

Краткие сообщения

05

Термовольтаический эффект в гетероструктурах на основе сульфида самария с составом $\text{Sm}_{1-x}\text{Eu}_x\text{S}$

© В.В. Каминский, М.М. Казанин, С.М. Соловьёв, А.В. Голубков

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
194021 Санкт-Петербург, Россия
e-mail: vladimir.kaminski@mail.ioffe.ru

(Поступило в Редакцию 17 мая 2011 г.)

Рассмотрим термовольтаический эффект в объемных гетероструктурах на основе сульфида самария (SmS) с составом $\text{Sm}_{1-x}\text{Eu}_x\text{S}$ в интервале температур 300–520 К. Показано, что эффект определяется не наличием внешнего градиента температур, а искусственно созданным градиентом концентрации ионов самария.

В работах [1–3] был обнаружен и описан термовольтаический эффект в SmS . Суть его заключается в том, что в полупроводниковом образце при наличии градиента локальной концентрации донорной примеси (в данном случае избыточного самария) в направлении этого градиента при нагревании образца возникает электрическое напряжение. При этом не имеет значения наличие или отсутствие разницы температур контактов, с которых снимается это напряжение. В работе [4] показано, что генерация имеет место в условиях равенства температур вблизи этих контактов. Задача настоящей работы состояла в том, чтобы наглядно показать, что за возникновение генерации электрического напряжения при термовольтаическом эффекте ответственно наличие градиента концентрации ионов самария в образце.

В экспериментах, как и в [4], были использованы поликристаллические образцы состава $\text{Sm}_{1-x}\text{Eu}_x\text{S}$, где x монотонно изменяется по толщине образца от 0 до 1. В результате образцы имели градиент концентрации ионов самария, направленный вдоль направления изменения x . Вдоль этого же направления были расположены контакты, с которых снималось выходное напряжение. Образцы были получены путем спекания слоев с разными значениями x и последующего отжига и представляли собой параллелепипеды с размерами $10 \times 6 \times 5$ мм.

На рис. 1, *a* представлены результаты измерения генерируемого напряжения при нагревании, когда вероятный градиент температуры располагался в том же направлении, что и градиент примеси. Конфигурация эксперимента представлена на рис. 1, *b*. Здесь 1 — образец, 2 — область образца с градиентом концентрации ионов самария, направление которого перпендикулярно плоскости нагреваемой поверхности, 3 — нагреваемая поверхность, 4 — металлическая пластинка-контакт, 5 — термопара. Генерируемое напряжение снималось с пластинки 4 и противоположной ей грани образца и подавалось на АЦП так же, как и показания термопар.

Полученные результаты представлены на рис. 1, *a* в зависимости от времени. Это генерируемое напряжение, максимальное значение которого составляло ~ 65 мВ, и температура, максимальное значение которой составляло $\sim 240^\circ\text{C}$.

На рис. 2 представлен аналогичный эксперимент, проведенный для конфигурации, когда градиент температуры перпендикулярен градиенту концентрации ионов самария, а измерения напряжения проводятся по-прежнему в направлении градиента концентрации ионов самария, рис. 2, *b*. Здесь 1 — образец, 2 — область образца с градиентом концентрации ионов самария, направление которого параллельно плоскости нагреваемой

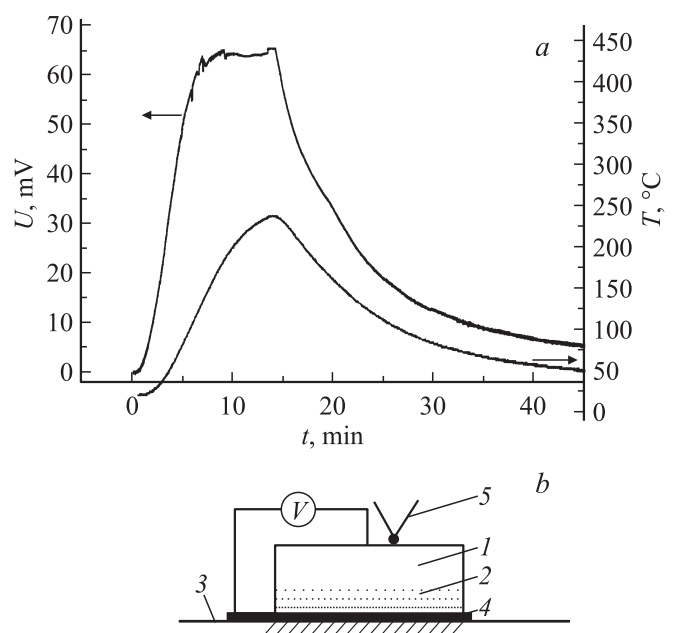


Рис. 1. Эксперимент с $\text{Sm}_{1-x}\text{Eu}_x\text{S}$ в случае, когда направления градиентов температуры и x составляют: *a* — зависимость генерируемого напряжения и температуры образца от времени, *b* — схема эксперимента.

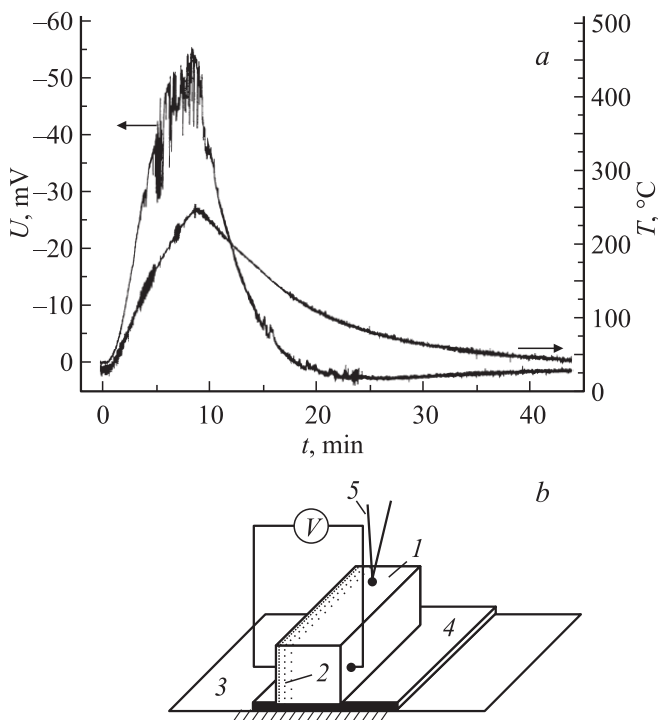


Рис. 2. Эксперимент с $Sm_{1-x}Eu_xS$ в случае, когда направление градиента температуры перпендикулярно направлению изменения величины x : *a* — зависимость генерируемого напряжения и температуры образца от времени, *b* — схема эксперимента.

поверхности, 3 — нагреваемая поверхность, 4 — изолятор, 5 — термопара. Результаты измерений представлены на рис. 2, *a*. Максимальное генерируемое напряжение ~ 56 мВ, максимальная температура $\sim 240^\circ\text{C}$. Как видим, результаты близки по величине, хотя во втором случае градиент температуры в направлении токовыводов практически отсутствовал. Различие в несколько милливольт в двух различных измерениях достаточно типично и возникает вследствие смены точек подсоединения прижимных контактов из-за неравномерности состава (и его градиента) по объему. Очевидно, что здесь имеем дело с термовольтаическим эффектом, а не с классическим термоэлектрическим эффектом Зеебека. Последний, конечно, мог дать некий вклад в величину термовольтаического эффекта в первом эксперименте, однако маловероятно, чтобы этот вклад превышал 5–7 мВ, поскольку величина термоэдс в таких образцах не превышает 0.5 мВ/К, а разница температур верхней и нижней граней образца, согласно нашим измерениям, не превышала 10–15 К.

Целью дальнейших экспериментов была иллюстрация того факта, что сигнал генерируется именно в том месте, где мы имеем градиент ионов самария. Был изготовлен объемный образец $Sm_{1-x}Eu_xS$, где $0 \leq x \leq 1$, в котором градиент примеси (в данном случае европия) располагался только у одной его грани. Это достигалось тем, что

температура и время отжига были таковы, что примесь не могла продиффундировать через образец насквозь. В этом образце было просверлено отверстие, в которое был вставлен медный провод, служивший электродом. Место его расположения было таково, что весь градиент примеси находился по одну сторону от этого отверстия, а по другую сторону находилась область без градиента примеси (чистый SmS). Схематически такой образец представлен на рис. 3, *b*.

Эксперименты были таковы. С помощью АЦП была снята зависимость генерируемого напряжения и температуры от времени при снятии сигнала с области без градиента примеси (рис. 3) и с области, включающей в себя градиент примеси (рис. 4). Схемы экспериментов предоставлены на рис. 3, *b* и 4, *b*. В первом случае имеем практически нулевой сигнал (рис. 3, *a*). Во втором случае имеем сигнал ~ 60 мВ, который равен по величине сигналам, полученным на рис. 1, *a* и 2, *a*. Это является доказательством того, что за появление напряжения генерации ответственно наличие градиента примеси в SmS. Кроме того, малость сигнала на рис. 3, *a* свидетельствует о том, что температурный градиент, который был во всех экспериментах, весьма мал. Это следует из того, что природа данного небольшого сигнала ($U_{\text{max}} \sim 2.5$ мВ) связана с эффектом Зеебека, и если предположить, что величина термоэдс в образце ~ 0.5 мВ, то разница температур у электродов, с которых снимается сигнал (рис. 3, *a*), составляет порядка 5 К.

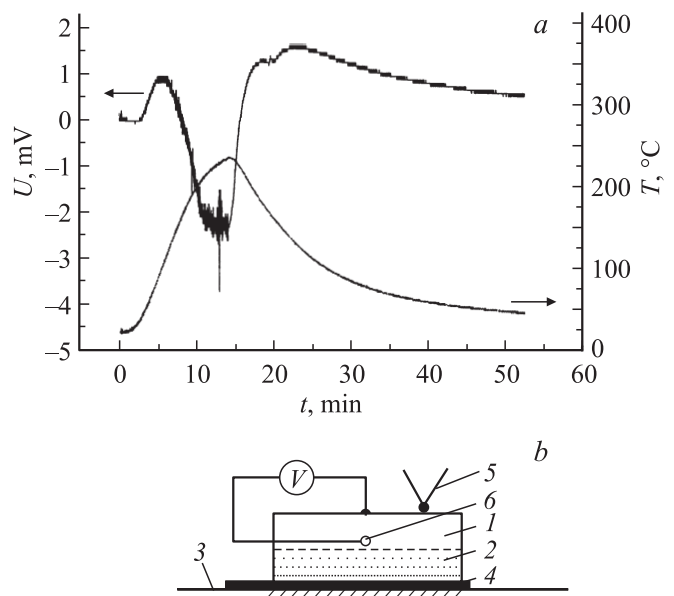


Рис. 3. Эксперимент с $Sm_{1-x}Eu_xS$ в случае, когда выходной сигнал снимается с области образца, где $x = 0$: *a* — зависимость генерируемого напряжения и температуры образца от времени, *b* — схема эксперимента: 1 — область образца, где $x = 0$; 2 — область образца с градиентом концентрации примеси; 3 — нагреваемая поверхность; 4 — металлическая пластина-контакт, 5 — термопара, 6 — отверстие с медным электродом.

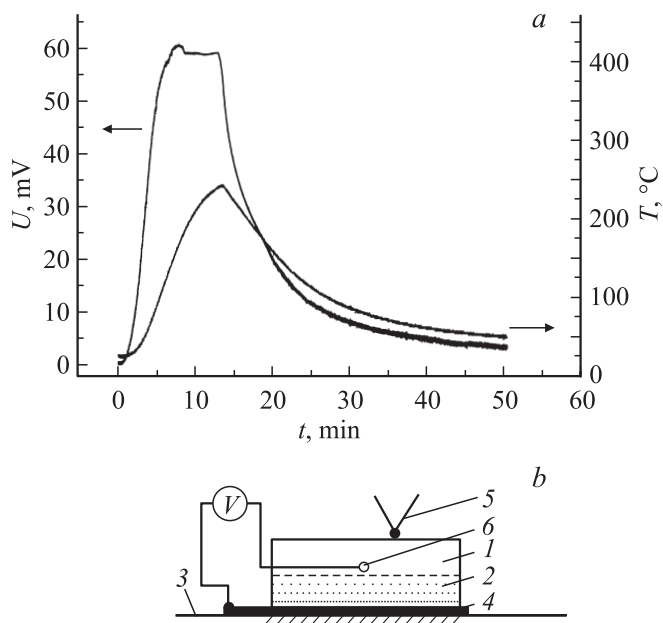


Рис. 4. Измерение термовольтаического эффекта в $\text{Sm}_{1-x}\text{Eu}_x\text{S}$ в области наличия градиента концентрации примеси европия: *a* — зависимость генерируемого напряжения и температуры образца от времени, *b* — схема эксперимента. Обозначения те же, что и на рис. 3, *b*.

Таким образом, из поставленных экспериментов непосредственно следует, что при термовольтаическом эффекте генерируемое электрическое напряжение возникает вследствие наличия градиента примеси в образце.

Авторы благодарны Ю.В. Марковой за помощь в работе.

Работа выполнена при поддержке ООО „ЭсэмЭс-гензо“ (Санкт-Петербург) и РФФИ, грант № 11-08-00583-а.

Список литературы

- [1] Казанин М.М., Каминский В.В., Соловьёв С.М. // ЖТФ. 2000. Т. 70. Вып. 4. С. 136–138.
- [2] Каминский В.В., Соловьёв С.М. // ФТТ. 2011. Т. 43. Вып. 3. С. 423–426.
- [3] Каминский В.В., Дидик В.А., Казанин М.М., Романова М.В., Соловьёв С.М. // Письма в ЖТФ. 2009. Т. 2009. Вып. 21. С. 16–22.
- [4] Каминский В.В., Казанин М.М., Клишин А.Н., Соловьёв С.М., Голубков А.В. // ЖТФ. 2011. Т. 81. Вып. 6. С. 150–152.