуждающихся в постоянном точном контроле. Эта простота, наряду с хронологическим первенством варианта GBD по отношению к DBG, делает GBD наиболее распространенным на сегодня режимом обработки пластин.

Основной недостаток GBD — большие, до 20–25 мкм, сколы на лицевой стороне, а также наличие сколов на тыльной стороне пластины. Кроме того, в этом варианте сравнительно высока вероятность повреждения продукта в связи с тем, что ручные операции производятся с пластиной, которая уже утонена.

Последняя опасность минимальна в режиме DBG, в котором ручные операции выполняются с пластиной



2 Вид реза и сколов при разном увеличении микроскопа



исходной — большой — толщины. Кроме того, при штатной работе техники размер сколов на лицевой стороне пластины не превышает 5–10 мкм, а на тыльной стороне их не может быть в принципе.

В качестве серьезного недостатка варианта DBG обычно называют сравнительно большой риск повреждения пластины при ламинировании, поскольку оно выполняется после операции предварительной разрезки пластины. Кроме того, в защитной пленке всегда в большей или меньшей степени присутствуют напряжения растяжения. Они могут привести к непрогнозируемому смещению кристаллов после разделения пластины, что затрудняет и замедляет работу с носителем на следующем этапе корпусирования. Поэтому специалисты GS Nanotech выбрали метод GBD.

## Монтаж кристалла на подложку — операции Attach Print и Attach Cure

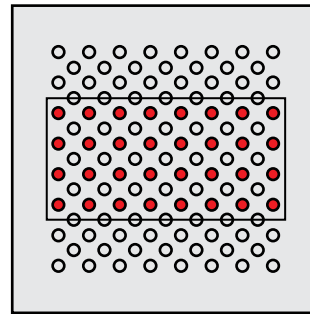
После подготовки пластин — утонения и разрезки — начинается собственно процесс сборки микромодулей. Первой его стадией является монтаж кристаллов — установка их на подложки корпусов микросхем; в англоязычной терминологии эта стадия называется Attach Print.

Надо отметить, что поставляемые полупроводниковые пластины тестируются поставщиком для выявления полностью нефункциональных кристаллов и тех, которые не показали заявленную производительность. По результатам тестирования составляются электронные карты пластин, которые поставщик передает производителю микросхем, а последний загружает в свое оборудование, используя стандарт SECS/GEM.

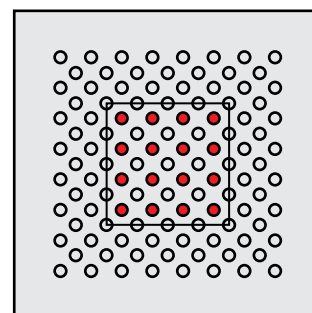
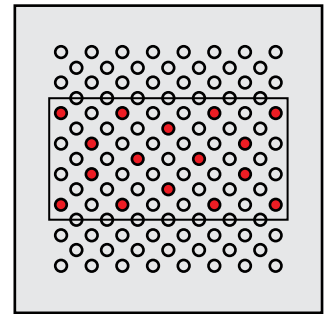
Подложки, на которые устанавливаются кристаллы, представляют собой многослойные печатные платы, объединенные в мультизаготовку. На верхнюю сторону подложки с использованием какого-либо типа адгезива устанавливаются кристаллы, на нижнюю — шариковые выводы корпусов типа BGA.

Перед установкой кристаллов на посадочные места мультизаготовки наносится адгезив (клей). Нанесение выполняется дозатором, интегрированным в монтажный автомат, в соответствии с заданным рисунком — паттерном. Затем автомат, сверяясь с картой пластины, вакуумным захватом снимает с пленочного носителя годные кристаллы, помещает их на подложки и выдерживает заданное время, прижимая с заданным усилием.

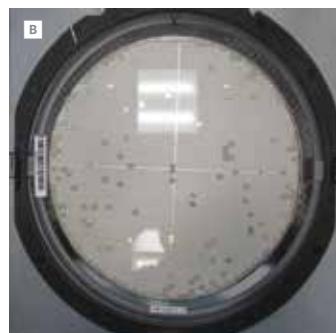
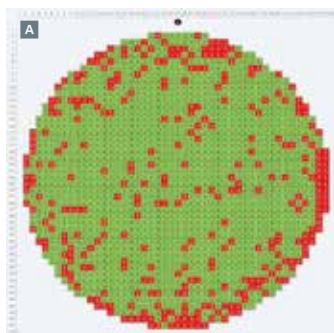
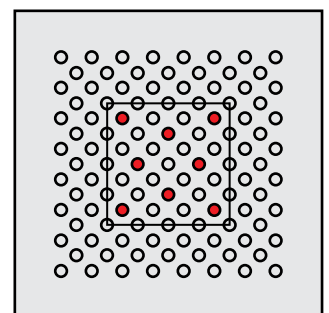
Для точного позиционирования кристаллов на подложках в составе автомата имеется оптическая система. Посадочное место она определяет, распознавая реперные точки на подложке, а кристалл идентифицирует по особому рисунку на его поверхности. Кроме того, после поднятия кристалла с пленочного носителя система контролирует его угловую ориентацию и при необходимости передает на монтажную головку команду на поворот кристалла.



Размеры компонента 16x8 мм  
Толщина компонента < 70 мкм

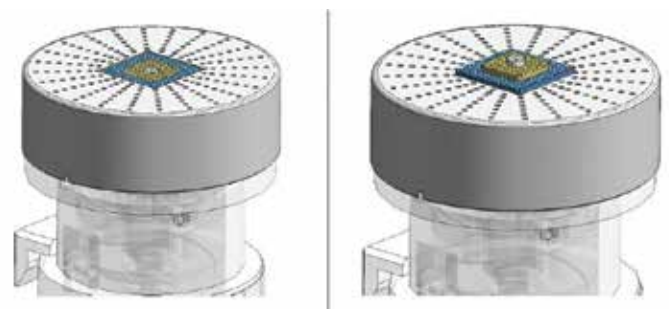


Размеры компонента 8x8 мм  
Толщина компонента < 70 мкм



3

Отсевание негодных кристаллов: **A** — карта годности пластины; **B** — пленочный носитель с оставленными негодными кристаллами



4

Принцип действия систем выталкивания: матричной (вверху); одного из вариантов многостадийной (внизу)

В современных машинах при снятии кристалла с пленочного носителя в дополнение к вакуумному захвату, поднимающему кристалл, используются разного рода выталкиватели (эжекторы), воздействующие на кристалл снизу с целью отделить, отклеить его от пленки.

Если кристалл небольшой площади и сравнительно большой толщины — это может быть просто иголка, нажимающая снизу на центральную область кристалла, в результате чего пленка отклеивается почти от всей площади основания кристалла. Для выталкивания кристаллов с большим отношением площади к толщине используются преимущественно многоигольчатые эжекторы, хотя существуют и механизмы с другим принципом действия.

Многоигольчатые выталкиватели, в свою очередь, также бывают разных типов. Это может быть матричная система, в которой иголки распределяются в нужном количестве и порядке по площади кристалла и выдвигаются одновременно. В так называемых многостадийных системах секторы выдвигаются последовательно по времени. Для линии сборки микромодулей применен автомат монтажа Datacom 2200 evo производства компании BE Semiconductor Industries NV. (BESI). Среди различных вариантов выталкивателей, которыми он комплектуется, имеется многостадийная система, которая сначала поднимает весь кристалл, создавая в пленке локальные напряжения, а затем в несколько приемов втягивает иголки группами по периметру кристалла, и пленка на этих площадях отклеивается.

При выборе автомата монтажа специалисты GS Nanotech руководствовались тем, что модель 2200 evo специально сконструирована для монтажа микроэлектронных компонентов высокой сложности, таких как MCM, CMOS, DA, flip-chip, она может работать со сверхтонкими и хрупкими кристаллами. Автомат комплектуется семью видами захватов (опционально — 14). Модель 2200 evo обладает очень высокой производительностью — до 5 000 компонентов в час — при точности  $10 \text{ мкм}@3\sigma$  (новая модификация имеет точность  $7 \text{ мкм}@3\sigma$ ).

В настоящее время все большее распространение получает более совершенная, чем посадка на клей, технология, основанная на применении DAF (Die Attach Film, двухсторонняя клеящая пленка); именно она применена в линии GS Nanotech. DAF обеспечивает большую надежность и повторяемость приклеивания за счет постоянной толщины и гарантированной однородности клеевого слоя, отсутствия пустот или натеканий, которые трудно полностью исключить при нанесении клея дозатором, а обнаружить можно лишь при контроле после полимеризации адгезива, то есть слишком поздно, чтобы что-то исправить. При использовании DAF она выступает как носитель, на который переклеивается утоненная (GBD) или разрезанная (DBG) пластина в завершающей фазе этапа Pre-Assembly.



5

Высокоточный автомат монтажа кристаллов Datacom 2200 evo

Важно отметить, что правильное использование DAF требует, чтобы в процессе полимеризации подложка была прогрета до температуры, требующейся для расплавления клеевого материала пленки — обычно от 100 до 150 °С. Эта функция — подогрев подложки — также реализована в автомате 2200 evo.

После установки кристалла (кристаллов) на подложку необходимо выполнить операцию, называемую Attach Cure — обработку в сушильной печи, в процессе которой происходит полимеризация адгезива, а также удаление влаги из продукта. Температурный профиль подбирается индивидуально для каждого изделия, и верный его выбор критически важен, поскольку ошибка ведет к ряду неблагоприятных последствий, основными из которых являются деламинация и пустоты в склеиваемом слое. Самое неприятное, что эти эффекты проявляются только на поздних стадиях процесса корпусирования или, что еще хуже, у покупателя продукции.

Опыт, полученный специалистами GS Nanotech, подтвердил преимущества DAF перед дозированием адгезива. В частности, было определено, что при многоярусном монтаже кристаллов (технология Stack Die) применение клеевого адгезива возможно, но DAF дает лучшие результаты, причем разница все более заметна с увеличением числа кристаллов в сборке, при росте их размеров и уменьшении толщины.

Для контроля качества клеевого соединения кристаллов с подложками на участке сборки многовыводных микромодулей используется ультразвуковой микроскоп высокого разрешения D9500 компании Sonoscan.

В ультразвуковом микроскопе электромагнитные колебания, вырабатываемые высокочастотным генератором, преобразуются в звуковые импульсы устройством,



6  
Ультразвуковой микроскоп Sonoscan D9500

которое называется трансдьюсер. Акустическая линза фокусирует УЗ-импульсы на предмете исследования, помещенном в соединяющую среду — воду. Тот же трансдьюсер принимает отраженный УЗ-сигнал, преобразует его в электромагнитные импульсы, обработка которых позволяет сформировать изображение обследуемого участка в виде точки с определенной плотностью серого цвета. В сканирующих системах трансдьюсер, механически перемещаясь над образцом, линия за линией создает его изображение на экране.

Физические свойства УЗ-колебаний таковы, что с ростом частоты глубина проникновения в толщу образца уменьшается, а разрешающая способность увеличивается. Для того, чтобы пользователь мог выбрать режим, требующийся в каждом конкретном исследовании, модель D9500 имеет широкозонный генератор с частотой до 500 МГц, позволяющий работать с трансдьюсерами с номинальной частотой от 5 до 300 МГц; последний, в частности, обеспечивает прибору разрешающую способность 18 мкм.

Каждое изделие контролю не подвергается. Смысл УЗ-обследования на данном этапе состоит в том, чтобы подтвердить сохранение правильной настройки технологического процесса, для чего достаточно периодического выборочного контроля.

## Разварка — этап Wire Bond

После того, как кристаллы закреплены на подложках, наступает время для создания электрических соединений между их контактными площадками и контактными площадками подложек. Этот этап принято называть разваркой (в англоязычной литературе — Wire Bonding).

Однако прежде чем перейти к разварке, необходимо подготовить к ней поверхность контактных площадок. Эта операция происходит в установке плазменной очистки.

Плазменная очистка удаляет с металла площадок оксидные пленки и загрязнители, которые препятствуют образованию качественного электрического контакта, снижают его эффективную площадь и уменьшают прочность соединения на отрыв. В зависимости от длины свободного пробега частиц плазма определяется как физическая либо химическая. Для физической плазмы основным механизмом очистки является разрушение связи загрязнителей с поверхностью за счет кинетической энергии частиц рабочего газа. В химической плазме преимущественное значение имеют химические реакции: свободные заряды вступают в химическую реакцию с загрязнителями на поверхности обрабатываемых изделий, образуя летучие побочные продукты, которые удаляются из рабочей камеры установки вместе с рабочим газом.

Разделение плазмы на физическую и химическую в известной степени условно, так как в очистке в той или иной мере участвуют оба механизма — за исключением тех случаев, когда процесс производится в среде инертного газа. Влияние физического воздействия тем выше, чем больше степень ионизации рабочего газа



7  
Установка плазменной очистки AP-1000: А — общий вид; В — рабочая камера





и длина свободного пробега его частиц; эти параметры тем выше, чем больше мощность плазменного генератора и чем ниже давление в рабочей камере. Они так же, как время обработки, легко регулируются, так что технолог имеет все возможности подобрать оптимальный режим для любого конкретного применения.

Для линии монтажа многовыводных микромодулей была поставлена система плазменной очистки AP-1000. Система предназначена для серийного производства. Большое количество съемных держателей легко настраивается таким образом, чтобы обеспечить оптимальное расположение изделий в камере. Источник питания с рабочей частотой 13,56 МГц оснащен системой автоматического согласования, что обеспечивает не имеющий аналогов уровень повторяемости техпроцесса. Гибкая архитектура полок-держателей предоставляет широкие возможности по ориентации различных контейнеров с изделиями относительно направления плазменного потока. Такие характеристики позволили использовать одну установку во всех операциях плазменной очистки, которые входят в технологический маршрут сборки микромодулей.

Для разварки кристаллов при сборке многовыводных микромодулей используется технология ультразвуковой термокомпрессионной сварки. Ее можно назвать развитием ультразвуковой сварки, в ходе которой соединение материалов происходит при одновременном воздействии на свариваемые поверхности высокочастотных механических колебаний, внешнего давления, прикладываемого перпендикулярно к свариваемым поверхностям, и теплового эффекта от ВЧ-колебаний. В технологии ультразвуковой термокомпрессионной сварки к этим факторам добавляется дополнительный подогрев подложки снизу, со стороны рабочего стола сварочной машины. Стоит отметить, что этот вид сварки хорошо подходит для монтажа многокристалльных модулей; основным его достоинством в данном применении считается возможность получения соединения разнородных материалов. Такой сваркой можно соединять золотую проволоку с алюминиевыми, золотыми и серебряными покрытиями контактных площадок; можно также применять медную или золото-палладиевую проволоку.

Перемычку между двумя контактами в микросборочном производстве изготавливают из золотой, медной, серебряной или алюминиевой проволоки. При сборке микромодулей используется золотая проволока, но на предприятии GS Nanotech отработана и разварка медной проволокой. Сварка ведется методом «шарик-клин». Он состоит в том, что в первой точке петли — так принято называть межсоединение в микросварке — к контактной площадке кристалла присоединяется шарик, образованный путем оплавления проволоки; при этом рабочий инструмент сварочной машины — капилляр — подводит шарик к месту

контакта вертикально. Ко второй точке — контактной площадке подложки — капилляр ведет петлю по пологой наклонной траектории, и проволока ложится на площадку горизонтально.

Качество микросварки зависит от множества факторов. Немаловажной является чистота материала проволоки: для задач микросборки используется проволока с содержанием золота от 99,0 до 99,999 %. Проволока должна иметь диаметр вдвое меньший, чем максимально возможный диаметр контакта шариком; следует учитывать, что эта последняя величина заметно превышает диаметр шарика, полученного при оплавлении проволоки, так как в процессе соединения с контактной площадкой на шарик действует усилие прижима, приводящее к его расплющиванию с соответствующим увеличением диаметра.

Поскольку диаметр свободного (до присоединения) шарика зависит от диаметра проволоки, а степень его расширения при приварке к площадке определяется жестко регламентированным режимом сварки, то понятно, что максимальный диаметр проволоки подбирается прежде всего по величине контактных площадок и их шагу. При слишком толстой проволоке габарит шарика после расплющивания может выйти за пределы контактной площадки, создавая опасность паразитной связи с соседним контактом. С другой стороны, при чрезмерно уменьшенном диаметре проволоки шарик и формируемое им пятно контакта будут слишком маленькими, и соединение может оказаться недостаточно прочным. Кроме того, в таком случае участок петли в месте ее отхода от шарика может получить слишком резкий перегиб, создающий опасность разрыва при последующих сборочных операциях либо в ходе эксплуатации.

Опыт освоения новой линии корпусирования, в том числе применительно к технологии Stack Die, показал, что сварочная установка должна обладать рядом специальных характеристик. В ее составе необходимо иметь оптическую камеру с регулируемым фокусным расстоянием, диапазон изменения которого должен соответствовать требуемой высоте «этажерки» кристаллов. Система управления установки должна обеспечивать программирование формы петли, в том числе ультразвуковой, и иметь пополняемую базу данных с профилями петель.

Для производства самых современных микромодулей важно, чтобы установка, помимо обычных «шарик-клин» и «клин-клин», была способна производить разварку хотя бы одним из двух методов: «шарик-клин-шарик» (Bond Ball on Stitch — BBOS) или «обратная петля» (Reverse Bonding, или Ball Stitch on Ball — BSOB). Первый из них состоит в приваривании шарика поверх уже произведенного соединения клином. Это увеличивает надежность соединения, за что такой режим часто называют «закрепляющим шариком». По второму методу





8  
Установка разварки кристаллов IConn

установка сначала приваривает шарик во второй точке петли, формируя при этом у него плоскую вершину, а затем переходит к первой точке и выполняет операции в обычной последовательности метода «шарик-клин»; в русскоязычной литературе этот процесс часто называют «разварка перемычки на заранее установленный шарик».

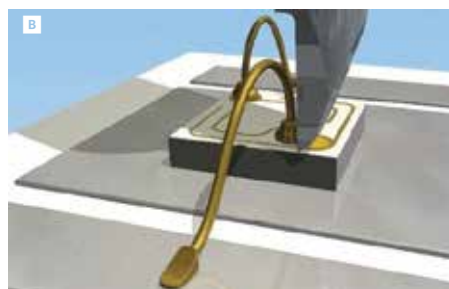
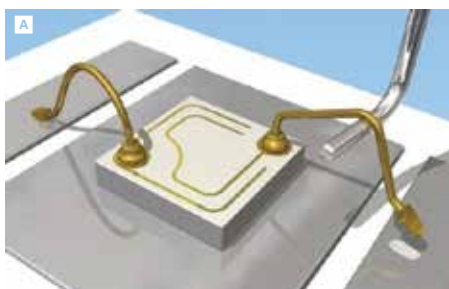
Последний метод оценивается как очень перспективный. Он существенно повышает прочность соединения второй точки сварки: тесты на отрыв показали, что обрыв проволоки происходит в месте шейки сварки, либо рвется сама проволока — но практически никогда не происходит разрушения собственно соединения проволоки с контактной площадкой. Методом BSOB можно вести связь прямо с одного кристалла на другой, без промежуточного стежка, что позволяет ставить кри-

сталлы в многокристальной сборке очень близко друг к другу; это самый лучший вариант сварки при работе с многоуровневыми сборками.

Всем требованиям, предъявляемым к автомату разварки для линии сборки многовыводных микромодулей, соответствует установка IConn компании Kulicke & Soffa. Ее основное назначение — разварка кристаллов золотой проволокой методом «шарик-клин», но производитель в качестве опции предлагает комплект для сварки медной проволокой, который был также приобретен и освоен. Система характеризуется большой рабочей областью — 56 × 80 мм, — поэтому большинство компонентов могут быть разварены за один раз без переустановки. Двухдиапазонный преобразователь частоты позволяет выбрать две частоты для каждого сварного соединения. Точки разварки петли позиционируются с точностью  $\pm 2$  мкм, встроенный датчик измерения ее высоты обеспечивает возможность получения низких петель высотой до 50 мкм, а режимы формирования петель с большим числом контролируемых параметров предоставляют максимальную управляемость и гибкость при задании необходимых форм петель. Благодаря оптической системе с диапазоном фокусировки 2,5 мм на установке IConn можно работать со стеклами кристаллов многоуровневыхборок.

Для проверки качества разварки используются как неразрушающие, так и разрушающие методы контроля. Неразрушающий — это визуальное обследование с помощью оптического микроскопа. Разрушающий контроль применяется на этапе отладки процесса разварки каждого нового изделия, а также для подтверждения его стабильности — периодически на выборочных образцах.

Разрушающий контроль — это проверка на отрыв петли от контактной площадки либо ее разрыв и проверка на сдвиг (срез). Отметим, что для получения точной информации о прочности сварного соединения на сдвиг необходим визуальный анализ места разрушения. Соединение может быть разрушено из-за отрыва шарика (или клина) от контактной площадки; отрыва контактной площадки от поверхности кристалла; разрыва шарика; разрушения зоны, к которой приварен шарик, — контактной площадки или площадки вместе



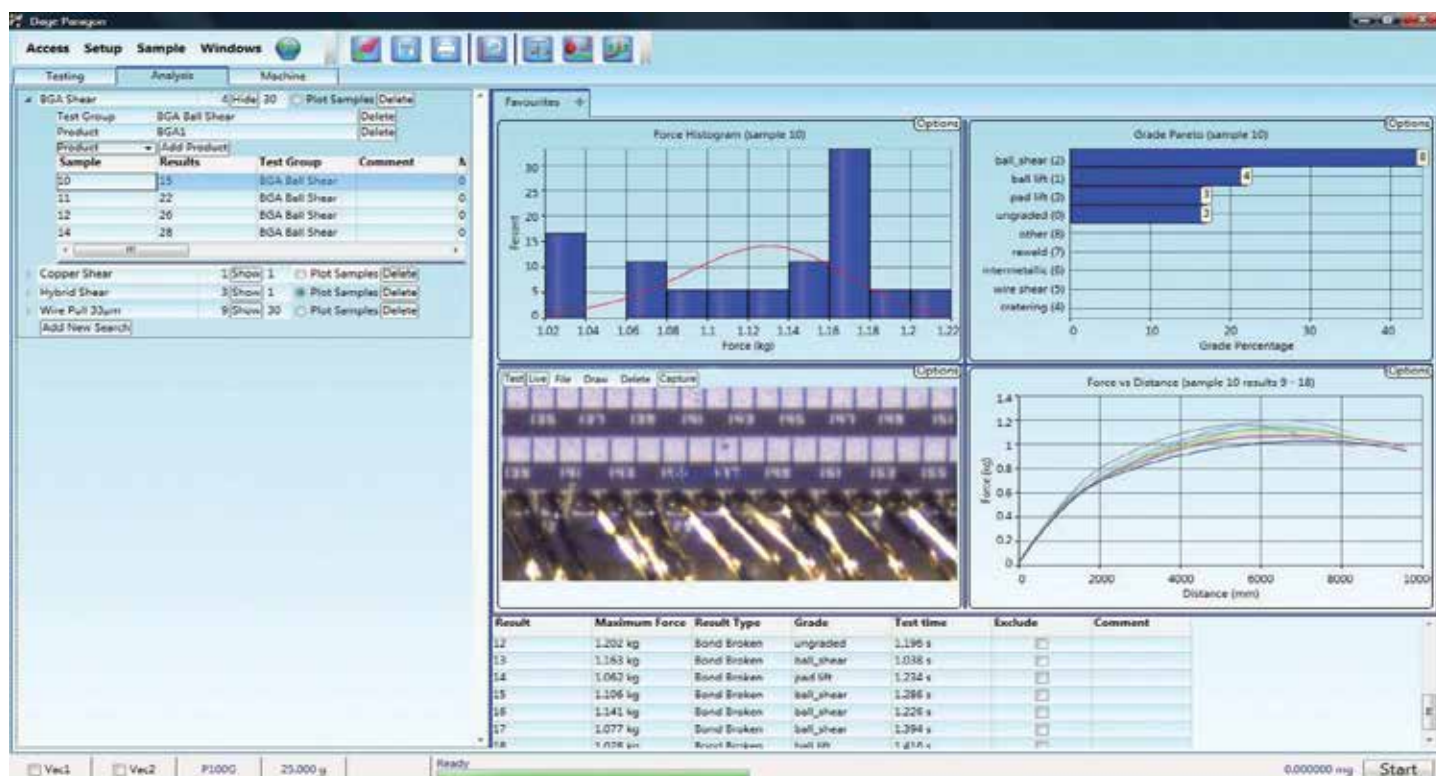
9  
Разрушающий контроль разварки: А - отрыв петли; В - сдвиг шарика; С - сдвиг клина

с частью кристалла. Понятно, что к процессу сварки имеют отношение только первый и третий эффекты, а остальные свидетельствуют как раз о хорошем качестве сварного соединения.

Для проведения разрушающего контроля применили установку 4000Plus производства компании Nordson DAGE. Для установки предлагается набор из более чем 25 картриджей, а также стандартная и специальная оснастка. Разнообразие картриджей позволяет решить любую из задач: для испытаний на отрыв предлагаются картриджи с верхним диапазоном усилия от 0,25 г до 200 кг, а на сдвиг — до 500 кг. Поддерживается режим направленного разрыва, а на сдвиг можно проверять не только сварные соединения, но и кристаллы. Помимо основной, в составе установки имеется дополнительная система захвата изображения, предна-



10 Установка тестирования микросоединений 4000Plus

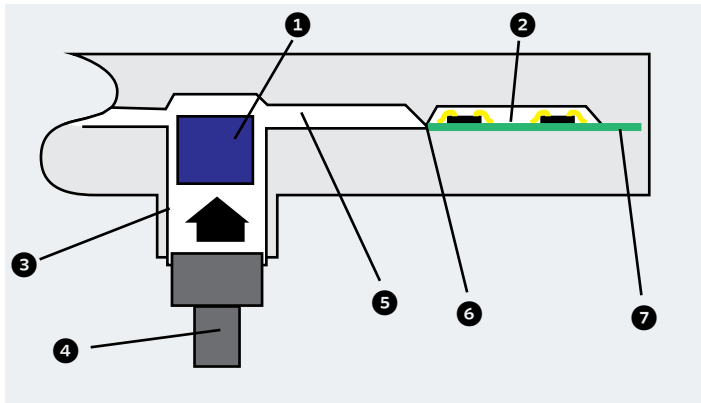


11 Экран управления испытаниями установки DAGE 4000Plus. Как можно видеть из таблицы в правой нижней части экрана, частота отрывов контактной площадки при испытаниях на сдвиг соизмерима с частотой отрыва шариков

значенная для быстрого обнаружения неисправности и получения изображений для дальнейшего анализа, которая поддерживает также и измерительную функцию. Программное обеспечение может организовать циклический режим нагружения, что позволяет проводить усталостные тесты, необходимые для оценки надежности сварных и паяных соединений.

## Герметизация в пластиковые корпуса — Molding

Перед тем, как приступить к формированию пластмассового корпуса, подложки с разваренными кристаллами подвергаются плазменной очистке. Компаунд — материал пластикового корпуса — в составе микромодуля контактирует с разными материалами: стеклоэпоксидной



12  
Схема процесса литьевого прессования: 1 — компаунд в виде таблетки; 2 — рабочая полость пресс-формы; 3 — цилиндр с системой расплавления компаунда; 4 — плунжер; 5 — литник; 6 — фильеры; 7 — каналы для выхода воздуха

композицией подложки, сплавом припоя и металлом контактных площадок, полупроводником кристалла. При наличии загрязнений на их поверхности компаунд отслаивается, в местах отслоения скапливается влага, испарение которой при полимеризации компаунда может привести к образованию трещин в корпусе.

Кроме того, плазменная очистка увеличивает энергию поверхностной связи между компаундом и вышеперечисленными материалами. Этот эффект, называемый активацией, обусловлен разрывом химических связей в верхнем слое поверхности, обработанной плазмой; он устраняет отслоение и обеспечивает герметичность корпуса.

Плазменная очистка перед герметизацией осуществляется на той же установке AP-1000, что и очистка после монтажа кристалла, отличие состоит лишь в режиме обработки и используемой оснастке.

Микромодули герметизируются термореактивным компаундом — реактопластом. В машине AMS-I компании Fico, примененной в линии монтажа микромодулей, реализован метод литьевого прессования. Расплавленный компаунд выдавливается плунжерами в полость пресс-формы, в которой находится мультizaготовка с разваренными кристаллами. Производится выдерж-

ка при определенной температуре и давлении, затем давление снимают и охлаждают изделия, после чего они готовы к следующей фазе процесса — запеканию компаунда, которое происходит в специальной печи.

Основные дефекты, возможные на этапе герметизации, — коробление и/или скручивание мультizaготовок из-за разницы в коэффициенте температурного расширения между подложкой, кристаллом и компаундом; неполная герметизация из-за малого расстояния между кристаллом и границами подложки; косметические дефекты — контрастные области — из-за разницы в плотности компаунда, которая может возникнуть при некорректном ходе процесса герметизации.

Чтобы исключить или минимизировать возможность появления этих дефектов, при разработке технологического процесса необходимо учитывать множество факторов: размеры микромодуля и кристалла, толщину адгезива под кристаллом, высоту петель, высоту слоя компаунда над кристаллом и др. Перечень ключевых параметров включает температуру, скорость и финальное давление заливки, время предварительного нагрева подложек, время полимеризации, время охлаждения в пресс-форме, время и температурный профиль запекания.

Интеллектуальная автоматическая система AMS-i предоставляет технологу все возможности для выбора режима герметизации, ее гибкая конструкция позволяет создать конфигурацию под любые производственные задачи. Установка имеет независимую универсальную станцию прессования, развивающую усилие до 60 т (90 т в специальной версии). Динамическая система регулирования с высокой точностью поддерживает заданный профиль температуры в пресс-форме, гарантируя ее однородность в пределах 2 °С. Удаленная (до 40 м) подача гранулированного пластика с контролем размера гранул решает проблему эксплуатации системы в чистом помещении.

Система отличается высокой повторяемостью процесса и самым низким временем рабочего цикла среди машин такого класса, представленных на рынке, ее максимальная производительность в стандартной версии —



13  
Основные дефекты при герметизации: А — коробление; В — неполная герметизация; С — косметический дефект — контрастные области над кристаллом

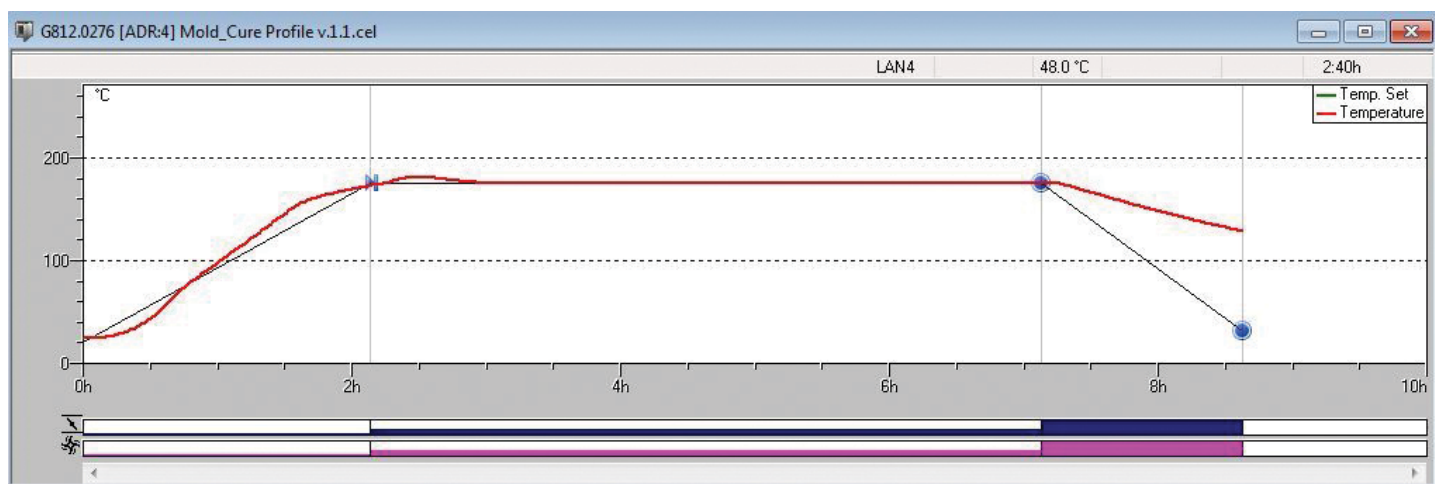


500 подложек в час, в специальной — 900. Реализован ряд функций, повышающих надежность работы системы и удобство ее использования, таких как контроль ориентации рамок (их максимальные габариты 78 × 280 мм), автоматическое обнаружение посторонних объектов под прессом, выявление и автоматический отсев бракованных изделий в момент выгрузки.

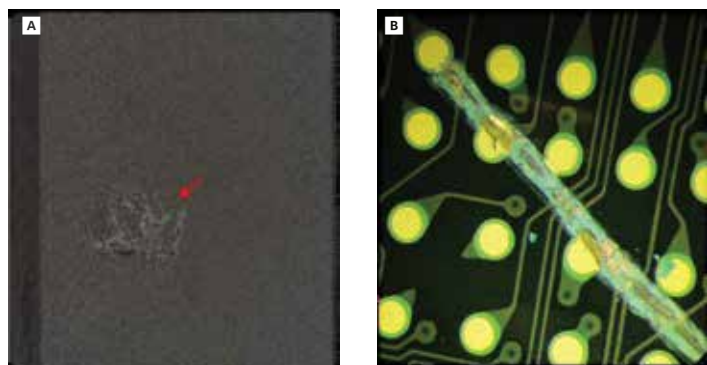
Важнейшим требованием к печи для запекания компаунда является ее способность обеспечивать нужную для данного материала температуру и выдерживать профиль ее изменения. Причем температурный профиль зависит не только от герметизирующего материала, но и от состояния изделия на выходе из заливочной машины;



14 Автоматическая система литьевого прессования AMS-i



15 Пример температурного профиля печи для запекания молд-компаунда

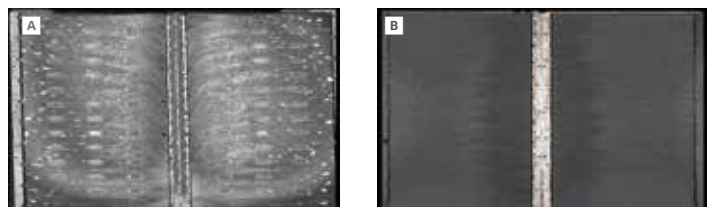


16 Визуальная инспекция: А — несовершенство поверхности микросхемы: внешние пустоты, повреждения; Б — повреждение дорожек и контактных площадок

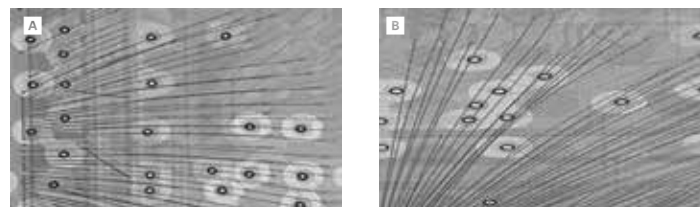
для разных его температур при загрузке в печь производитель компаунда может рекомендовать различные профили его запекания — как по температурам этапов (нагрев/выдержка/охлаждение), так и по времени их прохождения.

Для проверки качества выполнения герметизации используют три вида неразрушающего контроля.

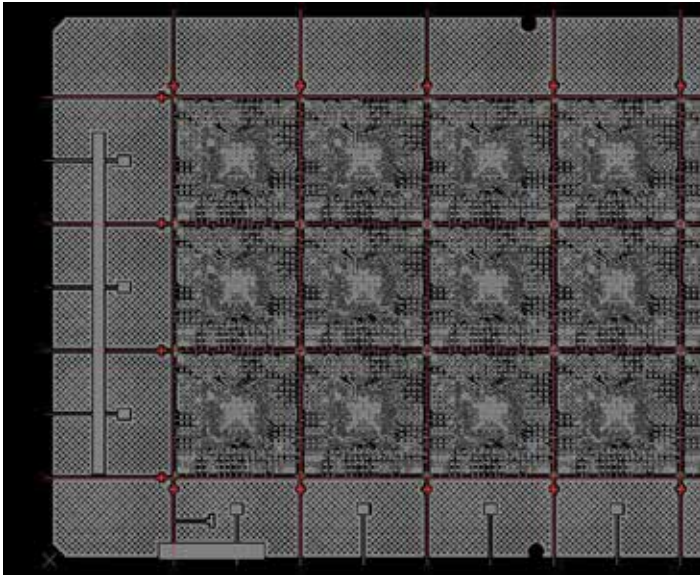
Визуальная инспекция проводится при помощи оптического микроскопа. Задача — нахождение участков неполной герметизации, видимых косметических дефектов, загрязнений и повреждений.



17 Ультразвуковое исследование SiP Emerald N2M (две подложки): А — большое количество пустот; Б — отсутствие пустот



18 Рентгеноскопическое исследование (медная проволока): А — отрывы проволоки от кристалла; Б — замыкание проволочных соединений



19  
Участок мультизаготовки на экране оператора линии разделения

Ультразвуковая инспекция применяется для обнаружения трещин, пустот, неоднородностей плотности и отслоений материалов. В центре микроэлектроники GS Nanotech она проводится на той же установке D9500, что и контроль качества соединения кристалла с подложкой.

При помощи рентгеноскопической инспекции обнаруживают отсутствие, смещение, деформацию петель и их отрывы от контактных площадок.

## Установка выводов, разрезка подложки, проверка

Монтаж шариковых выводов, разрезка подложки на отдельные микросхемы, визуальный и электрический контроль — это завершающие операции процесса корпусирования. Перед монтажом выводов подложка опять проходит плазменную очистку в установке AP-1000, на этот раз для удаления загрязнений с контактных площадок выводов.

В линии корпусирования применен способ монтажа шариковых выводов методом переноса, схожий с процессом поверхностного монтажа компонентов и реализуемый обычно автоматами поверхностного монтажа; практически любой из них сегодня способен обеспечить точность в пределах 50 мкм, необходимую для установки шариковых выводов. Готовые шарики в твердом состоянии устанавливаются на контактные площадки, предварительно покрытые паяльной пастой, результат оценивается системой технического зрения автомата. Затем подложка с установленными шариками помещается в печь для оплавления паяльной пасты.

Из печи мультизаготовки поступают на линию разделения, где дисковыми пилами разрезаются на отдельные микросхемы и выгружаются в транспортную тару — стандартный (JEDEC) трей. Это уже готовый продукт, которому остается только пройти контроль. Основная часть контроля — электрическое тестирование. В GS Nanotech эта операция производится на автоматическом стенде. Оснастка стенда — контактирующие устройства — позволяет проверять микросхемы, не извлекая их из тары.

Успешно прошедшие контроль микросхемы упаковывают и отправляют заказчику.

Сегодня GS Nanotech — одно из ведущих предприятий в Европе по разработке, корпусированию и тестированию микроэлектронной продукции. Всего за семь лет пройден большой и непростой путь. В ходе реализации проектов специалисты центра неоднократно сталкивались с техническими сложностями, в преодолении которых всегда участвовали сотрудники Остека. За эти годы с различными подразделениями Остека налажено сотрудничество во всех производственных процессах GS Nanotech: поиске нового или модернизации имеющегося оборудования, внедрении новых материалов и комплектующих, применении инновационных технологий и решений в производстве, проведении научных семинаров и конференций, обучении и стажировке, сервисном обслуживании, как удаленном, так и на месте, с привлечением высококвалифицированных специалистов. Безусловно, сотрудничество будет продолжено для решения новых задач и достижения амбициозных целей. 