

## Экспериментальное сравнение изолирующих теплопроводящих прокладок для силовых транзисторов

Так получилось, что у автора подобралась небольшая коллекция различных теплопроводящих изолирующих прокладок. На различных радиолюбительских форумах периодически кем-нибудь задается вопрос: «А какую прокладку мне лучше всего поставить в моем «сварочнике» (или ином девайсе)»? Так как автор тоже не равнодушен к этой проблеме, то возникло желание как-то разобраться с этим вопросом практически. В связи с тем, что хорошее техническое слово «прокладка» изрядно скомпрометировано рекламой известных изделий в средствах массовой дезинформации, автор в дальнейшем будет использовать термин «подложка» (можно еще позаимствовать у оверклокеров выражение «термоинтерфейс», но оно слишком заумное и импортнячее).

Для реализации поставленной задачи был собран небольшой стенд: понижающий трансформатор с выпрямителем КВРС5010 на вторичной стороне и фильтрующей емкостью 4700 мкф, шунт 75ШСМ-50-0,5 для измерения тока и транзистор IRGP50B60PD1 в качестве подопытной нагрузки. Для регулировки тока через силовой транзистор первичная обмотка понижающего трансформатора включалась в сеть 220В через ЛАТР. Транзистор был установлен на радиатор площадью 480 см кв. Температура измерялась термопарой из комплекта мультиметра VC9805A с погрешностью  $\pm 1$  град. Цельсия.

Процесс проходил следующим образом. Через силовой транзистор пропускаться постоянный ток порядка 12А и контролировалась температура корпуса транзистора. Нагрев производился до тех пор, пока температура транзистора не достигнет своего почти равновесного значения, то есть скорость нагрева станет медленной либо рост температуры корпуса прекратится вообще. После этого измерялась температура корпуса и радиатора. Для измерения температуры радиатора в нем было сделано несквозное отверстие диаметром 2 и глубиной 4 мм на расстоянии 5 мм от бокового края транзистора. При измерении температуры корпуса термопара прижималась (с пастой КПТ-8) к верхней поверхности медного основания корпуса транзистора, доступ к которой возможен благодаря наличию технологических пазов в пластмассовой части корпуса по обе стороны от крепежного отверстия.

Так как метрологические возможности автора не позволяли провести *абсолютные* измерения, то все приведенные ниже цифры следует рассматривать в качестве *оценочных* и *относительных*. Для снижения погрешности автор старался сравнивать различные подложки при одинаковой температуре корпуса транзистора. Фактически, для сравнения теплопроводности (теплового сопротивления) подложек достаточно измерить и сравнить разницу температур корпуса транзистора и радиатора. При этом, чем выше температура корпуса транзистора, тем больше эта разница температур и меньше погрешность. Кроме того желательно проводить сравнение подложек при температуре корпуса транзистора, равной его рабочей температуре в реальном устройстве. По этим причинам автор делал замеры при температуре корпуса транзистора около 100 градусов. Полученные результаты приведены в таблице.

Подложка	Температура корпуса транзистора	Температура радиатора	Разность температур «корпус-радиатор»	Примечания
Транзистор без подложки	96	95	1	$U_{кэ}=1,556В$ , $I_{к}=12,2А$ , $P_{расс}=19,0 Вт$ .
Оксид бериллия	96	93	3	$U_{кэ}=1,545В$ , $I_{к}=12,33А$ , $P_{расс}=18,9 Вт$ . Размеры: 31x20x0,85 мм.

Оксид алюминия	96	88	8	Uкэ=1,579В, Iк=12,73А, Pрасс=20,1 Вт. Размеры: 30x23x1 мм.
Слюда	102	77	25	Uкэ=1,506В, Iк=11,6А, Pрасс=17,5 Вт. Размеры: 23x22x0,22 мм.
Импортный «Номакон»	97	67	30	Uкэ=1,472В, Iк=11,33А, Pрасс=16,7 Вт. Размеры: 21x15x0,32 мм.

Некоторые пояснения к таблице. Вариант «транзистор без подложки» использовался в качестве «опорной точки». Величина разности температур в 1 градус при погрешности +1 градус говорит о том, что в пределах погрешности измерений разницу температур радиатора и транзистора обнаружить не удалось (при указанной рассеиваемой транзистором мощности). На обе стороны подложек (кроме «Номакона») наносился максимально равномерный и тонкий слой пасты КПТ-8.

Подложка из «оксида алюминия» была извлечена из импульсного источника питания фирмы Benning, входящего в состав промышленного оборудования. Цвет у этой подложки молочно-белый (у бериллиевой – светло-серый или грязно-белый). Поэтому автор предположил, что у него в руках подложка из оксида алюминия. Полученные результаты тоже подтверждают это предположение. Стоит отметить, что существует достаточно много и других керамических материалов с высокой теплопроводностью, из которых производятся теплопроводящие изолирующие подложки: нитрид алюминия, нитрид бора, карбид кремния, оксид циркония, и другие. Причем, теплопроводность нитрида бора больше, чем у оксида бериллия.

Подложка из слюды имеет явно излишнюю толщину, так как для применения в источниках питания (для однофазной сети по крайней мере) достаточно слюды толщиной 0,07 – 0,05 мм исходя из необходимой электрической прочности. Поэтому, если применить подложку толщиной в три раза меньше, чем была у автора, то и ее тепловое сопротивление стало бы втрое меньше и можно было бы ожидать тепловые параметры, близкие к тем, что получились для подложки из оксида алюминия. Это подтверждают данные, приведенные в “Soldering and mounting techniques. Reference manual” фирмы “ON semi” (этот документ можно взять на сайте фирмы или на домашней странице автора). На рис. 10 этого документа приведен график зависимости теплового сопротивления «корпус транзистора – радиатор» от величины усилия прижима для подложек под корпус ТО-3 из различных материалов. Оказывается, что тепловое сопротивление подложки из оксида алюминия составляет порядка 0,35 К/Вт, а подложки из слюды толщиной 0,05 мм – порядка 0,4 К/Вт (с использованием термосмазки). На сайте фирмы “Fischer Elektronik” предлагаются различные подложки из слюды (мусковит), например подложки под корпус ТО-3 имеет следующие параметры:

- ✓ Толщина – 0,05 мм;
- ✓ Напряжение пробоя – 5 кВ;
- ✓ Сопротивление изоляции –  $3 \times 10^{17}$  ом/см;
- ✓ Тепловое сопротивление – 0,4 К/Вт;

При использовании таких тонких подложек необходимо тщательно зашлифовать поверхность радиатора (и, возможно, транзистора тоже), чтобы случайным задиrom, острой кромкой или твердой частицей какого-нибудь «мусора» не проколоть подложку.

Последняя подложка получила обозначение «импортный «Номакон»» из-за того, что по внешним признакам она не отличается от всем хорошо известного «Номакона», но была извлечена из блока питания компьютера «HP Vectra» 1995 года выпуска. Марка и производитель этой подложки не известны.

Хотя читатель уже сделал свои выводы, которые достаточно очевидны, все же попробуем их сформулировать. Если есть возможность применить подложки из оксида бериллия – их и надо ставить. По теплопроводности плюс электрической прочности они вне конкуренции. А вот по совокупности параметров «теплопроводность, электропрочность и цена» вне конкуренции дешевая и широко распространенная слюда. «Номакон» еще раз подтвердил свою пригодность только для маломощных источников питания бытового применения.

Из приведенных данных может сложиться впечатление, что при использовании подложек с высокой теплопроводностью можно допускать нагрев радиатора до 100 градусов и выше, однако не стоит забывать, что в реальном импульсном источнике питания в моменты включения/выключения кристалл транзистора может рассеивать большую импульсную мощность, типичная величина которой составляет единицы (в некоторых случаях – десятки) киловатт. Это приводит к «всплескам» температуры кристалла, которые накладываются на величину установившейся, статической температуры. Учесть колебания мгновенной температуры кристалла в любительских условиях не возможно, поэтому весьма желательно применение различных демпферных цепей, снижающих величину мгновенной мощности «на фронтах» коммутационных процессов.

© <http://Arcweld.mylivepage.ru>

Сергей Петров

18.03.2008 г.

P.S. Автор благодарит Михаила Шевченко за предоставленные подложки из оксида бериллия.

P.P.S. Полезные ссылки:

1. [www.heatsink-guide.com/compounds.html](http://www.heatsink-guide.com/compounds.html) - сайт посвящен термоинтерфейсам, кулерам и т.п. На английском.
2. [www.r-theta.com/rtools\\_front.html](http://www.r-theta.com/rtools_front.html) - предлагается бесплатный софт для моделирования тепловых процессов. Требуют регистрации.
3. [www.terralab.ru/supply/13736/](http://www.terralab.ru/supply/13736/) - статья «Термопрокладки».
4. [www.oao-tantal.ru/partner.php?id=405](http://www.oao-tantal.ru/partner.php?id=405) – один из производителей изделий из BeO.
5. <http://www.einfo.ru/phorum/read.php?f=1&i=16074&t=16074> – одно из предложений по поставке изделий из BeO.