

# ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАЗМЕННОЙ ОЧИСТКИ ПРИ МИКРОСБОРКЕ

О.Симонов<sup>1</sup>

УДК 621.79.02  
ВАК 05.27.06 +  
05.11.14

Плазменные процессы широко применяются в производстве электронных компонентов. Среди них особенно часто используются: плазмохимическое осаждение (PECVD), реактивное ионное травление индуктивно связанной плазмой (ICP RIE), очистка поверхности пластин перед вакуумным напылением, плазменная обработка прекурсоров, удаление остатков фоторезиста, очистка изделий перед микросборкой и в производстве печатных плат.

В данной статье рассмотрены особенности плазменных процессов, применяемых перед операциями микросборки, такими как монтаж кристаллов на подложки и в корпуса, разварка тонкой проволокой и герметизация. Следует отметить, что те же процессы, зачастую реализуемые на том же самом оборудовании, помимо микроэлектронного производства могут применяться в других отраслях: оптоэлектронике, телекоммуникациях, медицине, автомобильной промышленности и т.д.

## ПЛАЗМЕННАЯ ОЧИСТКА КАК СПОСОБ УСТРАНЕНИЯ ПРОБЛЕМ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ МИКРОСБОРКЕ

Большинство проблем, возникающих при микросборке, связано с наличием загрязнений на поверхностях изделий. Как правило, это органические вещества, которые могут как естественным образом адсорбироваться из атмосферы, так и привноситься при неаккуратном обращении с изделиями, например при тактильном контакте. Рассмотрим некоторые типичные проблемы, которые решает плазменная очистка.

При монтаже полупроводникового кристалла на клей необходимо обеспечить его равномерное нанесение. С этой целью подбирается оптимальное распределение клея по посадочному месту, но загрязнения могут значительно снизить эффективность этой меры. Они препятствуют качественной адгезии клея к подложке, вследствие чего даже при наилучшем образом

подобранном способе нанесения клея в дальнейшем образуются отслоения. Помимо низкого качества монтажа с точки зрения его механической прочности, важным негативным фактором при этом является низкая теплопроводность, что ведет к перегреву кристалла при работе электронного устройства. Плазменная очистка перед нанесением клея обеспечивает прочность соединения кристалла с подложкой и хороший теплоотвод.

Другая проблема возникает при формировании проволочных выводов с использованием контактно-резистивной либо ультразвуковой микросварки. Наличие загрязнений на контактных площадках препятствует образованию качественного электрического контакта, снижая его эффективную площадь и прочность на отрыв. Плазменная очистка удаляет загрязнения и оксидные пленки, таким образом способствуя повышению прочности проволочных соединений, что, помимо всего прочего, позволяет уменьшить размеры контактных площадок.

<sup>1</sup> Компания "Евроинтех", sov@eurointech.ru.

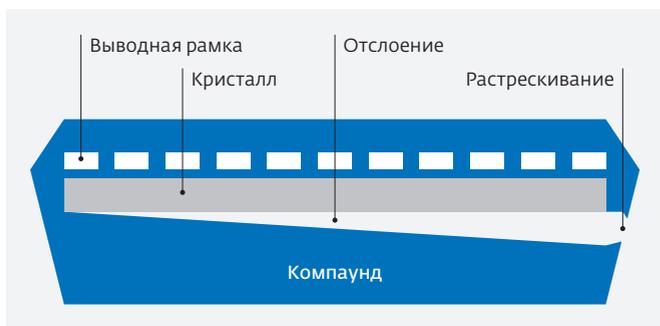


Рис.1. Растрескивание корпуса

Еще одна характерная проблема может возникнуть при герметизации корпусов заливкой компаундом. Компаунд контактирует со многими материалами: выводная рамка (либо, как вариант, печатная плата), припой, полупроводниковый кристалл, металлические контактные площадки. При наличии загрязнений на их поверхности компаунд отслаивается, и в месте отслоения скапливается влага. Ее резкое испарение при нагреве во время пайки приводит к образованию трещин в корпусе.

Плазменная очистка не только удаляет загрязнения, но и 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.

Большое значение имеет качество адгезии эпоксидной заливки под кристаллом при монтаже компонента на шариковые/столбиковые выводы припоя (бампы) по технологии Flip-Chip. Материал заливки под кристаллом ограничивает деформацию, вызванную термическим напряжением на финишном этапе производства этих компонентов – термоциклировании. Наличие загрязнений в пространстве под кристаллом ведет к смещению бампов и разрушению контактов.

Наконец, следует упомянуть значение плазменной обработки выводных рамок, изготовленных из меди. Удаление оксидов на медной поверхности с помощью плазмы способствует получению прочных

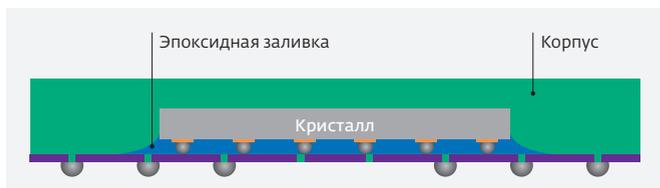
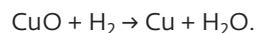
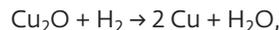


Рис.2. Устройство изделия, изготовленного по технологии Flip-Chip

проволочных соединений. В этих целях, как правило, используются плазмохимические реакции с применением смеси  $\text{Ag}/\text{H}_2$ :



Несмотря на всю очевидность необходимости в плазменной очистке, зачастую производители электронных компонентов не уделяют ей должного внимания. При оснащении производства новым технологическим оборудованием системы плазменной очистки оказываются далеко не на первом плане. В то же время условия складирования материалов не всегда идеальны, и при длительном хранении естественное загрязнение неизбежно. Даже при применении самого современного и совершенного оборудования микромонтажа, микросварки и герметизации в результате будет выходить недопустимо высокий процент брака. Напротив, инвестиции в оборудование плазменной очистки довольно быстро себя окупают.

## ВАКУУМНАЯ ПЛАЗМА В СИСТЕМАХ КАМЕРНОГО ТИПА

Для плазменной очистки изделий могут использоваться системы как открытого типа (атмосферная плазма), так и закрытого, где плазменные процессы протекают внутри рабочей камеры. На практике для вышеперечисленных применений чаще используются камерные системы с уровнем рабочего давления ниже атмосферного, что необходимо для обеспечения длины свободного пробега заряженных частиц, достаточной для ударной ионизации. Таким образом, данный тип плазмы является вакуумным.

Ионизация рабочего газа внутри камеры происходит под воздействием переменного электромагнитного поля. Состояние плазмы является динамическим равновесием между этими двумя процессами. Значительное число частиц в плазме составляют нейтральные атомы и молекулы.

Концентрация заряженных частиц в камере определяется прежде всего частотой переменного поля: чем выше частота, тем больше частиц. Поскольку эффективность очистки определяется именно степенью ионизации, за счет использования высокой частоты можно обеспечить необходимый результат даже при меньшей мощности генератора. Частота генерации в системах плазменной очистки, применяемых в промышленности, лежит в широком диапазоне: от десятков килогерц до СВЧ. Микроволновая плазма больше подходит для очистки полупроводниковых кристаллов, когда зачастую бывает необходимо обеспечить



Рис.3. Системы плазменной очистки камерного типа

мягкое воздействие, не разрушающее тонкую структуру изделий. В применениях, связанных с микросборкой, обычно применяется ВЧ-плазма (стандартная частота – 13,56 МГц).

В зависимости от длины свободного пробега частиц, определяемого преимущественно давлением в рабочей камере, плазма может быть определена как физическая или химическая. Для физической плазмы основным механизмом очистки является разрушение связи загрязнителей с поверхностью за счет кинетической энергии частиц рабочего газа. О химической плазме говорят тогда, когда давление в камере выше, свободный пробег частиц меньше, и преимущественное значение для очистки имеют химические реакции: свободные заряды вступают в химическую реакцию с загрязнителями на поверхности обрабатываемых изделий, образуя летучие побочные продукты, которые удаляются из объема камеры вместе с рабочим газом.

За исключением инертных сред, например, аргона, в процессах плазменной очистки в той или иной мере присутствуют оба эффекта, поэтому указанное разделение достаточно условно. На практике граничным значением давления, разделяющим физическую и химическую плазму, принято считать величину порядка 0,1 мбар. Разрежение в камерах для плазменной очистки в тех применениях, которые мы обсуждаем, сравнительно невелико, поэтому для откачки достаточно иметь низковакуумный насос.

## ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМЕННОГО ПРОЦЕССА

Основными параметрами плазменных процессов являются: давление в камере, тип рабочего газа, время обработки и мощность плазменного генератора. Все они оказывают влияние на степень ионизации, которая, как было сказано выше, и определяет качество очистки. Перечисленные параметры легко поддаются контролю, и задача технолога – подобрать режим, который будет оптимальным для конкретного применения.

Давление в камере зависит от соотношения скоростей откачки и напуска рабочего газа. В современных системах плазменной очистки осуществляется автоматическая регулировка давления с помощью измерителя вакуума, программно-логического контроллера и цифрового расходомера,

установленного в газовой линии. Химической плазме, при которой давление газа и скорость травления выше, соответствует диапазон от 0,1 до 0,9 мбар. Физическая плазма имеет большую длину свободного пробега заряженных частиц и, соответственно, более высокую их энергию; для нее типовой диапазон давлений находится в пределах от 0,05 до 0,1 мбар.

Тип рабочего газа определяется тем, в каком из применений используется система. Для очистки изделий от органических загрязнений обычно используются Ar, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> (95/5%), Ar/O<sub>2</sub>, Ar/H<sub>2</sub> (95/5%). В тех случаях, когда по технологии требуются газы с высокой реактивной способностью, системы плазменной очистки оборудуются камерой и газовыми линиями в коррозионно-стойком исполнении. Но для микросборочных производств такие требования нетипичны.

Время проведения плазменного процесса и мощность плазменного генератора прямо влияют на качество обработки. Но, с другой стороны, слишком большая длительность процессов и высокая мощность могут вызывать нежелательные эффекты, среди которых в первую очередь следует отметить перегрев изделий. Нагрев до температур порядка 100°C требует от оператора дополнительных мер предосторожности. Кроме того, высокая температура изделий способствует окислению их поверхности после обработки плазмой при контакте с окружающим воздухом.

Помимо вышеперечисленных параметров, свойства плазмы также зависят от конструктивных особенностей



Рис.4. Вид установки измерения угла смачивания

установки, среди которых можно указать следующие: распределение рабочего газа и электромагнитного поля в камере; конфигурация электродов; возможность установки различных уровней давления при проведении процесса. Кроме того, на результаты плазменной обработки влияют свойства самих обрабатываемых изделий: материал, наличие покрытий и адсорбированных газов. Знание этих свойств, наряду с характеристиками оборудования, позволяет подобрать и оптимизировать параметры процесса для получения наилучших результатов.

Косвенным методом оценки качества плазменной очистки является измерение угла смачивания (угла между поверхностью и касательной к профилю находящейся на ней капли жидкости в точке примыкания капли к поверхности). После обработки плазмой гидрофильные свойства поверхности изделий улучшаются, следовательно, угол смачивания уменьшается. Для контроля качества очистки существуют специальные установки, основанные на этом принципе, которые помогают правильно подобрать рабочий режим.

### СПОСОБЫ ПОДАЧИ ИЗДЕЛИЙ В СИСТЕМАХ ПЛАЗМЕННОЙ ОЧИСТКИ

Плазменные системы различаются по типу загрузки изделий – на лотках, в кассетах, в ленте. Последние, в свою очередь, делятся на отдельно стоящие, подача изделий в которых осуществляется через устройство загрузки, и встраиваемые в линию.

В установках с загрузкой первого из названных видов внутри рабочей камеры может быть расположено несколько лотков. Они размещаются на электродах, выполненных в виде полок. Часть из них электрически связана с ВЧ-генератором, другие заземлены. Такой тип установок не позволяет добиться высокой производительности, хотя встречается довольно часто. Наиболее хорошо он подходит для лабораторных применений и мелкосерийных производств.

Применение кассет позволяет быстро производить загрузку рабочей камеры и эффективно использовать



Рис.5. Вид рабочей камеры с системой электродов в виде полок

ее объем, что обеспечивает высокую производительность системы плазменной очистки и хорошо подходит для крупносерийных производств изделий на выводных рамках. Кассеты имеют боковые щели для проникновения ионов, а диапазон давлений в таких установках, как правило, достаточно низкий, чтобы длина свободного пробега ионов была достаточна для их проникновения внутрь кассеты; типичные значения 0,05–0,09 мбар. То есть в данных системах плазма относится к физическому типу. Стоит отметить, что получение высокой однородности процесса очистки при кассетной загрузке затруднено вследствие экранировки. С другой стороны, достоинством систем с кассетной загрузкой является



Рис.6. Вид рабочей камеры с кассетной загрузкой



**Рис.7.**  
Внешний вид системы плазменной очистки, встраиваемой в автоматическую линию

## ТИПОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПЛАЗМЕННОЙ ОЧИСТКИ

Подбор параметров плазменного процесса является индивидуальным для каждого конкретного случая и требует времени. Попытка с ходу угадать оптимальный режим без должного опыта скорее приведет к разочарованию, чем к успеху. Не следует ожидать, что режим, подходящий для одних изделий, подойдет для других – из-за различий в энергии поверхностной связи материалы ведут себя совершенно по-разному.

Не всегда легко достижима однородность плазменной обработки. Наилучшая однородность достигается при использовании химической плазмы; для физической плазмы хороший результат возможен в камерах небольшого объема. Но если говорить о системах, где применяется кассетная загрузка, то, как было отмечено выше, наличие эффекта экранировки препятствует получению высокой однородности. Общей рекомендацией тут может быть тщательный выбор типа установки на основании имеющихся технических требований.

Возможно также обгорание изделий вследствие наличия "горячих точек" в рабочей камере. Это случается, если структура электромагнитного поля имеет сложное распределение, что может быть следствием чрезмерной загрузки. Таким образом, рекомендуется не перегружать рабочую камеру образцами с целью повышения производительности.

Вследствие перегрузки камеры и наличия большого количества адсорбированного вещества в изделиях также может происходить загрязнение камеры побочными продуктами плазмохимических реакций, что ухудшает качество плазмы. Во избежание этого следует использовать предыдущую рекомендацию о недопустимости перегрузки и, кроме того, время от времени ставить камеру на продувку. В некоторых системах для этого предусмотрена дополнительная газовая линия, в которую подается азот.

Важно помнить, что время существования заметного эффекта плазменной обработки ограничено, при этом оно зависит от материала подложки (для полимеров – дольше, для металлов – короче), влажности и других параметров окружающей среды. Причем, если адсорбцию загрязнений из атмосферы в принципе можно предотвратить помещением изделий в герметичную упаковку, то эффект плазменной активации таким образом сохранить невозможно. Технологические операции, для обеспечения качества которых предназначена плазменная обработка, желательно проводить сразу после нее.

Подводя итог, хочется подчеркнуть, что для достижения наилучшего результата при плазменной обработке требуется как понимание физико-химических процессов, которые ее сопровождают, так и знание конструктивных особенностей применяемого оборудования. ●

возможность адаптации их под другие задачи, кроме кассет для выводных рамок – в них можно устанавливать съемные лотки, использовать их для удаления остатков фоторезиста на полупроводниковых пластинах и т.д.

Системы с ленточной подачей также хорошо подходят для очистки выводных рамок в крупносерийном производстве. Шаг выводной рамки при этом может быть меньше по сравнению с кассетной загрузкой. Плазма в этом случае более однородна, за счет чего достигаются наилучшие результаты. Диапазон давлений выше по сравнению с кассетной загрузкой; типичные значения 0,2–0,4 мбар при использовании смесей аргона и водорода. Таким образом, здесь преобладает химический механизм очистки. Вследствие короткого времени плазменной обработки (5–30 с) опасность перегрева отсутствует.

Встраиваемые в линию (in-line) системы плазменной очистки оборудованы внутренним конвейером. Небольшой объем рабочей камеры позволяет производить ее быструю откачку. Использование их в едином автоматизированном комплексе с оборудованием, выполняющим прочие операции микросборки, обеспечивает максимальную производительность. Однако небольшой объем камеры резко сужает область применения систем данной конструкции. По сути дела, они специализированы на работе с выводными рамками и плохо подходят для других изделий.