

# Гибкие печатные жгуты из отечественных материалов

**Использование многожильных объемных жгутов для электрических соединений блоков и многослойных плат увеличивает габаритно-весовые показатели радиоэлектронных изделий. Технический прогресс в микроминиатюризации, изменивший габариты радиоэлектронной аппаратуры, привел к замене традиционных объемных жгутов на гибкие печатные.**

**Для обеспечения многоканальности электрических соединений в данной работе печатный жгут представлен многослойным с использованием процесса прессования. Задача состояла в выборе материала, обеспечивающего физико-механические характеристики печатного жгута, основной из которых является достаточная прочность сцепления фольги с базовым основанием.**

**Вера Спирина  
Татьяна Любимова  
Лариса Сучкова  
Ирина Шомникова  
Андрей Макушев**

niis@niis.nnov.ru

## Введение

Основным элементом конструкции гибких печатных жгутов (ГПЖ) является базовый гибкий фольгированный материал и адгезив.

Отечественные гибкие диэлектрики — это полиимид и полиэтилентерефталат (лавсан), фольгированные в комплекте со склеивающей и покрывной пленками.

Толщина диэлектрика — от 12 до 100 мкм. Толщина типичной полиимидной пленки — 40 мкм, полиэтилентерефталатной — 100 мкм. Основные требования к гибким фольгированным диэлектрикам следующие: эластичность, высокие диэлектрические свойства и высокая прочность сцепления полимерной пленки с фольгой. Актуальной задачей является повышение рабочей температуры и срока эксплуатации ГПЖ.

С точки зрения этих требований наиболее подходящим материалом для изготовления ГПЖ является полиимидная пленка. Она обладает ценным комплексом физико-механических и электрических свойств, имеет отличную гибкость при всех температурах, отличается химстойкостью (за исключением концентрированной щелочи), хорошую устойчивость к разрыву, ее рабочая температура от  $-200$  до  $+300$  °С. Но, обладая рядом достоинств, такая пленка характеризуется высоким водопоглощением (до 3% по весу) и инертной поверхностью, а значит, низкой адгезией к металлу.

В настоящее время сотрудники Научно-технического центра «Элифом» разработали акриловый адгезив и технологию специальной обработки поверхности пленки, что удовлетворило требования изготовителей печатных плат и ГПЖ.

НПЦ «Элифом» производит полиимид фольгированный марки «Элифом-ПФ» (ТУ 2296-007-11436290-02). Полиимид покрывается с одной или двух сторон медной фольгой толщиной 5; 18; 35; 50; 70 мкм. В комплекте с фольгированным полиимидом изготавливаются покрывная пленка (ППП) для защиты схемы

и увеличения устойчивости к перегибам; склеивающая пленка (ППС) для соединения слоев ГПЖ (ТУ 3491-11436290-002-97). У ППП адгезив нанесен с одной стороны, у ППС — с двух сторон пленки.

Полиимидные пленки в сочетании с алюминиевой фольгой, а в многослойных конструкциях — с алюминиевой и медной фольгой успешно работают в открытом космосе. ЦНИИИ 22 Минобороны России провел сравнительные испытания отечественного и импортного (Pyralux LF компании Dupont, США) полиимида. Испытания включали:

1. Оценку электрических параметров и механических свойств материалов при поставке.
2. Оценку устойчивости материалов к наиболее критичным условиям эксплуатации (повышенным и пониженным температурам, циклическому изменению температуры, повышенной влажности, комплексному воздействию температуры, влаги, давления и электрического напряжения). Результаты испытаний отечественного полиимида были положительными.

Условный срок службы отечественного полиимида, определенный при одновременном воздействии температуры, относительной влажности, давления и электрической нагрузки, достигает 500 часов. Для импортного фольгированного материала LF-8515 условный срок службы не превышал 11 часов. Преимущество иностранного материала по адгезионной прочности, зафиксированное на входном контроле, было потеряно после испытаний на теплоустойчивость и циклическую смену температур. Лучшими были показатели отечественной покрывной пленки и по влажностойкости [1].

При сравнении отечественных гибких диэлектриков — полиимида и полиэтилентерефталата — было установлено, что последний уступает полиимиду по:

- рабочему диапазону температур (от  $-60$  до  $+105$  °С);
- ограниченности к пайке (низкая точка плавления);
- работе при низких температурах (становится хрупким).

Перед разработкой технологического процесса изготовления ГПЖ партия отечественного фольгированного полиимида исследовалась на соответствие его ТУ по параметрам:

- прочность отслаивания фольги в исходном состоянии;
- прочность отслаивания фольги после воздействия растворителя;
- устойчивость к воздействию теплового удара.

ГПЖ выполняют соединительную функцию в процессе монтажа, и фольгированный полиимид должен быть стоек к флюсам и растворителям. Поэтому необходимо было проверить прочность сцепления фольги с полиимидом после химической обработки в растворителях: трихлорэтилене и спиртобензиновой смеси. Образцы для испытания изготавливались по ГОСТ 26246.0–89. На заготовку 50×75 мм фольгированного полиимида методом фотохимического травления наносился рисунок полосок шириной 3 мм. Образец погружался при комнатной температуре в растворитель на 10×0,5 мин. Так как при визуальном контроле отслоения и изменения внешнего вида не наблюдалось, проверяли прочность фольги на разрывной машине.

Испытания показали, что при химической обработке прочность сцепления с фольгой ухудшилась на 0,4 Н и составила 2,7 Н (в исходном состоянии 3,1 Н). Однако полученная величина прочности сцепления фольги с полиимидом после химической обработки превышала гарантируемую величину прочности сцепления согласно ТУ на материал в исходном состоянии на 0,6 Н.

Устойчивость к тепловому удару — один из важных показателей качества фольгированного полиимида. Образец с вытравленными полосками фольги по ГОСТу 26246.0–89 погружали в кремнийорганическую жидкость, нагретую до  $260 \pm 5$  °С на 10 с. Отслаивания не наблюдалось. Затем проводили испытания на отрыв фольгированной полоски.

Полученные результаты прочности фольги (на отслаивание) после воздействия теплового удара и в исходном состоянии составили 3,0 Н; 3,1 Н и 3,6 Н; 3,8 Н (соответственно).

Полученные результаты превысили гарантированную величину по ТУ, она составляет 2,1 Н до и после испытаний. Отсюда следует, что отечественный фольгированный полиимид после проведения испытаний соответствовал по прочностным показателям требованиям ТУ.

В технологическом процессе получения рисунка печатного жгута первой операцией является подготовка поверхности заготовки (перед нанесением фоторезиста). Известно, что адгезия в основном достигается за счет двух сил: химических связей (полярные связи и химические реакции между резистом и поверхностью) и физической адгезии.

По мере уменьшения ширины проводника площадь поверхности соприкосновения меди и резиста уменьшается. Это предъявляет большие требования к процессу адгезии, а следовательно, и к химической подготовке поверхности. Учитывая, что щелочная подготовка поверхности неприемлема для полиимида, был выбран новый микротравнитель МТ-100 [2].

Для получения проводниковой части высокой плотности важен выбор благоприятных условий травления медной фольги с тонкомерного полиимидного основания.

Уход линейных размеров проявляется после травления фольги, что объясняется разностью коэффициентов расширения меди и полиимида и присутствием в самом полиимиде полярных и гигроскопических соединителей. Отсутствие дополнительной термообработки слоев перед прессованием приводит к их расхождению. Поэтому была введена тепловая обработка при температуре 150 °С в течение 2 часов. Поскольку склеивающая полиимидная пленка ППС однородна с полимерным основанием, то подготовке перед прессованием слоев подлежит проводниковая часть, то есть фольга.

Придание ей шероховатости путем микротравления для процесса прессования недостаточно. Процесс оксидации — обработка поверхности фольги для получения развитой поверхности — необходим. Причем было замечено, что для полиимида «черная оксидация» неприемлема из-за:

- неблагоприятного влияния воздействия горячей щелочи (разбухания адгезива);
- недостаточного сцепления черной оксидной пленки с острой кромкой (возможности ее осыпания).

Поэтому был проведен поиск процесса, альтернативного «черному оксидированию». Это Sealbond OMB — процесс подготовки слоев МПП перед прессованием с целью усиления адгезии поверхности меди с препрегом [3].

Следующей операцией в технологической цепочке изготовления гибких печатных жгутов является прессование. Требования, предъявляемые к качеству прессования гибких жгутов:

- пропрессовка по полю заготовки для ГПЖ, отсутствие воздушных пузырей;
- обеспечение требуемой толщины ГПЖ;
- полная полимеризация акрилового связующего, придание ГПЖ свойств работоспособности в разных условиях эксплуатации.

Перед прессованием проводилась подготовка поверхности слоев с целью обеспечения адгезии, чтобы слабым звеном в склейке была бы собственная клеящая прослойка, а не поверхность раздела между клеем и печатным слоем. Это достигается созданием шероховатости, развитой поверхности путем оксидации медной проводниковой части, о чем было сказано ранее.

Прессование проводилось на вакуумном прессе модели Lamv-100 фирмы Burkle.

При предварительной отработке прессования гибких жгутов было установлено, что склеивающая полиимидная пленка имеет липкий слой, который плохо растекается при нанесении, образуя воздушные пузыри и непропрессованные участки. Для удаления воздушных включений опробовали накатывание склеивающей пленки на валковом ламинаторе. При накатывании склеивающей пленки без жесткой подложки фольгированные листы полиимида слипались. При накатывании с применением жесткой подложки без нагрева слипание исчезло, но на слое наблюдались воздушные пузыри.

Постепенное повышение температуры накатывания до 130 °С дало положительные результаты: воздушных включений не обнаружено. Процесс прессования по «жесткой системе» (с кабельной бумагой) неприемлем. Был опробован вариант прессования гибких печатных жгутов по системе «мягких подушек» (мягкая буферная пресс-подкладка фирмы PACOTHANE Technologies марки PACOPADS).

Химико-гальваническая металлизация отверстий в многослойных гибких печатных жгутах на основе полиимида проводилась в той же технологической последовательности операций, что и металлизация печатных плат из стеклотекстолита. Однако при этом учитывались такие свойства полиимида, как повышенное водопоглощение и чувствительность его к горячим щелочным растворам. Для полиимида неприемлемы известные химические методы подготовки отверстий в нагретых растворах серной и плавиковой кислот, так как, воздействуя на адгезив, они вызывают его разбухание и последующее снижение надежности металлизации отверстий.

Подготовка поверхности диэлектрика к химической металлизации является важным этапом в технологической цепочке изготовления ГПЖ. Для печатных плат на стеклоэпоксидной основе перед стадией металлизации проводят ряд последовательных классических операций: механическую обработку, обезжиривание в горячих щелочных растворах. В нашем случае механическая зачистка исключалась из-за малой величины диаметра (0,3 мм) металлируемого отверстия, которое легко забивается при механической обработке абразивным порошком. Обезжиривание в щелочных растворах также неприемлемо по выше указанной причине. Плазмохимическое травление является единственным методом подготовки, то есть очистки отверстий перед металлизацией. В процессе эксперимента зафиксировано, что полиимид активно впитывает влагу, которая при плазменной обработке приводит к расслоению ГПЖ. Поэтому перед операцией плазменного травления было увеличено время сушки до 2,5 ч при температуре +120 °С. Во избежание повторного набора влаги ГПЖ переносились в камеру плазменного травления в горячем состоянии.

Органические материалы в виде смоляного наволакивания под воздействием плазмы испаряются, очищая стенки отверстий. Обработка длилась 30 мин. Плазменное травление проводилось в установке Technics Plasma (модель 3027E). При проведении процесса на поверхности заготовок могут образовываться тончайшие, незаметные глазу, тефлоновые пленки, которые в дальнейшем препятствуют металлизации поверхности. Для устранения тефлоновых пленок с диэлектрических участков поверхности стенок отверстий ГПЖ проводилась кислородная стадия обработки ГПЖ в плазме.

Раствор химического меднения имеет высокий показатель рН (11,9–12,1), но метал-

лизация проводится при комнатной температуре 18–25 °С. Это позволило проводить процесс без последующих осложнений.

Процесс иммерсионного золочения протекает при температуре 60–80 °С в течение 30 минут в слабощелочном растворе, рН которого 8,5–9,5. Так как нейтрализация щелочной среды является необходимым условием для полиимида, то после золочения была введена обработка поверхности ГПЖ в 5–10%-ном растворе щавелевой кислоты в течение 3–5 мин.

Для облуживания планарных контактных площадок на установке HAL-2000, снабженной «воздушными ножами», снимающими излишки припоя, необходимо жесткое крепление заготовок ГПЖ.

Гибкие печатные жгуты, изготовленные из отечественного фольгированного полиимида, двух- и трехслойные, с габаритами 150×7мм и 120×13 мм испытаны по ускоренной программе, включая климатические испытания, стойкость к перегибам и устойчивость к термоудару.

### Заключение

При металлизации сквозных отверстий в ГПЖ следует учесть, что:

- подготовку отверстий перед химической металлизацией необходимо проводить только в установке плазменного травления;

- горячее химическое обезжиривание недопустимо;
- химическая металлизация в щелочном растворе допустима только при комнатной температуре 18–25 °С;

- поверхность полиимидных ГПЖ после щелочной обработки подлежит нейтрализации;
- перед высокотемпературными операциями (плазменное травление, монтажные работы) ГПЖ должны подвергаться сушке при температуре 120 °С в течение 2 часов (не менее). При изготовлении экспериментальных образцов были учтены технологические особенности, обусловленные использованием полиимидного основания гибких печатных жгутов. Это:

- разработка процесса, альтернативного «черному оксидированию»;
- применение мягких буферных прокладок при прессовании ГПЖ.

Отечественный фольгированный полиимид соответствует требованиям ТУ на материал и ГОСТу 23752–79 и может быть использован для изготовления ГПЖ. ■

### Литература

1. Материалы 7-й Российской конференции по печатным платам «РОСКОН-2006».
2. Проспект ООО «Санкт-Петербургский центр «Элма».
3. Проспект ООО «Абсолют», г. Санкт-Петербург.