

## КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДВУХУРОВНЕВОЙ ГИБКОЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ

Рассмотрены основные конструктивно-технологические особенности изготовления двухуровневой гибкой печатной платы (ГПП) комбинированным методом на основе двухслойной полиимидной ленты ДЛ-ПМ. Описанный метод позволяет упростить технологический процесс изготовления ГПП, прежде всего за счет исключения операций гальванического наращивания, без ухудшения электрических параметров коммутации и плотности разводки. Отмечена возможность разработки рулонной технологии на базе существующего оборудования, что делает метод перспективным для массового производства ГПП.

В последнее время все более широкое применение при создании микроэлектронной аппаратуры (МЭА) находят гибкие печатные платы (ГПП). Наиболее перспективным материалом для изготовления гибких плат является полиимид. Полиимидные пленки имеют хорошие электроизоляционные свойства, высокую прочность на растяжение, жаропрочность и морозостойкость, химическую устойчивость по отношению к действию органических растворителей и кислот, а также способность к однородному травлению в сильных щелочных средах. Поэтому, несмотря на их несколько повышенное водопоглощение и относительно высокую стоимость, на пленках из данного материала изготавливается 70% ГПП [1].

В настоящее время двухуровневые ГПП изготавливаются в основном двумя методами — субтрактивным и полуаддитивным. Оба метода подробно рассмотрены в литературе [1—3].

Первый способ предполагает использование двухстороннего фольгированного диэлектрика типа ПФ и аналогичен тем, которые применяются в производстве печатных плат (ПП). Средняя разрешающая способность печатных линий при этом методе 0,25—0,3 мм.

Второй основан на использовании в качестве основания полиимидной пленки типа ПМ и предусматривает применение вакуумной металлизации. Средняя разрешающая способность при этом методе 0,15—0,2 мм.

Общим для обоих методов является применение гальванической металлизации для обеспечения надежности межуровневых соединений. Однако гальванические процессы имеют невысокую производительность, трудноуправляемы и трудоемки, требуют применения экологически вредных химических растворов и, в целом, усложняют изготовление ГПП.

С целью упрощения технологического процесса (ТП) разработан и опробован в производстве комбинированный метод изготовления двухуровневых ГПП.

Главная особенность метода состоит в использовании в качестве основания ГПП двухслойной полиимидной ленты типа ДЛ-ПМ, пред-

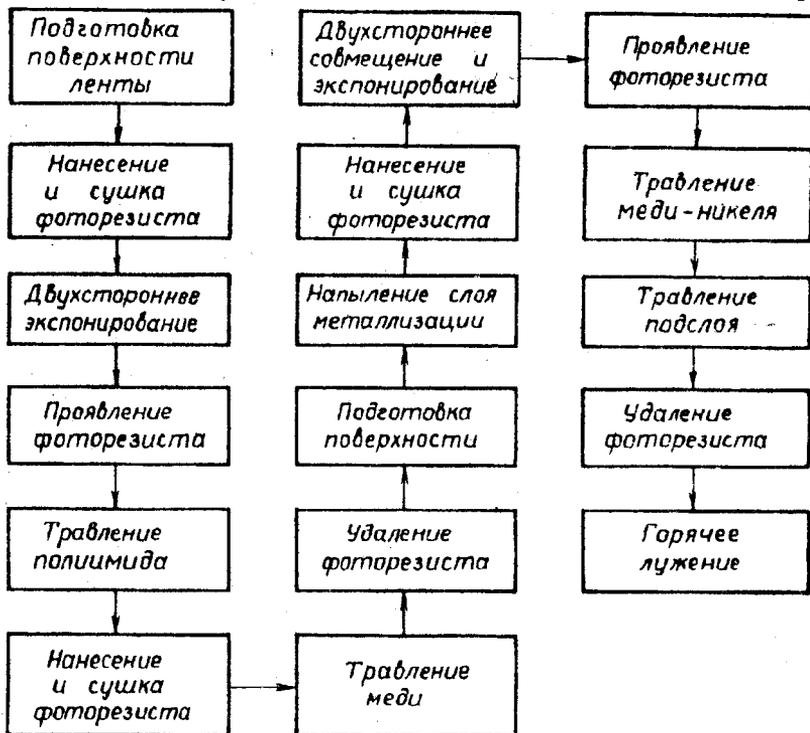


Рис. 1

ставляющей собой слой электролитической меди толщиной 35 мкм с полиимидным лаковым покрытием толщиной 12—25 мкм [4].

Схема комбинированного ТП изготовления ГПП показана на рис. 1. Наряду с формированием первого уровня коммутации субтрактивным методом, для формирования второго уровня коммутации используется вакуумная металлизация. Структура получаемой ГПП показана на рис. 2, где 1 — полиимидная пленка; 2 — 4 — первый и второй уровни коммутации (соответственно слой меди толщиной 35 мкм и структура титан—медь—никель); 3 — припой ПОС-61; 5 — металлизированное отверстие.

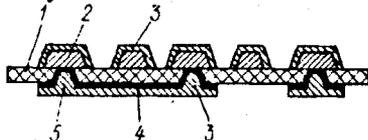


Рис. 2

Подготовку поверхности ленты, необходимую для обеспечения адгезии фоторезиста к фольге и полиимиду, выполняли в очистителе на основе уксусной кислоты и хлористого натрия.

Используя негативный фоторезист ФН11С на основе синтетического каучука, методом фотолитографии на обеих сторонах обработанной подложки формировали маску фоторезиста в соответствии с рисунком проводников первого уровня и рисунком переходных отверстий.

Для формирования переходных отверстий использовали горячий (110—115° С) раствор щелочи с добавками моноэтанолamina и триэтанолamina, который обеспечивает равномерное травление полиимида до уровня металлизации на всем поле подложки и создает благоприятный для последующей вакуумной металлизации профиль отверстия. Для полиимида толщиной 25 мкм фактор травления составляет 1,2—1,3.

Вскрытые со стороны полиимида участки металлизации защищали фоторезистор ФН11С.

Для травления ГПП разработаны и используются ряд травителей [5]. Выбор травителя определяется, с одной стороны, необходимой точностью воспроизведения рисунка, с другой — нейтральностью по отношению к применяемому фоторезисту и подложке. Удаление меди с пробельных участков производили в травильной машине струйного типа в медно-аммиачном растворе, имеющем в своем составе в качестве добавки, уменьшающей подтравливание, соль иодида. Температура раствора 45—50° С, время травления 2—2,5 мин.

В этих условиях маска из фоторезиста ФН11С сохраняет устойчивость и процесс обеспечивает высокую точность геометрических размеров элементов проводящего рисунка (ширина геометрии и зазоры 150 мкм при факторе травления не менее 3). Несмотря на щелочную реакцию раствора, следов воздействия травителя на пленку полиимида не наблюдалось.

Недостаток медно-аммиачного раствора — сложность процесса, обусловленная летучестью одного из компонентов — аммиака, и возможность взаимодействия с полиимидом. Поэтому при изготовлении ГПП целесообразно использовать более простые по составу и не вступающие в реакцию с полиимидной пленкой кислые хлоридные растворы на основе хлорного железа и хлорной меди, в которых маска из фоторезиста имеет достаточную стойкость.

После травливания меди с пробельных участков происходит усадка пленки полиимида (до 0,3% согласно ТУ). Кроме того, известно, что полиимидная пленка изменяет свои размеры при повышенных температурах, вакуумном осаждении пленок и при обработке в растворах, которые используются в процессе изготовления ГПП [2]. Поэтому для повышения жесткости и стабильности линейных размеров платы одновременно с проводниками первого уровня вокруг схемы формируют рамку из меди, в которой предусмотрены необходимые для последующих операций сквозные отверстия, в том числе базовые отверстия для совмещения с фотошаблоном при проведении второй фотолитографии.

На этом же этапе, при необходимости, формируют балочные выводы, предназначенные для соединения ГПП с жесткими ПП или разъ-

смами. Для этого при проведении операции травления полиимида одновременно с формированием переходных отверстий удаляют диэлектрик в местах балочных выводов.

Фоторезистивная маска удаляется в специальном смывающем составе Форсан, который представляет собой смесь алкилбензола и алкилбензосульфокислоты [6]. Обработка подложки в смывающем составе при температуре 110—115° С в течение 2—3 мин с последующей промывкой в толуоле и деионизованной воде позволяет добиться полного удаления фоторезиста с поверхности подложки, без применения механических воздействий.

Проводники второго уровня изготавливаются из меди, нанесенной вакуумным методом.

Для обеспечения адгезии напыленных слоев поверхность полиимидной пленки активируется. Подробно вопросы подготовки и контактного взаимодействия полиимида с металлическими пленками рассмотрены в работе [2].

Установлено, что наиболее сильное развитие микрорельефа поверхности полиимидной пленки и наибольшую адгезионную прочность обеспечивает обработка разбавленной хромовой смесью на основе серной кислоты при температуре 70—80° С с последующей сушкой в инертной среде или вакууме.

Для повышения адгезии меди с полиимидной пленкой на последнюю напыляется подслоя, причем степень адгезии зависит от температуры подложки и материала подслоя. Наиболее часто в качестве адгезионного слоя для меди используют титан, хром, ванадий. При одной и той же температуре осаждения наибольшая адгезионная прочность отмечается у структуры титан—медь, наименьшая — на структурах хром—медь. Структура межуровневого соединения получается такой, что контакт проводящих слоев осуществляется через адгезионный слой. Очевидно, что сопротивление подслоя увеличивает общее сопротивление переходного контакта, поэтому для обеспечения необходимой адгезии целесообразно использовать подслоя с наименьшим удельным сопротивлением.

Из приведенных соображений, а также с учетом того, что с уменьшением температуры осаждения уменьшается усадка полиимидной пленки, в качестве подслоя был выбран титан с  $\rho_s = 50—100$  Ом.

При определенной ширине печатного проводника выбор толщины металлизации зависит от предельно допустимой плотности тока, проходящего через проводник, и допустимой величины его активного сопротивления. Пленка меди толщиной 2—2,5 мкм обеспечивает удельное сопротивление меньше 0,02 Ом, что достаточно для большинства тонкопленочных схем [7]. Такая же толщина металлизации в отверстиях не ограничивает плотности тока или омического сопротивления, поскольку площадь поперечного сечения металлизации отверстия больше сечения проводника.

Однако известно, что при осаждении в вакууме распределение толщины металлизации на поверхности полиимида и стенках отверстий неодинаково. Минимальная толщина металлизации приходится на стенки возле дна отверстия и составляет 60—65% толщины на полиимиде (при факторе травления полиимида 1,2—1,3 угол наклона стенки отверстия составляет 50—53°). Поэтому, с целью исключения образования трещин на ступеньках, толщина напыляемого металла увеличивается до 3—4 мкм. С этой же целью для нанесения пленок используется магнетронное распыление, которое обеспечивает более качественное покрытие рельефа, чем термовакуумное испарение.

Для предотвращения растворения напыленной меди в припое при лужении ГПП поверхность меди защищается слоем никеля толщиной 0,1—0,2 мкм.

Напыление структуры титан—медь—никель выполняется в едином вакуумном цикле — напряжение разряда 400—600 В, ток разряда 3,5—5,0 А (в зависимости от материала мишени), давление рабочего газа — аргона — 0,3—0,4 Па, температура подложки 95—105° С.

Методом фотолитографии (с использованием ФН11С) защищается рисунок проводников первого уровня и формируется маска фоторезиста в соответствии с рисунком проводников второго уровня. Удаление слоя металла с пробельных участков осуществляется химическим травлением в два этапа.

После удаления фоторезистивной маски в Форсане получают два уровня коммутации со всем множеством необходимых межуровневых контактов.

Для снижения вероятности появления обрывов в металлизированных отверстиях и обеспечения присоединения выводов навесных элементов с контактными площадками платы коммутационные слои облуживаются оловянно-свинцовым припоем ПОС-61. При лужении происходит заполнение припоем переходных отверстий (см. рис.2). Переходное сопротивление отверстия диаметром 200 мкм составляет 50—100 мкОм. Толщина второго уровня металлизации после лужения увеличивается до 20—25 мкм.

По рассмотренному методу можно изготавливать платы с проводниками и зазорами шириной до 150 мкм для первого уровня коммутации и 100 мкм для второго уровня, диаметром переходных отверстий 100—150 мкм и менее, в зависимости от толщины диэлектрика. Предельные габариты платы ограничиваются шириной выпускаемого диэлектрика (150 мм), допустимым рассовмещением рисунка уровней коммутации, возникающим из-за усадки полиимидной пленки, и возможностями используемого оборудования.

Полученные результаты позволяют разработать рулонную технологию изготовления двухуровневых ГПП, при которой полиимидная лента непрерывно транспортируется через установки, осуществляющие отдельные операции процесса. Для обработки по такому принципу (за исключением операции вакуумной металлизации и второго экспо-

нирования, требующей совмещения рисунка) могут быть использованы автоматизированные модули линии «ЛАДОГА», предназначенной для изготовления ленточных БИС.

Разработанная двухуровневая ГПП имеет как достоинства, так и недостатки, и не претендует на полную замену других конструктивно-технологических вариантов ГПП. В каждом конкретном случае следует исходить из условий эксплуатации, назначения, обеспечения предельных характеристик, минимальной стоимости, объема производства и других факторов. В то же время комбинация двух технологий позволяет упростить ТП изготовления двухуровневых ГПП, прежде всего благодаря исключению трудоемких операций гальванического наращивания, без ухудшения электрических параметров коммутации и плотности разводки. Достоинством метода является также простота формирования балочных выводов для внешнего монтажа ГПП и возможность организации рулонной технологии на базе существующего технологического оборудования, что делает метод перспективным для серийного производства ГПП.

#### Список использованной литературы

1. Гаврюшин Н.Н. Методы изготовления гибких печатных плат и кабелей // Зарубеж. радиоэлектроника. 1985. №5. С.51—63.
2. Микроэлектронная аппаратура на бескорпусных интегральных микросхемах / И.Н.Воженин, Г.А.Блинов, Л.А.Коледов и др. Под ред. И.Н.Воженина. М., 1985. 264 с.
3. Ханке Х.-И., Фабиан Х. Технология производств радиоэлектронной аппаратуры / Пер. с нем. Под ред. В.Н.Черняева. М., 1980. 464 с.
4. Лента марок ДЛ-ИМ. ТУ 0.037.102.
5. Флеров В.Н. Химическая технология в производстве радиоэлектронных деталей. М., 1988. 104 с.
6. Смыывающий состав ФОРСАН-2. ТУ 6—01—1—334—88.
7. Бондаренко О.Е., Федотов Л.М. Конструктивно-технологические основы проектирования микросборок. М., 1988. 136 с.

Поступила в редколлегию 15.04.92

УДК 621.3.049.75

С. Г. КАПЛУНОВ, В. И. САЗОНЕЦ, инженеры

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА СТАБИЛИЗАЦИЮ РЕЖИМОВ ТЕРМОКОМПРЕССИОННОЙ СВАРКИ РАСЩЕПЛЕННЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

Исследовано влияние обработки ионами аргона печатных плат (ПП) на стабилизацию режимов термокомпрессионной сварки расщепленным электродом золотых выводов кристаллов БИС. На основе проведенных экспериментов установлено, что ионная обработка позволяет стабилизировать и уменьшить параметры режимов сварки, следовательно, снизить температурную нагрузку на контактные площадки ПП и обеспечить воспроизводимость качества сварного соединения. Определены оптимальные параметры процесса ионной очистки.

С целью повышения плотности компоновки микроэлектронных устройств бескорпусные кристаллы БИС устанавливают непосредственно на ПП. Золотые проволочные выводы кристаллов присоединяют к