

Зачем нужны теплопроводящие материалы

Большинство электронных компонентов обладает малым энергопотреблением и в процессе своей работы вырабатывает незначительное количество тепла. Однако некоторые устройства, такие как силовые транзисторы и диоды, процессоры, выделяют тепло в значительном объеме, и для продления срока их службы и повышения надежности может потребоваться принятие ряда мер.

Ирина Буданова

pr@protehnology.ru

Рассмотрим тепловыделяющий электронный компонент. В процессе работы его температура будет повышаться до тех пор, пока генерируемое внутри компонента тепло не сравняется с потерями тепловой энергии в окружающее пространство — компонент достигнет равновесного состояния. Скорость потери тепла нагретым телом приближенно описывается законом теплообмена Ньютона — он устанавливает, что скорость потери тепла пропорциональна разнице температур между телом и окружающей его средой.

С ростом температуры компонента потери тепла увеличиваются: когда потери тепла за секунду срав-

ниваются с теплом, вырабатываемым компонентом за секунду, компонент достигает своей равновесной температуры.

Перегрев может существенно сократить срок службы компонента или даже вызвать отказ устройства. Те же самые соображения применимы к сборке в целом или устройству, в составе которого имеются отдельные тепловыделяющие компоненты. Следовательно, необходимо предпринять меры по управлению тепловыми режимами.

В случае принудительного обдува скорость потери тепла будет выше, нежели в неподвижном воздухе, поэтому один из способов управления температурой компонента или сборки — внедрить в конструкцию кулер или несколько кулеров для увеличения потока воздуха. Даже обеспечение достаточной общей вентиляции приведет к снижению рабочей температуры по сравнению с ситуацией, когда сборка находится в замкнутом пространстве без вентиляционных отверстий. Еще один аспект, который может остаться за пределами рассмотрения, — пониженное атмосферное давление на больших высотах, сокращающее эффективность теплообмена с окружающей средой и, соответственно, вызывающее повышение рабочих температур устройства.

Весьма специализированным методом управления тепловыми режимами является использование жидкостного охлаждения, а также устройств на эффекте Пельтье. Типовое жидкостное охлаждение предусматривает циркуляцию жидкого хладагента в непосредственной близости от устройства — жидкости обладают более высокой эффективностью теплопередачи, чем воздух. Доработанный вариант жидкостного охлаждения — применение тепловых трубок. В этом случае хладагент переходит в парообразное состояние на горячем компоненте, затем пар перетекает в холодную зону, где конденсируется. Скрытая теплота парообразования жидкости обеспечивает весьма эффективное охлаждение компонентов. Этот принцип широко распространен в холодильных установках. Эффект Пельтье наблюдается, когда постоянный ток пропускается через соединение двух разнородных металлов — при протекании тока в одном направлении соединение нагревается, в противоположном — охлаждается. В настоящее время обнаружены полупроводниковые материалы, демон-



Рис. 1. Линейка теплопроводящих материалов Electrolube

Таблица. Теплопроводящие компаунды компании Electrolube

	Не отверждаемые						RTV		Отверждаемые				
	HTC	HTCX	HTCP	HTCPX	HTS	HTSP	TCOR	TCER	TBS	ER2220	ER2183	UR5633	SC2003
	Бессиликоновая теплопроводящая паста	Бессиликоновая теплопроводящая паста «Экстра»	Бессиликоновая теплопроводящая паста «Плюс»	Бессиликоновый теплопроводящий компаунд «Экстра плюс»	Силиконовый теплопроводящий компаунд	Силиконовый теплопроводящий компаунд «Плюс»	Теплопроводящий состав холодного отверждения с системой «Оксим»	Теплопроводящий состав холодного отверждения с системой «Этоксим»	Двухкомпонентная эпоксидная термо связующая система	Двухкомпонентная эпоксидная смола	Двухкомпонентная эпоксидная смола	Двухкомпонентная полиуретановая смола	Двухкомпонентная силиконовая смола
Теплопроводность, Вт/м·К	0,9	1,35	2,5	3,4	0,9	3	1,8	2,2	1,1	1,54	1,1	1,24	0,8
Плотность, г/мл	2,04	2,61	3	3,1	2,1	3	2,3	2,3	1,85	2,22	1,95	1,65	1,6
Вязкость, мПа·с**	204 000	130 000	105 000	640 000	210 000	45 000	145 000	85 000	75 000	15 000	5000	30 000	30 000
Время отверждения, ч (при +20/+60 °С)	–	–	–	–	–	–	24*	24*	–	24/4	24/4	24/4	24/1
Температурный диапазон, °С	–50...+130	–50...+130	–50...+130	–50...+130	–50...+200	–50...+200	–50...+230	–50...+230	–50...+130	–40...+120	–40...+130	–50...+125	–60...+200
Потеря веса при испарении, % (96 ч при +100 °С, IP-183)	≤1	≤0,4	≤1	≤1	≤0,8	≤0,8	–	–	–	–	–	–	–
Диэлектрическая прочность, кВ/мм	42	42	42	42	18	18	>8	>8	11	10	10	18	20
Объемное сопротивление, Ом·см	1×10 ¹⁴	1×10 ¹⁴	1×10 ¹⁴	1×10 ¹⁴	1×10 ¹⁵	1×10 ¹⁵	1×10 ¹⁴	1×10 ¹⁴	1×10 ¹⁴	1×10 ¹⁵	1×10 ¹⁵	1×10 ¹⁴	1×10 ¹⁵

Примечания.

* Для отверждения требуется влажность. Повышенная температура не рекомендуется, если только не присутствует необходимая влажность.

** Данная информация должна использоваться только в справочных целях.

стрирующие такой эффект, и их массив может применяться в целях охлаждения. Все эти охлаждающие устройства требуют присутствия теплопроводящих материалов на границе раздела с охлаждаемым компонентом, чтобы исключить наличие воздушной теплоизолирующей прослойки и повысить эффективность теплопередачи к системе охлаждения.

Возрастающая миниатюризация электроники повышает важность решения проблем с рассеиванием тепла. Более эффективное управление тепловыми режимами часто приводит к возрастанию надежности и увеличению ожидаемого срока службы устройств.

Тепло рассеивается в окружающую среду с поверхности компонента. Скорость потери тепла будет расти с увеличением площади этой поверхности. Маленький компонент, выделяющий 10 Вт, достигнет более высокой температуры быстрее, чем компонент одинаковой с ним мощности, но с большей площадью поверхности. Таким образом, один из способов ограничения рабочей температуры — искусственное увеличение площади поверхности. Это реализуется при помощи крепления металлического радиатора к устройству. Радиаторы могут изготавливаться методами штамповки, экструзионного прессования и литья, как правило, из меди, алюминия или их сплавов — радиатор должен хорошо проводить тепло. Радиаторы часто снабжены ребрами с целью максимизации площади поверхности, доступной для рассеивания тепла в окружающую среду. При использовании радиаторов более эффективным станет вариант исполнения, когда весь модуль хорошо вентилируется или же, что еще лучше, когда с помощью одного или нескольких вентиляторов реализован принудительный поток воздуха. Невозможно изготовить радиаторы и компоненты, соприкасающиеся поверхности которых были бы идеально плоскими, поэтому при контакте поверхности соприкасаются вершинами неровностей, вследствие чего между ними образуется небольшой воз-

душный зазор, распределенный по большому участку поверхности. Воздух — плохой проводник тепла, поэтому такая граница раздела будет работать в качестве теплового барьера, ограничивающего эффективность потери тепла устройством. Для преодоления подобного эффекта применяются теплопроводящие компаунды.

Теплопроводящие компаунды предназначены для заполнения зазора между устройством и радиатором и снижения, таким образом, теплового сопротивления на границе обеих деталей. Это приводит к ускоренной потере тепла в направлении радиатора и снижению рабочей температуры устройства.

Теплопроводящие компаунды бывают различных типов. Компания Electrolube выпускает широкую линейку теплопроводящих продуктов, обеспечивающих эффективное рассеивание тепла и предотвращение отказа устройства в результате повышенных рабочих температур (рис. 1, таблица):

- теплопроводящая паста без содержания силикона;
- теплопроводящая паста с содержанием силикона;
- теплопроводящие герметики-клеи и адгезивы;
- заливочные смолы.

Рассмотрим теплопроводящие пасты, которые могут наноситься для вытеснения воздуха с границы раздела компонент/радиатор. Пасты состоят из теплопроводящих минеральных наполнителей в жидкотекучем связующем — этот связующий материал может быть как на основе силикона, так и без него. Пасты на основе силикона от компании Electrolube, такие как HTS и HTSP, обычно предназначены для высоких рабочих температур.

HTS — силиконовая теплоотводящая паста, с высокой теплопроводностью 0,9 Вт/м·К и широким диапазоном рабочих температур –50...+200 °С (рис. 2).

HTSP — силиконовая теплопроводящая паста, имеет очень высокую теплопрово-

дность 3 Вт/м·К и широкий диапазон рабочих температур –50...+200 °С. Исключительные свойства достигаются благодаря оригинальному применению различных керамических порошков, отличающихся электроизоляционными свойствами, что делает всю композицию хорошим электрическим изолятором.

Силикон может создавать проблемы для некоторых сборок, поскольку он более текуч и способен вызвать загрязнение, например, контактов реле.

Для таких случаев компанией Electrolube разработан альтернативный вариант теплопроводящих паст без силикона — HTC и HTCP.

HTC и HTCP не содержат силиконов и поэтому не могут мигрировать на электрические контакты, способствуя увеличению их сопротивления, возникновению электрической дуги и механическому износу, а также возникновению проблем с пайкой.

HTC — бессиликоновая теплоотводящая паста, отлично подходит для тех мест, где требуется обеспечить эффективный и надежный отвод тепла от перегреваемых компонен-



Рис. 2. HTS — силиконовая теплоотводящая паста



Рис. 3. HTS — бессиликоновая теплоотводящая паста

тов, таких как диоды, транзисторы, тиристоры, микросхемы и т. п. Теплопроводный состав наносится между греющимся элементом и радиатором. HTS имеет теплопроводность 0,9 Вт/м·К и диапазон рабочих температур $-50...+130\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 3).

HTSP отличается очень высокой теплопроводностью в сочетании с преимуществами бессиликоновой основы. HTSP имеет теплопроводность 2,5 Вт/м·К и диапазон рабочих температур $-50...+130\text{ }^{\circ}\text{C}$. Исключительные свойства достигаются благодаря оригинальному применению различных керамических порошков, отличающихся электроизоляционными свойствами, что делают всю композицию изолятором (рис. 4).

Варианты исполнения вышеуказанных паст содержат больше наполнителя, и в их состав входит специальная композиция различных наполнителей, призванная увеличить теплопроводность. В общем случае пасты с более высокой теплопроводностью одновременно характеризуются и повышенной вязкостью, что может вызвать немалые трудности при дозировании.



Рис. 4. HTSP — бессиликоновая теплоотводящая паста

Теплопроводящие пасты остаются в пастообразном состоянии, что облегчает демонтаж компонентов для восстановления или ремонта. В некоторых обстоятельствах желательно применить теплопроводящий материал, который застывал бы до твердого состояния.

Материал TCOR от компании Electrolube представляет собой силиконовый герметик холодного отверждения с композицией минеральных наполнителей собственной разработки. TCOR был создан для заполнения зазора между устройством и теплоотводом, что уменьшает тепловое сопротивление. Он может применяться вокруг компонентов и силовых резисторов для рассеивания избыточного тепла к радиаторам, чтобы избежать любого потенциального перегрева и последующих сбоев. Его можно использовать в качестве прочного адгезива, герметика или уплотнительного компаунда. Продукт обладает высокой степенью теплопроводности 1,80 Вт/м·К и сохраняет свои рабочие характеристики в очень большом температурном диапазоне $-50...+230\text{ }^{\circ}\text{C}$, что делает его оптимальным для широкого спектра применений, особенно в автомобильной промышленности. При нанесении между радиатором и устройством он отверждается до состояния резины под воздействием атмосферной влаги (рис. 5).

Материал TBS от компании Electrolube — двухкомпонентный эпоксидный герметик, отверждаемый до прочного твердого состояния и крепящий радиатор к компоненту. TBS использует оксиды металлов для обеспечения отличной теплопроводности 1,10 Вт/м·К при электроизоляции, также композиция имеет температурный диапазон $-40...+120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это особенно полезно при изготовлении радиаторных сборок, где применяются механизмы «свинчивания назад», а конструкция изготовления теплоотводов не позволяет использовать методы сварки или пайки из-за сложности или геометрии ребер. TBS также оптимален для использования в качестве связующей среды в поверхностных монтажных узлах (рис. 6).

Это может стать преимуществом для конструкции некоторых устройств, но вызывает проблемы с демонтажем. При использовании любого теплопроводящего материала очень важно обеспечить полное заполнение зазора между радиатором и устройством и, соответственно, полное вытеснение воздуха. Обычно это реализуется при нанесении определенного объема компаунда в центр соединяемых поверхностей радиатора и устройства с последующим смыканием этих поверхностей таким образом, чтобы они оставались параллельными друг другу. Рекомендуется отслеживать количество наносимого материала, чтобы оно было достаточным для полного вытеснения воздуха, но при этом не слишком большим, чтобы на краях раздела поверхностей не появлялось бы неоправданных излишков. Этой цели легче достигнуть, применяя автоматизированное оборудование для дозирования и сборки (рис. 7). Полное удаление воздуха с границы раздела снижает тепловое сопротивление и рабочую температуру устройства. Чем выше теплопроводность пасты или компаунда, тем ниже тепловое сопротивление и,



Рис. 5. TCOR — теплопроводящий силиконовый герметик



Рис. 6. TBS — двухкомпонентный эпоксидный герметик



Рис. 7. Автоматизированное нанесение пасты HTS

соответственно, рабочая температура. Теплопроводящий компаунд будет обладать меньшей теплопроводностью, чем материал радиатора, поэтому выполнение более тонкой пленки материала на границе снизит тепловое сопротивление и, опять же, уменьшит рабочую температуру. Однако важно убедиться в том, что меньшая толщина пленки не приводит к появлению воздушных зазоров в ней. Контролировать толщину пленки можно, включая в состав пасты или компаунда очень маленькие твердые шарики из стекла (баллотини) с контролируемым диаметром — толщина прослойки будет определяться их диаметром.

Возможно, зная теплопроводность компаунда, толщину его пленки и площадь контакта с радиатором, рассчитать тепловое сопротивление на границе и, таким образом, равновесную рабочую температуру устройства. Необходимо знать мощность устройства и сделать допущения относительно температуры, которой достигает радиатор.

В случае тепловыделяющей сборки бывает достаточно обеспечить ее тепловой режим с помощью выполнения заливки в металлический контейнер с интегрированными ребрами охлаждения или без них, используя для этого теплопроводящий заливочный компаунд.

Компания Electrolube выпускает ряд таких материалов, наиболее популярными из них являются двухкомпонентные эпоксидные компаунды ER 2074 и ER 2183 (рис. 8). Еще раз напомним, что важно обеспечить отсутствие воздушных включений во время операции заливки, поскольку они будут препятствовать теплопередаче к металлическому корпусу. Если сверхвысокая теплопроводность данных компаундов не требуется, достаточно использовать заливочный компаунд общего назначения с наполнителем, такой как ER 2188. Теплопроводность минеральных наполнителей выше, чем у базовой смолы, поэтому смолы с наполнителем в том, что касается управления тепловыми режимами, предпочтительны по отношению к смолам без наполнителей. Чем выше процент содержания наполнителя, тем больше теплопроводность, однако, это приводит к увеличению вязкости и вероятности появления воздушных включений в материале заливки.



Рис. 8. Двухкомпонентный эпоксидный компаунд ER 2074