

В. А. КОРАБЛЕВ, Д. А. МИНКИН, Л. А. САВИНЦЕВА, А. В. ШАРКОВ

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ЭЛЕКТРОННОЙ И ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Представлен метод измерения мощности тепловыделений в полупроводниковых приборах и импульсных газоразрядных лампах. Рассмотрен один из способов реализации метода.

*Ключевые слова:* калориметр, внутренние источники тепла, передаточная функция, микросборка.

При исследовании тепловых режимов электронных и оптоэлектронных приборов необходимо знать мощность тепловыделений в их отдельных элементах. Вследствие того что в электронных элементах существует отток энергии по выводам и проводам, а электрическая энергия преобразуется в другие виды энергии, теоретически рассчитать мощность тепловыделений довольно сложно. Экспериментальные методы определения источников тепла с использованием биокалориметров или тепломтеров в данных случаях не применимы из-за сложности реализации, невозможности обеспечить нормальный тепловой режим исследуемых элементов и неточностей, связанных с оттоками теплоты к соседним поверхностям.

В настоящей статье рассматривается калориметрический метод измерения мощности тепловыделений внутренних источников тепла в элементах электронной и оптоэлектронной техники.

Суть метода заключается в том, что исследуемый объект устанавливается в калориметрическое устройство, которое, в свою очередь, помещается в оболочку. Калориметрическое устройство содержит датчик температуры. После подачи электропитания на исследуемый объект производится запись изменения температуры калориметрического устройства, и по скорости его разогрева и перегрева относительно оболочки судят о мощности тепловыделений в исследуемом объекте. Тепловые процессы, происходящие в данной системе, можно описать следующим образом. Теплота от исследуемого элемента передается калориметрическому устройству, и его температура начинает расти, при этом часть теплоты поступает через зазор в оболочку. Тепловой баланс можно описать следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} C_0 \frac{dT_0}{d\tau} + \sigma_{0k}(T_0 - T_k) &= \Phi(\tau); \\ C_k \frac{dT_k}{d\tau} + \sigma_{0k}(T_k - T_0) + \sigma_{kc}(T_k - T_c) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $C_0$  и  $C_k$  — теплоемкость электронного элемента и калориметрического устройства соответственно;  $\tau$  — время;  $\sigma_{kc}$  — тепловая проводимость между калориметрическим устройством и оболочкой;  $\sigma_{0k}$  — то же, между электронным элементом и калориметрическим устройством;  $T_0$ ,  $T_k$  и  $T_c$  — температура электронного элемента, калориметрического устройства и оболочки соответственно;  $\Phi$  — мощность тепловыделений в исследуемом элементе.

Система уравнений (1) позволяет определить мощность источника тепла в электронном элементе, но при этом появляется погрешность, вызванная неравномерностью во времени температурных полей калориметра и исследуемого элемента. Для анализа данной погрешности предложено использовать метод передаточных функций [1], основанный на интегральном преобразовании Лапласа, который позволяет рассчитать мощность тепловыделений как функцию временной зависимости температуры ядра калориметра.

Для определения передаточной функции перегрева калориметра в зависимости от мощности тепловыделений в элементе система уравнений (1) была преобразована по Лапласу и в результате получена следующая система [2]:

$$\left. \begin{aligned} C_0 sL + \sigma_{0k}L - \sigma_{0k}N &= \theta; \\ C_k sN + \sigma_{0k}N - \sigma_{0k}L + \sigma_{kc}N &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $L$  и  $N$  — изображение по Лапласу перегрева  $\vartheta_0$  электронного элемента и перегрева оболочки соответственно;  $\theta$  — изображение по Лапласу мощности  $\Phi(\tau)$ ;  $s$  — параметр преобразования Лапласа.

По виду передаточной функции было установлено, что калориметрическое ядро является инерционным звеном, и определена его передаточная функция

$$L[\vartheta_k(\tau)] = \vartheta_{ст} \left( \frac{1}{s} - \frac{1}{s+m} \right),$$

где  $\vartheta_k$  — изображение по Лапласу перегрева калориметра;  $\vartheta_{ст}$  — стационарное значение перегрева калориметра,  $m = \sigma_{kc}/C_k$  — темп его охлаждения.

Для определения коэффициентов передаточной функции была создана экспериментальная установка (рис. 1). Электронный элемент 1 установлен на калориметрическом ядре 2, и эти элементы помещены в оболочку 3. Теплоемкость ядра 2 должна превышать теплоемкость элемента 1 не менее чем в 10 раз, а теплоемкость оболочки 3 должна превышать теплоемкость ядра 2 не менее чем в 20 раз. Теплота от элемента 1 передается ядру 2, и его температура начинает расти, при этом часть теплоты поступает через зазор в оболочку. На схеме также показаны кабель электропитания 4 и датчики температуры 5 и 6.

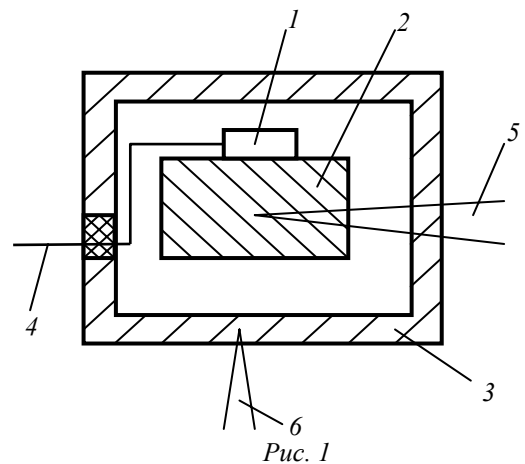


Рис. 1

На 1-м этапе производилась градуировка установки. На элемент наматывался дополнительный проволочный нагреватель, на который подавалась калиброванная мощность (2, 4, 6 Вт), и измерялся перегрев ядра калориметра. После обработки полученных графиков зависимости перегрева ядра калориметра от времени

определялся темп остывания. На основе вычисленных параметров передаточной функции рассчитана мощность тепловыделений транзистора и по сопоставлению с поданной мощностью определена погрешность метода.

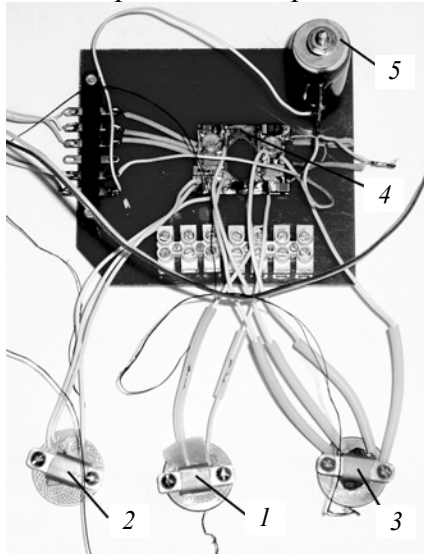


Рис. 2

В качестве примера реализации метода можно привести анализ мощности тепловыделений в микросборке (рис. 2), в которой наибольшие мощности рассеивают диод 1, транзистор 2 и трансформатор 3. Так как электрические сигналы, проходящие через эти элементы, имеют сложную форму, то определить средние значения мощности тепловыделений в них затруднительно. Элементы установлены на калориметрах, выполненных в виде цилиндров из меди, и длинными проводами подсоединены к плате 4, которая, в свою очередь, подсоединена к источнику питания. В качестве нагрузки используется остеклованный резистор 5. Калориметры в период измерений обеспечивают нормальный тепловой режим исследуемых элементов. До начала опыта каждый калориметр помещался в теплоемкую оболочку, а установленная в нем термопара подключалась к многоканальной измерительной системе. После подачи питания на микросборку записывались изменения

температуры калориметра. В результате обработки данных получены значения мощности тепловыделений в элементах микросборки.

Многочисленные повторения опытов позволило оценить погрешность данного метода, которая не превышает 8 %. Предложенный метод исследования мощности тепловыделений использован при измерении теплоты внутренних источников в полупроводниковых приборах и импульсных газоразрядных лампах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирошник И. В. Теория автоматического управления. Линейные системы. СПб: Питер, 2005. 336 с.
2. Диткин В. А., Прудников А. П. Интегральное преобразование и операционное исчисление. М.: Физматгиз, 1961.

#### Сведения об авторах

- Владимир Антонович Кораблев** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга; E-mail: ktf.grv@ifmo.ru
- Дмитрий Алексеевич Минкин** — Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга; ассистент; E-mail: ktf.grv@ifmo.ru
- Людмила Алексеевна Савинцева** — канд. техн. наук; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга; E-mail: ktf.grv@ifmo.ru
- Александр Васильевич Шарков** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга; E-mail: ktf.grv@ifmo.ru

Рекомендована кафедрой  
компьютерной теплофизики и  
энергофизического мониторинга

Поступила в редакцию  
24.12.09 г.