

## КОНТАКТНОЕ СОЕДИНЕНИЕ БЕСКОРПУСНЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ГИБКОМ НОСИТЕЛЕ С ЛЕНТОЧНЫМИ ВЫВОДАМИ. ЧАСТЬ II\*

**И**звестно, что одна из важнейших задач при производстве радиоэлектронной аппаратуры – получение надежных монокристаллических высококачественных контактных узлов между микросхемами и платой, на которую они монтируются. Как же зависит качество таких контактов от состояния алюминиевой фольги, широко используемой при изготовлении носителей микросхем и многослойных печатных плат двухслойной лакофольговой ленты?

### ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ФОЛЬГИ

Высокая плотность топологии гибкого носителя предъявляет повышенные требования к качеству поверхности алюминиевой лакофольговой ленты. Измерения профиля и параметров шероховатости поверхности алюминиевой фольги, проведенные на профилометре контактном (тип 2, модель 17063), показали, что среднеарифметическое отклонение профиля  $R_a$  лежит в диапазоне 0,136–0,248 мкм, высота наибольшего выступа профиля  $R_v$  составляет 0,82 мкм и глубина наибольшей впадины профиля  $R_v$  – 0,650 мкм. Известно, что уменьшение шероховатости поверхности влияет на увеличение предела прочности фольги  $\sigma_B$  [1, см. ч.1]. Так, при  $R_a = 0,25$  мкм  $\sigma_B = 21,6$  кгс/мм<sup>2</sup>, а при  $R_a = 0,11$  мкм предел прочности увеличивается до 23,2 кгс/мм<sup>2</sup>, но при этом ухудшается адгезия фоторезиста и полимерного лака к поверхности фольги.

Результаты испытаний лакофольговой ленты в процессе фотолитографической обработки показали, что дальнейшее уменьшение шероховатости поверхности фольги не обеспечивает необходимую адгезию негативного фоторезиста, и фольга не может быть использована в производстве. Для выравнивания профиля фольги перед нанесением полиимидного лака ее поверхность подвергается процессу декапирования, в ходе которого с поверхности удаляется тончайший слой оксида и выявляется зернистая 12–10

\* Ч. I см. Печатный монтаж, 2009, №4–5, с12–10.

структура, что способствует большему сцеплению лакового покрытия с фольгой.

Для фольги, независимо от состава и структурного состояния, характерны низкие значения относительного удлинения, что связано главным образом с особенностями напряженного состояния тонкого сечения при растяжении [1, см. ч.1]. Степень прочности фольги зависит от природы сплава (наличия примесей) и определяется его структурой, т.е. размером зерна, наличием включений вторых фаз [10, см. ч.1], которые могут служить концентраторами напряжений и источниками дефектов тонкой фольги при прокатке. Кроме того, степень прочности зависит и от состояния внешних и внутренних поверхностей раздела. Измельчение зерна фольги по мере уменьшения толщины способствует повышению прочностных характеристик, тогда как наличие грубых включений вторых фаз и окисление поверхности приводят к снижению прочности [10, см. ч.1].

В силу направленного течения металла в процессе изготовления фольги неизбежна анизотропия физико-механических свойств, появление дислокаций, которые располагаются вдоль направления прокатки.

При формировании диэлектрического покрытия на алюминиевой фольге в результате частичной циклизации пленки возникают значительные напряжения, обусловленные термическим сжатием (усадкой), вызванным различием

коэффициентов термического расширения полиимидной пленки и алюминиевой фольги. Технология изготовления гибких полиимидных носителей с ленточными выводами предусматривает последовательную обработку исходного рулонного материала в различных химических кислотных и щелочных растворах. В результате химической обработки выявляются скрытые дефекты, возникшие в процессе формирования исходной ленты.

### МОНОЛИТНОЕ КОНТАКТНОЕ УЗ-СОЕДИНЕНИЕ ВЫВОДОВ ПРИ МОНТАЖЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Как отмечалось в части I, оптимальным по прочности, надежности, коррозионной стойкости является микросварное соединение элементов, выполненное из однородных металлов, например, алюминиевого вывода с алюминиевой контактной площадкой. Опыт показывает, что соединение алюминиевой проволоки с алюминиевым покрытием контактной площадки из-за низкого качества такого покрытия нестабильно как при сварке, так и при технологических испытаниях. Кроме этого, процесс гальванического нанесения алюминиевых покрытий на контактные площадки достаточно сложен, структура таких покрытий, формируемых при одних и тех же режимах, неодинакова у различных партий изделий [11, см. ч. I].

Для получения надежных и высокопрочных соединений при сборке и монтаже микросхем плакирующий материал наружной контактной рамки рекомендуется отжигать при температуре 330°C в течение 30 мин. Твердость материала составляет  $30 \cdot 10^{-5}$  н/м<sup>2</sup>, толщина металлизированного слоя алюминия марки А99 равна 18 мкм. Поверхность отоженных рамок следует также подвергать процессу электрохимического полирования, обезжириванию в изопропиловом спирте и промывке в деионизованной воде [12].

Специалисты, изучающие различные виды металлизации контактных площадок подложек и плат, пришли к выводу, что пленки алюминия, никеля и его сплавов являются наиболее перспективными покрытиями для формирования контактных соединений. Установлено, что качественные соединения алюминий-никель формируются УЗ-сваркой при отсутствии на никеле оксидных пленок толщиной 0,005–0,007 мкм и при значительной площади взаимодействия контактируемых материалов, т.е. при малой шероховатости поверхности никелевой металлизации ( $R_a = 0,32\text{--}0,16$  мкм). Это связано с большей микротвердостью никеля по сравнению с алюминием, что практически исключает пластическую деформацию материала покрытия при сварке [11]. Необходимая прочность сварных соединений с алюминиевым выводом обеспечивается только при достаточной площади физического контакта соединяемых поверхностей, при этом микротвердость и хрупкость снижают путем отжига [13]. Увеличение среднего размера зерна, числа пор и концентрации примесей в нике-

левом покрытии приводят к уменьшению площади физического контакта при сварке.

Установлено, что для получения никелевой металлизации контактных площадок, отвечающих требованиям микросварки, необходимо использовать сплавы, повышающие термическую стойкость получаемых покрытий, например, сплав никель-бор. Кроме того, следует уменьшать шероховатость поверхности предварительной обработкой контактных площадок на подложках и коммутационных платах [11, см. ч. I]. Прочность сварного соединения с покрытием никель-бор благодаря его меньшей твердости выше, чем при использовании покрытия из никеля.

### КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Проблема получения воспроизводимых от партии к партии качественных пленочных покрытий требует строгого контроля характеристик последних. Внешний вид, состояние поверхности, ее структура, конфигурация элементов контролируются визуально с помощью оптических приборов. Наиболее качественный контроль обеспечивают электронные, в том числе растровые электронные микроскопы. Структура пленок контролируется методами электронографии и рентгенографии, компонентный состав – с помощью микрорентгеноспектрального анализа.

При необходимости измеряются физические и диэлектрические свойства пленочных покрытий. При исследованиях пленочной металлизации широко используются растровый электронный микроскоп типа IEM-100СХ, растровый электронный микроскоп РЭМП-6 и спектрометр типа О9ИОС-10-005. Загрязнения поверхности пленочной металлизации контролируются методами контактной разности потенциалов с помощью «мягкого» зонда [13].

Надежность микросварного соединения алюминиевой фольги с проводниками платы оценивают путем контроля изменения абсолютного значения сопротивления в условиях повышенной температуры, влажности и протекания электрического тока. Интегральным показателем надежности микросоединения может служить электрическое сопротивление контакта, значение которого зависит от деградиционных явлений (коррозия, электромиграция металлов, образование интерметаллидов) в соединении [5, см. ч. I].

Комплексную оценку качества микросварного УЗ-соединения на образцах с различными физико-механическими свойствами металлизированного слоя проводят по числу обрывов свариваемых элементов у деформированной части проводника (у места сварки) и отслаиванию соединяемых материалов по границе раздела, т.е. в месте сварки. Эта оценка включает в себя среднюю сравнительную оценку качества сварного контактного соединения и материала промежуточного звена (алюминиевого вывода), относительную деформацию сварного соединения.

При неразрушающем контроле критерием оценки качества соединений является значение переходного сопротивле-

ния: соединения с минимальным переходным сопротивлением – наиболее надежны [3, см. ч. I].

### МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА КОНТАКТНОЙ ПЛОЩАДКИ НА КРИСТАЛЛЕ

При изготовлении контактных площадок на кристалле исходят из целого ряда требований, важнейшими из которых в свете рассматриваемого вопроса являются хорошее сцепление металла с диэлектриком и металлургическая совместимость со сплавами, которые применяются в качестве промежуточного звена при выполнении соединений с контактными площадками плат и подложек [14]. Чем крупнее размер зерна, тем совершеннее кристаллическая структура материала, меньше его удельное сопротивление, слабее проявляется эффект электромиграции и, как следствие, срок службы токоведущих дорожек и омических контактов увеличивается. Но крупнозернистая структура алюминиевых пленок из-за неравномерности травления краев элементов схем снижает разрешающую способность процесса травления и не позволяет получить точный рисунок коммутации микросхем [15].

Термообработка пленок приводит к миграции атомов металла и скоплению их вокруг крупных частиц с образованием высоких бугорков толщиной до 5–7 мкм. Эти процессы протекают при температуре 300–400°C. Вследствие анизотропии травления по границам зерен, при формировании рисунка на таких пленках с помощью фотолитографии получают неровные края алюминиевых линий. Другими словами, неровности линий зависят от размеров зерен поликристаллических пленок.

Низкая температура отжига алюминия (примерно 200°C) способствует снижению появляющихся в пленках механических напряжений [15].

### ВЫВОДЫ

Вероятно, ни один из способов формирования контактных узлов не является универсальным по сравнению с другими. При сборке и монтаже микросхем УЗ-метод присоединения алюминиевых выводов к контактными площадкам позволяет получать надежные контактные узлы для аппаратуры, работающей в жестких условиях [6, см. ч. I, 16]. При формировании контактного узла методом УЗ-сварки независимо от состояния поверхности материалов (крупнозернистая или мелкозернистая) пограничные зерна свариваемых металлов измельчаются и перемешиваются. Образующийся сварной шов имеет мелкодисперсную структуру. Осколки оксидной пленки, остаточные слои адсорбированной влаги и другие загрязнения вытесняются из зоны схватывания на поверхность сформированного контактного узла, не оказывая влияния на его надежность и работоспособность. Благодаря малой плотности алюминия обеспечивается большая электрическая проводимость на единицу массы. При одинаковом значении сопротивления алюминиевые проводники почти в два раза легче мед-

ных такой же длины. Технология сборки и монтажа приборов на ленточном носителе легко адаптируется к существующему автоматизированному оборудованию УЗ-сварки [16].

Технология формирования контактных узлов с использованием алюминиевых ленточных выводов успешно используется при создании радиационно стойкого бортового покрытия контактных поверхностей кристаллов и корпусов ИЭТ микропроцессорного комплекта [16]. При подготовке международного эксперимента ALICE на базе нового ускорителя нашли применение технологии изготовления гибких коммутационных элементов на основе безадгезионных алюминий-полиимидных лакофольговых диэлектриков [17] и сборки детекторных модулей и электронных узлов с использованием ленточных алюминиевых выводов.

### ЛИТЕРАТУРА

12. Григорьев А.М., Якубович О.В., Твердов О.К., Чернов Н.К., Янович В.П. Влияние материала наружной рамки на прочность соединений при групповой беспробочной сборке ИС. – Электронная техника. Сер. Технология, организация производства и оборудование, 1977, вып.2(81).
13. Сегал Ю.Е., Зенин. В.В, Фоменко Ю.А. Покрытие контактных поверхностей кристаллов и корпусов ИЭТ. – Петербургский журнал электроники, 2000, №1.
14. Шнейбл, Кин. Металлизация алюминием – преимущества и ограничения в приложении к интегральным схемам. Труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике./Пер. с англ. — М.: Мир, 1969, т.57, вып.9.
15. Черняев В. Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. – М.: Радио и связь, 1987.
16. Микроэлектроника бортовых вычислительных комплексов. Стратегия успеха/Под ред. Ю.Сметанова.– М.: Логос, 2006.
17. Замирец Н.В., Борщев В.Н. и др. Алюминиевая CHIP ON FLEX (COF) технология в радиационном приборостроении. УДК .624.315.21.621.3.049.77.002.72; 2008.