

# Теплорассеивающие полимерные композиты в микроэлектронике

**Характерной особенностью современной микроэлектроники является стремление к уменьшению размеров микроэлектронных устройств (МЭУ), сопровождающееся в ряде случаев увеличением их рабочей температуры и выделяющегося при этом тепла. В том случае, если это тепло не будет эффективно отведено и рассеяно в окружающей среде, устройства либо выйдут из строя, либо резко снижат эффективность своей работы.**

**Александр Криваткин,  
к. т. н.  
Юрий Сакуненко,  
к. т. н.**

plastmassa@gmail.com

Стоимость и размеры активных систем охлаждения (воздушные вентиляторы, водяное охлаждение, тепловые трубы) становятся уже сопоставимыми с размерами и стоимостью самих охлаждаемых устройств.

Чаще всего в пассивных системах охлаждения твердых тел используются металлические (как правило, алюминиевые) радиаторы. Они работают «посредниками» между генерирующими тепло электронными элементами и внешней средой.

Тепло отводится от источника тепловыделения через ребра радиатора (за счет механизма теплопроводности) на некоторое расстояние. На заключительном этапе оно передается уже непосредственно на его поверхности окружающему воздуху, за счет, например, конвективного механизма теплопередачи. Величина теплосъема на этом этапе зависит лишь от геометрии, размеров ребер радиатора, условий подвода «свежего» воздуха (скорости обтекания, температуры, влажности и т. д.) и практически не связана с теплопроводностью материала радиатора.

Именно на этом этапе лимитируется в конечном итоге отвод тепла. Это означает, что существует конкретный предел значений коэффициента теплопроводности материала радиатора, превышение которого не имеет никакого смысла, так как отводимое

от электронного элемента тепло уже не может быть рассеяно в окружающем воздухе.

Теплофизический анализ показывает, что эта «эффективно» работающая величина коэффициента теплопроводности колеблется в диапазоне 5–10 Вт/м·К. Дальнейшее его увеличение уже не приводит к увеличению теплосъема с радиатора в целом.

Это подтверждается серией экспериментов (CoolPolymers), в которых тепловой источник постоянной мощности закреплялся на пластинах одинакового размера, изготовленных из материалов с разной теплопроводностью (рис. 1). За точку отсчета бралась пластина из обычного пластмассы (теплопроводность — 0,2 Вт/м·К).

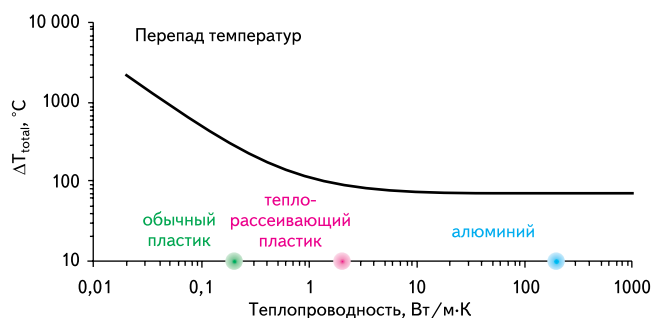
При десятикратном увеличении теплопроводности от 0,2 до 2,0 Вт/м·К перепад температур по пластине снизился в 200 раз, то есть наблюдалось очень эффективное выравнивание температурного поля. Однако уже следующее, стократное увеличение теплопроводности, с 2,0 до 200 Вт/м·К (чистый алюминий), привело лишь к незначительному уменьшению перепада по поверхности пластины на 2...4 °С.

Таким образом, теплопроводящий потенциал алюминия используется в пассивных системах охлаждения в лучшем случае лишь на одну десятую своих возможностей, а применение его технически не обосновано.

Для справки: теплопроводность реальных литейных сплавов алюминия 50–80 Вт/м·К, теплопроводность нержавеющей стали — 18 Вт/м·К.

Теплопроводность стандартных пластмасс колеблется в районе 0,1–0,3 Вт/м·К. Они являются не проводниками тепла, а типичными теплоизоляторами, и поэтому не используются для охлаждения микроэлектронных устройств.

Это не позволяет разработчикам РЭУ использовать полностью громадный экономический потенциал применения пластмасс в современных технологиях массового производства, что особенно актуально для тиражируемых в миллионных количествах современных телефонов, компьютеров, светильников и других потребительских приборов и МЭУ. Именно пластмассовые корпуса, монтажные платы



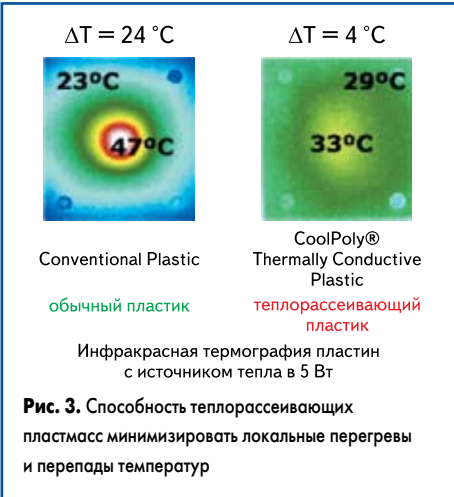
**Рис. 1.** Влияние теплопроводности материала пластины на неравномерность ее температурного поля при точечном нагреве



**Рис. 2.** Сравнение способности эффективно отводить тепловую энергию теплорассеивающих и обычных пластмасс

и другие многочисленные детали из пластмасс являются в них по существу объединяющей, интегрирующей средой для взаимодействия радиоэлектронных и других функциональных элементов, с одной стороны, и потребителя — с другой. Массовая доля содержания пластмасс в этих изделиях неуклонно повышается и достигает в некоторых случаях 90–95%. Поэтому понятно стремление разработчиков использовать пластмассы и для охлаждения МЭУ.

Решение этой проблемы было найдено после разработки и начала промышленного выпуска так называемых теплорассеивающих полимерных композитов (ТРПК) с теплопроводностью, которая многократно, в десятки и сотни раз превосходит теплопроводность традиционных пластмасс (рис. 2, 3).



**Рис. 3.** Способность теплорассеивающих пластмасс минимизировать локальные перегревы и перепады температур

Такое резкое повышение теплопроводности композита стало возможным за счет подбора специальных полимерных матриц и использования наполнителей с высокой теплопроводностью (до 150–250 Вт/м·К). Это, как правило, либо углеродные наполнители, либо наполнители на основе нитридов бора или нитридов алюминия. В зависимости от наполнителя эти композиты могут либо сохранять свои электроизоляционные свойства, либо иметь на 5–10 порядков более низкое поверхностное электрическое сопротивление, то есть перейти одновременно в класс антистатических и электропроводящих пластмасс.

Некоторые зарубежные производители полимерных композитов специального назначения сообщили о начале промышленного выпуска теплорассеивающих полимерных композитов.

**Таблица.** Новые полимерные композиты

Торговая марка	Производитель	Теплопроводность, Вт/м·К
CoolPoly	CoolPolymers, USA	1–40
Laticonter	Lati, Italy	1–15
Fortron (*)	Ticona, USA	1,1–3
RTP (99x)	RTP, Imagineering Plastics, USA	1–18
Теплосток	Спецпласт-М, Россия	1–13

Все эти композиты (таблица) перерабатываются на стандартных термопластавтоматах. Точность изготовления таких изделий выше, чем при применении алюминиевых сплавов и керамики. Это позволяет проектировать меньшие монтажные допуски, что приводит к уменьшению паразитных воздушных (теплоизолирующих) зазоров между тепловыделяющим элементом и радиатором, что дополнительно улучшает теплопередачу между ними.

Из ТРПК можно легко, в отличие от алюминиевых сплавов, изготовить изделия практически любой формы (3D-дизайн). Это дает возможность разработчику спроектировать более развитую теплопередающую поверхность радиатора, а также использовать для этих целей функционально другие детали МЭУ (монтажные планки, ребра жесткости, перегородки, собственно сами корпуса и оболочки устройств и т. д.), создавая, по сути, интегрированную систему пассивного охлаждения с гораздо большей эффективной площадью теплообмена.

При использовании ТРПК с углеродными наполнителями, имеющим низкое электрическое поверхностное сопротивление, появилась возможность минимизировать так называемый «антенный эффект» от металлических радиаторов и уменьшить тем самым радиозащитность МЭУ.

Преимуществом изделий из ТРПК является почти двукратное снижение их веса, по сравнению с аналогичными изделиями из алюминия. Это особо важно для носимых МЭУ (рации, фонари на основе LED-технологий), снижения полетной массы изделий с применением МЭУ, повышения их виброустойчивости.

Среди основных сложившихся направлений применения ТРПК можно выделить следующие.

### Термоинтерфейсы

Это изделия либо комплекс изделий, обеспечивающих передачу тепла непосредственно от МЭУ в окружающую среду. Типичным представителем термоинтерфейса являются металлические радиаторы охлаждения (рис. 4).

По данным фирмы CoolPolymers два одинаковых по геометрическим размерам радиатора, изготовленных из алюминия и ТРПК на основе углеродного наполнителя, продемонстрировали в условиях естественного охлаждения практически одинаковую теплопроизводительность. К тому же, благодаря более низкому, чем у алюминия, коэффициенту термического расширения и высокой размерной точности детали из ТРПК обеспечивается минимизация воздушных зазоров и шероховатостей между



**Рис. 4.** Внешний вид:  
а) 3D-радиатора;  
б) тонкостенного 3D-радиатора;  
в) комбинированного 3D-радиатора

МЭУ и термоинтерфейсом, улучшение теплопередачи, не требуется дополнительная механическая доработка. В итоге (при крупносерийном производстве) радиаторы, изготовленные из ТРПК, стоили почти в два раза дешевле, а их вес уменьшился на 40%.

Разработчики фирмы Apple выполнили термоинтерфейс видеопроцессора в виде элемента внешнего корпуса ноутбука. Это позволило эффективно охлаждать видеопроцессор без применения вентилятора и повысить стабильность работы компьютера.

### Катушки, втулки с проволоочной намоткой

Катушки, втулки с проволоочной намоткой — соленоиды, дроссели, катушки зажигания, детали трансформаторов и т. д. Выделяющееся при работе этих изделий тепло эффективно рассеивается по всей детали, что предотвращает местные перегревы и увеличивает надежность в целом, а также позволяет уменьшить габариты изделия.

### Тепловые трубы

Тепловые трубы — это устройства для эффективной теплопередачи, использующие эффект поглощения и выделения теплоты фазового перехода некоторых жидкостей (рис. 5).

Из ТРПК изготавливается и теплопоглощающая панель. Причем она может одновременно быть как гнездом для установки МЭУ, так и теплоизлучающим радиатором, внутри которого происходит конденсация рабочего тепла, а на поверхности — внешний теплообмен.



**Рис. 5.** Тепловые трубы, изготовленные с применением ТРПК

### **Корпуса шаговых электродвигателей**

Применение ТРПК при изготовлении корпусов таких двигателей позволило заменить одинаковую по теплопроводности нержавеющей сталь, уменьшить количество деталей сборки и их габариты, существенно снизить издержки производства.

### **Подшипники скольжения**

ТРПК на основе гибридных графитовых наполнителей, сочетающих как теплопроводящий, так и смазочный графит, позволяют реализовать большие значения, например, PV-фактора, и эффективно отводить тепло из зоны трения на периферию подшипника.

### **Мощные резисторы**

Применяя технологию, например, закладных деталей, получают инкапсулированный в теплопроводное окружение резистор. Выделяемое им тепло равномерно распределяется по поверхности и более эффективно передается внешней среде.

### **Светильники**

Светильники — вероятно, наиболее перспективная и емкая сфера применения ТРПК.

Стремительный прогресс в создании все более мощных и миниатюрных светоизлучающих диодов (СИД) создал ситуацию, когда отвод тепла, неизбежно возникающего при работе мощных и сверхмощных СИД, становится одной из главных проблем для их стабильной работы. Особенно остро эта проблема стоит при проектировании мощных носимых светильников (фонари, мини-прожекторы, сигнальные маяки и т. д.), где использование для охлаждения традиционных металлических радиаторов и рефлекторов приводит к критическому увеличению веса и усложнению конструкции.

Применение ТРПК позволяет решить эту проблему. Использование композита Laticonter с теплопроводностью 10 Вт/м·К в фонарях фирмы Fanton SpA позволило создать сверхкомпактный легкий фонарь со световой мощностью 1500 лк, в котором нет металлических деталей.

ТРПК с успехом применяются в фонарях с лампами накаливания и рефлекторах. Из них изготавливаются толстостенные отражатели с напыленной светоотражающей поверхностью. Они одновременно играют роль теплорассеивающего радиатора и кон-



**Рис. 6.** Светильник MR16 с корпусом из ТРПК

центратора светового и теплового излучения.

Компания Philips заявила о разработке серии инновационных светильников MR16 на основе трех мощных светодиодов (рис. 6).

Формфактор этого светильника соответствует стандартным 12-В галогеновым лампам. Практически весь этот светильник сделан из теплорассеивающей пластмассы фирмы DSM (США).

По мнению экспертов, способность ТРПК эффективно рассеивать тепло, сочетающаяся с высокой точностью изготовления из них деталей практически любого уровня сложности и резкого снижения их веса, сделает теплорассеивающие пластмассы одним из самых востребованных новых полимерных композитов предстоящего десятилетия. ■