

КОНТАКТНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ БЕСКОРПУСНЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ГИБКОМ НОСИТЕЛЕ С ЛЕНТОЧНЫМИ ВЫВОДАМИ. ЧАСТЬ I

Надежность и воспроизводимость качества контактных узлов – едва ли не главные требования при изготовлении радиоэлектронной аппаратуры. Вот почему выявление взаимосвязи и влияния физико-механических характеристик, структуры, состояния поверхности соединяемых материалов на формирование монокристаллических контактных соединений с помощью ультразвуковой микросварки при сборке и монтаже микроэлектронных компонентов – одна из актуальных задач производства радиоэлектронной аппаратуры.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для сборки и монтажа микроэлектронных компонентов разработано и применяется множество различных видов пайки и сварки [1]. При производстве изделий микроэлектроники и радиоэлектронной аппаратуры монокристаллический контактный узел предполагает наличие трех основных компонентов: контактной площадки навесного элемента, контактной площадки подложки и соединяющего их промежуточного звена. При этом промежуточное звено образует токопроводящее соединение контактной площадки навесного элемента и контактной площадки подложки (платы). Навесными элементами могут быть активные полупроводниковые приборы на кристалле и пассивные компоненты (конденсаторы, резисторы, датчики и др.). Подложкой могут служить корпуса или коммутационные платы. В идеале надежное монокристаллическое контактное соединение должно обладать теми же свойствами, что и соединяемые материалы. Чтобы достичь желаемого результата, в зоне контактирования необходимо сформировать такие же химические связи, как и в соединяемых материалах.

Физические и прочностные характеристики соединений материалов определяются расположением атомов (ионов) и действующими между ними химическими связями [2]. При формировании монокристаллического соединения металлов атомы сближаются на расстояние 0,2–0,3 нм, при этом волновые

функции валентных электронов перекрываются, и они получают возможность переходить от одного атома к другому, довольно свободно перемещаясь по всему объему металла. Валентные электроны принято называть "коллективизованными", а связь между ионами – металлической [2].

Формирование контактного узла в реальных условиях затрудняется рядом факторов. Во-первых, соединяемые элементы конструкций представляют собой поликристаллические материалы, не имеющие идеально чистых и идеально гладких поверхностей. На поверхности соединяемых изделий присутствуют и макроскопическая, и микроскопическая геометрические неоднородности – волнистость и шероховатость. Кроме того, задача формирования контактного узла значительно усложняется из-за наличия на соединяемых поверхностях оксидов, адсорбированных газов, влаги, органических загрязнений.

Для образования металлических связей необходимо обеспечить сплошной физический контакт по всей поверхности соединения и удалить с контактных поверхностей загрязнения, наиболее прочными из которых являются оксиды. Задача эта не из легких, так как в атмосфере на очищенных поверхностях уже за $2,48 \cdot 10^{-9}$ ч образуется мономолекулярный слой газа, т.е. как бы ни очищали поверхности, они всегда оказываются покрытыми слоем оксида [2]. Однако, несмотря на большое число предварительных условий формирования контакта, образова-

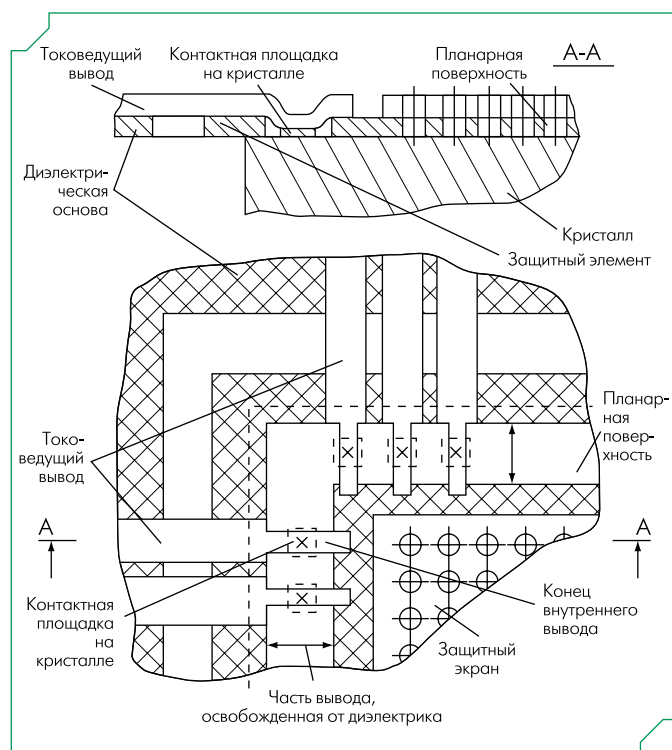
ние металлических связей происходит, например, в процессе пластической деформации материалов под действием приложенных сжимающих усилий. Свойства полученного соединения зависят от ряда факторов, вызывающих образование межатомных связей, которые в зоне соединения изменяют микроструктуру, химический и фазовый состав соединяемых материалов, формируют внутренние напряжения [2].

Получение контактных соединений с использованием ультразвуковой сварки – одного из наиболее распространенных методов холодной сварки давлением – хорошо зарекомендовало себя при сборке изделий микроэлектроники и монтаже радиоэлектронной аппаратуры с повышенными требованиями к надежности [2, 3, 4, 6]. Этот способ сварки позволяет получать соединения материалов с окисленными поверхностями при минимальном тепловом воздействии на структуру чувствительных к нагреву элементов микросхем, благодаря чему он и применяется широко на операциях сборки и монтажа.

В качестве промежуточного элемента в микроэлектронике получил распространение гибкий носитель с ленточными выводами [1], конструкция которого представляет собой совокупность плоских ленточных выводов, выполненных на диэлектрическом основании. Гибкий носитель изготавливают из двухслойной лакофольговой ленты (алюминиевая или медная фольга на полиимидной пленке) фотохимическим способом в автоматическом режиме [4]. Все индивидуальные промежуточные звенья контактных узлов гибкого носителя сведены в единое целое и зафиксированы. Такая конструкция позволяет:

- автоматизировать процессы формирования контактных узлов, а изготовителю и потребителю контролировать параметры собранных микросхем;
- улучшить теплоотвод благодаря увеличенному сечению ленточных выводов;
- повысить надежность контактного соединения.

Систему внутренних выводов носителя на диэлектрическом основании присоединяют к контактным площадкам кристалла ультразвуковой сваркой (см. рисунок). В ходе этого процесса после совмещения выводов с контактными площадками сварочный инструмент скоростной программируемой установки с микропроцессорным управлением последовательно обходит места сварки. После полимерной защиты мест сварки и контроля параметров интегральная микросхема непосредственно перед установкой на плату (подложку) потребителя вырубается из носителя. Система наружных выводов, присоединяемых к контактным площадкам платы по унифицированному контуру, также формируется с помощью ультразвука. Выводы в зонах присоединения к контактным площадкам кристалла и платы выполнены на основе унифицированных элементов, геометрия которых разработана с учетом автоматизации процессов сварки и обеспечения надежного электрического контакта на



Фрагмент центральной части интегральной микросхемы на гибком носителе с ленточными выводами

основе механических, термодинамических, электрохимических и радиационных характеристик материалов.

Рассмотрим взаимосвязь прочности сварных соединений с физико-механическими характеристиками контактных элементов.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПРИСОЕДИНЕНИИ ЛЕНТОЧНЫХ ВЫВОДОВ К КОНТАКТНЫМ ПЛОЩАДКАМ

Цикл сборки бескорпусной микросхемы на гибкий носитель с ленточными выводами и монтаж радиоэлектронной аппаратуры на платы включает следующие основные операции:

- присоединение выводов гибкого носителя к контактным площадкам кристалла микросхемы;
- нанесение полимерной защиты;
- измерение электрических параметров микросхем;
- поверхностный монтаж на печатную плату или подложку.

Соединения выполняются ультразвуковой микросваркой, протекающей в твердой фазе без образования литого ядра. Для такого вида сварки характерна трехступенчатая кинетика процесса: образование физического контакта между соединяемыми поверхностями, активация поверхностей и объемное развитие взаимодействия [5]. При формировании монолитного соединения прижатые друг к другу поверхности на-

чинают контактировать в точках касания, сконцентрированных в определенных областях. Из-за с неровностей поверхностей контактирующих металлов фактическая площадь касания значительно меньше номинальной площади контакта. Знакопеременная деформация, инициированная механическими тангенциальными УЗ-колебаниями сварочного инструмента приводит к увеличению числа пятен касания и превращению их в узлы схватывания. Сила сцепления двух металлических поверхностей, прижатых друг к другу под большим удельным давлением, зависит от деформационных явлений в соединяемых металлах и пропорциональна суммарной площади пятен касания. На реальных контактирующих поверхностях размеры этих пятен определяются волнистостью поверхностей (макрорельефом) и шероховатостью поверхности (микрорельефом). По мере увеличения сжимающего усилия происходит упругая деформация выступов микрорельефа, в соприкосновение входит все большее число выступов. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к пластической деформации контактирующих выступов и к упругой деформации более низких выступов. Сближение абсолютно чистых металлических поверхностей приводит к образованию атомарных металлических связей в плоскости контакта и к релаксации напряжений в окружающем микрообъеме сварной зоны.

Образуемый сварной шов имеет мелкодисперсную структуру, так как механическая деформация, вызываемая УЗ-энергией, приводит к измельчению и перемешиванию поверхностных зерен [1]. Наличие оксидов на контактирующих поверхностях не препятствует возникновению металлических связей. Под воздействием ультразвуковых тангенциальных колебаний происходит диспергирование оксидных пленок, слоев адсорбированной влаги и других загрязнений. Более твердая оксидная пленка растрескивается под воздействием направленных УЗ-колебаний. Осколки пленки, слои адсорбированной влаги и другие загрязнения вытесняются из зон схватывания, преобразуя их в участки металлического соединения [1, 5].

Чем больше доля упругой составляющей в общей упругопластической деформации, тем меньше сила сцепления соединяемых материалов. Значение остаточных напряжений в металле существенно уменьшается с уменьшением толщины, что объясняет явление сцепляемости при сварке тонких проволок и ленточных выводов [5]. Соединения при сборке микросхем и монтаже аппаратуры выполняются проводниками малой толщины (8–60 мкм). Однако самый тонкий проводник в десятки раз толще слоя металлической пленки на кристалле или подложке. Поэтому сварное соединение ограничено взаимодействием приконтактных слоев свариваемых материалов [3].

Для формирования надежного сварного соединения необходимо точно дозировать УЗ-энергию. Это позволяет повысить воспроизводимость качества сварки. Точное дозирование обеспечивается за счет автоматического отключения сварочного импульса, т.е. прекращения воздействия УЗ-колебаний

после формирования сварного соединения. В противном случае возможна чрезмерная деформация вывода, уменьшение прочности контактного соединения. На качество УЗ-сварки значительное влияние оказывает жесткость закрепления навесного элемента и подложки. Флуктуация жесткости закрепления приводит к нестабильности воздействия УЗ-энергии в зоне сварки, что также снижает воспроизводимость качества [1].

ФОЛЬГИРОВАННЫЙ ДИЭЛЕКТРИК ТИПА АЛЮМИНИЙ–ПОЛИИМИД

Гибкие носители представляют собой одно-, двух- и трехслойные ленты-носители. Число слоев определяется наличием в структуре ленты таких слоев, как металлическая фольга, диэлектрическая полимерная пленка и адгезив [7]. Наибольшее распространение при изготовлении бескорпусных микросхем с ленточными выводами получила двухслойная лакофольговая лента. Одно из достоинств такой ленты – отсутствие адгезионной прослойки между металлом и полимерной пленкой. При этом двухслойная структура характеризуется достаточно высокой силой межслойного сцепления. Носитель с безадгезионной высокопрочной структурой пригоден для фотолитографической обработки и группового избирательного травления слоев. Из технологического процесса его изготовления максимально исключено применение операции механической обработки.

Широко используемый при изготовлении носителей ИС и многослойных печатных плат диэлектрик марки ФДИ-АП [8] представляет собой двухслойную ленту, изготовленную нанесением полипиромеллитимидного лака на алюминиевую фольгу. Изготавливаемая сегодня промышленностью фольга алюминия различных марок используется главным образом лишь в качестве упаковочного, изоляционного и электротехнического материала. Такая фольга не может удовлетворять следующим требованиям, предъявляемым к конструкционным материалам, подвергающимся воздействиям температур, кислот, щелочей и механических напряжений:

- наличие ровной, без царапин волнистости, вмятин, коррозии и складок поверхности;
- высокие механические характеристики: прочность при разрыве не менее 100 МПа, низкая шероховатость поверхности, высокая прочность сцепления с лаковой пленкой;
- возможность формирования конструктивных элементов фотохимическим способом.

С тем, чтобы выпускаемую фольгу можно было использовать в качестве конструкционного материала, потребовалось изучение ее физико-механических свойств, отличающихся от свойств материала большей толщины (более 0,2 мм) [9, 10].

Изготовление фольги сопровождается глубокой деформацией металла, последствия которой полностью не устраняются отжигом. Сильная деформация может привести к образованию микроскопических трещин и надрывов на поверхности фольги

и вблизи включений фаз, оксидов, других металлов. Соизмеримость размера зерна с толщиной фольги оказывает влияние на процесс ее пластической деформации. Большое отношение поверхности фольги к ее объему может привести к усилению роли поверхностных явлений (окисления, адсорбции, абсорбции и т.п.). Кроме этого, малая толщина фольги по сравнению с ее шириной и отсутствие действующих по толщине напряжений приводят к образованию локальных деформаций при растяжении. Появление дефектов, видимых невооруженным глазом (макронефектов), говорит о том, что в материале одновременно образовались и видимые при достаточно большом увеличении микродефекты, которые проявляются при обработке материала. Но отсутствие макронефектов не гарантирует отсутствия в исходном материале микродефектов [10].

В обычных условиях на воздухе фольга покрывается очень прочной тончайшей ($1 \cdot 10^{-5}$ мм) оксидной пленкой [9]. Это – плотная и непористая пленка, прочно сцепленная с металлом, так как нижние ее слои повторяют строение кристаллической решетки алюминия. Наличие оксидной пленки обеспечивает высокую стойкость к воздействию кислот, щелочей, воды и загрязненного воздуха. Однако присутствие примесей, особенно меди, железа, магния, резко снижает устойчивость алюминия к воздействию агрессивных сред [9]. Неровности (микротрещины, царапины и т.п.),

образующиеся на поверхности фольги, являются эффективными концентраторами напряжений.

Эффективность технологического процесса фотохимического фрезерования, качество и точность изготовления элементов конструкции гибких носителей зависит от состояния поверхности металлической фольги перед нанесением защитной маски [11]. Остаточные механические и жировые загрязнения, неоднородность поверхности подложки снижают разрешающую способность процесса фотохимического фрезерования. При удалении с поверхности механических загрязнений и оксидов формируются определенная текстура и микрошероховатость поверхности, задающие размеры элементов конструкции. Характер и скорость травления при химическом фрезеровании зависят от структуры металла. Крупнозернистая поверхность алюминиевой фольги приводит к уменьшению разрешающей способности травления. Кроме того, на характер локального растворения поликристаллических материалов (в том числе и алюминия) оказывают влияние соседние кристаллы различной ориентации, что проявляется в неравномерном травлении элементов конструкции по полю одной детали и всей заготовки. Чем мельче кристаллическая структура металла или сплава, тем совершеннее статическое распределение ориентации зерен и тем равномернее протекает процесс травления [11]. Сле-

дует учитывать и существенное различие структур отожженных и неотожженных образцов, заключающееся в различной преимущественной ориентации кристаллов.

Температурная обработка поверхности фольги перед формированием защитной маски существенно влияет на качество деталей, повышая равномерность травления и точность изготовления элементов конструкции носителей.

Продолжение следует.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Дуболазов В.А., Синекон Ю.С., Томашпольский Л.В.** Технология сборки интегральных микросхем. – Киев, Виша школа, 1987.
2. **Фролов В.А., Пешков В.В., Коломенский А.Б., Казаков В.А.** Сварка. Введение в специальность. – М.: Интермет инжиниринг, 2004.
3. **Рыдзевский А.П., Беляков А.И., Онегин Е.Е.** Ультразвуковая сварка в микроэлектронике. – Обзоры по электронной технике. Сер. Технология, организация производства и оборудование. – М.: ЦНИИ Электроника, 1974, вып. 7(234).
4. **Баширов А., Морозов В.** Монтаж микросхем на гибком носителе – дань прошлому или приближение будущего? – Печатный монтаж, 2007, №5.
5. **Иванов-Есипович Н.К.** . Физико-химические основы производства радиоэлектронной аппаратуры – М.: Высшая школа, 1979.
6. **Шеревеня А.Г.** Автоматизированная сборка БИС на гибком носителе – Электронная техника. Сер. Технология, организация производства и оборудование, 1983, № 5 (120).
7. **Морозов В.В.** Сборка интегральных микросхем на гибких носителях с ленточными выводами. – М.: ООО "НТЦ Микротех", 2007.
8. **Худяков К.И., Баранов Е.М., Дольников С.С.** Промышленное производство беспроводных ИС на ленточном носителе алюминий-полиимид и сборка ИС на ленточных носителях. – Электронная техника. Сер. Технология, организация производства и оборудование, 1983.
9. **Петрова В.З.** и др. Материалы и химические процессы в технологии микроэлектроники. – Учебное пособие, ч. 3, М.: МИЭТ, 1993.
10. **Дриц М.Е., Каданер Э.С., Торопова Л.С., Копьев И.М.** Структура и свойства легированной алюминиевой фольги. – М.: Металлургия, 1975.
11. **Ипполитова Л.А., Пономарева З.И.** Подготовка поверхности металлов при химическом фрезеровании. – Электронная техника. Сер. Технология, организация производства и оборудование, 1983, вып. № 5 (120) .



Развитие солнечной энергетики в России



30 июня 2009 года в Москве прошел первый в России международный симпозиум, посвященный технологиям производства солнеч-

ных элементов и батарей, а также методам их тестирования и испытания. Его организатором выступила компания "Совтест АТЕ". На симпозиуме освещались такие актуальные вопросы, как перспективы развития солнечной энергетики в России, тонкопленочные технологии и оборудование для нанесения SiN на подложку, автоматизированное производство кристаллических солнечных элементов, оборудование для жидкостной химической обработки в производстве солнечных батарей, стандарты испытаний для кристаллических и тонкопленочных модулей в фотовольтаике, испытательные системы для солнечных модулей.

Материалы докладов для симпозиума были подготовлены представителями зарубежных партнеров "Совтест АТЕ", разрабатывающими технологии и оборудование для производства солнечных батарей. В ходе мероприятия были представлены новейшие технологии и оборудование фотовольтаики, широко применяемые в Европе и в США. Демонстрировалось оборудование для основных этапов изготовления солнечных батарей, включая оборудование для жидкостной химической обработки пластин (компания RENA), термических процессов (Despatch), для нанесения антиотражающего покрытия (Roth&Rau), а также оборудование для полной автоматизации производственных линий (MANZ Automation) и для тестирования готовых изделий (Votsch).

Симпозиум вызвал живой интерес у его участников, в числе которых были представители ведущих российских государственных корпораций, основных предприятий-производителей ФЭП и солнечных модулей в России, инновационных компаний и специализированных журналов. По результатам симпозиума уже обсуждается ряд международных проектов в сфере фотовольтаики, а также возможность создания в России ассоциации предприятий, работающих в сфере солнечной индустрии. Ее целью станет дальнейшее развитие фотоэлектрической энергетики в России, обмен опытом между ведущими производителями в данной области и укрепление инновационной составляющей российской экономики.

Отметим, что в России уже восемь предприятий обладают технологиями и производственными мощностями для изготовления солнечных элементов и модулей общей мощностью 2 МВт в год. Все вместе в год они выпускают фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) с суммарной мощностью около 12–13 МВт, что не превышает 1% от общемирового производства. Наиболее крупными являются предприятия "Солнечный ветер" (Краснодар), "Красное знамя" (Рязань), и "Квант-Солар" (Москва). Крупнейшим из них выступает "Солнечный ветер" с объемом производства 5 МВт (примерно 36% от общероссийского производства). Рязанская область располагает двумя предприятиями в этой сфере – ОКБ завода "Красное знамя" и "Рязанский завод металлокерамических изделий". Они выпускают ФЭП суммарной мощностью примерно 3 МВт в год (22% от общероссийского объема производства), на долю предприятий Московской области приходится порядка 40% российского рынка производимых ФЭП и модулей.

Как видно из приведенных данных, массовая солнечная энергетика в стране находится в самом начале становления, в связи с чем внутренний рынок солнечных элементов (модулей) имеет огромный потенциал. Определенное понимание данных перспектив есть и у руководства страны. Так, в январе этого года появилось Распоряжение Правительства РФ № 1р "Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года". В нем говорится о повышении энергетической эффективности электроэнергетики страны на основе использования возобновляемых источников энергии, и в том числе за счет солнечного излучения. Распоряжение также включает комплекс мероприятий, стимулирующих использование фотовольтаики для производства электроэнергии.

Одним из ведущих российских поставщиков оборудования и технологий для производства ФЭП и солнечных модулей выступает ООО "Совтест АТЕ" (Курск). Компания установила деловые отношения с ведущими производителями оборудования для солнечной энергетики из Европы, США и Азии. Благодаря этому компания реализует инновационные проекты по созданию в России современных производств для выпуска солнечных элементов и батарей. Важно отметить, что при этом используются как зарубежные "ноу-хау", так и новейшие разработки российских ученых в сфере фотовольтаики.

Д.Урманов, директор по развитию ООО "Совтест АТЕ"