

# Графитовый термоинтерфейс от Panasonic

**Эффективность работы силовых устройств и компонентов высокой мощности находится в прямой и непосредственной зависимости от эффективности теплоотвода. В некоторых областях электроники, например, в вычислительном оборудовании, дальнейшее развитие и совершенствование процессоров просто невозможно без применения новых теплопроводящих материалов. Статья посвящена одному из них — искусственному графиту.**

**Светлана Пескова**  
svetlana@platan.ru

Силовые модули, такие как IGBT-сборки, диодные и тиристорные модули, имеют высокое тепловыделение. Для отвода тепла традиционно используются радиаторы, которые часто оказываются самыми габаритными изделиями силового блока. Кроме того, модули обычно монтируются на радиатор с помощью термопасты, которая не только не обеспечивает электроизоляцию, но и вызывает проблемы при обслуживании и демонтаже.

Компания Panasonic Industrial разработала инновационное решение — искусственный графитовый материал PGS, который обеспечивает теплоотвод с эффективностью, в восемь раз превышающей свойства алюминиевых и в пять раз — медных радиаторов: от 400 до 1950 Вт/(м·К). Кроме высокой эффективности, новый материал сверхлегкий, сверхплоский (до 10 мкм), может гнуться и вырезаться под компонент

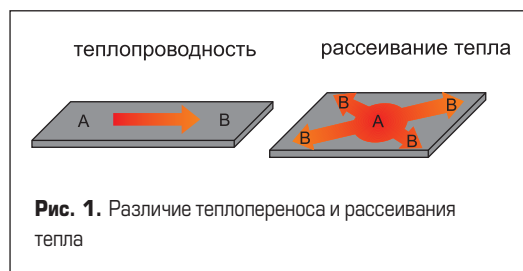
любого размера. Теплоотвод осуществляется в проекции как XY, так и Z. Другими словами, обычные материалы отводят тепло (передают от источника нагрева к радиатору), а PGS листы рассеивают его (рис.1).

Однако любой теплоотвод имеет свои ограничения. Они есть и у PGS-пленки. Это анизотропный материал, который отлично проводит тепло в проекции XY, а вот по оси Z его теплопередача составляет всего лишь 20 Вт.

PGS сделан из высокоориентированной графитовой полимерной пленки, чья структура близка к одиночному кристаллу. Шестигранная структура кристалла графита унифицировано расположена в 2D-структуре.

Материал отлично подходит для использования в качестве радиаторов и теплоизоляторов в тех приложениях, где применение стандартных радиаторов невозможно по причине их больших габаритов. Кроме того, его можно использовать в качестве дополнительного средства теплоотвода наряду со стандартными компонентами. Как уже было сказано, благодаря гибкости из этого материала можно вырезать объект любой требуемой формы.

Основными преимуществами PGS являются низкое термосопротивление, высокая теплопроводность и простота применения.



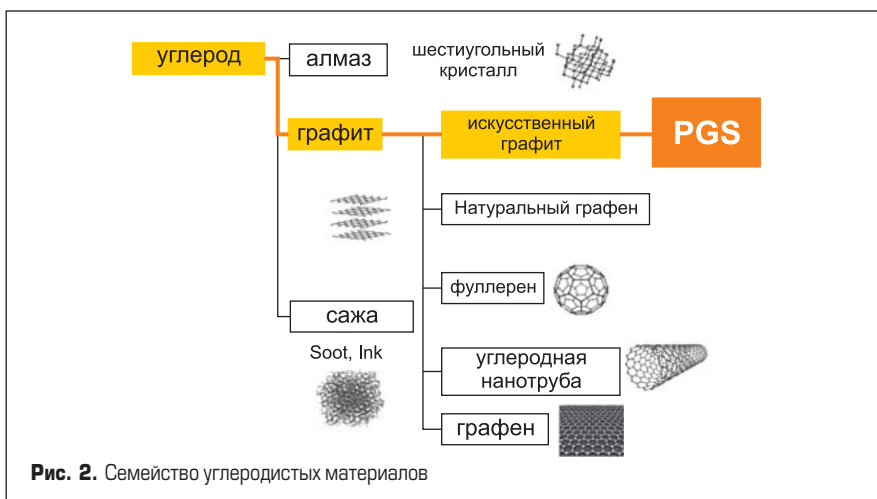
## Материал

За изобретение искусственных гибких графитовых листов компанией Panasonic была удостоена несколько премий, в частности, Inchimura-Industrial Award, Okochi-Memorial Award и др.

В основе материала лежит обычный углерод, который представлен в природе в виде алмаза, графита или углеродной сажи.

Пиролитический графит образуется в процессе спекания, полимерная пленка нагревается до состояния расщепления в камере без доступа воздуха. Первый обжиг преобразует полимер в углерод, второй обжиг образует шестиугольную углеродистую цепочку графита.

Искусственный графит отличается малым весом, высокой стабильностью и стойкостью к воздействию окружающей среды (рис. 2).



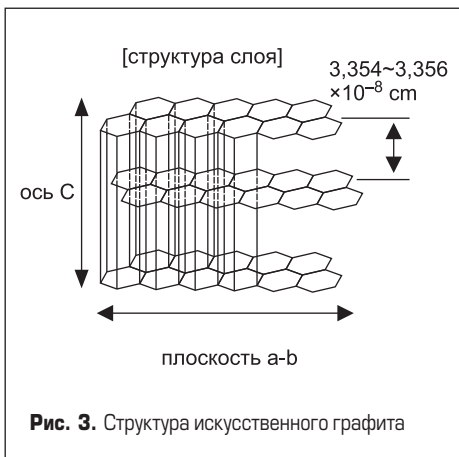


Рис. 3. Структура искусственного графита

Кристаллическая решетка графита организована по плоскостному принципу, шестиугольные ячейки атомов находятся в одной плоскости, что делает структуру слоистой (рис. 3, 4). Отсюда вытекает мягкость материала, обеспечивающая конформность термопрокладки.

Еще одна положительная черта искусственного графита — он не выделяет силоксан при нагреве. Этим «страдают» кремнийорганические материалы (стандартные силиконовые прокладки), поэтому по международным стандартам они запрещены к применению в медицинской и оптической промышленности, а также при работе с датчиками.

Мы уже упомянули, что разработка искусственного графита позволила добавить материалу свойства электроизолятора. Дополнительным «бонусом» применения графитовых подложек является и экранирование от электромагнитных помех.

**Теплопроводность**

Параметры теплопроводности графитового материала не могут не удивлять, от 400 до 1950 Вт/м·К. Помимо теплопроводности, материал обладает хорошей скоростью как передачи тепла, так и охлаждения.

На рис. 5, 6, 7 показаны результаты сравнительных исследований по рассеиванию тепла PGS, меди и алюминия. Видно, что графитовые листы более равномерно распределяют тепло по всему радиатору, защищая источник тепла от перегрева.

Для тестов использовался резистивный элемент 12 Вт на радиаторе 90×90 мм.

**Термосопротивление**

Термосопротивление показывает степень «непродимости» тепла материалом. Материалы с более низким термосопротивлением будут более эффективно отводить тепло (рис. 7).

Термосопротивление PGS лучше, чем у традиционной теплопроводной пасты, даже при наличии у него ламинирующего и клевого слоя. Измерения проводились на тестере термоинтерфейсов TIM Tester (производитель ANALYSIS TECH, стандарт ASTM D5470).

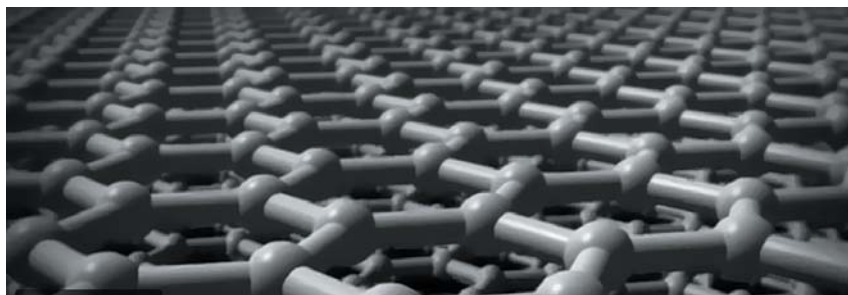


Рис. 4. Модель графитовой ячейки

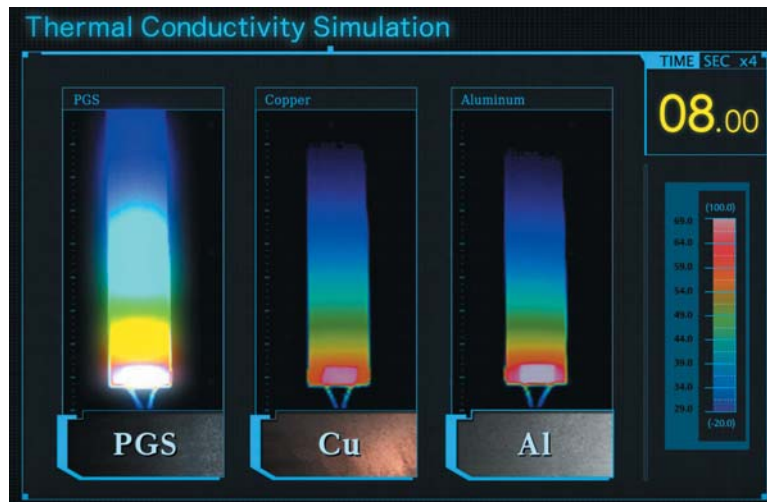


Рис. 5. Сравнение теплопроводности алюминия, меди и PGS-листов

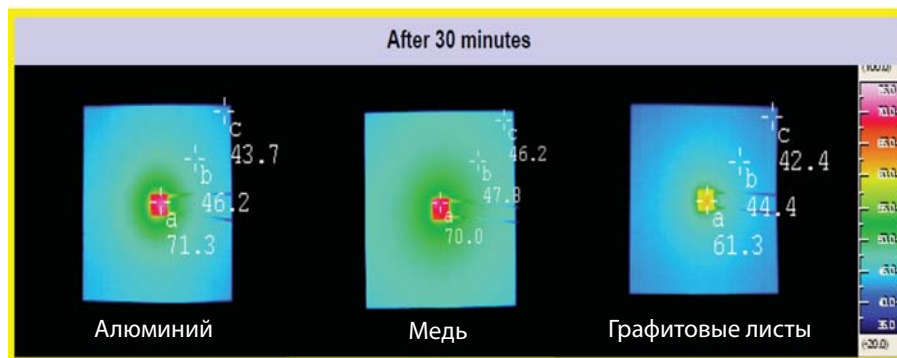


Рис. 6. Сравнение теплопроводности алюминия, меди и PGS-листов

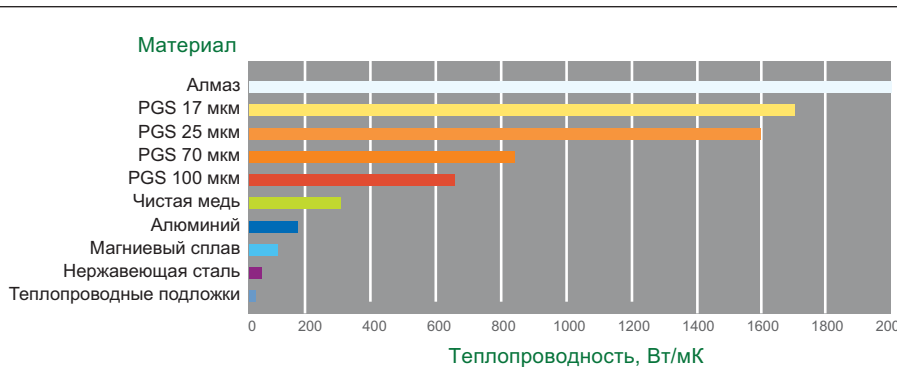


Рис. 7. Сравнение теплопроводности PGS-листов различной толщины

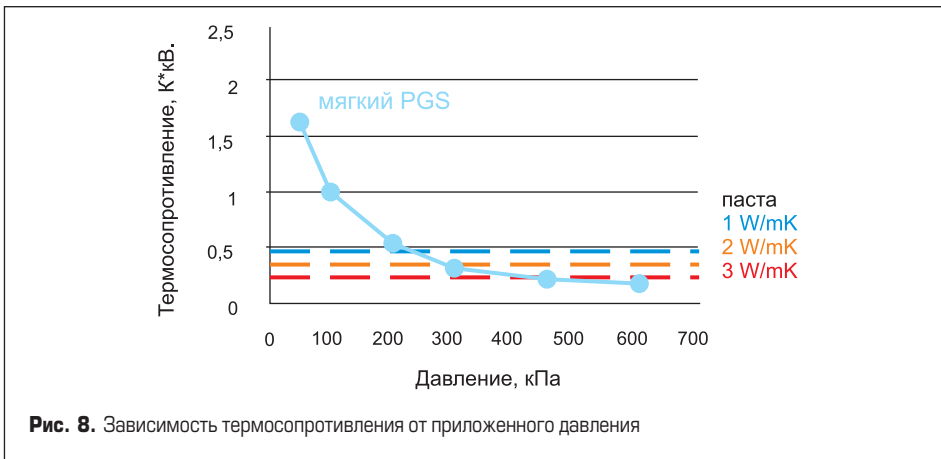


Рис. 8. Зависимость термосопротивления от приложенного давления

Типичный уровень термосопротивления составляет 0,2 К\*см<sup>2</sup>/Вт (при приложенном давлении 600 кПа).

Принципиальное значение для эффективной работы термоинтерфейса имеет приложенное давление (рис. 8), поэтому материал должен использоваться только как прокладка для винтового крепления силового модуля к радиатору или корпусу. Коэффициент сжатия термоинтерфейса составляет 40%. Максимальная эффективность подложек достигается при максимальном сжатии.

Другой важный момент — долговременная стабильность термосопротивления. Графитовый материал Panasonic показывает стабильно низкое термосопротивление во всем периоде эксплуатации. Многим инженерам известна такая ситуация: металлические пластины силовых модулей при нагреве расширяются и сжимаются при охлаждении, при этом происходит «выдавливание» пасты

за пределы подложки. При охлаждении модуля паста не занимает образовавшиеся пустоты, в результате чего ее термосопротивление в процессе эксплуатации значительно ухудшается.

В таблице 1 приводятся результаты тестов после 120 циклов термоциклирования -40...+100 °С.

**Эксплуатационные характеристики**

PGS удобен в монтаже и логистике. В отличие от пасты, он выпускается в листовом исполнении и легче поддается складскому учету. Также графитовые листы удобны в случае ремонта или обслуживания силовых блоков. Модуль можно демонтировать, а затем повторно установить на ту же подложку (рис. 9).

Кроме того, диапазон рабочих температур данного материала можно считать максимально широким среди всех термоматериалов: -50... +400 °С.

Благодаря высокой гибкости, графитовые листы можно использовать на поверхностях с любым рельефом. Сгибание материала не отражается на его теплопроводных свойствах (рис. 10).

**Эластичность или конформность**

Искусственный графит нельзя в полной мере назвать конформным материалом (т. е. материалом, который заполняет все неровности поверхности). Для его монтажа

Таблица 1. Сравнение эксплуатационных характеристик пасты и графитовых листов

Теплопроводящий материал	Первоначальное состояние	После 120 циклов термоциклирования
Паста		
PGS		

в любом случае требуется прижим, винтовое крепление или зажим. Это обеспечит защиту от воздушных ям.

Графитовые теплопроводящие интерфейсы выпускаются в двух модификациях: стандартные (EYGA) и мягкие (EYGS). Преимущество мягких материалов заключается в их способности эффективно работать даже с неровными поверхностями. При винтовом зажиме материал равномерно распределяется внутри полости, обеспечивая максимальный отвод тепла.

Кроме того, материал является очень гибким. Он допускает более 100 000 циклов сгибания на угол 90° (при радиусе сгиба 5 мм). При увеличении угла сгиба или уменьшении радиуса сгиба количество циклов может уменьшаться до 3 000 (минимум).

**Модельный ряд**

Как уже было сказано, искусственный графит, как и любой другой теплопроводящий материал, обладает некоторыми недостатками, например, электропроводностью или плохой конформностью (способностью заполнять неровности рельефа). Для минимизации влияния этих недостатков выпускаются различные модификации графитовых подложек:

- стандартные EYGA;
- повышенной мягкости EYGS;
- с эластомером EYGE.

Кроме того, подложки стандартного исполнения выпускаются с различными дополнительными верхними и нижними слоями:

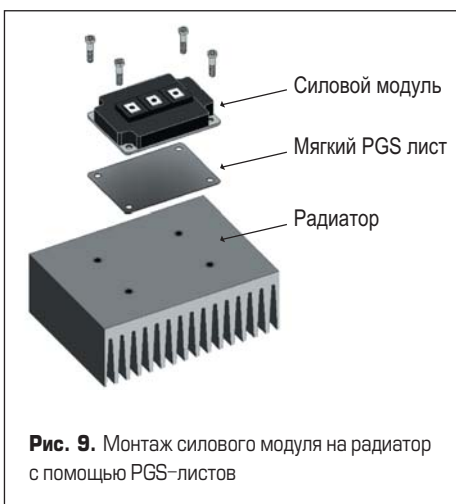


Рис. 9. Монтаж силового модуля на радиатор с помощью PGS-листов



Рис. 10. Сгибание графитового листа

Таблица 2. Технические характеристики PGS-термоподложек

Толщина, мкм		10	17	25	40	50	70	100
Теплопроводность, Вт/м·К	X-Y	1900	1750	1600	1350	1300	1000	700
	Z	10	11	18	20		26	
Термодиффузия, см <sup>2</sup> /с		10-12	10-11	9-10	9-10	8-10		
Плотность, г/см <sup>3</sup>		2,13	2,1	1,95	1,8	1,7	1,21	0,85
Удельная теплоемкость при +50 °С		0,85						
Термосопротивление, °С		400						
Сила прижатия, МПа	X-Y	40	30	25	20			
	Z	0,1			0,4			
Тест на сгибание, R5/180°, раз		30 000 и более						
Электропроводность, С/см		20 000						

на клеевой акриловой основе (суффиксы –А, –М, –F), с ламинирующим слоем из полиэстера (–Р, –D), с высокотемпературными защитными слоями (–V) (табл. 2).

### Особенности применения

Графитовые термоинтерфейсы не отличаются стойкостью к химическим воздействиям, поэтому на них не должны попадать растворители, соленая вода, газы, а также прямые солнечные лучи. Также не рекомендуется дотрагиваться до прокладок в рабочем состоя-

нии, это может привести к ожогу. Кроме того, графитовый материал не стоек к механическим воздействиям, поэтому следует избегать царапин и соприкосновения с трущимися поверхностями.

Следующим важным моментом является правильность ориентирования термолистов. Напомним, что искусственный графит является анизотропным материалом и хорошо проводит тепло по осям X–Y и плохо по оси Z.

Стандартные графитовые листы серии EYGA используются в нагревателях сидений, подогреве руля, серверных стойках центров

обработки данных. Листы на мягкой компрессионной основе EYGS получили широкое применение для теплоотвода силовых модулей.

При использовании материала в силовой электронике инженеры компании Panasonic предлагают удобный инструмент для подбора оптимального термоинтерфейса в зависимости от типа используемого силового модуля.

Мягкие термоинтерфейсы EYGS выпускаются как в стандартных листах, так и уже готовыми для применения под конкретные модули, в этом случае подложки имеют винтовые отверстия (от двух до 12) различного диаметра. ■