

Разработка диэлектрического теплопроводящего пленочного адгезионного материала для нужд электроники – отечественный опыт

А. Егоров¹, Е. Данилов, к. х. н.², А. Иванов¹, Е. Гурова²,
Н. Романов², А. Гареев, к. т. н.², Ю. Хрипунова¹

УДК 621.38 | ВАК 2.2.2

Разработана технология получения диэлектрического теплопроводящего пленочного адгезионного материала для монтажа алюминиевых и медных теплоотводящих оснований печатных плат. Адгезионный материал изготовлен из модифицированной эпоксидной смолы, в качестве наполнителя использован гексагональный нитрид бора. Полимерную композицию в виде раствора-суспензии наносили на алюминиевую подложку методом аэрозольного напыления, сборку получали методом горячего прессования в вакууме. При этом базовый материал с высокой теплопроводностью обладает необходимыми технологическими характеристиками, позволяющими изготавливать сложные силовые печатные платы.

Печатные платы (ПП) являются основным конструктивным элементом современной радиоэлектронной аппаратуры. Главные тенденции развития современной электроники, связанные с ростом степени интеграции элементной базы, плотности размещения компонентов на ПП и их компактизация, увеличением мощности компонентов, повышают требования к тепловому режиму и электроизоляции проводящих элементов [1].

Из-за невозможности установки вентиляторов и радиаторов в миниатюрных или многослойных конструкциях чаще всего единственным путем управления режимом работы электронного устройства является отвод тепла от компонента через печатную плату, на которой собрано устройство, путем ее монтажа на металлическое основание, обладающее высокой собственной теплопроводностью. При этом возникают проблемы с обеспечением высокого коэффициента теплоотдачи на границах раздела материалов, связанные с невозможностью обеспечения плотного теплового контакта и минимизации граничных термических сопротивлений.

Необходимый уровень изоляции связан с расстоянием между токопроводящими элементами. Чем оно меньше, тем диэлектрические свойства подложки должны быть

выше [2]. Диэлектрической подложкой большинства современных печатных плат является стеклотекстолит. Но для данного материала сложно обеспечить низкие значения водопоглощения из-за пористости его структуры при любых технологиях получения, что приводит к низкому уровню сопротивления такой изоляции [3].

В таком случае необходима разработка материала, который способен эффективно заполнять микропустоты между монтируемыми элементами, обладает более высокой по сравнению с воздухом собственной теплопроводностью и способен выступать в роли изолятора. Обычно такие материалы являются полимерными наполненными композитами.

Перспективным направлением является использование пленочных клеевых диэлектрических полимерных материалов. Среди преимуществ таких материалов можно отметить, что клеи эффективно распределяют механические и тепловые напряжения равномерно по широкой площади, снижая концентрацию напряжений в местах соединения. Использование пленочных материалов, в свою очередь, позволяет повысить технологичность процесса сборки, а рациональный выбор связующих позволяет эффективно защитить соединение от коррозии.

Выбор компонентов для полимерного композиционного материала основан на требованиях, предъявляемых к базовым материалам ПП. К необходимым характеристикам можно отнести высокую адгезионную прочность,

¹ АО «Электромаш».

² АО «НИИГрафит».

физическую и химическую стабильность материала в диапазоне температур эксплуатации, диэлектрические свойства в рабочем интервале частот и высокий уровень тепло- и температуропроводности [4].

Широкое применение в производстве материалов для ПП нашли эпоксидные связующие. Это связано с их высокой адгезией к большинству наполнителей, широким выбором олигомеров и отвердителей, позволяющих получать материалы с разнообразными свойствами, высокими эксплуатационными характеристиками в отвержденном состоянии и наиболее удовлетворительными значениями газовыделения в вакууме при повышенных температурах [5]. Использование бромированных эпоксидных смол позволяет значительно повысить их пожаробезопасность, однако при этом могут снижаться адгезионные характеристики клеевого соединения. Дополнительным удобством эпоксидных связующих является возможность их компаундирования и модификации для регулирования функциональных свойств и пленкообразующей способности.

В качестве наполнителя зачастую используют соединения на основе оксида алюминия или диоксида титана. С другой стороны, недостаточно работ посвящено использованию гексагонального нитрида бора. Этот керамический материал обладает очень низкой диэлектрической проницаемостью, превосходными электроизоляционными свойствами и стойкостью к высокотемпературному окислению. Он нетоксичен, хорошо диспергируется в пастообразных композициях, имеет приближенную к полимерам плотность и высокую собственную теплопроводность по сравнению с другими керамиками [6].

В рамках проведения совместной работы АО «Электромаш» и АО «НИИГрафит» была отработана опытная технология получения нового теплопроводного адгезионного материала на основе модифицированной эпоксидной смолы и гексагонального нитрида бора. Одним из существенных аспектов технологии полимерных композиций является необходимость выбора оптимального распределения частиц по размерам. Так, известно [7], что размер частиц слоистого наполнителя, как правило, обратно коррелирует с теплопроводящими свойствами композиционного материала, однако технологичность получения тонких однородных пленок требует использования частиц с необходимыми параметрами распределения по размерам. При выполнении работы были подобраны необходимые параметры измельчения в виброистратителе, обеспечивающие возможность получения стабильных пленок толщиной до 150 мкм.

Технологии изготовления адгезионных материалов с высокой теплопроводностью для монтажа ПП на теплоотсеивающее основание подразумевают, как правило, каландрирование композиционной массы до получения однородной пленки. Применяется также метод

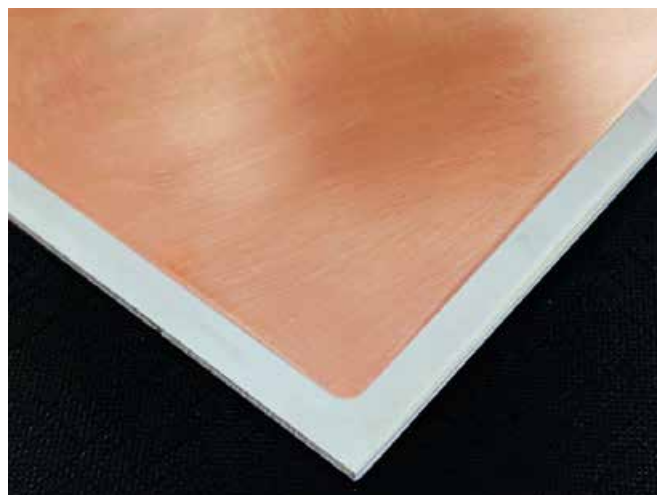


Рис. 1. Вид готовой сборки с медной фольгой на алюминиевой подложке, использовался разработанный материал

трафаретной печати. В настоящей работе с целью возможной интеграции процесса в непрерывную линию изготовления слоев печатной платы был отработан способ аэрозольного напыления пленки непосредственно на алюминиевую подложку.

Материал подготавливался путем смешения компонентов и растворителей с последующим напылением на алюминиевую подложку и испарением растворителя. Нанесение композиций пневматическим напылением основано на воздействии потока сжатого воздуха на полимерный материал, формирующий покрытие и имеющий в своем составе легкоиспаряемый растворитель. Главными его достоинствами являются высокая технологичность, которая заключается в возможности наносить практически любые жидкие составы на подложки разных размеров и форм, простоте и надежности обслуживания распылительного устройства, применимостью в различных производственных условиях и т.д. [8].

Сборку на основе алюминиевой подложки и медной электрической фольги с использованием разработанного материала можно получить методом горячего пресования в вакуумных гидравлических прессах, ее вид представлен на рис. 1.

Ограничения метода аэрозольного напыления связаны, в первую очередь, с затруднениями в формировании сплошной равномерной пленки, что накладывает дополнительные требования на вязкость распыляемой композиции и на смачивание материала подложки. Путем подбора отдельных компонентов, природы и количества растворителя (метилэтилкетона) удается обеспечить технологически приемлемую динамическую вязкость системы для работы серийно изготавливаемых

напылительных установок (около 250 мПа·с) при высокой смачиваемости алюминиевой подложки (краевой угол смачивания 36 ± 2), что приводит к требуемым для полного растекания значениям критериальных факторов, а также получению отвержденных адгезионных слоев с высокой адгезией как к алюминию, так и к меди.

Основные характеристики базового материала на алюминиевой основе с применением нового адгезива приведены в табл. 1.

Таким образом, представлены основные результаты первого отечественного опыта получения напыленного пленочного адгезионного теплопроводящего диэлектрического состава для применения в монтаже печатных плат. Разработанная технология подразумевает использование только отечественных компонентов и после масштабирования позволяет организовать технологию получения полупродукта (адгезионная пленка на алюминиевом основании) с производительностью не менее двух-трех погонных метров в минуту на одну технологическую установку, что отвечает современным потребностям в соответствующем материале.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Раньери Д.** Правильный выбор материала основания может упростить обеспечение теплового режима // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2018. № 10. С. 116–119.
2. **Ahmad Z.** Polymer dielectric materials // Dielectric material. IntechOpen, 2012.
3. **Уразаев В.** О проблеме влагостойкости печатного монтажа // Компоненты и технологии. 2002. № 21. С. 152–154.
4. **Александрова Л.Г.** Клеевые материалы в производстве фольгированных диэлектриков и печатных плат // Новостные материалы. Наука и техника. 2016. № 2. 5 с.
5. **Векшин Н.Н., Озерский М.Д., Гладких С.Н.** Теплопроводящие эпоксидные клеящие материалы для бортовой аппаратуры // Инновационные аспекты социально-экономического развития региона: сб. ст. по материалам участников VI Ежегодной научной конференции аспирантов «МГОТУ», 2015. С. 87–94.
6. **Guerra V., Wan C., McNally T.** Thermal conductivity of 2D nanostructured boron nitride (BN) and its composites with polymers // Progress in Materials Science. 2019. V. 100. PP. 170–186.
7. **Danilov E.A., Samoilov V.M., Kaplan I.M. et al.** Excellent Thermal and Dielectric Properties of Hexagonal Boron Nitride/Phenolic Resin Bulk Composite Material for Heatsink Applications // Journal of Composites Science. 2023. V. 7. No. 7. P. 291.
8. **Кондрашин А., Лямин А., Слепцов В.** Современные технологии изготовления трехмерных электронных устройств. Litres, 2022.

Таблица 1. Основные характеристики разработанного материала ЭМ-А

Наименование показателя	Значение
Теплопроводность, Вт/м·К, не менее	3,0
Диэлектрическая проницаемость, не более:	
1 МГц	5,4
1 ГГц	5,3
Тангенс угла диэлектрических потерь, не более:	
1 МГц	0,030
1 ГГц	0,035
СП, В, не менее	600
Прочность на отслаивание фольги в исходном состоянии (35 мкм), Н/мм, не менее	1,2
Температура достижения 5% потери массы, °С	352
Газовыделение, масс. %	0,02
Категория горючести	Самозатухающий



АО «Электромаш» В интересах отрасли

АО «Электромаш» является разработчиком и производителем широкой номенклатуры базовых материалов для печатных плат. Выпускаемая линейка продукции включает как стандартные фольгированные стеклотекстолиты класса FR-4, так и специальные материалы СВЧ-назначения, материалы с высокой теплопроводностью.

НАШИ ПРЕИМУЩЕСТВА:

- полный цикл производства продукции (производственные площади 50 тыс м²)
- уникальный научно-исследовательский и испытательный центр по базовым материалам (полный цикл испытаний в объеме ГОСТ и IPC-4101)
- максимальное применение отечественных комплектующих и сырьевых компонентов
- конкурентная цена в сравнении с импортными аналогами
- гарантия качества и широкая складская программа
- сроки поставки от 5 до 30 рабочих дней
- техническая поддержка при разработке ПП и постановке на производство



ОСНОВНАЯ ПРОДУКЦИЯ:

- Стеклотекстолиты фольгированные:
Стандартный СтФ ЭМ-4 (класс FR-4 Tg 135 °C);
Термостойкий СтФ ЭМ-5 (класс FR-4 Tg 180°C);
Термостойкий с низкими потерями СтФ ЭМ-6 (low loss FR-4.1 Tg 210C, Dk/Df 3,6/0,004);
- Препреги для многослойных печатных плат:
ЭМ-4, ЭМ-5, ЭМ-6 (препрег с низкими потерями);
- Базовые материалы с повышенной теплопроводностью для печатных плат на алюминиевой подложке (теплопроводность, не менее 3 Вт/м*К, СТИ 600В);
- Базовые материалы для гибких и гибко-жестких ПП:
 - фольгированные полиимиды марки ПИФ-Б (безадгезивный для ГПП);
 - покровные пленки ПП-ПИФ-А (для защиты ГПП);
 - нетекущий высокотемпературный препрег ЭМ-5Н (для ГЖПП);
 - склеивающая пленка (для многослойных ГПП).

**Система менеджмента качества
АО «Электромаш» соответствует
требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015
и дополнительно требованиям
ГОСТ РВ 0015-002-2012.**

