

Д. т. н. М. А. ГУРБАНИЯЗОВ, М. А. КУРБАНОВ

УДК: 621.382

Туркменистан, г. Ашгабат, Туркменский государственный университет имени Магтымгулы  
E-mail: gurbanniyazov@yandex.ru

Дата поступления в редакцию  
23.09 2010 г.

## МЕТОДИКА И УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ

*Предложен способ определения коэффициента теплопроводности твердых тел в нестационарном режиме, методическая погрешность которого составляет не более 7%.*

Термоэлектрические материалы находят все большее применение для прямого преобразования тепловой и солнечной энергии в электрическую, в связи с чем становится актуальным поиск новых веществ и соединений для изготовления термоэлементов.

Решение этой задачи в значительной мере зависит от эффективности методов исследования физических и теплофизических свойств термоэлементов.

Термо-эдс и коэффициент электропроводности термоэлектрических материалов, от которых зависит КПД термоэлемента, с достаточной точностью можно определять известными методами. В зависимости от способа задания потоков тепла на образец существуют несколько методов определения коэффициента теплопроводности: в квазистационарном, в нестационарном и в стационарном режимах. Определение коэффициента теплопроводности в нестационарном режиме, несмотря на относительно менее точный результат измерения по сравнению со стационарным режимом, позволяет применять менее сложные измерительные приборы и занимает немного времени и потому является привлекательным.

Метод определения коэффициента теплопроводности полупроводников  $\lambda$  с использованием кондуктивной формы нагрева в нестационарном режиме был предложен А. В. Иоффе и А. Ф. Иоффе. Он рассчитан на материалы с коэффициентом теплопроводности менее 21 Вт/(м·°С), а погрешности измерений лежат в пределах более 10%.

В дальнейшем этот метод был усовершенствован И. С. Лискером [1], диапазон измерений был расширен до 35 Вт/(м·°С). Однако при этом погрешность определения коэффициента теплопроводности уже при  $\lambda=4,2$  Вт/(м·°С) превышает 4%, достигая 60% при  $\lambda=127$  Вт/(м·°С).

В настоящей работе предлагается более эффективная методика определения коэффициента теплопроводности полупроводников, в которой вместо кондуктивной формы теплопередачи используется лучи-

стый поток. Благодаря этому устраняется ряд методических погрешностей, связанных с утечкой тепла в окружающую среду [2].

Тепловой поток, воздействующий на поверхность исследуемого образца, создается импульсом лучистой энергии, поступающим или от искусственного (лазер, ртутная лампа высокого давления), или от естественного источника излучения. В реализованной нами установке, схема которой представлена на рис. 1, естественным источником излучения служит импульс сконцентрированного солнечного излучения.

Устройство состоит из нижнего блока с системой термостабилизации, закрепленного в подъемник, плоско-выпуклой линзы (диаметром 230 мм) и координатного механизма, обеспечивающего горизонтальное перемещение линзы во взаимно перпендикулярных направлениях; преобразователя температуры с за-

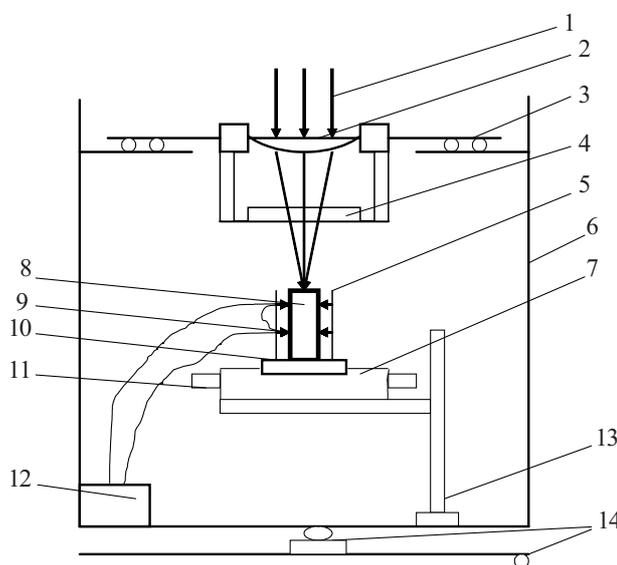


Рис. 1. Схема установки для определения коэффициента теплопроводности полупроводников с применением лучистой энергии:

1 — лучистый поток; 2 — плоско-выпуклая линза; 3 — координатный механизм; 4 — затвор; 5 — держатель, 6 — каркас; 7 — термостабилизационная система; 8 — образец; 9 — датчики; 10 — нижний блок; 11 — штуперы; 12 — запоминающее устройство; 13 — подъемник; 14 — поворотный механизм

поминающим устройством; поворотного механизма с затвором. Образец с температурным датчиком устанавливается на поверхности нижнего блока.

Актинометром заранее измеряется плотность потока прямой солнечной радиации, по которой определяется мощность сконцентрированного излучения (лучистого потока). Следует отметить, что продолжительность воздействия солнечного излучения составляет 9—12 с, за этот промежуток времени при ясной погоде плотность потока излучения сохраняется стабильной. Поворотный механизм обеспечивает падение лучистого потока нормально к плоской поверхности плоско-выпуклой линзы. Импульс лучистой энергии направляется на верхний торец образца через металлическую шторку затвора. Далее регистрируется момент времени, когда градиент температуры в двух разностоящих от облучаемой поверхности точках на образце достигает минимально возможного при измерении значения, при этом вода, протекающая через канал в нижнем блоке (термостабилизационной системе), обеспечивает хороший теплообмен между образцом и блоком. Сигналы с датчика, прикрепленного на образце, поступают в запоминающее устройство. Для уменьшения потерь лучистой энергии поверхность образца делается шероховатой и зачерняется. Коэффициент теплопроводности образца определяется по формуле

$$\lambda = \frac{\pi k D^2 (1-r) q \tau}{4(T_2 - T_1) \left[ \frac{Kn}{mR_v^2} V + \frac{2S}{R_v} \sqrt{\frac{Kn}{\pi m}} t \right]}, \quad (5)$$

где  $k$  — коэффициент поглощения лучевоспринимающей поверхности материала исследуемого образца;

$D$  — диаметр линзы,

$r$  — коэффициент, учитывающий потери лучистой энергии при прохождении через линзу;

$q$  — плотность потока лучистой энергии;

$\tau$  — длительность импульса;

$T_1, T_2$  — значения температуры в двух разных точках вдоль образца в момент времени  $t$ ;

$Kn$  — критерий Кондратьева;

$V, S$  — соответственно объем и площадь поперечного сечения образца;

$R_v$  — отношение объема к площади ее поверхности;

$t$  — время, необходимое для создания градиента температуры в образце [3].

Следует отметить, что от формы потока лучистой энергии зависит характер распространения возникающих в образце температурных волн (изотерм). На рис. 2 видно, что в отличие от облучения параллельными лучами (рис. 2, а), сфокусированный поток в начальный момент вызывает неравномерное (гауссовское) распределение изотерм (рис. 2, б, в). Поэтому крепление температурного датчика (термопары) в тело образца осуществляется в точке «выравнивания» изотерм.

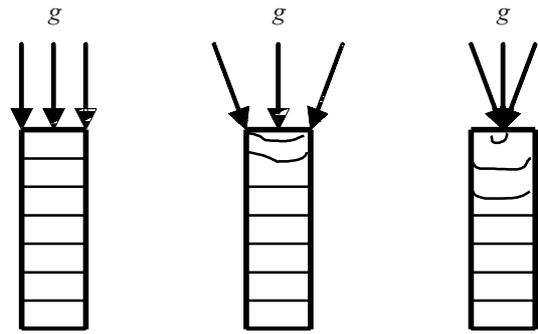


Рис. 2. Схема распространения изотерм при различной форме лучистого потока

Расстояние между облучаемой поверхностью и местом выравнивания изотермы определяется по следующему эмпирическому выражению:

$$l = R \left( 1 \pm \sqrt{1 + \frac{R^2}{4r_0^2} + \frac{R}{2r_0}} \right), \quad (6)$$

где  $R$  — радиус образца;

$r_0$  — радиус облучаемой поверхности образца.

Таким образом, предлагаемый способ определения коэффициента теплопроводности твердых тел, в т. ч. полупроводников, в отличие от метода, использующего кондуктивную форму теплопередачи, позволяет избежать потерь на контактное температурное сопротивление между нагревательным телом и образцом и тепловых потерь с поверхности блока. В результате методическая погрешность измерений уменьшается до 7%, что ведет к повышению точности определения коэффициента теплопроводности материалов.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Лискер И. С. Вариационные методы экспериментального исследования теплопроводности электрофизических свойств полупроводниковых материалов // В сб.: Преобразователи солнечной энергии на полупроводниках. — М.: Наука, 1968. — С. 62—78. [Lisker I. S. // V sb.: Preobrazovateli solnechnoi energii na poluprovodnikakh. M.: Nauka, 1968. P. 62]

2. Гурбаниязов М. А., Курбанов М. А. Особенности определения параметра эффективности полупроводниковых термоэлементов // Тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. «Наука, техника и инновационные технологии в эпоху Великого возрождения». Т. 2. — Туркменистан, Ашгабат. — 2010. — С. 329—331. [Gurbaniyazov M. A., Kurbanov M. A. // Tez. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Nauka, tekhnika i innovatsionnye tekhnologii v epokhu Velikogo vozrozhdeniya». Vol. 2. Turkmenistan, Ashgabat. 2010. P. 329]

3. Гурбаниязов М. А., Курбанов М. А. Методические основы повышения точности определения коэффициента теплопроводности полупроводников с использованием лучистой энергии // Тр. XI Междунар. науч.-практ. конф. «Современные информационные и электронные технологии». Т. 2. — Украина, Одесса. — 2010. — С. 34. [Gurbaniyazov M. A., Kurbanov M. A. // Tr. XI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sovremennye informatsionnye i elektronnye tekhnologii». Vol. 2. Ukraina, Odessa. 2010. P. 34.]