

07;15

КПД преобразования тепловой энергии в электрическую за счет термовольтаического эффекта

© В.М. Егоров, В.В. Каминский, М.М. Казанин,
С.М. Соловьев, А.В. Голубков

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
E-mail: Vladimir.Kaminski@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 11 марта 2013 г.

Впервые проведены прямые измерения коэффициента полезного действия (КПД) преобразования тепловой энергии в электрическую на основе термовольтаического эффекта. Эксперименты были проведены на образцах сульфида самария. Полученные величины КПД имели значение от 7.5 до 28%.

Известно, что при наличии градиента примесных донорных уровней по объему образца возникает электрическое напряжение в направлении этого градиента (термовольтаический эффект) [1,2]. В работе [3] показано, что термовольтаический эффект сопровождается поглощением тепла. Это дает возможность экспериментального прямого определения коэффициента полезного действия (η) преобразования тепловой энергии (Q) в электрическую $\eta = A/Q$, где A — работа электрического тока. Это тем более важно, что такие составы уже практически используются при создании подобного рода преобразователей [4,5].

Для данных экспериментов были синтезированы образцы с составами Sm_{1+x}S , где x изменяется в объеме образца от 0 до 0.04 в направлении расположения контактов. Образцы были поликристаллическими и имели типичный для SmS параметр решетки $a = 5.96 \text{ \AA}$ и величины области когерентного рассеяния рентгеновского излучения в интервале 700–1000 \AA . Способ из изготовления описан в [6].

Измерение тепловых эффектов в образцах Sm_{1+x}S проводилось на установке, созданной на базе калориметрического блока отечественного дифференциального автоматического калориметра ДАК-1. Схема установки приведена на рис. 1. Калориметрический блок 1 представляет собой теплоизолированный цилиндрический корпус с двумя камера-

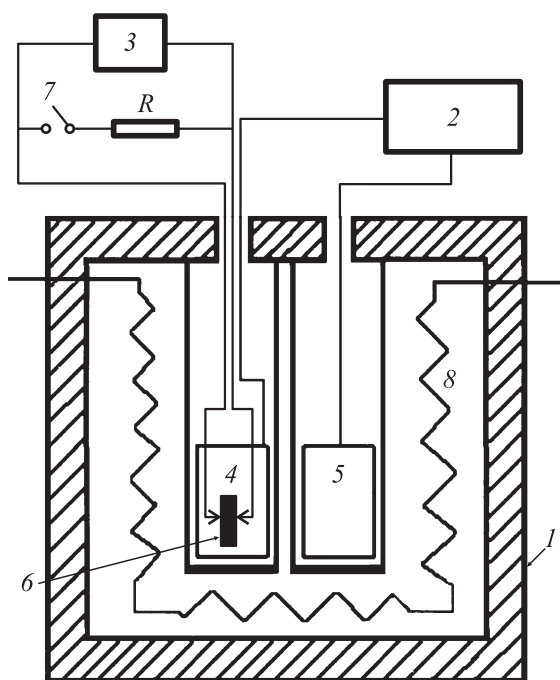


Рис. 1. Схема установки: 1 — calorиметрический блок дифференциального автоматического calorиметра ДАК-1-1; 2 — измерительная схема тепловой мощности; 3 — измерительная схема электрической мощности с нагрузочным сопротивлением R ; 4, 5 — измерительная и эталонная камеры; 6 — образец с контактами; 7 — ключ; 8 — электронагреватель.

ми — измерительной 4 и компенсационной 5. Во внутренней полости блока расположен электронагреватель 8, который обеспечивает их нагрев и вывод на заданный температурный изотермический режим. Измерительную цепь образуют две дифференциально включенные термобатареи — измерительная и компенсационная, сигнал с которых, пропорциональный тепловой мощности, поступает в измерительный блок 2. Калибровка сигнала осуществляется с помощью калибровочного нагревателя, а общее количество тепла, т.е. интеграл от тепловой мощности, как для эндотермического, так и для экзотермического

эффектов калибруется по теплотам плавления и кристаллизации индия. В измерительном блоке сигнал с учетом калибровки преобразуется и фиксируется в виде зависимости dQ/dt , которая в режиме реального времени наблюдается на экране монитора. По этой зависимости можно экспериментально определить искомую величину теплового эффекта Q .

Для экспериментального определения мощности генерируемого образцом электрического тока W была собрана электрическая схема 3. В этой схеме токовыводы подсоединены к противоположным поверхностям образца 6, между которыми существует градиент локальной концентрации избыточных ионов самария. В направлении этого градиента при определенных температурах возникает электрическое напряжение (термовольтаический эффект). В разомкнутой цепи электрический ток отсутствует и вольтметр фиксирует величину этого эффекта (V_0).

При замыкании ключом 7 цепи на полезную нагрузку, а в нашем случае это было сопротивление R (5.6Ω), в цепи появлялся электрический ток. При этом фиксировалось падение напряжения на сопротивлении R до значений V_i . Отключение R приводило к полному или частичному восстановлению исходного напряжения V_0 . Таким образом, если в замкнутой цепи величина V_i в процессе эксперимента не зависела от времени, то величину мощности электрического тока можно определить по формуле $W = V_i^2/R$, а величину работы электрического тока по формуле $A = W\Delta t$, где Δt — время протекания электрического тока.

Ранее была определена температурная область 400–460 К, в которой проявляется термовольтаический эффект [1–3]. На рис. 2 в качестве примера приведена экспериментальная зависимость тепловой мощности I и электрического напряжения 2 образца $\text{Sm}_{1.04}\text{S}$ от времени, полученная при температуре 433 К.

Из рисунка видно, что в начале эксперимента (при выключенном R) в калориметрическую камеру подается избыточная по отношению к эталонной камере тепловая мощность dQ/dt (кривая 1). Величина ее определяется суммой теплоемкостей образца, держателя образца с металлическими контактами, части электрических проводов, находящихся внутри калориметрического блока и соединяющих образец с сопротивлением нагрузки. При этом образец генерирует сравнительно высокое напряжение V_0 (кривая 2). Включение R приводит к резкому падению тепловой мощности и электрического напряжения до величины V_i . Фиксируемое падение тепловой мощности, подаваемой в измерительную камеру, обусловлено превращением части тепловой

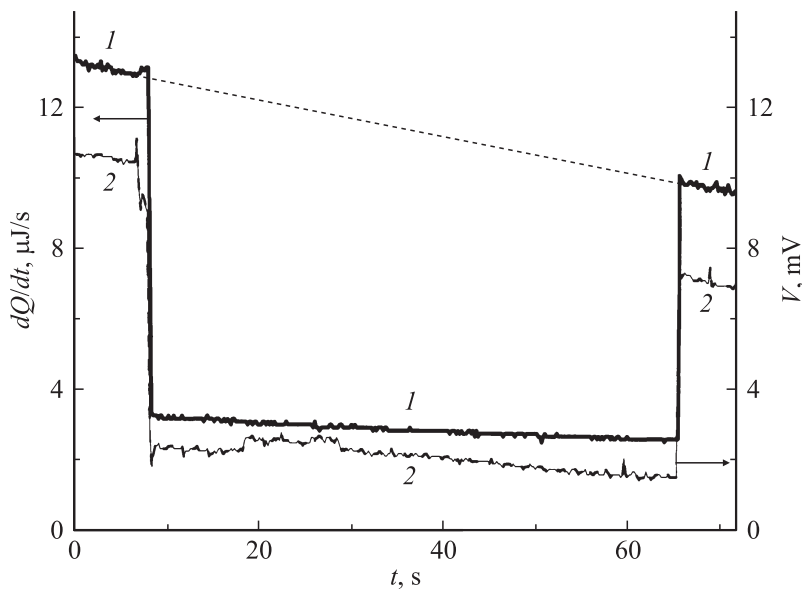


Рис. 2. Экспериментальная зависимость тепловой мощности (1) и электрического напряжения на нагрузочном сопротивлении (2) образца состава $\text{Sm}_{1,04}\text{S}$ от времени.

энергии образца в работу электрического тока. При размыкании цепи и выключении рабочей нагрузки параметры dQ/dt и V возвращаются к величинам, близким к первоначальным.

Из рисунка видно, что V_i в процессе эксперимента практически не зависела от времени, поэтому величину работы электрического тока можно определить по формуле $A = W\Delta t$, где Δt — время протекания электрического тока. Количество тепла Q , которое потребовалось для генерации электрического тока, можно определить по площади, заключенной между кривой 1 и пунктирной линией на рис. 2.

Оценка коэффициента полезного действия по данным, приведенным в качестве примера на рис. 2, дает величину η в пределах 7–9%.

Авторы выражают благодарность Ю.М. Курапову за оказание ценной технической помощи при создании установки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 11-08-00583-а) и ООО „Эс эм Эс-тензо“ (Санкт-Петербург).

Список литературы

- [1] *Казанин М.М., Каминский В.В., Соловьев С.М.* // ЖТФ. 2000. Т. 70. В. 5. С. 136–138.
- [2] *Каминский В.В., Соловьев С.М.* // ФТТ. 2001. Т. 43. В. 34. С. 423–426.
- [3] *Егоров В.М., Каминский В.В.* // ФТТ. 2009. Т. 51. В. 8. С. 1521–1522.
- [4] *Каминский В.В., Голубков А.В., Казанин М.М., Павлов И.В., Соловьев С.М., Шаренкова Н.В.* Термоэлектрический генератор (варианты) и способ изготовления термоэлектрического генератора: Патент РФ № 2303834, приоритет от 22.06.2005.
- [5] *Каминский В.В., Казанин М.М.* // Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34. В. 8. С. 92–94.
- [6] *Голубков А.В., Гончарова Е.В., Жузе В.П., Логинов Г.М., Сергеева В.М., Смирнов И.А.* Физические свойства халькогенидов редкоземельных элементов. Л.: Наука, 1973. 304 с.