

Определение термоэлектрической эффективности материала по измерениям линейного ряда ветвей *n*- и *p*-типов проводимости

© Ю.П. Лебедев, А.С. Иванов, А.С. Ильин, А.Г. Чуйко

АО „РИФ“,
394062 Воронеж, Россия
E-mail: rw3qprz@list.ru

(Получена 31 января 2017 г. Принята к печати 15 февраля 2017 г.)

На основе подхода Хармана разработана методика и приведены формулы для одновременного определения термоэлектрической эффективности материалов *n*- и *p*-типов проводимости. Данные для расчета получены путем измерения падения напряжения при последовательном пропускании постоянного и переменного тока через линейные ряды, состоящие из нечетного числа ветвей обоих типов проводимости.

DOI: 10.21883/FTP.2017.08.44777.46

Методика [1] измерения термоэлектрической эффективности (добротности) термоэлектрических модулей охлаждения (ТЭМО) используется многими производителями и дает статистически адекватную оценку его рабочих параметров. Измерение добротности сборок линейного ряда (рис. 1) спаев, т.е. пар ветвей *n*- и *p*-типов проводимости по аналогичной методике дает возможность оценить партию ветвей перед сборкой ТЭМО по измерениям термоэлектрической эффективности такого ряда, состоящего из нескольких спаев. В отличие от „чистого“ метода Хармана спай дает удвоенный отклик на пропускание постоянного тока и, следовательно, более достоверные данные для расчета их добротности. Поскольку сопротивление такого ряда невелико, используют двухзондовый [2] метод измерения сопротивлений. Достоинство этой методики одновременно является и ее недостатком, поскольку точный вклад ветви каждого типа проводимости в результат неизвестен. Разработанная нами методика позволяет измерить добротность материала ветвей каждого типа проводимости в отдельности, используя при этом преимущества упомянутого метода [1]. Для этого было предложено использовать непарные сборки, т.е. ряды, в которых количество ветвей *n*- и *p*-типа различается на единицу.

Для расчета термоэлектрической эффективности *Z* ветви применяли известные [3] соотношения, справедливые для одинаковых значений постоянного и переменного тока:

$$Z = \frac{1}{T} \left(\frac{U^\alpha}{U^{ac}} \right) = \frac{1}{T} \left(\frac{U^{dc}}{U^{ac}} - 1 \right), \quad (1)$$

где *T* — абсолютная температура, U^α — напряжение, генерируемое ветвями за счет создания перепада температур ΔT при прохождении постоянного тока, U^{ac} — падение напряжения на ветвях во время прохождения переменного тока, U^{dc} — падение напряжения на ветвях при прохождении постоянного тока:

$$U^{dc} = U^{ac} + U^\alpha = U^{ac} + \alpha \Delta T, \quad (2)$$

где $\alpha \Delta T$ — произведение термоэдс α спаия (или ветви) на создаваемый постоянным током перепад температур.

Минимально возможное количество ветвей в непарной сборке 3. Для измерений изготавливают две сборки: *n-p-n* и *p-n-p* (рис. 2). В качестве исходных данных для расчетов будем использовать падения напряжения на сборках ветвей на переменном (U_{pnp}^{ac} и U_{nnp}^{ac}) и постоянном токе (U_{pnp}^{dc} и U_{nnp}^{dc}) при одинаковых его значениях.

Рассмотрим составляющие этих значений.

Для переменного тока

$$\begin{aligned} U_{pnp}^{ac} &= 2U_p^{ac} + U_n^{ac}, \\ U_{nnp}^{ac} &= 2U_n^{ac} + U_p^{ac}, \end{aligned} \quad (3)$$

где U_p^{ac} — падение напряжения на ветви *p*-типа проводимости, U_n^{ac} — падение напряжения на ветви *n*-типа проводимости.

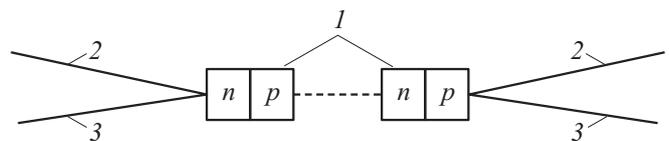


Рис. 1. Линейный ряд пар ветвей (спаев). 1 — ветви, 2 — токовые выводы, 3 — потенциальные выводы.

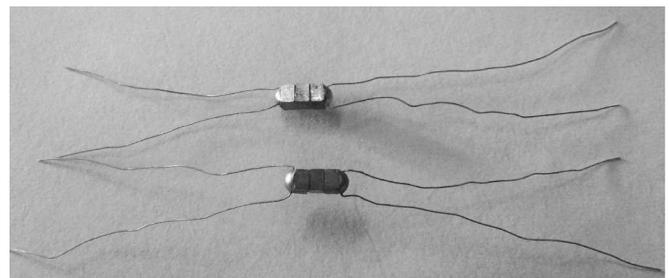


Рис. 2. Сборки *n-p-n* и *p-n-p*.

Из уравнений (3) определим падение напряжения на ветвях для каждого типа материала:

$$\begin{aligned} U_p^{ac} &= \frac{2U_{pnp}^{ac} - U_{nnp}^{ac}}{3}, \\ U_n^{ac} &= \frac{2U_{nnp}^{ac} - U_{pnp}^{ac}}{3}. \end{aligned} \quad (4)$$

Напряжение U^α , генерируемое в сборках при прохождении постоянного тока, согласно уравнению (2):

$$\begin{aligned} U_{nnp}^\alpha &= U_{nnp}^{dc} - U_{nnp}^{ac}, \\ U_{pnp}^\alpha &= U_{pnp}^{dc} - U_{pnp}^{ac}, \end{aligned} \quad (5)$$

Напряжение U^α , генерируемое с учетом вклада ветвей каждого типа проводимости:

$$\begin{aligned} U_{nnp}^\alpha &= -2\alpha_n \Delta T + \alpha_p \Delta T, \\ U_{pnp}^\alpha &= 2\alpha_p \Delta T - \alpha_n \Delta T, \end{aligned} \quad (6)$$

где α_p — коэффициент термоэдс ветви p -типа, α_n — коэффициент термоэдс ветви n -типа проводимости.

Из уравнений (6) определим вклад в U^α ветви каждого типа проводимости:

$$\begin{aligned} U_p^\alpha &= \alpha_p \Delta T = \frac{2U_{pnp}^\alpha - U_{nnp}^\alpha}{3}, \\ U_n^\alpha &= -\alpha_n \Delta T = \frac{2U_{nnp}^\alpha - U_{pnp}^\alpha}{3}, \end{aligned} \quad (7)$$

Подставив соотношения (4), (7) в уравнение (1) с учетом (5), определим добротность материала обоих типов проводимости:

$$\begin{aligned} Z_p &= \frac{1}{T} \cdot \frac{2(U_{pnp}^{dc} - U_{pnp}^{ac}) - (U_{nnp}^{dc} - U_{nnp}^{ac})}{2U_{pnp}^{ac} - U_{nnp}^{ac}}, \\ Z_n &= \frac{1}{T} \cdot \frac{2(U_{nnp}^{dc} - U_{nnp}^{ac}) - (U_{pnp}^{dc} - U_{pnp}^{ac})}{2U_{nnp}^{ac} - U_{pnp}^{ac}}. \end{aligned}$$

Практика технологических измерений показала достаточно чувствительность и достоверность получаемых результатов. Использование сборок с увеличенным количеством ветвей не имеет большого смысла, поскольку снижает относительную величину разностного значения падений напряжения.

Список литературы

- [1] О.И. Ильярский, Н.П. Удалов. *Термоэлектрические элементы* (М., Энергия, 1970).
- [2] М.С. Соминский. *Полупроводники* (М., Физматгиз, 1961).
- [3] T.C. Harman, J.H. Cahn, M.J. Logan. *J. Appl. Phys.*, **30**, 1351 (1959).

Редактор Г.А. Оганесян

Determining the figure of merit for the thermoelectric material by measuring a linear series of n - and p -type conductivity elements

Yu.P. Lebedev, A.S. Ivanov, A.S. Ilin, A.G. Chuyko

JSC „RIF“,
394062 Voronezh, Russia

Abstract The technique and formulas for simultaneous determination of the figure of merit of thermoelectric materials of n - and p -type conductivity were developed on the basis of the Harman approach. Data for calculation are obtained by measuring voltage drop arising when DC and AC current is forced through the odd numbers of n - and p -type thermoelectric elements, connected in series.