

УДК 621.382.8.002.72

Д. т. н. В. Г. ВЕРБИЦКИЙ<sup>1</sup>, Н. И. ПЛИС<sup>2</sup>, к. т. н. В. Д. ЖОРА<sup>1</sup>, В. П. ГРУНЯНСКАЯ<sup>1</sup>Украина, г. Киев, <sup>1</sup>НИИ микроприборов НАНУ;Россия, г. Москва, <sup>2</sup>ОАО «Ангстрем»

E-mail: vdzhora@ukrpost.net

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СБОРКИ МИКРОСХЕМ НА ГИБКИХ ПОЛИИМИДНЫХ НОСИТЕЛЯХ

*Приведена классификация методов сборки микросхем с использованием гибких полиимидных носителей различных типов, проведен их сравнительный анализ. Выделен наиболее приемлемый метод изготовления двухслойных гибких носителей.*

*Ключевые слова:* сборка микросхем, гибкий полиимидный носитель, качество соединений.

Технологические процессы изготовления микросхем на современном этапе характеризуются все более усиливающимся влиянием сборочных операций как на стоимость микросхем, так и на их технические параметры (массогабаритные характеристики, показатели качества, надежности и т. п.). Это обусловлено тем, что изготовление кристаллов проводится на пластинах диаметром до 300 мм высокопроизводительными групповыми методами, а при сборке манипулируют с каждым отдельно взятым чипом. При этом не только масса и размеры микросхем определяются массогабаритными характеристиками корпусов, но и цена их зачастую более чем на половину зависит от стоимости последних [1].

Появление многовыводных БИС и СБИС с кристаллами, насчитывающими сотни контактных площадок, только усугубило проблемы, возникающие при проведении сборочных операций. Как следствие, возникла проблема создания многовыводных корпусов, которые стоят недешево. Вместе с тем рост сложности микросхем напрямую связан с потерей их универсальности. В результате увеличилась номенклатура ИС и уменьшилась их тиражность, что еще более обострило проблему обеспечения микроэлектронной промышленности корпусами [2]. Важно отметить, что сборка СБИС, имеющих сотни выводов, традиционными методами проволочного монтажа существенно затруднена вследствие их сложности и возможности замыкания проволочных перемычек.

Все это вместе взятое только усиливает интерес к нетрадиционным методам сборки, особенно к методам сборки на гибких полиимидных носителях (ГПН), имеющих так называемые организованные выводы [2]. Методы сборки на ГПН основываются на присоединении к кристаллам пайкой или сваркой предварительно сформированных гибких выводов, вытравленных, как правило, из металлической фольги

и чаще всего закрепленных на полимерном диэлектрическом основании (**рис. 1**). Ведущие зарубежные фирмы считают методы автоматической сборки на ленточном носителе (АСЛН или ТАВ — Tape Automated Bonding) наиболее перспективными для сборки многовыводных СБИС и активно используют их различные модификации в производстве.

С другой стороны, технология АСЛН позволяет за счет закрепления выводов на полиимидной пленке существенно уменьшить размеры контактных площадок на чипах до 25×25 мкм при расстоянии между ними до 12,5 мкм. При этом значительно уменьшается площадь кристаллов, которая в большей степени определяется числом компонентов на кристалле, чем размерами контактных площадок на них.

Целью настоящей работы являлись классификация и сравнительный анализ методов сборки микросхем с использованием гибких полиимидных носителей различных типов.

Большое разнообразие возможных вариантов сборки и монтажа микросхем предопределяет использование ГПН различных конструкций. Гибкие носители различаются:

- структурным строением;
- материалами выводов и полимерного основания;
- количеством выводов;
- способами присоединения выводов ГПН к кристаллам и монтажа готовых микросхем;

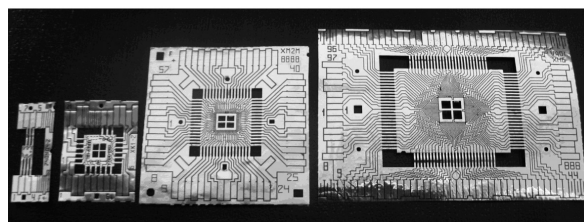


Рис. 1. Различные конструкции ГПН

— шириной лент, используемых как для изготовления ГПН, так и непосредственно при сборке ИС и их монтаже (сборочные ленты).

По структуре сборочные гибкие носители могут быть одно-, двух-, трех- и даже многослойными, получаемыми из двух и более обычных лент.

Однослойные ленты известных конструкций изготавливают из алюминиевой или медной фольги толщиной 35, 50 и 70 мкм. Их основным преимуществом является относительная дешевизна. К недостаткам, существенно ограничивающим их применение, относятся невозможность измерения параметров ИС на ленте (выводы до вырубки закорочены), возможность замыкания выводов на край кристалла и затруднения при сборке из-за неплоскостности выводов.

Более универсальны двухслойные гибкие носители, имеющие структуру «металл — полимер». Для изготовления выводов используется фольга, чаще всего катаная, например, медная толщиной 35 мкм [3] или алюминиевая толщиной 30 мкм [1, 2, 4], а в качестве диэлектрика — преимущественно полиимидный лак, который в процессе термообработки при определенных режимах превращается в полиимидную пленку [5]. Достоинствами двухслойного носителя являются высокая механическая прочность и стабильность размеров (отсутствие сдвига выводов при сварке). Он позволяет контролировать параметры ИС до вырубки, имеет широкий диапазон рабочих температур (от  $-200$  до  $+400^{\circ}\text{C}$ ) [5–7], и к тому же является сравнительно недорогим. Изготовление двухслойных ГПН требует травления как фольги, так и полиимида.

За рубежом наибольшее распространение получили трехслойные ленты-носители со структурой «металл — адгезив — полимер». Они позволяют проводить контроль и испытания ИС, имеют необходимую прочность при перемотке с катушки на катушку, сохраняют при этом плоскостность и не дают усадки, их параметры достаточно стабильны.

Технология изготовления трехслойных носителей, как правило, включает операции создания технологических окон в полиимидной пленке толщиной порядка 100 мкм методом прецизионной штамповки, приклеивания (дублирования) к этой пленке металлической фольги с помощью адгезива, фотолитографического травления фольги для получения выводов и, в случае использования медной фольги, дополнительного электрохимического покрытия выводов золотом или припоями. Правильный выбор адгезива, его толщины и обеспечение равномерности нанесения определяют качество трехслойного носителя. Так, например, при малой толщине адгезива ухудшается сцепление полимера с металлом, а при слишком большой — адгезив затекает в центральные отверстия и ухудшает обслуживаемость выводов. Следует отметить, что термостойкость адгезивов существенно ниже, чем у

полиимидов, что сказывается на общей термостойкости трехслойных носителей.

Выбор полимеров диэлектрического основания для изготовления гибких носителей достаточно широк. Применяются самые различные материалы: полиэтилентерефталат, полиимид (Kapton различных типов), полиэфирсульфон [6], полипарабановая кислота, гибкий эпоксипластик и даже полиэтилен. Наибольшее распространение получил полиимид вследствие его исключительной способности сохранять стабильность свойств при высоких температурах [5], что позволяет проводить операции термокомпрессии и эвтектической пайки кремния с золотом при температуре около  $400^{\circ}\text{C}$  [2]. Кроме того, полиимидные пленки характеризуются ценнейшими свойствами [7], такими как:

- высокая электрическая прочность (280 — 300 кВ/мм) [5];
- малая плотность ( $\gamma=1,42$  г/см<sup>3</sup>) [7];
- высокая радиационная стойкость (500 — 5000 Мрад) [7];
- низкая диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon = 3,5$ ) [5, 7];
- относительно высокая в сравнении с другими полимерами теплопроводность (150 — 180 Вт/мК) [8];
- высокая механическая прочность в сочетании с эластичностью [5];
- температурный коэффициент линейного расширения полиимида почти такой же, как и у металлов, применяемых для изготовления выводов ГПН (алюминия и меди);
- полиимидные пленки поддаются травлению в сильнощелочных растворах, что при необходимости позволяет получать в них сквозные отверстия [7, 8];
- газовыделение полиимидных пленок незначительное, что позволяет проводить вакуумное напыление различных металлов на них и даже изготавливать многослойные гибкие платы [1, 2, 4, 7].

Этот комплекс свойств полиимидных материалов предопределил их широкое использование в микроэлектронике не только в качестве полимерного основания в ГПН и в гибких платах, но и в качестве диэлектрического слоя при изготовлении многослойной металлизации на кристаллах СБИС.

За рубежом в качестве материала проводящего слоя для получения выводов, как правило, используется медь (толщиной от 20 до 76 мкм), позволяющая проводить сборку кристаллов высокопроизводительными методами групповой пайки. Медь в сравнении с алюминием обладает большей механической прочностью, а также тепло- и электропроводностью. Однако применение меди вызывает необходимость модификации технологии получения кристаллов с формированием на их контактных площадках монтажных шариковых или столбиковых выступов, например, из золота или меди с золотым или при-

пойным покрытием. Это вызвано тем, что в качестве материала контактных областей и межсоединений на кристалле в основном используется алюминий, который покрыт естественной оксидной пленкой, существенно затрудняющей пайку. Проведение модификации технологии, однако, ощутимо повышает стоимость кристаллов и является серьезным ограничением для применения меди [2].

К недостаткам меди относится также высокая окисляемость ее поверхности [2], создающая трудности при монтаже. В связи с этим медь используется только в составе многослойных проводников, в которых предусматривается защита ее поверхности, например, золотом или припоями.

В то же время, при использовании алюминия в качестве проводящего слоя (толщиной от 14 до 70 мкм) в местах соединения выводов с контактными областями кристаллов образуется однокомпонентная система Al—Al, не требующая создания дополнительных выступов на кристалле [2, 9]. В такой монометаллической системе исключается появление интерметаллических соединений в твердой фазе при эксплуатации приборов, в том числе при повышенных температурах. Немаловажным является и то, что алюминий, имеющий малый заряд ядра ( $Z=13$ ), не образует при облучении вторичных изотопов и устойчив к воздействию радиации [7, 9], а при более низкой в сравнении с медью теплопроводности дает выигрыш по массе примерно в 2 раза при одинаковом номинале сопротивления проводников [10]. Важно отметить также, что технология фотолитографического травления по алюминию достаточно хорошо отработана и позволяет получать проводники шириной до 28 мкм с точностью до  $\pm 3$  мкм при шаге менее 50 мкм [10].

В используемых в настоящее время ГПН количество выводов изменяется в довольно широком диапазоне — это и маловыводные ИС с количеством выводов меньше 10 (например, в случае ИС операционных усилителей) и ГПН для сборки СБИС, содержащие сотни выводов.

К кристаллам ИС ГПН монтируются либо групповой пайкой (выводы ГПН из меди с различными покрытиями, улучшающими пайку), либо сваркой, чаще всего ультразвуковой (выводы ГПН из алюминия). Важно подчеркнуть высокую надежность ультразвуковой сварки, т. к. при ее проведении имеется возможность подвода дозированной энергии УЗ-колебаний к каждому выводу ГПН. Проблема стоимости сборочных операций при этом решается путем применения высокоскоростных самообучающихся автоматов, например ЭМ-4062.

Готовые микросхемы на ГПН у потребителя можно монтировать либо пайкой (выводы ГПН из меди или алюминия с дополнительной обработкой [4]), либо ультразвуковой сваркой (выводы из алюминия) (рис. 2).

Ширина используемых сборочных лент, содержащих ГПН, изменяется в довольно широких пределах — от менее 10 до 150 мм.

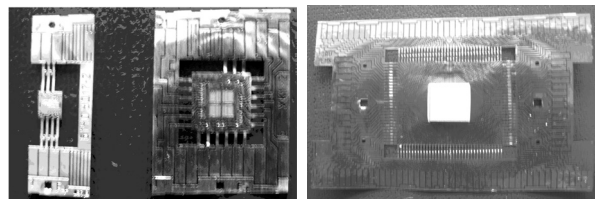


Рис. 2. Микросхемы на гибком полиимидном носителе (материал выводов — алюминий): для монтажа сваркой (слева) и для монтажа пайкой (справа)

Готовые микросхемы поставляются либо в виде сборочных лент, на которых бракованные ИС помечены или вырублены (ленты сформированы из материалов на основе меди), либо в виде дискретных компонентов, помещенных в специальную тару-спутник (рис. 3), допускающую проведение контроля и технологических отбраковочных испытаний (выводы ГПН изготовлены из алюминия), в том числе электротермотренировки при необходимости.

Характеристики ГПН и наиболее распространенных методов их получения приведены в таблице.

Учет всех свойств и особенностей изготовления кристаллов, гибких полиимидных носителей и сборки микросхем позволяет выделить в качестве наиболее приемлемого, по нашему мнению, метод изготовления двухслойных гибких носителей типа «алюминий — полиимид», который наиболее близок к так называемому идеальному гибкому носителю (см. таблицу).

Используя этот метод можно [11]:

- обеспечить высокую надежность после герметизации в составе микросборок за счет образования монометаллического соединения Al—Al при сварке на кристалле и большего поперечного сечения выводов ГПН в сравнении с проволочными соединениями, что делает их более прочными и облегчает отвод тепла от кристалла;
- практически исключить в отличие от проволочных проводников возможность короткого замыкания выводов за счет их закрепления на механически прочной полиимидной пленке, что особенно актуально для микросхем, работающих в условиях больших ускорений и ударных нагрузок;

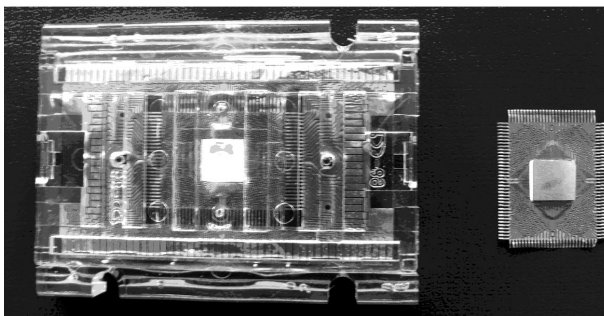


Рис. 3. Микросхема на гибком полиимидном носителе в таре-спутнике (слева) и монтажная часть микросхемы перед установкой на плату (пассивную подложку ГИС) (справа)

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Особенности проведения сборочных операций изделий с использованием различных модификаций ГПН в сравнении с идеальным ГПН

| Свойства и особенности изготовления изделий                                   | Структурное строение гибких носителей |    |               |               |                           |               | Идеальный ГПН |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----|---------------|---------------|---------------------------|---------------|---------------|
|                                                                               | Однослойные                           |    | Двухслойные   |               | Трехслойные (с адгезивом) |               |               |
|                                                                               | Cu                                    | Al | Cu — полиимид | Al — полиимид | Cu — полиимид             | Al — полиимид |               |
| Чипы                                                                          |                                       |    |               |               |                           |               |               |
| модификация техпроцесса изготовления                                          | +                                     | —  | +             | —             | +                         | —             | —             |
| применение драгметаллов и остродефицитных материалов                          | +                                     | —  | +             | —             | +                         | —             | —             |
| Гибкие носители                                                               |                                       |    |               |               |                           |               |               |
| обеспечение высокой радиационной стойкости                                    | —                                     | +  | —             | +             | —                         | ±             | +             |
| широкий диапазон рабочих температур                                           | +                                     | +  | +             | +             | —                         | —             | +             |
| возможность изготовления многослойных ГПН                                     | —                                     | —  | +             | +             | +                         | +             | +             |
| сохранение плоскостности выводов при сборке                                   | —                                     | —  | +             | +             | +                         | +             | +             |
| исключение замыкания на край кристалла                                        | —                                     | —  | +             | +             | +                         | +             | +             |
| необходимость защиты поверхности выводов                                      | +                                     | —  | +             | —             | +                         | —             | —             |
| возможность контроля сопротивления изоляции до сборки                         | —                                     | —  | +             | +             | +                         | +             | +             |
| необходимость в оборудовании для штамповки, нанесения адгезива и дублирования | —                                     | —  | —             | —             | +                         | +             | —             |
| необходимость травления полиимида                                             | —                                     | —  | +             | +             | —                         | —             | —             |
| относительная дешевизна                                                       | +                                     | +  | +             | +             | —                         | ±             | +             |
| возможность вакуумного нанесения дополнительных слоев металлов                | +                                     | +  | +             | +             | ±                         | ±             | +             |
| Микросхемы                                                                    |                                       |    |               |               |                           |               |               |
| исключение образования интерметаллидов                                        | —                                     | +  | —             | +             | —                         | +             | +             |
| контроль электропараметров до вырубки                                         | —                                     | —  | +             | +             | +                         | +             | +             |
| технологические отбраковочные испытания, в том числе электротермотренировки   | —                                     | —  | +             | +             | +                         | +             | +             |
| монтаж сваркой или пайкой по выбору потребителя                               | —                                     | ±  | —             | +             | —                         | ±             | +             |
| автоматизация процессов сборки                                                | —                                     | —  | +             | +             | +                         | +             | +             |

Примечание: «+» требование выполняется; «—» требование не выполняется; «±» требуется доработка

— обеспечить возможность монтажа в микроэлектронную аппаратуру (**МЭА**) как ультразвуковой сваркой, так и пайкой после дополнительной обработки алюминиевых выводов [4];

— обеспечить возможность сборки на одном ГПН (микрокабеле) типа «алюминий — полиимид» нескольких кристаллов, в том числе с различным количеством выводов и шагом контактных площадок [9];

— повысить плотность монтажа МЭА за счет уменьшения ширины выводов ГПН до

30 — 40 мкм и шага контактных площадок до 80 мкм [9, 10];

— обеспечить возможность сборки многослойных БИС и СБИС, имеющих сотни выводов, когда применение традиционной проволочной сборки затруднено, в то время как использование многослойных ГПН не вызывает особых проблем и допускает использование сборочных автоматов;

— обеспечить возможность использования ГПН при сборке БИС и СБИС, работающих в

условиях радиационных нагрузок, благодаря исключительно высокой радиационной стойкости полиимида и алюминия.

\*\*\*

Таким образом, проведенный анализ показал, что гибкие носители типа «алюминий — полиимид» имеют существенное преимущество в сравнении с другими конструкциями и обеспечивают высокую надежность микросхем в составе герметичных микросборок, а также в электронной аппаратуре, работающей при больших ускорениях и ударных нагрузках. Оправдано также использование таких ГПН при сборке ИС, работающих в условиях радиационных нагрузок. Применение микросхем на ГПН в бытовой МЭА возможно после герметизации полимерными материалами и защиты поверхности плат. В случаях многовыводных БИС и СБИС, имеющих сотни выводов, методы сборки микросхем на ГПН практически не имеют альтернативы.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Гуськов Г. Я., Блинов Г. А., Газаров А. А. Монтаж микроэлектронной аппаратуры. — Москва: Радио и связь, 1986. [Gus'kov G. Ya., Blinov G. A., Gazarov A. A. Montazh mikroelektronnoy apparatury. Moscow: Radio i svyaz', 1986.]
2. Воженин И. Н., Блинов Г. А., Коледов Л. А. и др. Микроэлектронная аппаратура на бескорпусных интегральных микросхемах. — Москва: Радио и связь, 1985. [Vozhenin I. N., Blinov G. A., Koledov L. A. i dr. Mikroelektronnaya apparatura na beskorpusnykh integral'nykh mikroskhemakh. Moscow: Radio i svyaz', 1985]
3. Бельский В. З., Сейсян Р. П., Шубина Т. В. БГИС модули — новая элементная база широкополосных телевизионных приемников // Электронная промышленность. — 1980. — № 4. — С. 17—22. [Belen'skii V. Z., Seisyans R. P., Shubina T. V. // Elektronnaya promyshlennost'. 1980. N 4. P. 17]
4. А. с. 1 781 733 СССР. Способ сборки интегральных схем // А. Г. Шеревеня, И. А. Тучинский, В. Д. Жора. — 1992. — Бюл. № 46. [A. s. 1 781 733 USSR // A. G. Sherevenya, I. A. Tuchinskii, V. D. Zhora. 1992. Byul. N 46]
5. Бессонов М. И., Котон М. М., Кудрявцев В. В., Лайус Л. А. Полиимиды — класс термостойких полимеров. — Ленинград: Наука, 1983. [Bessonov M. I., Koton M. M., Kudryavtsev V. V., Laius L. A. Poliimidy — klass termostoikikh polimerov. Leningrad: Nauka, 1983]
6. Гаврюшин Н. Н. Методы изготовления гибких печатных плат и кабелей // Зарубежная радиоэлектроника. — 1985. — № 5. — С. 51—63. [Gavryushin N. N. // Zarubezhnaya radioelektronika. 1985. N 5. P. 51]
7. Борщев В. Н., Листратенко А. М., Антонова В. А. и др. Светодиодные модули на основе алюминиевой «chip on flex» (COF) технологии // Світлотехніка та електроенергетика. — 2008. — № 4. — С. 31—37. [Borshchev V. N., Listratenko A. M., Antonova V. A. i dr. // Svitlotekhnika ta elektroenergetika. 2008. N 4. P. 31]
8. Плис Н. И., Вербицкий В. Г., Жора В. Д. и др. Технология сборки микросхем на гибком полиимидном носителе // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2010. — № 5—6 (89). — С. 43—45. [Plis N. I., Verbitskii V. G., Zhora V. D. i dr. // Tekhnologiya i

Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature. 2010. N 5—6 (89). P. 43]

9. Перевертайло В. Л., Жора В. Д., Грунянская В. П. и др. Применение гибких носителей при сборке кремниевых детекторов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2009. — № 1 (79). — С. 40—44. [Perevertailo V. L., Zhora V. D., Grunyan'skaya V. P. i dr. // Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature. 2009. N 1 (79). P. 40]

10. Борщев В. Н., Антонова В. А., Листратенко А. М. и др. Комплексный подход к выбору конструктивно-технологических решений гибко-жестких однодетекторных модулей для комптоновской медицинской томографии / В сб. Сцинтилляционные материалы. Инженерия, устройства, применение. — Харьков: «ИСМА», 2009. — С. 111—127. [Borshchev V. N., Antonova V. A., Listratenko A. M. i dr. / V sb. Stsintillyatsionnye materialy. Inzheneriya, ustroystva, primeneniye. Khar'kov: «ISMA», 2009. P. 111]

11. Плис Н. И., Вербицкий В. Г., Волнистов В. Н. и др. Преимущества сборки микросхем на гибком полиимидном носителе // Тр. 11-й Междунар. научн.-практ. конф. «Современные информационные и электронные технологии». — Украина, г. Одесса. — 2010. — Т. II. — С. 51. [Plis N. I., Verbitskii V. G., Volnistov V. N. i dr. // Tr. 11-i Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. «Modern information and electronic technologies». Ukraine, Odessa. 2010. Vol. II. P. 51]

*Дата поступления рукописи  
в редакцию 03.06 2013 г.*

Verbitskiy V. G., Plis N. I., Zhora V. D., Grunyan'skaya V. P. **Comparative analysis of methods for the microcircuit assembly on flexible polyimide carriers.**

*Keywords: assembly of chips, a flexible polyimide carrier, connections.*

The article presents a classification of methods for the microcircuit assembly with the use of flexible polyimide carriers of different types, and their comparative analysis. The most appropriate method for the manufacturing of flexible dual-layer carriers is singled out.

Ukraine, Kiev, Institute of Microdevices of NASU; Russia, Moscow, JSC «Angstrom».

Вербицкий В. Г., Плис М. И., Жора В. Д., Грунянская В. П. **Порівняльний аналіз методів складання мікросхем на гнучких поліімідних носіях.**

*Ключові слова: складання мікросхем, гнучкий поліімідний носій, якість з'єднань.*

Наведено класифікацію методів складання мікросхем з використанням гнучких поліімідних носіїв різних типів, проведено їх порівняльний аналіз. Виділено найбільш прийнятний метод виготовлення двошарових гнучких носіїв.

Україна, м. Київ, НДІ мікроприладів НАНУ; Росія, м. Москва, ВАТ «Ангстрем».