

Печатные платы со встроенным теплоотводом на основе листового пирографита

А. Абрамов¹, Ю. Боброва²

УДК 621.3.049.75:536.2 | ВАК 05.27.06

В статье подробно рассматриваются результаты исследований основных тепловых и механических свойств перспективного для электронной промышленности материала – листового пирографита. Приводятся технологические решения, позволяющие обеспечивать отведение тепла от компонентов при их монтаже в объем многослойной печатной платы.

ВВЕДЕНИЕ

Поддержание рабочего теплового режима электронных устройств в условиях роста потребляемой ими мощности при одновременном уменьшении размеров компонентов требует специальных мер по отведению тепла. Малая площадь контакта тепловыделяющей поверхности и теплоотвода требует быстрого отведения тепла, что ужесточает требования к тепловому сопротивлению интерфейсов и теплоотвода. В случае встроенных компонентов теплоотвод еще более затрудняется тем, что поверхность теплового контакта компонента обращена внутрь печатной платы (рис. 1).

Решениями проблемы отвода тепла от встроенных компонентов являются теплоотводящие основания, а также различные встроенные в плату металлические элементы, такие как заполненные переходные отверстия, медные вставки или тепловые трубки. Среди металлов медь наиболее оптимальна как материал для теплоотвода, однако ее большая плотность и размеры теплоотводящих элементов приводят к значительному увеличению массы печатной платы (ПП) и снижению ее жесткости, к неоднородности механических свойств конструкции основания ПП и созданию концентраторов напряжений.

ПИРОГРАФИТ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОТВЕДЕНИЯ ТЕПЛА. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА

Альтернативным материалом для создания высокоэффективного теплоотвода является пиролитический графит. Пиролитический графит – искусственная форма графита. Основными его свойствами являются высокая электропроводность, крайне высокая тепло- и температуропроводность вдоль плоскости слоев (плоскость *a-b* на рис. 2), высокая прочность на разрыв вдоль базисной плоскости, диамагнитность.

В гексагональной графитовой решетке 3 σ -электрона образуют прочные ковалентные связи с тремя соседями по плоскости, а четвертый электрон образует слабую π -связь с атомом углерода соседней плоскости. Прямым следствием этого и является высокая анизотропия свойств [1]. Тепловые и механические характеристики вдоль плоскости слоев на порядки лучше свойств в перпендикулярном им направлении.

Пирографит может быть получен путем осаждения из газовой фазы при пиролизе углеводородов, а также при карбонизации полимеров, в частности полиимидных

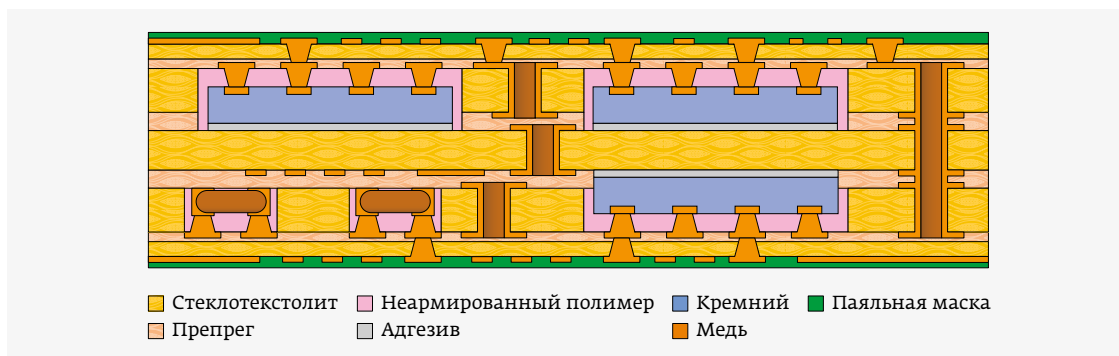


Рис. 1. Печатная плата со встроенными полупроводниковыми кристаллами

¹ МГТУ им. Н. Э. Баумана, магистр, uxon388@gmail.com.

² МГТУ им. Н. Э. Баумана, старший преподаватель, ju.s.bobrova@bmstu.ru.

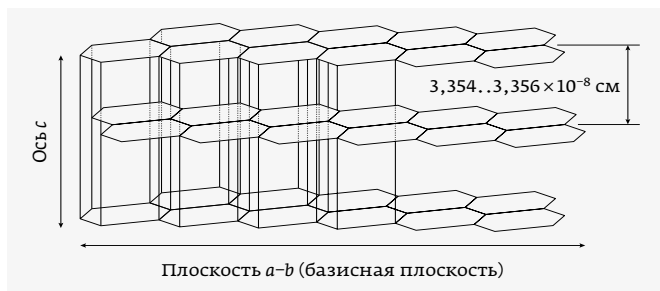


Рис. 2. Структура пирографита

пленок [2], [3]. Осаждение из газовой фазы может быть применено для создания покрытий на различных подложках. Карбонизация полимеров при высоких температурах в неокисляющей атмосфере используется для производства листового пирографита [4].

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Одной из форм продажи пирографита на сегодняшний день являются листы 90×115 и 120×180 мм с толщинами от 10 до 100 мкм как в чистом виде, так и покрытом защитными полимерными пленками и адгезивом.

В табл. 1 на примере листового пирографита (PGS – pyrolytic graphite sheet) производства компании Panasonic представлены тепловые, механические и электрические свойства этого материала.

Из табл. 1 видно, что листовый пирографит превосходит медь по теплопроводности в 2...5 раз (420 Вт/м·К) [5].

Такие листы применяют в качестве теплораспределительной прокладки между тепловыделяющим элементом

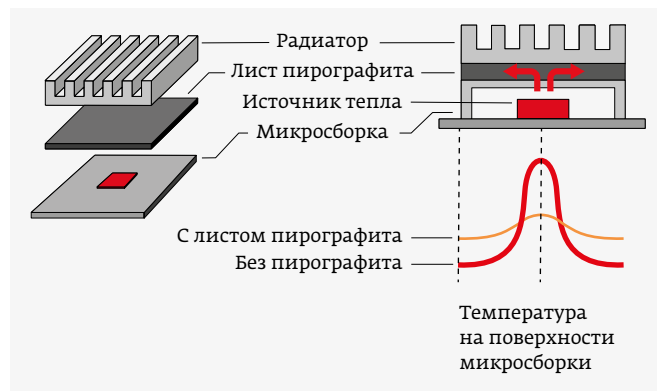


Рис. 3. Использование пирографита для рассеивания тепла

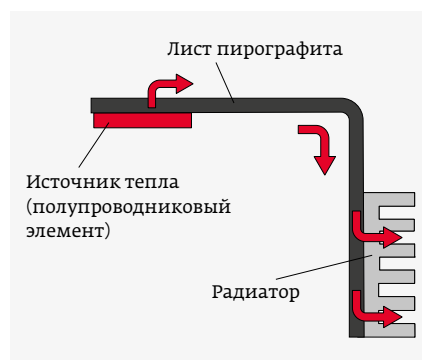


Рис. 4. Теплопередача посредством пирографита

и радиатором, а также в качестве элемента, передающего тепло от охлаждаемого компонента к радиатору (рис. 3 и 4) [7].

Таблица 1. Свойства листового пирографита компании Panasonic [6], [7]

| | | 10 мкм | 17 мкм | 25 мкм | 40 мкм | 50 мкм | 70 мкм | 100 мкм |
|--|-----|---------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|-------------|-------------|
| Толщина, мм | | 0,010±0,002 | 0,017±0,005 | 0,025±0,010 | 0,040±0,012 | 0,050±0,015 | 0,070±0,015 | 0,100±0,030 |
| Теплопроводность, Вт/м·К | a-b | 1900 | 1750 | 1600 | 1350 | 1300 | 1000 | 700 |
| | c | 10 | 11 | 18 | 20 | | | 26 |
| Температуропроводность, м ² /с | | 0,001...0,0012 | 0,001...0,0011 | 0,0009...0,001 | | 0,0008...0,001 | | |
| Плотность, кг/м ³ | | 2130 | 2100 | 1950 | 1800 | 1700 | 1210 | 850 |
| Теплоемкость при 50 °С, Дж/кг·К | | 850 | | | | | | |
| Максимальная рабочая температура, °С | | 400 | | | | | | |
| Прочность на разрыв, мМПа | a-b | 40 | 30 | 25 | 20 | | | |
| | c | 0,1 | | | 0,4 | | | |
| Коэффициент температурного расширения, 1/К | a-b | | | | 9,3·10 ⁻⁷ | | | |
| | c | | | | 3,2·10 ⁻⁵ | | | |
| Тест на сгибание, R5/180°, циклов | | >30000 | | | | | | |
| Электропроводность, См/м | | 2,0·10 ⁶ | | | 1,0·10 ⁶ | | | |



Рис. 5. Конструкция теплоотводящей шины из пирографита, покрытого полиимидом [8]

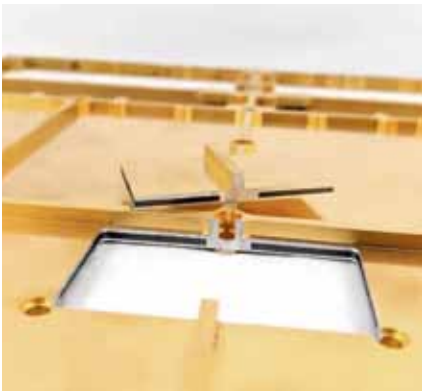


Рис. 6. Фото теплоотводящего основания с инкапсулированным отожженным пирографитом k-Core компании Boyd Corporation [9]

Листовой пирографит инкапсулируют в оболочки из полиимида или меди, что позволяет создавать плоские гибкие проводники тепла (рис. 5). Таким продуктом являются, например, тепловые шины компании Boyd Corporation. Согласно описанию продукта, полосы с инкапсулированным графитом проводят тепло в 3...5 раз лучше, чем алюминиевые, и в 9...15 раз – чем медные, при одинаковой массе изделия.

Другой формой применения являются монтажные основания-теплораспределители из металлов или полимеров с инкапсулированным отожженным пирографитом (Annealed Pyrolytic Graphite) (рис. 6). Металлическая оболочка может иметь сложную форму

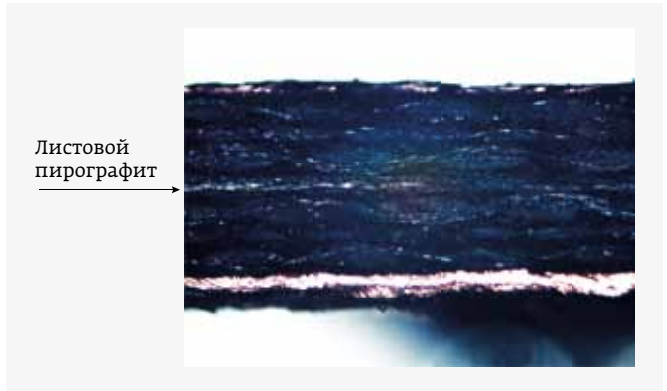


Рис. 8. Пирографит между слоями стеклотекстолита

и образовывать шасси и корпуса для приборов и осуществлять доставку тепла от смонтированных печатных узлов к месту сброса тепла.

ВСТРОЕННЫЙ ТЕПЛОТВОД ИЗ ЛИСТОВОГО ПИРОГРАФИТА

Такие свойства пирографита, как высокая теплопроводность, листовой вид и малая толщина приводят к мысли о возможности выполнения из него элементов, встраиваемых в печатные платы в качестве проводников тепла от компонента к радиатору. Вариант такой конструкции представлен на рис. 7. Плоская структура из пирографита может быть заключена между слоями соединительного полимера при прессовании заготовки ПП. Установочные окна для компонентов могут быть сформированы фрезерованием.

Такая конструкция рождает ряд вопросов, связанных с технологией формирования и размещения структур из листового пирографита в сборке слоев перед прессованием, тепловой эффективностью решения, а также с механическими характеристиками полученной платы. Для изучения свойств базового материала ПП со встроенным пирографитом были изготовлены тестовые платы, содержащие листовой пирографит между двумя слоями стеклотекстолита и препрега. Сечение такой платы представлено на рис. 8.

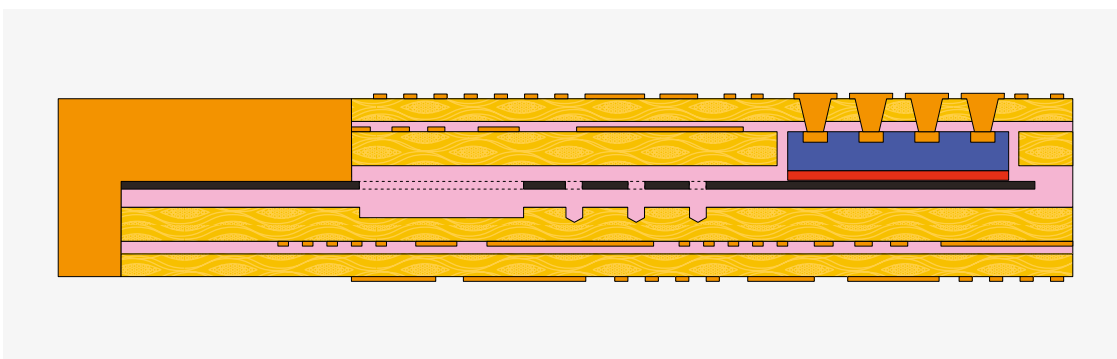


Рис. 7. Встроенный теплоотвод с использованием листового пирографита

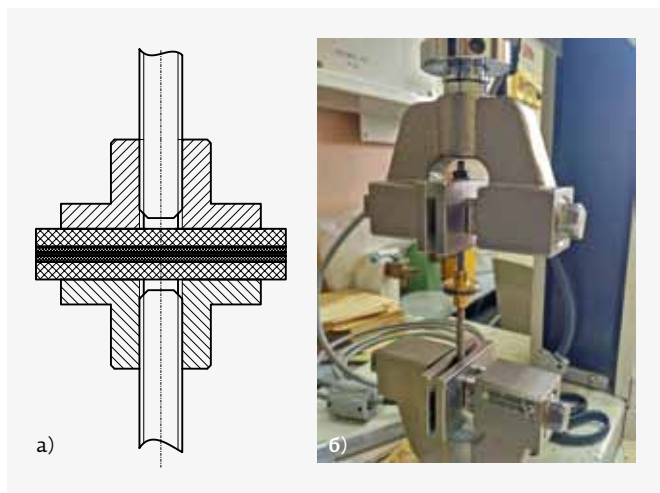


Рис. 9. Схема установки образца

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Механические испытания проведены с целью экспериментального определения места разрушения структуры из стеклотекстолита и пирографита, а также прочности при разрыве перпендикулярно плоскости листа. Для этого из заготовки были выфрезерованы круглые образцы. Форма диска позволяет исключить влияние концентраторов напряжений при испытаниях. Для закрепления к образцам припаяны латунные держатели с внутренней резьбой (рис. 9а).

Определение предела прочности проведено при помощи установки Mestmesin MultiTest-xt (рис. 9б) с измерительной ячейкой с верхним пределом измеряемой силы, равным 500 Н.

Растяжение образца проводилось при постоянной скорости 1 мм / мин с одновременной регистрацией силы. Из полученных диаграмм извлекалось пиковое значение силы для расчета предела прочности (рис. 10).



Рис. 11. Разрушение образца по слоям пирографита толщиной 70 мкм

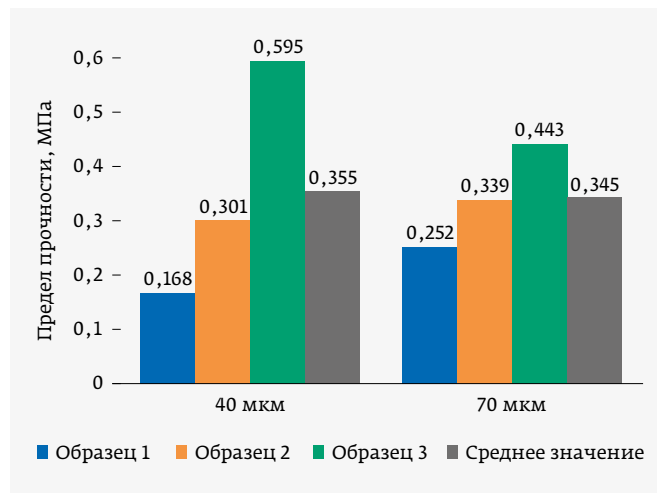


Рис. 10. Предел прочности образцов при разрыве

Из шести исследованных образцов пять разрушились по слоям пирографита (рис. 11). Адгезия эпоксидной смолы из препрега к пирографиту оказалась сильнее, чем связь слоев пирографита. Среднее значение предела прочности составило 0,35 МПа. Значение предела прочности вдоль оси С, заявляемое производителем для данных толщин пирографита, составляет 0,4 МПа [5], [6].

Также при испытаниях было замечено, что слои пирографита могут значительно (до 0,5 мм) упруго смещаться друг относительно друга, что позволяет заготовке сильнее изгибаться.

Введение в структуру слоев ПП слоя пирографита с малой прочностью при расслаивании требует специальных конструкторских мер при инкапсуляции пирографита с целью обеспечить прочность ПП.

ТЕПЛОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Для проведения тепловых тестов были изготовлены печатные платы (рис. 12), содержащие полосы

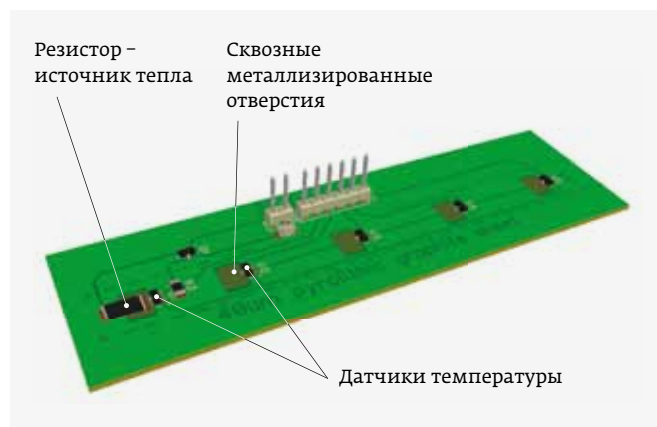


Рис. 12. 3D-модель тестовой платы

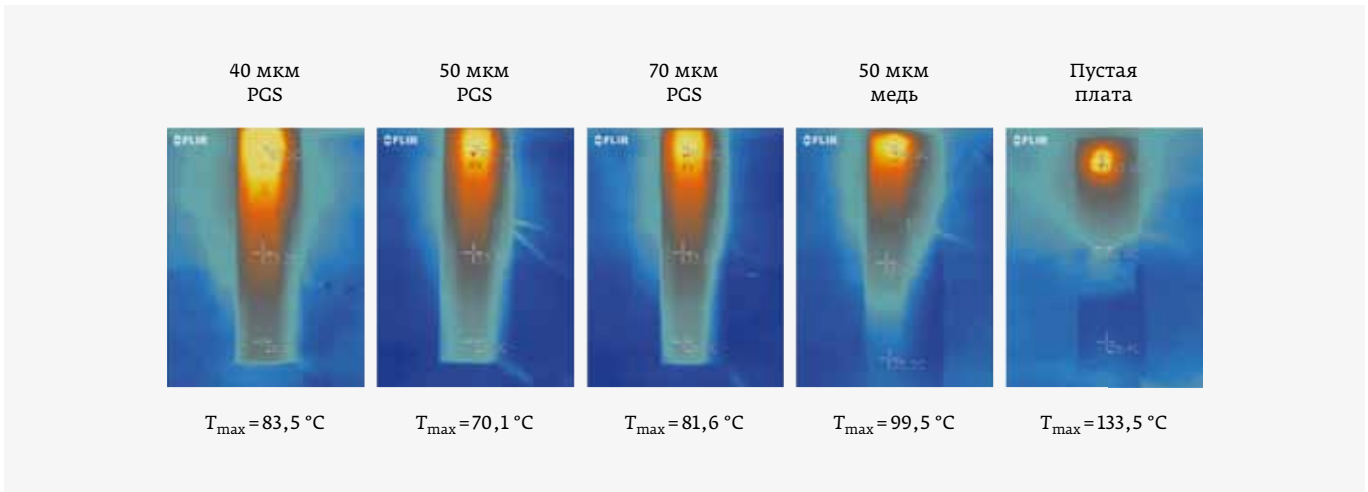


Рис. 13. Температурный градиент на тестовых платах с различными встроенными материалами при выдержке 360 с. Вид сверху

пирографита различных толщин, медь и не содержащие особых элементов. В качестве источника тепла на плате выступает SMD-резистор, установленный на площадке со сквозными металлизированными отверстиями. На такие же площадки установлены датчики температуры Texas Instruments LM60С1М3.

Эксперимент проводился следующим образом: к резистору при помощи лабораторного блока питания подводилась мощность 0,8 Вт, нагрев при этом фиксировался при помощи датчиков и устройства ввода-вывода цифровых и аналоговых сигналов Arduino Mega, а также тепловизора FLIR ONE PRO в течение 6 мин от момента включения нагрева. Напряжения с датчиков считывались

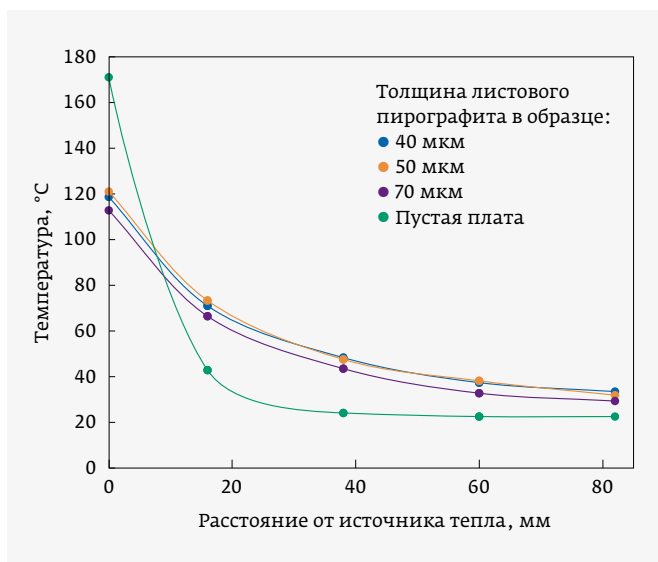


Рис. 14. Тепловой профиль, полученный при помощи SMD-датчиков при выдержке 360 с

аналого-цифровым преобразователем микроконтроллера, после чего пересчитывались в температуры и отправлялись на ПК через виртуальный COM-порт. Тепловизор располагался на расстоянии 60 мм от платы параллельно ей. Все измерения проведены при одинаковом положении тестовых плат, температуре среды и отсутствии потоков воздуха.

Снимки, полученные тепловизором (рис. 13), а также график, построенный по информации от датчиков (рис. 14), показывают, что тепло распространяется по всей длине полосы пирографита в течение выбранного промежутка времени. Рост температуры поверхности платы на расстоянии 40 мм детектировался через 30 с после начала нагрева.

На платах с пирографитом зафиксирована меньшая температура в точке нагрева. Это объясняется тем, что тепло распространяется через пирографит по всей плате и рассеивается с большей поверхности.

На изображениях, полученных тепловизором, не выделяются площадки со сквозными металлизированными отверстиями, проходящими через пирографит, что может свидетельствовать о неэффективности такого метода теплового контакта со встроенным пирографитом. Площадь торца листа мала из-за малой толщины листа, что усложняет ввод тепла в лист через торец, поэтому тепловыделяющие и теплопроводящие элементы должны касаться плоскости листа.

ВАРИАНТ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ПП С ТЕПЛОТВОДОМ ОТ ВСТРОЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИРОГРАФИТА

Опытные данные о свойствах пирографита позволяют предложить вариант технологии изготовления

многослойных ПП с теплоотводом на основе пирографита с учетом особенностей материала (рис. 15). На первом этапе прессуется пакет из базового листа стеклотекстолита, двух листов препрега и листа пирографита между ними. При этом лист закрепляется эпоксидной смолой и инкапсулируется между двумя листами препрега. На второй стадии процесса путем фрезерования удаляются лишние участки пирографита, формируется контур теплоотводящего элемента. Для дополнительного закрепления листа пирографита в заготовке могут быть просверлены отверстия. Затем поверх полученной многослойной заготовки напрессовываются листы препрега и стеклотекстолита, при этом эпоксидная смола затекает в сформированные углубления и обеспечивает контакт с базовым слоем стеклотекстолита, что увеличивает механическую прочность платы. Далее фрезерованием формируется углубление для монтажа компонента, после чего он монтируется, инкапсулируется, создаются контакты. В месте фиксации ПП на шасси или закрепления радиатора формируется окно до слоя пирографита, с которым тем или иным образом осуществляется тепловой контакт с теплоотводящим элементом.

Такая технология требует высоких показателей точности обрабатывающего оборудования по оси,

перпендикулярной плоскости заготовки. Кроме того, должна быть обеспечена плоскостность заготовки в процессе обработки. Это необходимо для создания пазов с точной глубиной, так как толщина слоя пирографита составляет 25...100 мкм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение листового пирографита в качестве теплоотводящего элемента в микросборках со встроенными компонентами является перспективным методом обеспечения их теплового режима, благодаря высокой теплопроводности этого материала вдоль базисных плоскостей. Малые массогабаритные характеристики и способность его слоев значительно смещаться друг относительно друга при изгибе делают этот материал актуальным при изготовлении гибких и гибко-жестких плат, нуждающихся в отведении тепла на элементы металлического корпуса.

Включение пирографита в структуру жесткой платы требует применения специальных конструкторско-технологических мер по обеспечению прочности платы и во избежание расслаивания слоя пирографита вдоль базисных плоскостей. Данный материал, будучи изготовленным в виде листов толщиной в несколько десятков микрометров, в рамках традиционного

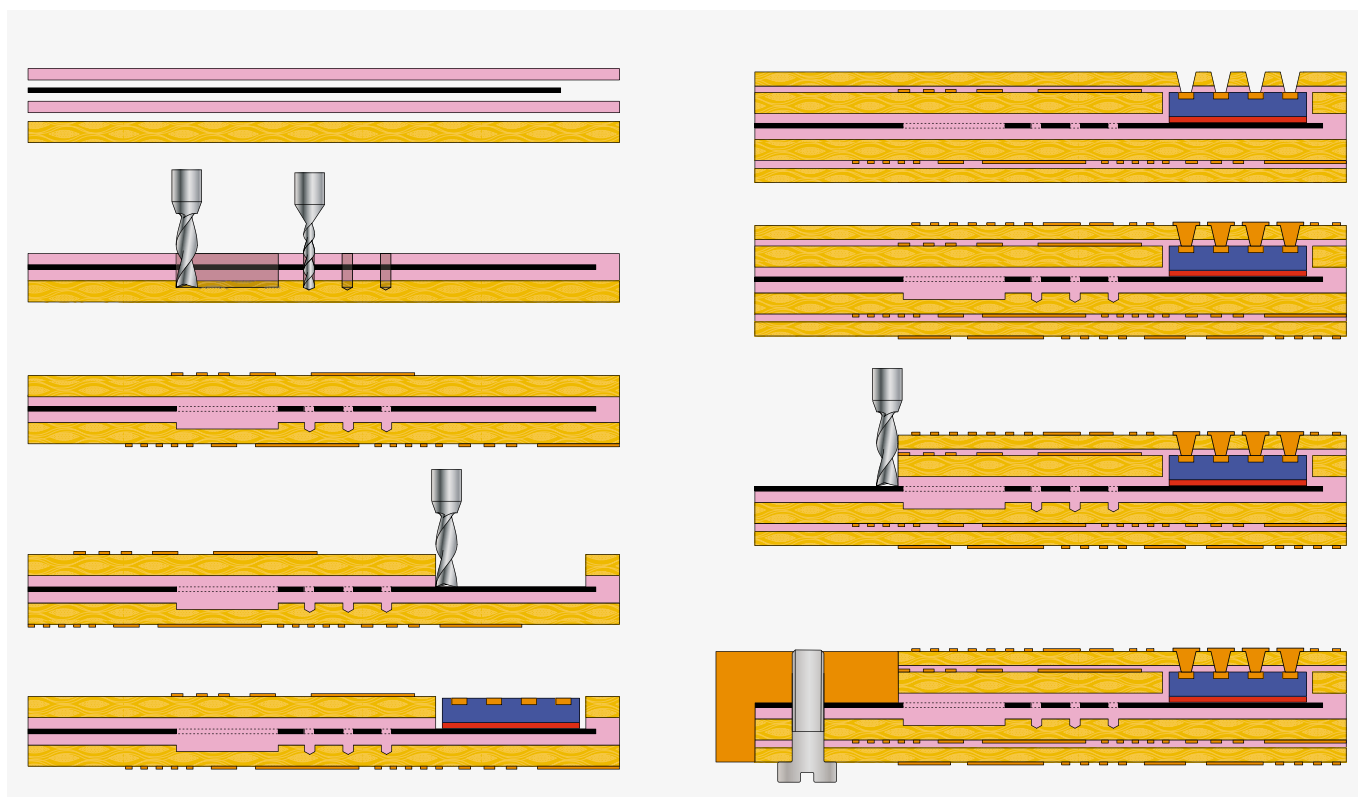


Рис. 15. Технологический процесс изготовления ПП со встроенными компонентами и теплоотводом на основе листового пирографита

технологического процесса изготовления жестких многослойных ПП поддается прессованию, механической обработке, прямой металлизации и т. д. при сохранении типовых значений технологических параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Фиалков А.** Пирографит; получение, структура, свойства // Успехи химии, 34 (1), 1965.
2. **Pierson H. O.** Handbook of Carbon, Graphite, Diamonds and Fullerenes, 1994.
3. **Nishiki N.** Synthesis and Characterization of Pyrolytic Graphite from Heat-treated Polyimide // IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, 2003.
4. **Ooshiro T., Kawamura N.** «Method for producing graphite sheet». Патент US 2014/0332993 A1, 2013.
5. **Лившиц Б.** Физические свойства металловисплавов, 1980.
6. Panasonic, Products Catalog (Thermal Management Solutions), 2020. [Сайт]. URL: <https://industrial.panasonic.com/cdbs/www-data/pdf/AYA0000/AYA0000COL24.pdf>.
7. Panasonic, Pyrolytic Graphite Sheet Evolves to Meet Tough Thermal Demands, 2015. URL: <https://www.electronicdesign.com/technologies/product-roundup/article/21801056/pyrolytic-graphite-sheet-evolves-to-meet-tough-thermal-demands>.
8. BOYD Corporation, Technical Data Sheet. Flexible Thermal Conductors – Thermal Straps & Strap Assemblies. [Сайт] URL: <https://info.boydcorp.com/hubfs/Thermal/Conduction-Cooling/Boyd-Thermal-Straps-Technical-Datasheet.pdf>.
9. BOYD Corporation, Encapsulated Graphite Heat Spreaders. [Сайт]. URL: <https://www.boydcorp.com/thermal/conduction-cooling/encapsulated-graphite-heat-spreaders.html>.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 2600 руб.
за два тома

ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ СПРАВОЧНИК. В 2-х КНИГАХ

Под ред. К. Кумбза

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2022. – 2032 с.,
ISBN 978-5-94836-258-8
Т. 1. – 1016 с. Т. 2. – 1016 с.

В издании рассматриваются все процессы создания и применения печатных плат: проектирование и выбор базовых материалов, изготовление, обеспечение качества и оценки надежности печатных плат и печатных узлов, монтаж плат, включая особенности бессвинцовых технологий пайки, а также методы и средства испытаний применительно к специальным требованиям. Шестое издание дополнено информацией по ценообразованию, количественной оценке технологичности плат, управлению производством и решению экологических проблем.

Справочник рассчитан на широкий круг специалистов-технологов, конструкторов, схемотехников и специалистов по надежности, поскольку печатные платы являются фундаментом проектирования и производства изделий электроники.

Данная книга может служить учебным пособием для студентов и аспирантов вузов соответствующих специальностей.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru



Разработка и производство конденсаторов

оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы

K50-15, K50-17, K50-27, K50-37, K50-68, K50-77, K50-80, K50-81, K50-83, K50-84, K50-85, K50-86, K50-87, K50-88, K50-89, K50-90, K50-91, K50-92, K50-93, K50-94, K50-95(чип), K50-96, K50-97(чип), K50-98, K50-99, K50-100, K50-101(чип), K50-102, K50-103, K50-104, K50-105, K50-106

объемно-пористые танталовые конденсаторы

K52-1, K52-1M, K52-1BM, K52-1B, K52-9, K52-11, K52-17, K52-18, K52-19, K52-20, K52-21, K52-24, K52-26(чип), K52-27(чип), K52-28, K52-29, K52-30

оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы

K53-1A, K53-7, K53-65(чип), K53-66, K53-68(чип), K53-69(чип), K53-71(чип), K53-72(чип), K53-74(чип), K53-77(чип), K53-78(чип), K53-82

суперконденсаторы (ионисторы)

K58-26, K58-27, K58-28, K58-29, K58-30, K58-31, K58-32, K58-33

накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов НЭЭ, МИК, МИЧ, ИТИ

Система менеджмента качества сертифицирована на соответствие требованиям ISO 9001

