

СТАНДАРТНЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

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

Моковский В. А., Горчанин Д. И., Володин И. А.

Петлицкая Т.В. – канд. техн. наук, доцент

Несмотря на постоянное повышение энергетической эффективности современной электроники, другой важной тенденцией ее развития является уменьшение габаритов изделий. Происходит как уменьшение размеров всех составляющих электронных компонентов, так и внедрение новых технологий более плотного их монтажа. Это приводит к увеличению плотности потоков тепло, повышению локальной и средней температуры. Указанные обстоятельства заставляют более углубленно заниматься изучением методов измерения теплового сопротивления в полупроводниковых приборах.

Согласно принципу теплоэлектрической аналогии [1], эквивалентную тепловую модель большинства классов полупроводниковых приборов и интегральных схем, имеющих плоскостойкую конструкцию, представляют в виде n последовательно включенных RC цепочек, где параметры R_n и C_n соответствуют тепловому сопротивлению и теплоемкости i -го слоя конструкции прибора. Для многих классов приборов используется двухзвенная схема, приемлемая для целей промышленного контроля и содержащая две RC цепочки: $RT_{п-к}$, $CT_{п-к}$ – тепловое сопротивление «переход (поверхность кристалла) – корпус» и теплоемкость «переход–корпус»; $RT_{к-с}$, $CT_{к-с}$ – тепловое сопротивление «корпус–среда» и теплоемкость «корпус–среда» соответственно. Эти параметры чаще всего приводятся в паспортных данных на прибор и указываются в справочниках. В методах измерения теплового сопротивления и температуры структуры выделяют прямые и косвенные способы измерения.

Прямые способы измерения температуры структуры и теплового сопротивления.

Существует три метода измерения, отличающиеся по методам прямого контроля температуры. Измерения проводятся только на негерметизированных изделиях. Методы пригодны для всех классов приборов и интегральных схем и применяются, если источник теплоты расположен в непосредственной близости к поверхности структуры.

- Метод измерения теплового сопротивления с использованием контроля температуры по собственному тепловому излучению. (Метод изложен в ОСТ 11073.073 п.2 метод 1).
- Метод измерения теплового сопротивления с использованием контроля температуры структуры жидкокристаллическими термоиндикаторами. (Метод изложен в ОСТ 11073.073 п.5 метод 4).
- Метод измерения теплового сопротивления с использованием контроля температуры структуры термоиндикаторами плавления. (Метод изложен в ОСТ 11 073.073 п.6 метод 5).

Косвенные способы измерения температуры и теплового сопротивления транзисторов

Методы измерения основаны на измерении разности температур источника теплоты в транзисторе и контролируемой точке на корпусе прибора или в окружающей среде при рассеянии в нем электрической мощности. Температура источника теплоты в данных методах определяется косвенно по известной зависимости какого-либо электрического параметра транзистора от температуры. Погрешность методов измерения теплового сопротивления по термозависимым параметрам не превышает 12–13% с доверительной вероятностью 0.95.

Косвенные способы измерения температуры и теплового сопротивления транзисторов.

Методы измерения основаны на измерении разности температур источника теплоты в транзисторе и контролируемой точке на корпусе прибора или в окружающей среде при рассеянии в нем электрической мощности. Температура источника теплоты в данных методах определяется косвенно по известной зависимости какого-либо электрического параметра транзистора от температуры. Погрешность методов измерения теплового сопротивления по термозависимым параметрам не превышает 12–13% с доверительной вероятностью 0.95.

Дифференциальные методы определения тепловых параметров. Метод тепловой релаксационной спектроскопии.

Анализ результатов измерений температуры перегрева при саморазогреве (или остывании) образца на основе представления его структуры в виде эквивалентной тепловой RC цепи для многослойных систем позволяет определить величину и структуру теплового сопротивления полупроводникового прибора. Температура перегрева ΔT активной области прибора определяется полным тепловым сопротивлением его элементов и межэлементных соединений между p – n –переходом и окружающей средой. Исходя из аналогии описания электрических токов и тепловых потоков, переходные процессы в полупроводниковой структуре анализируются в рамках эквивалентных схем в виде RC цепочек – схем Фостера и Кауера [2].

При использовании для анализа схемы Фостера временная зависимость $\Delta T(t)$ (при нагревании диода) имеет простой математический вид [3]:

$$\Delta T(t) = P_T \sum_i^n R_i \left(1 - e^{-t/\tau_i}\right). \quad (1.1)$$

Где P_T – мощность, рассеиваемая полупроводниковой структурой в виде тепла,
 R_i – тепловое сопротивление i -го структурного элемента,
 $\tau_i = R_i C_i$ – постоянная времени тепловой релаксации,
 C_i – теплоемкость элемента конструкции образца и внешнего теплоотвода,
 n – число компонентов в структуре.

На рис.1.1 представлена временная зависимость температуры перегрева канала МОП транзисторов с различным качеством посадки кристаллов

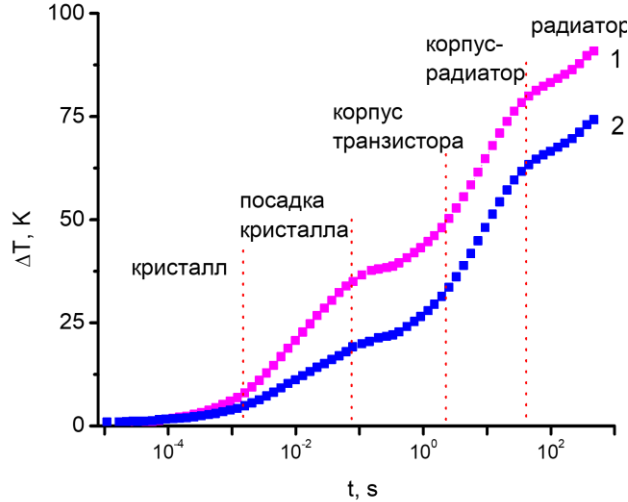


Рисунок 1.1 - Временная зависимость температуры перегрева канала МОП транзисторов

Как видно из рис. 1.1, в случае, когда различие постоянных времен тепловой релаксации τ_i для ближайших компонентов структуры достаточно велико, график $\Delta T(t)$ представляется плавными ступеньками, соответствующим слоям исследуемой структуры.

Последовательное повышение порядка дифференцирования импеданса в методе релаксационной тепловой спектроскопии увеличивает точность определения параметров структурных компонентов R_i и τ_i . Обычно число анализируемых тепловых структурных элементов определяется мощностью программных симуляторов или эффективностью используемых нестационарных тепловых тестеров и ограничивается $n = 3 \div 5$ (из-за технических трудностей измерений и сложности анализа) [4]. Развитая дифференциальная методика расширяет число определяемых тепловых структурных элементов диодного прибора до $n = 10$.

Схема Фостера удобна при расчетах, так как легко формализуется, но в тоже время носит ограниченный характер, поскольку содержит последовательно соединенные емкости, которые в общем случае неоднозначно связаны с реальными теплоемкостями элементов. Более физична схема Кауера. Поэтому для получения более точных значений тепловых сопротивлений осуществляется преобразование компонентов Фостера R_i и C_i в компоненты R'_i и C'_i эквивалентной схемы Кауера.

На рис. 1.2 [5] представлен дифференциальный спектр основе модели Фостера и дискретный, модели Кауера, теплового сопротивления (R_i) на временной области для транзисторов (I и II) с разными режимами монтажа кристалла.

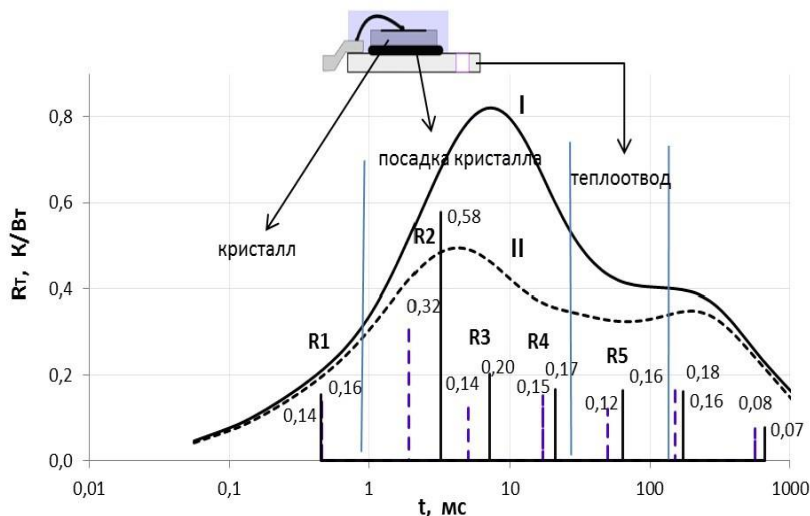


Рисунок 1.2 – Дифференциальный и дискретный спектр теплового сопротивления

Как видно из рис. 1.2 слой посадки достаточно легко идентифицируется в спектре. Тепловая постоянная времени этого слоя лежит в диапазоне 1-20 мс, тепловое сопротивление слоя посадки (R_2+R_3) у транзистора II практически в два раза ниже, чем у первого.

Список использованных источников:

- [1] Сергеев, В.А. Контроль качества мощных транзисторов по теплофизическим параметрам / В.А. Сергеев - Ульяновск, УлГТУ, 2000. – 256 с.
- [2] Захаров, А.Л. Расчет тепловых параметров полупроводниковых приборов / А.Л. Захаров Е.И., Асвадурава М. - Радио и связь, - 1983.
- [3] G. Farkas [et al.] // IEEE Trans. Components and Packaging Technol. – 2005. – Vol. 28, No. 1. – P. 45–50.
- [4] Турцевич, А. С. Исследование качества пайки кристаллов мощных транзисторов релаксационным импеданс-спектрометром / А. С. Турцевич [и др.] // ТКЭА. - 2012. - № 5. - С. 44–47.
- [5] Schweitzer, D. Transient measurement of the junction-to-case thermal resistance using structure functions: chances and limits / D. Schweitzer, H. Pape, L. Chen // Proc. 24th IEEE SEMI-THERM Symposium. – San Jose, 2008. – P. 193–199.