

Александр Борисович ШАБАРОВ —
зав. кафедрой механики многофазных систем,
доктор технических наук, профессор

Олег Валерьевич АНДРЕЕВ —
зав. кафедрой неорганической
и физической химии,
доктор химических наук, профессор

Александр Ифратович ХАЛИКОВ —
аспирант кафедры
неорганической и физической химии,
halikovalex@mail.ru

Тюменский государственный университет

УДК 629.7.064.53

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ термоЭДС В ЭЛЕМЕНТАХ
ТЕРМОЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ МОНОСУЛЬФИДА
САМАРИЯ И СЕЛЕНИДА МЕДИ***

**EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE THERMOPOWER
IN THE THERMOELECTRIC ELEMENTS ON THE BASIS
OF SAMARIUM MONOSULFIDE AND COPPER SELENIDE**

АННОТАЦИЯ. Разработана установка измерения термоЭДС и электропроводности в полупроводниковых материалах. Изучены зависимости термоЭДС от разницы температур между нагревателем и радиатором для образцов из моносulfида самария и селенида меди. Определены тепловые потоки от нагревателя к радиатору. Установлено, что термоЭДС в образце из моносulfида самария в 2,3 раза выше, чем из селенида меди.

SUMMARY. A device measuring the thermoelectric power and electrical conductivity in semiconductor materials is developed. The article studies the dependence of thermoelectric power on the temperature difference between heater and heat sink for the samples of samarium monosulfide and copper selenide. Specific heat flow from the heater to the radiator are determined. It is established that the thermoelectric power in a sample of samarium monosulfide 2,3 times higher than that of copper selenide.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. ТермоЭДС, электропроводность, установка измерения термоЭДС и электропроводности, моносulfид самария, селенид меди.

KEY WORDS. Thermoelectric power, electrical conductivity, device for measuring thermoelectric power and electrical conductivity, samarium monosulfide, copper selenide.

Одно из направлений развития малой энергетики — применение термоэлектродгенераторов. Термоэлектродгенератор (ТЭГ) — это техническое устройство, предназначенное для прямого преобразования тепловой энергии в электричество посредством использования в его конструкции термоэлементов, изготовленных из полупроводников (термоэлектрических материа-

* Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. (№ 6К/143-09 (П 646)).

лов) [1]. Действие ТЭГ основано на эффекте Зеебека — явление возникновения электродвижущей силы в электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных разнородных проводников, контакты между которыми находятся при различных температурах, $E = \alpha_{12}(T_2 - T_1)$, где α_{12} — термоэлектрическая способность пары или коэффициент термоЭДС, T_1 и T_2 температуры холодной и горячей сторон образца [2].

Использование ТЭГ актуально, в частности, для северных территорий. Нахождение людей в отдалении от населенных пунктов, одиночные стойбища коренных народов, северный туризм требуют наличия энергетического источника, обеспечивающего питание электробытовых приборов, радиоустройств и т.п. в полевых условиях. Необходимо, чтобы энергоисточник был малогабаритным, постоянно действующим и мог преобразовывать в электроэнергию тепло доступных источников.

Эффективными полупроводниковыми преобразователями n- и p-типов являются n-тип SmS (моносουλфид самария) и p-тип Cu₂Se (селенид меди) [3].

На стадии разработки ТЭГ необходимо определить термоэлектрические характеристики n- и p-преобразователей в температурных условиях эксплуатации ТЭГ. Для SmS и Cu₂Se подобные опубликованные данные нами не обнаружены.

В данной работе создана и использовалась установка, позволяющая проводить измерения характеристик полупроводников в условиях температур их использования.

Цель настоящей работы состоит в изготовлении установки измерения свойств полупроводниковых преобразователей и определении термоЭДС в образцах, изготовленных из SmS и Cu₂Se при различных температурах между нагревателем и радиатором.

Экспериментальная установка для определения термоЭДС в элементах термоэлектрогенераторов, в интервале 20-600 °С, представлена на рис. 1 и 2.

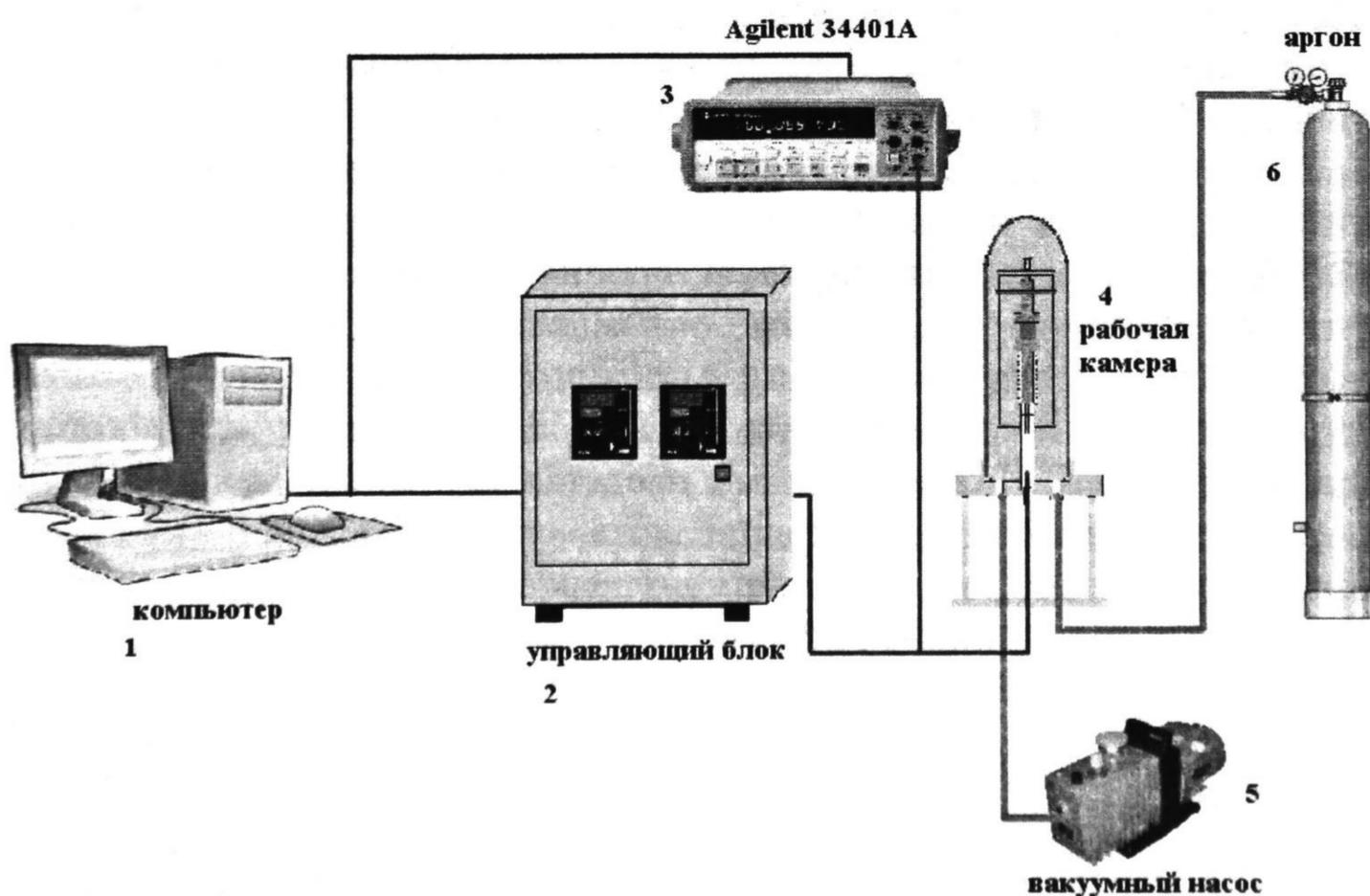


Рис. 1. Общая схема установки измерения термоЭДС и электропроводности материалов:
1 — компьютер; 2 — управляющий блок; 3 — мультиметр Agilent 34401A;
4 — рабочая камера; 5 — вакуумный насос; 6 — баллон с аргоном

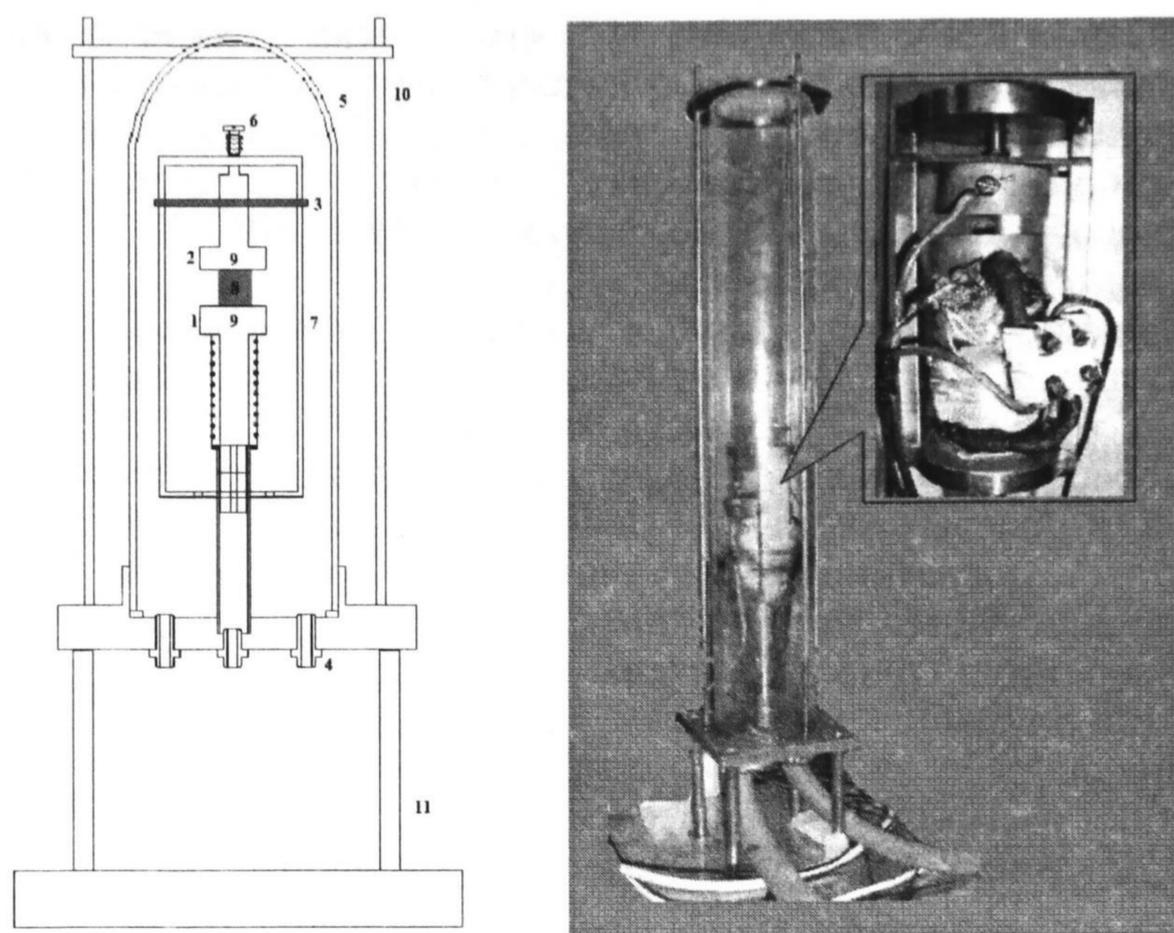


Рис. 2. Схема и внешний вид установки измерения термоЭДС и электропроводности:

- 1 — нагревательный элемент, для создания градиента температур (экранирован от теплопотерь); 2 — охлаждающий (радиатор) элемент, для создания градиента температур;
- 3 — направляющая радиатора; 4 — краны вакуумирования и подачи инертного газа;
- 5 — кварцевая пробирка, вакуумируемая и заполняемая инертным газом;
- 6 — болт для закрепления радиатора; 7 — крепежная рамка; 8 — исследуемый образец;
- 9 — термопары, измеряющие температуру по обоим краям образцов;
- 10 — крепление кварцевой пробирки; 11 — станина установки

Рабочая камера установки (рис. 2) смонтирована на стальной основе. В рабочей плите имеются технологические отверстия для проводов питания электрической печи, измерительных проводов, термопар. Вкрученные патрубки, имеющие герметизирующие прокладки, обеспечивают соединение через шланги с вакуумным насосом и системой подачи инертного газа. Верхняя часть установки закрывается кварцевой пробиркой, контактирующей с герметизирующими прокладками, которые размещаются между гайкой и шайбой. На основе располагается крепежная рамка, которая представляет собой стальной прямоугольник. В крепежную рамку заключены клеммы, между которыми помещается образец. Нижняя клемма представляет собой медный цилиндр, на котором намотана нихромовая проволока, являющийся нагревающим элементом, верхняя клемма — радиатор, для отвода тепла и создания градиента температур. В клеммах расположены термопары. Исследуемый образец, расположенный между клеммами, фиксируется при помощи болта.

Измерения проводятся электронным мультиметром Agilent 34401A. Точность значений измерений сопротивления 0,01% и термоЭДС 0,005% от показаний мультиметра.

При помощи специально созданной программы SCPIStudio данные измерений обрабатываются в реальном времени и выводятся на экран в виде таблиц и графиков. Примеры представления результатов автоматизированных экспериментов приведены на рис. 3 и 4.

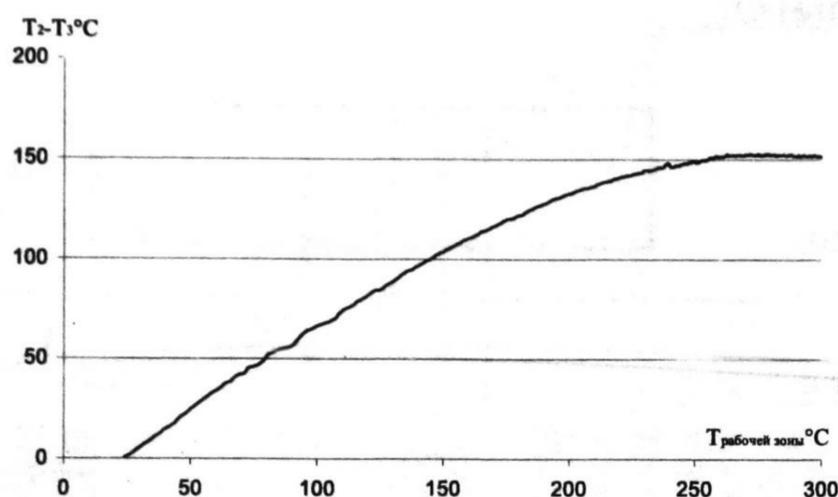


Рис. 3. Зависимость разности температур между поверхностями нагревателя и радиатора от температуры нагревателя

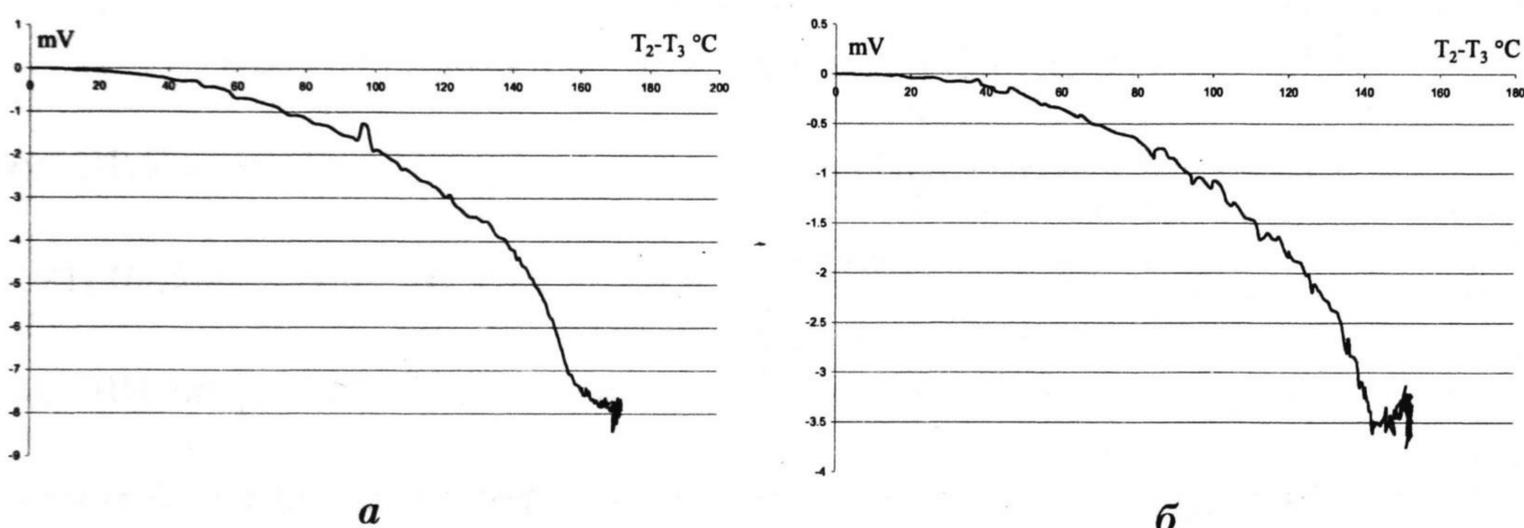


Рис. 4. Зависимость термоЭДС от разности температур (материал образца а — SmS, б — Cu₂Se)

Подготовка порошка SmS или Cu₂Se осуществлялась растиранием вещества до состояния мелкодисперсного состояния. С использованием пресс-формы с квадратным сечением, спрессовывается кубик с линейными размерами 5×5×5мм. Далее образец подвергается спеканию на установке с применением токов высокой частоты. В результате измерений получены данные о температурах в нагревателе, радиаторе и на торцах образца, на основе которых рассчитываются тепловые потоки в нагревателе, радиаторе и в исследуемом образце, а также термоЭДС в зависимости от температуры на торце нагревателя.

По измеренным температурам T_1 , T_2 , T_3 и T_4 (рис. 5), при известных расстояниях между термопарами в нагревателе $\Delta_{\text{нагр}}$ и радиаторе $\Delta_{\text{рад}}$, находятся тепловые потоки от нагревателя к образцу и от образца к радиатору:

$$q_{\text{нагр}} = -\lambda \frac{S(T_1 - T_2)}{\Delta_{\text{нагр}}} \quad \text{и} \quad q_{\text{рад}} = -\lambda \frac{S(T_3 - T_4)}{\Delta_{\text{рад}}},$$

где λ для меди равно 398 Вт/м·К, S — площадь сечения образца.

В результате обработки результатов расчета получено:

Для образца из SmS: $q_{\text{нагр}} = 32,83$ Вт и $q_{\text{рад}} = 1,99$ Вт, при температуре на торцах образца 265 и 95°C соответственно.

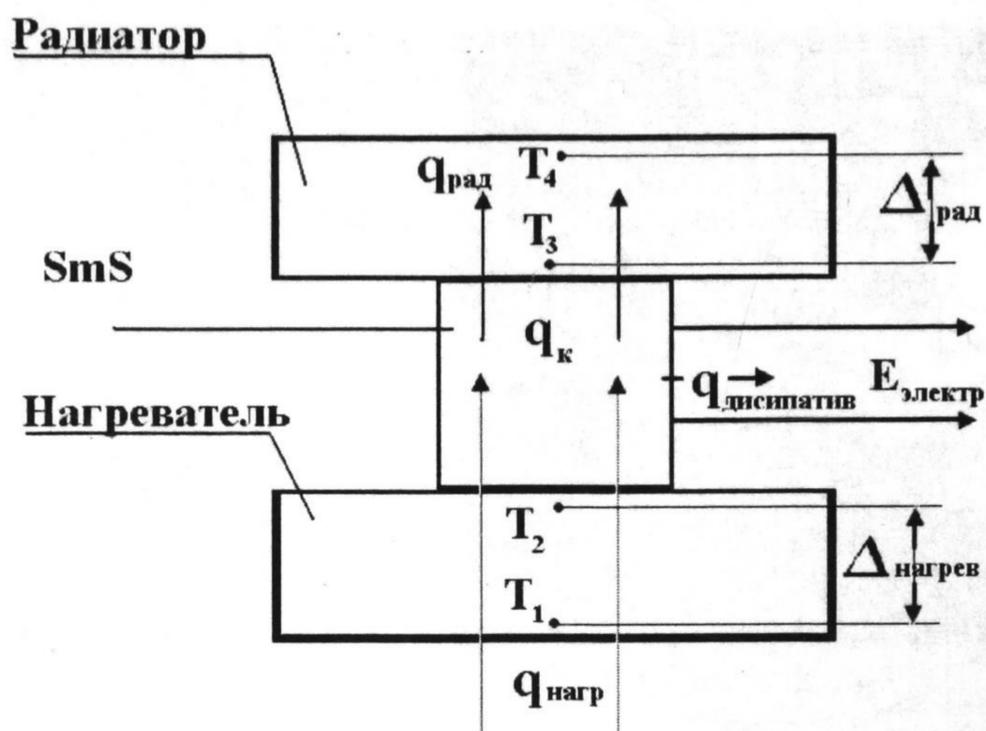


Рис. 5. Образец SmS в установке и схема тепловых потоков

При разности температур нагревателя и радиатора 170°C термоЭДС достигает значения 8 mV .

Для образца из Cu_2Se : $q_{\text{нагр}}=26,86\text{ Вт}$ и $q_{\text{рад}}=1,99\text{ Вт}$, при температуре на торцах образца 254 и $104,5^{\circ}\text{C}$ соответственно.

При разности температур нагревателя и радиатора 150°C термоЭДС достигает значения 3.5 mV .

Обсуждение результатов. С увеличением разницы температур нагревателя и радиатора до $150\text{-}170^{\circ}\text{C}$ термоЭДС образца из SmS возрастает до $8\text{-}9\text{ mV}$, и далее асимптотически выходит на плато, а для образца из Cu_2Se возрастание происходит до значения разницы температур $140\text{-}150^{\circ}\text{C}$, при этом термоЭДС составляет $3\text{-}4\text{ mV}$.

Температуры теплоносителей $200\text{-}250^{\circ}\text{C}$ характерны для ряда технических объектов, требующих утилизации тепла, при этом достигается $T_2\text{-}T_3$, равная $140\text{-}170^{\circ}\text{C}$.

Выводы. 1. Разработана и находится в рабочем состоянии установка измерения термоЭДС и электропроводности термоэлектрических материалов в условиях моделирующих эксплуатационные.

2. Определены термоэлектрические характеристики образцов из SmS, Cu_2Se при размерах $5\times 5\times 5\text{ мм}$.

3. ТермоЭДС исследованного образца из моносulfида самария оказалось выше в $2,3$ раза, чем для образца селенида меди при одинаковой разнице температур нагревателя и радиатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поздняков Б. С, Коптелов Е. А. Термоэлектрическая энергетика. М.: Атомиздат, 1974. 264 с.
2. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Эффект_Зеебека
3. Хагб Г.С. Исследование тепловых характеристик халькогенида меди // Прикладная физика. 2007. № 5. С. 38.
4. Самойлович А.Г. Термоэлектрические и термомагнитные методы превращения энергии. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. С. 176-179.