

УДК 621.3.049.776

Д. т. н. В. Г. СПИРИН

Россия, Арзамасский политехнический институт (филиал) НГТУ

E-mail: spvl49@mail.ru

МНОГОУРОВНЕВЫЕ ПЛАТЫ С ТОЛСТОПЛЕНОЧНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Разработаны три конструктивно-технологических варианта многоуровневых плат, в которых в качестве межуровневой и защитной изоляции применяется термостойкая толстая (10–30 мкм) пленка фоточувствительного органического диэлектрика. Это позволяет присоединять выводы компонентов к контактным площадкам на межуровневой изоляции методами ультразвуковой сварки и пайки. Количество межуровневых соединений проводников в таких платах сведено к минимуму. Трудоемкость и себестоимость изготовления платы могут быть снижены в 2–3 раза по сравнению с известными тонкопленочными прототипами.

Ключевые слова: микросборка, многоуровневая плата, толстопленочная полимерная изоляция.

На пути перехода от микро- к наноэлектронике неуклонно ужесточаются требования к уменьшению площади, занимаемой межсоединениями проводников разных уровней. Рост функциональной сложности электронных устройств, использование многовыводных полупроводниковых компонентов в микросборках (МСБ), постоянно возрастающие требования к быстродействию и плотности упаковки заставляют разработчиков электронных устройств искать новые конструктивно-технологические решения проектирования и изготовления коммутационных плат, которые зачастую не удовлетворяют этим требованиям.

В тонкопленочных многоуровневых платах используют пленки диэлектрика толщиной 2–4 мкм. Такая толщина пленок не позволяет создавать межуровневую изоляцию (МИ) без ее проколов, что может вызывать короткие замыкания между проводниками разных уровней. Причинами проколов являются пористость диэлектрика, загрязнения, неоднородность структуры подложки, механические повреждения и т. д. Чтобы исключить образование сквозных проколов, МИ формируют в 2–3 слоя [1, с. 250], что, естественно, увеличивает трудоемкость изготовления МСБ. Увеличение же толщины МИ приводит к возрастанию высоты ступенек, на которых происходит обрыв проводников второго и последующих уровней [2, с. 265].

Таким образом, основными технологическими проблемами, которые возникают при создании тонкопленочной многоуровневой коммутации, являются пробой изоляции и обрыв проводников на ступеньках МИ. При этом оба эти дефекта связаны между собой: увеличивая тол-

щину МИ, можно исключить ее пробой (практические исследования, выполненные авторами [3], показывают, что при толщине диэлектрического слоя более 8 мкм сквозные поры в МИ отсутствуют), но при этом в известных конструктивно-технологических вариантах многоуровневых плат с неорганическими и органическими диэлектриками становится проблематичным предотвращение обрыва проводников на ступеньках МИ.

Еще одной серьезной проблемой создания тонкопленочной многоуровневой коммутации является высокая трудоемкость изготовления, которая обусловлена большим количеством технологических операций по формированию МИ и высших уровней коммутации. Например, формирование МИ из полиимидного лака в два слоя требует 12 операций. Из-за высокой трудоемкости и низкого процента выхода годных плат их себестоимость существенно повышается.

В многоуровневых платах на жестких подложках в качестве МИ используют органические и неорганические диэлектрики. Предельная толщина неорганического диэлектрика, получаемого методами вакуумного осаждения, обычно не превышает 3–4 мкм, при этом паразитная емкость в местах пересечений составляет 1–2 пФ при ширине проводников 100 мкм. Целью данной работы была разработка многоуровневых коммутационных плат, содержащих тонкопленочные резисторы, конденсаторы, проводники и контактные площадки (КП), в которых в качестве МИ используется толстая пленка органического диэлектрика.

Органические диэлектрики толщиной более 10 мкм после полимеризации образуют плотную пленку без пустот и трещин. Для создания на-

дежной изоляции толщина пленки органического диэлектрика должна составлять 20–30 мкм. Следует отметить, что полимеры имеют высокий, порядка $10^{-4} \dots 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, температурный коэффициент линейного расширения и поэтому плохо совместимы с металлами и полупроводниками. Однако высокая эластичность полимеров и сравнительно небольшой интервал рабочих температур электронных устройств позволяет широко применять их в виде пленок на поверхности любого материала [4].

Количество межуровневых соединений можно существенно уменьшить, если присоединять выводы компонентов к КП, расположенным на МИ. При монтаже бескорпусных компонентов используют в основном три метода присоединения их выводов к КП платы [5]: термокомпрессионная сварка (ТКС), ультразвуковая сварка (УЗС) и пайка. ТКС используется для монтажа золотых проволочных выводов интегральных схем (ИС) модификации 1, а УЗС — для монтажа ленточных алюминиевых выводов ИС модификации 2. Пайкой присоединяются ИС с жесткими организованными выводами. Это бескорпусные кристаллы с объемными выводами, монтируемые методом перевернутого кристалла, компоненты в микрокорпусах, пассивные компоненты. В табл. 1 приведены основные параметры технологических режимов [2, с. 221; 5, с. 96] присоединения выводов компонентов к КП платы МСБ.

Многоуровневая коммутация необходима при разводке ИС, имеющих организованные выводы (ИС модификации 2, ИС в микрокорпусах и ИС, монтируемые методом перевернутого кристалла). Выводы ИС модификации 1 всегда можно развести в одном уровне коммутации. Поскольку выводы такой ИС соединяются с КП

платы термокомпрессионной сваркой, при которой место соединения сильно нагревается, они монтируются только к КП первого уровня коммутации. Согласно табл. 1, максимальная рабочая температура ($T_{p \max}$) МИ должна составлять не менее 250°C . Основные параметры некоторых нагревостойких полимеров, выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью, приведены в табл. 2.

В России в качестве МИ используются лаки ПАК-1 и ПБИ-1. Эти полимеры имеют высокую радиационную и температурную стойкость, обладают хорошим набором технологических свойств: отсутствие газовой выделения в вакууме до температур 200–250 $^\circ\text{C}$, устойчивость к воздействию кислот и пригодность к травлению [6, с. 176]. Однако, кроме того, что отечественные полимеры очень дорогие, они обладают высоким влагопоглощением, что создает определенные неудобства: хранить такие лаки и наносить их на подложки можно только в сухих помещениях, перед герметизацией МСБ платы необходимо высушивать. Повышенное влагопоглощение ухудшает частотные свойства полимеров. Кроме того, эти лаки не фоточувствительны, что увеличивает трудоемкость процесса формирования рисунка МИ вследствие необходимости применения фоторезиста.

Для применения в качестве МИ более перспективным видится применение фотоэкспонируемых паяльных масок [7, с. 172], которые широко используют при производстве печатных плат. Несмотря на то, что нагревостойкость таких полимеров ниже, чем отечественных лаков, их применение более предпочтительно благодаря технологическим свойствам. Например, в состав паяльной маски Sagarase EMP 110HR входят эпоксидная и акриловая смолы, а также

Таблица 1
Технологические режимы присоединения выводов компонентов к КП платы

Метод монтажа	Соединяемые металлы		Усилие сжатия, Н	Температура в месте соединения, $^\circ\text{C}$	Время соединения, с
	Выводы ИС	КП платы			
ТКС	Au, Al	Cr–Al, Cr–Cu–Ni	0,03–0,5	400–550	0,2–1,0
	Au	Припой	—	220–250	
УЗС	Al	Cr–Al, Cr–Cu–Ni	0,2–0,4	150–200	0,3–0,8
Пайка	Припой	Припой	—	145–250	1–3

Таблица 2

Параметры органических диэлектриков

Тип диэлектрика	Электрическая прочность, В/мкм	Диэлектрическая проницаемость	$T_{p \max}$, $^\circ\text{C}$
Полиимидный лак ПАК-1	150	3,5 (1 кГц)	400
Полибензоимидазольный лак ПБИ-1	100	4 (1 кГц)	400
Фотоэкспонируемая паяльная маска Sagarase EMP 110HR	85	4 (1 МГц)	270
Фоторезистивный материал SU-8	—	3–4 (10 МГц)	270

фоточувствительные добавки. (К преимуществам эпоксидов относятся отсутствие побочных продуктов и очень малая усадка (0,2...0,5%) при отверждении, высокая смачивающая способность и адгезия к различным материалам.) Эта паяльная маска обладает высокими разрешением (позволяет формировать перемычки шириной 25 мкм), механической прочностью и твердостью (7 баллов по десятибалльной шкале Мооса), скоростью экспонирования и проявления, а также отличными электроизоляционными свойствами и влагостойкостью.

SU-8 является негативным фоторезистом, относящимся к типу эпоксидных смол [8]. Это относительно недорогой материал. В микросистемной технике из него изготавливают диэлектрические структуры толщиной 2—1000 мкм. Этот фоторезист обладает превосходными адгезионными качествами, его применяют практически с любыми подложками.

Использование толстой пленки МИ исключает ее пробой и снижает паразитную емкость между проводниками разных уровней, что повышает быстродействие электронных устройств. С другой стороны, традиционно считается, что толстые пленки МИ не позволяют получать надежные межсоединения тонкопленочных проводников разных уровней, что является основной проблемой для создания надежной многоуровневой коммутации с высокой плотностью проводников в каждом уровне. Рассмотрим, каким образом можно ее решить.

В печатных платах, в том числе и гибких полиимидных, проводники формируют на двух противоположных поверхностях, поэтому для соединения проводников разных уровней используются переходные отверстия, которые иногда занимают до 30% площади платы. В тонкопленочных и толстопленочных платах проводящие и изолирующие слои формируются на одной поверхности подложки. В этом случае формирование переходных межуровневых соединений не всегда обязательно, т. к. присоединение выводов компонентов непосредственно к КП конкретного уровня проводников возможно через окна в изоляции. При этом межсоединения, формируемые в каждом уровне, должны быть максимально независимы друг от друга.

Рассмотрим три конструктивно-технологических варианта (**КТВ**) многоуровневых плат [9], которые различаются методами присоединения выводов компонентов к КП платы. Как правило, во всех трех вариантах в первом уровне, т. е. на подложке, располагают резисторы, нижние электроды конденсаторов, сигнальные проводники и КП, к которым присоединяются выводы любых компонентов и внешние выводы МСБ. Для повышения плотности коммутации в первом уровне располагают проводники с минимальной шириной, т. к. технологически это проще сделать именно в первом уровне. Кроме того, это более эффективно и с экономической точки

зрения, поскольку операции с высокой вероятностью брака желательно выполнять на более ранней стадии изготовления платы. В последующих уровнях коммутации располагают проводники питания и сигнальные проводники с большей шириной, а также электроды конденсаторов и КП.

Первый КТВ платы с многоуровневой коммутацией предназначен для присоединения выводов компонентов к КП только сваркой. Такая двухуровневая плата показана на **рис. 1**. Основными компонентами в данном случае являются ИС и полупроводниковые приборы модификации 1 и 2, а также пассивные компоненты. Их выводы присоединяются к КП любого уровня методом УЗС, а выводы компонентов модификации 1 могут развариваться на КП первого уровня также методом ТКС [10, с. 64].

Последовательность технологических операций изготовления такой платы следующая:

1. Напыление структуры Cr—Al—Cr (толщина слоя 1—1,5 мкм);
2. Формирование проводников и КП первого уровня;
3. Формирование резисторов из Cr;
4. Химическая и ионная очистка подложки;
5. Нанесение и формирование рисунка МИ (20—30 мкм);
6. Химическая и ионная очистка подложки;
7. Напыление структуры Cr—Al (1—1,5 мкм)
8. Формирование проводников и КП второго уровня;
9. Формирование защитной изоляции (20—30 мкм);
10. Разделение подложки на платы.

Многоуровневые платы используют в основном при создании цифровых МСБ, в которых применяют резисторы с большими допусками и низкой стабильностью. Поэтому адгезионный подслои хрома первого уровня коммутации может быть использован в качестве резистивного материала. Верхний слой хрома в проводниках и КП первого уровня обеспечивает адгезию МИ и проводящей пленки второго уровня. Для повышения адгезии пленок проводят и химическую, и ионную межоперационную очистку подложек.

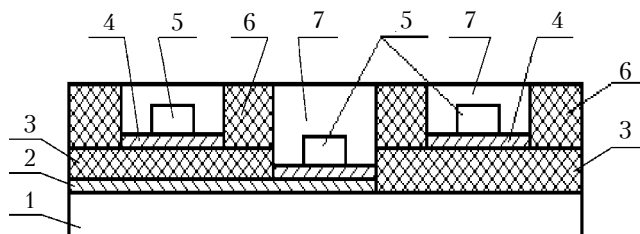


Рис. 1. Конструкция, предназначенная для соединения КП разных уровней коммутации сваркой: 1 — подложка; 2 — КП первого уровня; 3 — МИ; 4 — КП второго уровня; 5 — выводы ИС; 6, 7 — защитная изоляция и окна в ней

При формировании защитной изоляции (ЗИ) оставляют открытыми только КП для присоединения выводов компонентов и внешних выводов МСБ. Она формируется из того же диэлектрика и теми же способами, что и межуровневая изоляция.

Отметим, что монтаж компонентов на КП рассматриваемой платы легко осуществим, т. к. выводы бескорпусных компонентов обладают хорошей гибкостью. В случае необходимости соединения КП разных уровней, используют проволочные или ленточные перемычки из алюминия или вывод ИС модификации 2, разваривая их методом УЗС на КП разных уровней. Компоненты рекомендуется устанавливать на МИ, при этом увеличивается количество проводников первого уровня, т. к. они могут проходить под компонентами, а теплоотвод от компонентов ввиду малой толщины МИ ухудшается незначительно.

Второй КТВ платы с многоуровневой коммутацией предназначен для монтажа смешанных компонентов, выводы которых соединяются с КП платы либо сваркой, либо пайкой, а также в случае необходимости позволяет формировать большое количество межуровневых соединений. Он представляет собой комбинацию фрагментов, изображенных на рис. 1 и рис. 2, где показана конструкция, которая предназначена для межуровневого соединения пайкой. Технологический процесс изготовления такой платы практически такой же, как и платы первого КТВ, отличие заключается лишь в том, что здесь последний уровень коммутации (7-я операция) формируют из структуры $\text{Cr}-\text{Cu}-\text{Ni}$ (2–2,5 мкм). На КП, используемые для присоединения выводов компонентов пайкой и (или) для соединения разных уровней коммутации, с помощью дозатора наносят припойную пасту и устанавливают компоненты, выводы которых соединяются с КП платы пайкой. Затем плату помещают в печь и оплавливают припой, который при этом полностью заполняет окна в ЗИ. С целью минимизации количества межуровневых переходов их рекомендуется объединять с КП для пайки вывода компонента. Длина КП в каждом уровне коммутации (см. рис. 2) равна по-

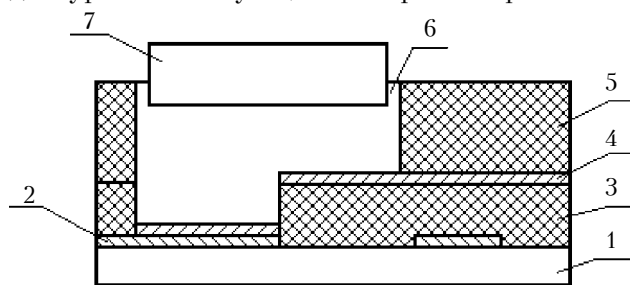


Рис. 2. Конструкция, предназначенная для соединения КП разных уровней коммутации пайкой: 1 — подложка; 2 — КП первого уровня; 3 — МИ; 4 — КП второго уровня; 5 — ЗИ; 6 — припойная паста; 7 — вывод ИС

ловине длины КП знакоместа компонента. Такой подход к конструированию платы повышает плотность упаковки и обеспечивает высокую надежность межуровневых соединений благодаря большим размерам КП. Компоненты, выводы которых присоединяются сваркой, устанавливают на заключительном этапе сборки платы.

Третий КТВ платы с многоуровневой коммутацией предназначен для установки компонентов с жесткими матричными или периферийными выводами методом пайки и представляет собой комбинацию фрагментов, изоб-

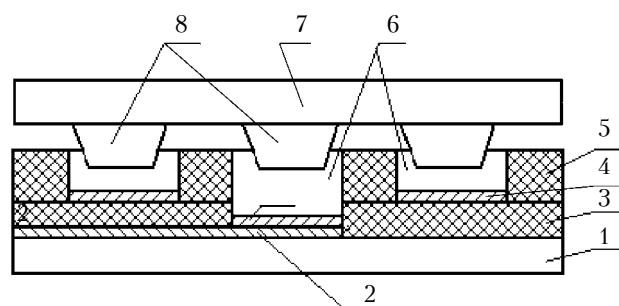


Рис. 3. Конструкция, предназначенная для соединения КП разных уровней коммутации методом перевернутого кристалла:

1 — подложка; 2 — КП первого уровня; 3 — МИ; 4 — проводники и КП второго уровня; 5 — ЗИ; 6 — припойная паста; 7 — ИС с объемными выводами 8

раженных на рис. 2 и рис. 3. Отличие технологии изготовления таких плат от второго КТВ состоит в том, что все КП и переходные отверстия платы подвергаются лужению. Нанесение припойной пасты осуществляется известными методами [11].

Небольшое усложнение технологического процесса изготовления многоуровневых плат [12] позволит проводить контроль параметров межуровневой изоляции, таких как сопротивление и стойкость к высокому напряжению — для этого каждый уровень проводников необходимо соединить проводящими технологическими перемычками и сформировать над ними окна в МИ для их последующего удаления методом фотолитографии и травления.

Заключение

Таким образом, разработаны три конструктивно-технологических варианта многоуровневых плат, в которых, в отличие от известных технических решений, в качестве межуровневой и защитной изоляции применяется термостойкая толстая (10–30 мкм) пленка фоточувствительного органического диэлектрика. Это позволяет присоединять выводы компонентов к контактным площадкам, расположенным на межуровневой изоляции, методами ультразвуковой сварки и пайки и исключает проколы изоляции, свой-

ственные тонким пленкам. Количество межуровневых соединений проводников сведено к минимуму, что повышает надежность плат и плотность межсоединений. За счет применения фотоэкспонируемой паяльной маски и формирования межуровневой и защитной изоляции в один слой трудоемкость и себестоимость изготовления многоуровневой платы могут быть снижены в 2–3 раза по сравнению с известными тонкопленочными прототипами.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Алексенко А.Г., Бадулин С.С., Барулин Л.Г. Основы проектирования микроэлектронной аппаратуры. — Москва: Советское радио, 1978. [Aleksenko A.G., Badulin S.S., Barulin L.G. Osnovy proektirovaniya mikroelektronnoi apparatury. Moskva: Sovetskoe radio, 1978]
2. Гимпельсон В.Д., Радионов Ю.А. Тонкопленочные микросхемы для приборостроения и вычислительной техники. — Москва: Машиностроение, 1976. [Gimpel'son V.D., Radionov Yu.A. Tonkoplenochnye mikroskhemyy dlya priborostroeniya i vychislitel'noi tekhniki. Moskva: Mashinostroyeniye, 1976]
3. Грушевский А.М., Зимрутян А.В., Колецов Л.А., Томашенко С.Н. Коммутационные платы на крупноформатных металлических подложках с полимерной изоляцией // Электронная промышленность. — 1985. — Вып. 2. — С. 27–29. [Grushevskii A.M., Zimrutyan A.V., Koledov L.A., Tomashchenko S.N. // Elektronnaya promyshlennost'. 1985. Iss. 2. P. 27]
4. Материалы микроэлектронной техники / Под ред. В.М. Андреева. — Москва: Радио и связь, 1989. [Materialy mikroelektronnoi tekhniki / Pod red. V.M. Andreeva. Moskva: Radio i svyaz', 1989]
5. 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 mikroelektronnoi apparatury. Moskva: Radio i svyaz', 1986]
6. Колецов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. — Москва: Радио и связь, 1989. [Koledov L.A. Tekhnologiya i konstruktсии mikroskhem, mikroprotssessorov i mikrosborok. Moskva: Radio i svyaz', 1989]
7. Медведев А.М. Печатные платы. Конструкции и материалы. — Москва: Техносфера, 2005. [Medvedev A.M. Pechatnye platy. Konstruktsii i materialy. Moskva: Tekhnosfera, 2005]
8. Варадан В., Виной К., Джозе К. ВЧ МЭМС и их применение. — Москва: Техносфера, 2004. [Varadan V., Vinoi K., Dzhoze K. VCh MEMS i ikh primeneniye. Moskva: Tekhnosfera, 2004]
9. Спирин В.Г. Конструкторско-технологические основы создания микросборок высокой плотности упаковки / Автореф. дис. ... докт. техн. наук. — Арзамас, 2008. [Spirin V.G. / Avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk. Arzamas, 2008]
10. Панов Е.Н. Особенности сборки специализированных БИС на базовых матричных кристаллах. — Москва: Высшая школа, 1990. [Panov E.N. Osobennosti sborki spetsializirovannykh BIS na bazovykh matrichnykh kristallakh. Moskva: Vysshaya shkola, 1990]
11. Зеленюк И. Новые технологии нанесения припойных паст // Компоненты и технологии. — 2003. — № 9. — С. 180–181. [Zelenyuk I. Novye tekhnologii naneseniya priпойnykh past // Komponenty i tekhnologii. 2003. N 9. P. 180]

12. А.с. 1628836 СССР. Способ изготовления многослойной платы / В.С. Кораблев, В.Г. Спирин. — 15.10.90. [A.s. 1628836 SSSR. / V.S. Korablev, V.G. Spirin. 15.10.90]

13. Уэбер С. Многокристалльные модули — перспективное направление в области СБИС // Электроника. — 1989. — № 7. — С. 63–71. [Ueber S. Mnogokristal'nye moduli — perspektivnoye napravleniye v oblasti SBIS // Elektronika. 1989. N 7. P. 63]

Дата поступления рукописи
в редакцию 24.04 2012 г.

Spirin V. G. **Multilayer circuits with thick-film polymer insulation.**

Keywords: microassembly, multilayer circuit, thick-film polymer insulation.

Three design and technological versions of multilayer circuit have been developed. The interlayer and protective isolation in these circuits was performed with thick (10–30 micron) heat-resistant photosensitive organic dielectric film. Such performance allows to attach component leads to the contact pads on the interlayer isolation with the use of ultrasonic welding and soldering. Number of interlayer connections of conductors in such circuits is minimized. The complexity and cost of manufacturing of the circuits can be reduced by 2–3 times compared to known thin-film prototypes.

Russia, Arzamas Polytechnic Institute (branch) of the NSTU.

Спирін В.Г. **Багаторівневі плати з товстоплівковою полімерною ізоляцією.**

Ключові слова: мікробірка, багаторівнева плата, товстоплівкова полімерна ізоляція.

Розроблено три конструктивно-технологічних варіанти багаторівневих плат, в яких як міжрівнева та захисна ізоляція застосовується термостійка товста (10–30 мкм) плівка фоточутливого органічного діелектрика. Це дозволяє приєднувати виводи компонентів до контактних площадок на міжрівневій ізоляції методами ультразвукового зварювання і пайки. Кількість міжрівневих з'єднань провідників в таких платах зведено до мінімуму. Трудомісткість і собівартість виготовлення плати можуть бути знижені у 2–3 рази в порівнянні з відомими тонкоплівковими прототипами.

Росія, Арзамаський політехнічний інститут (філіал) НДТУ.