

УДК 621.3.049.77

ПРОБЛЕМА ОТВОДА ТЕПЛА СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Гармилин Е.В., Рыляков А.В., Герман Е.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ефименко С.А. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. В работе рассмотрена проблема отвода тепла полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Представлены основные формулы для вычисления значений теплового сопротивления. Перечислены основные способы уменьшения величины теплового сопротивления силовых полупроводниковых приборов.

Ключевые слова: Полупроводниковые приборы, интегральные микросхемы, теплоотвод, радиатор, тепловое сопротивление

Введение. В настоящее время в современной микроэлектронике сложилась ситуация, при которой силовые интегральные схемы, а также силовые полупроводниковые приборы рассеивают относительно большие мощности. В связи с этим перед разработчиками стоит задача обеспечения эффективного отвода избыточной тепловой энергии от активной структуры полупроводниковых кристаллов. Современные силовые полупроводниковые приборы обеспечиваются эффективным тепловым контактом между корпусом и внешним радиатором. Как правило, один из выводов устройства связан с металлической поверхностью (например, у мощного n-p-n – транзистора она связана с его коллектором, у ИМС стабилизатора напряжения – с отрицательным выводом источника питания) [1].

Для того, чтобы обеспечить надежность силовых ИМС в составе радиоэлектронной аппаратуры и полупроводниковых приборов в технической документации, как правило, устанавливаются температурные ограничения кристалла (у кремниевых силовых приборов это значение составляет 150°C).

Основная часть. Теплоотводы (радиаторы) применяются вместе с приборами, которые заведомо приспособлены к работе с радиаторами. Характеристикой качества теплоотвода является величина теплового сопротивления, численное значение которого вычисляется по формуле:

$$R_{T \text{ кр-ср}} = \frac{T_{\text{кр}} - T_{\text{ср}}}{P}, \quad (1)$$

где $T_{\text{кр}}$ – температура кристалла, $T_{\text{ср}}$ – температура среды

Полное тепловое сопротивление полупроводникового прибора или силовой ИМС определяется по следующей формуле:

$$R_{T \text{ кр-ср}} = R_{T \text{ кр-кор}} + R_{T \text{ кор-ср}} \quad (2)$$

Для силового полупроводникового прибора с радиатором:

$$R_{T \text{ кр-ср}} = R_{T \text{ кр-кор}} + R_{T \text{ кор-рад}} + R_{T \text{ рад-ср}}, \quad (3)$$

где $R_{T \text{ кр-ср}}$ – тепловое сопротивление кристалл – внешняя среда, $R_{T \text{ кр-кор}}$ – тепловое сопротивление кристалл – корпус, $R_{T \text{ кор-рад}}$ – тепловое сопротивление корпус – радиатор, $R_{T \text{ рад-ср}}$ – тепловое сопротивление радиатор – внешняя среда, $R_{T \text{ кор-ср}}$ – тепловое сопротивление корпус – внешняя среда.[2]

Величина теплового сопротивления силовых приборов зависит от размера кристалла, способа монтажа кристалла в корпус и корпус на плате, материала, из которого изготовлен кристаллодержатель корпуса, а также скорости воздушного потока в радиоэлектронном устройстве.

Для каждого из элементов корпуса, участвующего в теплообмене, тепловое сопротивление может быть оценено исходя из следующего соотношения [1]:

$$R_T = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{l}{S}, \quad (4)$$

где λ – удельная теплопроводность материала; [Вт/(м·К)], l и S – длина и площадь поперечного сечения материала, через который протекает тепловой поток.

Любой силовой прибор в конкретных условиях эксплуатации работает в системе «прибор – окружающая среда». Тепловой баланс в этой системе «прибор – окружающая среда» устанавливается через некоторое время после подачи питающего напряжения. Непосредственно в момент подачи напряжения температура р-п перехода обычно равна температуре окружающей среды. С течением времени температура перехода постепенно повышается до некоторого установившегося значения (рис.1). При этом тепловая инерционность силового прибора обычно характеризуется параметром, который называют тепловой постоянной времени нагревания τ_T . Переходный процесс изменения температуры р-п перехода описывается экспонентой:

$$\Delta T(t) = \Delta T(\infty) \cdot (1 - e^{-t/\tau_T}) \quad (5)$$

где $\tau_T = \vartheta R_T$ – тепловая постоянная прибора, $\vartheta = C_0 \sigma V$ – теплоемкость слоя, C_0 – удельная теплоемкость [Дж/(кг·К)], σ – плотность материала [кг/м³], V – объем слоя [м³].

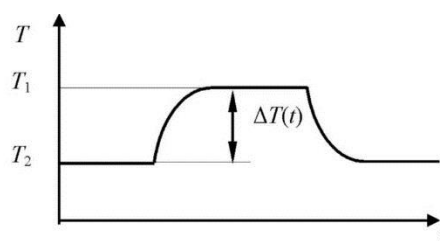


Рисунок 1 – Зависимость температуры перегрева силового прибора от времени (при подаче и отключении электрического режима)

Для различных участков силового прибора время установления постоянной температуры различно и зависит от конкретных конструктивных особенностей структуры прибора и теплоемкости используемого материала.

Основными факторами, определяющими надежность приборов являются электрические и тепловые воздействия на силовые ИМС и силовые полупроводниковые приборы. Высокая надежность таких приборов достигается исключением перегрузок отдельных областей структуры силовых приборов путем подбора режимов. Существенное значение в обеспечении надежности приборов также играют специальные меры их принудительного охлаждения и применение различных конструкций теплоотводов. Посредством применения теплоотводов

с естественным и принудительным охлаждением можно при прочих равных условиях существенно снизить температуру кристалла и тем самым повысить надежность его работы [2].

От активных элементов тепловой поток распространяется неравномерно. По мере удаления от теплового источника поток распространяется конусообразно. Вершина конуса – наиболее критичная точка, где следует уделить внимание снижению теплового сопротивления, т.к. по направлению к основанию тепло рассеивается на большей площади. Исходя из этого требования к характеристикам теплопроводящих материалов могут быть различны в различных областях электронного прибора.

Основные теплопроводящие материалы (ТПМ):

1. Теплопроводящие припои, клеи (теплопроводность от 30 до 100 Вт/мК);
2. Тепловые пружины, жидкие металлы (теплопроводность от 15 до 86 Вт/мК);
3. Подложки, компаунды, теплопроводящие пасты, гели (теплопроводность от 0,5 до 7 Вт/мК).

На Рисунке 2 схематично представлены распределение тепла и основные теплопроводящие уровни.

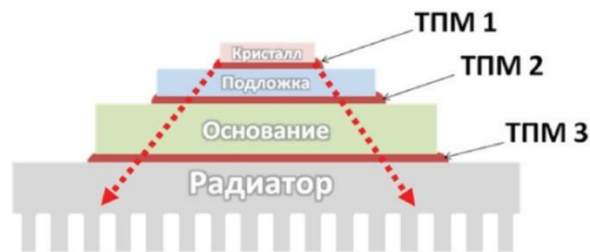


Рисунок 2 – Распределение тепла и основные теплопроводящие уровни

Заключение. Снизить величину теплового сопротивления у силовых полупроводниковых приборов можно следующими способами:

- с помощью теплоотвода;
- с помощью принудительного воздушного и (или) жидкостного охлаждения
- с помощью дополнительного теплоотвода (через выходы прибора или кристаллодержатель).

Список литературы

1. Белоус А.И., Ефименко С.А., Турцевич А.С., Полупроводниковая силовая электроника, Москва: Техносфера, 2013. – 216 с
2. Белоус, А.И. «Основы силовой электроники» / Белоус А. И, Ефименко С. А., Солодуха В. А., Пилипенко В. А. – Москва: «Техносфера», 2019. – 424 с.

UDC 621.3.049.77

THE PROBLEM OF HEAT REMOVAL FROM POWER SEMICONDUCTOR DEVICES AND INTEGRATED CIRCUITS

Harmilin Y.V, Ryliakou A.V, Herman Y.V.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus*

Efimenko S.A. - Cand. tech. Sciences

Annotation. The paper deals with the problem of heat removal from semiconductor devices and integrated circuits. Basic formulas for calculating thermal resistance values are presented. The main ways to reduce the value of thermal resistance of power semiconductor devices are listed.

Key words: Semiconductor devices, integrated circuits, heat sink, heat sink, thermal resistance