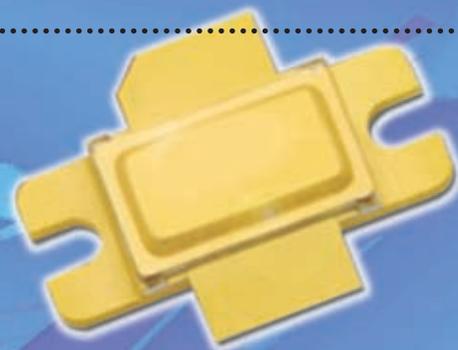


МНОГОКРИСТАЛЬНАЯ СБОРКА МОЩНЫХ СВЧ-ТРАНЗИСТОРОВ



Развитие полупроводниковой электроники по программе "частота–мощность" привело к созданию мощных многокристалльных СВЧ-транзисторов с внутренними элементами согласования и многоячеечной топологией транзисторных структур. Для осуществления многокристалльного монтажа разрабатываются и производятся специальные установки.

В. Сидоров, к.т.н., С. Минаев
pulsar@dol.ru

паянных участков под кристаллом, которые могут стать причиной локального перегрева транзисторной структуры, необходимо обеспечивать высокую плоскостность и малую шероховатость поверхности кристаллодержателя, а также высокое качество облуживания соединяемых поверхностей кристалла и кристаллодержателя.

В мощных СВЧ-транзисторах требуемые энергетические параметры, как правило, достигаются путем сложения отдельных многоячеечных транзисторных структур с помощью внутренних цепей согласования. При многокристалльной сборке мощных СВЧ-транзисторов, состоящих из большого числа кристаллов, надо не только качественно присоединить кристаллы к кристаллодержателю, но и правильно организовать внутренние проволочные связи, обеспечив точное расположение и геометрию выводов. Для этого требуется использование современного высокоточного оборудования, обеспечивающего автоматизацию процессов проволочных межсоединений.

Конструкции мощного СВЧ-транзистора S-диапазона (рис.1) и L-диапазона (рис.2) содержат от трех до шести активных кристаллов и примерно столько же конденсаторных. Полупроводниковые кристаллы монтируются в металлокерамических корпусах, которые обеспечивают эффективный отвод тепла от полупроводниковых кристаллов, минимальные значения паразитных емкостей, позволяют производить многокристалльную сборку транзистора. Ручной монтаж кристаллов транзисторов в корпусе проводится в соответствии с ОСТ 11 0304-93 "Приборы полупроводниковые, корпуса". Длительность процесса сборки согласно ОСТу не должна превышать 2 мин. Но как показывает практика, часто при сборке большого количества кристаллов на кристаллодержатель это время превышает рекомендуемое, иногда даже в несколько раз. И это ведет к снижению надежности и качества паяных соединений. Во-первых, вследствие того, что обычное покрытие корпусов Н1.Зл.0,5. Пд.0,5. Зл.3 при существующей технологии его осаждения не может гарантировать высокого качества пайки кристаллов в корпус при длительном воздействии температуры 420–450°C из-за проходящих в слоях покрытия диффузионных и окислительных процессов. Во-вторых, длительная пайка кристаллов может привести к окислению

Для создания современных мощных СВЧ-транзисторов недостаточно правильно спроектировать транзисторную структуру и реализовать ряд сложнейших технологических процессов ее получения. На электрические характеристики СВЧ-транзисторов влияют как материал и конструкция корпуса, так и способ сборки кристаллов в нем.

Основное требование, предъявляемое к конструкции корпусов транзисторов, – кристалл, собранный в корпусе, не должен потерять те потенциальные возможности, которые в нем заложены. Это же требование в полной мере относится и к процессу сборки кристаллов в корпусе, т.е. после монтажа характеристики транзисторной структуры должны минимально отличаться от ее характеристик до монтажа.

Сборка включает в себя две основные операции – напайку кристаллов на кристаллодержатель корпуса и монтаж внутренних выводов. При напайке кристаллов необходимо: во-первых, обеспечивать минимальное тепловое сопротивление, обусловленное переходными слоями зоны пайки; и, во-вторых, не допускать появления под кристаллом областей с большим тепловым сопротивлением, через которые отвод тепла был бы затруднен [1].

При сборке мощных полупроводниковых приборов, особенно СВЧ-транзисторов, стараются не использовать мягкие припои, так как они имеют низкую теплопроводность и, кроме того, при их использовании трудно получить слой припоя минимальной толщины. Обычно пайку осуществляют с помощью эвтектического сплава золото-кремний (температура его плавления около 370°C) при температуре 420–450°C. Тепловое сопротивление, получаемое при пайке сплавом золото-кремний, сравнительно невелико. Чтобы избежать появления непро-

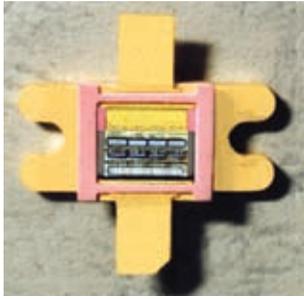


Рис. 1. Мощный СВЧ-транзистор S-диапазона частот

подслоя никеля либо к окислению никеля, продифундирующего на поверхность золотого покрытия и, следовательно, к ненадежному соединению кристалла с корпусом.

Для исключения дефектов при многокристальном монтаже необходимо либо увеличивать толщину золотого покрытия до 4–5 мкм, либо использовать оборудование с элементами автоматизации (сокращается время самого процесса пайки). Далее, чтобы получить качественное соединение, нужно тщательно соблюдать технологические режимы при гальваническом покрытии корпусов: не допускать насыщения палладия водородом и образования соединения Pd_4H_3 , поскольку это приводит к вспучиванию металла, он становится хрупким и покрывается трещинами [2]. Необходимо помнить, что уже при температуре 20°C палладий может поглотить до 800 объемов водорода [3].

Для многокристального монтажа используются установки присоединения кристаллов ЭМ-4075А (рис.3) и ЭМ-4025АМ (рис.4) производства КБТЭМ-Со, г. Минск. Они предназначены для присоединения полупроводниковых кристаллов, элементов согласования, МОП-конденсаторов при сборке ИС, ГИС, СВЧ-транзисторов, диодных и транзисторных сборок и других многокристальных приборов методами вибрационной эвтектической пайки, монтажа на клей и припой. Установка ЭМ-4075А предназначена для ручного монтажа, а установка ЭМ-4025АМ – для работы в полуавтоматическом режиме.

Минимальные размеры присоединяемых кристаллов 0,4×0,4 мм. Максимальные зависят от размеров монтажной площадки корпуса. Соотношение сторон присоединяемых кристаллов составляет от 1:1 до 1:1,5.

Установка ЭМ-4025АМ оснащена револьверной восьмиинструментальной головкой. Программное управление позиционированием рабочего стола и револьверной головкой позволяет производить монтаж до 2000 кристаллов по заданной программе в едином цикле. Захват кристаллов производится вакуумным инструментом с предметных столиков, многорядных ячеистых кассет, с блистер-лент, липкого носителя (на носителе расположена полупроводниковая пластина диаметром до 100 мм, разделенная на кристаллы без потери ориентации). Корпуса подаются в рабочую зону в многоместных линейных кассетах, спутниках или зажимаются дискретно на одноместном рабочем столике. Нагреватель имеет две отдельно регулируемые зоны нагрева.

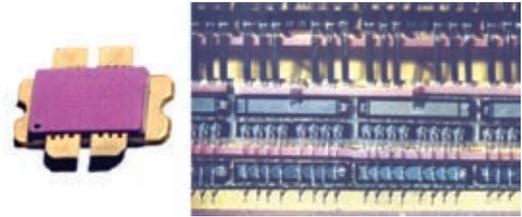


Рис.2. Мощный СВЧ-транзистор L-диапазона частот

Производительность установки (без учета времени на загрузку и при длительности присоединения 0,2 с) в автоматическом режиме составляет 2000 кристаллов в час. Диапазон регулирования температуры нагрева рабочих зон столика (отдельно для каждой зоны) – 50–450°C с точностью ±5°C. Диапазон регулирования температуры нагрева газовой струи газовых нагревателей – 50–450°C с точностью ±20°C.

Многокристальные мощные СВЧ-транзисторы, как было отмечено выше, предъявляют ряд специфических требований к внутреннему проволочному монтажу.

Операция присоединения выводов должна обеспечивать: получение высоконадежных соединений алюминиевых и золотых проволок с площадками кристаллов и корпусов, а также постоянство длины и формы монтажных



Рис.3. Установка присоединения кристаллов ЭМ-4075А

проволок, так как от этого зависят резонансные частоты и мощность СВЧ-транзисторов.

Среди различных методов проволочного монтажа полупроводниковых приборов широкое распространение получили термокомпрессионная сварка (ТКС) золотой проволокой, ультразвуковая сварка (УЗС) алюминиевой проволокой, а также универсальный метод термоультразвуковой сварки [4].

Из всего большого парка полуавтоматических и автоматических установок для проволочного монтажа полупроводниковых приборов, выпускаемых в РФ и странах ближнего зарубежья, далеко не все установки пригодны для монтажа мощных СВЧ-транзисторов. Можно использовать модели ЭМ-4083, ЭМ-4080 (КБТЭМ-Со, г. Минск) и УЗСМ-2,5 (НИИТОП, г. Нижний Новгород). Но этим установкам присущи такие недостатки, как отсутствие управляемых по программе двухкоординатных столов и сложность регулировки формы выводов.

В ФГУП "НПП "Пульсар" на основе проведенного анализа конструкций мощных СВЧ-транзисторов и возможностей сборочного оборудования были созданы установки, отвечающие требованиям автоматизированной сборки мощных СВЧ-транзисторов, например установка-модель Э29К133 9.

В процессе совершенствования оборудования для монтажа (в связи с усложнением процесса многокристальной сборки) в КБТЭМ-Со были созданы новые установки – автомат ультразвукового присоединения выводов СБИС ЭМ-4480 (рис.5) и



Рис.4. Установка присоединения кристаллов ЭМ-4025АМ



Рис.5. Установка для монтажа проволочных выводов ЭМ-4480

установка присоединения выводов СБИС ЭМ-4370 (рис.6). Они предназначены для автоматического присоединения выводов широкой номенклатуры изделий, требующих большого рабочего поля и повышенной точности монтажа выводов, а именно – многокристалльных и многоуровневых ГИС, гибридных интегральных схем и плат больших размеров. На этих установках можно производить и многокристальную сборку транзисторов с высокой плотностью монтажа и повышенной точностью.

Установки обеспечивают присоединение выводов ультразвуковой сваркой внахлест (или термоультразвуковой сваркой), контроль функционирования и диагностику основных узлов, поиск контактных площадок, совмещение с инструментом, формирование выводов (межсоединений) и, наконец, контроль наличия перемычек. Присоединение выводов может осуществляться на нескольких уровнях в пределах одного прибора при максимальной разновысотности сварочных точек не более 1,2 мм. Установки обеспечивают разварку до десяти кристаллов. Материал присоединяемых выводов – проволока из золота либо из алюминий-кремниевое сплава диаметром 0,02–0,06 мм. Производительность установок для 42-выводных БИС при средней длине перемычки составляет не менее 200 шт./ч; для 14-выводных ИС при длине перемычки 2 мм – не менее 600 шт./ч. Установки обеспечивают качественное присоединение монтажных проволочек к металлизированным площадкам кристаллов и к выводам корпусов. Разрыв приваренного вывода происходит



Рис.6. Установка для монтажа проволочных выводов ЭМ-4370



по основному сечению проволоки, или по утонению ее в месте сварки, без разрушения самого сварного соединения.

Работа установок основана на методе введения ультразвуковых колебаний в зону контакта проволоки с контактной площадкой платы или кристалла после сжатия с определенным усилием соединяемых элементов. Для проведения монтажа термультразвуковой сваркой предусмотрен подогрев стола.

Для получения качественных соединений в установках производится регулирование усилия нагружения, времени и мощности ультразвукового импульса, а также введен датчик касания микроинструментом контактной площадки кристалла или корпуса.

Следует отметить, что автоматизированную сборку мощных СВЧ-транзисторов удастся применять не всегда. Это, прежде всего, относится к ранее разработанным транзисторам, в конструкциях которых не учитывались требования автоматизированной сборки. Например, в мощном СВЧ-транзисторе L-диапазона (см. рис.2), автоматизированную разварку можно применить лишь к отдельным группам выводов. Основной монтаж выводов проводится вручную. В настоящее время при разработке мощных СВЧ-транзисторов следует учитывать возможности и особенности автоматизированной сборки, например, следует исключать из конструкции прибора монтажные площадки, размещенные в узких колодцах. Наличие на кристаллах реперных знаков позволяет использовать машинное зрение установок, что

существенно сокращает время и повышает качество сборки.

В заключение надо отметить, что наряду с созданием нового сборочного оборудования и разработкой унифицированных конструкций мощных СВЧ-транзисторов, удовлетворяющих требованиям многокристальной автоматизированной сборки, необходима подготовка высококвалифицированных специалистов, способных эффективно использовать возможности сложного прецизионного оборудования, ставить задачи по его усовершенствованию и принимать соответствующее участие в конструировании самих транзисторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мощные высокочастотные транзисторы/Ю.В. Завражнов, И.И. Каганова, Е.З.Мазель и др. – М.: Радио и связь, 1985.
2. Некрасов Б.В. Основы общей химии. Т.2, 1974, с. 382.
3. Большая Советская энциклопедия, т.31, 1955, с.610.
4. Апостолова Е.М., Ключев Ю.П., Крюков Б.П. Сборка полупроводниковых приборов, автоматизация процессов проволочных межсоединений многовыводных СВЧ мощных транзисторов. Научная конференция "Твердотельная электроника, приборы силовой электроники, микроэлектроники и изделия на основе ПЗС". Тезисы докладов, ГУП НПП "Пульсар", 2003.