

05

Исследование 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 28 октября 2014 г.

Проведены исследования коэффициента полезного действия (КПД) преобразования тепловой энергии в электрическую на основе термовольтаического эффекта. Эксперименты были проведены на образцах сульфида самария (SmS), имевших область, допированную избыточным самарием до состава $\text{Sm}_{1.04}\text{S}$. Обнаружен рост КПД со временем от 17 до 36 %, вызванный уменьшением количества поглощаемой при генерации тепловой энергии при неизменной мощности генерируемой электрической энергии.

Как известно, наличие градиента примесных донорных уровней по объему образца приводит к возникновению электрического напряжения в направлении этого градиента (термовольтаический эффект) [1,2]. В работе [3] показано, что термовольтаический эффект сопровождается поглощением тепла. Это дало возможность экспериментально определить [4] среднее значение коэффициента полезного действия (η) преобразования тепловой энергии (Q) в электрическую $\eta = A/Q$, где A — работа электрического тока за весь цикл наблюдения термовольтаического эффекта. В данной работе исследовалась зависимость величины КПД от времени наблюдения термовольтаического эффекта.

Применяемые способы создания термоэлектрических структур для генерации электрического напряжения на основе термовольтаического эффекта основаны на создании градиента локальной концентрации избыточных ионов самария в области гомогенности моносульфида самария. 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, аналогичные исследованным нами в [4]. Способ их изготовления описан в [5].

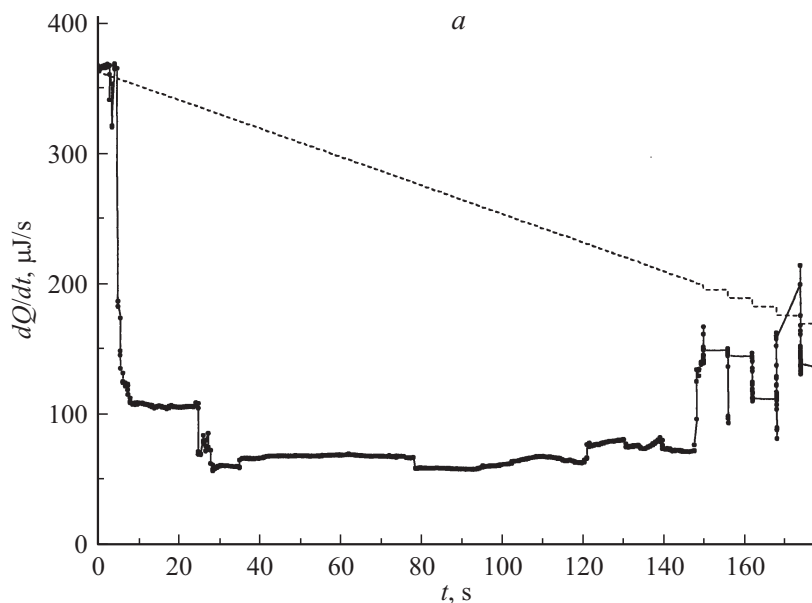


Рис. 1. Экспериментальная зависимость тепловой мощности (*a*) и электрического напряжения (*b*), генерируемого образцом $\text{Sm}_{1.04}\text{S}$ от времени при $T = 433 \text{ K}$.

Измерение тепловых эффектов в образцах Sm_{1+x}S проводилось на установке, созданной на базе калориметрического блока отечественного дифференциального автоматического калориметра ДАК-1, использованной и описанной нами в [4]. Измерения проводились при 433 К. В измерительном блоке установки тепловой сигнал с учетом калибровки преобразуется и фиксируется в виде зависимости dQ/dt от времени, которая наблюдается на экране монитора (рис. 1, *a*).

Для экспериментального определения мощности генерируемого образцом электрического тока W была собрана электрическая схема, в которой токовыводы подсоединены к противоположным поверхностям образца, между которыми существует градиент локальной концентрации избыточных ионов самария и возникает электрическое напряжение (термовольтаический эффект). В разомкнутой цепи электрический ток отсутствует и вольтметр фиксирует величину этого эффекта (U_0). При

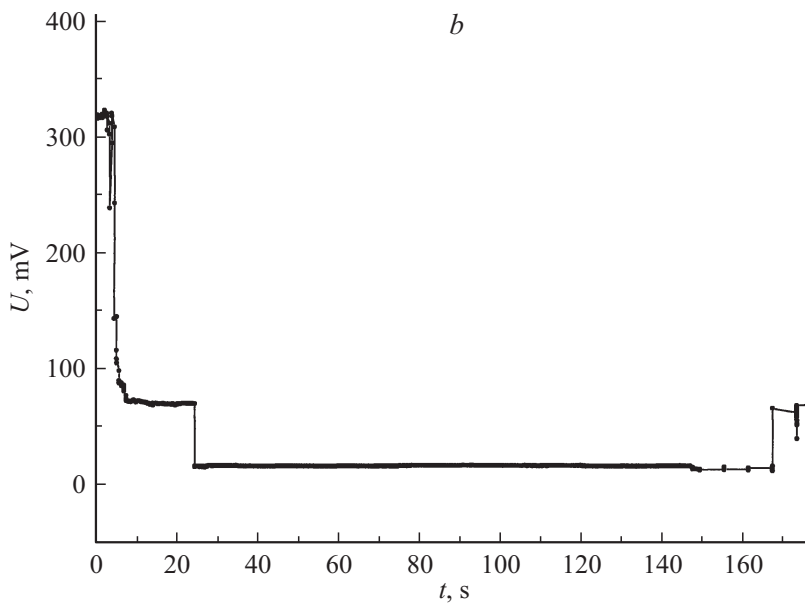


Рис. 1 (продолжение).

замыкании цепи на полезную нагрузку (сопротивление $R = 5.6 \Omega$) в ней появлялся электрический ток. При этом фиксировалось падение напряжения на сопротивлении R до значений $U(t)$ (рис. 1, *b*). Отключение R приводило к восстановлению исходного напряжения U_0 . Таким образом, величину мощности электрического тока можно определить по формуле

$$W(t) = U(t)^2/R. \quad (1)$$

Установленные в таком эксперименте величины dQ/dt и $W(t)$ дают возможность определения коэффициента полезного действия $\eta(t)$ преобразования тепловой энергии в электрическую по соотношению:

$$\eta(t) = W(t)/(dQ/dt). \quad (2)$$

Из рис. 1, *a* видно, что в начале эксперимента (при выключенном R) в калориметрическую камеру подается избыточная по отношению к эталонной камере тепловая мощность dQ/dt . Величина ее определяется

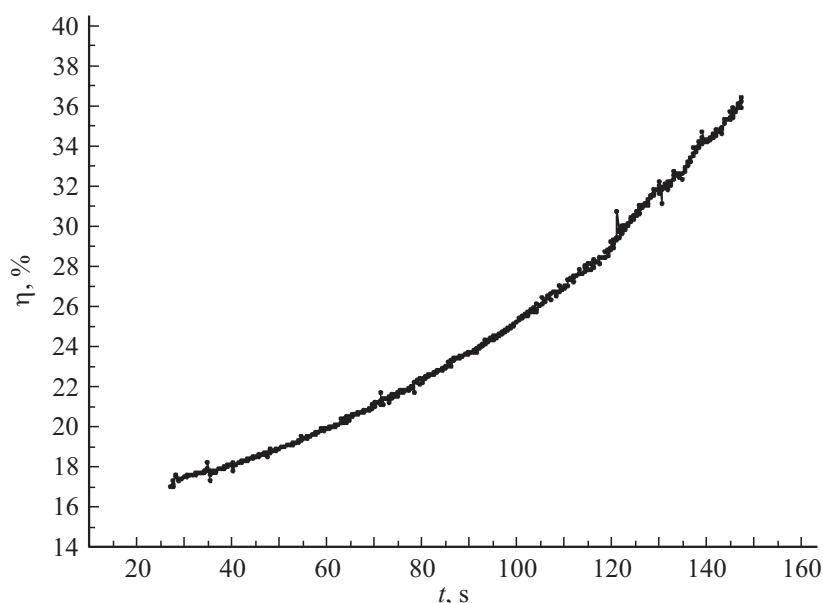


Рис. 2. Зависимость КПД преобразования тепловой энергии в электрическую за счет термольтанического эффекта от времени, рассчитанная по данным, приведенным на рис. 1.

суммой теплоемкостей образца, держателя образца с металлическими контактами и части электрических проводов, находящихся внутри калориметрического блока. При этом образец генерирует сравнительно высокое напряжение $U_0 = 320$ mV (рис. 1, *b*). Включение R приводит к резкому падению тепловой мощности dQ/dt до величины ~ 60 μ J/s и электрического напряжения до величины $U(t) = 16$ mV (в установившемся режиме). Фиксируемое падение тепловой мощности, подаваемой в измерительную камеру, обусловлено превращением части тепловой энергии в работу электрического тока. При размыкании цепи и выключении рабочей нагрузки параметры dQ/dt и $U(t)$ возвращаются к повышенным значениям.

Из рис. 1, *b* видно, что величину мощности электрического тока можно определить по формуле (1), а величину тепловой мощности dQ/dt , которая потребовалась для генерации электрического тока,

можно определить по разности между экспериментальной кривой и пунктирной линией на рис. 1, а. Пунктирная линия соединяет два участка зависимости dQ/dt , полученных при отсутствии электрического тока, т.е. при разомкнутой цепи. Эта линия выполняет роль „базовой линии“ для определения той части тепловой мощности, которая связана с генерацией электрического тока.

Зависимость коэффициента полезного действия от времени протекания термовольтаического эффекта в установившемся режиме (с 27 по 148 с), определенная по соотношению (2) из данных, представленных на рис. 1, приведена на рис. 2. Из рисунка видно, что наблюдается рост величины КПД от 17 до 36%. При этом из рис. 1 следует, что в указанном временном интервале мощность генерируемого электрического сигнала остается практически постоянной, а поглощенная тепловая мощность монотонно уменьшается. Уменьшение тепловой мощности при генерации электрического тока может быть связано с увеличением теплопроводности и уменьшением термосопротивления („металлизацией“) микрообластей $Sm_{1.04}S$, в которых генерируется электрическое напряжение (термовольтаический эффект). Это тем более вероятно, что теплопроводность SmS при повышении концентрации электронов проводимости может увеличиваться более чем в 3 раза [5].

Таким образом, на образцах сульфида самария (SmS), имевших область, допированную избыточным самарием до состава $Sm_{1.04}S$, обнаружен рост КПД со временем от 17 до 36%. Этот рост обусловлен уменьшением количества поглощаемой при генерации тепловой энергии при неизменной мощности генерируемой электрической энергии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-08-00591).

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] Егоров В.М., Каминский В.В., Казанин М.М., Соловьев С.М., Голубков А.В. // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39. В. 14. С. 57–61.
- [5] 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.