

*Д.В. Акуленко, А.Н. Агапов, И.Г. Проценко**

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМИСТОРА ПРЯМОГО ПОДОГРЕВА

Под «теплопроводностью» понимают процесс переноса тепловой энергии структурными частицами вещества (молекулами, атомами, ионами) в процессе их теплового движения. Данный теплообмен может происходить в любых телах с неоднородным распределением температур, а механизм переноса теплоты будет зависеть от агрегатного состояния вещества. Явление теплопроводности заключается в том, что кинетическая энергия атомов и молекул, которая определяет температуру тела, передается другому телу при их взаимодействии или передается из более нагретых областей тела к менее нагретым областям [1].

Коэффициент теплопроводности является физическим параметром вещества, характеризующим его способность проводить теплоту.

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО «ТГТУ» Ю.А. Брусенцова, д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО «ТГТУ» А.И. Фесенко.

Коэффициент теплопроводности определяется из уравнения:

$$\lambda = - \frac{d^2 Q_{\tau}}{\left(\frac{dt}{dn} \right) dF d\tau}.$$

Численно коэффициент теплопроводности равен количеству теплоты, проходящему в единицу времени через единицу изотермической поверхности при условии, что $\text{grad}t = 1$. Его размерность Вт/(м·К). Значения коэффициента теплопроводности для различных веществ определяются из справочных таблиц, построенных на основании экспериментальных данных. Для большинства материалов зависимость коэффициента теплопроводности от температуры приближенно можно выразить в виде линейной функции:

$$\lambda = \lambda_0 [1 + b(t - t_0)],$$

где λ_0 – значение коэффициента теплопроводности при температуре $t_0 = 0$ °С; b – постоянная, определяемая опытным путем [2].

Для осуществления измерений коэффициента теплопроводности используется схема автобалансировки моста с термистором (рис. 1).

Для определения тока разогрева термистора проведен эксперимент, где в качестве образца взят терморезистор М1К0. По экспериментальным данным построена характеристика нагрева терморезистора прямого подогрева (рис. 2).

По полученным данным можно сделать вывод, что для разогрева терморезистора с помощью прямого подогрева требуется небольшой ток, что облегчает построение принципиальной схемы устройства и обеспечивает низкое энергопотребление.

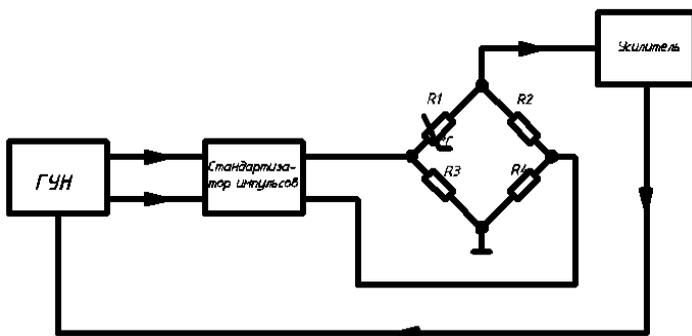


Рис. 1. Функциональная схема автобалансировки моста с термистором



Рис. 2. Характеристика нагрева терморезистора М1К0 прямым подогревом

Сопротивления моста выбирается таким образом, что $R_2 = R_3 = R_4$. Исходя из характеристики выбранного терморезистора R_1 , выбирается резистор R_2 , причем сопротивление R_2 будет указывать рабочую температуру, до которой будет разогреваться терморезистор R_1 . Необходимо учесть, чтобы температура разогрева терморезистора была больше температуры среды, для которой предназначено использование прибора.

При подаче импульсного сигнала на термистор на нем рассеивается мощность:

$$Q = 4\pi RT_0\lambda,$$

где Q – рассеиваемая мощность на термисторе; R – радиус зонда (термистора); T_0 – температура разогрева термистора; λ – коэффициент теплопроводности.

С другой стороны, мощность, подаваемая на термистор, рассчитывается по формуле:

$$Q = FW,$$

где F – частота импульсов; W – энергия одного импульса.

$$W = \frac{U_m^2}{R_c} \tau,$$

где R_c – сопротивление термистора; U_m – амплитуда импульсов; τ – длительность импульсов.

Учитывая, что термистор является плечом мостовой схемы из четырех резисторов, формула мощности импульса приобретает вид:

$$W = \frac{U_m^2}{4R_c} \tau.$$

Для определения коэффициента теплопроводности можно воспользоваться двумя способами:

1. Учитывая, что подаваемая мощность на термистор полностью рассеивается в исследуемую среду (зонд полностью погружен в среду), имеем:

$$\frac{U_m^2}{4R_c} \tau F = 4\pi RT_0 \lambda,$$

откуда определяем коэффициент теплопроводности

$$\lambda = \frac{U_m^2 \tau}{16\pi R_c RT_0} F.$$

2. Перед определением коэффициента теплопроводности прибор необходимо откалибровать, используя материал с известным λ . В этом случае при равновесии моста термистор рассеивает мощность

$$Q = \frac{U_m^2}{4R_c} \tau F_0 = 4\pi RT_0 \lambda_0.$$

После калибровки прибор подключается к исследуемому материалу, тогда устанавливается частота F , отличная от F_0 . Мощность, выделяемая на термисторе:

$$Q = \frac{U_m^2}{4R_c} \tau F = 4\pi RT_0 \lambda_x.$$

Из формул для расчета рассеиваемой мощности и мощности, выделяемой на термисторе, получаем выражение:

$$\frac{F_0}{F} = \frac{\lambda_0}{\lambda_x} \Rightarrow \lambda_x = \frac{\lambda_0}{F_0} F.$$

Полученная зависимость вида $\lambda_x = kF$ удобна для исследований. Для избежания влияния температуры окружающей среды – начальной температуры термистора – прибор желательно откалибровывать при каждом измерении коэффициента теплопроводности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пасынков, В.В. Полупроводниковые приборы : учеб. для вузов по спец. «Полупроводники и диэлектрики» и «Полупроводниковые и микроэлектронные приборы» / В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин. – М. : Высш. шк., 1987. – 479 с.
2. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М. : Высш. шк., 1967. – 600 с.

Кафедра «Материалы и технология» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»